

# 行政院環境保護署

## 111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫

受 託 單 位 : 國立成功大學  
計畫執行期間 : 中華民國111年03月18日 至  
中華民國111年11月30日  
計畫主持人 : 黃良銘教授  
協同主持人 : 林財富特聘教授、王根樹教授  
陳婉如副教授  
研究人員 : 謝淑婷、吳怡儒、邱翌竹  
計畫經費 : 新臺幣柒佰陸拾壹萬元整

印製年月：中華民國 111 年 12 月

# 「111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫」

## 期末報告基本資料表

委辦單位	行政院環境保護署				
執行單位	國立成功大學				
參與計畫人員姓名	黃良銘特聘教授、林財富特聘教授、王根樹教授、陳婉如副教授、謝淑婷博士、吳怡儒博士、邱翌竹				
年度	一百一拾一年度	計畫編號			
研究性質	<input type="checkbox"/> 基礎研究 <input checked="" type="checkbox"/> 應用研究 <input type="checkbox"/> 技術發展				
研究領域	飲用水				
計畫屬性	<input type="checkbox"/> 科技類 <input checked="" type="checkbox"/> 非科技類				
全程期間	民國 111 年 3 月 18 日至 111 年 11 月 30 日				
本期期間	民國 111 年 3 月 18 日至 111 年 11 月 30 日				
主、本期經費	7610 千元				
	資本支出	經常支出			
	土地建築 0 千元	人事費 2472.64 千元			
	儀器設備 0 千元	業務費 4376.36 千元			
	其他 0 千元	材料費 0 千元			
		其他 761 千元			
癸、摘要關鍵字（中英文各三則）					
<u>多溴二苯醚類、N-亞硝基吡咯烷、全氟己烷磺酸</u> <u>polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), N-nitrosopyrrolidine (NPYR),</u> <u>perfluorohexanesulfonic acid (PFHxS)</u>					



## 計畫成果中英文摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

111年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫

二、英文計畫名稱：

Investigation of Compounds of Emerging Concern in Drinking Water and Management of Water Quality 2022

三、執行單位：

國立成功大學

四、計畫主持人：

黃良銘特聘教授，林財富特聘教授，王根樹教授，陳婉如副教授

五、執行開始時間：

111/03/18

六、執行結束時間：

111/11/30

七、報告完成日期：

111/11/30

八、報告總頁數：

349

九、使用語言：

中文

十一、報告電子檔名稱

EPA-111 期末報告

十二、報告電子檔格式

PDF 檔

十三、中文摘要關鍵字

多溴二苯醚類、N-亞硝基咁咯烷、全氟己烷磺酸

十四、英文摘要關鍵字

polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), N-nitrosopyrrolidine (NPYR), perfluorohexanesulfonic acid (PFHxS)

十五、中文摘要

本計畫辦理飲用水列管物質篩選作業，優先評估 6 項多溴二苯醚類，於我國 6 座淨水場進行監測，三次採樣均未檢出，顯示於我國暫無顯著風險。本年度彙整蒐集清單毒理資料及本土淨水廠檢測資料，經估後將 N-亞硝基咁咯烷及全氟己烷磺酸納入觀察清單。此外原觀察清單中之甲醛及鎵，經評估於我國飲用水中暫無顯著危害，改列蒐集清單以有效運用檢測能量。本計畫抽驗飲用水中

26 項未列管新興污染物共 3340 處次，結果顯示除鉻、硼、Geosmin、全氟化合物有少數樣品有較高檢出濃度，須持續監測之外，其餘污染物均低於定量極限或偵測極限，或檢出濃度極低。此外亦評估 6 種國際常用微生物指標於我國 20 處次配水樣品的檢出情況，僅一配水點可能因於餘氯低，檢出大腸桿菌群，顯示維持自由有效餘氯仍是重要減少配水中微生物的重要措施，此外建議建議參考國際管制趨勢，以管制大腸桿菌取代現有專一性較差之大腸桿菌群。本計畫亦彙整近十年簡易自來水場飲用水水質，結果顯示不合格或高於國際管制值最小值的項目主要為微生物指標，建議增設消毒處理程序。針對極端氣候因應方式本計畫彙整國際上以飲用水為目的之水回收再利用相關作法與案例，技術及行政管理及公眾溝通在水回收利用上均扮演關鍵角色。

## 十六、英文摘要

This project implemented contaminants screening process of drinking water quality regulation. Six unregulated polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) were selected for evaluation. Their concentration was monitored in six representative drinking water treatment plants, and their health risk in drinking water system in Taiwan were evaluated. Results indicated that there is no significant risk of these 6 compounds on drinking water in Taiwan. This project also collected the toxicity information and monitoring histories of unregulated contaminants in Preliminary Contaminant Candidate List (PCCL) to evaluate if the concern level of some chemicals should be increased to Contaminant Candidate List (CCL). After evaluation, concern level of NPYR and PFHxS were increased from PCCL to CCL. In addition, this project inspected 26 unregulated compounds of emerging concern in drinking water and got 3340 data in total. There were 14 compounds with monitoring results all below detection or quantification limitation. The other compounds with detection values were at very low concentration level. There were only few samples with higher concentration on germanium, boron, Geosmin, and per- and polyfluorinated chemicals (PFCs). It is suggested to monitor them continuously. Besides, this project evaluated 6 different microbial indicators at 20 sampling points in water distribution system. Only one sample detected total coliform, which may result from low free residual chlorine. Results indicated that maintain free residual chlorine is important strategy to reduce microorganism in water distribution system. In addition, it is suggested to regulate E. coli rather than total coliform, which has less specificity. Drinking water quality data of small drinking water system in ten years were collected. High risk was found with microbial inciters. Therefore, disinfection system was suggested to implement. Regarding to the drinking water management regulation and respondences to extreme climate, this project reviewed potable water reuse cases apply in other countries. Public communication is one of key factor of successful implement except for technologies and management aspect.

# 目次

目次	I
圖次	VII
表次	VIII
報告大綱	XI
計畫成果摘要（詳細版）	XIII
第一章 前言	1
1.1 計畫背景	1
1.2 計畫目標	10
1.3 計畫內容	10
第二章 飲用水未列管新興污染物質篩選作業推動	15
2.1 美國飲用水水質標準管制項目篩選作業流程	15
2.2 飲用水未列管新興污染物質篩選作業模式修訂	17
2.3 初步蒐集清單	19
2.4 蒐集清單	24
2.4.1 蒯集清單沿革	24
2.4.2 蒯集清單物質增加關注層級評估	26
2.4.3 蒯集清單之水質檢測資料與毒理資料彙整	29
2.4.4 歷年 NDMA/NDEA/NPYR 檢測結果	31
2.4.5 歷年 PFHxS 及其他全氟化物檢測結果	32
2.4.6 111 年 蒯集清單	33
2.5 觀察清單	38
2.5.1 觀察清單沿革	38
2.5.2 觀察清單物質改列 蒯集清單	40
2.5.3 111 年 觀察清單	42
2.5.4 觀察清單物質監測計畫	44
2.6 觀察清單物質歷年檢測結果	47
2.6.1 微囊藻毒-LR 型淨水廠檢測資料彙整	47
2.6.2 鈈淨水廠檢測資料彙整	48
2.6.3 鄰苯二甲酸二丁酯淨水廠檢測資料彙整	49
2.6.4 1,2-二溴乙烷淨水廠檢測資料彙整	50
2.6.5 碲淨水廠檢測資料彙整	51

2.6.6 硼淨水廠檢測資料彙整 .....	52
2.6.7 N-亞硝二甲胺淨水廠檢測資料彙整 .....	53
2.6.8 N-亞硝二乙胺淨水廠檢測資料彙整 .....	54
2.6.9 N-亞硝基吡咯烷淨水廠檢測資料彙整 .....	55
2.6.10 全氟辛烷酸(PFOA)淨水廠檢測資料彙整 .....	56
2.6.11 全氟辛烷磺酸(PFOS)淨水廠檢測資料彙整 .....	57
2.6.12 全氟己烷磺酸(PFHxS)淨水廠檢測資料彙整 .....	57
2.6.13 鋅淨水廠檢測資料彙整 .....	58
2.6.14 鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯淨水廠檢測資料彙整 .....	59
2.6.15 觀察經單檢測資料彙整 .....	59
2.7 候選清單 .....	62
<b>第三章 優先評估物質篩選 .....</b>	<b>65</b>
3.1 環境荷爾蒙 .....	65
3.1.1 雌激素類固醇 .....	67
3.1.2 烷基酚聚氧乙烯醚類 .....	68
3.1.3 工業和家用化學品 .....	70
3.1.4 農業化學品 .....	72
3.1.5 本年度新興污染物評估對象 .....	72
3.2 淨水場採樣及水質檢測分析方法 .....	73
3.2.1 採樣淨水廠選擇 .....	73
3.2.2 採樣設備及採樣方式 .....	74
3.2.3 分析方法 .....	75
3.2.4 儀器分析方法 .....	75
3.3 採樣分析結果 .....	78
3.3.1 採樣天氣與水源變化 .....	78
3.3.2 淨水場水質參數及優先評估物質檢測結果 .....	79
3.3.3 多溴二苯醚降解研究 .....	81
<b>第四章 未列管之新興污染物抽驗 .....</b>	<b>85</b>
4.1 抽驗項目與頻率 .....	85
4.2 檢測方法及儀器設備 .....	89
4.3 分析品管要求及數據品保目標 .....	91
4.4 採樣規劃 .....	92
4.5 抽驗結果 .....	94
4.5.1 後續監測建議 .....	95
<b>第五章 簡易自來水水質狀況評估 .....</b>	<b>99</b>
5.1 我國簡易自來水行政管理現況 .....	99

5.2 我國做為飲用水使用之簡易自來水水源與淨水程序 .....	101
5.3 近 10 年做為飲用水使用之簡易自來水水質檢測結果 .....	103
5.3.1 飲用水水質標準列管項目 .....	103
5.3.2 新興污染物 .....	110
5.4 簡易自來水場飲用水水質管理建議 .....	116
第六章 以飲用水為目的之水回收再利用 .....	117
6.1 水回收再利用(Potable reuse)簡介 .....	118
6.1.1 定義 .....	118
6.1.2 水回收再利用的挑戰 .....	119
6.1.3 直接和間接水回收再利用 .....	119
6.1.4 計劃外的水回收再利用 .....	122
6.2 水回收再利用的實施 .....	123
6.3 南非溫得和克(Windhoek)再生水廠 .....	124
6.3.1 溫得和克水回收再利用的驅動 .....	124
6.3.2 水源和源頭控管 .....	125
6.3.3 模廠 .....	126
6.3.4 控制策略 .....	126
6.3.5 驗證和流行病學證據 .....	127
6.3.6 環境緩衝 .....	128
6.3.7 水質監測操作和驗證 .....	129
6.4 美國加州橘郡地下水補給系統 .....	130
6.4.1 以水回收再利用實現可持續供應的地下水 .....	131
6.4.2 地下水補給系統如何運作：管理、資源和能力 .....	131
6.4.3 建立地下水補給系統的水回收再利用方案 .....	132
6.4.4 橘郡衛生區源頭控制計畫 .....	133
6.4.5 環境緩衝區：橘郡地下水流域 .....	134
6.4.6 水質監測 .....	134
6.4.7 事件管理：應對計劃和關鍵控制點 .....	135
6.4.8 公共宣傳和利益相關者參與 .....	136
6.4.9 經驗教訓 .....	136
6.5 美國維吉尼亞州上奧科昆服務管理局(UOSA)飲用水再利用計畫 .....	137
6.5.1 背景 .....	137
6.5.2 建立飲用水再利用 .....	138
6.5.3 水回用和水處理的控制措施 .....	139
6.5.4 水質監測 .....	140
6.5.5 公共宣傳 .....	141

6.5.6 經驗彙整 .....	142
6.6 澳洲伯斯下水補給 .....	142
6.6.1 概述和背景 .....	142
6.6.2 建立飲用水再利用計劃 .....	143
6.6.3 控制措施 .....	144
6.6.4 水質監測 .....	146
6.6.5 公共宣傳 .....	147
6.6.6 經驗 .....	148
6.7 美國德州直接飲用水再利用 .....	148
6.7.1 背景 .....	148
6.7.2 方法 .....	148
6.7.3 科羅拉多河市政水區 .....	149
6.7.4 控制措施：處理程序 .....	150
6.7.5 水質監測 .....	150
6.8 南非的水回用：威特班克再生水廠 .....	150
6.8.1 概述和背景 .....	150
6.8.2 建立飲用水再利用計劃 .....	151
6.8.3 實施前的評估和技術論證 .....	152
6.8.4 控制措施 .....	153
6.8.5 污水廠控制和處理理念 .....	153
6.8.6 水質監測 .....	154
6.8.7 公共宣傳 .....	154
6.8.8 經驗 .....	154
6.9 推動之公眾溝通 .....	156
6.9.1 新加坡: NEWater .....	156
6.9.2 美國加州橘郡水務局 .....	157
6.9.3 澳洲圖文巴 .....	158
6.9.4 美國加州聖地亞哥 .....	159
6.10 小結 .....	161
<b>第七章 飲用水管理相關法規制度 .....</b>	<b>163</b>
7.1 世界衛生組織(WHO) .....	163
7.2 歐盟 .....	166
7.3 美國 .....	169
7.4 澳洲 .....	173
7.5 日本 .....	175
7.5.1 日本飲用水標準列管流程 .....	175

7.5.2 我國飲用水水質標準與日本水質標準比較 .....	175
第八章 其他工作 .....	181
8.1 飲用水標準中微生物標準或指標評估 .....	181
8.1.1 分析方法 .....	184
8.1.2 微生物指標採樣點篩選 .....	186
8.1.3 分析結果與討論 .....	189
8.1.4 生物性指標建議 .....	189
8.2 毒理資料庫建置與更新 .....	192
8.2.1 毒理資料庫項目新增 .....	194
8.3 預定進度及查核點 .....	197
8.3.1 各工項進度說明 .....	198
第九章 結論與建議 .....	199
9.1 結論 .....	199
9.2 建議 .....	200
參考文獻 .....	201
附錄 .....	209
附錄一、審查意見回覆 .....	209
附錄 1.1 成果報告審查意見回復 .....	209
附錄 1.2 第二次工作進度報告審查意見回覆 .....	217
附錄 1.3 期中報告審查意見回覆 .....	219
附錄 1.4 期初工作進度報告審查意見回覆 .....	227
附錄 1.5 評選審查意見回覆 .....	230
附錄二、專家諮詢會議會議紀錄 .....	234
附錄 2.1 第一次專家諮詢會議紀錄 .....	234
附錄 2.2 第二次專家諮詢會議紀錄 .....	241
附錄 2.3 第三次專家諮詢會議紀錄 .....	245
附錄三、評估是否增加關注程度之蒐集清單項目四項參數資訊 .....	251
附錄 3.1 評估是否增加關注程度之蒐集清單項目(37 項)101-110 年之淨水場水質資料彙整 .....	251
附錄 3.2 評估是否增加關注程度之蒐集清單項目(37 項)毒理資料彙整 .....	254
附錄 3.3 評估是否增加關注程度之蒐集清單項目(37 項)四項參數彙整 .....	257
附錄四、優先評估物質採樣時程記錄 .....	260
附錄五、分析項目偵測極限與品保品管 .....	263
附錄 5.1 多溴二苯醚類物質分析之品保品管 .....	263
附錄六、簡易自來水相關資料 .....	265

附錄 6.1 高雄市內簡易自來水資料表 .....	265
附錄 6.2 可做飲用水使用之簡易自來水系統 .....	267
附錄七、近 10 年簡易自來水系統曾有不合格數據之點位（不合格年(筆數)）	
.....	274
附錄八、毒理資料 .....	279
附錄 8.1 五溴二苯醚 Pentabromodiphenyl ether .....	279
附錄 8.2 六溴二苯醚 Hexabromodiphenyl ether .....	284
附錄 8.3 七溴二苯醚 Heptabromodiphenyl ether .....	290
附錄 8.4 八溴二苯醚 Octabromodiphenyl ether .....	294
附錄 8.5 九溴二苯醚 Nonabromodiphenyl ether .....	299
附錄 8.6 十溴二苯醚 Decabromobiphenyl ether .....	303
附錄 8.7 全氟己烷磺酸 Perfluorohexanesulfonic acid .....	309
附錄 8.8 土臭素 Geosmin .....	313
附錄 8.9 二甲基異莰醇 2-Methylisoborneol .....	316

## 圖次

圖 2.1-1 美國篩選作業記事.....	16
圖 2.2-1 篩選作業示意圖.....	18
圖 5.2-1 可做飲用水使用之簡易自來水系統縣市分佈圓餅圖.....	101
圖 5.2-2 可做飲用水使用之簡易自來水系統水源種類統計圓餅圖.....	102
圖 5.2-3 可做飲用水使用之簡易自來水系統處理程序統計圓餅圖.....	102
圖 5.3-1 做飲用水使用之簡易自來水大腸桿菌群抽驗不合格鄉鎮市分布.....	107
圖 5.3-2 做飲用水使用之簡易自來水總菌落數抽驗不合格鄉鎮市分布.....	107
圖 5.3-3 抽驗糞生大腸桿菌群檢出大於國際管制最小值縣市分布.....	114
圖 5.3-4 抽驗大腸桿菌檢出大於國際管制最小值縣市分布.....	115
圖 7.1-1 世界衛生組織「飲用水水質指引」架構.....	163
圖 7.5-1 日本飲用水標準列管流程.....	175

## 表次

表 1.1-1 篩選作業原則建立以前環保署計畫（2003 年至 2013 年）研究評估之物質及列管情形 .....	8
表 2.1-1 美國管制決策摘要 .....	16
表 2.3-1 本計畫參考國內外法規列表 .....	21
<b>表 2.3-2 111 年初步蒐集清單 411 項物質 .....</b>	<b>22</b>
表 2.4-1 第二版蒐集清單物質（71 項） .....	24
表 2.4-2 健康危害潛勢分數的換算表格 .....	27
表 2.4-3 健康危害嚴重性量化評分表 .....	28
表 2.4-4 污染物出現普遍性及濃度量化分數表 .....	29
表 2.4-5 模式分數與納入觀察清單與否 .....	29
表 2.4-6 評估是否增加關注程度之蒐集清單項目(37 項)簡單線性模式計算結果 ..	30
表 2.4-7 106 年至 111 年 NDMA 、 NDEA 、 NPYR 檢測結果 .....	31
表 2.4-8 108 年至 111 年 PFOA 、 PFOS 、 PFHxS 抽驗結果高於國際管制值的點位資訊 .....	32
<b>表 2.4-9 111 年蒐集清單物質列表（66 項） .....</b>	<b>33</b>
表 2.5-1 觀察清單變動歷史 .....	39
表 2.5-2 97-111 年我國淨水廠清水中甲醛檢測結果 .....	40
表 2.5-3 100-110 年我國淨水廠清水中鎘檢測結果 .....	41
表 2.5-4 111 年觀察清單物質（14 項） .....	42
表 2.5-5 觀察清單物質於國際上管制情況 .....	43
表 2.5-6 建議檢測淨水場 .....	45
表 2.5-7 觀察清單物質監測計畫執行概況 .....	46
表 2.6-1 97-111 年飲用水中微囊藻毒-LR 型檢測結果 .....	47
表 2.6-2 97-111 年飲用水中鉈檢測結果 .....	48
表 2.6-3 97-111 年飲用水中鄰苯二甲酸二丁酯檢測結果 .....	49
表 2.6-4 97-111 年飲用水中 1,2- 二溴乙烷檢測結果 .....	50
表 2.6-5 97-111 年飲用水中碲檢測結果 .....	51
表 2.6-6 97-111 年飲用水中硼檢測結果 .....	52
表 2.6-7 97-111 年飲用水中 N- 亞硝二甲胺檢測結果 .....	53
表 2.6-8 97-111 年飲用水中 N- 亞硝二乙胺檢測結果 .....	54
表 2.6-9 97-111 年飲用水中 N- 亞硝基吡咯烷檢測結果 .....	55
表 2.6-10 97-111 年飲用水中全氟辛烷磺酸檢測結果 .....	56
表 2.6-11 97-111 年飲用水中全氟辛烷磺酸檢測結果 .....	57
表 2.6-12 97-111 年飲用水中全氟辛烷磺酸檢測結果 .....	57

表 2.6-13 97-111 年飲用水中鉻檢測結果 .....	58
表 2.6-14 97-111 年飲用水中鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯檢測結果 .....	59
表 2.6-15 97-111 年飲用水中觀察清單物質檢測樣品數量 .....	60
表 2.6-16 97-111 年飲用水中觀察清單物質檢測結果大於國際管制最小值之樣品及比例 .....	61
表 2.7-1 93-111 年 DEHP 檢出濃度大於 0.006 mg/L 之點位 .....	62
表 3.2-1 本年度優先評估物質採樣淨水場名單 .....	74
表 3.2-2 多溴二苯醚類固相萃取方法參數 .....	75
表 3.2-3 多溴二苯醚類 MS/MS 參數 .....	76
表 3.2-4 多溴二苯醚類 MS 參數 .....	76
表 3.2-5 多溴二苯醚類 UPLC 參數 .....	76
表 3.2-6 多溴二苯醚類之偵測極限與定量極限 LOQ (ng/L) .....	77
表 3.3-1 採樣當週各淨水場區域之累積雨量 .....	78
表 3.3-2 111 年採樣淨水場水質參數 .....	80
表 3.3-3 111 年優先評估物質三次採樣檢測結果 .....	82
表 4.1-1 本計畫抽驗之物質於飲用水列管項目篩選作業之評估位階 .....	86
表 4.1-2 本計畫抽驗未列管新興污染物於國際上管制情況 .....	87
<b>表 4.2-1 各檢測項目之檢測方法一覽表 .....</b>	<b>89</b>
表 4.2-2 各檢測項目分析之主要儀器設備一覽表 .....	90
表 4.3-1 本計畫抽驗分析數據品保品管數據 .....	91
表 4.4-1 飲用水水質或水源水質中未列管之新興污染物抽驗規劃 .....	92
表 4.5-1 抽驗結果均低於定量極限或偵測極限之項目 .....	94
表 4.5-2 抽驗結果有檢出之項目 .....	97
表 4.5-3 高於國際管制值最小值之點位 .....	98
表 5.1-1 台灣自來水供水普及率 .....	99
表 5.3-1 近 10 年作飲用水使用之簡易自來水之飲用水水質列管項目檢測數 .....	105
表 5.3-2 近 10 年作為飲用水使用之簡易自來水列管水質項目檢測不合格結果 .....	106
表 5.3-3 近 10 年環保署管制抽驗簡易自來水之未列管水質項目檢測數 .....	111
表 6.1-1 水回收再利用的優勢和挑戰 .....	119
表 6.1-2 直接和間接水回收再利用案例(WHO, 2017) .....	120
表 7.1-1 我國飲用水水質標準與 WHO 指引值比較 .....	165
表 7.2-1 歐盟「飲用水指令」管制項目與我國管制標準比較 .....	167
表 7.2-2 歐盟「飲用水指令」指標參數管制項目與我國管制情況 .....	168
表 7.3-1 美國飲用水水質主要標準管制項目與我國管制標準比較 .....	170
表 7.3-2 美國飲用水水質次要標準管制項目與我國管制標準比較 .....	172
表 7.4-1 我國飲用水水質標準與澳洲指引值比較 .....	174
表 7.5-1 日本飲用水水質標準管制項目與我國管制標準比較 .....	176

表 7.5-2 日本「水質管理目標設定項目」與我國管制標準比較.....	178
表 7.5-3 我國飲用水水質標準與 WHO、歐盟、美國、澳洲、日本標準或指引值 比較 .....	179
表 8.1-1 微生物指標比較表.....	182
表 8.1-2 各國對大腸桿菌群、糞便型大腸桿菌、大腸桿菌、腸球菌、 <i>Clostridium perfringens</i> 的管制情形.....	183
表 8.1-3 大腸桿菌群、糞生大腸桿菌群、大腸桿菌及腸球菌環檢所公告方法彙整 .....	185
表 8.1-4 <i>Clostridium perfringens</i> 市售固態培養基成分(pH 為 $7.6 \pm 0.2$ ).....	186
表 8.1-5 105 年至 110 年環保署抽驗飲用水大腸桿菌群檢測結果.....	186
表 8.1-6 微生物指標採樣點位及挑選原因.....	187
表 8.1-7 本計畫採用大腸桿菌群分析方法 E230.55B 及 E237.53B 比較.....	189
表 8.1-8 微生物指標採樣結果（單位均為 CFU/100 mL）.....	191
表 8.2-1 歷年未列管染物及列管物質毒理資料庫新增與更新項目 .....	193

## 報告大綱

本計畫報告內容主要分成八章，第一章前言介紹計畫背景、目標、計畫內容及工作執行架構。本計畫工作內容主要分成四大項：

一、彙整國際飲用水管理相關法規制度發展趨勢，建議我國飲用水管制精進策略。

二、辦理飲用水未列管新興污染物質篩選及抽驗作業，更新各階段關注清單，研提我國飲用水管制標準修正建議。

三、評估我國簡易自來水水質狀況，研提管理建議。

四、彙整國際飲用水微生物標準或指標檢測方式，評估適合本土之微生物指標。

第二章說明我國飲用水列管項目篩選作業流程，更新初步蒐集清單、蒐集清單、觀察清單、候選清單等，並彙整蒐集清單，觀察清單、候選清單近十年我國淨水場水質資料，提出觀察清單物質後續監測建議。

第三章說明初步蒐集優先評估物質之調查與評估結果，本年度篩選 6 項多溴二苯醚類於六處淨水場進行 3 次採樣分析，其中 2 座淨水場進行全流程濃度調查，並建立 6 項多溴二苯醚類物質毒理資料庫列於附錄八。

第四章彙整本年度未列管新興污染物抽驗結果。本年度執行 26 項未列管新興污染物共 3340 處次，檢測方法、檢測儀器、抽驗點位選擇、品保品管以及抽驗結果與討論等相關資訊列於第四章，並據以提出後續抽驗建議。

第五章彙整近十年簡易自來水系統飲用水水質，包含列管物質及未列管新興汙染物檢測結果，並針對後續管理提出建議。

第六章針對極端氣候因應方式本計畫彙整國際上以飲用水為目的之水回收再利用相關作法與案例。

第七章彙整國際飲用水管理法規制度，包含世界衛生組織、美國、歐盟、日本、澳洲的管制作法，針對美國及日本概述其列管物質篩選流程，並比較我國水質標準與國際的差異。

第八章包含飲用水生物性指標檢測結果與討論，毒理資料庫之建立，以及進度及查核重點。

第九章則為本計畫執行之結論與建議，接著是參考文獻。各階段工作審查會議之審查意見回覆列於附錄一，專家諮詢會議紀錄則列於附錄二。

## 計畫成果摘要（詳細版）

計畫名稱：111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫

計畫執行單位：國立成功大學

計畫主持人（包含協同主持人）：黃良銘特聘教授，林財富  
特聘教授，王根樹教授，陳婉如副教授

計畫期程：2022/3/18~2022/11/30

計畫經費：7,610,000 元

### 摘要

本計畫辦理飲用水列管物質篩選作業，優先評估 6 項多溴二苯醚類，於我國 6 座代表性淨水場進行監測及資料蒐集，三次採樣結果均未檢出，顯示此 6 項多溴二苯醚類於我國暫無顯著風險。本年度彙整蒐集清單毒理資料及本土淨水廠檢測資料，經專家會議討論評估後將 N-亞硝基吡咯烷及全氟己烷磺酸納入觀察清單。此外原觀察清單中之甲醛及鎵，評估歷年檢測資訊後考量現有檢測數據足夠且結果顯示於我國飲用水中暫無顯著危害，經專家會議討論後，此二項物質改列蒐集清單，以有效運用檢測能量。本計畫抽驗飲用水中 26 項未列管新興污染物共 3340 處次，結果顯示有 14 項污染物均低於定量極限或偵測極限，其他檢出之污染物濃度也極低，僅鋒、硼、Geosmin、全氟化合物有少數樣品有較高檢出濃度，須持續監測。此外亦評估 6 種國際常用微生物指標於我國 20 處次配水樣品的檢出情況，僅一配水點可能因於餘氯低，檢出大腸桿菌群，顯示維持自由有效餘氯仍是重要減少配水中微生物的重要措施，此外建議建議參考國際管制趨勢，以管制大腸桿菌取代現有專一性較差之大腸桿菌群。本計畫彙整近十年簡易自來水場飲用水水質，結果顯示不合格或高於國際管制值最小值的項目主要為微生物指標（總菌落數、大腸桿菌群、糞生大腸桿菌群、大腸桿菌等），建議增設消毒處理程序。此外建議針對抽驗數據不合格之點位應持續追蹤以釐清是否為偶發事件，抑或需要調整處理流程。針對極端氣候因應方式部分本計畫彙整國際上以飲用水為目的之水回收再利用相關作法與案例，除技術及行政管理上的作為外，公眾溝通在水回收利用上亦扮演關鍵角色。

This project implemented contaminants screening process of drinking water quality regulation. Six unregulated polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) were selected for evaluation. Their concentration was monitored in six representative drinking water treatment plants, and their health risk in drinking water system in Taiwan were evaluated. Results indicated that there is no significant risk of these 6 compounds on drinking water in Taiwan. This project also collected the toxicity information and monitoring histories of unregulated contaminants in Preliminary Contaminant Candidate List (PCCL) to evaluate if the concern level of some chemicals should be increased to Contaminant Candidate List (CCL). After evaluation, concern level of NPYR and PFHxS were increased from PCCL to CCL. In addition, this project inspected 26 unregulated compounds of emerging concern in drinking water and got 3340 data in total. There were 14 compounds with monitoring results all below detection or quantification limitation. The other compounds with detection values were at very low concentration level. There were only few samples with higher concentration on germanium, boron, Geosmin, and per- and polyfluorinated chemicals (PFCs). It is suggested to monitor them continuously. Besides, this project evaluated 6 different microbial indicators at 20 sampling points in water distribution system. Only one sample detected total coliform, which may result from low free residual chlorine. Results indicated that maintain free residual chlorine is important strategy to reduce microorganism in water distribution system. In addition, it is suggested to regulate E. coli rather than total coliform, which has less specificity. Drinking water quality data of small drinking water system in ten years were collected. High risk was found with microbial inciters. Therefore disinfection system was suggested to implement. Regarding to the drinking water management regulation and respondences to extreme climate, this project reviewed potable water reuse cases apply in other countries. Public communication is one of key factor of successful implement except for technologies and management aspect.

## 前　　言

飲用水的安全為民眾健康保護中重要的一環，而飲用水平質之確保，向來為我國政府施政之重點工作之一。臺灣地區人口眾多，降雨量雖不少，但因山高水急，水資源蓄積不易，部分地區枯水季時，尚有缺水之虞，加上臺灣地小人稠，水源區與經濟活動區域不易區隔，水源集水區或保護區管理不易，致使飲用水水源有遭受污染的風險。環保署為維護國人飲用水安全，針對飲用水水源及飲用水水質分別訂定「飲用水水源水質標準」與「飲用水水質標準」。

然而隨著科技發展，產生許多新興污染物（Compounds of Emerging Concern，例如目前尚未管制之疑似環境荷爾蒙物質、部份農藥、揮發性有機物與微生物等），為保障國人飲用水安全，環保署持續執行各項新興污染物採樣監測及背景資料調查分析，並逐年檢討修訂飲用水及飲用水水源管制標準。

本計畫主要目的為執行飲用水列管項目篩選作業，針對較具潛在風險之污染物於淨水場中進行監測分析、抽驗、建立毒理資料庫，探討其於國內之健康風險，此外更新飲用水列管項目之毒理資料，並蒐集分析國際組織及先進國家飲用水管理相關法規制度推動現況，提出精進建議。

## 執行方法

本計畫工作項目可分成四大項：

一、彙整國際飲用水管理相關法規制度發展趨勢，建議我國飲用水管制精進策略。

二、辦理飲用水未列管新興污染物質篩選及抽驗作業，更新各階段關注清單，研提我國飲用水管制標準修正建議。

三、評估我國簡易自來水水質狀況，研提管理建議。

四、彙整國際飲用水微生物標準或指標檢測方式，評估適合本土之微生物指標。

針對第一項主要工作項目蒐集研析世界衛生組織、歐盟、美國、澳洲及日本等國際組織或先進國家之飲用水水質標準管制現況，並與我國飲用水水質標準進行彙整比較。此外針對極端氣候因應方式部分本計畫彙整國際上以飲用水為目的之水回收再利用相關作法與案例，

針對第二項主要工作項目，本計畫依據環保署於 102 年執行「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」，建立之作業流程與評估系統，收集先進國家及國際組織飲用水水質標準管制項目或訂定指引值之項目，以更新初步蒐集清單。

本年度優先評估六項多溴二苯醚類物質（包含五溴二苯醚、六溴二苯醚、七溴二苯醚、八溴二苯醚、九溴二苯醚、十溴二苯醚），並針對北、中、南地區 6 個代表性淨水場（基隆新山淨水場、台北直潭淨水場、台北板新淨水場、新竹第二淨水場、台中豐原第二淨水場、高雄坪頂淨水場）進行 3 次水質檢測，分別採集各淨水場原水及清水樣品，淨水場選取之考量為：

- 一、供水量及供水人口較大者
- 二、水源可能受到污染。

此外本計畫抽驗 26 項新興污染物，依抽驗污染物特性選定抽驗之淨水場，抽驗結果以檢出濃度大於國際上已有之管制值、指標值或指引值之最小值發生率評估該污染物於我國淨水場的潛在風險。

第三項主要工作項目本計畫彙整近十年簡易自來水場飲用水水質，包含列管物質及未列管新興汙染物檢測結果，並針對後續管理提出建議。

第四項主要工作項目則評估國際上常用之生物性參數，辦理 20 處次大腸桿菌群(Coliform Group)、糞便性大腸桿菌群(Fecal Coliform)、大腸桿菌(E. coli) 及 腸球菌(Intestinal enterococci) 及 Clostridium perfringens 的檢測分析。

## 結 果

本計畫執行飲用水水質標準管制項目篩選作業，彙整蒐集清單、觀察清單、候選清單物質歷年淨水場監測數據，並據以更新初步蒐集清單、蒐集清單、觀察清單項目。本年度優先評估物質包含 6 項多溴二苯醚類，五溴二苯醚(BDE-99)、六溴二苯醚(BDE-153)、七溴二苯醚(BDE-183)、八溴二苯醚(BDE-197)、九溴二苯醚(BDE-206)、十溴二苯醚(BDE-209) 等 6 項污染物在本年度三次採樣(5 月、7 月、9 月)於北、中、南 6 處淨水場(新山、直潭、板新、新竹第二、豐原第二、坪頂)檢測之原水與清水中皆無檢出(ND)，而新山及坪頂淨水場之流程水(沈澱及過濾)亦無檢出此 6 項多溴二苯醚。抽樣結果顯

示，多溴二苯醚類化合物，雖在國內多條河川調查中存在於底泥、沈積物及魚體中(109 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫，化學局)，但因其具備水溶性低的特性(除七溴二苯醚及九溴二苯醚未找到水中溶解度相關資訊外，其他四項多溴二苯醚類的水中溶解度介於 0.1-13.3 ug/L，較不易釋放至水中，但因上述溶解度均高於本計畫分析的偵測極限 0.6-2.45 ng/L)，若水中含有多溴二苯醚類仍有機會檢出。本計畫北中南三地六座代表性淨水場三次採樣，在原水中均無檢出，顯示多溴二苯醚類對我國飲用水安全暫無顯著危害，因此為無需急迫關切的物質，後續暫無持續監測之必要。

本年度計畫經第一次專家會議討論，考量甲醛及鎵已有足夠本土水質資料，且結果顯示於我國飲用水中暫無顯著風險，因此改列蒐集清單。此外，於第二次專家會議評估蒐集清單中是否有物質應增加關注層級，經評估討論後通過蒐集清單中 NPYR 及 PFHxS 應納入觀察清單，故「111 年蒐集清單」維持 66 項。觀察清單部分，甲醛及鎵改列蒐集清單，此外新增 NPYR 及 PFHxS，故 111 年觀察清單共計 14 項。

而現階段 13 項觀察清單物質，自來水事業已逐步針對觀察清單物質完成至少一年 4 季監測，後續建議每年針對觀察清單中 5-6 項物質進行一年四季監測，監測項目以新增之觀察清單物質為優先，若無新增項目則監測既有觀察清單物質。建議 112 年監測既有觀察清單物質，硼、鍺、鉈、碲、鄰苯二甲酸二丁酯、DEHP，113 年監測 NDMA、NDEA、NPYR、PFOA、PFOS、PFHxS，114 年監測 1,2-二溴乙烷、微囊藻毒 LR 型、NDMA、NDEA、NPYR。。

本計畫完成抽驗 26 項未列管新興污染物共 3340 處次。1,2-二溴乙烷、壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯、鄰苯二甲酸二乙酯、鄰苯二甲酸二辛酯、嘉磷塞、N-亞硝二甲胺(NDMA)等 8 項物質均未檢出(低於偵測極限)，2-MIB、碲、AMPA、鄰苯二甲酸二丁酯、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯等 6 項物質，雖有檢出，但檢出濃度低於定量極限，顯示上述 14 項物質於我國飲用水中暫無顯著風險。抽驗結果中曾檢出高於定量極限濃度值之項目中鉈、鋰、鈦、微囊藻毒 LR 型雖有檢出，但濃度均低於國際管制值最小值，暫無影響飲用水安全之虞。Geosmin 目前僅二筆數據檢出超過國際最小值之測值，且屬適飲性參數，暫無影響健康之虞，建議持續監測。NDEA、NPYR 國際上未有國家管制其飲用水中的濃度，未有管制值可供比較。然今年

檢出濃度較往年略高，建議持續監測。全氟化物有兩筆數據檢出超過國際管制最小值建議持續監測。

硼於國際管制最嚴謹之標準為歐盟、日本、韓國 ( $1\text{ mg/L}$ )，本年度針對硼抽驗有 3 次檢出值略高於國際管制值最小值，濃度值最高為  $1.24\text{ mg/L}$ ， $107$  年、 $109$  年、 $110$  年抽驗亦分別有 3-6 筆檢測測值大於  $1\text{ mg/L}$ ，均發生於澎湖及連江（離島）的淨水廠（表 4.5.3），部分推測可能與海水含硼有關。然而檢出值均小於  $1.3\text{ mg/L}$ ， $1\text{ mg/L}$  為國際管制或指引值的最小值，部分國家的管制值介於  $1.4$  到  $5\text{ mg/L}$ ，顯示硼於我國離島淨水廠的風險尚在可接受範圍，然仍應繼續監測。

本計畫針對大腸桿菌群 (Coliform Group)、糞便性大腸桿菌群 (Fecal Coliform)、大腸桿菌 (E. coli)、腸球菌 (Intestinal enterococci)、Clostridium perfringens 等 5 項生物性參數進行分析。分析結果顯示腸球菌及 Clostridium perfringens 均未檢出。糞生大腸桿菌群及大腸桿菌分別各僅一處檢出 ( $1\text{-}2\text{ CFU}/100\text{ mL}$ )，且雙重複樣品僅一個樣品有檢出。大腸桿菌群採用環檢所公告 2 種大腸桿菌群之檢測方法，共三處檢出，其中配水點過港僅採用 E230.55B 分析方法有檢出， $2\text{ CFU}/100\text{ mL}$ ，且雙重複樣品僅一個樣品有檢出；而配水點崇文僅採用 E237.53B 分析方法有檢出， $1\text{ CFU}/100\text{ mL}$ ，且雙重複樣品僅一個樣品有檢出，採用兩種分析方法的檢測結果差異不大。配水點信三以環檢所公告 2 種大腸桿菌群之檢測方法，結果有顯著差別，採用 E230.55B 分析方法平均測值為  $40.5\text{ CFU}/100\text{ mL}$ ，採用 E237.53B 分析方法則未檢出 ( $<1\text{ CFU}/100\text{ mL}$ )，此分析結果的差異可能原因包含：(1) 此二方法在設計上有相當程度的差異，(2) 過濾時的樣本差異，(3) 金屬光澤或藍色/紅色菌落的判斷可能存在主觀意識，進而造成差異，(4) 目標培養菌群為大腸桿菌群，檢測方法本身目標即非單一菌群，專一性較差。建議參考國際管制趨勢，以管制大腸桿菌取代現有專一性較差之大腸桿菌群。此外配水點（信三）檢出較高總菌落數及大腸桿菌群，可能因基隆市受乾旱影響，該點餘氯亦較低，顯示維持自由有效餘氯仍是重要減少配水中微生物的重要措施。

## 結 論

本計畫辦理飲用水列管物質篩選作業，優先評估 6 項多溴二苯醚類，於我國 6 座代表性淨水場進行監測及資料蒐集，三次採樣結果均

未檢出，顯示此 6 項多溴二苯醚類於我國暫無顯著風險，因此為無需急迫關切的物質，後續暫無持續監測之必要。

本年度更新各階層關注清單，並彙整蒐集清單毒理資料及本土淨水廠檢測資料，經專家會議討論評估後將 N-亞硝基吡咯烷及全氟己烷磺酸納入觀察清單。此外原觀察清單中之甲醛及鎵，評估歷年檢測資訊後考量現有檢測數據足夠且結果顯示於我國飲用水中暫無顯著危害，經專家會議討論後，此二項物質改列蒐集清單，以有效運用檢測能量。

本計畫抽驗飲用水中 26 項未列管新興污染物共 3340 處次，結果顯示有 14 項污染物均低於定量極限或偵測極限，其他檢出之污染物濃度也極低，僅鋒、硼、Geosmin、全氟化合物有少數樣品有較高檢出濃度，須持續監測。

微生物指標於我國 20 處次配水樣品的檢出情況顯示僅一配水點可能因於餘氯低，檢出大腸桿菌群，顯示維持自由有效餘氯仍是重要減少配水中微生物的重要措施。十年簡易自來水場飲用水水質結果顯示亦顯示不合格或高於國際管制值最小值的項目主要為微生物指標（總菌落數、大腸桿菌群、糞生大腸桿菌群、大腸桿菌等），與是否有消毒單元或消毒單元是否有妥適操作有關。

針對極端氣候因應方式部分本計畫彙整國際上以飲用水為目的之水回收再利用相關作法與案例，除技術及行政管理上的作為外，公眾溝通在水回收利用上亦扮演關鍵角色。短時間內台灣飲用水透過水資源的調配使用，尚可提供足夠飲用水，短期內廢水回收主要做工業用水使用，然未來氣候變遷影響程度尚無法完全預期掌握，於技術層面可參考國際現有之成熟技術，而公眾溝通對台灣未來若要使用水回收作飲用水用會是較大的挑戰。

## 建議事項

針對國飲用水中水質標準中生物性指標建議以大腸桿菌取代大腸桿菌群作管制，未來若要進行修訂應亦一併考量飲用水水源水質標準中生物性指標。

未列管新興汙染物抽驗結果顯示澎湖望安、馬公及馬祖南竿地區三處飲用水系統中檢測出硼濃度超過國際管制值 1 mg/L，但其濃度均

小於 1.3mg/L，在可接受範圍內，未來可考慮針對海淡廠供水系統的水質管理制定相關規範。

簡易自來水系統管理部分，考量簡易自來水供水水質管理採簡易自來水管理委員會自主管理方式為主，對消毒劑添加於供水系統之必要性認知相當欠缺，管理習慣上不採用消毒處理設施居多，故水質不合格事件多為生物性指標超標所致，於暴雨或颱風期間水質惡化時，建議地方環保單位可加強檢測簡易自來水系統供水水質，並宣傳民眾飲水煮沸後飲用等措施，以提升簡易自來水水質稽核管制績效，或可提供簡易水質檢測工具或設備給系統維管人員，減少地方環保單位人力壓力。

未來若考慮採用水回收作飲用水使用，建議應逐步建立我國民眾的接受度，並先採用間接水回收再利用，補注地下水或導入水庫再自淨，提高民眾接受度。

# 第一章 前言

## 1.1 計畫背景

為提升飲用水安全，美國、日本、澳洲與紐西蘭等世界主要國家均針對飲用水之管理制定相關法令或指導方針，而多數國家制定飲用水管理相關法規或標準時，經常參酌世界衛生組織(World Health Organization, WHO)所出版之飲用水水質準則(Guidelines for Drinking-water Quality)，再依據各國本身的地理條件、民眾認知、經濟、文化、民意等差異，採用風險—效益分析方法(risk-benefit approach)，訂定及持續檢討修訂該國家之飲用水水質標準的管制項目與最大限值，故各國飲用水水質標準之管制項目和標準值並未全部相同。

我國環保署為維護國人飲用水安全針對飲用水水源及飲用水水質分別訂定「飲用水水源水質標準」與「飲用水水質標準」。然而為因應近年來國內生活水準普遍提升，民眾對水質、水量及服務品質等需求增加之外，並考量科技日新月異，新興污染物(Compounds of Emerging Concern)可能有影響飲用水安全之虞，飲用水水源與飲用水水質標準實有必要持續檢討與修訂。以美國為例，美國環保署(US EPA)依安全飲用水法案(Safe drinking water act, SDWA)分別於 1998 年、2005 年、2009 年、2016 年建立 4 個污染物候選清單 (Contaminant Candidate List, CCL)，命名為 CCL1、CCL2、CCL3 和 CCL4，作為優先檢討是否要列入管制的污染物，並且規劃未列管污染物監測計畫(Unregulated Contaminant Monitoring Program, UCM)，以每五年一個循環，每個循環監測不超過 30 項未列管污染物項目，監測項目以污染物候選清單項目優先。2018 年美國環保署開始著手進行 CCL5 污染物的提名(nominations)，並於 2021 年提出 CCL5 草稿，2022 年針對 CCL5 草稿項目的合適性於科學諮詢委員會(Science Advisory Board, SAB)舉行諮詢會議。

我國環境保護署近年持續參酌國際飲用水安全管理相關法令之修訂趨勢，檢討及研訂飲用水管理相關管制標準與執行各項新興污染物背景資料調查分析，並

據以逐年檢討修訂飲用水平管制標準。過去飲用水平管制工作，多著重於傳統之管制項目評析及其允許存在之濃度多寡。近年來，在環境品質提升之觀念上有重大改變，從傳統消極的管制手段到事先積極的進行全面性的評估，進而提出一套標準執行程序來降低民眾遭受健康危害的風險。

為持續檢討國內飲用水水質標準，提供臺灣民眾飲用水的安全性，環保署自 2003 年起委託相關領域的專家學者組成研究團隊來針對飲用水中可能會引起人體健康潛在風險的污染物進行相關資料蒐集和健康風險評估，並進行飲用水中欲列管項目的評估與現行標準之檢討修訂。首先於 2003 年執行「飲用水水質標準中生物性及適飲性標準管制項目及標準之評估」計畫，針對飲用水中生物性污染物和適飲性管制項目進行評估。研究結果顯示在生物性指標方面，建議大腸桿菌群的管制值修正為「不得檢出」，並建議增訂糞生大腸桿菌群亦為「不得檢出」；而在適飲性指標中修訂硬度和總溶解固體為 250 mg/L (as CaCO<sub>3</sub>) 與 450 mg/L，並建議新增五種水質處理藥劑，包含石灰（軟化）、蘇打（軟化）、亞氯酸鈉（消毒）、矽酸鈉（混凝）和氯化鈣（控制腐蝕和調整酸鹼值）。

2004 年執行「飲用水水質標準中影響健康管制項目（戴奧辛、農藥、含鹵乙酸）之評估」計畫，針對戴奧辛、農藥和含鹵乙酸進行納入管制項目的可行性評估，研究結果提出戴奧辛的管值限制值建議 12 pg-TEQ/L，並於 2009 年公告施行；在農藥方面，提出培丹(Cartap)、陶斯松(Chlorpyrifos)、大滅松(Dimethoate)、嘉磷塞(Glyphosate)、五氯酚(Pentachlorophenol)、福瑞松(Phorate)、托福松(Terbufos)的建議管制標準值和管制期程，並針對臺灣已有標準且持續使用中之農藥項目重新評估，計算其標準值及提出合理之修改期程。在鹵乙酸部份則建議管制一氯乙酸(Monochloroacetic acid, MCAA)、二氯乙酸(Dichloroacetic acid, DCAA)、三氯乙酸(Trichloroacetic acid, TCAA)、一溴乙酸(Monobromoacetic acid, MBAA)、二溴乙酸(Dibromoacetic acid, DBAA)等 5 項化合物(HAA5)濃度之總和為 0.06 mg/L，並於 2014 年公告施行。為提供自來水事業緩衝調整時間 2014 年 7 月至 2015 年 6 月五

項鹵乙酸總合限值為 0.08 mg/L，自 2015 年 7 月起五項鹵乙酸總合限值則為 0.06 mg/L。

2007 年至 2009 年執行之「飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫」，針對飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫進行三年的研究。三年間建立了三階段的「新增未列管污染物觀察清單(CCLs)」，分別為 30 項的 CCL1、20 項的 CCL2 和 19 項的 CCL3，並針對臺灣幾座淨水場進行目標污染物在原水和清水中的檢測分析。此研究更進一步建立了化學物質風險評估與微生物風險評估之流程與步驟，且根據採樣分析結果瞭解到目前國內淨水場的傳統處理程序無法有效地去除消毒副產物和持久性難分解有機物，如雙酚 A 和壬基酚。亦完成了 CCL1 中 30 項污染物的處理程序的成本試算，並提出以臭氧氧化、活性碳吸附處理的成本較經濟可行。最後並提出「飲用水水質未列管污染物監測作業要點」與「飲用水水質重複採樣檢測準則」之建議。

2010 年至 2013 年環保署執行「飲用水水源與水質中新興污染物對人體健康風險評估之研究計畫」，針對飲用水水源及水質標準中新興污染物進行四年的人體健康風險評估。前兩年主要是針對高科技產業所帶來的新興污染物分別提出 37 項和 38 項納入初步觀察清單中並進行評估，第三、四年則是增納 36 項近年來常用的清潔用品、藥物及醫療保健用品及消毒副產物。此計畫並參考美國環保署的候選清單篩選流程，研擬適用於我國民情之篩選流程草案，並建立 92 項目標物質的毒理資料庫。根據四年研究結果建議環保署對鹵乙酸、揮發性有機物和鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(di(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP)儘速列入管制項目。針對 14 項水中高出現頻率的藥物如乙醯胺酚(Acetaminophen)、布洛芬(Ibuprofen)、N,N-二乙基間甲苯胺(N,N-Diethyl-meta-toluamine, DEET)、羥苯甲酮(Oxybenzone)、對羥基苯甲酸甲酯(Methylparaben)、對羥基苯甲酸乙酯(Ethylparaben)、對羥基苯甲酸丙酯(Propylparaben)、二氯乙腈、溴氯乙腈、三氯乙腈、二溴乙腈、二氯丙酮、三氯丙酮及水合氯醛建議進行必要的監測以評估其在飲用水中出現的潛在健康危害。

2012 年底至 2014 年執行「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」，依據「行政院環境保護署飲用水列管項目篩選作業原則（草案）」、參考美國環保署建立飲用水列管項目篩選流程和評分機制，擬定飲用水列管項目篩選作業機制與流程，並據以執行，建立初步蒐集清單、蒐集清單及觀察清單。於篩選作業原則建立以前環保署計畫（2003 年至 2014 年）研究評估之物質及目前列管情況列於表 1.1-1。

2014 年至 2016 年「飲用水水源及水質標準項目之調查及評估」持續推動執行飲用水列管項目之篩選作業，更新初步蒐集清單、蒐集清單及觀察清單物質，並彙整 103 年觀察清單物質監測結果，檢測數據顯示氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、鄰苯二甲酸二甲酯、微囊藻毒 LR 型、壬基酚等物質於臺灣之飲用水中發生的頻率和強度現階段沒有影響公共健康的疑慮，暫無納入候選清單考慮管制的必要性。此外第一年針對 8 項可能影響飲用水安全之農藥項目進行評估與監測（包含：加保利、賽滅寧、芬殺松、固殺草、賓克隆、百滅寧、托福松、甲基多保淨），第二年自初步蒐集清單中篩選擇發性有機物質進行評估（包含：1,2-二溴乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、六氯苯、六氯環戊二烯），第三年則以金屬物質（鉍、硼、鈷）、全氟碳化合物（全氟辛烷酸、全氟辛烷磺酸）及生物性指標（大腸桿菌、糞便性大腸菌群）作為評估項目並建立毒理資料庫。該計畫亦檢討臺灣現行飲用水水源水質標準、現行飲用水水質標準管制項目中之影響健康物質之管理方式及管制限值以及飲用水水質標準第四條等，以及水源保護區農藥使用之管理與規範。

2017 年「106 年飲用水新興污染物研究與水質管理」持續推動執行飲用水列管項目之篩選作業，更新初步蒐集清單、蒐集清單及觀察清單物質，把硼、N-亞硝二甲胺、N-亞硝二乙胺、鄰苯二甲酸二丁酯、全氟辛烷酸、全氟辛烷磺酸等六項物質納入觀察清單。另抽驗飲用水中 25 項未列管新興污染物，其中僅鄰苯二甲酸二(乙基己基)酯曾檢出高於國際上部分國家管制標準之測值，彙整歷年檢測結果後納入候選清單，進一步評估是否應納入我國飲用水水質標準進行管制。

2018 年「107 年飲用水新興污染物研究與水質管理」計畫評估 6 項個人保健用品及環境用藥（包括吲哚美辛、礦胺甲噁唑、礦胺噻唑、氟甲喹、克拉黴素、雙氯芬酸）於我國飲用水中之風險，結果顯示此六項物質在我國飲用水均無顯著風險。此外抽驗飲用水中 35 項未列管新興污染物，氯苯、乙苯、苯乙烯、六氯苯、陶斯松、鋅錳乃浦、托福松、加保利、壬基酚、雙酚 A、賽滅寧、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、甲基第三丁基醚、1,2,3-三氯丙烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、N-亞硝二甲胺(NDMA)、N-亞硝二乙胺(NDEA)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二甲酯、微囊藻毒 LR 型、鉛、鈸、N-亞硝基吡咯烷、鄰苯二甲酸二乙酯、鄰苯二甲酸二辛酯、甲基多保淨、固殺草、愛殺松、嘉磷塞、鎵、鄰苯二甲酸二丁酯、甲醛、鋒等 34 個檢測項目於我國淨水場中大於國際管制標準最小值的發生率均為 0。鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯及硼曾檢出高於國際上部分國家管制標準之測值，檢出之樣品分別有 1 % 及 3% 高於最低國際管制標準，目前鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯已納入候選清單，而硼則納入觀察清單，持續評估國內飲用水中之風險。

2019 年「108 年飲用水新興污染物研究與水質管理計劃」評估 6 項重金屬（包括釩、鎫、鋨、鋰、鉻、鈦）於我國飲用水中之風險，結果顯示除鋰以外 5 項優先評估物質現階段於我國淨水場無顯著風險，鋰則建議納入蒐集清單持續觀察。此外抽驗飲用水中 39 項未列管新興污染物（鋒、鎵、鈸、硼、鉛、甲醛、N-亞硝二甲胺(NDMA)、N-亞硝二乙胺(NDEA)、N-亞硝基吡咯烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、苯乙烯、氯苯、乙苯、甲基第三丁基醚、1,2,3-三氯丙烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、六氯苯、PFOA、PFOS、PFHxS、甲基多保淨、固殺草、陶斯松、鋅錳乃浦、托福松、愛殺松、加保利、賽滅寧、嘉磷塞、壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯、鄰苯二甲酸二乙酯、鄰苯二甲酸二丁酯、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二辛酯、鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯、微囊藻毒 LR 型），有 28 項污染物均未檢出，其他檢出之污染物濃度也極低，僅全氟化合物有少數樣品有較高檢出濃度，須持續監測。

2020 年「109 年飲用水新興污染物研究與水質管理計劃」評估六項全氟化物（全氟丁酸 (perfluorobutanoic acid, PFBA)、全氟己酸(perfluorohexanoic acid, PFHxA)、全氟庚酸(perfluoroheptanoic acid , PFHpA)、全氟壬酸(perfluorononanoic acid, PFNA ) 、全氟十一烷酸(perfluoroundecanoic acid , PFUnDA)、全氟丁基磺酸 (perfluorobutanesulfonic acid, PFBS)）及七項人體健康用藥和個人保健用品（對羥基苯甲酸甲酯 (methyl paraben)、對羥基苯甲酸乙酯(ethyl paraben)、對羥基苯甲酸丙酯(propyl paraben)、對羥基苯甲酸丁酯(butyl paraben)、乙醯胺酚(acetaminophen)、乙醯水楊酸(阿斯匹靈成分, acetylsalicylic acid)、待乙妥 (diethyltoluamide, DEET) ）於我國飲用水中之風險，結果顯示除乙醯水楊酸及 DEET 以外 11 項優先評估物質現階段於我國淨水場無顯著風險，乙醯水楊酸及 DEET 則建議持續觀察。此外抽驗飲用水中 23 項未列管新興污染物（鋒、鎵、鉈、碲、硼、甲醛、N-亞硝二甲胺 (NDMA)、N-亞硝二乙胺(NDEA)、N-亞硝基吡咯烷、1,2-二溴乙烷、PFOA、PFOS、PFHxS、嘉磷塞、壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯、鄰苯二甲酸二乙酯、鄰苯二甲酸二丁酯、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二辛酯、鄰苯二甲酸二(乙基己基)酯、微囊藻毒 LR 型），有 13 項污染物均低於定量極限或偵測極限，其他檢出之污染物濃度也極低，僅全氟化合物及硼有少數樣品有較高檢出濃度，建議持續監測觀察，了解我國之風險。

2021 年「110 年飲用水未列管新興污染物之水質研究計畫」優先評估 6 項雌激素類固醇(包括雌素酮 (E1)、雌二醇 (E2)、乙炔動情激素 (EE2)、動情素 (estrogens)、黃體素 (progesterins)、炔諾酮 (norethindrone)、甲烴孕酮(medroxyprogesterone))，於我國 6 座代表性淨水場進行監測及資料蒐集，結果顯示此 6 項雌激素類固醇於我國暫無顯著風險。此外抽驗飲用水中 28 項未列管新興污染物，結果顯示有 13 項污染物均低於定量極限或偵測極限，其他檢出之污染物濃度也極低，僅鋒、鉈、硼、2-MIB、全氟化合物有少數樣品有較高檢出濃度，須持續監測。此外亦評估 6 種國際常用微生物

指標於我國停水後復水 20 處次配水樣品的檢出情況，建議持續累積本土微生物指標檢測數據，以評估我國生物性參數標準修正之必要性。

表 1.1-1 篩選作業原則建立以前環保署計畫（2003 年至 2013 年）研究評估之物質及列管情形

計畫名稱	建議之蒐集清單項目	現已列管項目
飲用水水質標準中生物性及適飲性標準管制項目及標準之評估（2003 年）	鹵乙酸、糞生大腸桿菌群、梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲、腸球菌、致病性病原菌	鹵乙酸
飲用水水質標準中影響健康管制項目（戴奧辛、農藥、含鹵乙酸）之評估（2004 年）	戴奧辛、含鹵乙酸、培丹、陶斯松、大滅松、嘉磷塞、五氯酚、福瑞松、托福松	戴奧辛、含鹵乙酸
飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫(1/3)（2007 年）	CCL1：大腸桿菌、糞便性大腸桿菌群、隱孢子蟲、梨形鞭毛蟲、戴奧辛、鹵乙酸、甲醛、亞氯酸根、陶斯松、大滅松、福瑞松、托福松、二氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、順 1,2-二氯乙烯、反 1,2-二氯乙烯、四氯乙烯、一氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯、鋁、壬基酚、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、微囊藻毒-LR 型、雙酚 A	戴奧辛、鹵乙酸、亞氯酸根、二氯甲烷、順 1,2-二氯乙烯、反 1,2-二氯乙烯、四氯乙烯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、甲苯、二甲苯、鋁
飲用水水源及水質標準中列管污染物篩選與監測計畫(3/3)（2009 年）	CCL2：二溴乙腈、二氯乙腈、三氯乙腈、嘉磷塞、五氯酚、1,1,2-三氯乙烷、1,2,4-三氯苯、甲基第三丁基醚、動情激素、雌素酮、雌素醇、乙炔動情激素、鄰苯二甲酸二丁酯、三丁基錫、六氯三磷氮環、多溴聯苯醚、全氟辛烷硫磺酸、全氟辛酸、2-甲基冰片、反-1,10-二甲基-反-9-萘烷醇 CCL3：鎔、鍆、鉑、鉢、銊、釤、碲、鈷、鈦、鎢、錫、釔、乙酸正丁酯、異丙醇、丙酮、氫氟酸、氫氧化四甲基銨、二甲基亞、乙醇銨	無，但已納入飲用水列管項目篩選作業中

表 1.1-1 篩選作業原則建立以前環保署計畫（2003 年至 2013 年）研究評估之物質及列管情形（續）

計畫名稱	蒐集清單項目	現已列管項目
飲用水水源與水質中新興污染物對人體健康風險評估之研究計畫(1/4)(2/4) (2010-2011 年)	鎵、鉑、碲、鍺、銠、釤、鈦、丙烷、正己烷、正庚烷、甲醇、異丙醇、丙酮、丁酮、丁苯、甲基異丁苯、乳酸乙酯、乙酸正丁酯、氫氧化四甲基銨、丙二醇甲醚醋酸酯、丙二醇甲醚、二甲基氧化硫、乙醇胺、N-甲基咯烷酮、鄰苯二甲酸丁酯苯甲酯、全氟辛烷磺酸、全氟辛烷酸、鄰苯二甲酸二辛酯、鄰苯二甲酸二甲酯、鄰苯二甲酸二丁酯、己二酸二辛酯、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、丁基酚、辛基酚、壬基酚、壬基酚二乙氧基醇	無，但已納入飲用水列管項目篩選作業中
飲用水水源與水質中新興污染物對人體健康風險評估之研究計畫(3/4) (2012 年)	布洛芬、乙醯胺酚、凱妥布洛芬、非諾布洛芬、氨基比林、萘普生、四環黴素、羥四環黴素、氯四環黴素、非那雄胺、二苯甲酮、羥苯甲酮、DEET、對羥基苯甲酸甲酯、對羥基苯甲酸乙酯、對羥基苯甲酸丙酯、對羥基苯甲酸丁酯、三氯沙、草脫淨	
飲用水水源與水質中新興污染物對人體健康風險評估之研究計畫(4/4) (2013 年)	歐殺松、亞培松、培丹、益滅松、施得圃、三氯沙、二氯六圜、貝芬替、二氯乙腈、三氯乙腈、溴氯乙腈、二溴乙腈、二氯丙酮、三氯丙酮、水合氯醛、吐納麝香、佳樂麝香、二甲苯麝香、酮麝香、1,2-二氯丙烷、壬基酚聚乙氧基醇、鄰苯二甲酸二甲酯、鄰苯二甲酸二辛酯、氯苯、壬基酚	
推動飲用水列管項目之篩選作業計畫 (2012-2014)	糞生大腸桿菌群、大腸桿菌、隱孢子蟲、梨形鞭毛蟲、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、乳酸乙酯、乙酸正丁酯、氫氧化四甲基胺、二甲基氧化硫、N-甲基-2-吡咯烷酮、丙二醇甲醚、1,1-二氯乙烷、丙二醇甲醚醋酸酯、己二酸二辛酯、全氟辛烷酸、丙烷、正己烷、正庚烷、異丙醇、丙酮、丁酮、丁苯、乙醇胺、苯乙烯、丁基酚、辛基酚、微囊藻毒-LR 型、甲醇、鄰苯二甲酸二丁酯、鄰苯二甲酸丁酯苯甲酯、全氟辛烷磺酸、甲基異丁酮、乙苯、雙酚 A、甲醛、陶斯松、大滅松、福瑞松、托福松、異丁苯丙酸、乙醯氨酚、凱妥布洛芬/苯酮苯丙酸、萘普芬/甲氧鈉丙酸、苯氧苯丙酸、胺基比林、非那雄胺、羥苯甲酮、四環黴素、羥四環黴素、氯四環黴素、二苯甲酮、二乙基間甲苯胺、對羥基苯甲酸甲酯、對羥基苯甲酸乙酯、對羥基苯甲酸丙酯、對羥基苯甲酸丁酯、鎵、鈦、碲、鉑、鍺、釤、鉻等 71 項	

## 1.2 計畫目標

本計畫延續過去環保署執行之計畫所建立之飲用水列管項目篩選作業流程，調查分析未列管之污染物於淨水場原水及清水背景資料，評估新興污染物於我國淨水場之風險，並針對過去計畫中提出較具風險之物質執行飲用水抽驗，供環保署飲用水水質列管項目決策及管制限值制定之依據。此外，並針對現行飲用水水質標準列管項目更新毒理資料。

本計畫目標如下：

- 一、彙整國際飲用水管理相關法規制度發展趨勢，建議我國飲用水管制精進策略。
- 二、辦理飲用水未列管新興污染物質篩選及抽驗作業，更新各階段關注清單，研提我國飲用水管制標準修正建議。
- 三、更新彙編飲用水未列管新興污染物質及列管項目之毒理資料。
- 四、評估我國簡易自來水水質狀況，研提管理建議。
- 五、彙整國際飲用水微生物標準或指標檢測方式，評估適合本土之微生物指標。

## 1.3 計畫內容

- 一、彙整國際飲用水管理相關法規制度發展趨勢，建議我國飲用水管制精進策略。
  - (一) 蒐集分析世界衛生組織、歐盟、美國、澳洲及日本等國際組織或先進國家之飲用水管理相關法規制度、監督與稽查機制、政策計畫推動及水質標準管制等，與我國制度比較並研提管制策略修正建議。
  - (二) 蒐集分析國際因應極端氣候(包括澇、旱等)飲用水管理做法及淨水處理方法差異，進行我國淨水場處理技術及現況評估，建議未來精進方向。
  - (三) 配合機關施政需求及國內外重大飲用水相關議題，提供國內外管制現況及政策說帖。

二、辦理飲用水未列管新興污染物質篩選及抽驗作業，更新各階段關注清單，研  
提我國飲用水平管制標準修正建議。

(一) 參考國際管制模式，適時調整飲用水未列管新興污染物質篩選作業模式，  
並確立各階段關注清單項目降低關注層級之機制。

(二) 從初蒐清單中選取項目，抽驗調查其在本土原水、清水中之濃度，評估危  
害風險及淨水場處理效能。

1. 從初蒐清單中選取項目，抽驗調查至少 6 項飲用水水 質標準未列管項  
目在我國北、中、南或離島代表淨水場飲 用水與水源中之濃度現況  
(至少 6 處淨水場，每一處包含原水及清水各 1 個水樣，另其中 2 處淨  
水場加做流程中 2 個水樣，頻率皆至少 3 次)。
2. 彙整自來水事業及水利署等針對淨水場原水、清水之檢測結果，與機關  
之河川水體環境流布調查結果。
3. 彙編上述物質之毒理資料，具體評估危害風險及淨水場處理效能；針對  
檢出物質進一步研析其可能來源。

(三) 彙整歷年環保署針對蒐集清單物質、觀察清單及候選清單物質於我國淨  
水場清水之檢測結果，建立本土檢測資料庫並進行數據分析。

(四) 研訂觀察清單監測計畫，至少包括執行單位、監測之供 水系統點位、監  
測頻率、期程、檢驗方法等，並蒐集觀察 清單物質之國內運作量資料，  
整合國內外檢驗方法、處理 技術、毒理特性等資料，俾利進行管制評  
估。

(五) 抽驗國內飲用水水質中未列管之新興污染物。

1. 重金屬：抽驗鋅、鉈、鋰、鈦、硼及碲等 6 項各 200 處次。
2. 消毒副產物：抽驗 N-亞硝二甲胺(NDMA)、N-亞硝二乙胺(NDEA)及 N-  
亞硝基吡咯烷等 3 項各 50 處次。
3. 揮發性有機物：抽驗 1,2-二溴乙烷 50 處次。

4. 農藥：抽驗嘉磷塞及嘉磷塞降解物 AMPA 各 50 處次。
5. 生物代謝產物：抽驗微囊藻毒 LR 型 30 處次。
6. 水中土霉味物質：Geosmin、2-Methylisoborneol (2-MIB) 等 2 項各 30 處次。

(六) 配合我國環境荷爾蒙管理計畫及持久性有機污染物斯德哥爾摩公約國家實施計畫，加強相關未列管新興污染物之水質抽驗。

1. 環境荷爾蒙：抽驗壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DOP)、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)等 8 項各 200 處次。
2. 持久性有機污染物：抽驗全氟辛酸 (PFOA)、全氟辛烷磺酸 PFOS)、全氟己烷磺酸 (PFHxS) 等 3 項各 50 處次。
3. 抽驗點為淨水場清水。
4. 同時納入我國環境荷爾蒙管理計畫及持久性有機污染物斯德哥爾摩公約國家實施計畫之水質抽驗結果及評估分析。

(七) 參酌國際飲用水標準中已列管或優先關注之污染物項目及我國飲用水中新興污染物抽驗結果，更新初步蒐集清單、蒐集清單、觀察清單及候選清單。

(八) 依前述飲用水未列管新興污染物各項清單更新結果，評估是否新增我國飲用水標準管制項目，並建議後續抽驗項目、地點及頻率。

三、協助更新飲用水未列管新興污染物、列管物質之毒理資料。

(一) 配合國際資料蒐集及環境背景流布調查結果，彙編更新飲用水水質標準管制項目及新興污染物毒理資料，至少更新 18 項(含補齊列管項目資料)，並印製 8 份彙編資料。內容應包括分析方法、環境背景資料、毒理

研究摘錄與有害性鑑定、劑量效益評估、暴露評估、暴露途徑、風險特徵描述、處理技術及管制評估等。

#### 四、評估我國簡易自來水水質狀況，研提管理建議

(一) 彙整近 10 年我國簡易自來水水質管制項目及新興污染物水質檢測結果。

(二) 依據以上結果，針對簡易自來水水質管理提出建議。

#### 五、彙整國際飲用水微生物標準或指標檢測方式，評估適合本土之微生物指標。

(一) 彙整國際上應用於飲用水可作為糞便污染指標、消毒效率評估指標、過濾處理效能指標及配水管網完整性指標等 4 種指標之指標微生物種類，並探討其運用於我國飲用水管理之可行性。

(二) 針對上述 4 種指標，篩選代表淨水場於原水、清水及配水點位進行前述指標至少 20 次採樣，分析我國本土淨水場其指標微生物之檢出情況，指標項目包含總菌落數、大腸桿菌群、糞生大腸桿菌群、大腸桿菌(*E. coli*)、*Clostridium perfringens*、腸球菌等至少 6 項。

(三) 將結果進行系統性評估，針對我國本土化之生物性參數修正提出建議。

#### 六、配合前述工作項目至少辦理 3 場次專家諮詢會議，每場次邀請專家學者出席至少 3 位，出席委員支給出席費，與會人員以 15 人計。

#### 七、配合機關施政需求或因應緊急狀況，協助進行飲用水水質檢驗分析與飲用水水中污染物之健康風險資料蒐研。



## 第二章 飲用水未列管新興污染物質篩選作業推動

### 2.1 美國飲用水水質標準管制項目篩選作業流程

美國篩選作業發展如圖 2.1-1，美國環保署於 1998 年建立第一份污染物觀察清單(CCL 1)，主要根據當時現有相關資訊，由專家提名 60 項物質做為 CCL1，過程中諮詢專家學者及國家飲用水諮詢委員會(National Drinking Water Advisory Council, NDWAC)。在 2003 年做出第一次管制決策(Regulatory Determination 1, RD1)，自 CCL1 中刪除 9 項經評估後無需考慮列管物質。

2005 年建立第二份污染物觀察清單(CCL 2)，主要延續 CCL1 中的項目，僅刪除九項第一次管制決策決定無需考慮列管物質，剩餘 51 項物質。2008 年做出第二次管制決策(RD2)，刪除 11 項經評估後無需考慮列管物質。

美國 2009 年改以系統化及科學化篩選流程提出第三份污染物觀察清單(CCL3)，其中亦包含納入公民意見(public nominations)。美國 CCL3 中共有 116 項物質，其中 17 項物質與 CCL2 物質重覆。2011 年決定列管過氯酸鹽，並持續討論管制值。

2016 年提出第四份污染物觀察清單(CCL4)包含 109 項污染物，其中 107 項物質延續自 CCL3，1 項新納入的物質，1 項原本列於 CCL1 的物質；同年提出第三次管制決策有四項物質經評估後無需考慮列管。

2018 年開放第五份污染物觀察清單 CCL5 的提名，2019 年提出過氯酸鹽管制值的建議值，並於 2020 年提出第四次管制決策初稿，並撤回 2011 年列管過氯酸鹽的決議，決定不列管過氯酸鹽；2021 年提出 CCL5 草稿(包括：66 化學物質、3 種化學組、全氟/多氟烷基物質(PFAS)、藍藻毒素(cyanotoxins)、消毒性副產物(DBPs) 及 12 種微生物)，EPA 於 2022/1/11 與科學顧委員(SAB)就 CCL5 草案進行會議，EPA 將在製定最終 CCL5 時考慮 SAB 的反饋以及公眾意見。

美國自 2003 年起共作出四次管制決策(Regulatory Determination)，管制決策公布時間及內容摘要如表 2.1-1。

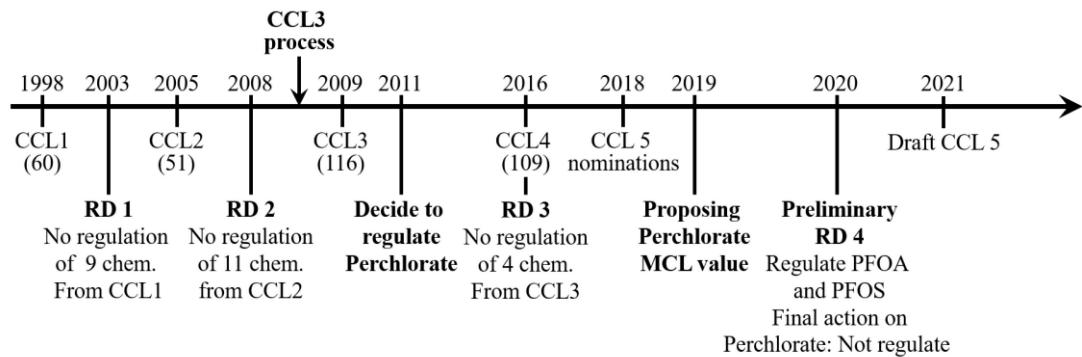


圖 2.1-1 美國篩選作業記事

表 2.1-1 美國管制決策摘要

管制決策	公布時間	內容摘要
1	2003/7	經評估後，CCL 1 中有 9 項物質無須納入管制，並自 CCL 1 中刪除。包含 Acanthamoeba、Aldrin、Dieldrin、Hexachlorobutadiene、Manganese、Metribuzin、Naphthalene、Sodium、Sulfate
2	2008/7	經評估後，CCL 2 中有 11 項物質無須納入管制，並自 CCL 2 中刪除。包含 Boron、Dacthal mono-acid (MTP) degradate、Dacthal di-acid (TPA) degradate、1,1-Dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)ethylene (DDE)、1,3-Dichloropropene (Telone)、2,4-Dinitrotoluene、2,6-Dinitrotoluene、s-Ethyl propylthiocarbamate (EPTC)、Fonofos、Terbacil、1,1,2,2-Tetrachloroethane。 另外需進一步評估是否應管制過氯酸鹽。
3	2016/1	經評估後，CCL 3 中有 4 項物質無須納入管制，並自 CCL 3 中刪除。包含 dimethoate、1,3-dinitrobenzene、terbufos、terbufos sulfone。 是否管制 strontium 則暫不做出決策，需更多資訊進行評估。
4	2021/2	經評估後，決定管制 CCL 4 中的 2 項物質 PFOS、PFOA。另有 6 項物質無須納入管制，並自 CCL 4 中刪除。包含 1,1-dichloroethane、acetochlor、methyl bromide (bromomethane)、metolachlor、nitrobenzene、RDX。 美國環保署將針對 PFOA 及 PFOS 的管制值進行評估。

## 2.2 飲用水未列管新興污染物質篩選作業模式修訂

為促進飲用水列管物質篩選的系統化及標準化，並配合飲用水系統之物質檢測，環保署於 2012 年底至 2014 年執行「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」，依據「行政院環境保護署飲用水列管項目篩選作業原則（草案）」、參考美國環保署建立飲用水列管項目篩選流程和評分機制，擬定飲用水列管項目篩選作業機制與流程，建立一套評估系統，作為環保署新增飲用水管制項目之決策依據，以確保民眾飲用水安全。

「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」建立之篩選作業流程如圖 2.2-1，在飲用水列管物質公告之前需先經四個階段性的資料庫建置與評分機制：

- 一、首先彙整國際組織與國際上較先進之國家已列管或關注（訂定指引值），但國內尚未列管之物質，以及科學文獻資料、研究報告或試驗指出存在飲用水中且可能影響人體健康或公共衛生安全之物質，納入「初步蒐集清單」。
- 二、針對初步蒐集清單之物質，過去於國內曾有相關專案計畫依本土情形、重大矚目環境事件等進行調查之項目則進一步納入「蒐集清單」。
- 三、「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」參考美國環保署的列管項目篩選原則，未列管物質區分為化學性指標物質與生物性指標物質，制定不同的篩選評估原則，根據篩選評估原則進行每項物質的評分後，再依據篩選機制進行評估，並提供給參與學者專家諮詢會議的委員們進行篩選，評估是否納入「觀察清單」。
- 四、進入觀察清單之物質，再經過專家會議針對監測結果、處理技術及分析成本等層面討論是否應考慮列管，若應考慮列管之物質則納入「候選清單」，經專家會議綜合評估技術、成本、風險、行政、社會衝擊面及公聽審議後，由環保署制定管制值並予以公告。

本計畫參考美國篩選作業模式，調整我國飲用水未列管新興污染物質篩選作業模式，並確立各階段關注清單項目降低關注層級之機制與條件。

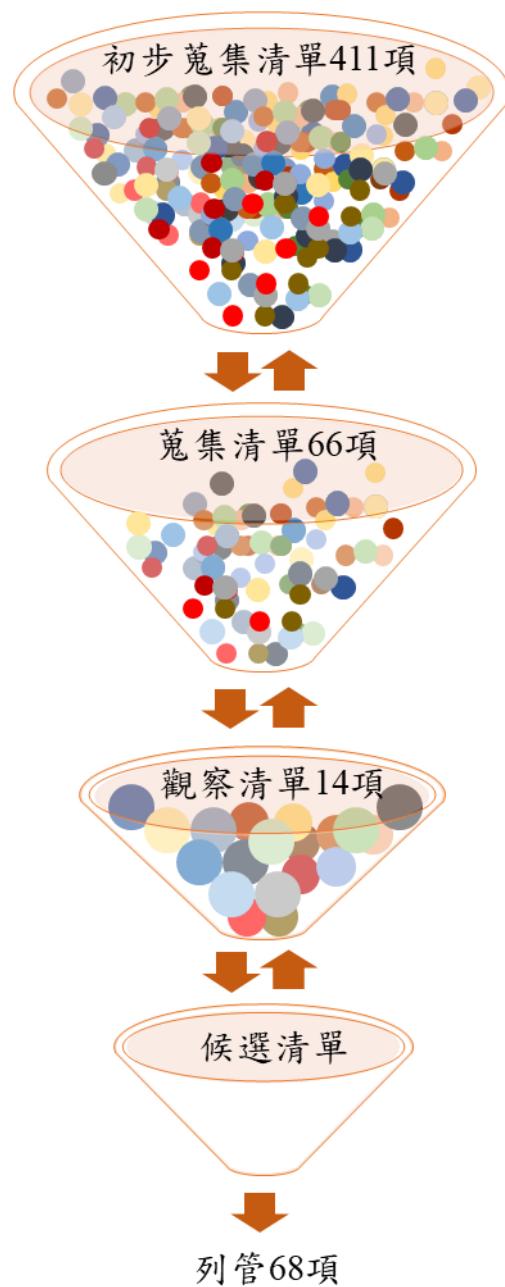


圖 2.2-1 篩選作業示意圖

### 2.3 初步蒐集清單

初步蒐集清單物質主要為國際組織與國際上較先進之國家已列管或關注(訂定指引值)、但國內尚未列管之物質，做為我國後續評估淨水場新興污染物風險之方向參考。依據「行政院環境保護署飲用水列管項目篩選作業原則(草案)」，初步清單物質應至少參考下列國際組織及先進國家飲用水標準中已列管或優先關注之污染物項目：

- 一、美國飲用水水質標準 (National Primary Drinking Water Regulations; National Secondary Drinking Water Regulations) 所列物質。
- 二、美國飲用水中污染物候選清單(Contaminant Candidate List, CCL)所列物質。
- 三、日本飲用水水質標準(Drinking Water Quality Standards)所列物質。
- 四、澳洲飲用水指引(Australian Drinking Water Guidelines)所列物質。
- 五、德國飲用水條例(Drinking Water Ordinance)所列物質。
- 六、加拿大飲用水水質指引(Guidelines for Canadian Drinking Water Quality)所列物質。
- 七、英國供水（水質）條例(The Water Supply(Water Quality) Regulations)所列物質。
- 八、紐西蘭飲用水水質標準(Drinking-Water Standards for New Zealand)所列物質。
- 九、世界衛生組織飲用水水質指引(Guidelines for Drinking Water Quality)所列物質。
- 十、歐盟水資源綱要指令(Water Framework Directive)優先物質清單(List of Priority Substances)所列物質。
- 十一、其他已開發國家飲用水水質標準所管制之化學物質尚未納入我國飲用水水質標準管制項目者。
- 十二、依科學文獻資料、各國政府研究報告或重大社會矚目環境事件，有明確事實足以認定影響人體健康或公共安全之物質。

本計畫除依上述所要求之資料來源更新初步蒐集清單項目之外，並增加列入南韓、新加坡等兩個國家的飲用水水質管制及監測項目，以及美國環保署每五年建立一次之飲用水新興污染物監測清單及相關準則之物質( Unregulated Contaminant Monitoring Rule, UCMR)。

本計畫參考之國際標準及指引值資料來源詳列於表 2.3-1。2022 年有更新法規或指引的國際組織或國家有 WHO、加拿大、紐西蘭、澳洲，此外歐盟公布了第一份新興污染物觀察清單(the first watch list)，

WHO 發布了第四版(含第一及第二次附錄)，其中針對化學物質的部分新增或修正了 14 項物質於飲用水中的評估與建議指引值，而加拿大飲用水水質指引新增／更新了 6 項物質，上述物質均已包含於我國列管項目或各階層清單(初步蒐集清單、蒐集清單、觀察清單)中。歐盟的第一份新興污染物觀察清單(the first watch list)包含了壬基酚(指引值 300 ng/l) 及 雌二醇(17-beta-estradiol，指引值 1 ng/l)，分別已列於我國蒐集清單及初步蒐集清單中。而加拿大、紐西蘭及澳洲的更新多屬指引值的更新，項目均已包含於我國各階層清單中。

本年度將溴化阻燃劑中六項五溴二苯醚、六溴二苯醚、七溴二苯醚、八溴二苯醚、九溴二苯醚、十溴二苯醚納入初步蒐集清單(詳見第三章)。目前我國最新之「初步蒐集清單」為「111 年初步蒐集清單」共 411 項(詳列於表 2.3-2)，概分為生物性指標、有機化合物及無機物質，其中有機化合物又分為藻毒、一般有機化合物、醫療保健藥品、消毒藥劑及消毒副產物、農藥(包含除草劑、殺蟲劑、殺菌劑)，無機物質則包含一般無機物、重金屬及消毒藥劑及消毒副產物。

表 2.3-1 本計畫參考國內外法規列表

國家/組織	法規名稱
臺灣	飲用水水質標準 (2017 修正) <a href="http://law.moj.gov.tw/LawClass/LawContent.aspx?PCODE=O0040019">http://law.moj.gov.tw/LawClass/LawContent.aspx?PCODE=O0040019</a>
WHO <sup>1</sup>	Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition (2017) ( <a href="http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guide_lines/en/">http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guide_lines/en/</a> )
美國	National Primary Drinking Water Regulations and National Secondary Drinking Water Regulation (2009) ( <a href="https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulation-table">https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulation-table</a> ) Contaminant Candidate List, CCL <a href="https://www.epa.gov/ccl">https://www.epa.gov/ccl</a> (Draft CCL5、RD 4) Unregulated Contaminant Monitoring Rule
加拿大	Guidelines for Canadian Drinking Water Quality Summary Table (2020) <a href="https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/water-quality/guidelines-canadian-drinking-water-quality-summary-table.html">https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/water-quality/guidelines-canadian-drinking-water-quality-summary-table.html</a>
歐盟	The revised Drinking Water Directive (2020) ( <a href="https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation_en.html">https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation_en.html</a> )
紐西蘭	Drinking Water Standards for New Zealand (Draft) 20 December 2021 ( <a href="https://www.tauhataarowai.govt.nz/for-water-suppliers/new-compliance-rules-and-standards/">https://www.tauhataarowai.govt.nz/for-water-suppliers/new-compliance-rules-and-standards/</a> )
澳洲	Australian Drinking Water Guidelines 6 (updated 2022) ( <a href="https://www.nhmrc.gov.au/guidelines/publications/eh52">https://www.nhmrc.gov.au/guidelines/publications/eh52</a> )
日本	水道水質基準について 令和2年(2020) ( <a href="http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html">http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html</a> )
南韓	먹는물 수질 기준 Water quality Standard ( <a href="http://www.easylaw.go.kr/CSP/CnpClsMain.laf?popMenu=ov&amp;csmSeq=536&amp;ccfNo=2&amp;cciNo=1&amp;cnpClsNo=1">http://www.easylaw.go.kr/CSP/CnpClsMain.laf?popMenu=ov&amp;csmSeq=536&amp;ccfNo=2&amp;cciNo=1&amp;cnpClsNo=1</a> )
新加坡	Environmental Public Health (WATER SUITABLE FOR DRINKING) (NO. 2) REGULATIONS (2019) <a href="https://sso.agc.gov.sg/SL-Supp/S274-2019/Published/20190401190000?DocDate=20190401190000">https://sso.agc.gov.sg/SL-Supp/S274-2019/Published/20190401190000?DocDate=20190401190000</a>

<sup>1</sup>WHO: 世界衛生組織 World Health Organization

表 2.3-2 111 年初步蒐集清單 411 項物質

主要	次要	數目	項目
適飲性參數		5	電導度、腐蝕性、口感、溫度、總有機碳
生物性指標	—	26	退伍軍人菌屬、腸道病毒、腸球菌、產氣莢膜芽胞梭菌( <i>Clostridium perfringens</i> )、亞硫酸鹽還原菌、致病性原生動物、福氏耐格里原蟲、宋內氏志賀菌、腸道沙門氏菌、退伍軍人桿菌、棘阿米巴屬、腺病毒、產氣單胞桿菌屬、杯狀病毒科、克沙奇病毒、藍綠藻、埃可病毒、幽門螺旋桿菌、微孢子蟲、胞內鳥型分枝桿菌、空腸曲狀桿菌、A 型肝炎病毒、銅綠假單胞菌、 <i>Mycobacterium abscessus</i> 、 <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
有機化合物	藻毒	8	藍綠藻毒素、魚腥藻毒素、魚腥藻毒素-異構物、魚腥藻毒素同系物 a、柱孢藻毒素、總微囊藻毒素、節球藻毒素、岩毒素(麻痺性貝毒)
	一般	119	1,3-二氯苯、1,2,4-三氯苯、1,2,3-三氯苯、丙烯醯胺、丙烯腈、丙烯酸、丙烯醛、苯甲醚、丁基黃原酸、三氯乙醛、三聚氰酸、1,3-二氯丙烷、1,3-二氯丙烯、鄰苯二甲酸二乙酯、1,4-環氧己烷、氯化乙基汞、多環芳香烴、苯並[a]芘、多氯聯苯、二氯異氰尿酸鈉、2,4,5-三氯苯氧基醋酸、三氯苯、四乙基鉛、乙二胺四乙酸、發泡劑、非離子性界面活性劑、戊二醛、六氯丁二烯、甲基第三丁基醚/甲基叔丁基醚、六氫苯甲酸/環烷酸、2-萘酚、氨基三乙酸、硝基苯、五氯酚、五氯丙烷、石油碳氫化合物、2,3,4,6-四氯酚、硝化甘油、異丙甲草胺苯胺碳酸、苯胺、1,3-二硝基苯、異丙甲草胺乙磺酸、甲草胺苯胺碳酸、1,3-丁二烯、氨基甲酸乙酯、鄰-甲苯胺、乙草胺苯胺碳酸、一氯二氟甲烷、一氯一溴甲烷、三乙胺、2,4-二硝基苯酚、乙醛、1,1,1,2 四氯乙烷、4,4'-二氨基二苯甲烷、異丙苯化過氧化氫、乙硫尿/亞乙基硫脲、聯胺/水合聯胺、乙醯胺、乙草胺乙烷磺酸鈉鹽、丙苯、N-亞硝基二苯胺、2,2-二氯丙烷、萘、1,2-二苯基聯氨、溴化甲烷、烯丙醇、氧化乙烯/環氧乙烷、1,1-二氯丙烯、對-異丙基甲苯、2-甲氧基乙醇、氯甲烷、乙二醇、噃啉、溴苯、正丁醇、丁基羥基甲氧苯、異佛爾酮、苯甲氯、甲草胺乙烷磺酸鈉鹽、1,1,2,2 四氯乙烷、三苯基氫氧化錫、二異氰酸甲苯、環氧丙烷、偏三甲苯、2,4-二硝基甲苯、2,6-二硝基甲苯、2-甲酚、環三亞甲基三硝胺、仲丁基苯、1,2-丁二烯、三乙烯四胺、N,N 二甲基苯胺、有機氟化物、甲基汞、1,2-二苯基聯胺、4-硝基酚、2-硝基酚、環氧氯丙烷、二烴基錫、丁基酚、正己烷、正庚烷、甲醇、異丙醇、丙酮、乙酸正丁酯、N-甲基-2-吡咯烷酮、丙二醇甲醚、丙二醇甲醚醋酸酯、己二酸二辛酯、丙烷、乳酸乙酯、甲基異丁酮、二甲基氧化硫、乙醇胺、丁酮、壬基酚聚乙氧基醇、氫氧化四甲基胺、丁苯、五溴二苯醚、六溴二苯醚、七溴二苯醚、八溴二苯醚、九溴二苯醚、十溴二苯醚
	全氟化物	6	全氟壬酸、全氟己酸、全氟丁酸、全氟丁基磺酸、全氟十一烷酸、全氟庚酸
	醫療保健藥品	14	水合氯醛、紅黴素、二氯苯氧氯酚(俗稱:三氯沙)、17 $\alpha$ -雌二醇、17 $\alpha$ -乙炔基雌二醇、 $\beta$ -雌二醇、雌三醇、雌素酮、烯雌酮、去氫馬烯雌酮、炔諾酮、炔雌醇、阿奇黴素、乙醯水楊酸
	消毒藥劑及消毒副產物	24	2-氯酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚、三氯硝甲烷(氯化苦)、二氯乙腈、溴氯乙腈、三氯乙腈、二溴乙腈、3-氯-4-二氯甲基-5-羥基-2(5 氢)-呋喃酮(MX)、N-亞硝基二丙胺、一氯乙酸、三氯甲烷/氯仿、三溴甲烷、溴二氯甲烷、二溴氯甲烷、Bromodichloronitromethane (BDCNM)、Chloropicrin (trichloronitromethane, TCNM)、Dibromochloronitromethane (DBCNM)、Bromoiodochloromethane (BCIM)、Bromoiododimethane (BDIM)、Chlorodiiodomethane (CDIM)、Dibromoiodomethane (DBIM)、Dichloroiodomethane (DCIM)、Iodoform (triiodomethane, TIM)

表 2.3-1 111 年初步蒐集清單 411 項物質（續）

主要	次要	數目	項目
有機化合物	農藥	179	殺蟲劑、大克蟻、普伏松、芬滅松、氯氟類、六氟鹽、聚乙醛、威百敵和代謝物(異硫氰酸甲酯)、乃卡巴精、達草減、皮克落、聚已縮胍、匹拉沙托、氟乙酸鈉,1080、達球靈、大克草(DCPA mono-acid degradate)、大克草(DCPA di-acid degradate)、脫葉磷、噻節因、三氯比、乙基亞特松、滅克磷、甲胺磷、百治磷、亞砜磷、特丁磷砜、滴滴涕的代謝物(DDE)、三嗪類、拉草、草殺淨、殺草強、亞速爛、草脫淨+含氯代謝物、草脫淨代謝物、本達隆、克草、溴苯腈、乙基克繁草、綠麥隆、枯草隆、氯磺隆、畢克草、氟乃淨、茅草枯、麥草畏、二氯苯腈(殺蟲及除草劑)、2,4-DB(2,4-二氯苯氧丁酸)、2,4-DP、禾草靈、野燕枯/野麥枯、大芬滅、敵草快/殺草快、達有龍/敵草隆、草多索、茵草敵/丙草丹、2,4,5-涕丙酸/2,4,5-三氯酚氧乙酸、麥草氟甲酯、復祿芬、伏草隆、克林草、殺木膦、菲殺淨、依滅草、異丙隆、2-甲基-4-氯苯氧基乙酸(MCPA)、2-(4-氯-2-甲基酚氧基)(MCPP)、莫多草、滅必淨、甲黃隆、稻得壯、滅落脫、滅殺草、歐拉靈、樂滅草、克草敵、施得圃、氟嘧磺隆、雷蒙得、除草靈、普拔根、戊炔草胺、啶磺草胺、草滅淨、特草定、草淨津/特丁津、特丁淨、殺丹、三福林/氟樂靈、滅草猛、理有龍、烯草酮、乙草胺、地散磷、滅草、三氯二異丙基乙醯酸、噁殺松、得滅克、阿特靈及地特靈、三亞蟻、谷速松、百列滅寧、乙基溴磷松、三硫磷、剋安勃、克芬松、可氯丹、賽扶寧、第滅寧、有機錫類、滴滴涕和代謝物((DDT, DDE 及 DDD)、二氯松、二福隆、地樂酚、二硫松、安特靈/異狄氏劑、益化利、撲滅松/殺螟松、繁福松、芬化利、芬普尼、福木松、飛佈達和其環氧化物、毒殺芬、六氯環己烷(含林丹, 六六六)、甲氧氯、甲基巴拉松、美文松、噁滅松、協力精、比加普、亞特松、佈飛松、噁蟻多、賜派滅、硫丙磷、亞培松、樂本松、腐絕、硫滅松、百利普芬、三氯松、3-羥基-克百威(丁硫克百威, 丙硫克百威的主要代謝物)、撲滅通、培丹、得芬諾、硫敵克、安丹、丁基滅必蟲、益達胺、賽果培、賽速安、可尼丁、亞滅培、滅賜克、免賴得、蓋普丹、貝芬替、萎銹靈、四氯異苯腈、賽普洛、依得利、芬瑞莫、依普同、鋅錳乃浦、滅達樂、撲滅寧、普克利、白粉松、五氯硝基苯、硫菌靈、得恩地、三泰芬、三丁基氧化錫(TBTO)(屬有機錫)、免克寧、大福松、得克利、福美鋅、福爾培、四氯丹、AMPA
無機化合物	一般	8	石棉、溴酸、溴化物、碘化物、過錳酸鉀、硫化物、硫化氫、氯化氫
	重金屬	10	碘、矽、鈉、釩、鈣、鎂、六價鉻、鎢、錫、鉑
	消毒藥劑及消毒副產物	6	氯酸/氯酸鹽、高氯酸/高氯酸鹽、二氧化氯、氯胺(一氯胺, 二氯胺, 三氯胺)、氯酮類、臭氧

備註: 少數國家將放射性物質納入飲用水管理, 我國之管理分工, 放射性物質係由原能會依權責訂定相關法規管理, 非屬飲用水水質標準列管項目。

## 2.4 蒐集清單

初步蒐集清單物質過去於國內若曾有相關專案計畫針對本土情形或重大矚目環境事件等進行調查，則將該物質納入「蒐集清單」。

### 2.4.1 蒐集清單沿革

2012 年底至 2014 年環保署執行「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」，將過去國內相關專案計畫有針對本土情形、重大矚目環境事件等進行調查研究的項目（計有 84 項物質）列為第一版蒐集清單，其中有 13 項物質（一氯乙酸、二氯乙酸、三氯乙酸、一溴乙酸、二溴乙酸、二氯甲烷、1,2-二氯苯、甲苯、二甲苯、順 1,2-二氯乙烯、反 1,2-二氯乙烯、四氯乙烯、鋁）於該計畫執行期間（2014 年 1 月 9 日）納入飲用水水質標準列管，因此扣除該 13 項物質後，更新為第二版蒐集清單（表 2.4-1，含 71 項物質）。

**表 2.4-1 第二版蒐集清單物質（71 項）**

主要分類	次要分類	毒性化學物質分類	數目	項目
生物性參數	-	-	4	糞生大腸桿菌群、大腸桿菌、隱孢子蟲、梨形鞭毛蟲
有機化合物	一般有機物	-	24	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、乳酸乙酯、乙酸正丁酯、氫氧化四甲基胺、二甲基氧化硫、N-甲基-2-吡咯烷酮、丙二醇甲醚、1,1-二氯乙烷、丙二醇甲醚醋酸酯、己二酸二辛酯(or 己二酸雙-2-乙基己酯)、全氟辛烷酸、丙烷、正己烷、正庚烷、異丙醇、丙酮、丁酮、丁苯、乙醇胺、苯乙烯、丁基酚、辛基酚、微囊藻毒-LR 型、甲醇
			6	1,2-二氯丙烷、壬基酚聚乙氧基醇、鄰苯二甲酸二甲酯、鄰苯二甲酸二辛酯、氯苯、壬基酚、
		難分解物質	3	鄰苯二甲酸二丁酯、鄰苯二甲酸丁酯苯甲酯、全氟辛烷磺酸
		慢毒牲物質	3	甲基異丁酮、乙苯、雙酚 A
	消毒藥劑及消毒副產物	急毒性物質	1	甲醛
無機化合物	農藥	-	4	陶斯松、大滅松、福瑞松、托福松
	醫療保健藥品	-	17	異丁苯丙酸(俗稱:布洛芬)、乙醯氨基酚(俗稱:普拿疼)、凱妥布洛芬/苯酮苯丙酸、萘普生/甲氧鈉丙酸(俗稱:拿百疼)、苯氧苯丙酸(俗稱:非諾洛芬)、胺基比林、非那雄胺、羥苯甲酮、四環黴素、羥四環黴素、氯四環黴素、二苯甲酮、二乙基間甲苯胺、對羥基苯甲酸甲酯、對羥基苯甲酸乙酯、對羥基苯甲酸丙酯、對羥基苯甲酸丁酯
無機化合物	重金屬	-	4	鎵、鈦、碲、鉻
	放射性物質	-	5	鍺、鈀、銣、釤、鉑

2014 年「飲用水水源及水質標準項目之調查及評估(1/3)」計畫調查評估了 8 項飲用水中未列管之農藥(加保利、賽滅寧、芬殺松、百滅寧、托福松、賓克隆、甲基多保淨、固殺草)，2015 年「飲用水水源及水質標準項目之調查及評估(2/3)」計畫則調查評估 6 項飲用水中未列管之有機物(1,2-二溴乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、六氯苯、六氯環戊二烯)，此二計畫共評估調查 14 項物質，其中托福松已被列在第二版蒐集清單中，剩餘 13 項在 2015 年執行「飲用水水源及水質標準項目之調查及評估(2/3)」計畫時納入「104 年蒐集清單」，此為第三版蒐集清單，共計 84 項物質。

2016 年「飲用水水源及水質標準項目之調查及評估(3/3)」計畫調查評估鉻、硼、鈷、全氟辛烷酸、全氟辛烷磺酸、嘉磷塞、大腸桿菌、糞生大腸桿菌群等八項物質，其中全氟辛烷酸、全氟辛烷磺酸、大腸桿菌、糞生大腸桿菌群等四項物質已屬 104 年之蒐集清單物質，另四項物質（鉻、硼、鈷、嘉磷塞）則為初步蒐集清單物質，因經該計畫進行研究評估，納入「105 年蒐集清單」。然因我國之放射性物質係由原能會依權責訂定相關法規管理，非屬飲用水水質標準列管項目，故在「105 年蒐集清單」中刪除「104 年蒐集清單」中之 4 項放射性物質（鉻、鍊、釤、鉑），因此「105 年蒐集清單」維持 84 項物質。

「106 年飲用水新興污染物研究與水質管理」計畫調查評估馬拉松、歐殺滅、愛殺松、N-亞硝二甲胺(NDMA)、N-亞硝二乙胺(NDEA)、N-亞硝基吡咯烷(NPYR)，並納入「106 年蒐集清單」，共計 90 項物質。

107 年改以「篩選排除」的概念取代原先以「子集」的概念建構各階層清單，經調整後「107 年蒐集清單」排除已納入觀察清單、候選清單的物質，並新增 6 項該年度評估調查之藥物和個人保健用品（吲哚美辛、磺胺甲噁唑、磺胺噻唑、氟甲喹、克拉黴素、雙氯芬酸），共有 75 項物質。

108 年度計畫考量我國高科技業發展蓬勃，且國民對於高科技業放流水對飲用水之影響多有疑慮，故挑選 6 項科學園區及各工業可能使用或民生用品廣泛存在

的金屬，於我國飲用水中未經調查、尚缺基本資料之重金屬(釩、鎢、銻、鋰、鉿、鈦)，優先進行評估。評估結果顯示，鋰的檢出值比對其毒理資料需後續持續關注，因此將鋰納入蒐集清單，而其他五項金屬則保留於初步觀察清單，故「108 年蒐集清單」共 76 項物質。

109 年度計畫考量「108 年蒐集清單」中有 20 項物質沒有本土淨水場清水檢測資料供是否納入觀察清單之四項參數評估，故改列上一層之初步蒐集清單，規劃後續依檢測能量安排本土淨水場檢測。上述 20 項物質包含丁基酚、正己烷、正庚烷、甲醇、異丙醇、丙酮、乙酸正丁酯、N-甲基-2-吡咯烷酮、丙二醇甲醚、丙二醇甲醚醋酸酯、己二酸二辛酯、丙烷、乳酸乙酯、甲基異丁酮、二甲基氧化硫、乙醇胺、丁酮、壬基酚聚乙氧基醇、氫氧化四甲基胺、丁苯。此外新增 7 項自觀察清單中改列蒐集清單之物質，「109 年蒐集清單」共 63 項。

「110 年飲用水未列管新興污染物之水質研究計畫」考量環保署自 108 年起抽驗飲用水中全氟化物的濃度（包含 PFOA、PFOS 及 PFHxS），其中 PFOA、PFOS 已列於觀察清單，而抽驗結果顯示 PFHxS 於我國飲用水中潛在風險，故將 PFHxS 自初步蒐集清單中納入蒐集清單。此外當年度抽驗項目新增水中土霉味物質 Geosmin 及 2-Methylisoborneol (2-MIB)，結果顯示 Geosmin 及 2-Methylisoborneol (2-MIB) 於我國飲用水中潛在風險，故將 Geosmin 及 2-Methylisoborneol (2-MIB) 自初步蒐集清單中納入蒐集清單。故「110 年蒐集清單」共新增 3 項，共 66 項。

#### 2.4.2 蒐集清單物質增加關注層級評估

環保署 101 年「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」建立化學性物質篩選評估原則，針對蒐集清單物質進行四項屬性參數評分，以評估是否進入觀察清單。屬性參數是用來表現化學污染物之間的性質和特徵差異，包括對健康的影響(Health effect)以及存在情形(Occurrence)，量化各種表達化學污染物屬性的資料並加以比較。

在對健康的影響方面，採用健康危害潛勢(Potency)以及健康危害嚴重性(Severity)兩項參數，至於存在情形則是針對污染物出現普遍性(Prevalence)和污染物出現濃度(Magnitude)來做評估。污染物的健康危害潛勢(Potency)參數針對污染物會造成健康危害的濃度依照以下優先權順序，找出健康風險評估資料：(1)參考劑量(RfD)、(2)無觀察危害反應劑量(NOAEL)、(3)最低觀察危害反應劑量(LOAEL)、(4)最小中毒量(TDL0- RTECS)、(5)半致死劑量(LD50)，並參照健康危害潛勢分數換算表格(表 2.4-2)予以評分。若一物質在低濃度即會對人體造成健康危害，其健康危害潛勢分數就會比較高。健康危害嚴重性(Severity)參數是根據污染物對健康造成症狀嚴重程度給予 1 到 9 的量化分數(表 2.4-3)，一污染物對人體健康造成的症狀越嚴重，其健康危害嚴重性分數越高。污染物出現普遍性及濃度則依表 2.4-4 量化。一污染物在飲用水清水中檢出的頻率越高，出現普遍性分數就越高，污染物被檢出的濃度的中位數越高，則污染物出現濃度分數就越高。四項參數之分數越高，則顯示該污染物在我國飲用水中對人體健康可能造成的風險越高。

表 2.4-2 健康危害潛勢分數的換算表格

Score	RfD mg/kg-day	LOAEL/NOAEL mg/kg-day	LD50 mg/kg	$10^{-4}$ Cancer Risk
10	0 - 0.000000316	0 - 0.000316	0 - 0.0316	0 - 0.00000316
9	0.000000317 - 0.00000316	0.000317 - 0.00316	0.0317 - 0.316	0.00000317 - 0.0000316
8	0.00000317 - 0.0000316	0.00317 - 0.0316	0.317 - 3.16	0.0000317 - 0.000316
7	0.0000317 - 0.000316	0.0317 - 0.316	3.17 - 31.6	0.000317 - 0.00316
6	0.000317 - 0.00316	0.317 - 3.16	31.7 - 316	0.00317 - 0.0316
5	0.00317 - 0.0316	3.17 - 31.6	317 - 3,160	0.0317 - 0.316
4	0.0317 - 0.316	31.7 - 316	3,170 - 31,600	0.317 - 3.16
3	0.317 - 3.16	317 - 3,160	31,700 - 316,000	3.17 - 31.6
2	3.17 - 31.6	3,170 - 31,600	317,000 - 3,160,000	31.7 - 316
1	31.7 - >31.7	31,700 - >31,700	3,170,000 ->31,700,000	317 - >317

所得之分數套用美國環保署於 Final Contaminant Candidate List 3 Chemicals:

Classification of the PCCL to CCL 中提出之簡單線性模式(Simple Linear Model) : Y[i]

$= -1.671 + 0.241 \times \text{健康危害潛勢分數} + 0.217 \times \text{健康危害嚴重性分數} + 0.116 \times \text{污染物出現普遍性分數} + 0.170 \times \text{污染物出現濃度分數}$ , 所得之得分區分為四大類(表 2.4-5), 若大於 3.5 則建議納入(L)觀察清單, 介於 2.5 至 3.5 則考慮納入(L?), 1.5-2.5 則考慮不納入(NL?), 低於 1.5 則建議不納入(NL)。

表 2.4-3 健康危害嚴重性量化評分表

健康危害嚴重性分數	分數定義	緊急影響概要	健康危害嚴重性分數	分數定義	緊急影響概要
1	沒有影響	沒監測影響			影響多樣器官
2	表面的影響	牙齒的氟中毒			肝臟的影響
3	相互影響	生長及體重影響	6	顯著、不可逆、非致命性條件失調	影響腎臟
		腸胃失調			影響感官及神經系統
		過敏			增殖
		生物化學轉變			影響心臟
		影響血液			其他影響
		影響膽鹼酯			影響生殖器官
		荷爾蒙轉變			母體遺傳毒性
		細胞空泡化			影響繁殖力
		附加影響			抑制生長
		影響血液			降低後代發育能力
4	細胞/生理轉變導致失調 (風險因素或先驅影響)	影響免疫力	7	影響發育或繁殖導致主要機能障礙	影響生長
		影響肝臟			
		影響膽鹼酯			
		其他方面的影響			
5	顯著功能轉變導致最小毒物量含義的可逆性及永久性改變	增加膽鹼能的影響		腫瘤或失調可能導致死亡	
		影響血液			
		結構上的影響			
		影響腎臟			
		影響肝臟			
		影響多樣器官			
		影響神經			
		影響視覺			
		其他影響			

**表 2.4-4 污染物出現普遍性及濃度量化分數表**

污染物出現普遍性		污染物出現濃度	
分數	公共用水系統清水 檢出率 (%)	分數	清水檢出樣品偵測值 中位數(µg/l)
1	≤0.10	1	<0.003
2	0.11-0.16	2	0.003-0.01
3	0.17-0.25	3	0.01-0.03
4	0.26-0.44	4	0.03-0.1
5	0.45-0.61	5	0.1-0.3
6	0.62-1.00	6	>0.3-1
7	1.01-1.30	7	>1-3
8	1.31-2.50	8	>3-10
9	2.51-10.00	9	>10-30
10	>10.00	10	>30

**表 2.4-5 模式分數與納入觀察清單與否**

模式得分	納入觀察清單與否
>3.5	應納入(L)
>2.5~3.5	考慮納入(L?)
>1.5~2.5	考慮不納入(NL?)
1.5	不納入(NL)

### 2.4.3 蒐集清單之水質檢測資料與毒理資料彙整

目前 68 項蒐集清單物質中，有 9 項物質分別於 109 年及 111 年自觀察清單降低關注層級改列蒐集清單（經評估暫無顯著風險），另有 4 項屬生物性參數（本次不納入評估）、18 項物質未有可靠毒理資料，本次不納入評估，故本計畫就剩餘 37 項物質評估是否增加關注層級。此 37 項物質 101-110 年之淨水場水質資料彙整於附錄 3.1，毒理資料彙整於附錄 3.2，四項參數彙整於附錄 3.3，簡單線性模式計算結果列於表 2.4-6。結果顯示 NPYR 及 PFHxS 應納入觀察清單，本計畫並彙整歷年 NPYR 及 PFHxS 於我國飲用水清水中檢測結果於 2.4.4 2.4.5 節。

表 2.4-6 評估是否增加關注程度之蒐集清單項目(37 項)簡單線性模式計算結果

編號	物質名稱	健康危害 潛勢	健康危害 嚴重性	污染物出現 普遍性	污染物出現 濃度	模式計算 結果	
	中文						
1	陶斯松	7	7	1	6	2.67	L?
2	福瑞松	7	7	1	6	2.67	L?
3	托福松	7	3	1	5	1.63	NL?
4	大滅松	6	5	1	7	2.17	NL?
5	加保利	3	8	1	6	1.92	NL?
6	賽滅寧	4	9	1	5	2.21	NL?
7	芬殺松	7	3	1	5	1.63	NL?
8	百滅寧	4	8	1	5	2.00	NL?
9	賓克隆	4	7	1	5	1.78	NL?
10	甲基多保淨	5	8	4	10	3.43	L?
11	固殺草	6	3	6	10	2.82	L?
12	鄰苯二甲酸丁基苯甲酯	4	3	1	7	1.25	NL
13	鄰苯二甲酸二辛酯	4	7	3	8	2.52	L?
14	辛基酚	5	7	8	3	2.49	NL?
15	1,2-二氯丙烷	4	4	1	6	1.30	NL
16	荼普生/甲氧鈉丙酸	6	7	1	1	1.58	NL
17	非那雄胺	9	7	1	1	2.30	NL?
18	二苯基甲酮	4	6	1	1	0.88	NL
19	二乙基間甲苯胺(DEET)	3	7	10	5	2.58	L?
20	乙醯胺酚	4	3	1	1	0.23	NL
21	凱妥布洛芬/苯酮苯丙酸	6	3	1	2	0.88	NL
22	四環黴素	5	3	1	2	0.64	NL
23	羥四環黴素	5	3	1	2	0.64	NL
24	氯四環黴素	5	3	1	4	0.98	NL
25	1,1,2-三氯乙烷	5	4	2	7	1.82	NL?
26	1,2,3-三氯丙烷	7	8	1	6	2.89	L?
27	1,2-二溴-3-氯丙烷	6	7	1	6	2.43	NL?
28	六氯苯	6	6	1	6	2.21	NL?
29	六氯環戊二烯	5	3	1	6	1.32	NL
30	鍍	6	5	1	5	1.83	NL?
31	鈷	5	4	10	5	2.41	NL?
32	嘉磷塞	4	7	9	8	3.22	L?
33	愛殺松	6	5	6	3	2.07	NL?
34	馬拉松/馬拉硫磷	4	3	1	6	1.08	NL
35	歐殺滅	4	3	1	6	1.08	NL
36	N-亞硝基吡咯烷	7	8	10	5	3.76	L
37	全氟己烷磺酸	8	6	9	6	3.62	L

#### 2.4.4 歷年 NDMA/NDEA/NPYR 檢測結果

本計畫彙整 106 年至 111 年 NDMA、NDEA、NPYR 檢測結果於表 2.4-7，結果顯示 NPYR 自 110 年檢出率跟檢出濃度有顯著增加，主要可能因自 110 起 NPYR 在質譜分析方法上設定上有更改，利用 GC-MS 分析 NPYR 的定量離子由 131 更換成 101 後感度及靈敏度大幅提升，此可能為造成 110 年及 111 年 NPYR 濃度較以往提高許多之原因。

**表 2.4-7 106 年至 111 年 NDMA、NDEA、NPYR 檢測結果**

單位: ng/L		樣品數	檢出數	大於定量極限樣品數	偵測極限	定量極限	檢出濃度範圍
NDMA	106	18	3	3	0.46	1	1.19-1.85
	107	102	0	0	—	6	—
	108	50	8	3	4.68	5	14.35-16.23
	109	50	1	1	4.68	5	20.56
	110	50	0	0	—	8	—
	111	34	0	0	3.2	8.8	—
NDEA	106	18	3	2	0.19	1	4.58-5.67
	107	102	1	0	—	5	—
	108	50	9	2	4.55	5	12.46-19.64
	109	50	2	2	4.55	5	10.55-21.42
	110	50	0	0	—	8	—
	111	50	2	2	4.7	10	24.8-102.4
NPYR	106	18	0	0	0.71	2	—
	107	102	2	2	—	6	6.37-6.58
	108	50	15	3	4.31	5	5.38-6.61
	109	50	0	0	4.31	5	—
	110	50	43	42	—	5	7.2~183.4
	111	50	42	42	4.7	10	24.6~7394.7

目前在國際文獻上尚無 NPYR 檢出頻率比 NDMA 高的例子，然邱裴翎於 2022 年以氯氧化台灣最常用的第一型糖尿病藥物-二甲雙胍(metformin)的研究中發現，在三種含氮消毒副產物中，與氯接觸的 1-6 小時內會生成 NPYR，120 小時後會生成 NDEA，但過程中沒有檢測到 NDMA 的生成，顯示若環境水體中存在二甲雙胍或類似的前驅物在加氯消毒後可能生成 NDEA 與 NPYR，但不一定有 NDMA。

#### 2.4.5 歷年 PFHxS 及其他全氟化物檢測結果

環保署計畫於 108 年起每年抽驗我國淨水廠 50 處次清水樣品中 FFOA、PFOS、PFHxS 濃度。國際上目前針對 FFOA、PFOS、PFHxS 僅日本及澳洲訂有相關管制標準或指引值。日本針對 PFOA 與 PFOS 合計目標值小於 50 ng/L，澳洲針對 PFOS 與 PFHxS 合計指引值小於 70 ng/L。108 年至 111 年抽驗結果高於國際管制值的點位資訊如表 2.4-8。

**表 2.4-8 108 年至 111 年 PFOA、PFOS、PFHxS 抽驗結果高於國際管制值的點位資訊**

採樣年度	採樣日期	淨水場	PFOA (ng/L)	PFOS (ng/L)	PFHxS (ng/L)
111	7/19	臺中清水	54.4	18.2	8.7
111	7/4	澎湖成功	10.4	81.9	84.7
110	5/20	澎湖望安	12	220	164
110	6/24	臺中清水	63	<LOQ	<LOQ
110	10/4	澎湖望安	<LOQ	963	991
110	10/21	澎湖望安	<LOQ	877	845
109	7/14	澎湖望安	49	194	127
109	8/18	屏東頂新	289	ND	ND
108	7/9	澎湖望安	9	87	100

#### 2.4.6 111 年蒐集清單

本年度計畫經第一次專家會議討論，考量甲醛及鎵已有足夠本土水質資料，且結果顯示於我國飲用水中暫無顯著風險，因此改列蒐集清單（2.5.2 節），此外，於第二次專家會議評估蒐集清單中是否有物質應增加關注層級，經評估討論後通過蒐集清單中 NPYR 及 PFHxS 應納入觀察清單，故「111 年蒐集清單」維持 66 項。

**表 2.4-9 111 年蒐集清單物質列表（66 項）**

編號	中文	英文	CAS	公告分析方法	備註
1	乙醯胺酚(俗稱:普拿疼)	Acetaminophen / paracetamol	103-90-2	W543.50B W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
2	鄰苯二甲酸二辛酯	Di-n-octylphthalate (DOP/DNOP)	117-84-0	W801.54B R811.21C	101 年納入蒐集清單
3	隱孢子蟲	Cryptosporidium	—	E232.51C	101 年納入蒐集清單
4	大腸桿菌	Escherichia coli (E. coli)	—	E237.53B E215.52C	101 年納入蒐集清單
5	糞生大腸桿菌群	Fecal coliform	—	E214.00C E213.02C	101 年納入蒐集清單
6	梨形鞭毛蟲	Giardia	—	E232.51C	101 年納入蒐集清單
7	托福松	Terbufos	13071-79-9	W603.50B R610.21C W610.52B W656.52B W801.54B	101 年納入蒐集清單
8	羥苯甲酮	Oxybenzone	131-57-7	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
9	待乙妥	N,N-Diethyl-meta-toluamide, DEET	134-62-3	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
10	辛基酚	p-tert-Octylphenol (OP)	140-66-9	W545.50B	101 年納入蒐集清單
11	異丁苯丙酸	Ibuprofen	15687-27-1	W545.50B	101 年納入蒐集清單
12	凱妥布洛芬/苯酮苯丙酸	Ketaprofen	22071-15-4	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單

a.未正式列入該方法，但該方法註明如經驗證且符合該方法規範者亦可適用。

表 2.4-2 111 年蒐集清單物質列表（66 項）（續）

編號	中文	英文	CAS	公告分析方法	備註
13	萘普生/甲氧 鈉內酸	Naproxen / Misoprostol	22204-53-1	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
14	二苯基甲酮	Benzophenone	119-61-9	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
15	12 二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	78-87-5	M612.00C W785.57B W784.52C	101 年納入蒐集清單
16	陶斯松	Chlorpyrifos	2921-88-2	W603.50B W610.52B W656.52B	101 年納入蒐集清單
17	福瑞松	Phorate	298-02-2	W801.54B W603.50B W610.52B W656.52B	101 年納入蒐集清單
18	苯氧苯丙酸/ 非諾布洛芬	Fenoprofen	31879-05-7	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
19	非那雄胺	Finasteride	98319-26-7	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
20	對羥基苯甲 酸甲酯	Methylparaben	99-76-3	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
21	對羥基苯甲 酸乙酯	Ethylparaben	120-47-8	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
22	對羥基苯甲 酸丙酯	Propylparaben	94-13-3	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
23	對羥基苯甲 酸丁酯	Butylparaben	94-26-8	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
24	氯四環黴素	Chlortetracycline	57-62-5	W543.50B	101 年納入蒐集清單
25	胺基比林	Aminopyrine	58-15-1	W545.50B <sup>a</sup>	101 年納入蒐集清單
26	大滅松	Dimethoate	60-51-5	W603.50B W610.52B W656.52B	101 年納入蒐集清單
27	四環黴素	Tetracycline	60-54-8	W543.50B	101 年納入蒐集清單
28	羥四環黴素	Oxytetracycline	79-57-2	W543.50B	101 年納入蒐集清單
29	鄰苯二甲酸 丁基苯甲酯	Butyl benzyl phthalate(BBP)	85-68-7	R811.21C W801.54B	101 年納入蒐集清單
30	鈦	Titanium (Ti)	7440-32-6	M104.02C	101 年納入蒐集清單

a.未正式列入該方法，但該方法註明如經驗證且符合該方法規範者亦可適用。

表 2.4-2 111 年蒐集清單物質列表（66 項）（續）

編號	中文	英文	CAS	公告分析方法	備註
31	固殺草	Glufosinate-ammonium	77182-82-2	W603.50B <sup>a</sup>	104 年納入蒐集清單
32	賽滅寧	Cypermethrin	52315-07-8	W658.51B W603.50B	104 年納入蒐集清單
33	百滅寧	Permethrin	52645-53-1	W658.51B W603.50B	104 年納入蒐集清單
34	芬殺松	Fenthion	55-38-9	W801.54B W603.50B W656.52B	104 年納入蒐集清單
35	甲基多保淨	Thiophanate-methyl	23564-05-8	W603.50B	104 年納入蒐集清單
36	加保利	Carbaryl	63-25-2	W635.53B W603.50B	104 年納入蒐集清單
37	賓克隆	Pencycuron	66063-05-6	W603.50B	104 年納入蒐集清單
38	1,2,3-三氯丙烷	1,2,3-Trichloropropane	96-18-4	M612.00C W785.57B W784.52C	104 年納入蒐集清單
39	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	M612.00C W785.57B W784.52C	104 年納入蒐集清單
40	六氯環戊二烯	Hexachlorocyclopentadiene	77-47-4	W801.54B M623.01C	104 年納入蒐集清單
41	六氯苯	Hexachlorobenzene	118-74-1	M623.01C W801.54B	104 年納入蒐集清單
42	1,2-二溴-3-氯丙烷	1,2-Dibromo-3-chloropropane	96-12-8	M612.00C W785.57B W784.52C	104 年納入蒐集清單
43	鈷	Cobalt(Co)	7440-48-4	W303.51A M104.02C	105 年納入蒐集清單
44	嘉磷塞	Glyphosate	9008-02-0	W655.51B	105 年納入蒐集清單
45	鈹	Beryllium(Be)	7440-41-7	W303.51A M104.02C	105 年納入蒐集清單

a.未正式列入該方法，但該方法適用範圍註明其他未列舉之農藥如符合本方法之品管規範亦適用之。

表 2.4-2 111 年蒐集清單物質列表（66 項）（續）

編號	中文	英文	CAS	公告分析方法	備註
46	愛殺松	Ethion	563-12-2	W603.50B W801.54B W610.52B W656.52B	106 年納入蒐集清單
47	馬拉松/馬拉硫磷	Malathion / Maldison	121-75-5	W603.50B R610.21C W610.52B W656.52B W801.54B	106 年納入蒐集清單
48	歐殺滅	Oxamyl / Vydate	23135-22-0	W603.50B W635.53B	106 年納入蒐集清單
49	雙氯芬酸	Diclofenac	15307-86-5	W543.50B <sup>b</sup> W545.50B <sup>b</sup>	107 年納入蒐集清單
50	吲哚美辛	Indomethacin	53-86-1	W545.50B <sup>a</sup>	107 年納入蒐集清單
51	磺胺甲噁唑	sulfamethoxazole	723-46-6	W543.50B	107 年納入蒐集清單
52	磺胺噻唑	Sulfathiazole	72-14-0	W543.50B	107 年納入蒐集清單
53	氟甲喹	Flumequine	42835-25-6	W543.50B <sup>b</sup> W545.50B <sup>b</sup>	107 年納入蒐集清單
54	克拉黴素	Clarithromycin	81103-11-9	W543.50B	107 年納入蒐集清單
55	鋰	lithium	7439-93-2	M104.02C	108 年納入蒐集清單
56	鄰苯二甲酸二甲酯	Dimethyl phthalate (DMP)	131-11-3	R811.21C	109 年改列蒐集清單 103 年納入觀察清單
57	氯苯	Chlorobenzene	108-90-7	M612.00C W785.57B W784.52C	109 年改列蒐集清單 103 年納入觀察清單
58	苯乙烯	Styrene	100-42-5		109 年改列蒐集清單 103 年納入觀察清單
59	乙苯	Ethylbenzene	100-41-4		109 年改列蒐集清單 103 年納入觀察清單
60	1,1-二氯乙烷	1,1-Dichloroethane	75-34-3		109 年改列蒐集清單 103 年納入觀察清單

a.未正式列入該方法，但該方法註明如經驗證且符合該方法規範者亦可適用。

b.未正式列入該方法，但該方法適用範圍註明其他未列舉之農藥如符合本方法之品管規範亦適用之。

表 2.4-2 111 年蒐集清單物質列表（66 項）（續）

編號	中文	英文	CAS	公告分析方法	備註
61	壬基酚	Nonylphenol	25154-52-3	W541.50B W801.54B W545.50B	109 年改列蒐集清單 103 年納入觀察清單
62	雙酚 A	Bisphenol A	80-05-7	W545.50B W801.54B W541.50B	109 年改列蒐集清單 105 年納入觀察清單
63	土臭素	Geosmin	19700-21-1	W537.51B	110 年納入蒐集清單
64	2-甲基異莰醇 (2-MIB)	2-Methylisoborneol (2-MIB)	2371-42-8	W537.51B	110 年納入蒐集清單
65	甲醛	Formaldehyde	50-00-0	W782.50B	111 年改列蒐集清單 103 年納入觀察清單
66	鎵	Gallium (Ga)	7440-55-3	W313.53B	111 年改列蒐集清單 103 年納入觀察清單

## 2.5 觀察清單

### 2.5.1 觀察清單沿革

101 年「飲用水列管項目之篩選作業」計畫的第二版蒐集清單中，有 22 項物質有較完整的毒理資料及本土水質資料可進行上述四項參數評分，並提供四項參數評分之參考資料一併予專家，經專家諮詢會議評估哪些物質應納入觀察清單。經專家諮詢會議決定把微囊藻毒 LR 型、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯、氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、甲醛、鋒、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯及鎔等 11 項物質納入觀察清單。並於 103 年 7 月起至 104 年 6 月止由自來水事業針對除鋒跟鎔以外的 9 項物質於淨水處理或配水系統進行一年監測，監測結果顯示未觀察到有影響飲用水安全之疑慮。

105 年「飲用水水源及水質標準項目之調查及評估(3/3)」計畫依上述做法自蒐集清單中篩選出 1,2-二溴乙烷、雙酚 A、鉈及碲等 4 項物質，納入觀察清單。

106 年則篩選出硼、N-亞硝二甲胺(NDMA)、N-亞硝二乙胺(NDEA)、鄰苯二甲酸二丁酯、全氟辛烷酸(PFOA)、全氟辛烷磺酸(PFOS)等六項物質納入觀察清單，並把鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯自觀察清單中納入候選清單。

108 年計劃專家諮詢會議決議，觀察清單物質經長期監測後（連續進行超過 6 年監測，且平均每年超過 200 筆檢測值），若結果顯示於我國淨水場暫無顯著風險（檢測值均未超過國際管制標準最小值），則把這類物質改列蒐集清單，把檢測能量做較合理的運用。依上述條件，108 年觀察清單物質中有七項物質（氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯）改列蒐集清單。

110 年度計畫彙整歷年環保署針對 109 年候選清單物質 DEHP 於我國淨水場清水之檢測結果，建立本土檢測資料庫並進行數據分析，近年檢測結果顯示 108-110 年針對 DEHP 於我國淨水廠抽驗 702 筆清水樣品，數據均低於定量極限(0.004 mg/L)，且考量 DEHP 於我國飲用水中檢測結果顯示其濃度有逐漸降低，經專家會議討論通過把 DEHP 自候選清單改列觀察清單，持續觀察。因此 110 年觀察清單物質新增 1 項，共計 14 項。觀察清單變動歷史彙整於表 2.5-1。

表 2.5-1 觀察清單變動歷史

年度	清單變動	變動原因	清單項目	數量
103	自蒐集清單新增 11 項	經毒理及本土水質等四項參數評分後(參見 2.4.2 節)，經專家諮詢會議討論自蒐集清單提升關注層級至觀察清單。	微囊藻毒 LR 型、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯、氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、甲醛、鋸、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、鎔	11
105	自蒐集清單新增 4 項： 1,2-二溴乙烷、雙酚 A、鉈、碲	經毒理及本土水質等四項參數評分後(參見 2.4.2 節)，經專家諮詢會議討論自蒐集清單提升關注層級至觀察清單。	微囊藻毒 LR 型、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯、氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、甲醛、鋸、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、鎔、1,2-二溴乙烷、雙酚 A、鉈、碲	15
106	自蒐集清單新增 6 項： 硼、NDMA、NDEA、鄰苯二甲酸二丁酯、PFOA、PFOS 1 項觀察清單物質改列候選清單： DEHP	經毒理及本土水質等四項參數評分後(參見 2.4.2 節)，經專家諮詢會議討論自蒐集清單提升 6 項物質的關注層級至觀察清單。 DEHP	微囊藻毒 LR 型、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯、氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、甲醛、鋸、鎔、1,2-二溴乙烷、雙酚 A、鉈、碲、硼、NDMA、NDEA、鄰苯二甲酸二丁酯、PFOA、PFOS	20
108	7 項觀察清單改列蒐集清單： 氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯	彙整歷史檢測資料檢視於我國淨水場暫無顯著風險，因此降低關注層級	微囊藻毒 LR 型、甲醛、鋸、鎔、1,2-二溴乙烷、鉈、碲、硼、NDMA、NDEA、鄰苯二甲酸二丁酯、PFOA、PFOS	13
110	1 項候選清單物質改列觀察清單： DEHP	彙整歷史檢測資料檢視於我國淨水場風險降低，因此降低關注層級	微囊藻毒 LR 型、甲醛、鋸、鎔、1,2-二溴乙烷、鉈、碲、硼、NDMA、NDEA、鄰苯二甲酸二丁酯、PFOA、PFOS、DEHP	14

### 2.5.2 觀察清單物質改列蒐集清單

110 年環保署計劃專家諮詢會議決議為長期有效運用檢測能量，觀察清單物質若於五年內有 250 筆以上監測，且檢測值均未超過國際管制標準最小值，則可改列蒐集清單。

本計畫彙整 97 年至 110 年我國淨水廠清水中甲醛之檢測結果於表 2.5-2，國際上針對飲用水中甲醛進行管制或設置指引值之國家包含日本(0.08 mg/L)、南韓(0.5 mg/L)、澳洲(指引值 0.5 mg/L)、美國(列於 CCL4, 健康參考水準 HRL 1.4 mg/L)，國際管制標準最小值為 0.08 mg/L，當飲用水中甲醛濃度為 0.08 mg/L 時的危害商數(HQ)為 0.01 (遠小於 1)，我國淨水廠清水中甲醛檢測結果於近五年內有 250 筆以上監測，且檢測值均未超過國際管制標準最小值(0.08 mg/L)，顯示甲醛於我國飲用水中無顯著危害，經本計畫第一次專家會議討論後，將甲醛改列蒐集清單，以有效運用檢測能量。

$$0.08 \text{ mg/L 甲醛之 HQ} = 0.08 \text{ mg/L} \times 2L \text{ (每人每天飲水量)} \div 60 \text{ kg (成人平均體重)} \div 0.2 \text{ mg/kg-day (美國 IRIS RfD)} = 0.01$$

**表 2.5-2 97-111 年我國淨水廠清水中甲醛檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.08 mg/L 樣品數 (比例)
97	29	0 (0%)
98	31	0 (0%)
99	5	0 (0%)
100	5	0 (0%)
101	5	0 (0%)
102	—	—
103	22	0 (0%)
104	22	0 (0%)
105	27	0 (0%)
106	205	0 (0%)
107	100	0 (0%)
108	50	0 (0%)
109	50	0 (0%)
110	50	0 (0%)

本計畫彙整 100 年至 110 年我國淨水廠清水中鎵之檢測結果於表 2.5-3，然而目前國際上針對飲用水中的鎵並沒有管制值或指引值，亦無可靠毒理資料可供計算健康參考水準以評估健康風險。考量我國淨水廠清水中鎵檢測結果於近五年（106-110 年）內每年有 200 處次檢測，已有大量本土飲用水水質資訊，且歷年檢出濃度最大值變化不大，經本計畫第一次專家會議討論後，將鎵改列蒐集清單，以有效運用檢測能量。

**表 2.5-3 100-110 年我國淨水廠清水中鎵檢測結果**

年份	檢測樣品數	檢出最大值 (mg/L)
100	400	0.00061
101	22	0.0001
102	22	0.0001
103	22	0.00012
104	22	0.00004
105	22	0.0001
106	201	0.00014
107	201	0.00017
108	201	0.00013
109	200	0.00010
110	200	0.00011

### 2.5.3 111 年觀察清單

本年度計畫經第一次專家會議討論，考量甲醛及鎵已有足夠本土水質資料，且結果顯示於我國飲用水中暫無顯著風險，因此改列蒐集清單（2.5.2 節），故「111 年觀察清單（草稿）」減少 2 項。此外，於第二次專家會議評估討論後，通過蒐集清單中 NPYR 及 PFHxS 應納入觀察清單，故 111 年觀察清單共計 14 項（表 2.5-4），國際上針對觀察清單物質的管制情況彙整於表 2.5-5。

**表 2.5-4 111 年觀察清單物質（14 項）**

	污染物名稱	英文	CAS 編號	環檢所 公告分析方法	備註
1	微囊藻毒-LR 型	Microcystin-LR	101043-37-2	W539.50B	103 年納入觀察清單
2	鍺	Germanium (Ge)	7440-56-4	W313.53B	103 年納入觀察清單
3	1,2-二溴乙烷	1,2-Dibromoethane	106-93-4	W785.56B	104 年納入蒐集清單 105 年納入觀察清單
4	碲	Tellurium (Te)	13494-80-9	W311.53C	105 年納入觀察清單
5	鉈	Thallium (Tl)	7440-28-0	W313.53B	105 年納入觀察清單
6	全氟辛烷磺酸	Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	1763-23-1	W542.50B	106 年納入觀察清單 105 年納入蒐集清單
7	全氟辛烷酸（全氟辛酸）	Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	W542.50B	106 年納入觀察清單 105 年納入蒐集清單
8	N-亞硝二乙胺	N-nitrosodiethylamine (NDEA)	55-18-5	—	106 年納入觀察清單
9	N-亞硝二甲胺	N-nitrosodimethylamine (NDMA)	62-75-9	—	106 年納入觀察清單
10	硼	Boron(B)	7440-42-8	W311.53C	106 年納入觀察清單 105 年納入蒐集清單
11	鄰苯二甲酸二丁酯	Dibutyl phthalate (DBP)	84-74-2	W801.54B	106 年納入觀察清單
12	鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯	di(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP	117-81-7	W801.54B	110 年改列觀察清單 106 年納入候選清單 103 年納入觀察清單
13	N-亞硝基吡咯烷	N-nitrosopyrrolidine, NPYR	930-55-2	W801.54B	111 年納入觀察清單 106 年納入蒐集清單
14	全氟己烷磺酸	PFHxS	355-46-4	W542.50B	111 年納入觀察清單 110 年納入蒐集清單

表 2.5-5 觀察清單物質於國際上管制情況

中文	英文	CAS No.	WHO <sup>a</sup>	美國 CCL3、4 (HRL 0.000021)	加拿大 0.0015	歐盟 —	紐西蘭 0.001 <sup>b</sup>	澳洲 <sup>a</sup> 0.0013 <sup>b</sup>	日本 0.0008 <sup>a</sup>	南韓 —	新加坡 0.001
微囊藻毒-LR 型	Microcystin-LR	101043-37-2	0.001	CCL3、4 (HRL 0.000021)	0.0015	—	0.001 <sup>b</sup>	0.0013 <sup>b</sup>	0.0008 <sup>a</sup>	—	0.001
鍺	Germanium (Ge)	7440-56-4	—	CCL3、4 (HRL 0.000744)	—	—	—	—	—	—	—
1,2-二溴乙烷	1,2-Dibromoethane (Ethylene dibromide)	106-93-4	0.0004	0.00005	—	—	0.0004	—	—	0.0004	0.0004
碲	Tellurium	137322-20-4 13494-80-9	—	CCL3、4 (HRL 0.175)	—	—	—	—	—	—	—
鉈	Thallium (Tl)	82870-81-3	—	0.002	—	—	—	—	—	—	—
N-亞硝二甲胺	N-Nitrosodimethylamine (NDMA)	62-75-9	0.0001	CCL3、4 (HRL 0.000056)	0.00004	—	—	0.0001	0.0001 <sup>a</sup>	—	0.0001
N-亞硝二乙胺	N-nitrosodiethylamine (NDEA)	55-18-5	—	CCL3、4	—	—	—	—	—	—	—
N-亞硝基吡咯烷	N-nitrosopyrrolidine (NPYR)	930-55-2	—	CCL3、4	—	—	—	—	—	—	—
全氟辛酸	Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	—	0.00007 <sup>e</sup>	—	—	—	0.00056	0.00005 <sup>c</sup>	—	—
全氟辛磺酸	Perfluorooctane sulfonate (PFOS)	1763-23-1	—	0.00007 <sup>e</sup>	—	—	—	0.00007 <sup>d</sup>	0.00005 <sup>c</sup>	—	—
全氟己磺酸	Perfluorohexane sulfonate (PFHxS)	355-46-4	—	—	—	—	—	0.00007 <sup>d</sup>	—	—	—
硼	Boron (B)	7440-42-8	2.4	CCL1、2	5	1	1.4	4	1	1	2.4
鄰苯二甲酸二丁酯	Dibutyl phthalate	84-74-2	—	—	—	—	—	—	0.01 <sup>a</sup>	—	—
鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	117-81-7	0.008	0.006	—	—	0.009	0.01	0.08 <sup>a</sup>	—	0.008

a 指引值/目標值/非常規指標值（非法定標準）

c PFOA 與 PFOS 合計

b 管制總微囊藻毒

d PFOS 與 PFHxS

#### 2.5.4 觀察清單物質監測計畫

觀察清單物質監測主要為建立國內自來水淨水場水質檢測資料，以利後續進行健康風險試算及評估管制方式，針對觀察清單物質優先監測淨水場提出優先監測代表性淨水場應具備的條件，分別考量(1) 供水區域代表性：主要考量臺灣分屬北、中、南部及離島，以及其水源來自水庫(在槽與離槽)、河川及地下水的淨水場；(2)供水人口數及水量；(3)特殊環境條件：主要考量其淨水場的處理程序(如:高級處理)以及週界是否有特殊污染物來源(如：高科技產業)，最後挑選出台灣自來水股份有限公司（以下簡稱台水公司）及臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）等兩自來水事業單位所轄淨水場，分別篩選出台水公司 29 座（實際供水量占台水公司總供水量 80%）及北水處 3 座（實際供水量占北水處總供水量 97%）淨水場，且所引用之原水包含河川水、水庫水、地下水等不同水源（淨水場資料如表 2.5-6）。監測作業期程原則為 1 年，每座淨水場 1 季檢測 1 次，共計 4 次。其中淨水場清水及淨水場供水系統之配水管網端水質各占 50%。

自 103 年起自來水事業已逐步針對觀察清單物質完成至少一次一年 4 季監測（表 2.5-7），後續建議每年針對觀察清單中 5-6 項物質進行一年四季監測，監測項目以新增之觀察清單物質為優先，若無新增項目則監測既有觀察清單物質，相同分析方法之監測項目規劃於同一年進行檢測。

110 年自來水事業針對 PFOA、PFOS、微囊藻毒 LR 型、鋒、碲、硼進行監測，111 年監測甲醛、1,2-二溴乙烷、鄰苯二甲酸二丁酯、鎵、鉈等 5 項物質。過去觀察清單物質監測計畫執行概況彙整於表 2.5-7。

經第三次專家會議討論，雖今年觀察清單物質新增 NPYR 及 PFHxS，考量自來水事業需時間建立分析方法，故建議 112 年監測既有觀察清單物質，硼、鋒、鉈、碲、鄰苯二甲酸二丁酯、DEHP，113 年監測 NDMA、NDEA、NPYR、PFOA、PFOS、PFHxS，114 年監測 1,2-二溴乙烷、微囊藻毒 LR 型、NDMA、NDEA、NPYR。

表 2.5-6 建議檢測淨水場

	管理單位(廠/所)	供水單位(淨水場)	原水類別
臺灣自來水股份有限公司			
1	豐原給水廠	豐原一場	河川水
2		豐原二場	
3	鯉魚潭給水廠	鯉魚潭淨水場	水庫水
4	板新給水廠	板新淨水場一二期	河川水
		板新淨水場三期	
5	南化給水廠	南化淨水場	水庫水
6	平鎮給水廠	平鎮二期	水庫水
		平鎮一期	
7	坪頂給水廠	坪頂淨水場	河川水 地下水
8	大湏給水廠	大湏一期	水庫水
		大湏二期	
9	澄清湖給水廠	澄清湖淨水場	水庫水 地下水
10	烏山頭給水廠	烏山頭淨水場	水庫水
11	拷潭給水廠	拷潭淨水場	河川水 地下水
12	寶山給水廠	寶山一期	水庫水
		寶山二期	
		寶山三期	
13	東興給水廠	東興二期	水庫水
		東興一期	
14	鳳山給水廠	鳳山淨水場(民生)	河川水
15	新山給水廠	新山淨水場	水庫水
16	林內營運所	林內淨水場	河川水
17	新竹給水廠	第二淨水場	河川水
18	嘉義給水廠	公園淨水場	水庫水
19	臺南給水廠	潭頂淨水場	水庫水
20	平鎮給水廠	石門淨水場	水庫水
21	新竹給水廠	第一淨水場	河川水
22	嘉義給水廠	水上淨水場	水庫水
23	貢寮雙溪營運所	貢寮淨水場	河川水
24	牡丹給水廠	牡丹淨水場	水庫水
25	新山給水廠	暖暖淨水場	水庫水
26	龍潭給水廠	龍潭淨水場	水庫水
27	大岡山給水廠	嶺口淨水場	地下水
28	水里營運所	集集淨水場	河川水
29	屏東營運所	屏東淨水場	地下水
臺北自來水事業處			
1	臺北自來水事業處	直潭淨水場	翡翠水庫及南勢溪流經新店溪取水
2		長興淨水場	
3		公館淨水場	

表 2.5-7 觀察清單物質監測計畫執行概況

項目	執行年份	項目	執行年份
微囊藻毒 LR 型	103、110	鉈	108、111
鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	103	碲	108、110
鄰苯二甲酸二丁酯	107、111	1,2-二溴乙烷	108、111
硼	107、110	PFOA	107、110
NDMA	107	PFOS	107、110
NDEA	107	PFHxS	—
NPYR	—	鍺	110

## 2.6 觀察清單物質歷年檢測結果

### 2.6.1 微囊藻毒-LR 型淨水廠檢測資料彙整

國際上管制飲用水中微囊藻毒-LR 型的國家包含加拿大、新加坡，而 WHO、澳洲、日本、南韓則是制定無法律強制性的指引值，紐西蘭則是管制飲用水中的總微囊藻毒，管制濃度（或指引值）介於 0.0008-0.0015 mg/L 不等，其中日本的指引值 0.0008 mg/L 最為嚴格。

本計畫彙整近 97-111 年飲用水中（清水及配水）微囊藻毒-LR 型檢測結果，並計算大於 0.0008 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-1）。歷年來檢測結果均小於 0.0008 mg/L，顯示微囊藻毒-LR 型於我國淨水場暫無顯著風險。

**表 2.6-1 97-111 年飲用水中微囊藻毒-LR 型檢測結果**

年份	檢測 樣品數	>0.0008 mg/L 樣品數（比例）	年份	檢測 樣品數	>0.0008 mg/L 樣品數（比例）
97	5	0 (0%)	105	42	0 (0%)
98	34	0 (0%)	106	49	0 (0%)
99	35	0 (0%)	107	25	0 (0%)
100	25	0 (0%)	108	27	0 (0%)
101	27	0 (0%)	109	20	0 (0%)
102	30	0 (0%)	110	20	0 (0%)
103	12	0 (0%)	111	30	0 (0%)
104	121	0 (0%)			

## 2.6.2 鈮淨水廠檢測資料彙整

目前國際上僅有美國管制飲用水中的鈮應低於 0.002 mg/L。

本計畫彙整近 97-111 年飲用水中（清水及配水）鈮檢測結果，並參考美國飲用水水質標準，計算大於 0.002 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-2）。105 年以前檢測值均低於 0.002 mg/L，然而檢測樣品數並不多，106 年起每年檢測超過 200 筆數據，106 年有兩筆測值大於 0.002 mg/L（發生率為 0.9%），110 年有一筆測值大於 0.002 mg/L（發生率為 0.5%）。今年度抽驗 200 筆數據中，測值均小於 0.002 mg/L，建議持續監測，累積本土檢測資料，了解鈮於我國淨水場的健康風險。

**表 2.6-2 97-111 年飲用水中鈮檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.002 mg/L 樣品數（比例）
100	400	0 (0%)
101	23	0 (0%)
102	22	0 (0%)
103	22	0 (0%)
104	22	0 (0%)
105	22	0 (0%)
106	221	2 (0.9%)
107	200	0 (0%)
108	201	0 (0%)
109	200	0 (0%)
110	200	1 (0.5%)
111	200	0 (0%)

### 2.6.3 鄰苯二甲酸二丁酯淨水廠檢測資料彙整

國際上尚未有國家或國際組織管制飲用水中鄰苯二甲酸二丁酯，日本則是制訂指引值 0.01 mg/L。

本計畫彙整 97-111 年飲用水中（清水及配水）鄰苯二甲酸二丁酯檢測結果，並計算大於日本指引值 0.01 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-3）。自 102 年起，連續 9 年每年至少有超過 200 筆檢測數據，自 104 年起有少數樣品測得濃度大於 0.01 mg/L，然每年發生率均低於 1%。以 102-106 年累計之 2,096 筆資料來看，計 9 筆資料(0.429%) 超過 0.01mg/L，發生率不高，近 5 年則未有檢出超過 0.01mg/L。

**表 2.6-3 97-111 年飲用水中鄰苯二甲酸二丁酯檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.01 mg/L 樣品數 (比例)
100	12	0 (0%)
102	228	0 (0%)
103	327	0 (0%)
104	283	2 (0.7%)
105	365	1 (0.3%)
106	839	6 (0.7%)
107	400	0 (0%)
108	402	0 (0%)
109	300	0 (0%)
110	200	0 (0%)
111	200	0 (0%)

#### 2.6.4 1,2-二溴乙烷淨水廠檢測資料彙整

國際上管制飲用水中 1,2-二溴乙烷的國家包含美國、紐西蘭、新加坡，而 WHO 則是制定無法律強制性的指引值，管制濃度（或指引值/健康參考水準）介於 0.00005-0.0004 mg/L 不等，其中美國的管制值 0.00005 mg/L 最為嚴格。

本計畫彙整 97-111 年飲用水中（清水及配水）1,2-二溴乙烷檢測結果，並計算大於 0.00005 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-4），自 102 年起，連續 5 年每年至少有超過 200 筆檢測數據，然而過去檢測極限均高於國際最低管制值 0.00005 mg/L，無法有效評估於我國飲用水中之健康風險。環保署自 109 年起每年進行 50 處次抽驗，且偵測極限均低於 0.00005 mg/L，目前檢測結果均低於 0.00005 mg/L。

110 年環保署計劃專家諮詢會議決議為長期有效運用檢測能量，觀察清單物質若於五年內有 250 筆以上監測，且檢測值均未超過國際管制標準最小值，則可改列蒐集清單。目前累積 1,2-二溴乙烷有效數據 150 筆，建議再增加 100 處次監測結果後可評估是否調整關注層級。

**表 2.6-4 97-111 年飲用水中 1,2-二溴乙烷檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.00005 mg/L 樣品數（比例）
100	178	—
101	359	—
102	350	—
103	370	—
104	482	2 (0.4%)
105	375	—
106	463	—
109	50	0 (0%)
110	50	0 (0%)
111	50	0 (0%)

### 2.6.5 碲淨水廠檢測資料彙整

目前國際上並未有國家管制飲用水中的碲，或制定飲用水中的指引值，美國將碲納入污染物候選清單 4 (CCL4)，並計算其健康參考水準(HRL) 0.175 mg/L。

本計畫彙整 97-111 年飲用水中（清水及配水）碲檢測結果，並計算大於 0.175 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-5）。近十年於 100 年及 106 年各有約 20 筆的檢測結果，檢測結果都遠小於 0.175 mg/L，自 109 年起至今年度，每年有 200 筆抽驗數據，檢測結果均小於 0.175 mg/L。

**表 2.6-5 97-111 年飲用水中碲檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.175 mg/L 樣品數（比例）
100	17	0 (0%)
106	20	0 (0 %)
109	200	0 (0 %)
110	200	0 (0 %)
111	200	0 (0 %)

## 2.6.6 硼淨水廠檢測資料彙整

國際上管制飲用水中硼的國家包含歐盟、加拿大、紐西蘭、新加坡、南韓，而 WHO、澳洲國則是制定無法律強制性的指引值，管制濃度（或指引值）介於 1-5 mg/L 不等，其中歐盟、日本、南韓的管制值 1 mg/L 最為嚴格。

本計畫彙整 97-111 年飲用水中(清水及配水)硼檢測結果，並計算大於 1 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-6）。105 年有 18 筆的檢測結果，檢測結果都遠小於 1 mg/L，而 107 年 200 筆檢測中有 6 筆超過 1 mg/L，108 度抽驗結果則是均低於 1 mg/L，109 年至本年度均有 3-5 筆檢出值略高於國際管制值最小值(1 mg/L)，這些檢出值均發生於澎湖及連江（離島）的淨水廠，推測可能與海水含硼有關。然而檢出值均小於 1.3 mg/L，部分國家的管制值介於 1.4 到 5 mg/L，顯示硼於我國離島淨水廠的風險尚在可接受範圍。建議應持續監測累積本土水質資料，以有效評估硼於我國淨水場中之健康風險。

**表 2.6-6 97-111 年飲用水中硼檢測結果**

年份	檢測樣品數	>1 mg/L 樣品數 (比例)
105	18	0 (0%)
107	200	6 (3%)
108	200	0 (0%)
109	200	5 (2.5%)
110	200	3 (1.5%)
111	200	3 (1.5%)

### 2.6.7 N-亞硝二甲胺淨水廠檢測資料彙整

國際上管制飲用水中 N-亞硝二甲胺的國家僅有加拿大，而 WHO、澳洲、日本則是制定無法律強制性的指引值，管制濃度（或指引值）介於 0.0001-0.00004 mg/L 不等，其中加拿大的管制值 0.00004 mg/L 最為嚴格。美國則是將 N-亞硝二甲胺納入污染物候選清單 4 (CCL4)。

本計畫彙整 97-111 年飲用水中（清水及配水）N-亞硝二甲胺檢測結果，並計算大於 0.00004 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-7）。自 104 年起才有 N-亞硝二甲胺之檢測數據，且 104 年及 105 年之偵測極限高於 0.00004 mg/L，106 年起之偵測極限則均低於 0.00004 mg/L，累積近 300 筆數據，檢測結果都遠小於 0.00004 mg/L，顯示 N-亞硝二甲胺於我國淨水場暫無顯著風險，然而仍建議持續監測，累積本土水質資料，以有效評估 N-亞硝二甲胺於我國淨水場中之健康風險。

**表 2.6-7 97-111 年飲用水中 N-亞硝二甲胺檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.00004 mg/L 樣品數（比例）
104	16	—
105	10	—
106	132	0 (0%)
107	101	0 (0%)
108	50	0 (0%)
109	50	0 (0%)
110	50	0 (0%)
111	50	0 (0%)

### 2.6.8 N-亞硝二乙胺淨水廠檢測資料彙整

目前國際上並未有國家管制飲用水中的 N-亞硝二乙胺，或制定飲用水中的指引值，僅有美國將 N-亞硝二乙胺納入污染物候選清單 4 (CCL4)，並計算其健康參考水準(HRL) 0.0000002 mg/L。本計畫彙整 97-111 年飲用水中（清水及配水）N-亞硝二乙胺檢測結果，並計算大於 0.0000002 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-8）。近幾年雖有幾筆檢測高於健康參考水準(HRL) 0.0000002 mg/L，然健康參考水準為較嚴謹之評估指標，故建議持續監測，累積本土水質資料，以有效評估 N-亞硝二乙胺於我國淨水場中之健康風險。

**表 2.6-8 97-111 年飲用水中 N-亞硝二乙胺檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.0000002 mg/L 樣品數（比例）
106	18	1 (5.6%)
107	101	1 (0.99 %)
108	50	2 (4 %)
109	50	2 (4 %)
110	50	0 (0%)
111	50	2 (4 %)

### 2.6.9 N-亞硝基吡咯烷淨水廠檢測資料彙整

目前國際上並未有國家管制飲用水中的N-亞硝基吡咯烷，或制定飲用水中的指引值，本計畫彙整97-111年飲用水中(清水及配水)N-亞硝基吡咯檢測結果(表2.6-8)。N-亞硝基吡咯烷於本年度納入觀察清單，應持續監測，累積本土水質資料，以有效評估N-亞硝基吡咯烷於我國淨水場中之健康風險。

**表 2.6-9 97-111 年飲用水中 N-亞硝基吡咯烷檢測結果**

年份	樣品數	大於定量極限樣品數	偵測極限	定量極限	檢出濃度範圍
106	18	0	0.71	2	—
107	102	2	—	6	6.37-6.58
108	50	3	4.31	5	5.38-6.61
109	50	0	4.31	5	—
110	50	42	—	5	7.2~183.4
111	50	42	4.7	10	24.6~7394.7

單位: ng/L

### 2.6.10 全氟辛烷酸(PFOA)淨水廠檢測資料彙整

目前國際上並未有國家管制飲用水中的全氟辛烷酸，澳洲制定了 PFOA 在飲用水中的指引值 0.00056，美國提出全氟辛烷酸與全氟辛烷磺酸合併計算之健康建議值應小於 0.00007 mg/L，日本提出飲用水中全氟辛烷酸與全氟辛烷磺酸合併計算的目標值 0.00005 mg/L。本計畫彙整 97-111 年飲用水中（清水及配水）全氟辛烷酸檢測結果，並計算大於 0.00005 mg/L 的樣品數及發生率(表 2.6-10)。105 年、106 年及 108 抽驗檢測結果都小於 0.00005 mg/L，109 年至今年度每年均有一筆數據大於 0.00005 mg/L，檢出點位並未重複（表 2.4-8），可能屬偶發，建議持續監測。

**表 2.6-10 97-111 年飲用水中全氟辛烷酸檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.00005 mg/L 樣品數（比例）
105	18	0 (0%)
106	65	0 (0%)
108	50	0 (0%)
109	50	1 (2%)
110	50	1 (2%)
111	50	1 (2%)

### 2.6.11 全氟辛烷磺酸(PFOS)淨水廠檢測資料彙整

目前國際上澳洲提出飲用水中的全氟辛烷磺酸與 PFHxS 合計的指引值應小於 0.00007 mg/L，美國提出全氟辛烷酸與全氟辛烷磺酸合併計算之健康建議值應小於 0.00007 mg/L，日本提出飲用水中全氟辛烷酸與全氟辛烷磺酸合併計算的目標值 0.00005 mg/L。本計畫彙整近 97-111 年飲用水中（清水及配水）全氟辛烷磺酸檢測結果，並計算大於 0.00005 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-11）。108 年至 111 年抽驗結果有 1 至 3 筆超過 0.00005 mg/L，均發生於澎湖（表 2.4-8）。

**表 2.6-11 97-111 年飲用水中全氟辛烷磺酸檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.00005 mg/L 樣品數（比例）
105	18	0 (0%)
106	60	0 (0%)
108	50	1 (2%)
109	50	1 (2%)
110	50	3 (6%)
111	50	1 (2%)

### 2.6.12 全氟己烷磺酸(PFHxS)淨水廠檢測資料彙整

目前國際上僅澳洲提出飲用水中的 PFOS 與 PFHxS 合計的指引值應小於 0.00007 mg/L。本計畫彙整近 97-111 年飲用水中（清水及配水）PFHxS 檢測結果，並計算大於 0.00007 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-11）。108 年至 111 年抽驗結果有 1 至 3 筆超過 0.00005 mg/L，均發生於澎湖（表 2.4-8）。

**表 2.6-12 97-111 年飲用水中全氟辛烷磺酸檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.00007 mg/L 樣品數（比例）
108	50	1 (2%)
109	50	1 (2%)
110	50	3 (6%)
111	50	1 (2%)

### 2.6.13 銻淨水廠檢測資料彙整

目前國際上並未有國家管制飲用水中的銻，或制定飲用水中的指引值，僅有美國將銻納入污染物候選清單 4 (CCL4)，並計算其健康參考水準(HRL) 0.000744 mg/L。本計畫彙整 97-111 年飲用水中（清水及配水）銻檢測結果，並計算大於 0.000744 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-13）。近幾年雖有幾筆檢測高於健康參考水準 (HRL) 0.00074 mg/L，今年度抽驗 200 筆數據中有 1 筆測值大於 0.00074 mg/L，然健康參考水準為較嚴謹之評估指標，故建議持續監測，累積本土水質資料，以有效評估銻於我國淨水場中之健康風險。

**表 2.6-13 97-111 年飲用水中銻檢測結果**

年份	檢測樣品數	>0.000744 mg/L 樣品數（比例）
100	17	0 (0%)
106	201	0 (0%)
107	200	1 (0.5 %)
108	201	4 (2%)
109	200	3 (1.5%)
110	200	1 (0.5%)
111	200	1 (0.5%)

### 2.6.14 鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯淨水廠檢測資料彙整

國際上管制飲用水中鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯的國家包含美國、紐西蘭、新加坡，而 WHO、澳洲、日本則是制定無法律強制性的指引值，管制濃度（或指引值）介於 0.006-0.01 mg/L 不等，其中美國的管制值 0.006 mg/L 最為嚴格。

本計畫彙整 97-111 年飲用水中（清水及配水）鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯檢測結果，並計算大於 0.006 mg/L 的樣品數及發生率（表 2.6-14）。103 年至 107 年均有檢出高於美國的管制值 0.006 mg/L，然 108 年至本年度 900 筆檢測中均低於定量極限 (0.004 mg/L)。建議應持續監測，掌握鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯於我國淨水場中之健康風險。

**表 2.6-14 97-111 年飲用水中鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯檢測結果**

年份	檢測 樣品數	>0.006 mg/L 樣品數 (比例)	年份	檢測 樣品數	>0.006 mg/L 樣品數 (比例)
97	5	0 (0%)	105	355	6 (1.7%)
98	5	0 (0%)	106	893	3 (0.3%)
99	5	0 (0%)	107	400	4 (1%)
100	17	0 (0%)	108	402	0 (0%)
101	28	0 (0%)	109	300	0 (0%)
102	152	0 (0%)	110	200	0 (0%)
103	321	2 (0.6%)	111	200	0 (0%)
104	271	4 (1.5%)			

### 2.6.15 觀察經單檢測資料彙整

97-111 年飲用水中觀察清單物質檢測樣品數量及檢測結果大於國際管制最小值之樣品及比例彙整於表 2.6-15 及表 2.6-16。

表 2.6-15 97-111 年飲用水中觀察清單物質檢測樣品數量

	微囊藻 毒-LR 型	鉈	鄰苯二甲 酸二丁酯	1,2-二溴 乙烷	碲	硼	NDMA	NDEA	NPYR	PFOA	PFOS	PFHxS	鋯	DEHP
97	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
98	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
99	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
100	25	400	12	178	17	0	0	0	0	0	0	0	17	17
101	27	23		359	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
102	30	22	228	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152
103	12	22	327	370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	321
104	121	22	283	482	0	0	16	0	0	0	0	0	0	271
105	42	22	365	375	0	18	10	0	0	18	18	0	0	355
106	49	221	839	463	20		132	18	18	65	60	0	201	893
107	25	200	400	0	0	200	101	101	102	0	0	0	200	400
108	27	201	402	0	0	200	50	50	50	50	50	50	201	402
109	20	200	300	50	200	200	50	50	50	50	50	50	200	300
110	20	200	200	50	200	200	50	50	50	50	50	50	200	200
111	30	200	200	50	200	200	50	50	50	50	50	50	200	200

表 2.6-16 97-111 年飲用水中觀察清單物質檢測結果大於國際管制最小值之樣品及比例

單位 mg/L	微囊藻 毒-LR 型	鉈	鄰苯二甲 酸二丁酯	1,2-二溴 乙烷	碲	硼	NDMA	NDEA	NPYR	PFOA	PFOS	PFHxS	鍺	DEHP
國際管制 最小值	0.0008	0.002	0.01	0.00005	0.175	1	0.00004	0.0000002	—	0.00005	0.00005	0.00007	0.000744	0.006
97	0 (0%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 (0%)
98	0 (0%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 (0%)
99	0 (0%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 (0%)
100	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	—	0 (0%)	—	—	—	—	—	—	—	0 (0%)	0 (0%)
101	0 (0%)	0 (0%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 (0%)
102	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0 (0%)
103	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2 (0.6%)
104	0 (0%)	0 (0%)	2 (0.7%)	2 (0.4%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4 (1.5%)
105	0 (0%)	0 (0%)	1 (0.3%)	—	—	0 (0%)	—	—	—	0 (0%)	0 (0%)	—	—	6 (1.7%)
106	0 (0%)	2 (0.9%)	6 (0.7%)	—	0 (0%)	—	0 (0%)	1 (5.6%)	—	0 (0%)	0 (0%)	—	0 (0%)	3 (0.3%)
107	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	—	—	6 (3%)	0 (0%)	1 (0.99 %)	—	—	—	—	1 (0.5%)	4 (1%)
108	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	—	—	0 (0%)	0 (0%)	2 (4 %)	—	0 (0%)	1 (2%)	1 (2%)	4 (2%)	0 (0%)
109	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (2.5%)	0 (0%)	2 (4 %)	—	1 (2%)	1 (2%)	1 (2%)	3 (1.5%)	0 (0%)
110	0 (0%)	1 (0.5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (1.5%)	0 (0%)	0 (0%)	—	1 (2%)	3 (6%)	3 (6%)	1 (0.5%)	0 (0%)
111	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (1.5%)	0 (0%)	2 (4%)	—	1 (2%)	1 (2%)	1 (2%)	1 (0.5%)	0 (0%)

## 2.7 候選清單

環保署 103 年起持續監測鄰苯二甲酸酯類，其中鄰苯二甲酸二（乙基己基）酯(DEHP)103 至 105 年持續有部分樣品檢出高於國際管制值最小值 0.006 mg/L，檢出濃度介於 0.00602 至 0.017 mg/L，對應之危害商數(HQ)最高為 0.028，雖然小於 1，但根據 WHO 及澳洲飲用水水質指引，飲用水中 DEHP 佔每日攝取量約 1%，因此於 106 年納入候選清單，持續監測並評估是否應列管。

$$0.017 \text{ mg/L DEHP 之 HQ} = 0.017 \text{ mg/L} \times 2\text{L} (\text{每人每天飲水量}) \div 60 \text{ kg} (\text{成人})$$

$$\text{平均體重}) \div 0.02 \text{ mg/kg-day} (\text{美國 IRIS RfD}) = 0.028$$

**表 2.7-1 93-111 年 DEHP 檢出濃度大於 0.006 mg/L 之點位**

年份	水廠名	日期	檢測值(mg/L)	資料來源
103	豐原第一	5 月 12 日	0.0124	103 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫
103	太湖	7/17-18	0.00739	公共給水系統新興汙染物監控與處理技術提升研究(2/2)
104	台東大溪	12 月 23 日	0.00666	台水
104	新化	12 月 14 日	0.00898	台水
104	新化	12 月 23 日	0.00894	台水
104	壠堺	12 月 15 日	0.00744	台水
105	澎湖成功	10 月 18 日	0.00618	台水
105	泰源	10 月 18 日	0.00687	台水
105	水母	10 月 18 日	0.00699	台水
105	綠島	10 月 18 日	0.0103	台水
105	蘭潭	4 月 13 日	0.00866	105 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫
105	楠玉	6 月 16 日	0.01110	105 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫
106	花蓮新社	6 月 15 日	0.00861	106 年飲用水新興污染物研究與水質管理
106	利稻	5 月 15 日	0.0170	台水
106	新化	4 月 17 日	0.00602	台水
107	石門	6 月 12 日	0.00958	107 年飲用水新興污染物研究與水質管理
107	大埔	7 月 9 日	0.00664	107 年飲用水新興污染物研究與水質管理
107	嘉義觸口	6 月 7 日	0.00615	107 年飲用水新興污染物研究與水質管理
107	昔果山供水站	8 月 22 日	0.0110	107 年飲用水新興污染物研究與水質管理

「110 年飲用水未列管新興污染物之水質研究計畫」彙整歷年環保署針對「109 年候選清單」物質 DEHP 於我國淨水場清水之檢測結果（參表 2.6-14），結果顯示 108-110 年針對 DEHP 於我國淨水廠抽驗 702 筆清水樣品，數據均低於定量極限(0.004 mg/L)，對應之危害商數(HQ)為小於 0.0067。因此於該計畫第二次專家會議中進行討論，考量 DEHP 近年於我國飲用水中檢測結果顯示 DEHP 的濃度於我國飲水中暫無顯著危害風險，其濃度亦未超過國際管制值最小值 0.006 mg/L，決議把 DEHP 自候選清單改列觀察清單，持續觀察，因此目前候選清單中暫無物質。

$$0.004 \text{ mg/L DEHP 之 HQ} = 0.004 \text{ mg/L} \times 2\text{L} (\text{每人每天飲水量}) \div 60 \text{ kg} (\text{成人平均體重}) \div 0.02 \text{ mg/kg-day} (\text{美國 IRIS RfD}) = 0.0067$$



### 第三章 優先評估物質篩選

為利本土水質資料之建立及後續篩選作業之進行，環保署持續針對初步蒐集清單之物質進行系統性之監測，以利本土水質資料之建立及後續篩選作業之進行。本計畫自初步蒐集清單中篩選六項新興污染物質進行評估，篩選考量原則主要為四大項：

- 一、國內普遍使用或曾使用及對健康危害性。
- 二、國外相關標準值已有規範或建議值，即各國已列管，我國尚未列管之污染物。
- 三、國內外（含 WHO）關切之污染物清單。
- 四、公告之標準分析檢測方法。

依據以上原則進行評估，提供參與學者專家諮詢會議的委員會們進行最終篩選，決定本計畫之 6 項飲用水水質未列管污染物評估項目。且依評選須知，本計畫執行期間應針對我國北、中、南或離島代表淨水場抽驗調查飲用水與水源中之濃度現況（至少 6 處淨水場，每一處包含原水及清水各 1 個水樣，另其中 2 處淨水場加做流程中 2 個水樣，頻率皆至少 3 次）。根據採樣分析結果評估飲用水水源與水質中新興污染物之流佈；且彙整自來水事業及水利署等針對淨水場原水、清水之檢測結果，與機關河川水體環境流布調查結果，並彙編上述 6 項物質毒理資料，具體評估我國飲用水系統中之危害風險及淨水場處理效能，據以提出改善建議。

#### 3.1 環境荷爾蒙

環境荷爾蒙又稱為內分泌干擾物質，簡稱為 EDCs(Endocrine disrupting compounds)，因其分子結構或化學特性與生物體內分泌系統所分泌的激素相似，在水體中存在濃度極低(sub-ng/L)即可能對生物體產生影響而逐漸受到重視 (Laenge et al., 2001)。暴露於環境荷爾蒙因其能產生模仿或颉抗的作用，進而影響生物體內分泌系統，如荷爾蒙本身或荷爾蒙受器干擾荷爾蒙的代謝、合成、分泌、傳輸、結合與作用，範圍從急性到慢性疾病，即免疫作用，代謝作用，生殖異常，行為改變，糖尿病，肥胖症，心血管疾病，可能影響神經與內分泌系統，進而影響生物個體的成長發育，並可能使生物體產生兩性特徵 (Sumpter and Jobling, 1995; Gray and Metcalfe, 1997; Sonnenschein and Soto, 1998) 而影響生物體之生殖作用。多數環境荷爾蒙具有以下特性：通常不溶於水、可在環境中長期

存在、在環境中具持久性而不易分解、具生物濃縮及生物蓄積性、對生物具有毒性。環境荷爾蒙種類繁多，包含多種農藥（除草劑、殺菌劑、殺蟲劑如 DDT、嘉磷塞、陶斯松等），塑化劑(如鄰苯二甲酸酯類)，其他環境荷爾蒙包括工業產品(如有機氯化物，戴奧辛、PCB、多溴二苯醚、壬基苯酚、全氟烷化合物等)，個人照護及保健用品（PPCPs，如三氯沙、對羥基苯甲酸酯類、DEET 等），清潔劑原料(雙酚 A 等)、金屬污染物(如甲基汞、有機錫、鉛)。美國針對環境荷爾蒙篩選計畫（Endocrine Disruptor Screening Program，EDSP）建立約 10000 種化學品清單（2014 年更新），經由蒐集這些化學物質之物理特性、化學性質、暴露情形、以毒理及效應為基礎，分階段進行調查與評估，以了解其對雌激素，雄激素和甲狀腺激素系統的潛在影響。且於 2009 年公布「第一階段環境荷爾蒙篩選最終清單」，其中包含 67 種農藥活性成分或農藥相關高生產量之化學物質。2010 年公布「第一階段環境荷爾蒙第二批次篩選清單」，包括殺蟲劑、全氟化物(PFCs)、個人照護及保健用品等 134 種疑似環境荷爾蒙物質。2013 年則公布包含多種農藥、2 種全氟碳化物(PFCs, PFOA 及 PFOS)、4 種保健藥品(erythromycin, lindane, nitroglycerin, 及 quinoline)之第二階段清單。1999 年 12 月歐盟公布「歐盟環境荷爾蒙策略」，擬定環境荷爾蒙研究架構及近、中、長程實施策略，公布第 1 類及第 2 類環境荷爾蒙清單物質合計 324 種。

當人們大量使用農藥、清潔劑等化學用品，這些物質殘留在環境中，透過食物鏈進入人體或其他生物體內，因這些物質可模擬體內之天然荷爾蒙，進而影響體內之生理調節機能。環境荷爾蒙的污染監測亦為近年來環境污染的重要議題之一，此類物質包括自然產生、環境污染、製藥產物、工業產品及民生用品等來源。

環境荷爾蒙種類複雜，雖是化學物質，但有些並不具有相似的化學結構或性質，因此可分為合成物質、外源性雌激素及天然物質，即一般俗稱的荷爾蒙，可被歸類為內分泌干擾物質的有：人工和天然激素有雌激素類固醇、具有荷爾蒙副作用的藥物（如萘普生等）、烷基酚聚氧乙烯醚類 (alkylphenol polyethoxylates, APEOs) 化合物、工業和家用化學品（阻燃劑、雙酚 A、鄰苯二甲酸酯類、多氯聯苯等）、農業化學品（殺蟲劑、除草劑等）。

### 3.1.1 雌激素類固醇

雌激素類固醇又可分為天然與人工合成兩種動情激素(Environment Canada, 1999)。環境中天然動情激素如雌二醇( $17\beta$ -estradiol, E2)來源除人類外，所有的哺乳類皆會分泌。隨著人口的增長與畜牧業的發展，天然與合成動情激素的排放量開始與日俱增 (Lai et al., 2002)。人工合成的雌激素中常被使用在避孕藥與墮胎藥以及停經婦女的荷爾蒙補充治療上，最常用的成份是乙炔動情激素 ( $17\alpha$ -ethinyl estradiol, EE2)和甲基乙炔動情激素( mestranol )(Loose-Mitchell and Stancel, 2001)。此外，尚有雌素酮 (estrone, E1)、氫氧雌素酮 (hydroxyestrones)、雌素醇 (estriol, E3) 等 (Barton and Andersen, 1998)。這些雌激素類固醇可能經由人類或其他動物排泄、污水處理廠排放廢污水、作為肥料的農業排放水(Aris et al., 2014)等方式而排放至環境水體。

雖人類排放到環境中 EE2 的總量不到 E2 的十分之一，但因其較難分解 (Larsson et al., 1999; Layton et al., 2000)，因此在水體的濃度與 E2 相當 (Spengler et al., 2001)。且由於 E1 的降解比 E2 要緩慢許多(Rodgers-Gray et al., 2000)，再加上微生物可將 E2 氧化成 E1 (Ternes et al., 1999a)，所以文獻指出一般經過處理的廢水中，E1 濃度約為 E2 的 3~4 倍 (Baronti et al., 2000; Johnson et al., 2000)，因此 E1 的總活性不容忽視。E3 則活性不大，僅及 E2 的千分之一到百分之四 (Routledge and Sumpter, 1997; Metcalfe et al., 2001)；雖 E3 在排放廢水中的含量約為 E2 的 10~15 倍 (Baronti et al., 2000; Johnson et al., 2000)，其總活性可能較不顯著。整體而言，經過處理的廢水，雌激素生物活性以類固醇雌激素佔大多數 (Korner et al., 2000)。

E2、EE2 和 E1 等具有雌激素活性的物質不只存在於排放的廢水，一般的河川都可能發現，通常為 ng/L 的濃度 (Arcand-Hoy et al., 1998; Desbrow et al., 1998; Stumpf et al., 1999; Ternes et al., 1999b; Rodgers-Gray et al., 2000)。Rodgers-Gray 的研究小組 (2000)連續八個月檢測一座英國廢水處理廠，發現排放水中 E1 和 E2 濃度的總和介於 36-308 ng/L。Lye 等人 (1997)首次報導接收排放廢水較多的河川，在雄魚血清中發現卵黃生成素 (vitellogenin) 的比率可達 60%，較接收量低的河川 (20%) 顯著增加，而且睪丸異常的現象亦高。Jobling 等人也將河魚的兩性化歸因於排放廢水中的雌性激素，而且這些魚的精子運動性和使卵子受孕的能

力顯著下降 (Jobling et al., 1998; Jobling et al., 2002a; Jobling et al., 2002b)。Robinson 等人(2003)則發現暴露於 6 ng/L 的 EE2 七個月使魚卵孵育率下降達 90%。上述類固醇雌激素對人體健康的影響尚無定論，但是許多研究小組推測過去數十年來人體生殖系統的病變或多或少和暴露這些雌激素物質有關。許多歐洲國家睪丸癌的罹患率大幅上升 (Adami et al., 1994; Bergstrom et al., 1996; Sharpe, 2003)，乳癌與前列腺癌罹患率也有增加 (Menditto and Turrio-Baldassarri, 1999)，精蟲的品質與密度似乎有下降的現象 (Auger et al., 1995; Swan et al., 1997; Swan and Elkin, 1999; Swan et al., 2000)。本團隊則於 2021 年對雌激素類固醇進行淨水場之原水與清水中濃度評估。

### 3.1.2 烷基酚聚氧乙烯醚類

第二類受重視的環境荷爾蒙是 APEOs 化合物，主要用途為非離子界面活性劑，是工業洗滌及去除油污的主要成份，亦可作為農藥中乳化劑、紡織工業中作為整理劑、消泡劑、洗滌劑、柔軟劑、染色助劑等用途廣泛，APEO 中以壬基酚 (nonylphenol, NP) 與辛基酚 (octylphenol, OP)，分別來自於壬基酚聚乙氧基醇 (nonylphenol polyethoxylates, NPEOs) 及辛基酚聚乙氧基醇 (octylphenol polyethoxylates, OPEOs) 的分解。APEOs 中以壬基酚聚氧乙烯醇 (nonylphenol ethoxylates, NPEOn, n 代表其氧乙烯單體所含的數目) 占總產量的 80% 以上為最多 (Routledge and Sumpter, 1996; Houde et al., 2002; Birkett, 2003; Krogh et al., 2003)，其次為辛基酚聚氧乙烯醇，佔 15%；十二烷基氧乙烯醇 (DPEO) 及二壬基酚聚乙氧基醇 (DNPEO) 則各佔 1% 左右。

在自然界有氧的狀況下 NPEOn 通常被快速分解為僅含有一至二個氧乙烯鏈 (ethoxylate chain) 的 NP<sub>1</sub>EO 與 NP<sub>2</sub>EO，接著可再氧化為壬基酚單氧乙烯醋酸 (nonylphenoxyacetic acid, NP<sub>1</sub>EC) 和雙氧乙烯醋酸 NP<sub>2</sub>EC，不過更進一步的降解則相當緩慢 (Johnson and Sumpter, 2001; Petrovic et al., 2003)；NP 則主要於無氧降解時產生 (Johnson and Sumpter, 2001; Montgomery-Brown et al., 2003)。自然環境中以生物降解為主，光解亦可能扮演部分角色 (Montgomery-Brown and Reinhard, 2003)。但這些代謝產物的毒性與持久性反而隨著降解過程而增高 (Birkett, 2003; Gomes and Lester, 2003)。至於在廢水處理廠只經一級處理後仍有許多長鏈的 NPEOn 存在，經二級的生物處理後長鏈的 NPEOn 大多被轉為短鏈

的聚氧乙烯醇及羧酸代謝物，而 NP 僅佔少部分；經過活性污泥消化後之放流水，則可見到 NP 的比例大幅增加 (Houde *et al.*, 2002; Scrimshaw and Lester, 2003)。

據研究顯示，壬基酚類化合物直接排放入環境水體的情形較少，主要是隨著污水處理廠放流水以及使用消化後的污泥作為農業肥料為途徑進入水體環境 (Ferguson *et al.*, 2001; Schmitz-Afonso *et al.*, 2003.; Loyo-Rosales *et al.*, 2003)。Barber 團隊研究 (2015)比較 NP 移除率為 99%的污水廠放流水，NP 濃度由 700 升至 1400 ng/L，NPE 則由 610 減少至 180 ng/L，此結果導因為污水處理廠放流水中 NPE 的降解。

Rice 團隊的研究 (2003)指出，壬基酚類化合物佔了於自然環境中流布的烷基苯酚類化合物 90%以上。環境中 OP 的濃度通常為 NP 的 1/10 (Gomes and Lester, 2003)。一般而言，自然水體中 NP 大多在 ng/L 至數十 μg/L (Fenet *et al.*, 2003; Gomes and Lester, 2003; Jonkers *et al.*, 2005a; Jonkers *et al.*, 2005b)；底泥是 NP 的主要沈積處，約佔了環境總量的 60%以上 (Ferguson *et al.*, 2001; 曾迪華 *et al.*, 2004)，濃度大多介於 0.5 至數十 mg/kg 乾重 (Fenet *et al.*, 2003; Gomes and Lester, 2003; Jonkers *et al.*, 2005a; Jonkers *et al.*, 2005b)。底泥的厭氧狀態使得這類化合物降解緩慢，在有氧狀態下 NP 之半衰期約七天，但是在底泥內則可達 60 年 (Morley *et al.*, 2004; Jonkers *et al.*, 2003)。台灣目前已進行的河流水樣與底泥相關研究顯示，河水中 NP 平均濃度為 5–8 μg/L；底泥中 NP 的濃度為 0.1–8.5 mg/kg (陳庭堅 *et al.*, 2002; 行政院環檢所., 2003; 許美芳 *et al.*, 2003)。若以河水的濃度而言，台灣地區 NP 的濃度並不顯著高於歐美國家，但是仍高於歐盟對於水生生物所訂的無效應濃度 (predicted no effect concentration, PNEC) 0.33 μg/L (Hansen *et al.*, 2002a)。

壬基酚類的生殖效應活性主要來自於 NP、NP<sub>1</sub>EO、NP<sub>2</sub>EO 等氧乙稀鏈較短的化合物，隨著鏈長的增長而減弱 (Hansen *et al.*, 2002a; Gomes and Lester, 2003; Petrovic *et al.*, 2003)。大部分的研究顯示，OP 最具效力，其雌激性約為 NP 的四倍 (Miyamoto J and W., 1998; Birkett, 2003; Kuruto-Niwa R *et al.*, 2005)，其次為 NP；雙酚 A 則略低於 NP (Petrovic *et al.*, 2004)。在 *in vivo* 的研究顯示，NP 能引致雄魚產生卵黃生成素 (vitellogenin)、抑制其雄性器官的發展，使哺乳動物子宮增生、改變月經週期、減少精子數量、甚或影響下一代的生殖系統或性成熟的

時間等 (White et al., 1994; Sharpe et al., 1995; Jobling et al., 1996; Miyamoto and Klein, 1998; Iguchi, 2000; LeBlanc, 2000; Hansen et al., 2002b)。人體實驗顯示 NP 於體內的半衰期為 2-3 小時，經由食入的生體可用率 (bioavailability) 約 20%，通常脂質內會有較高之濃度(Muller et al., 1998; Hansen et al., 2002a)。台灣行政院環境保護署已將 NP 列為第四類列管毒性化學物質，由於台灣龐大的用量以及地理環境、氣候之差異，亟需進行本土的壬基酚類化合物暴露量研究，據以評估對國人可能的健康危害。

### 3.1.3 工業和家用化學品

多氯聯苯 (PCB) 現在雖已不再使用，但以前大量用於傳熱和電氣設備、變壓器、電容器和塑料等產品中，因此在老舊的裝置或電子材料以及電機中使用的隔熱材料和油品中仍有 PCB 存在。

鄰苯二甲酸鹽在 PVC (聚氯乙烯) 生產中作為添加劑，因此存在於兒童產品和包裝材料中，還可用於化妝品、醫療器械、食品和建築材料，最常用的三種鄰苯二甲酸酯類是鄰苯二甲酸二-2-乙基己酯 (DEHP)、鄰苯二甲酸二異壬酯 (DINP) 和鄰苯二甲酸二丁酯 (DBP)。

雙酚 A (BPA) 是塑膠工業上廣泛合成的一種物質，主要存在於聚碳酸酯和環氧樹脂中。因此雙酚 A 是日常生活產品的一部分，如食品包裝、熱感應紙、CD 、 DVD、水管、汽車面板、醫療設備等。自 2011 年，歐洲已禁止在製造聚碳酸酯嬰兒奶瓶中使用 BPA，但在生產用於食品包材食品的塑料中，仍允許使用其單體作為原料。在美國，根據 FDA (食品及藥物管理局) 的規定，禁止使用 BPA 於生產嬰兒奶瓶、吸管杯和嬰兒配方奶粉的包裝(FDA, 2012; 2013)。

對羥基苯甲酸酯 (parabens) 是化妝品中作為防腐劑的化合物，某些型態的 parabens 也用於食品、藥品和個人照護用品。對羥基苯甲酸甲酯 (Methylparaben) 是最常使用的對羥基苯甲酸酯，但對羥基苯甲酸乙酯 (ethylparaben) 、對羥基苯甲酸丁酯 (butylparaben) 和其他對羥基苯甲酸酯也存在於化妝品、食品和個人照護用品中。2014 年，歐洲禁止在化妝品中使用對羥基苯甲酸異丁酯 (isobutylparaben) 、對羥基苯甲酸苯酯 (phenylparaben) 、對羥基苯甲酸苄酯 (benzylparaben) 和對羥基苯甲酸戊酯 (pentylparaben) 。加州則禁止在化妝品

中使用對羥基苯甲酸異丁酯和對羥基苯甲酸異丙酯( isopropylparaben )(California, 2020)。

溴化阻燃劑是一群含溴有機化合物的通稱，自 20 世紀 70 年代初開始使用於消費產品，其中以多溴二苯醚（Poly Brominated Diphenyl Ethers，PBDEs）、多溴聯苯（PBBs）等溴化阻燃劑最廣泛應用。多溴二苯醚是一組溴原子數不同的聯苯醚混合物，有四溴二苯醚、五溴二苯醚、六溴二苯醚、七溴二苯醚、八溴二苯醚、十溴二苯醚等 209 種同系物。因此總稱為多溴二苯醚。多溴二苯醚的最大用途為作為阻燃劑，在產品的製造過程中添加到複合材料，提高產品的防火性能，因多溴二苯醚可在高溫狀態下釋放自由基，阻斷燃燒反應。其中十溴二苯醚（PBDE-209）是多溴二苯醚家族中含溴原子數最多的一種化合物，由於具備價格低廉，性能優越，急性毒性在所有多溴二苯醚中最低，所以使用最廣泛，如各種電子電器、自動控制設備、建材、紡織品、家具等產品中，多有存在。歐盟於 2004 年起限制多溴二苯醚中的五溴二苯醚（PentaBDE）及八溴二苯醚（OctaBDE）使用。並在 2006 年發佈危害性物質限制指令，規定多溴聯苯（PBBs）及多溴二苯醚（PBDEs）的最大允許量為 0.1%。2017 年 2 月進一步將十溴二苯醚（DecaBDE）納入濃度限制規定中，但汽機車與飛機的零配件不適用。《斯德哥爾摩公約》自 2009 年起陸續將六溴二苯醚（HexaBDE）、七溴二苯醚（HeptaBDE）、四溴二苯醚（TetraBDE）及五溴二苯醚（PentaBDE）、八溴二苯醚（OctaBDE）列為公約附件 A 的禁用範圍。2016 年的會議將十溴二苯醚列入附件 A，但包含了多項的豁免。臺灣從 2016 年 1 月 1 日起，對於八溴二苯醚、五溴二苯醚、四溴二苯醚、六溴二苯醚、七溴二苯醚禁用於電子產品之阻燃劑，但對於電子產品以外之產品並未限制使用，於 2020 年則修正多溴二苯醚禁止運作事項及得使用用途，除十溴二苯醚外，其餘多溴二苯醚類毒化物皆禁止製造、輸入、販賣及使用，但研究、試驗、教育用途者不在此限。根據環保署國內河川化學物質環境流布現況，93-109 年間進行之河川底泥 POP (持久性有機物) 調查，其中多溴二苯醚 (含六溴、七溴、四溴、五溴、十溴二苯醚) 的平均濃度分布於 0~20  $\mu\text{g}/\text{kg}$  dw (資料來源：<https://topic.epa.gov.tw/tcd/cp-258-7890-487e6-7.html>)。

### 3.1.4 農業化學品

環境中使用的許多農藥和內分泌干擾有關，殺蟲劑是最大的一類內分泌干擾物質，例如暴露有機氯殺蟲劑（如林丹 Lindane 或 p,p'-DDE）會造成精子濃度及活動力下降，而除蟲菊精的暴露亦被發現可能影響受孕能力、精子濃度降低、血中黃體生成素 (LH) 及瀘泡刺激素 (FSH) 增加，動情激素 (E2) 及睪固酮降低，進而影響精子生成等作用。農藥除了用於農業，在一些食物和飲用水中也可以找到農藥殘留的跡證。如 DDT 是一種常見的殺蟲劑，在第二次世界大戰後大量使用，但由於對人類和野生動物健康產生影響，在 70 年代許多國家禁止使用 DDT，但一些開發中國家仍在使用 DDT 防治瘧疾 (J.D. Meeker, 2012; WHO, 2011)。除此外，歐殺松 (acehpate)、草脫淨 (atrazine)、加保利 (carbaryl)、加保扶 (carbofuran)、陶斯松 (chlorpyrifos)、賽滅寧 (cypermethrin)、大利松 (Diazinon)、嘉磷塞 (glyphosate) 等多種農藥皆列為歐盟及美國之環境荷爾蒙篩選清單中。

### 3.1.5 本年度新興污染物評估對象

本團隊以環境荷爾蒙為 111 年新興污染物評估對象，因環境荷爾蒙包含之化學物質種類繁多，烷基酚聚氧乙烯醚類如壬基酚、雙酚 A 等已包含於未列管新興污染物抽驗項目中進行調查。鄰苯二甲酸鹽類於 100 年之飲用水新興污染物計畫中評估 DEHP、DBP、DMP 及 DEP 等化合物，而 DEHP 已進入候選清單。PFOS、PFOA 等全氟碳化合物於 100 年、105 年及 109 年分別進行評估，其中 PFOS 及 PFOA 則已進入觀察清單。人體健康用藥和個人保健用品於 101 年、102 年及 107 年之飲用水新興污染物計畫對於水中多種抗生素、鎮痛解熱劑、殺菌劑、防曬乳之防腐劑等成分進行評估。103 年及 106 年則選取部分農藥（如加保利、芬殺松、馬拉松等）進行評估。110 年則以雌激素類固醇如雌素酮 (E1)、雌二醇 (E2)、乙炔動情激素 (EE2)、黃體脂酮、炔諾酮、甲羥孕酮為評估對象。

綜合歷年飲用水中新興污染物評估結果，內分泌干擾物質之多溴二苯醚類 (PBDEs) 未進行相關水質調查，因此選取多溴二苯醚類 (PBDEs) 作為本年度評估對象，且參照國內河川化學物質環境流布現況，93-109 年間進行之河川底泥 POP (持久性有機物) 調查，以五溴二苯醚、六溴二苯醚、七溴二苯醚、八溴二苯醚、九溴二苯醚、十溴二苯醚為本年度評估對象，經 2022 年 4 月 19 日第一次專家會議後整合專家意見同意此 6 項污染物。

## 3.2 淨水場採樣及水質檢測分析方法

### 3.2.1 採樣淨水廠選擇

依評選須知，本計畫執行期間應針對北、中、南地區選擇 6 個代表性淨水場，依計畫執行年度分別進行 6 種新興污染物採樣分析，以評估飲用水水源與水質中污染物流佈及飲用水處理流程之處理效能。為評估本年度優先評估物質在飲用水供水系統中的流布情形，淨水場選取之考量為：

一、供水量及供水人口較大者

二、水源可能受到污染。

本年度優先評估環境荷爾蒙，以地面水為水源之淨水場，水源可能因上游有受到較多生活污水排放影響水質或農業畜牧活動，主要供應民生用水為考量因素。如基隆河上游可能有較多家庭污水排放，高屏溪沿岸亦有多種農業畜牧活動，兼顧淨水場分佈區域應包含北、中、南三區，本計畫建議以下列國內淨水場作為未來執行淨水場原水與清水採樣檢測之候選對象，實際採樣淨水場將與環保署討論後確定：

一、台北直潭淨水場

二、基隆新山淨水場

三、新竹第二淨水場

四、台北板新淨水場

五、台中豐原淨水場

六、高雄坪頂淨水場

計畫執行期間，將透過與環保署協商及專家學者諮詢結果，依計畫期程選取 6 處淨水場進行 6 項檢測項目之原水、清水，其中 2 處淨水場包含全流程（原水、沈澱、過濾、清水）採樣分析工作。

考量採樣能涵蓋枯水期及豐水期之水質變化，規劃於 5 月、7 月、9 月進行本年度三次淨水場採樣。因各淨水場可能具備複數水源，視降雨及水源溪流水量進行原水水源調節（混合水源），每次採樣並詳實紀錄該淨水場之水源調配現況。本年度採樣各淨水場水源、供水區域、處理流程如表 3.2-1。

各淨水場之水源特性簡述如下：新山淨水場水源為基隆河，原水來源有二，一為自八堵抽水站抽取基隆河溪水，二為自中幅抽水站抽取瑪鍊溪，二者抽至淨

水場原水池，剩餘原水並蓄存於新山水庫，供枯水期使用。直潭淨水場水源為新店溪，上游有良好之水源保護且水量充足，因此以直潭淨水場作為背景資料淨水場，而直潭淨水場近年來則易受颱風暴雨影響造成濁度激增。板新淨水場位於鳶山旁，西臨大漢溪，原水取自於鳶山堰及三峽河，供水區域包括新北市板橋、新莊、蘆洲、三重等十個鄉鎮市及中和、部分三重地區，且支援桃園地區之用水。新竹第二淨水場由頭前溪隆恩堰設攔河堰取水，但上游有五華工業區等廢污水排放，供應新竹市、竹北市之用水。豐原淨水場主要水源為大甲溪，與鯉魚潭給水場聯合調配大臺中地區用水，並支援苗栗、彰化等地區。坪頂淨水場水源則為高屏溪攔河堰，另有南化水庫連通管引水至坪頂。高屏溪流域廣闊，流經地區有農業、畜牧、休閒遊憩等多種活動，且上游曾發生廢棄污泥傾倒事件。

表 3.2-1 本年度優先評估物質採樣淨水場名單

採樣淨水場	淨水場 水源	供水區域	供水量 (CMD)	處理 流程	說明
直潭淨水場	新店溪 南勢溪	臺北市 新北市	1,600,000	傳統 處理	下雨原水濁度升高
新山 淨水場	基隆河	基隆市區	160,000	傳統 處理	供應基隆民生用水
板新 淨水場	大漢溪	新北市區	680,000	傳統 處理	供應新北多地區用 水並支援桃園
新竹第二 淨水場	頭前溪	新竹市區	140,000	傳統 處理	上游有工業區
豐原第二 淨水場	大甲溪	台中地區	600,000	傳統 處理	供應中部主要用 水
坪頂淨水場	高屏溪	高雄市	550,000	傳統 處理	上游流域廣闊，流 經地區有多種活動

### 3.2.2 採樣設備及採樣方式

使用褐色玻璃瓶做為採樣樣品瓶，採樣瓶並附螺旋瓶蓋，先以 1M 硫酸浸泡 1 天以上，再以自來水、去離子水沖洗後，再分別以丙酮及甲醇清洗後並風乾備用。以褐色玻璃瓶採集 1 公升水樣後，若水樣中含有餘氯（流程水及清水水樣），則加入硫代硫酸鈉以防止餘氯與待測物產生作用（每 1L 水樣加入 70 mg 硫代硫酸鈉）。採樣後之水樣瓶置於 4°C 冰存，並採冷藏方式於 1 天之內寄回實驗室，

於 14 天內進行樣品之前處理。每 10 個樣品取各 1 個水樣進行重複分析與添加分析（添加濃度為 20 ng/L）。

### 3.2.3 分析方法

本年度之 6 種優先評估污染物，依據環檢所公告之“水中新興污染物檢測方法-固相萃取與高效液相層析/串聯式質譜儀法”參考以高效液相層析/串連質譜儀分析水中 PBDEs 文獻（Wang et al., 2021），進行方法修正與確效，進行前處理與檢測分析。取 500 mL 水樣添加 10 ng 同位素標定內標準品後，於 130 rpm 搖晃 30 分鐘。接著以甲醇洗過之 PVDF 濾膜(0.45 μm)過濾水樣，然後使用 HLB 吸附劑進行固相萃取。吸附劑依序使用甲醇/二氯甲烷(1:1)、甲醇和水流洗，之後水樣以約 70-80 mL/min 的流速通過吸附劑。水樣全部通過後，以氮氣吹拂吸附劑 15 分鐘。最後以 5 mL 甲醇以及甲醇/二氯甲烷(1:1)沖提吸附劑三次，並收集沖提液。收集之沖提液於減壓濃縮機以 45°C、10 torr 真空下濃縮至 1 mL，再以 13 mm PTFE 材質濾膜(0.2 μm)過濾，並繼續減壓濃縮至近乾，以 100 μL 異丙醇回溶後上機分析。固相萃取方法參數見表 3.2-2。

**表 3.2-2 多溴二苯醚類固相萃取方法參數**

	Soak (min:sec)	Air drying (min:sec)
Condition		
MeOH/DCM (1:1)	01:30	01:30
MeOH	02:00	00:00
Milli-Q water	04:00	00:00
Loading samples		
Air drying		15:00
Elution		
MeOH/DCM (1:1)	10:00	03:00
MeOH/DCM (1:1)	05:00	03:00
MeOH/DCM (1:1)	05:00	03:00

### 3.2.4 儀器分析方法

分析儀器為 Waters UPLC I-Class PLUS 搭配 Waters Xevo TQ-XS。質譜儀游離方法使用負電模式大氣壓化學游離法（APCI），層析管柱為 Waters BEH C18 (50 × 3.0 mm, 1.7 μm)。層析移動相為甲醇與水，起始層析梯度為 10% 甲醇，維持 0.5 分鐘後，在 3 分鐘時升到 100% 甲醇並維持 1.5 分鐘，在 4.7 分鐘時回到起始梯度，維持到 6.8 分鐘，管柱溫度為 35°C，流速 1.0 mL/min，進樣體積為 6 μL。

MS/MS 參數、MS 參數、UPLC 參數及各優先評估物質偵測極限與定量極限列於表 3.2-3 至表 3.2-6。

表 3.2-3 多溴二苯醚類 MS/MS 參數

Compounds	Cone voltage (V)	Ion transition (collision voltage, V)
BDE-99	35	(-) 501 > 79 (35)
	35	(-) 501 > 81 (40)
BDE-154	30	(-) 579 > 79 (30)
	30	(-) 579 > 81 (30)
BDE-153	45	(-) 579 > 79 (45)
	45	(-) 579 > 81 (30)
BDE-183	45	(-) 659 > 79 (35)
	45	(-) 659 > 81 (40)
BDE-183- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	35	(-) 671 > 81 (40)
BDE-197	30	(-) 736 > 79 (50)
	30	(-) 736 > 81 (50)
BDE-206	40	(-) 816 > 79 (55)
	40	(-) 816 > 81 (45)
BDE-209	50	(-) 894 > 79 (50)
	50	(-) 894 > 81 (50)
BDE-209- <sup>13</sup> C <sub>12</sub>	60	(-) 906 > 79 (60)

表 3.2-4 多溴二苯醚類 MS 參數

	APCI-		APCI-
Probe temperature (°C)	400	Cone gas flow (L/hr)	150
Source temperature (°C)	150	Desolvation gas flow (L/hr)	450
Desolvation temperature (°C)	500	Nebuliser gas flow (Bar)	4.0

表 3.2-5 多溴二苯醚類 UPLC 參數

	APCI-	
Column	BEH C18 column (30 mm, 1.7 μm)	
Oven temperature (°C)	35	
Flow rate (mL/min)	1.0	
Injection volume (μL)	6	
Mobile phase	A: Water      B: Methanol	
Gradient (min)	A (%)	B (%)
Initial	90	10
0.5	90	10
3.0	0	100
4.5	0	100
4.7	90	10
6.8	90	10

**表 3.2-6 多溴二苯醚類之偵測極限與定量極限 LOQ (ng/L)**

	偵測極限	定量極限
BDE-99	0.65	2.17
BDE-153	1.62	5.41
BDE-183	0.98	3.27
BDE-197	2.45	8.17
BDE-206	0.60	1.99
BDE-209	1.19	3.98

### 3.3 採樣分析結果

#### 3.3.1 採樣天氣與水源變化

第一次採樣於 5 月 4 日至 5 月 5 日進行，111 年的春季氣候，各地氣溫大多偏暖和，雨量方面則大致為東半部、北部及部分山區有短暫雨，西半部穩定的天氣型態，整體而言為雨量偏多但雨日為偏少至正常。由中央氣象局取得採樣當週累積雨量資料（計算 4 月 29 日-5 月 5 日期間之累積雨量）如表 3.3-1 所示，各地此段時間皆有微量降雨情形，採樣當天臺中以北之淨水場附近亦偶有小雨，今年春季臺灣各地未有顯示缺水情勢。第二次採樣於 7 月 5 日至 7 月 7 日進行，6 月時因受梅雨鋒面影響，各地有較多的降雨，雨量方面則大致為西半部降雨明顯，且有局部大雨發生，東南部氣溫偏熱而雨量偏少，6 月中旬至下旬梅雨季結束，則以午後局部雷陣雨為主。中央氣象局採樣當週累積雨量資料（計算 7 月 2 日-7 月 7 日期間之累積雨量）顯示，採樣當時各地此段時間皆有微量降雨情形，採樣當天臺中以北之淨水場附近亦偶有小雨。第三次採樣於 8 月 31 日至 9 月 7 日進行，因 7-8 月期間基隆地區少有降雨，9 月初時基隆地區原規劃開始採取減壓供水，而 9 月初受颱風外圍環流影響，北部、東北部有較大雨勢並提供豐沛水量（計算 8 月 31 日-9 月 7 日期間之累積雨量）因此實際上無實施減壓供水或限水，故本年度三次採樣各淨水場皆無缺水情形。

本計畫規劃於北、中、南之採樣淨水場包括：基隆新山淨水場、臺北直潭淨水場、新北板新淨水場、新竹第二淨水場、豐原第二淨水場及高雄坪頂淨水場，此 6 處淨水場皆以地表水為水源，且皆為經傳統處理程序之淨水場。第一次採樣（5 月）時，新山淨水場之水源為混合水源，60% 來自基隆河，40% 取自瑪祖溪。

**表 3.3-1** 採樣當週各淨水場區域之累積雨量

	基隆	台北	板橋	新竹	臺中	高雄
第一次 4/29-5/5	84.0	31.0	31.5	31.5	17.0	31.0
第二次 7/2-7/7	5.0	69.0	145.0	7.5	52.5	70.5
第三次 8/31-9/7	230.0	110.5	115.0	153.5	77.5	67.5

直潭淨水場水源則來自南勢溪。板新淨水場水源為混合水源，取水自大漢溪（鳶山堰）及三峽河，採樣當天取樣自板新三期，混合比例約 84% 取自三峽河，16% 取自鳶山堰。新竹第二淨水場水源來自頭前溪，豐原淨水場水源來自大甲溪（由石岡壩取水），坪頂淨水場則由高屏溪取水，採樣當天因坪頂淨水場之過濾流程取樣口進行維修，故無過濾出水。採樣時程記錄與照片請參照附錄五。第二次採樣（7 月）時新山淨水場之水源為混合水源，65% 來自基隆河，25% 來自新山水庫，10% 取自瑪鍊溪。直潭淨水場水源則來自南勢溪。板新淨水場水源為混合水源，取水自大漢溪（鳶山堰）及三峽河，當天因三期沒出水，採樣自板新一、二期，混合比例約 96% 取自三峽河，4% 取自鳶山堰。新竹第二淨水場水源來自頭前溪，豐原淨水場水源來自大甲溪（由石岡壩取水），坪頂淨水場則為混合原水，76% 由南化水庫供應，24% 由高屏溪取水。第三次採樣（9 月）新山淨水場之水源為混合水源，90% 來自基隆河，10% 取自瑪鍊溪。直潭淨水場水源則來自南勢溪。板新淨水場當天原水皆取自三峽河。新竹第二淨水場水源來自頭前溪，豐原淨水場水源來自大甲溪（由石岡壩取水），坪頂淨水場原水則 50% 來自南化水庫，50% 由高屏溪取水。

### 3.3.2 淨水場水質參數及優先評估物質檢測結果

各淨水場水質參數如濁度、pH、總溶解固體(TDS)及溶解性有機碳(DOC)，此 6 處淨水場水質參數參照如表 3.3-2，各淨水場濁度及其他水質參數，除了可能受降雨因素影響，水源的調配亦為重要影響因子。採樣期間若各淨水場如新山、板新與坪頂淨水場上游有微量降雨，則原水濁度略有變化，若該次水源多取自河水，則濁度較高。坪頂淨水場若原水皆取自高屏溪，因地質狀況水中硬度較北部地區高，因而水中總溶解固體亦比其他 5 處淨水場高，若原水有混合南化水庫供水，總溶解固體則會降低，而和坪頂歷年水質數據相比無明顯差異，且各淨水場原水之溶解性有機碳濃度(DOC)在第一、二次採樣時大多  $< 1 \text{ mg/L}$ ，第三次採樣因颱風外圍環流影響，各地水源區多有大雨情形，大雨沖刷導致第三次採樣之原水 DOC 較前兩次為高，經傳統淨水流程處理可降低清水 DOC 濃度。

表 3.3-2 111 年採樣淨水場水質參數

單位 : ng/L	濁度 (NTU)			pH			TDS (mg/L)			DOC (mg/L)			自由有效餘氯 (mg/L)			
	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	
採樣月份	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	
新山	原水	9.05	120	8.83	7.27	6.96	7.42	73	64	71	0.61	1.29	1.62	-	-	-
	沈澱	1.05	2.69	1.56	7.12	6.90	7.41	77	72	85	0.82	0.87	1.34	-	-	-
	過濾	0.31	0.42	0.29	7.08	6.90	7.29	76	75	84	0.52	1.02	2.03	-	-	-
	清水	0.31	0.42	0.30	7.06	6.90	7.17	76	73	81	0.52	1.19	1.53	0.67	0.69	0.50
直潭	原水	2.00	30.0	20.0	7.75	7.50	7.61	59	56	56	0.22	0.66	1.08	-	-	-
	清水	0.01	0.03	0.01	7.30	7.02	7.13	64	59	55	0.24	0.78	0.15	0.68	0.66	0.68
板新	原水	14.6	25.0	15.5	7.39	7.05	7.20	97	65	66	0.50	0.75	1.00	-	-	-
	清水	0.02	0.05	0.09	7.03	6.92	6.80	96	62	71	0.36	0.61	0.18	0.72	0.73	0.80
新竹	原水	3.84	15.8	87.8	7.92	7.73	7.58	191	135	146	0.65	0.68	0.71	-	-	-
	清水	0.40	0.38	0.21	7.88	7.51	7.43	196	142	155	0.55	0.51	0.71	0.74	0.75	0.76
豐原	原水	2.97	18.0	12.1	8.14	8.07	7.82	135	121	123	0.32	0.75	1.98	-	-	-
	清水	0.22	0.51	0.80	7.67	7.49	7.45	138	125	125	0.33	0.48	1.30	0.76	0.70	0.88
坪頂	原水	89.0	40.0	183	7.71	7.86	7.89	365	289	280	0.39	0.45	1.79	-	-	-
	沈澱	9.30	8.70	9.70	7.55	7.59	7.50	369	289	301	0.47	0.68	2.05	-	-	-
	過濾	-	0.17	0.48	-	7.65	7.52	-	291	303	-	0.40	2.53	-	-	-
	清水	0.23	0.20	0.29	7.56	7.67	7.52	369	293	306	0.47	0.40	1.40	0.78	0.68	0.79

111 年優先評估物質三次採樣各淨水場檢測分析結果如表 3.3-3，五溴二苯  
醚（BDE-99）、六溴二苯醚（BDE-153）、七溴二苯醚（BDE-183）、八溴二苯  
醚（BDE-197）、九溴二苯醚（BDE-206）、十溴二苯醚（BDE-209）等 6 項污  
染物在本年度三次採樣（5 月、7 月、9 月）於北、中、南 6 處淨水場（新山、直  
潭、板新、新竹第二、豐原第二、坪頂）檢測之原水與清水中皆無檢出（ND），  
而新山及坪頂淨水場之流程水（沈澱及過濾）亦無檢出此 6 項多溴二苯醚。抽樣  
結果顯示，多溴二苯醚類化合物，雖在國內多條河川調查中存在於底泥、沈積物  
及魚體中（109 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計  
畫，化學局），但因其具備水溶性低的特性（除七溴二苯醚及九溴二苯醚未找到  
水中溶解度相關資訊外，其他四項多溴二苯醚類的水中溶解度介於 0.1-13.3 ug/L，  
較不易釋放至水中，但因上述溶解度均高於本計畫分析的偵測極限 0.6-2.45  
ng/L），若水中含有多溴二苯醚類仍有機會檢出。本計畫北中南三地六座代表性淨  
水場三次採樣，在原水中均無檢出，顯示多溴二苯醚類對我國飲用水安全暫無顯  
著危害，因此為無需急迫關切的物質，後續暫無持續監測之必要。

### 3.3.3 多溴二苯醚降解研究

廢棄物處理是多溴二苯醚進入生活周遭環境最主要的途徑，多年來因人類使  
用含多溴二苯醚為阻燃劑的商品，因而使廢棄物中常含有多溴二苯醚(Jiang et al.,  
2019)，這些生活廢棄物以掩埋或焚化的方式處理時，掩埋場的垃圾滲出水或焚  
化過程使多溴二苯醚及其毒性更強的相關化學物（如 polybrominated dibenzo-p-  
dioxins，PBDDs 或 polybrominated dibenzofurans，PBDFs）釋放至環境中  
(Venkatesan and Halden, 2014)。污水處理廠被認為是多種污染物（包含多溴二苯  
醚）的重要匯集處(Demirtepe and Imamoglu, 2019).，多溴二苯醚可能經過生產製  
造場所、工業廢水、滲漏液、都市逕流、大氣沈降和都市污水（包含洗滌清潔用  
的抹布、髒水、人類廢棄物）等途徑進入污水處理廠。但因污水處理廠設計上並  
非為了處理多溴二苯醚，多溴二苯醚具有低水溶性和高疏水性的特性，因此在污  
水處理過程中易被污泥吸附，導致污水污泥中多溴二苯醚的濃度相對較高(Deng  
et al., 2015; Kim et al., 2013; Li et al., 2018a)，若管理不當，這些含有多溴二苯醚  
的污水污泥可能會污染地表水或地下水。

表 3.3-3 111 年優先評估物質三次採樣檢測結果

單位 : ng/L		五溴二苯醚 BDE-99			六溴二苯醚 BDE-153			七溴二苯醚 BDE-183			八溴二苯醚 BDE-197			九溴二苯醚 BDE-206			十溴二苯醚 BDE-209		
偵測極限		0.65			1.62			0.98			2.45			0.60			1.19		
採樣月份		5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9	5	7	9
新山	原水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	沈澱	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	過濾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	清水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
直潭	原水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	清水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
板新	原水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	清水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
新竹	原水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	清水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
豐原	原水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	清水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
坪頂	原水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	沈澱	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	過濾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	清水	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

回收業亦為多溴二苯醚排放的另一重要途徑，因 PBDEs 在電子產品、汽車及成品中多有使用，例如電子垃圾的拆解與回收過程，在這些場所工作的人員體內與廠區設施周圍土壤中，檢出有較高的多溴二苯醚 (La Guardia and Hale, 2015; Qiao et al., 2019, McGrath et al., 2018b)。

在過去幾十年的研究，已開發物理、化學或微生物方法處理水中或土壤中的多溴二苯醚，以下簡單介紹用來降解或分解多溴二苯醚的方式。

**吸附：**有研究顯示碳材料會影響沈積物中 PBDEs 微生物生物利用率(Zhu et al., 2016)，但碳吸附不能完全去除 PBDEs，且被吸附的 PBDEs 仍會有潛在排放的可能性，最好結合其他處理技術合併使用。

**熱處理：**使用熱處理方式去除 PBDEs 的相關討論較少，有研究顯示在 300 °C 下以水熱處理方式，可完全降解 BDE-209 (Nose et al., 2007)，但熱處理過程中產生的 PBDDs 和 PBDFs，通常具有更強的毒性，因此必須考量應用此技術的相關工作人員是否造成健康影響。

**直接光分解：**PBDEs 可吸收波長範圍 280-400 nm 的光，因此在陽光照射下可直接分解(Pan et al., 2016)，一般來說，溴化比較多的多溴二苯醚降解得比溴化程度較低的多溴二苯醚快，主要原因是溴化程度較高的多溴二苯醚可吸附更長的波長，因此在不同光線照射下，PBDEs 可受到光降解為中間產物(Santos et al., 2016)，如 PBDFs。PBDEs 的直接光分解很耗時，在實際工程應用可能不適用(Qu et al., 2017)，但對於評估 PBDEs 在環境中的污染傳輸和潛在風險仍很有幫助。

**光催化降解：**與直接光分解相比，光催化降解搭配使用不同的光催化劑（如 TiO<sub>2</sub> 等），可在太陽光或紫外線照射去有效去除各種污染物(Deng et al., 2018)，作用機制上可分為光催化還原脫溴或光催化氧化降解(Huang et al., 2013; Lei et al., 2014, 2016b)。

**微生物分解：**根據微生物的培養條件可分為厭氧法和好氧法，一般來說厭氧分解具有較強的分解能力，但降解過程比較耗時(Gerecke et al., 2006)。例如已開發出厭氧降解商業上使用到 PBDE 的實際產品（如窗簾材料），而其厭氧降解過

程達 200 天(Shi et al., 2019)。微生物降解 PBDEs 是有效且經濟的方式，但和化學降解技術相比，降解效率相對低，因此在實際工程應用上，如何加速微生物降解過程，仍需更深入的研究。

複合技術：因 PBDEs 類化合物在化學結構與本質上較頑強，因此可結合不同的處理方式，增加處理效率。例如高溴、難以生物降解的 PBDEs 可通過還原脫溴使其分解為較低溴、可生物降解的中間產物，再以生物降解或高級氧化程序 (AOPs) 的方式處理 (Jia et al., 2019; Liu et al., 2015; Lv et al., 2016; Xu et al., 2014)，使其有效降解。

## 第四章 未列管之新興污染物抽驗

### 4.1 抽驗項目與頻率

本計畫依評選須知抽驗之未列管新興污染物包括：

- 一、重金屬：抽驗鋅、鉭、鋰、鈦、硼及碲等 6 項各 200 處次。
- 二、消毒副產物：抽驗 N-亞硝二甲胺(NDMA)、N-亞硝二乙胺(NDEA)及 N-亞硝基吡咯烷等 3 項各 50 處次。
- 三、揮發性有機物：抽驗 1,2-二溴乙烷 50 處次。
- 四、農藥：抽驗嘉磷塞及嘉磷塞降解物 AMPA 各 50 處次。
- 五、生物代謝產物：抽驗微囊藻毒 LR 型 30 處次。
- 六、水中土霉味物質：Geosmin、2-Methylisoborneol (2-MIB) 等 2 項各 30 處次。
- 七、環境荷爾蒙：抽驗壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DOP)、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(DEHP)等 8 項各 200 處次。
- 八、持久性有機污染物：抽驗全氟辛酸 (PFOA)、全氟辛烷磺酸 PFOS)、全氟己烷磺酸 (PFHxS) 等 3 項各 50 處次。

本計畫抽驗之 26 項物質於飲用水列管項目篩選作業之評估位階列於表 4.1-1，110 年觀察清單物質中除了甲醛及鎵以外全數納入，另包含 2 項初步蒐集清單項目及 12 項蒐集清單項目。

其中 6 項重金屬、1,2-二溴乙烷、8 項環境荷爾蒙分包委託中環科技事業(股)公司進行分析。本計畫抽驗之飲用水水質或水源水質中未列管新興污染物於國際上管制情況列於表 4.1-2。

本計畫將分析抽驗結果，初步評估抽驗項目於我國飲用水中可能的風險程度，同時納入我國環境荷爾蒙管理計畫及持久性有機污染物斯德哥爾摩公約國家實施計畫之水質抽驗結果一併評估分析。

**表 4.1-1 本計畫抽驗之物質於飲用水列管項目篩選作業之評估位階**

初步蒐集清單	鄰苯二甲酸二乙酯、AMPA
蒐集清單	鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二辛酯、N-亞硝基吡咯烷、嘉磷塞、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯、雙酚 A、鋰、鈦、Geosmin、2-Methylisoborneol (2-MIB) 、全氟己烷磺酸鹽(PFHxS)
觀察清單	微囊藻毒 LR 型、1,2-二溴乙烷、全氟辛烷酸(PFOA)、全氟辛烷磺酸(PFOS)、N-亞硝二甲胺、N-亞硝二乙胺(NDEA)、鉈、硼、鍺、碲、鄰苯二甲酸二丁酯、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯

表 4.1-2 本計畫抽驗未列管新興污染物於國際上管制情況

中文	英文	CAS No.	WHO	美國	加拿大	歐盟	紐西蘭	澳洲 <sup>a</sup>	日本	南韓	新加坡
鉻	Germanium (Ge)	7440-56-4	—	CCL3、4 (HRL 0.000744)	—	—	—	—	—	—	—
鉈	Thallium (Tl)	82870-81-3	—	0.002	—	—	—	—	—	—	—
硼	Boron (B)	7440-42-8	2.4	CCL1、2	5	1	1.4	4	1	1	2.4
碲	Tellurium	137322-20-4 13494-80-9	—	CCL3、4 (HRL 0.175)	—	—	—	—	—	—	—
鋰	Lithium (Li)	7439-93-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鈦	Titanium (Ti)	7440-32-6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N-亞硝二甲胺	N-Nitrosodimethylamine (NDMA)	62-75-9	0.0001	CCL3、4 (HRL 0.000056)	0.00004	—	—	0.0001	0.0001 <sup>a</sup>	—	0.0001
N-亞硝二乙胺	N-nitrosodiethylamine (NDEA)	55-18-5	—	CCL3、4 (HRL 0.0000002)	—	—	—	—	—	—	—
N-亞硝基吡咯烷	N-nitrosopyrrolidine (NPYR)	930-55-2	—	CCL3、4 (HRL 0.00002)	—	—	—	—	—	—	—
1,2-二溴乙烷	1,2-Dibromoethane (Ethylene dibromide)	106-93-4	0.0004	0.00005	—	—	0.0004	—	—	0.0004	0.0004
嘉磷塞	Glyphosate	1071-83-6	NA <sup>b</sup>	0.7	0.28	—	—	1	2 <sup>a,c</sup>	—	0.9 <sup>c</sup>
氨基膦酸	Aminomethylphosphonic acid (AMPA)	1066-51-9	NA <sup>b</sup>	—	—	—	—	—	2 <sup>a,c</sup>	—	0.9 <sup>c</sup>
土臭素	Geosmin	19700-21-1	—	—	—	—	—	—	0.00001	—	—
2-甲基異莰醇	2-Methylisoborneol, 2MIB	2371-42-8	—	—	—	—	—	—	0.00001	—	—
微囊藻毒-LR 型	Microcystin-LR	101043-37-2	0.001	CCL3、4 (HRL 0.000021)	0.0015	—	0.001 <sup>b</sup>	0.0013 <sup>b</sup>	0.0008 <sup>a</sup>	—	0.001

<sup>a</sup> 指引值/目標值/非常規指標值（非法定標準）<sup>b</sup> NA:經評估無須制定指引值；NI:數據資料不足以制定指引值。<sup>c</sup> 嘉磷塞與 AMPA 合計<sup>d</sup> 單位：mg/L<sup>e</sup> 適飲性考量<sup>f</sup> 臭味考量<sup>g</sup> PFOS 與 PFHxS 合計

表 4.1-2 本計畫抽驗未列管新興污染物於國際上管制情況（續）

中文	英文	CAS No.	WHO	美國	加拿大	歐盟	紐西蘭	澳洲 <sup>a</sup>	日本	南韓	新加坡
全氟辛酸	Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	—	CCL3、4 (HRL 0.0011)	—	—	—	0.00056	須注意	—	—
全氟辛磺酸	Perfluorooctane sulfonate (PFOS)	1763-23-1	—	CCL3、4 (HRL 0.0002)	—	—	—	0.00007 <sup>g</sup>	須注意	—	—
全氟己磺酸	Perfluorohexane sulfonate (PFHxS)	355-46-4	—	—	—	—	—	0.00007 <sup>g</sup>	—	—	—
壬基酚	Nonylphenol (NP)	25154-52-3 104-40-5 84852-15-3 91672-41-2 139-84-4	—	CCL4 (HRL 0.105)	—	—	—	—	0.3 <sup>a</sup>	—	—
雙酚 A	Bisphenol A	80-05-7	—	—	—	—	—	—	0.1 <sup>a</sup>	—	—
鄰苯二甲酸二甲酯	Dimethyl Phthalate (DMP)	131-11-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鄰苯二甲酸二乙酯	Diethyl Phthalate (DEP)	84-66-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鄰苯二甲酸二丁酯	Dibutyl phthalate (DBP)	84-74-2	—	—	—	—	—	—	0.01 <sup>a</sup>	—	—
鄰苯二甲酸丁基苯甲酯	Butyl benzyl phthalate (BBP)	84-69-5	—	—	—	—	—	—	0.5 <sup>a</sup>	—	—
鄰苯二甲酸二辛酯	Dioctyl Phthalate (DOP)	117-81-7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	117-81-7	0.008	0.006	—	—	0.009	0.01	0.08 <sup>a</sup>	—	0.008

<sup>a</sup> 指引值/目標值/非常規指標值（非法定標準）<sup>b</sup> 管制總微囊藻毒<sup>c</sup> 單位：mg/L<sup>d</sup> 管制藻毒素素，包含微囊藻毒-LR 型

## 4.2 檢測方法及儀器設備

本計畫之各項檢測方法主要係依據環保署公告之最新檢測方法(NIEA)為主，有關本計畫檢測項目之各檢測方法說明詳見表 4.2-1，各檢測項目所使用之主要分析儀器設備名稱、廠牌與型號彙整說明於表 4.2-2。

N-亞硝二甲胺、N-亞硝二乙胺、N-亞硝基吡咯烷分析方法參考 Fan 和 Lin 於 2018 年所提出的方法(Fan & Lin, 2018)，利用 GC-MS 進行分析，GC 初始溫度設定為 40°C 1 分鐘，接著以 20°C/分鐘的速率升至 70°C，再以 10°C/分鐘的速率升溫至 115°C，然後以 2°C/min 的速率，最後以 30°C/min 的速率升高到 230°C，總分析時間為 41.2 分鐘。MS 在正電模式下運行，transfer line 和離子源溫度分別為 280°C 和 300°C。進樣採用不分流模式，進樣口溫度為 240°C。載流氣體為流速 1 mL/min 的超高純度氮氣 (99.999%)。NDMA 的定量離子為 75，NDEA 為 103，NPYR 為 101。

**表 4.2-1 各檢測項目之檢測方法一覽表**

檢測項目	檢測方法與方法代號
重金屬（鋒、鉈、碲）	水中金屬及微量元素檢測方法－感應耦合電漿質譜法 (NIEA W313.54B)
重金屬（硼、鋰、鈦）	水中金屬及微量元素檢測方法－感應耦合電漿原子發射光譜法 (NIEA W311.54C)
1,2-二溴乙烷	水中揮發性有機化合物檢測方法－吹氣捕捉／氣相層析質譜儀法 (NIEA W785.57B)
壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯類*	水中半揮發性有機化合物檢測方法－氣相層析質譜儀法 (NIEA W801.55B)
嘉磷塞及 AMPA	水中殘留農藥檢測方法－液相層析／串聯式質譜儀法 (NIEA W548.50B)
PFOA、PFOS、PFHxS	全氟烷酸類化合物檢測方法－固相萃取與高效液相層析／串聯式質譜儀法 (NIEA W542.51B)
N-亞硝二甲胺、N-亞硝二乙胺、N-亞硝基吡咯烷	參考 Fan & Lin (2018)
微囊藻毒 LR 型	固相萃取與高效液相層析/串聯式質譜儀法 (NIEA W539.50B)
Geosmin、2MIB	水中土霉味物質 Geosmin 及 2-Methylisoborneol 檢測方法－固相微萃取/頂空/氣相層析質譜儀法 (NIEA W537.51B)

\*鄰苯二甲酸二甲酯類包括鄰苯二甲酸二甲酯 (DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯 (DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯 (DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯 (BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯 (DOP) 及鄰苯二甲酸二(乙基己基) 酯 (DEHP) 等 6 項。

表 4.2-2 各檢測項目分析之主要儀器設備一覽表

檢測項目	儀器設備名稱 與 廠牌型號
重金屬（鋒、碲、鉈）	儀器名稱：感應耦合電漿質譜儀 廠牌/型號：1. Agilent / ICP-MS 7500ce 2. Agilent / ICP-MS 7900
重金屬（硼、鋰、鈦）	儀器名稱：感應耦合電漿原子發射光譜儀 廠牌/型號：Jobin Yvon/ ULTIMA 2000 / Agilent 5100
重金屬（碲）	儀器名稱：感應耦合電漿原子發射光譜儀 廠牌/型號：Jobin Yvon/ ULTIMA 2000 / Agilent 5100
1,2-二溴乙烷	儀器名稱：氣相層析質譜儀+氣相層析儀+吹氣捕捉器+A/S 廠牌/型號：Agilent 5975C + Agilent 7890A + OI4560 / OI4660 / OI4760 + OI4552 / OI4100
壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯類*	儀器名稱：氣相層析質譜儀+A/S 廠牌/型號：SHIMADZU GCMS-QP2010+ SHIMADZU AOC 20(i+s)
嘉磷塞及 AMPA	儀器名稱：液相層析／串聯式質譜儀 廠牌/型號：Thermo Scientific Dionex UltiMate 3000 Standard Systems / Thermo scientific TSQ quantum ULTRA
PFOA、PFOS、PFHxS	儀器名稱：液相層析／串聯式質譜儀 廠牌/型號：Thermo Scientific Dionex UltiMate 3000 Standard Systems / Thermo scientific TSQ quantum ULTRA
N-亞硝二甲胺 N-亞硝二乙胺 N-亞硝基吡咯烷	儀器名稱：氣相層析質譜儀 廠牌型號：GC, 7890, Agilent, USA ; MS, 5975, Agilent, USA
微囊藻毒 LR 型	儀器名稱：高效液相層析/串聯式質譜儀 廠牌/型號：LC1200, Agilent; TSQ Quantum Ultra, Thermo, USA
Geosmin、2MIB	儀器名稱：氣相層析質譜儀 廠牌型號：GC, 7890, Agilent, USA ; MS, 5975, Agilent, USA

\*鄰苯二甲酸二甲酯 (DMP) 、鄰苯二甲酸二乙酯 (DEP) 、鄰苯二甲酸二丁酯 (DBP) 、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯 (BBP) 、鄰苯二甲酸二辛酯 (DOP) 及鄰苯二甲酸二 (乙基己基) 酯 (DEHP) 等。

### 4.3 分析品管要求及數據品保目標

本計畫各檢測項目之品管分析包括，檢量線製備、檢量線查核、空白樣品分析、重複樣品分析、查核樣品分析、添加樣品分析等。有關各項分析數據之品保品管數據說明如表 4.3-1 所示。

**表 4.3-1 本計畫抽驗分析數據品保品管數據**

檢測項目	檢測方法代號	單位	方法偵測極限	重複樣品分析差異百分比(%)	查核樣品分析回收率(%)	添加樣品分析回收率(%)
鉈	NIEA W313.54B	mg/L	0.0000022	0.3~6.9	87.1~109.4	86.1~111.5
鍺		mg/L	0.000017	0.2~8.3	89.5~109.2	84.0~112.0
碲		mg/L	0.000028	0.2~10.6	87.8~109.0	83.3~108.2
硼	NIEA W311.54C	mg/L	0.0084	0.0~5.7	94.6~104.9	98.0~107.0
鋰		mg/L	0.00072	0.0~12.4	95.0~108.0	89.0~117.1
鈦		mg/L	0.00025	0.0~6.1	96.0~109.0	80.5~105.5
N-亞硝二甲胺	USEPA method 521	ng/L	3.2	0	99.8~109.5	97.8~113.2
N-亞硝二乙胺		ng/L	4.7	0	94.3~98.9	107.6~109.4
N-亞硝基吡咯烷		ng/L	4.7	3.7~5.4	83.4~93.6	116.1~117.1
1,2-二溴乙烷	NIEA W785.57B	mg/L	0.000022	0.5~5.3	100.0~120.0	81.5~107.5
嘉磷塞	NIEA W548.50B	μg/L	0.13	0.80~19.32	90.8~113.6	50.0~82.1
AMPA		μg/L	0.12	6.55~22.57	96.7~113.4	49.9~122.4
壬基酚	NIEA W801.55B	mg/L	0.00045	0.8~14.1	47.7~90.9	59.5~83.9
雙酚 A		mg/L	0.00090	0.1~22.4	72.4~121.5	66.1~116.5
鄰苯二甲酸二甲酯		mg/L	0.00062	0.1~11.0	70.8~94.0	68.8~88.4
鄰苯二甲酸二乙酯		mg/L	0.00049	0.0~13.9	69.5~92.6	64.4~87.7
鄰苯二甲酸二丁酯		mg/L	0.00051	0.1~15.3	64.3~93.5	61.4~86.8
鄰苯二甲酸丁基苯甲酯		mg/L	0.00050	0.9~15.5	67.9~93.2	63.7~84.0
鄰苯二甲酸二辛酯		mg/L	0.00047	0.6~15.0	53.3~80.6	49.3~80.3
鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯		mg/L	0.00066	0.1~14.7	59.4~79.7	54.5~76.0
PFOA		μg/L	0.0017	4.3~20.2	93.7~120.4	73.8~147.8
PFOS	NIEA W542.51B	μg/L	0.0012	11.6~24.7	84.8~123.1	58.4~125.0
PFHxS		μg/L	0.0023	3.1~5.9	102.5~124.3	64.6~129.0
微囊藻毒 LR 型	NIEA W539.50B	ng/L	0.26	2.3~12.8	102.3~113	67.6~103.3
2-MIB	NIEA W537.51B	ng/L	1	3.1~12.2	87.2~114.3	84.9~123.3
Geosmin	NIEA W537.51B	ng/L	1.3	2.5~9.33	93.2~98.6	74~109.9

#### 4.4 採樣規劃

各物質之抽驗規劃（抽驗淨水場數、抽驗頻率、總檢測處次等）如表 4.4-1。

**表 4.4-1 飲用水水質或水源水質中未列管之新興污染物抽驗規劃**

項目	選點原則	數量
重金屬 (鋅、鉈、硼、 碲、鋰、鈦)	a.鳶山堰、八堵抽水站、高屏溪攔河堰及石岡 壩，等四流域其飲用水取水口附近之淨水廠及新 竹縣市淨水場。  b.歷年測得濃度之點位  c.鄰近光電業、科學園區或工業區  d.近 3 年未曾檢測  e.優先選點後的其餘測點	200
揮發性有機物 (1,2-二溴乙烷)	a.鳶山堰、八堵抽水站、高屏溪攔河堰及石岡 壩，等四流域其飲用水取水口附近之淨水廠及新 竹縣市淨水場。  b.鄰近光電業、科學園區或工業區  c.水源為地下水者  d.水源為海水者  e.優先選點後的其餘測點	50
環境荷爾蒙 (壬基酚、雙酚 A、DMP、DEP、 DBP、BBP、DOP 及 DEHP)	a.鳶山堰、八堵抽水站、高屏溪攔河堰及石岡 壩，等四流域其飲用水取水口附近之淨水廠及新 竹縣市淨水場。  b.歷年測得濃度之點位  c.鄰近光電業、科學園區或工業區  d.近 3 年未曾檢測  e.優先選點後的其餘測點	300
半揮發性 有機物 (PFOA、PFOS、 PFHxS)	a.鳶山堰、八堵抽水站、高屏溪攔河堰及石岡 壩，等四流域其飲用水取水口附近之淨水廠及新 竹縣市淨水場。  b.歷年測得濃度之點位  c.鄰近光電業、科學園區或工業區  d.水源為地下水者  e.歷年未曾抽驗過者  f.各縣市至少安排一測點	50
農藥 (嘉磷塞及 AMPA)	a.鳶山堰、八堵抽水站、高屏溪攔河堰及石岡 壩，等四流域其飲用水取水口附近之淨水廠及新 竹縣市淨水場。  b.歷年測得濃度之點位  c.歷年未曾抽驗過者  d.鄰近農業區及水源為地面水者優先	50

表 4.4-1 飲用水水質或水源水質中未列管之新興污染物抽驗規劃（續）

項目	選點原則	數量
生物代謝產物 (微囊藻毒 LR 型、Geosmin、2- MIB)	a.鳶山堰、八堵抽水站、高屏溪攔河堰及石岡 壩，等四流域其飲用水取水口附近之淨水廠及新 竹縣市淨水場。	30
	b.歷年測得濃度之點位	
	c.各行政轄區內以水庫為水源為主	
	d.大型淨水場	
消毒副產物 (N-亞硝二甲胺、 N-亞硝二乙胺及 N-亞硝基吡咯烷)	a.鳶山堰、八堵抽水站、高屏溪攔河堰及石岡 壩，等四流域其飲用水取水口附近之淨水廠及新 竹縣市淨水場。	50
	b.歷年測得濃度之點位	
	c.簡易自來水系統加氯消毒程序者	
	d.近 3 年未曾檢測	

## 4.5 抽驗結果

本計畫完成抽驗 26 項未列管新興污染物共 3340 處次。抽驗結果彙整如表 4.5-1 及表 4.5-2。其中 1,2-二溴乙烷、壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯、鄰苯二甲酸二乙酯、鄰苯二甲酸二辛酯、嘉磷塞、N-亞硝二甲胺(NDMA)等 8 項物質均未檢出（低於偵測極限），2-MIB、碲、AMPA、鄰苯二甲酸二丁酯、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯等 6 項物質，雖有檢出，但檢出濃度低於定量極限，顯示上述 14 項物質於我國飲用水中暫無顯著風險，其定量極限、偵測極限、國際管制值最小值等資訊詳列於表 4.5-1。

**表 4.5-1 抽驗結果均低於定量極限或偵測極限之項目**

檢測項目	單位	方法 偵測極限	定量 極限	完成 分析數	國際管制值 最小值	抽驗結果
1,2-二溴乙烷	ug/L	0.022	0.1	50	0.05 (美)	均低於 偵測極限
壬基酚	mg/L	0.00045	0.004	200	0.3 (日)	
雙酚 A	mg/L	0.0009	0.004	200	0.1 (日)	
鄰苯二甲酸二 甲酯	mg/L	0.00062	0.004	200	—	
鄰苯二甲酸二 乙酯	mg/L	0.00049	0.004	200	—	
鄰苯二甲酸二 辛酯	mg/L	0.00047	0.004	200	—	
嘉磷塞	ug/L	0.13	0.41	50	280 (加)	均低於 定量極限
2-MIB	ng/L	1	10	30	10 (日)	
N-亞硝二甲胺	ng/L	3.2	8.8	50	40 (加)	
碲	mg/L	0.00003	0.0001	200	0.175 (美 HRL)	
AMPA	ug/L	0.12	0.41	50	900 (新)	
鄰苯二甲酸二 丁酯	mg/L	0.00051	0.004	200	0.001 (日)	
鄰苯二甲酸丁 基苯甲酯	mg/L	0.00050	0.004	200	0.5 (日)	
鄰苯二甲酸二 (2-乙基己基)酯	mg/L	0.00066	0.004	200	0.006 (美)	

- a. 日本目標值 PFOA 與 PFOS 合計 <0.05 ug/L
- b. 澳洲指引值，PFOS 與 PFHxS 合計 <0.07 ug/L

抽驗結果中曾檢出高於定量極限濃度值之項目列於表 4.5-2，其中鉈、鋰、鈦、微囊藻毒 LR 型雖有檢出，但濃度均低於國際管制值最小值，暫無影響飲用水安全之虞。

**Geosmin** 目前僅二筆數據檢出超過國際最小值之測值，且屬適飲性參數，暫無影響健康之虞，建議持續監測。NDEA、NPYR 國際上未有國家管制其飲用水中的濃度，未有管制值可供比較。然今年檢出濃度較往年略高，建議持續監測。

硼於國際管制最嚴謹之標準為歐盟、日本、韓國 ( $1\text{ mg/L}$ )，本年度針對硼抽驗有 3 次檢出值略高於國際管制值最小值，濃度值最高為  $1.24\text{ mg/L}$ ，107 年、109 年、110 年抽驗亦分別有 3-6 筆檢測測值大於  $1\text{ mg/L}$ ，均發生於澎湖及連江（離島）的淨水廠（表 4.5-3），部分推測可能與海水含硼有關。然而檢出值均小於  $1.3\text{ mg/L}$ ， $1\text{ mg/L}$  為國際管制或指引值的最小值，部分國家的管制值介於 1.4 到  $5\text{ mg/L}$ ，顯示硼於我國離島淨水廠的風險尚在可接受範圍，然仍應繼續監測。

全氟化物有兩筆數據檢出超過國際管制最小值建議持續監測。

#### 4.5.1 後續監測建議

本年度監測之項目多屬觀察清單物質（表 4.1-1），乃由蒐集清單經四項參數評估後，顯示於我國淨水場有可能潛在風險，而納入觀察清單，需持續監測以評估是否需進一步納入候選清單進行列管，若監測結果顯示暫無風險則可改列蒐集清單。

其他非屬觀察清單物質包含：鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二辛酯、嘉磷塞、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯、雙酚 A、鋰、鈦、**Geosmin**、2-Methylisoborneol (2-MIB)、鄰苯二甲酸二乙酯、AMPA 等。其中鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二辛酯、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯、雙酚 A、鄰苯二甲酸二乙酯為配合環境賀爾蒙計畫仍需持續監測。

嘉磷塞根據防檢局統計 2009 年至 2018 年國內(原體)產銷量，平均每年使用量為 1,522,605 公斤或公升，2016 年銷售額位居國內農藥第二名，為目前國內使用量最大的除草劑。環保署針對飲用水清水中之嘉磷塞進行監測多年，均未檢出，然澳洲飲用水指引建議同時監測飲用水中的嘉磷塞及其降解產物 AMPA，我國今年第一次監測 AMPA，雖均未檢出，但建議持續監測累積本土數據。而鋰和鈦於

110 年開始抽驗，建議持續監測累積本土資料。Geosmin、2-Methylisoborneol（2-MIB）近兩年偶有較高濃度檢出，建議持續監測以了解極端氣候對我國飲用水水質影響。因此明年度抽驗建議維持相同抽驗項目與頻率。

表 4.5-2 抽驗結果有檢出之項目

項目	單位	偵測極限	定量極限	完成分析數	檢出樣品數	檢出濃度範圍	測值高於國際管制值最小值樣品數	國際管制值最小值
鋒	mg/L	0.000017	0.0001	200	83	<LOQ~0.00092	1	0.000744(美 HRL)
鉈	mg/L	0.0000022	0.0001	200	36	<LOQ~0.00085	0	0.002 (美)
硼	mg/L	0.0084	0.05	200	147	<LOQ~1.24	3	1 (歐日韓)
鋰	mg/L	0.00072	0.002	200	159	<LOQ~0.216	0	—
鈦	mg/L	0.00025	0.002	200	39	<LOQ~0.003	0	—
微囊藻毒 LR 型	ng/L	0.26	1.25	30	6	1.3 ~30.9	0	800 (日)
Geosmin	ng/L	1.3	10	30	10	<LOQ~23	2	10 (澳、日)
PFOA	ug/L	0.0017	0.005	50	19	<LOQ~0.0544	1	0.05 <sup>a</sup> (日)
PFOS	ug/L	0.0012	0.005	50	10	<LOQ~0.0819	1	0.05 <sup>a</sup> (日)
PFHxS	ug/L	0.0023	0.005	50	10	<LOQ~0.0847	1	0.07 <sup>a</sup> (澳)
NDEA	ng/L	4.7	10	50	2	24.8~102.4	0	—
NPYR	ng/L	4.7	10	50	42	24.6~7394.7	0	—

a. 日本目標值 PFOA 與 PFOS 合計 <0.05 ug/L

b. 澳洲指引值 PFOS 與 PFHxS 合計 <0.07 ug/L

表 4.5-3 高於國際管制值最小值之點位

項目	淨水廠	日期	測值
硼	馬公(澎湖)	7/4	1.17 mg/L
硼	望安(澎湖)	7/7	1.16 mg/L
硼	南竿二期(連江)	6/29	1.24 mg/L
鋅	吉貝(澎湖)	7/12	0.00092 mg/L
Geosmin	桃山(新竹)	6/21	23 ng/L
Geosmin	嘉義水上	5/24	13.6 ng/L
PFOA	臺中清水	7/19	54.4 ng/L
PFOS	澎湖成功	7/4	81.9 ng/L
PFHxS	澎湖成功	7/74	84.7 ng/L

## 第五章 簡易自來水水質狀況評估

### 5.1 我國簡易自來水行政管理現況

目前我國自來水依行政區域由四個不同自來水事業或單位供應：

一、臺北市及新北市部分地區由臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)供應

二、金門縣由金門縣自來水廠供應

三、連江縣由連江縣自來水廠供應

四、其餘地區由台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)供應

根據經濟部水利署統計，截至 110 年 12 月底，北水處供水普及率 99.68%；台水公司供水普及率 94.24%；金門縣自來水廠供水普及率 94.55%；連江縣自來水廠供水普及率 83.39%，合計全國供水普及率 95.11%，各自來水事業機構供水情況如表 5.1-1。

**表 5.1-1 台灣自來水供水普及率**

機構別	行政區域人數 (1)	實際供水人數 (2)	供水普及率(%) (2)/(1)*100
北水處	3,808,803	3,796,612	99.68
台水公司	19,525,307	18,370,491	94.24
金門縣自來水廠	139,975	132,346	94.55
連江縣自來水廠	13,424	11,347	83.39
總計	23,487,509	22,310,796	95.11

資料來源：經濟部水利署([https://www.wra.gov.tw/News\\_Content.aspx?n=2945&s=7417](https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=2945&s=7417))

尚未接引自來水的地區，民眾用水水源多為山泉水或地下水，一般屬水源豐富且原水水質良好地區，民眾取用方便又無需繳納水費，多無意願接引自來水，採自行取水或接用簡易自來水。惟受氣候異常影響，導致民眾所引用之山泉水或地下水水源量銳減，或因產業發展致地下水水質不佳，威脅民眾生活及飲用水品質，未來需要政府協助改善或接引自來水者恐會增加。另外，尚未接引自來水地區民眾多位屬非都市地區，包含原住民部落，建築物多屬獨立戶且位置零散，管網建設及後續維護成本高。當「自來水延管工程」辦理期間過長或工程成本太高

時，若因「簡易自來水工程」亦符合飲用水水質標準且工程成本較低時，則可作為短期替代方案，以快速解決民眾用水問題。

根據經濟部 109 年報告，統計 105 年底共有簡易自來水場 898 處，各直轄市及縣(市)政府均針對簡易自來水事業訂定管理辦法，輔導民眾經營管理，大部分簡易自來水系統皆已組織管理委員會，辦理管理維護等事宜，供水戶數約有 10.9 萬戶。截至 108 年底，簡易自來水場降為 873 處，供水戶數下降至約 10.59 萬戶。持續評估約 6.11 萬戶可逐步納入自來水系統，另需使用簡易自來水而不納入自來水系統者約 4.48 萬戶。因此，即便台灣致力於提升自來水普及率，簡易自來水系統仍會續存一段時間。

各直轄市及縣(市)政府轄區內簡易自來水系統數量眾多，大部分不歸屬自來水事業管理，部分由民間自行組織管理，各縣市主管機關亦不同。以高雄市為例，其簡易自來水系統主管機關為高雄市政府經濟發展局，依據民國 101 年 9 月 13 日施行之「高雄市簡易自來水事業管理辦法」執行。經濟發展局 104 年之統計，高雄市內已知的簡易自來水系統計有 37 處(詳附錄 6.1)，其中已登記管理簡易自來水事業共 22 處，15 處屬私人興辦，反映簡易自來水系統的權責單位複雜。

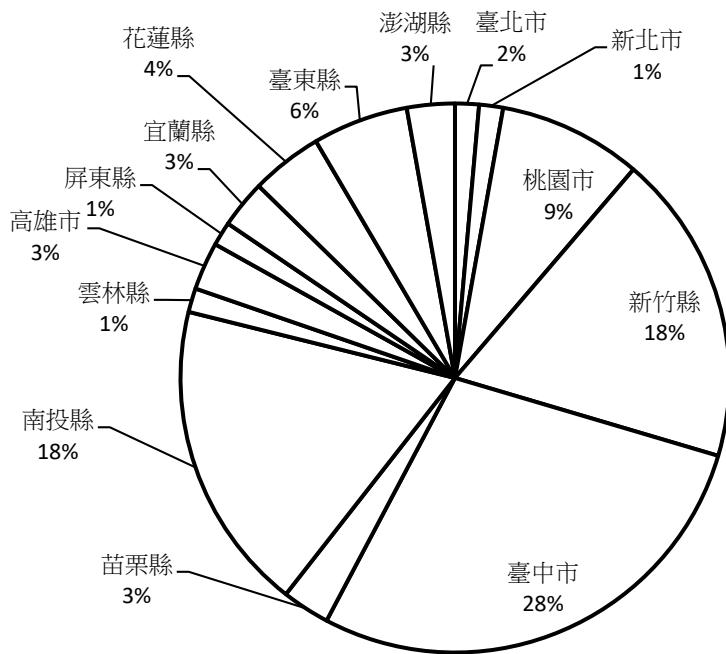
目前我國現有之簡易自來水並非都能作為飲用水使用，行政院環境保護署依飲用水管理條例第三條第一項第四款公告「指定簡易自來水為飲用水之種類」(環署毒字第 0950052274 號公告)：

簡易自來水係指取用地面水體或地下水體，經簡易淨水處理後供人飲用之水，其用水人數達五百人或供水戶數達一百戶以上，且每日供水量在一百立方公尺以上，非屬本條例(飲用水管理條例)第四條所稱社區自設公共給水設備及自來水事業之供水系統所供應之飲用水。

僅上述做飲用水使用之簡易自來水水質的管理屬環保署的管理範疇。

## 5.2 我國做為飲用水使用之簡易自來水水源與淨水程序

根據環署毒字第 0950052274 號公告「指定簡易自來水為飲用水之種類」，目前環保署登記總計 71 處簡易自來水系統可做飲用水，如附錄六所示。分布於 14 縣市，統計如圖 5.2-1。水源種類分佈統計如圖 5.2-2 所示，以地下水(41%)及地面水(42 %)為主，其他包含混和水源 14%，其他 3%。地面水水源主要包含山澗、山泉水、溪水；混和水源包含伏流水、山泉水及地下水；其他包含購入的圳水。4 處簡易自來水系統具有自來水可作為替代水源。處理程序統計統計如圖 5.2-3 所示：未處理佔 4%；處理沉序僅 1 道(沉澱、過濾或消毒)者佔 78%；達 4 道處理程序者(混凝沉澱過濾消毒)佔 1%。所消毒使用藥劑包含次氯酸鈉(漂白水)及氯。其中，長庚大學簡易自來水系統為最高供水量之單一簡易自來水系統，供水量達 60,000 CMD，實際供水人口為 15,000。



**圖 5.2-1 可做飲用水使用之簡易自來水系統縣市分佈圓餅圖**  
(資料來源: 環保署登記之簡易自來水系統資訊)

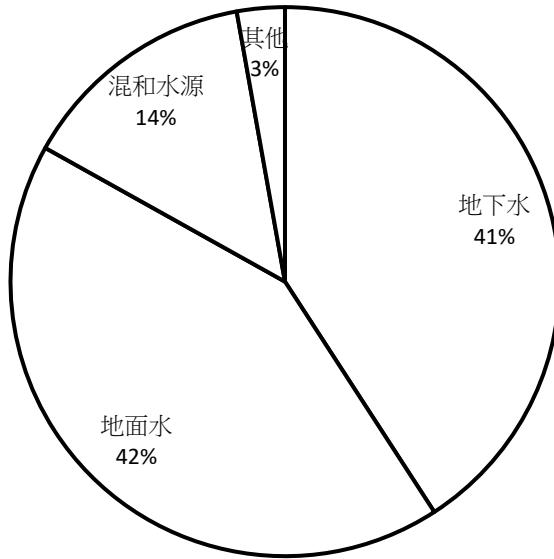


圖 5.2-2 可做飲用水使用之簡易自來水系統水源種類統計圓餅圖

(資料來源：環保署登記之簡易自來水系統資訊)

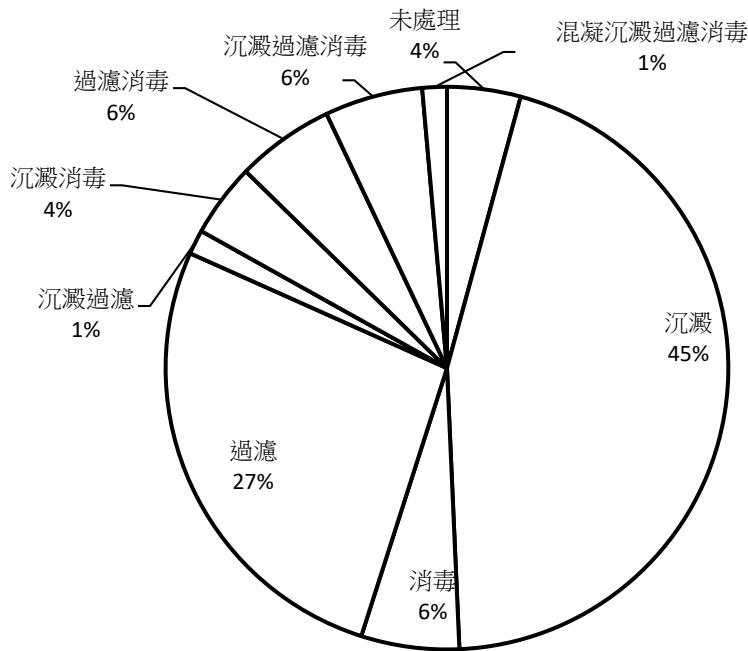


圖 5.2-3 可做飲用水使用之簡易自來水系統處理程序統計圓餅圖

(資料來源：環保署登記之簡易自來水系統資訊)

### 5.3 近 10 年做為飲用水使用之簡易自來水水質檢測結果

環保署持續關注做為飲用水使用之簡易自來水之飲用水水質，自民國 85 年起進行抽驗以及數據統計，累積水質資料。以下分別就飲用水水質標準列管項目及新興污染物分別說明。

#### 5.3.1 飲用水水質標準列管項目

表 5.3-1 為彙整近十年(101-110 年)環保署抽驗作為飲用水使用之簡易自來水之飲用水水質標準管制項目檢測數，不合格之檢驗結果另外列於表 5.3-2，曾有不合格數據之點位（不合格年份及筆數）則列於附錄七。

累計 2,773 件抽驗(21,900 項次)，抽驗不合格的項目以大腸桿菌群及總菌落數為主，大腸桿菌群不合格件數 201 件，不合格率 11.95 %；總菌落數不合格件數 167 件，不合格率 15.02 %。

以不合格件數來看，其次以濁度、氨氮和有效餘氯較高，濁度不合格件數 5 件，不合格率 0.23 %；氨氮不合格件數 5 件，不合格率 0.56 %；自由有效餘氯不合格件數 9 件，不合格率 0.84 %。其餘不合格件數均低於 5 件，不合格率依總檢測數的不同介於 0.06~1.55%。以下將就檢出不合格之數據其年分、簡易自來水場所屬區域、水源種類、數理程序等進行探討，據以提出建議。

#### 大腸桿菌群與總菌落數

大腸桿菌群抽驗不合格之 201 筆檢出鄉鎮市分布統計如圖 5.3-1 所示，總菌落數抽驗不合格檢出鄉鎮市分布統計如圖 5.3-2 所示，其中，151 筆總菌落數不合格之數據，其大腸桿菌群亦不合格。

83% 大腸桿菌群及 97 % 總菌落數不合格數據檢出於臺東縣蘭嶼鄉，107 年起持續檢出不合格數據，蘭嶼鄉簡易自來水水源包含地表水及地下水，無處理程序，污染可能來自水源，建議增設消毒處理程序，持續監測水質是否改善。

桃園市龍潭區 107 年有 2 筆大腸桿菌群抽驗不合格數據，水源為地下水，處理程序涵蓋過濾及消毒，且自由有效餘氯數值合格，108 年以後無抽驗不合格數據；高雄市大寮區 109-110 年有 2 筆大腸桿菌群檢測不合格數據，水源為地下水，其處理程序已包含沉澱、過濾及消毒，且不合格之兩筆數據對應之自由有效餘率為 0.24~0.35 mg/L，以上二區域之簡易自來水場雖曾檢驗出大腸桿菌群不合格數據，然其處理程序包含消毒且自由有效餘氯數值合格，建議持續抽驗確保用水安全。

苗栗頭屋鄉 103-104 年有 5 筆大腸桿菌群抽驗不合格數據，其水源為地下水；苗栗公館鄉 1 處簡易自來水場於 103-104 年有 4 筆大腸桿菌群抽驗不合格數據，且 104 年 3 月大腸桿菌群曾測得高達 230,000 的數值，其水源為地表水，此二區域曾檢驗出不合格數據之簡易自來水場 105 後皆未再檢測，處理程序僅有沉澱，建議持續抽驗，若大腸桿菌群仍超標，應增設消毒系統。

彰化縣芬園鄉 1 處簡易自來水場 103 年至 109 年有 4 筆大腸桿菌群抽驗不合格數據，水源為地下水；臺東縣長濱鄉 110 年有一筆大腸桿菌群抽驗不合格數據，無其他年份之檢測數據，水源為山泉水，該區域曾檢驗出不合格數據之簡易自來水場皆未經處理，建議可增設消毒處理程序，並持續檢測追蹤。

雲林古坑鄉 102-104 年有 3 筆大腸桿菌群抽驗不合格數據，爾後持續抽驗至 110 年未再驗出不合格數據，其水源為山泉水，備用水源為附設自來水場，處理程序含過濾及消毒，消毒使用藥劑為次氯酸鈉(漂白水)；花蓮縣玉里鎮於 101-103 年有 8 筆大腸桿菌群抽驗不合格數據，104 年以後至 108 年抽驗大腸桿菌群數據皆合格，其水源為地面水，處理程序包含沉澱及消毒，建議該二區域曾檢驗出不合格數據之簡易自來水場持續進行抽驗追蹤即可。

另有 3%總菌落數不合格數據分布於桃園市及彰化縣，桃園市龍潭區及彰化縣芬園鄉各 2 筆抽驗數據不合格，同時也檢出大腸桿菌群不合格，建議持續追蹤。彰化縣彰化市 103 年檢出一筆總菌落數不合格數據，爾後未再檢測，其水源為地下水，無處理程序，建議追蹤，如抽驗數據不合格應增設消毒系統。

表 5.3-1 近 10 年作飲用水使用之簡易自來水之飲用水水質列管項目檢測數

項目	總檢驗數	項目	總檢驗數	項目	總檢驗數
大腸桿菌群	1,682	對-二氯苯	56	鉻	12
總菌落數	1,112	1,1-二氯乙烯	57	硫酸鹽	224
臭度	5	安殺番	10	酚類	8
濁度	2,143	靈丹	10	陰離子界面活性劑	46
色度	579	丁基拉草	10	氯鹽	651
砷	325	2,4-地	10	氯氮	889
鉛	383	巴拉刈	10	總硬度	1,832
硒	276	納乃得	10	總溶解固體量	535
鉻	418	加保扶	10	溴酸鹽	67
鎘	419	滅必蟲	10	亞氯酸鹽	2
鋇	254	達馬松	10	戴奧辛	0
銻	207	大利松	10	鹵乙酸類	39
鎳	396	巴拉松	10	二氯甲烷	51
汞	317	一品松	10	鄰-二氯苯	50
氟鹽	87	亞素靈	10	甲苯	51
亞硝酸鹽氮	1,291	氟鹽	48	二甲苯	51
總三鹵甲烷	203	硝酸鹽氮	1,800	順-1,2-二氯乙烯	51
三氯乙烯	57	銀	254	反-1,2-二氯乙烯	51
四氯化碳	56	鐵	258	四氯乙烯	51
1,1,1-三氯乙烷	57	錳	258	鋁	226
1,2-二氯乙烷	56	銅	205	自由有效餘氯	1,067
氯乙烯	57	鋅	206	氫離子濃度指數	2,228
苯	57	銨	9		

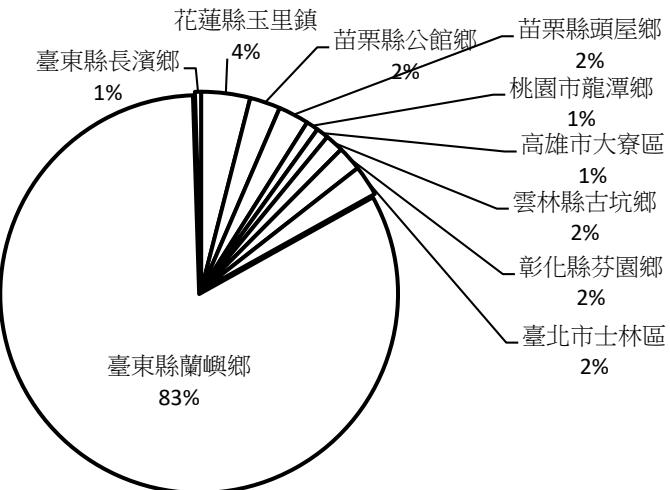
資料來源：101-110 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫

表 5.3-2 近 10 年作為飲用水使用之簡易自來水列管水質項目檢測不合格結果

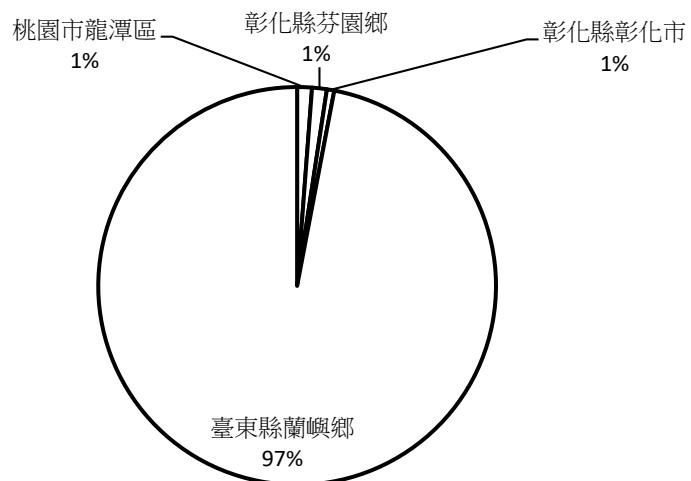
項目	水質標準	總檢驗數	不合格數	合格率(%)	不合格濃度範圍	檢出不合格之簡水場數	檢出不合格之年份
大腸桿菌群	6	1,682	201 <sup>a</sup>	88.1	8~230,000	15	101-104,107-110
總菌落數	100	1,112	167	85.0	110~49,000	7	102-104, 107-110
濁度	2	2,143	5 <sup>a</sup>	99.8	2.5~6.4	4	101,103,105,109
色度	5	579	2	99.7	240~242	2	101
亞硝酸鹽氮	0.1	1,291	3	99.8	0.11~0.56	2	103,109
硝酸鹽氮	10	1,800	1	99.9	10.5	1	105
鐵	0.3	258	3	98.8	0.32~0.66	3	103-104
錳	0.05	258	4	98.5	0.067~0.08	3	103-104
氨氮	0.1	889	5	99.4	0.11~1.02	2	103-104
溴酸鹽	0.01	67	1	98.5	0.012	1	110
自由有效餘氯	0.2~1	1,067	9	99.2	ND~0.03	3	102-104
氫離子濃度指數	6~8.5	2,228	2	99.9	8.62~8.63	1	110

注：a：部分數據顯示為”<定量極限”，而該定量極限>水質標準

資料來源：101-110 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫



**圖 5.3-1 做飲用水使用之簡易自來水大腸桿菌群抽驗不合格鄉鎮市分布**  
(資料來源：101-110 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫)



**圖 5.3-2 做飲用水使用之簡易自來水總菌落數抽驗不合格鄉鎮市分布**  
(資料來源：101-110 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫)

## 濁度

近十年作為飲用水使用之簡易自來水系統濁度抽驗有 5 筆不合格數據，桃園市復興區 101 年檢出一筆，爾後未再檢出不合格數據，可持續抽驗追蹤觀察即可。彰化縣彰化市 103 年抽驗兩筆不合格數據，且其中一筆數據亦檢出總菌落數不合

格，爾後未再檢測，其水源為地下水，無處理程序，建議追蹤，如抽驗數據不合格，處理流程應增設消毒或沉澱設備。臺東縣蘭嶼鄉該簡易自來水場檢抽驗濁度數據時間於 108-110 年，於 109 年檢出一筆不合格數據，110 年抽驗濁度數據合格，然而其大腸桿菌群及總菌落數並不不合格，仍需持續追蹤。

### 色度

101 年花蓮縣玉里鎮檢出兩筆不合格色度數據，2 簡易自來水水源皆來自秀姑巒溪水系，爾後未再檢驗，建議持續抽驗追蹤，據以提供建議。

### 亞硝酸鹽氮

103 年彰化縣彰化市 1 簡易自來水場驗出 2 筆不合格之亞硝酸鹽氮數據，不  
合格濃度範圍 0.34~0.56 mg/L，爾後未再檢測，該簡易自來水場水源為地下水，  
為經處理，建議持續檢測追蹤，以確保飲用水安全。102 年至 110 年針對臺東縣  
蘭嶼鄉一簡易自來水場抽驗亞硝酸鹽，於 109 年驗出一筆不合格數據，濃度為  
0.11 mg/L，大於水質標準 0.1 mg/L，爾後至 110 未再驗出不合格數據，建議持續  
抽驗追蹤。

### 硝酸鹽氮

105 年高雄市楠梓區一簡易自來水場驗出不合格之硝酸鹽氮數據，檢出濃度  
10.5 mg/L，超過水質標準 10 mg/L，該簡易自來水場水源為地下水，處理程序為  
過濾及消毒，自 101 年起至 110 年皆有抽驗，雖僅驗出 1 筆不合格數據，仍建議  
持續追蹤。

### 鐵

103 年苗栗頭屋鄉一簡易自來水場驗出 1 筆鐵濃度不合格數據，不合格濃度  
0.46 mg/L，水質標準為 0.3 mg/L，104 年的數據合格，105 年以後未再檢測，其

水源為地下水，處理程序為沉澱，測得之鐵濃度應來自原水，建議可持續抽驗追蹤。103 年彰化縣彰化市一簡易自來水場抽驗兩筆鐵，濃度範圍為 0.26~0.32 mg/L，一筆不合格，爾後未再監測，其水源為地下水，未經處理，測得之鐵濃度應來自原水，建議持續追蹤。屏東縣長治鄉一簡易自來水場自 102 年至 110 年持續檢測鐵濃度，於 104 年曾測得一筆不合格數據，濃度為 0.66 mg/L，其水源為地下水，測得之鐵應來自於源水，爾後未再測得不合格濃度，建議可持續追蹤即可。

### 錳

103-104 年彰化縣彰化市及苗栗縣頭屋鄉，3 座簡易自來水場共驗出 4 筆不合格錳數據，濃度範圍 0.067~0.08 mg/L，超過水質標準 0.05 mg/L，其水源為地下水，測得濃度應來自原水，105 後未再檢測，建議持續抽驗追蹤。

### 氨氮

103-104 年彰化縣彰化市及苗栗縣頭屋鄉 2 座簡易自來水場驗出 5 筆氨氮不合格數據，濃度範圍 0.11~1.02 mg/L，水源街為地下水，1 座簡易自來水場有沉澱處理，1 座未經處理，爾後未再檢測，建議持續抽驗追蹤。

### 溴酸鹽

110 年花蓮縣光復鄉 1 簡易自來水場水源為地面水，處理程序蘭沉澱及消毒，檢出 1 筆溴酸鹽不合格，濃度為 0.012 mg/L，大於水質標準 0.01 mg/L，無其他檢測數據，建議持續抽驗追蹤。

### 自由有效餘氯

102~104 年於臺東縣蘭嶼鄉測得 9 筆自由有效餘氯不合格數據，由於該處淨水場無消毒處理程序，故測得自由有效餘氯為 ND，因其大腸桿菌群與總菌落數

頻繁檢出超標，建議可增設消毒處理程序。104 年高雄市鳥松區測得一筆自由有效餘氯不合格數據，而後持續檢測至 110 年皆合格，可定期抽驗追蹤即可。

## pH 值

110 年臺東縣長濱鄉測得 2 筆 pH 值大於 8.5，範圍 8.62~8.63，其水源為山泉水，未經處理，應為原水水質 pH 偏高所致，建議持續監測追蹤。

### 5.3.2 新興污染物

近十年環保署於下列計畫抽驗未列管新興污染物，累計 1,949 件數共 21,900 項次。

1. 101-105 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫
2. 106-109 年飲用水新興污染物研究與水質管理
3. 110 年飲用水未列管新興污染物之水質研究計畫

抽驗結果彙整於表 5.3-3，其中鎵、鉈、鍇、硼、鍍、碲、鋰、鈦、二氯乙腈、二溴乙腈、水合氯醛、1,1 二氯乙烷、1,2 二氯丙烷、苯乙烯、一氯苯、乙苯、六氯苯、甲基第三丁基醚、1,2,3 三氯丙烷、1,2 二溴 3 氯丙烷、甲醛、壬基酚、雙酚 A、鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁苯酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DOP)、鄰苯二甲酸二(乙基己基)酯(DEHP)、微囊藻毒 LR 型、芬殺松、固殺草、陶斯松、愛殺松、加保利、賽滅寧、托福松、鋅錳乃浦、嘉磷塞、全氟辛酸、全氟辛磺酸、全氟己磺酸、NDMA、NDEA、NPYR 等皆未檢出大於最小國際管制值之數值，雖無顯著風險，但因累積數據量不多，並不具有足夠代表性，應持續抽驗確保民眾飲用水安全。

表 5.3-3 近 10 年環保署管制抽驗簡易自來水之未列管水質項目檢測數

項目	國際管制最小值	定量極限	方法偵測 極限	檢驗數	檢出數	大於最小國際 管制檢出數	檢出濃度範圍
鎵	NA	0.00050	0.00008	36	8	0	<LOQ
鉈	0.002(美)	0.00050	0.00011	36	8	0	<LOQ
鍺	0.000744 <sup>a</sup> (美 HRL)	0.00050	0.00011	36	19	0	<LOQ
硼	1(歐日韓)	0.05000	0.00880	36	29	0	<LOQ~0.104
鉻	0.06(澳)	0.00050	0.00011	16	0	0	—
碲	0.175 <sup>a</sup> (美 HRL)	0.00010	—	20	14	0	<LOQ
鋰	NA	0.00024	0.00200	7	5	0	<LOQ~0.02
鈦	NA	0.00023	0.00200	7	6	0	<LOQ~0.004
二氯乙腈	0.02(WHO 紐新)	0.0001	0.00001	4	1	0	0.00024
二溴乙腈	0.06(日)	0.0001	0.00001	4	1	0	0.00073
水合氯醛	0.02(日)	0.0001	0.00001	4	3	0	0.00011~0.00054
1,1 二氯乙烷	NA	0.00100	0.00074	17	0	0	—
1,2 二氯丙烷	0.005(美)	0.00100	0.00072	17	0	0	—
苯乙烯	0.002(韓)	0.00100	0.00071	17	0	0	—
一氯苯	0.01(紐)	0.00100	0.00076	17	0	0	—
乙苯	0.14(加)	0.00100	0.00068	17	0	0	—
六氯苯	0.0002(美)	0.00400	0.00100	17	0	0	—
甲基第三丁基醚	0.02(日)	0.00100	0.00071	17	0	0	—
1,2,3 三氯丙烷	NA	0.00500	0.00100	17	0	0	—

表 5.3-3 近 10 年環保署管制抽驗簡易自來水之未列管水質檢測數（續）

項目	國際管制最小值	定量極限	方法偵測極限	檢驗數	檢出數	大於最小國際管制檢出數	檢出濃度範圍
1,2 二溴 3 氯丙烷	0.0002(美)	0.00100	0.00072	17	0	0	—
甲醛	0.08(日)	0.00112	0.00944	14	14	0	<LOQ
壬基酚	0.105 <sup>a</sup> (美 HRL)	0.00500	0.00152	145	0	0	—
雙酚 A	0.1 (日)	0.00400	0.00174	145	0	0	—
鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)	0.55 <sup>a</sup>	0.00400	0.00095	145	1	0	0.00577
鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)	0.3 (陸)	0.00400	0.00101	145	0	0	—
鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)	0.01 (日)	0.00400	0.00172	145	17	0	<LOQ
鄰苯二甲酸丁苯酯(BBP)	0.5 (日)	0.00400	0.00129	145	0	0	—
鄰苯二甲酸二辛酯(DOP)	NA	0.00400	0.00119	145	2	0	<LOQ
鄰苯二甲酸二(乙基己基)酯(DEHP)	0.006 (美)	0.00400	0.00171	145	25	0	<LOQ~0.00575
糞生大腸桿菌群	不得檢出(韓)	—	—	59	36	36	2~TNCT
大腸桿菌	不得檢出(日韓澳)	—	—	59	32	32	2~TNCT
微囊藻毒 LR 型	0.0008 (日)	0.0010000	0.00015	3	0	0	—
芬殺松	0.006(日)	0.05000	0.01662	9	0	0	—
甲基多保淨	0.005(澳)	0.05000	0.00006	26	1	1	0.084
固殺草	0.02(日)	0.0025	0.00012	26	0	0	—
陶斯松	0.003(日)	0.00100	0.00013	17	0	0	—
愛殺松	0.004(澳)	0.00100	0.00025	17	0	0	—

表 5.3-3 近 10 年環保署管制抽驗簡易自來水之未列管水質檢測數（續）

項目	國際管制最小值	定量極限	方法偵測 極限	檢驗數	檢出數	大於最小國際 管制檢出數	檢出濃度範圍
加保利	0.03(澳)	0.00100	0.00040	17	0	0	—
賽滅寧	0.2(澳)	0.01000	—	17	0	0	—
托福松	0.0009(澳)	0.00020	—	17	0	0	—
鋅錳乃浦	0.009 (澳)	0.05000	0.00590	17	0	0	—
嘉磷塞	0.28 (加)	0.00100	0.00025	21	0	0	—
全氟辛酸	0.00005 <sup>b</sup> (日)	0.0000050	0.0000017	7	3	0	<LOQ~0.000035
全氟辛磺酸	0.00005 <sup>b</sup> (日)	0.0000050	0.0000017	7	2	0	<LOQ~0.000005
全氟己磺酸	0.00007 <sup>c</sup> (澳)	0.0000050	0.0000023	7	0	0	—
NDMA	0.0000002 <sup>a</sup> (美 HRL)	0.004000	0.000008	30	2	0	<LOQ
NDEA	NA	0.000010	0.000008	30	0	0	—
NPYR	NA	0.000010	0.000006	30	3	0	<LOQ~0.00000569

a : 健康參考水準(HRL)

b : 日本目標值 PFOA 與 PFOS 合計 <0.00005 mg/L

c : 澳洲指引值，PFOS 與 PFHxS 合計 <0.00007 mg/L

糞生大腸桿菌群國際管制最小值為韓國訂定，不得檢出，104-105 年檢出大於最小國際管制值水樣計 36 筆，佔總樣品數 61%，濃度為 2~TNCT，此 36 筆數據來源縣市分布圖如圖 5.3-3 所示，其中僅兩處有消毒程序，且數據僅有 104-105 年，建議持續監測追蹤，設立消毒程序並抽驗有效自由餘氯，以確保飲用水安全。

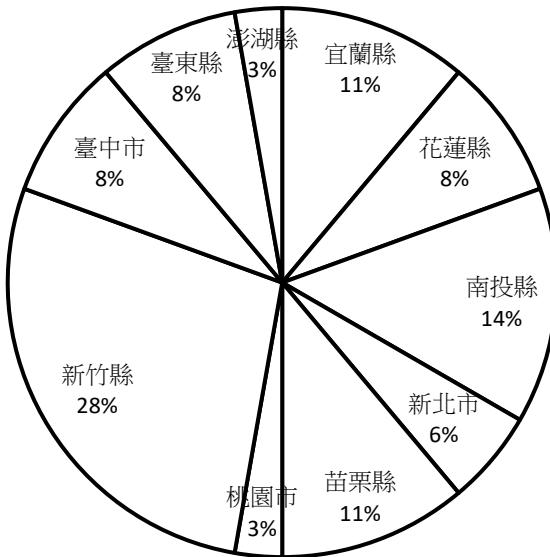


圖 5.3-3 抽驗糞生大腸桿菌群檢出大於國際管制最小值縣市分布

104-105 年檢出大腸桿菌大於國際管制最小值水樣計 32 筆，佔總檢測數 54%，濃度為 2~TNCT，檢出大於國際管制最小值之縣市分布圖如圖 5.3-4 所示，檢出大於國際管制最小值之簡易自來水場僅兩處有消毒程序，且數據僅有 104-105 年，建議持續監測追蹤，設立消毒程序並抽驗有效自由餘氯，以確保飲用水安全。

107 年抽驗檢出大於國際管制最小值甲基多保淨 1 筆，佔總檢測數 4%，該簡易自來水場水源為山泉水，僅經過沉澱處理，建議持續監測。

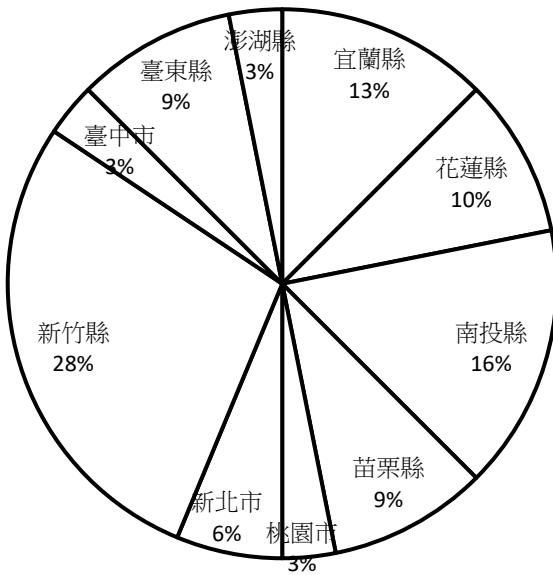


圖 5.3-4 抽驗大腸桿菌檢出大於國際管制最小值縣市分布

#### 5.4 簡易自來水場飲用水水質管理建議

檢視近十年之檢測數據則發現，簡易自來水場的抽驗項目及頻率相當有限，部分曾經檢出不合格之項目亦未持續進行監測。為確保民眾用水安全，應積極整合權責單位，除了持續請各直轄市及縣(市)政府加強簡易自來水系統資料建立，並辦理相關管理人員訓練之外，亦辦理各直轄市及縣市府管理業務輔導與加強工程查核作業等相關事宜，確保系統維護正常，各項水質需擴大抽驗，以確保簡易自來水場水質安全。

針對現有水質數據可發現，因許多簡易自來水系統並無處理程序，無論是飲用水水質標準管制項目或是未列管項目，不合格或高於國際管制值最小值的項目主要為微生物指標（總菌落數、大腸桿菌群、糞生大腸桿菌群、大腸桿菌等），污染可能來自水源，建議增設消毒處理程序。此外建議針對抽驗數據不合格之點位應持續追蹤以釐清是否為偶發事件，抑或需要調整處理流程。

因微生物不合格數據檢出集中於臺東縣蘭嶼鄉，分別為 83% 大腸桿菌群及 97% 總菌落數，且 107 年起持續檢出不合格。蘭嶼近年來觀光業蓬勃發展，因此建議優先增設臺東縣蘭嶼鄉簡易自來水廠之消毒程序，並須持續關注。而其餘點位屬零星檢出，建議未來之抽驗優先納入這些曾檢出之點位，如大腸桿菌群及總菌落數持續不合格者，優先考慮設立消毒處理程序。此外建議供水人口超過 1000 人的簡易自來水廠亦可優先考慮設立消毒處理程序。此外亦建議同步以教育宣導鼓勵民眾用水前煮沸，且避免生飲自來水，以維護民眾飲水安全。

行政層面，部分簡易自來水未依法成立或成立非正式的管理委員會(權責單位)、顧及用水民眾口感未妥適操作消毒設備，致未能接受政府主管機關之監督與改善輔導，抽驗不合格亦無法依法裁罰等現象。整合相關政府權責機關作為，有效監督與改善，亦為水質改善與管理重點。

## 第六章 以飲用水為目的之水回收再利用

近年氣候變遷導致極端氣候更趨顯著，包含降雨分布不均、降雨強度增加、旱季增長等。同時亦增加飲用水水質的風險及飲用水處理的難度，包括：

- 一、降雨分布不均，增加水資源管理難度。
- 二、降雨強度增加，可能只得濁度增加。
- 三、旱季增長，可能造成飲用水水量不足，原水中污染物濃度因缺水可能有濃縮導致濃度增加的風險。

聯合國氣候變遷綱要公約通過 2030 永續發展議程，提出 17 項全球邁向永續發展的核心目標，其中第 6 項永續發展目標(SDG 6)為潔淨水與衛生(Clean Water and Sanitation)即與飲用水的安全有密切相關。我國行政院國家永續發展委員會綜合聯合國永續發展目標所提出的 17 項核心目標，以及臺灣民眾關切的系統風險、現行核心目標鴻溝以及未來的轉型商機等準則，精煉出 18 項核心目標以及 143 項具體目標，其中**核心目標 06（確保環境品質及永續管理環境資源）**中的部分具體目標與飲用水有密切相關，包含：

具體目標 6.1 供給量足質優的水源及自來水，保障用水安全。

具體目標 6.3 ...以公共污水廠二級處理放流水循環利用作為新興水源...。

具體目標 6.4 推動節約用水工作，提升用水效率，使平均用水量不再顯著成長；...推動加強節水、再生水及海淡水等多元水源，使年淡水取用量不再顯著成長。

具體目標 6.5 推動水資源綜合管理。

人口增長、快速都市化、集水區壓力、水資源短缺地區擴大以及氣候變化對水資源供應的影響都在增加現有飲用水資源的壓力，導致需要尋找新的或替代的飲用水供應來源。從 2014 年到 2050 年，世界人口預計將從 72 億增加到 96 億，增長 33% (UNDESA, 2014)。在此期間，城市人口預計增長 61%，從 39 億增加至 63 億，預估增幅最大的地區為亞洲和非洲。這項預測意味著居住在城市地區的人口比例將從 54% 增加到 66%，將有 89 個國家的都市化程度將超過 80% (UNDESA, 2014 年)。與此同時，與氣候變化和氣候變異相關的乾旱和洪水也在增加了供水壓力 (World Water Assessment Programme, 2009; IPCC, 2014; UNESCO, 2017)。

相關應對措施之一即通過提高飲用水供應的復原力、多樣性、適應性和可持續性來降低對這些影響的脆弱性，如優先於主要人口中心開發新的、不受氣候影響的水資源，像「以飲用水為目的之水回收再利用(Potable reuse)」沿海地區的海水淡化即符合此定義(WHO, 2017)我國永續發展目標的具體目標 6.3 亦提到以公共污水廠二級處理放流水循環利用作為新興水源。

## 6.1 水回收再利用(Potable reuse)簡介

### 6.1.1 定義

廢水是從家庭、其他住宅、商業、工場及類似來源等排放到個人處理系統或污水管道的液體。它主要包含人類排泄物和使用過的水。在污水系統中收集的廢水稱為都市污水。在運行良好的污水處理系統中，通過管理工業廢水排放（如預處理）可以減少工業廢水中污染物的貢獻。

「間接水回收再利用 (Indirect potable reuse , IPR) 」 表示計劃將處理過的廢水排放到用作飲用水源的水體中，包括河流、湖泊、水庫和含水層的水體等環境緩衝區。從含有一定比例處理過之廢水的環境緩衝區中取水，並進一步處理以提供飲用水。

「直接水回收再利用 (Direct potable reuse , DPR) 」是指將處理過的廢水引入飲用水供應(無論是否保留在工程蓄水池中)，而無需事先排放到環境緩衝區。處理後的廢水可以與來自河流、湖泊、水庫或蓄水層的原水在淨水場之前混合，或與傳統淨水廠清水混合，也可直接引入飲用水配水系統中。

「計劃外水回收再利用(Unplanned potable reuse) (也稱為不被承認或實際上的水回收再利用)代表對從受廢水排放影響的水源生產飲用水的長期和普遍做法的各種描述。這在供應多個城市的河流系統中尤為常見，在這些城市中心排放的廢水（處理過或未經處理的）會成為下游城市使用的原水。如果採取適當的控制措施，包括處理系統應用，計劃外水回收再利用仍能供應生產安全的飲用水。  
(WHO, 2017)

水回收再利用計劃的數量正在增加。從 1960 年 Montebello Forebay 的 IPR (USEPA, 2012a) 和 1969 年溫和克的 DPR 開創性的開始，水回收再利用系統已經在非洲、亞洲、澳洲、歐洲和北美洲內建立起來。水回收再利用計劃主要始於

21世紀制定的，預計隨著人口和有限水資源壓力的持續增長，水回收再利用將增加。

目前海水淡化的使用也在增加，然而水回收再利用在經濟和實際上是優於海水淡化。在某些情況下，海水淡化與水回收再利用會結合使用，例如新加坡和伯斯（澳洲）。海水淡化的缺點在於它僅限於沿海地區且高耗能。除了涉及抽水到較遠的環境緩衝區外，水回收再利用比海水淡化便宜(WHO, 2017)。

### 6.1.2 水回收再利用的挑戰

水回收再利用主要涉及從廢水中生產安全的飲用水，而都市污水中可能包含微生物及化學污染物的危害，水回收再利用通常需涉及先進的處理程序和大量的專業管理知識（表 6.1-1）。它可能包括分離廢水和飲用水處理廠的協調工作。而在進行之前，應確保他們有足夠的資源和能力（財務、技術和營運）以安全且持續地實施水回收再利用計劃。若設計不當或控制措施失敗的後果是嚴重的。

**表 6.1-1 水回收再利用的優勢和挑戰**

優點	挑戰
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 供水不受氣候影響</li> <li>• 存在收集系統，且在靠近人口中心處建立傳統處理程序</li> <li>• 減少廢水排放對環境的影響（特別是微生物危害與營養物質）</li> <li>• 通常比海水淡化便宜</li> <li>• 越來越多民眾可接受</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 廢水水源水質非常差，微生物病原體濃度高，且可能含有多種化學污染物</li> <li>• 通常需要使用複雜的處理程序和高知識技術水平</li> <li>• 失敗的後果可能會很嚴重</li> <li>• 雖然民眾接受度越來越高，但有關使用廢水作為飲用水源的擔憂需要通過教育和民眾參與來解決</li> </ul>

譯自 WHO, Potable reuse: Guidance for producing safe drinking-water (2017).

### 6.1.3 直接和間接水回收再利用

DPR 和 IPR 通常都涉及對廢水進行高級處理以生產飲用水。DPR 和 IPR 之間的區別在於 IPR 中環境緩衝區的使用。環境緩衝區的優點各不相同，包括提供稀釋、混合、額外的污染物衰減過程、處理未完全的反應時間和減少民眾的負面看法等。

從 1960 年的水回收再利用計劃開始，大部分的重點和計劃制定都包含 IPR（表 6.1-2）。間接水回收再利用計劃的制定使用各種地表水、地下水的環境緩

表 6.1-2 直接和間接水回收再利用案例(WHO, 2017)

案例	類型 <sup>a</sup>	環境緩衝區 <sup>b</sup>	啟用時間	處理流程 <sup>c</sup>
Montebello Forebay, Los Angeles County, California, USA	IPR	地下水	1962	介質過濾, SAT, 加氯
Old Goreangab plant, Windhoek, Namibia	DPR	—	1969-2002 (被取代)	藻類浮選, 化學澄清, 介質過濾, GAC, 加氯
New Goreangab plant, Windhoek, Namibia	DPR	—	2002	臭氧, DAF, 快砂濾, 臭氧, BAC, GAC, UF, 加氯
Water Factory 21, Orange County, California, USA (replaced, see below)	IPR	地下水	1976-2004(被取代)	石灰澄清, 介質過濾, GAC, 加氯, 1977加入RO, 2001加入高級氧化(UV/過氧化氫)
Groundwater Replenishment System, Orange County, California, USA	IPR	地下水	2008	加氯, MF, RO, 高級氧化(UV/過氧化氫)
Upper Occoquan Service Authority, Fairfax County, Virginia, USA	IPR	地表水	1978	石灰澄清, 介質過濾, GAC, 加氯, 氯胺
Hueco Bolson recharge project, El Paso Water Utilities, Texas, USA	IPR	地下水	1985	PAC, 石灰澄清, 介質過濾, 臭氧, GAC, 臭氧, 加氯
Clayton County Water Authority, Georgia, USA	IPR	地表水	1985	土地利用, UV, 加氯
West Basin water recycling plant, California, USA	IPR	地下水	1995	MF, RO, 高級氧化(UV/過氧化氫), 氯胺
Langford Recycling Scheme, Chelmsford, UK	IPR	地表水	1997	UV
Gwinnett County, Georgia, USA	IPR	地表水	19999	化學除磷, UF, 臭氧, GAC
Scottsdale Water Campus, Arizona, USA	IPR	地下水	1999	介質過濾, MF, RO, 加氯

a IPR: 間接水回收再利用 DPR:直接水回收再利用

b 僅間接水回收再利用者

c 廢水二級處理後, SAT: 土壤含水層處理(soil-aquifer treatment), GAC:顆粒活性碳, DAF:溶氧浮除, BAC:生物活性碳

表 6.1.2 直接和間接水回收再利用案例(WHO, 2017) (續)

案例	類型 <sup>a</sup>	環境緩衝區 <sup>b</sup>	啟用時間	處理流程 <sup>c</sup>
Torreele, Wulpen, Belgium	IPR	地下水	2002	UF, RO, UV
NEWater, Singapore	IPR	地表水	2003	UF, RO, UV
Los Alimitos, Water Replenishment District of Southern California, USA	IPR	地下水	2005	MF, RO, UV
Chino Basin groundwater recharge project, Inland Empire Utility Agency, California, USA	IPR	地下水	2007	介質過濾, SAT, 加氯
Arapahoe County/Cottonwood, Colorado, USA	IPR	地下水	2009	介質過濾, RO, 高級氧化 (UV/過氧化氫), 加氯
George, South Africa	IPR	地表水	2009/2010	UF, 加氯
Prairie Waters Project, Aurora, Colorado, USA	IPR	地下水	2010	河岸過濾, 高級氧化 (UV/過氧化氫), BAC, GAC, 加氯
Beaufort West, South Africa	DPR	—	2010	介質過濾, UF, RO, 高級氧化 (UV/過氧化氫), 加氯
Permian Basin, Colorado River Municipal Water District, Texas, USA	IPR	地表水	2012	UF, RO, 高級氧化, 加氯
Dominguez Gap Barrier, Los Angeles, California, USA	IPR	地下水	2012	MF, RO
Big Spring, Texas, USA	DPR	—	2013	MF, RO, 高級氧化 (UV/過氧化氫), 混合, 介質過濾, 加氯
Beenyup groundwater replenishment scheme, Perth, Australia	IPR	地下水	2016	UF, RO, UV
Cloudcroft, New Mexico, USA	DPR	—	建造中	MBR (加強二級處理), 加氯, RO, 高級氧化 (UV/過氧化氫), 混合, UF, UV, GAC, 加氯

a IPR: 間接水回收再利用 DPR:直接水回收再利用

b 僅間接水回收再利用者

c 廢水二級處理後, SAT: 土壤含水層處理(soil-aquifer treatment), GAC:顆粒活性碳, DAF:溶氣浮除, BAC:生物活性碳

衝區和處理設施，目前較成熟、較被接受且有著悠久的成功營運經歷。然而，近年來美國國家研究委員會和其他機構對 DPR 的支持開始增加。隨著 Beaufort West ( 南非 ) 、Cloudcroft ( 新墨西哥州，美國 ) 和 Big Spring ( 美國德克薩斯州 ) 的小型計劃發展，DPR 計劃的數量正在增加 (WHO, 2017) 。

與 IPR 類似，DPR 可以涉及多種形式，如將處理過的廢水和傳統水源在處理前或處理後進行混合。DPR 的優點為避免了環境緩衝區中處理過的廢水的潛在污染，特別是地表水，另外也避免了水資源使用權的問題，降低了抽水和運輸的成本，並可應用於沒有合適環境緩衝區的地方。然而，與 IPR 相比，DPR 的一個明顯缺點是缺乏環境屏障減少了處理失敗和其他可能影響飲用水水質的應變時間。DPR 在性質上與傳統的飲用水處理廠相似，可以通過建造蓄水池在處理後和供應前監測水質來彌補環境緩衝的不足，雖然滯留時間通常比環境緩衝區短許多，但工程儲存緩衝區 (engineered storage buffers, ESBs) 可以提高在供水前評估和測結果的能力。應對措施包含從替代水源到發佈公共通知等一系列行動，而工程蓄水池在提供緩衝以應對用水需求變化中扮演重要角色。

#### 6.1.4 計劃外的水回收再利用

關於 IPR 計劃與長期使用受廢水排放影響的飲用水水源的做法，兩者相似性的討論越來越多。後者被稱為計劃外、未確認或實際上的水回收再利用。儘管飲用水集水區存在廢水排放是對於飲用水供應的潛在危害，且並不理想，但就目前而言是一個普遍的現實。在這種情況下，廢水處理和飲用水處理是必不可少的，如果採取適當的控制措施，包含計劃外水回收再利用的飲用水供應將能夠提供安全的飲用水 (WHO, 2017) 。

雖然計劃外水回收再利用在飲用水供應中添加不同數量的廢水很常見，但對水回收再利用計劃具有重要的優勢，計劃的水回收再利用通常包括對接收水的廣泛監測，而這在計劃外的水回收再利用中不太常見或不太頻繁。水回收再利用計劃通常須對承受水體進行大範圍的監測，然而此監測在計劃外水回收再利用中不太常見、頻繁。儘管計劃外水回收再利用的廢水體積貢獻通常很低，但有些案例顯示廢水佔河流流量的很大一部分，特別是在流量少的期間。然而，這些流量對飲用水供應水質的影響通常沒有量化，特別是在微生物方面，傳輸和自然衰減過程（例如距離、稀釋、傳染性喪失、掠食和失去活性）對微生物污染物的影響

受到的關注有限，這些知識差距限制了計劃外和計劃水回收再利用之間比較的價值。

無論原水如何，重要的是最終供水都應滿足飲用水水質要求。這可以通過發展實施「水安全計畫」來實現，其中包含多級屏障方法的控制措施，以處理確定的風險，進而滿足健康的要求。這項原則同樣適用於計劃和計劃外的水回收再利用。廢水排放對計劃外水回收再利用的影響通常被低估，且與受污染飲用水相關的暴發有關，因此若管理得當，計劃和計劃外水回收再利用都可生產安全的飲用水。

## 6.2 水回收再利用的實施

根據 WHO 飲用水水質指引所述，為確保所有飲用水計劃（包括水回收再利用）持續供應安全飲用水，需應用安全飲用水框架，而該框架包括以下三個要點：

**一、健康的目標：**基於風險與可衡量的目標，定義了飲用水的安全性，包括微生物安全指標及化學和放射性元素的水質目標。

**二、水安全計劃(WSP)：**由供水商制定和實施的全面性風險評估和風險管理方法：

系統評估，以鑑定、評估和確保管理供水鏈中的公共衛生風險。主要包括描述供水系統、確認危害和危險事件並評估相關風險、確定和驗證控制措施、重新評估風險並排定優先級、制定和實施改進/升級計劃。

進行監測以確定所採取的控制措施是否有效，WSP 是否實踐，以及該系統是否有效並實現健康的目標，關鍵項目包括定義控制措施的監控和驗證 WSP 的有效性。

管理和溝通，確保適當的營運和管理系統到位，以支持和維持水安全，主要包括準備管理程序（包括事件協議）和製定支持計劃。

**三、獨立監督：**監管機構為確保有效實施 WSPs 和實現基於健康的目標而發展的活動。

水回收再利用的水安全計劃需適用於供水的所有步驟，從廢水的收集處理到分配和供應給消費者。在某些情況下，特別是當不同的個體負責廢水管理和飲用水供應時，廢水管理可能會獨立在衛生安全計畫中進行描述（WHO，2015a）。衛生安全計畫基於與水安全計劃相同的原則，對廢水從產生到最終使用的整個衛

生系統採用預防性風險管理的方法，另衛生安全計畫的核心為系統評估、監控、管理和溝通。

在使用這兩種形式的衛生安全計劃下，需協調完善，以確保整個計劃可以有效地發揮作用，如衛生安全計畫關於鑑定危險事件的結果、評估或驗證現有的控制措施、評估暴露風險、監測控制措施和效能的驗證都應配合水安全計劃。水安全計劃將在確保水回收再利用的安全方面發揮首要作用，包括參考與管理計劃相關的所有關鍵要素，從廢水收集到在民眾水龍頭處提供飲用水。

### 6.3 南非溫得和克(Windhoek)再生水廠

溫得和克市在 1968 年即實施 DPR，當時還沒有關於將廢水再利用作為飲用水的標準或準則。溫得和克是世界上第一個引入計劃水回收再利用的城市。然而，這並不是輕率的一步，而是從溫得和克 Gammams 污水處理廠的模廠和普勒托利亞達斯普特的 Stander 廠開始多年研究和測試的成果。該工廠經過 40 年的發展和 30 年的全面營運，經歷了六個階段的改進，最終取代了原來的（舊）Goreangab 再生水廠，2001 年 9 月與新的 Goreangab 廠合作。

#### 6.3.1 溫得和克水回收再利用的驅動

在 1950 年代初期，溫得和克很明顯將在 10 年內出現嚴重的缺水問題，必須尋找額外的水源。市區 750 公里範圍內無常年河流，而合適的水壩地點離城市較遠，因此會導致非常高的抽水成本。市議會向南非國家水研究所 (National Institute for Water Research, NIWR) 尋求建議，南非國家水研究所主任 (Stander 博士) 認為水回收再利用是該問題的解決方案 (*Scientiae*, 1969 年)。

1957 年的水資源危機再次顯示了這座城市的脆弱性，據報導地下水資源的使用量高於安全產量的 57%，水位在四個月內下降了 52 m。在提交給西南非洲行政水務處的一份公文中指出，將經過適當處理的廢水重新用於某些特殊用途，例如發電站和墓地，似乎是一項可能在 1958 年 9 月之前產生成果的積極措施。

為溫得和克和納米比亞中部地區供水的三壩系統的 95 個百分位安全產量為每年 20 GL，其中 17 GL 可供溫得和克使用。2015 年，該市的需求為每年 26 GL，若沒有再利用和地下水的貢獻，需求將無法滿足，因此直接水回收再利用是溫得和克不可或缺的水源。

為滿足對回用水不斷增加的需求，計劃將 Gammams 工廠從 28 MLD 擴大到 55 MLD，採用兩條生產線（20 MLD 的活性污泥程序去除營養鹽的生產線和 35 MLD 的 MBR 生產線）。來自 ASP 廠的處理過的廢水將繼續作為新工廠的供水，其中水力容量的物理限制將不允許顯著擴增。溫得和克市便呼籲為 Gammams 建立一個先進的飲用水處理廠提供諮詢服務，以跟上新的 MBR 廠。

1960 年代中期，在 Gammams 模廠取得良好結果後，溫得和克市議會決定實施水回收再利用。直接水回收再利用於 1969 年 1 月 21 日在 Goreangab 再生水廠正式誕生，當時該廠的初始產能為 3.287 MLD（每年 1.2 GL）。該廠歸溫得和克市政府所有，政府為基礎設施提供資金，全權負責三個來源的供水：地下水、Goreangab 大壩的地表水和 Goreangab 廠的水回收再利用。

1969 年至 1982 年期間，政府增加了三個地表水庫。這些水庫的總容量為 155 GL，距離溫得和克 70 至 200 公里，位於暫時溪上，95% 的保證產量僅為 20 GL。1993/94 年間引入了半淨化灌溉和用水需求管理。在 1996 年的乾旱期間，市議會決定重新利用每一立方米的廢水。Goreangab 廠在其生命週期內進行了五次升級，2001 年新工廠營運，初始產能為 21 MLD。

溫得和克市擁有該廠，並將它外包給國際私人合夥公司 Windhoek Goreangab Operating Company，簽訂為期 20 年的合約，通過私人管理協議進行管理。

### 6.3.2 水源和源頭控管

1960 年代初期，當考慮水回收再利用時，當時的溫得和克市政府決定將工業廢水與都市污水分開，然而對現有產業實施這種改變是不切實際的。因此，政府於城市北部和 Gammams 流域之外建立了一個新的工業區，而 Goreangab 廠使用來自 Gammams 污水處理廠的二次廢水作為再利用來源。

當時政府儘可能將所有產生工業廢水的工業集中至北部工業區並建立一個新的工業廢水廠。即至今日，仍有一些例外情況排入 Gammams 污水廠，但這些產業的排放受到嚴格控制，工業廢水收費（包括罰款）即是最大限度地減少這些對再利用過程的影響，另為確保符合規定，也在各個排放點進行自動混樣的源頭控制。

### 6.3.3 模廠

在 1960 年代初期，Gammams 污水處理廠建立了一個模廠（Clayton, 2005），而模廠試驗研究是由該城市的工程師部門和南非國家水研究所共同進行的。

建設溫得和克再生水廠獲得批准時，普勒托利亞的達斯普特也建造了一個類似的模廠，其容量為 4.8 MLD，而南非國家水研究所將進行未來所有的再利用研究，並在該廠進行全面的研究以改進現有的處理流程。比較生物活性污泥程序與生物滴濾法進行營養鹽去除的研究，高石灰處理、氨汽提、折點加氯和活性炭吸附都在達斯普特進行測試。確定已知的有毒化合物和微量有機污染物，並在標準品試驗期間確定它們是否去除。同時進行生物監測測定和生物檢定法以檢測任何急性或亞致死活性。最終水中沒有檢測到生物活性、細菌、病毒或大腸桿菌，這些測試使化合物的濃度被去除超過其原始濃度的 99.9%，低於偵測極限。將處理後的廢水水質與來自地表和鑽井的傳統飲用水源進行比較，結果處理後的廢水水質更好，這些有希望的成果促成了 Mark I 廠的升級和擴建。研究繼續進行，並在接下來的幾年中測試了許多不同的先進處理程序，而許多研究努力獲得了國際讚譽。

新舊廠在沒有水回收再利用水質標準的情況下引入。而同樣在沒有可執行的指導準則和標準的情況下，溫得和克市接受了自我監管，採用了國際飲用水標準之規定來設計新廠。

### 6.3.4 控制策略

工業污染特別是將合成化學物質排放到接收河流的做法，代表著潛在的健康危害。因此，這些化合物要從飲用水中完全去除，或是將濃度降低到最低暴露風險值是相當重要的。

Mark I 廠於 1969 年成立時，基於明確的再生水政策，需要四道綜合防線，包括：

- 廢水集水區的水質控制基於從生活廢水收集系統中轉移含有潛在有害化合物的工業排放物。
- 有警示控制的高效水回收技術。令人關注的是污水廠去除病原微生物、有毒金屬和有機化合物的效率，這些有機化合物可能具有致突變性、致畸性或具有其他有害影響。

- 對最終生產的水進行警示監測，包括全面確定水的微生物和化學物質濃度，以及使用魚類等生物傳感器的預警系統。
- 連續測量水中的氯含量以及可連續測量的化學成分，例如 DOC 和水的紫外線吸收。

從 1970 年代初開始，微生物和化學物質的控制研究顯示再生水廠的產水水質良好，符合普遍接受的飲用水標準。污水廠多年來一直在升級，提高了去除化學物質和微生物危害的能力。

控制措施的重點是通過廢水處理去除合成清潔劑和有機污染物，以及使用先進的飲用水處理程序去除微生物病原體、溶解性有機碳、總鹵化合物、金屬和適飲性參數。每個處理過程都必須在規定的操作條件或參數內操作，以確保最大限度地去除污染物，操作分析以確保達到目標處理，進行實驗室分析以驗證水質已得到充分處理。最初，至少有四個不同的機構參與了監測，有兩個機構的任務是每月至少進行一次計劃外採樣，主要分析細菌、病毒和化學物質，而另外兩個機構負責按計劃對水質參數進行全面監測。為了處理原水的變化或不能充分執行降解的程序，處理程序需要改進，或是以更合適的處理技術取代。

### 6.3.5 驗證和流行病學證據

1976 年，在 Mark II 廠安排升級時，建議建立成熟池出水水質的通用標準。Mark I 廠的安全屏障是有效的，而任何可以提高安全性的額外安全屏障都可以立即實施。最終水質必須符合南非標準飲用水規範（第 241-1971 號），該規範針對 DPR 進行了略微改進，將所有實驗室之間的化學物質、細菌和病毒分析方法標準化作為優先事項，並引入了實驗室研究。進行進一步研究以更準確地定義分析參數，例如游離氯、總氯、需氯量，並為這些參數開發標準方法，也引入了氯汽提的高石灰處理和進一步的氯化屏障。

人們意識到流行病學研究是迫切需要的（Isaacson 等，1987），因此委託進行了流行病學研究，並進行了以下測試：

- 持續性魚類生物監測
- 致突變性測試
- 危險化學物質的組織培養測試
- 哺乳動物致癌性測試

公共給水的生物測定不僅要考慮致死性，還要考慮對任何物種都很重要的亞致死效應。引入線上魚類生物監測作為評估水質突然變化的一種快速、簡單且相對便宜的方法，並對長期暴露測試，考慮了以下因素：

- 活動範圍和總體健康的變化
- 血清變化
- 病理變化

南非醫學研究院從 1974 年到 1983 年首先進行處理過之廢水的微生物監測研究。根據 4000 多個樣本的測試結果顯示，處理後的廢水符合為生活用水製定的公認水質標準，適合人類飲用。從病理學的角度來看，與未經處理的傳統地表水源相比，處理過的廢水（人類廢水）被證明一直受到潛在致病菌的污染。在回收過程的不同階段定期對水進行測試，病毒的數量逐漸減少，並且在過程的最後階段並未存在。這些研究於 1976 年擴大，包括潛在的短期（主要是傳染性）和長期（主要是非傳染性慢性）影響。該報告的作者進一步得出結論，在已完成的流行病學研究範圍內，無法證明使用處理過的廢水對健康產生不利影響 (Isaacson & Sayed, 1988 年)。這一結論得到了加州洛杉磯縣 Montebello Forebay IPR 計劃對健康影響之研究的進一步支持 (Nellor 等, 1984 年)，該研究表示在經氯化處理的廢水中未檢測到病毒。一項 12 年期間的健康和生命統計數據的評估表明，接受水回收再利用地區居民與兩個未接受水回收再利用的控制區居民相比，傳染病、先天性畸形、嬰兒和新生兒死亡率、低出生體重、癌症發病率或因心髒病、中風、胃癌、直腸癌、膀胱癌、結腸癌或所有癌症導致的死亡率沒有增加。

### 6.3.6 環境緩衝

溫得和克的 DPR 計畫，沒有環境緩衝區。來自污水處理廠處理過的水在進入再生水廠之前會流經幾個成熟池。這些池子的體積保持不變，代表隨著流量的增加，停留時間從 Mark I 廠的 14 天減少到新廠的不到 3 天。技術的改進、線上監控、工廠流程自動化和更快的分析反應時間彌補了這項安全性缺失。目前，最終處理的廢水保留在水庫中，以促進抽水站與地表水保持所需的混合比，混合水從抽水站分配到配網中的多個水庫，而停留時間為四至八小時不等。

在沒有環境緩衝的情況下，私人管理協議的結構是為了激勵營運商每次都能達到規定的水質。支付給營運商的費用是根據每個處理成程序後達到中間標準的

水質以及最終標準水質來計算的。未能達到目標值將受到罰款，而未能達到最大值或絕對值則意味著工廠將無法供水並進行循環，直到產水符合規格。如果營運商無法滿足絕對值且未供水，則暫停罰款。營運商須始終處於運行狀態。

### 6.3.7 水質監測操作和驗證

為測試處理程序在不同條件下的可靠性進行了研究，每個處理過程都必須在規定的操作條件或參數內操作，以確保最大限度地去除污染物，操作分析以確保達到處理目標，實驗室分析以驗證是否得到充分處理。如前所述，至少有四個不同的機構參與了監測。早期，兩個機構的任務是每月至少進行一次突擊採樣，主要分析細菌、病毒和化學物質，而兩個機構負責對水質參數進行例行性監測。

在 1980 到 1990 年期間，Mark III 和 Mark IV 廠進行升級以擴大產水量。 南非國家水研究所引入了線上自動 DOC 分析儀和 UV254 監測儀來監測來自 GAC 柱的產物。

在專業知識和設施有限的實驗室中，微生物水質研究的主要目的 (Grabow, 1984; 1990) 是確定處理過之廢水的安全性，並通過可以在較高的頻率下進行且成本較低的例行性水質監測方法。它包括選擇實用且可靠的指標生物，需在病原體存在下也存在，對糞便或廢水污染具有特異性，至少與病原體一樣對水處理和消毒過程具有抵抗力，本身最好是病原體的，並且可以通過簡單、快速和便宜的方法檢測。

該研究過濾了至少 13,000 升最終處理過之廢水以檢測病毒。 研究初期的樣品量為 10 L，後來為 100 L，都沒有檢測到病毒，代表處理後的廢水完全符合現有國際文獻中建議的直接再生飲用水的最嚴格的病毒量限制。

產氣莢膜梭菌(*Clostridium perfringens*)被發現是一種有用的指標，對糞便污染具有高度特異性，並可在 24 小時內通過相對實用的方法進行檢測。

加氯的評估研究表明，病毒和大腸桿菌噬菌體往往比細菌更能抵抗結合氯，而細菌比病毒和大腸桿菌噬菌體更能抵抗殘留的游離氯，代表大腸菌群是再生水廠中應用殘留游離氯去除病毒的可靠指標。結論是，多重障礙回收水系統中各個處理單元的綜合效果符合直接回收飲用水微生物安全的最嚴格要求，包括病毒計數減少 12 log 的去除能力。

直接飲用水建議遵循以下標準：10 L 中不含病毒，異養平板計數 $\leq 100$  菌落單位 (CFU)/ml，不含總大腸菌群、抗酸菌、銅綠假單胞菌和大腸桿菌噬菌體，在處理程序中至少兩個處理單元之後從 100 毫升樣品中取出測量。細菌和大腸桿菌噬菌體測試的優勢在於可以通過測試更大體積的水提高其靈敏度。鑑於這些調查結果，建議對溫得和克再生水廠等已建立的多重障礙處理系統進行例行性水質監測：

- 95%的樣本(在至少兩個處理階段後每天採集)中，異養菌菌落數 $\leq 100/ml$ ，100 ml 樣本中應不含總大腸菌群和大腸桿菌噬菌體。
- 至少一個消毒過程符合以下或等效規範：在 pH 值小於 8.0 和濁度小於 1.0 NTU 的情況下，自由餘氯 1-2 mg/L 接觸時間為 1-2 小時。

如果飲用水已經確定在 pH <8、濁度<1.0 NTU 且接觸時間為 1 小時的情況下用餘氯濃度為 1 mg/L 的氯進行消毒，則該水符合所有微生物標準。消毒過程的主要缺點是在某些條件下會形成有機鹵副產物，而減少這些有機鹵素副產物成為隨後幾年的主要研究重點。最終，並確定了 Mark VI 廠的最終水質準則。

溫得和克市施行 DPR 已有 45 年之久，目前已被消費者完全接受。天然水資源的缺乏是 DPR 的驅動力，經驗顯示它取得了成功。不再須要重新考慮將處理過之廢水視為生產飲用水的安全可靠來源的決定是否明智。如果計劃未來在 Gammams 污水處理廠實施高級處理，該市將不得不重新訂定目前在混合水中 加入 35%已處理廢水的限制，而南非正在製定的新規範可能會影響擬議的未來程序，但在溫得和克，DPR 已成為過去並將在未來繼續存在，是供水不可或缺的一部分。

#### 6.4 美國加州橘郡地下水補給系統

美國加州橘郡地下水補給系統是世界上最大用於水回收再利用的先進淨水系統，於 2008 年推行，目前可生產 347 MLD 的水，計劃擴大到總產量 492 MLD。此外，其供水所需的能源只需從北加州抽水的一半，如此每年節省的能源足以供應 30000 戶的家庭用電。

IPR 計畫，地下水補給系統使用由 MF、RO 和 AOP (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 三個高級處理步驟來淨化二級處理後的廢水，否則這些廢水將會排放到太平洋。處理系統生產的高品質水超過了所有州和聯邦的飲用水標準，經處理穩定後，其中一些水

被注入海水屏障，其餘（約三分之二）被抽送至補給盆地並自然滲透到橘郡地下水流域。地下水補給系統由加州芳泉谷的橘郡水務局和橘郡衛生局共同營運。

#### 6.4.1 以水回收再利用實現可持續供應的地下水

橘郡水務局由加州立法機構於 1933 年創建，旨在保護其從聖安娜河取水的權利並管理橘郡地下水流域，該流域目前提供了北部和橘郡中心 240 萬人 75% 的飲用水供應，作為加州人口第三多的橘郡，其人口數仍在增加，預計到 2035 年，北部和中心地區的人口將增長 30 萬以上，如此對乾淨、可靠的水需求也將增長。

最大的挑戰是橘郡位於加州的半乾旱地區，每年的降雨量僅為 14 英寸（355 毫米）左右。來自聖安娜河的當地地表水一直被用來補充橘郡的地下水流域，但近年來急劇下降，使得提供當地地下水的可持續來源變得更加困難。

由於該地區經常發生乾旱和供水變化，橘郡水務局董事會決定將再利用水作為地下水流域的主要供水來源，而重複使用的水為橘郡水務局提供了地下水流域可持續供水的可靠性。

#### 6.4.2 地下水補給系統如何運作：管理、資源和能力

該計畫的規劃、設計和建設歷時 11 年，從最初的概念到 2008 年 1 月開始營運，計劃的兩次分階段擴建中，第一次於 2015 年完成，管理和資源的具體情況包括：

- **所有權和管理：**地下水補給系統的高級水處理設施及其相關的分配、補給和注入設施由橘郡水務局擁有和運營。向地下水補給系統提供二級處理廢水的收集和處理設施由橘郡衛生局擁有和運營，包括用於處理和處置系統廢棄物的設施。橘郡水務局和橘郡衛生局之間的一系列共同行使權力協議規範了該計劃的合作開發、融資、建設、營運和維護。橘郡水務局和橘郡衛生局共同承擔初始建設成本（4.81 億美元）。
- **水源：**該系統淨化由橘郡衛生局再生水一廠產生的二級處理廢水。大約 75% 的系統供水是通過在部分硝化脫硝模操作的活性污泥系統，剩餘 25% 通過滴濾法提供。
- **生產和處理能力：**作為分階段擴建計劃的一部分，該系統最初的生產能力為

70 MGD (265 MLD)，可供 850,000 人使用。在高級處理設施進一步的擴建且原排放至海洋的廢水改進行再利用後，最終處理量預計為 130 MGD (492 MLD)。自啟動以來，該計劃已生產超過 1550 億加侖 (587 GL) 的水。若從北加州或科羅拉多河購買同樣量的進口水將花費 3.18 億美元。

#### 6.4.3 建立地下水補給系統的水回收再利用方案

橘郡水務局和橘郡衛生局在地下水補給系統之前就已經合作很長一段時間。鄰近的公用事業公司最初在 40 多年前通過一個名為 Water Factory 21 的計畫發展了他們的再利用合作關係，該計畫生產處理過的再生水，並直接注入沿海水井，形成一道屏障，保護橘郡地下水流域免受海水入侵。Water Factory 21 的初步規劃始於 1960 年代中期，並於 1976 年上線。

Water Factory 21 的處理過程包括石灰澄清法、再碳酸化、氯化和多介質過濾，然後是 GAC 和 RO，產水在注入前會與深井水混合。

1990 年代初期，橘郡水務局海水入侵屏障很明顯需要額外的循環水，此外處理技術和過程控制的進步允許更有效的循環水淨化過程。與此同時，橘郡衛生局面臨不得不建造額外的海洋排放口以應對不斷增加的廢水流量並避免在高峰流量期間對其現有的海洋排放口造成損害的前景。橘郡水務局和橘郡衛生局在 1990 年代中期的利益合作為在地下水補給系統上的合作奠定了基礎。

由於 Water Factory 21 生產的再生水量需要從 15 MGD (57 MLD)增加到 35 MGD (133 MLD)，因此對該計劃進行了模廠測試。在橘郡水務局擴建 Water Factory 21 之前，決定對新技術進行模廠測試以優化處理廠效能。

橘郡水務局緊鄰處理生活和工業廢水的橘郡衛生局。在模廠測試期間，橘郡衛生局與 橘郡水務局接洽，建議將新設施的規模擴大一倍至 70 MGD(265 MLD)，以便橘郡衛生局 在冬季風暴期間的高流量也可以得到處理，且可以重複使用或排放到聖安娜河，如此將消除橘郡衛生局建立第二個海洋放流口的需要。

這兩個機構同意共同建造一個擴建設施，為橘郡水務局的海水屏障提供 70 MGD (265 MLD)的高純度回收水，並直接補給地下水流域。該計畫被命名為地下水補給系統。從 1997 年到 1999 年完成了中試和示範規模的測試，並將結果納入了全面計畫的設計。

根據模廠測試，在計畫開發階段確定高級處理須包括以下技術：

- 微濾（去除細菌、懸浮物和原生動物）
- 逆滲透（去除溶解的礦物質、病毒和藥物）
- 高級氧化法 (UV)（消毒和去除分子量小的有機物，主要針對 1,4-二噁烷和 NDMA）。

通過合理的規劃和投資，從計劃開始就預計進行兩次擴建，進而將成本降至最低。實際上當系統在 2008 年首次上線時，大部分擴展基礎設施就已經內置到系統中。經過近八年的成功營運，最初的擴建項目於 2015 年上線，為橘郡提供額外 30 MGD (113 MLD) 的可靠用水。

#### 6.4.4 橘郡衛生區源頭控制計畫

系統的源頭控制由橘郡衛生局提供，源頭控制計畫的目的是管理橘郡衛生局接收的未處理廢水的水質，從而確保其不會因不可接受的干擾或流經的廢水和高級處理程序而影響污染物和化學品排放到當地地下水道，另工業和非工業的排放都須受到監管和允許。

源頭控制計劃遵循加州對地下水補給再利用計畫的規定，包括以下內容：

- 通過廢水和高級水處理程序評估國家指定污染物的宿命。
- 以國家規定的重點化學物質和污染源進行調查和監測。
- 從源頭管理和減少污染物的排放進行工業、商業和住宅區的推廣計劃。
- 可能排放到廢水收集系統的化學品和污染物( 包括新來源或改變現有來源產生的新化學品 ) 的當前清單。

地下水補給系統採用多重屏障方法來保護公眾健康免受與病原微生物相關的急性健康風險以及與化學品相關的急性和慢性健康風險影響。

- **病原體**：MF + 氯胺處理可讓梨形鞭毛蟲和隱孢子蟲達 4-log 去除率，病毒 1-log 去除率。 RO 和 AOP (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 系統對這些病原體可達 2-log 和 6-log 去除率。
- **化學品**：化學品的風險控制始於橘郡衛生局管理的源頭控制計劃。 RO 系統採用現代薄膜複合聚酰胺膜，是一種堅固的化學屏障，可有效去除多種無機和有機化學物質。 AOP (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 系統提供補充屏障，以解決 RO 無法完全去除的低分子量、不帶電荷的有機化合物。

高級處理程序（即 MF、RO、AOP [UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]）的驗證已在不同時間使用多種方法進行：

- **微濾**: MF 技術的病原微生物去除已通過製造商測試和當地去除梨形鞭毛蟲、隱孢子蟲和大腸桿菌噬菌體（作為病毒的替代物）的現地效能文件進行了驗證。
- **逆滲透**: 使用在線分析儀持續監測來自 RO 系統的大量進流和滲透物的 TOC 和電導率 (RO 過程中的 TOC 去除率始終超過 2 log, 提供 RO 病原體的驗證移除信賴)。 RO 效能已通過本土大腸桿菌噬菌體監測得到進一步驗證，每月通過 USEPA 方法 1601 和 1602 進行批量 RO 滲透分析，導致在前八年的營運中沒有可量化的檢測。
- **高級氧化法（紫外線/過氧化氫）**：使用 2004 年在 Water Factory 21 營運結束和地下水補給系統操作開始之間的過渡期間的 5 MGD 設施進行的 MS2 大腸桿菌噬菌體播種研究，驗證了紫外線系統可減少病原體。在 2007 年底新設施的啟動調試期間，對 NDMA 和 1,4-二噁烷的去除進行了額外驗證。

#### 6.4.5 環境緩衝區：橘郡地下水流域

橘郡地下水流域含水層作為地下水補給系統的儲存、運輸和環境緩衝。有跡象表明，經過高級處理的水添加後，含水層中的一些污染物會暫時遷移，然而，這些污染物已通過以下方式穩定下來：

- 稀釋/混合
- 對可能導致補給/注入不合格水的處理廠作出反應的時間
- 額外處理。

加州採用的再生水補充地下水的規定要求在提取用於飲用之前，在含水層內至少有兩個月的地下停留時間。地下水補給系統已獲批准，停留時間為 3 個月，且達 3-log 的地下停留病毒去除（每月減少 1-log 去除率），補給/注入點和提取點之間的實際地下運行時間通常約為多年。

#### 6.4.6 水質監測

水質是處理廠效能的主要衡量標準，其包括：

- **濁度**：用作懸浮固體物的替代性參數，使用線上監測儀器在 MF 和 RO 過程中連續監測濁度，以幫助確認膜的完整性。
- **總有機碳**：需要 TOC 監測以記錄廢水來源有機物的有效去除。

- **總氮**：由於廢水中氮的普遍存在，需要進行監測以控制總氮。
- **總溶解固體**：TDS 用以有效控制和去除無機物質，尤其是鹽。地下水補給系統中幾乎所有的 TDS 去除都發生在 RO 過程中，去除率經常超過 95%。TDS 的實驗室測試通過連續在線測量每個 RO 單元的進流和滲透流中的電導率來輔助監測。。
- **N-亞硝基二甲胺**：NDMA 是 AOP/UV 系統中 UV 的主要化學靶標，最初設計用於通過 UV 光解將 NDMA 減少 1.2-log。

這些參數提供了處理廠整體效能的指標，尤其是 RO 和 AOP 過程。許多水質要求超出了初級和二級飲用水標準。而操作許可中定義的關鍵水質要求包括：

- 濁度（在 RO 產水中，24 小時內超過 95%的時間須低於 0.2 NTU；任何時間低於 0.5 NTU）。
- 總有機碳（在最終產水中，超過 20 個循環水樣本的平均值低於 0.5 mg/L，至少每週收集一次樣本）。
- 總氮（在最終產水中，低於 5 mg/L，並每週監測兩次）。
- N-亞硝基二甲胺（在最終產水中，沒有正式的許可限制，但橘郡水務局保持低於 10 ng/L 的承諾目標）。

加州已經通過了對水回收再利用計畫中新興污染物的正式監測要求（SWRCB，2013），處理廠須去除 新興污染物，未來可能還會有其他法規。廢水中最常見的 CEC 包括：

- 藥物（例如對乙醯胺酚、布洛芬、咖啡因、卡馬西平、吉非羅齊、乙苯嘧啶二酮和磺胺甲噁唑）；
- 阻燃劑（例如磷酸三（2-氯乙基）酯）； 和
- 殺蟲劑（例如待乙妥、達有隆和三氯沙）。

在 AOP/UV 後的高級處理水中，均未檢測到這些化學物質和任何其他測試的新興污染物可測量濃度。

#### 6.4.7 事件管理：應對計劃和關鍵控制點

旨在使地下水補給系統在不對地下水流域造成損害的條件下運行。橘郡水務局 的目標是按照地區委員會的許可生產最高質量的地下水補給水。

主要的預防措施並不是 100% 的時間用來運行地下水補給系統以生產淨化的循環水，在任何緊急情況下直至問題得到糾正是可以暫停生產的，橘郡衛生局 排水口系統可以排放所有未回收的廢水，地下水補給系統產生的循環水也可以被轉移並返回 橘郡衛生局 排放到海洋中。如果工廠停電很長一段時間，則可以使用替代的飲用水供應來進行海水入侵屏障。

橘郡水務局和橘郡衛生局都制定了一項聯合機構應對計劃，以應對給水或產水中超出許可限制或以其他方式表明水質顯著下降的結果。應對計劃為兩個機構的多個部門（例如實驗室、處理程序工程師、許可專家、現場檢查員）制定了協調的行動，以確定水質問題的根源並採取適當的行動。

此外，地下水補給系統 RO 產水 TOC 的 CCP 持續測量，並與歷史平均值和 0.5 mg/L 區域委員會許可限值進行比較，如果 TOC 持續升高超過歷史標準，首先會採取一系列調查措施來找出升高趨勢的原因（例如 RO 進流 TOC 增加、膜完整性問題），並測試特定有機成分，如果 TOC 違反 20 個樣本 0.5 mg/L 的平均許可限值，則該設施將被關閉。這些協議包含在運營優化計劃中，該計劃描述了營運、維護、監測和相關分析方法，包括 CCPs 的使用，而進行優化計劃是地下水補給系統許可證和相關法規的要求。

#### 6.4.8 公共宣傳和利益相關者參與

自計畫開始以來，與公眾和利益相關者的聯繫一直是優先事項。早期橘郡水務局 和橘郡衛生局成立了一個聯合指導委員會，負責制定政策並就系統的規劃和實施做出決策。在 1997 年 3 月的第一次會議上，聯合指導委員會將公眾宣傳定為高度優先事項，而在計畫開始時將公眾宣傳作為優先事項是成功的關鍵之一。地下水補給系統的公共宣傳和教育計劃在附錄 4 中有詳細描述。

#### 6.4.9 經驗教訓

- **確定水回收再利用的必要性：**橘郡水務局已實踐水回收再利用近 40 年，但需要加大努力為地下水流域提供可持續的水源。
- **制定以健康為本的目標：**根據 NWRI 組織的獨立顧問小組建議，加州制定了以健康為本的排放許可目標。
- **制定計劃以確保用水安全：**制定營運優化計劃和 CCP(即連續在線 TOC

和濁度監測）。

- **通過獨立專家的意見建立可信度：**NWRI 獨立顧問小組自 2004 年以來每年都會親自開會，其間會召開一些較小的小組委員會會議，討論預設計、啟動和項目的實施。
- **與監管機構密切的合作：**在實施地下水補給系統時，還沒有最終地下水補給條例，但現在通過州水資源控制委員會的飲用水部門製定了針對知識產權的地下水法規。
- **儘早和積極地爭取公眾接受：**橘郡水務局 在計畫初期就展開了強而有力的公眾宣傳活動，沒有引起任何積極的反對，是該系統成功的關鍵。
- **總體結論：**水回收再利用對於確保世界各地缺乏充足水資源的地區之供水可靠性是必要的。

## 6.5 美國維吉尼亞州上奧科昆服務管理局(UOSA)飲用水再利用計畫

### 6.5.1 背景

奧科昆水庫是約北維吉尼亞州約 150 萬居民的重要原水供應，北維吉尼亞州是一個高度城市化的地區，位於美國首都華盛頓特區的西南邊。經處理過的廢水會直接流入水庫，是對飲用水供應量的重要補充，而該項目已成功運行近四年了。

1950 年，在奧科昆河上建造了一座低水頭大壩，以滿足當地的供水需求。1957 年，低水頭大壩被更大的大壩取代，形成了奧科昆水庫。到 1967 年，該系統的所有權移交給費爾法克斯縣水務局(Fairfax Water)，繼續運行該系統，包括奧科昆水庫、大壩、出水口工程以及飲用水處理設施。

大壩建成時，全池蓄水量估計約為 3,700 萬 m<sup>3</sup> (37 GL)，安全供水量約為 189,300 m<sup>3</sup>/d (189.3 MLD)。

轉變在 1960 年代個開始，從農村農業性質轉變為城市/郊區用途之一，伴隨著住宅和商業開發的大規模擴張，北維吉尼亞州華盛頓特區郊區空前的增長，延伸到奧科昆河流域，並開始影響水庫水質 (Robbins, 1993)。

水庫水質惡化的擔憂引發了一系列科學研究，以確定惡化原因，並製定計劃以恢復和為未來的供水提供保護。城市發展已經導致計劃外的間接飲用水再利用，11 個小型常規的污水處理廠排放到水庫支流，加上農業逕流和城市排水增加的影響，處理不當的廢水已威脅到奧科昆水庫供水的可行性。典型的水質問題包括

夏季藍藻的大量繁殖、溶解氧的耗盡和隨後在熱分層過程中產生的硫化物，以及週期性的魚類死亡。由於原水中存在藻蓆，水處理成本增加，此外與藻類有關的味道和氣味需要用粉狀活性炭處理，消毒副產物的形成也增加。最後，水庫研究報告中的腸道病毒表明污染來自於廢水的排放所造成（Robbins，1979）。

幾種解決方案被提出，包括廢水集中處理後將其排放到流域外的傳統方法，結論是，流域的淨水損失會在乾旱期間降低系統恢復能力；DPR 也在考慮選項中，其中廢水將在（當時）最先進的設施中集中處理，並直接抽送到下游的飲用水處理廠進行額外的處理和分配，儘管該選項將保留處理後的廢水以供該地區使用，但遭到公共衛生官員的反對，且幾乎沒有得到公眾的支持；另一個選項為 IPR，其中流域廢水將使用當時最高效能的可用技術進行集中處理，然後排放到奧科昆水庫的直接支流，以補充原水供應。

經過廣泛的審查，維吉尼亞州水控制委員會與維吉尼亞衛生部協商，採用了 IPR 解決方案來保護飲用水供應並增加其產量。奧科昆流域的廢水處理和水質管理政策，通稱為「奧科昆政策」（SWCB，1971），規定了一個計劃飲用水再利用的新架構，該決定使處理過的廢水第一次全面使用以補充美國的地表水供應。奧科昆政策還制定了水回收設施，及以前從未達到的廢水處理標準。

經過近四年的成功營運，該計畫在全球被視為飲用水再利用的開創性努力。儘管在隨後的幾年中處理技術取得了重大進展，但當時創新的物理化學-生物處理技術的早期應用已經受住了時間的考驗。奧科昆流域內的解決方案驗證了早期決策者包括地方政府、水回收、水處理機構以及州和聯邦監管機構的遠見。

### 6.5.2 建立飲用水再利用

費爾法克斯縣水務局在通過奧科昆政策時已經存在（Fairfax Water，1975），並從奧科昆水庫提供飲用水。奧科昆政策還要求創建上奧科昆服務管理局和 OCCOQUAN 流域監測計畫，上奧科昆服務管理局以提供廢水的收集和回收，OCCHOQUAN 流域監測計畫持續監測流域和水庫，以提供獨立的水質評估和供水保護措施建議。

1970 年代上奧科昆服務管理局開始設計新的區域水回收系統，OCCHOQUAN 流域監測計畫開始對流域進行基線監測。1978 年年中，上奧科昆服務管理局啟

動了水回收廠 (water reclamation plant, WRP)，最初產生約 18,900 m<sup>3</sup>/d (18.9 MLD) 處理過的廢水，而奧科昆水庫的水質迅速得到顯著改善。

儘管該工廠最初建造的水回收能力為 56,800 m<sup>3</sup>/d (56.8 MLD)，但在監測結果清楚地顯示水庫水質得到預期改善前，排放量將受到限制。到 1985 年，流域的增長導致須擴大到 85,200 m<sup>3</sup>/d (85.2 MLD)。而持續的增長，再加上對再利用計畫的信心，將導致更大擴張的需求 (Robbins, 1993)。

建模結果導致了一個意想不到的發現，即高質量處理廢水的貢獻對於抵消來自非點源和城市逕流增加的預期污染是必要的。此外進口廢水在上奧科昆服務管理局工廠進行處理將有助於抵消未來城市雨水非點污染對水質的影響 (Chen 和 Gomez, 1988)。經過十年的營運，最初提出從流域輸出廢水的解決方案已被上奧科昆服務管理局將廢水輸入流域進行回收的建議所取代，如此可進一步增加產量，同時提高水質。經過多次擴建，2004 年上奧科昆服務管理局 水回收廠 的產能高達 204,400 m<sup>3</sup>/d( 204.4 MLD )，預計擴建產能為 246,000 m<sup>3</sup>/d( 246 MLD )。

### 6.5.3 水回用和水處理的控制措施

最初的計畫和後續的擴展都在保護奧科昆飲用水供應的多重屏障方法的背景下。在流域內，實踐包括廢水源控制和收集、水回收、本地儲存、環境緩衝和儲存、原水提取和處理以及飲用水分配管理。

除了傳統和先進的回收水技術外，該系統還具有一系列可靠性功能。抽水站和水回收廠的蓄水池為大流量、緊急情況和計劃維護提供存儲。所有主要的機械和電氣部件都至少有一個備用單元處於待命狀態。電力由兩個獨立的電網供電，而現場發電可為整個工廠供電。抽水站也有類似的冗餘，包括備用電源功能。所有工廠流程和收集系統都由電腦監控系統監控，大多數抽水站和工廠流程為電腦自動控制 (Asano, 2007)。目前，主要的處理程序包括：

- 傳統的初步和初級處理
- 先進的二級處理，包括 BNR 程序
- 高 pH 石灰澄清法，用於去除磷、金屬以及病毒
- 兩階段再碳酸化，中間沉降去除金屬和硬度
- 去除濁度、懸浮固體和原生動物包囊的多介質過濾
- 過濾和去除痕量有機物的深層 GAC 過濾

- 自由氯消毒破壞病原體
- 脫氯

除了為滿足奧科昆水庫和最終切薩皮克灣的水質管理目標而對氮管理策略進行了一些更改外，自 1970 年代中期開發設計概念以來，基本的上奧科昆服務管理局 水回收廠 處理程序配置基本上沒有變化，生物-物理-化學處理流程包括當時在水處理和廢水處理操作中眾所周知的元素，但尚未整合到一個全面的單一回收設施中。

產水會先排入廠區 681,400 m<sup>3</sup> (681.4 mL) 的蓄水池，然後排入布爾潤溪的支流，該支流直接流入奧科昆水庫。現地水庫是系統的第一個天然屏障，並提供混合體積以調節產水的任何短期變化。

奧科昆水庫是一條河流蓄水池，因此停留時間的季節性變化很大，也進一步受到飲用水生產的大量取水影響。平均停留時間少於 30 天，但風暴流量以及乾旱和水池下降的綜合影響，會產生非常大的偏離值，例如流域面積上 2 cm 的逕流將導致水庫體積完全替換 (Virginia Tech, 1994) 。

2006 年，使用奧科昆水源的現有處理設施被 Frederick P Griffith Jr 飲用水處理廠所取代。新工廠代表了兩種處理技術的重大升級，包括以下程序：

- 原水篩選和抽送
- 增強金屬鹽類的凝聚、絮凝和沈降
- 臭氧化
- 深層 BAC 過濾
- 氯胺化。

新設施旨在利用奧科昆系統因處理過的廢水而提高產量，目前該飲用水廠的處理能力為 454,000 m<sup>3</sup>/day (454 MLD) 。

#### 6.5.4 水質監測

上奧科昆服務管理局水回收廠的產水須符合維吉尼亞州環境質量部製定的性能標準，

除了評估工廠性能所需的實驗室分析外，還使用了連續分析儀提供額外的處理程序資訊。過濾器配備濁度計，以確保顆粒去除與原生動物包囊去除效果一致。

餘氯分析儀和流量計安裝在氯接觸池中，以驗證接觸時間和氯濃度是否足以殺死或滅活病原體(USEPA，2012a)。

每年會進行急性和慢性生物測定以驗證產水對目標生物體沒有顯著的影響，也會進行年度測試以確認產水符合美國環保署 USEPA 國家一級和二級飲用水標準的最新要求，另還會進行定期評估以確定藥物和個人護理產品或其他特定化合物是否存在於處理過的廢水中。在產水和奧科昆水庫支流中檢測了 300 多種痕量有機化合物，產水中超過 90% 的記錄結果顯示是未檢測到，除了季節性的 TDS 和硝酸鹽外，水回收廠的產水始終都符合傳統的飲用水標準。最近的評估也表明水回收廠產水在痕量有機化合物的質量與 DPR 提議的標準一致，如此顯示上奧科昆服務管理局的貢獻不會對公眾健康造成重大風險（Angelotti 等，2014）。

與 OCCOQUAN 流域監測計畫一起開發了一個複雜繁瑣的流域和水庫計算模型，可用於預測未來土地利用和處理廢水流量的特徵、數量或流域水文變化導致的水質變化（Xu et 等，2007）。建模系統持續進行調整，以幫助在預期的氣候變化情況下管理供水系統。

### 6.5.5 公共宣傳

當水回收計劃首次提出時，舉行了公開會議和聽證會來解釋該計畫，並為社區提供反饋機會，在水回收廠啟動後，上奧科昆服務管理局一直保持著一個積極、以巡迴為基礎的教育計劃來解釋飲用水再利用策略。同樣的費爾法克斯水務公司維持積極的社區推廣計劃，並提供旅遊和其他教育活動與公眾互動。這兩個機構與 OCCOQUAN 流域監測計畫 一起維護公開的網站以提供相關資訊。

有時候出現的問題會需要技術諮詢小組、公民行動委員會和其他專門的工作團隊，這些是由機構利益相關者、當地政府官員、社區代表、水專家和感興趣的公民組成的（Ruetten，2004 年）。解決的問題示例包括：降低某些子流域的分區密度以保護水質；在水回收廠服務區內選一個主要的半導體製造設施；以及在擬建發電設施中將處理過的廢水用於冷卻水的建議，但最後一個提議（消耗性使用）引發了激烈辯論關於廢水處理後流入飲用水供應的潛在損失。

### 6.5.6 經驗彙整

上奧科昆服務管理局為奧科昆水庫提供可靠、優質的處理廢水，Fairfax Water 將這一貢獻作為其供水計劃的關鍵部分。上奧科昆服務管理局的流量在乾旱條件下特別重要。平均而言，經處理過的廢水約佔水庫年平均流入量的 9%，但在乾旱期間，這一貢獻可能超過 90%，在這樣的時期，水池的下降將大幅的縮短水庫的停留時間。

奧科昆 IPR 計劃已成功運行近四年。在 1960 年代，人們普遍認為，計劃外的 IPR 是歷史上供水退步的一個關鍵問題，且已導致流域暫時禁止下水道連接，須等待制定長期的管理計劃。

技術上合理的計劃飲用水再利用解決問題的建議很容易理解，儘管水質是主要驅動因素，但人們也了解到，將處理過的廢水排放到水庫對未來的供水需求將是一項重要的資產。

由於原水供應品質的顯著改善，公眾的反對意見遠低於歷史上其他飲用水再利用所遇到的情況。然而，當地人普遍擔心成本的影響，儘管在幾十年的成功計劃運行中這種情況已經變得不那麼普遍了。

## 6.6 澳洲伯斯下水補給

### 6.6.1 概述和背景

伯斯市一直受乾旱氣候影響，降雨量顯著減少，目前平均降雨量為 840 毫米，自 1990 年代初以來平均降雨量下降了 30% 以上，對河流流量以及地表水和地下水儲量產生了重大影響。自 1990 年以來，降雨量下降了 12%，導致流入伯斯水庫的河流流量減少了 50%，這種情況導致須對傳統飲用水源的長期可行性進行審思，及對用水量進行詳細研究，調查額外的地下水儲量，並考慮替代供應方案，包括 2006 年建成的第一座大型海水淡化廠和通過第地下水補注進行 IPR 等。自來水公司(Water Corporation)是澳洲西部主要的飲用水供應商，通過其「永遠的水 (Water forever)」規劃過程 (Water Corporation, 2009)，為伯斯的抗旱開發了多種選擇。

2004 年，自來水公司將 地下水補注 確定為伯斯的潛在水源，2005 年，環保局就 地下水補注 提供了策略建議，建議在對人類健康和環境風險低的地區進行試驗 (EPA, 2005)，根據這個建議，自來水公司進行了為期三年的可行性研

究，隨後在伯斯北郊的克雷吉的 Beeyup 污水處理廠開始了為期三年的地下水補注試驗。

地下水補給是自來水公司確保伯斯供水的 50 年計劃的一個部分 (Water Corporation, 2009)。地下水補注的目的是通過先進的程序加強廢水的二級處理，以生產符合澳洲飲用水準則 (NHMRC-NRMMC, 2011) 的再生水，然後再將其回灌到含水層進行儲存並隨後用作飲用水源。

2005~2008 年進行了一項為期三年的可行性研究，以確定使用膜過濾處理 (MF 和 RO) 通過 地下水補注 增加飲用水供應的可行性。衛生部與監管機構、大學和工業界合作執行了一個研究項目「對經過逆滲透處理後用於飲用目的的廢水進行表徵」 (Buynder 等, 2009)。在研究期間，分析了伯斯三個最大的都市污水處理廠 (Beenyup、Subiaco 和 Woodman Point) 的二次廢水和兩個先進污水處理廠 (即 Kwinana 再生水廠和 Beeyup 模廠) 的再生水。

可行性研究表明，使用 MF 和 RO 的高級處理足以保護公眾健康，該研究為選擇用於監測地下水補注方案的病原體和化學指標提供了有價值的信息（見第 CS5.4 節）。

可行性研究完成後，再進行了為期三年的 地下水補注 試驗(2010-2012 年)。該試驗涉及一個高級的再生水廠 (advanced water recycling plant, AWRP)，使用 UF、RO 和紫外線消毒器進一步處理來自 Beeyup 污水處理廠多達 5 MLD 的二次處理廢水，然後再將水補充到 120 至 220 m 深的 Leederville 含水層中。在試驗期間，總共補充了 2533 毫升的循環水。在整個處理過程中通過位於 Beeyup 現場的 22 個地下水監測孔監測水質 (Water Corporation, 2013)。

試車成功後，2014 年 10 月全面開工建設，2016 年投產，初期可供水 14 GL/年，容量可擴大至 28 GL/年，伯斯平均每年使用約 2700 億升飲用水，到 2060 年，伯斯高達 20% 的飲用水需求可由 地下水補注 提供。該計劃由公有的西澳自來水公司擁有和營運，全部的地下水補注 估計成本為 1.246 億澳元。

### 6.6.2 建立飲用水再利用計劃

該計劃將接受來自伯斯北郊的 Beeyup 廢水收集區的廢水，總流入量約為 135 MLD。廢水收集區的大部分廢水來自家庭，而來自工業和商業客戶的行業廢水和工程廢水約佔廢水流量的 2.4%，若按負荷計算，行業廢水約占生化需氧量

20%、懸浮固體 5%、油和油脂 25%、氮 3%、磷 2% 和溶解鹽 3%。最大的工業和商業客戶是食品生產商和洗衣店，但大多數行業 廢水來自小型商業企業，有三家重要的醫院和一些較小的設施將廢水排放到集水區，醫療設施的廢水會經過適當的預處理，不會接受與 Beeyup 系統不相容的物質。

可行性研究期間完成的二次處理廢水的綜合描述包括對近 400 種化學品的測試，包括農藥、金屬、藥品、工業化學品、內分泌干擾物和持久性有機污染物，如二噁英、呋喃和多氯聯苯等。所分析的大多數化學物質是在二級廢水中檢測到的，其中一些化學物質（包括金屬、DBP 和多環芳烴）的檢測濃度高於健康指標值。Beeyup 污水處理廠二級廢水中的放射性物質濃度低於澳洲飲用水指南中總  $\alpha$  和  $\beta$  放射性的篩選層級，而測試的微生物參數（大腸桿菌、腸球菌、大腸桿菌噬菌體和腺病毒）始終可檢測到。使用 UF 和 RO 的高級處理能夠將微生物和化學成分降低到低於影響健康的程度。

該計劃將通過風險管理計劃（相當於 WSP）進行管理，如澳洲水循環指南中所述(NRMMC-EPHC-NHMRC, 2006-2009)。廢水水質架構的 12 個要素涵蓋系統識別、風險評估、操作程序、維護、監控以及事故和應急管理等基本問題，並延伸到政策制定、員工培訓、社區參與和研究發展等輔助要求的正式化。

### 6.6.3 控制措施

地下水補注計劃的處理系統包括 Beeyup 污水處理廠、AWRP 和四個補給孔，這些補給孔將大約 45 MLD 的再生水補給 Leederville 和 Yarragadee 含水層。地下水將在通過伯斯綜合配水系統分配之前被抽取和處理。

多個處理過程串聯使用對滿足健康和環境水質要求的整體能力，將最大限度地減少單個處理過程的失敗或性能不佳的影響。

雖然流入 Beenyup 污水處理廠的行業廢水比例很低，但實施以下流程和程序可減輕廢水收集區的任何潛在風險：

- **行業廢水驗收標準規範：**行業廢水驗收標準規定了允許進入下水道系統的廢水水質。該標準排除了可能干擾廢水收集、處理、再利用或排放到環境中的物質數量。驗收標準包括物質(質量)裝載的警報限值，包括生化需氧量、懸浮固體和營養物質
- **允許（或註冊）商業和工業廢水的客戶：**所有企業都需要獲得排放行業

廢水的許可證，才能將其排入下水道系統。對每個企業的廢水進行特徵描述，並根據與集水區相關的端點評估風險。許可證規定了允許排放的廢水和排放條件，例如預處理和報告要求。

- **針對大客戶的反應計劃：**大客戶或高風險客戶的許可要求包含當處理程序或預處理失敗可能影響廢水水質時須及時通知自來水公司(商業和工業服務)。
- **對具有高負荷排放或潛在水質問題的客戶進行監督監控：**這些客戶需要接受持續的監督計劃，其中包括不事先通知的例行性檢查，以及使用自動取樣器收集流量加權複合樣品來表現負荷的計劃。例行性檢查的頻率由風險排序模型確定，該模型考慮了每項業務的規模和性質以及所使用的預處理類型。複合採樣的頻率取決於負荷的大小和可變性。一些大客戶的負荷是通過對自來水公司協議的自我監控來確定的。
- **異常排放的反應計劃：**存在用於反應記錄在廢水收集系統或污水處理廠中的異常排放的程序。

Beeyup 二級污水處理廠包含以下處理步驟：

- 攔砂和沉砂
- 初級沉澱
- 通過管道將生物營養物質引入海洋排放口的二級處理。工廠的部分排放物（約 67 MLD）作為 AWRP 的給水供應

AWRP 將接受來自 Beeyup 污水處理廠的廢水，然後按如下方式處理水：

- 濁度監測和氨氮，高濁度廢水從 AWRP 轉移到海洋排放口
- 粗攔污柵以保護 AWRP 處理過程
- 2.8 ML 蓄水池（儲存一小時）以允許 AWRP 在出現渾濁或氨氣時繼續運行
- 進水量短期內超過可接受標準
- 使用預製的一氯胺投藥
- 細過濾器去除顆粒
- 微濾
- 逆滲透（25% 的排水通過海洋排放口排出）
- 紫外線消毒

- 加入氫氧化鈉以增加 pH
- 1 ML 蓄水池，用於緩衝流量（儲存三小時）
- 補給鑽孔網，將再生水泵入 Leederville 和 Yarragadee 含水層 (45 MLD)

地下水補注 的好處是含水層在循環水與其未來用作飲用水源之間提供了重要的緩衝。在注入 Leederville / Yarragadee 含水層之前，水會按照健康監管機構的要求進行飲用水標準處理，以防止伯斯地下水飲用水源受到污染。

為確保提供充分的處理，衛生部要求最低處理性能以滿足澳洲水循環指南 (NRMMC-EPHC-NHMRC，2006-2009) 中規定的對數減少：

- 彎曲桿菌（細菌）：8.1 log
- 腺病毒和輪狀病毒（腸道病毒）：9.5 log
- 隱孢子蟲（原生動物和蠕蟲）：8 log

#### 6.6.4 水質監測

計畫的監測是基於操作和驗證監測。操作監測用於確定每項預防措施是否有效控制危害，並在處理障礙遠離穩定運行狀態時提供預警。

AWRP 的操作監控包括：

- 持續性的在線監控 CCP 和許多程序控制點，任何違反警報限制的行為都會產生警報，通知操作員可能需要手動干預或已發生自動反應。違反限制將觸發循環水的自動分流或關閉 AWRP，以確保不合規的水不會進入下一個處理屏障或不會重新注入 Leederville /Yarragadee 含水層。
- 地下水補注 過程協調員在採取糾正措施或對系統進行例行性檢查之前進行觀察性監測以檢查系統。

除了操作監測外，通過實驗室分析進行驗證監測以確認處理後的水質始終符合衛生部的循環水的水質參數。

在可行性研究期間，確定了 18 個循環水水質指標，以證明可能符合為驗證飲用水水質而測量的更大的 292 個水質參數集。選擇這些指標是為了：

- 具有與主要去除機制相關的特性（例如過濾、吸附或氧化）
- 可以代表更廣泛類別的化合物濃度的存在，且足以確定通過一個單元過程或一系列過程的減少程度

- 使用已建立且最好經過認可的分析方法進行量化分析

決定 MF/RO 化學排除的關鍵物理化學性質是大小(分子量、寬度和長度)、疏水性 ( $\log K_{ow}$ 、 $\log D$ ) 和酸性/鹼性特性 ( $pKa$ )。 $\log K_{ow}$  提供有關極性(偶極矩)和水中溶解度(與化學電荷相關)的資訊。再生水水質指標包括不同的化學特性：

- 分子量 (10.8~296 g/mol)
- 疏水性 ( $\log K_{ow}$  : -0.64~3.4)
- 酸性/鹼性特性 ( $pKa$  : 2.13~10.4)

在監測計劃期間，二級廢水中的一些指標參數並未始終如一，但可以證明處理過的水在特定化學性質方面的安全性，並為化學危害得到緩解提供了額外的信心。**MS2** 大腸桿菌噬菌體被選為關鍵微生物指標，用於衡量高級水處理廠去除微生物的有效性。指標參數的監測頻率高於全部再生水水質參數。

### 6.6.5 公共宣傳

在可行性研究期間和 地下水補注 試驗開始之前，舉辦了許多活動進行諮詢和吸引主要利益相關者，包括社區團體。在 地下水補注 計劃的整個實施過程中，利益相關者一直在持續的參與，主要利益相關者和有影響力的人合作，可以建立信譽和信任（以及因此第三方倡導）並參與更廣泛的社區互動。

社區和利益相關者參與的策略採用兩步溝通理論，首先通知意見領袖，然後繼續通知更廣泛的社區。為了建立信任，該策略主要基於面對面的方式，而不是僅僅依靠大眾傳播方式。這些活動得到了廣告、媒體關係、社交媒體溝通渠道和其他適當的傳統公共關係工具的支持。一個社區顧問小組，代表社區的各個部門，包括公共衛生、環境、商業和當地居民的利益，在整個試驗過程中定期開會，他們就 地下水補注 的營運和社區情緒提供單獨的建議。此外，還創建了一個試驗網站頁面，包括定期的水質報告，已經超過 11,000 人來參觀廠區和遊客中心。

在整個 地下水補注 試驗期間，向 160 多個健康、環境和地方政府利益相關團體（包括地方議會和其他決策機構、當地原住民團體和社區團體）進行了演示和簡報。地下水補注 試驗得到了所有政治團體的積極接受和公開支持，而社區對 地下水補注 的支持率穩定在 70% 到 76% 之間。

通過積極與利益相關者接觸，自來水公司能夠解決對 地下水補注 的任何擔憂、看法或可能的誤解。事實證明，這種方法成功地減少了有關 地下水補注 的錯誤信息和恢復信任所花費的時間。在地下水補注試驗期間，開發了一個利益相關者的數據庫，並將在 地下水補注 計劃的實施期間繼續使用該數據庫。

#### 6.6.6 經驗

地下水補注作為伯斯獨立於降雨的水源已被證明是成功的。該計畫成功實施的一個關鍵方面是社區的早期參與以及政府、行業和社區之間的清晰溝通，以實現西澳水資源可持續管理的成果。

### 6.7 美國德州直接飲用水再利用

#### 6.7.1 背景

與美國西部大部分地區一樣，二疊紀盆地經歷了前所未有的乾旱時期，雖然近期降雨緩解了德克薩斯州當前的乾旱，但該盆地的水庫水位仍然很低，一些水庫水量已顯示下降，因此飲用水供應商需要考慮新的供水來源。有兩個單位正在尋求飲用水再利用以增加其供應。

#### 6.7.2 方法

「保護我們州的公共衛生和自然資源與經濟發展一致」為其任務宣言的一部分，德克薩斯州環境品質委員會對德克薩斯州的公共衛生和環境進行監管，包括廢水處理和排放以及供水和治理。面對該州許多地區對額外供水的迫切需求，委員會一直在根據州法規 (30 TAC 290) 中的創新/替代處理條款逐案批准 DPR 計畫，該條款允許在逐案審查的基礎上，允許該章中列出的「任何沒有特定設計要求的處理過程」。該委員會主要根據現有的飲用水法規將 DPR 規定為一種特殊類型的原水源，代表來自 DPR 計畫的水必須滿足所有現有的飲用水水質要求，例如 USEPA 最大污染物級別，德克薩斯州環境品質委員會也鼓勵監測不受監管的成分，如藥品和個人護理產品等。

在確定飲用水再利用的監管要求時採用的起點與其他的一致(CDPH, 2014; Trussell 等，2013），委員會要求 DPR 系統證明它們將實現腸道病毒的最終水質目標 ( $2.2 \times 10^{-7}$  MPN/L) 、梨形鞭毛蟲 ( $6.8 \times 10^{-6}$  cysts/L) 和隱孢子蟲 ( $3.0 \times 10^{-6}$

<sup>5</sup> oocysts/L)。這些數字的合理性是基於地表水處理規則及其相關修正案(USEPA, 2010)滿足每 10,000 人中的 1 人感染風險 (USEPA, 2006b; Regli 等, 1991)。

最終水質病原體濃度太小而無法直接測量，因此 LRV 概念應用於 DPR 與現有地表水處理法規下的應用方式相同，其他人也採用了類似的方法(CDPH, 2014; Trussell 等, 2013)。委員會採用的區別是 LRV 處理要求的起點是處理過的廢水，而不是原廢水，採用的基線目標具體廢水中病原體負荷的個案評估結合使用，以確定所需的 LRV (TWDB, 2015)，如此德克薩斯州的每個 DPR 計畫都被分配了各自的處理要求，如果持續的監測計劃有保證，這些要求可能會隨著時間而改變。這種監管方式使委員會能夠調整其方法以因應全州公用事業公司提出的多種不同情況。

### 6.7.3 科羅拉多河市政水區

科羅拉多河市政水區 (Colorado River Municipal Water District, CRMWD) 為其城市成員大泉(Big Spring)、斯奈德(Snyder) 和 奧德薩(Odessa) 以及幾個客戶城市(包括米德蘭(Midland)、聖安吉洛(San Angelo)和亞伯林(Abilene))進行供水。供應的大部分水是來自 CRMWD 在科羅拉多河上建造的三個水庫的原地表水：JB Thomas、EV Spence 和 OH Ivie。這些水源由 CRMWD 服務區西部的地下水儲備補充，但預計需要額外的供應來滿足不斷增長的需求，以抵消水庫水量的明顯損失。

該地區繼續尋求新的供應和替代方案，以繼續為其城市成員和客戶提供供水。補充供應的來源目前來自 CRMWD 服務區城市排放的處理過的廢水。

大泉的 DPR 計畫通過引入經過淨化處理的廢水作為替代原水源，為多達五個其他公共供水系統補充地下水和地表水源。高級處理廠被稱為原水生產設施，因為它正在創造與天然地表水相同或更好水質的水源，回收的水與未處理的地表水混合，然後在傳統的飲用水處理廠進行進一步處理，再提供給客戶。原水生產設施被允許提供高達 50%的原水管道輸送到各個水處理廠，而該設施自 2013 年春季以來一直在生產水。

這種飲用水再利用應用的特點是 DPR，因為沒有環境緩衝區(地表水庫或地下水流域)可以延長水處理和用水之間的時間。

#### 6.7.4 控制措施：處理程序

原水生產設施從大泉市污水處理廠經處理的廢水，經 MF 膜、RO 和 AOP (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 處理後，產水排入原水管道。

德環境品質委員會根據長期加強地表水處理規則(USEPA 2006a; 2010) 中規定用於飲用水設施的方法為每個單元程序分配的對數減少值。所列技術的預期效能提供了滿足病原體風險水平的水質。

- **微濾**：MF 供應商已完成必要的第三方挑戰研究，以顯示可以實現的原生動物（梨形鞭毛蟲和隱孢子蟲）的對數減少。根據 USEPA 膜過濾指導手冊 (USEPA, 2005) 中的規定，使用壓力衰減測試對 MF 膜進行日常測試來驗證 MF 膜的完整性和 LRV。
- **逆滲透**：對於此計畫，RO 膜沒有被授予任何病原體去除分數。
- **高級氧化過程（紫外線）**：委員會提供病毒 4-log 和原生動物 8-log 的對數去除率。
- **下游水處理廠**：根據 USEPA 地表水處理規則 (USEPA 2006a ; 2010)，下游地表水處理廠還必須達到規定的最低病毒和病原體去除或滅活程度；為該計畫分配了病毒 4-log 和原生動物 3-log 的對數去除率。

#### 6.7.5 水質監測

該委員會要求監測污水處理廠的出水、每個單元程序和原水生產設施的產水。委員會設定了必須採取行動的監控程度，包括將污水處理廠的放流水從進入設施中轉移、關閉特定裝置或關閉整個工廠等。此外，得克薩斯州水資源開發委員會和水資源再利用研究基金會 (WaterReuse Research Foundation, WRRF) 通過設施的處理過程和對現有原始地表水供應的比較分析，資助了對水質的廣泛分析。正在進行的研究結果顯示，它生產的優質水可以保護公眾健康，並且很容易優於與之混合的傳統地表水的現有原水水質 (Steinle-Darling 等，2015)

### 6.8 南非的水回用：威特班克再生水廠

#### 6.8.1 概述和背景

南非是一個半乾旱的國家，在過去的幾十年裡經歷了幾次嚴重的乾旱。政府制定了實施中水回用的正式計劃，但尚未在國家或區域層面實施。這為私營部門在中水回用以及幫助遭受水資源短缺的地區提供了發展機會。

威特班克是約翰內斯堡-比勒陀利亞大都市東部的一個工業城鎮，周圍環繞著煤礦、鋼鐵製造和燃煤發電站。整個地區以其眾多的採礦活動以及酸性採礦廢水(acid mine drainage, AMD)對當地地下水和地表水源的不利影響而聞名。

英美資源集團(Anglo American)是在威特班克附近擁有並經營眾多煤礦的礦業公司之一。該鎮人口約為 510,000 人(2012 年)，大部分水來自威特班克大壩，容量為 104,000 毫升，至少有五個採礦作業位於集水區，即上奧利芬特河(Upper Olifants River)集水區(Naidu, 2012)。

該鎮的水安全不僅受到水資源短缺的威脅，而且由於集水區積聚了大量的溶解金屬和鹽分，水質也很差。英美資源集團決定委託建造最先進的高級水處理廠，以處理礦井中積聚的酸性礦井水，估計超過 100 GL，類似於威特班克大壩(Naidu, 2012)。

位於朗道煤炭加工廠的原廠僅包括石灰中和處理步驟。當時對水質沒有很好的了解，僅在短暫的營運期(1994-1995 年)後，由於水的酸性，該工廠不得不更換近 70% 的鋼管和其他設備(Gunther & Mey, 2006)。

在諮詢了科學和工業研究委員會後，石灰中和裝置進行了改造，改進了其操作，現在改使用石灰石而不是石灰，此導致了重石膏沉澱和燃煤電廠設備和管道結垢的新挑戰。隨後決定考慮能夠去除金屬、去除硫酸鹽或兩者兼有的各種技術。10 年後，對這些技術進行了幾項測試研究，直到確定了最終的程序配置。

該工廠的第一階段於 2007 年投入使用，產量為 20 MLD(Hutton 等, 2009)。該工廠的第二階段將擴大到 8-10 MLD，用於工業用途，並於 2010 年完工(Bhagwan, 2012)。2013 年，該工廠進一步升級，增加 20 MLD 的產量，此升級目前正在調試中，總容量將達到 50 MLD。

### 6.8.2 建立飲用水再利用計劃

該工廠的進水來自四個不同的礦山，Greenside、Kleinkopje、South Witbank 和 Landau，這些礦井都位於威特班克市鎮取水的集水區內。集水區的年平均降雨量為 800 毫米(Naidu, 2012)。這些礦山加起來已經積累了超過 100 GL 的 AMD，由於排放不受控制，而造成的主要環境風險。從四個礦井獲得的水俱有不同的品質，因此建造了一個給水池(停留時間為兩天)，該池在將礦井的所有工廠進水之前接收所有給水(Hutton 等, 2009)。

工廠周邊地區以其大量的礦山和採礦活動而聞名，除了礦山外，該地區還有許多發電站，負責生產南非約 70% 的電力。

南非必和必拓能源煤炭(BHP Billiton Energy Coal)的礦山關閉業務負責關閉威特班克周邊地區幾個倒閉的煤礦。該公司負責選定礦山的恢復和持續關閉，包括南威特班克煤礦（距離威特班克 4 公里）(Mey 等, 2008)。在 Groundwater Studies 的一項地下水研究表明，被困在南威特班克煤礦的 AMD 很快就會開始滲入地表水源，因此需要製定緩解計劃 (Mey 等, 2008)。

與大多數由水資源短缺推動的飲用水再利用計畫不同，該工廠的主要目的是減少礦山中 AMD 的數量，從而降低污染集水區的風險。之所以決定從 AMD 生產飲用水，是因為用於處理 AMD 的技術也可以生產適合飲用水回收的水。然而，由於氣候變化對現有常規水源的影響，新資源的可用性提供了對飲用水安全威脅性的回應 (Mey 等, 2008 年)。

該工廠的利益相關者來自採礦業和供水業。威特班克的市政府和居民都支持這種高級水處理技術的創新使用。

### 6.8.3 實施前的評估和技術論證

由於最初的水處理過程在 1994 年至 1995 年間被證明是不夠的，因此已經進行了廣泛的模廠研究，以尋找可以為處理 AMD 提供具有成本效益的處理技術。模廠研究早在 1994 年就開始了，一直持續到 2006 年，涵蓋了許多技術供應商以及處理程序。

有幾個因素被認為是成功進行 10 年測試工作的關鍵(Gunther & Mey, 2006)：

- 所有的模廠都是全自動的
- 所有模廠每天 24 小時運行
- 所有模廠的產能為至少每天 200 kL

2004 年，13 項重金屬和硫酸鹽去除技術清單縮減為 7 項技術的候選清單，並要求技術供應商提供處理 AMD 的估計值，處理過程有以下要求和保證：

- 10 – 20 MLD 的處理能力
- 完全冗餘
- 水回收率>95%
- 工程可用性>95%

- 工廠利用率>95%

技術供應商被要求提供估計，假設水質來自歷史數據（最差 AMD 水源的 95%）且能夠生產非常高品質的水。

最後，有兩項技術脫穎而出，分別是科學和工業研究委員會的生物硫酸鹽去除程序和高回收率沉澱逆滲透程序。儘管水的回收率高，但廢棄物處理的成本高，並且進行了額外的廢棄物處理成本效益分析，以為該應用提供最具成本效益的技術供應商（Gunther & Mey, 2006）。採用高回收率沉澱 RO 處理程序的主要因素是由於生命週期成本低、水回收率高（超過 99%）和可管理的廢物流（Bhagwan, 2012 年）。

2004/2005 年，最後一個示範工廠投入使用，顯示該程序成功地處理了 AMD，並與英美資源集團達成了商業協議，兩年後建成並投入污水廠使用。

#### 6.8.4 控制措施

威特班克工廠採用最先進的三級高回收率沉澱 RO 程序，能夠實現高達 99.7% 的回收率（Hutton et al, 2009）。

處理配置的第一步負責中和 AMD，然後是澄清、UF 和 RO。來自一級 RO 膜的濃排液由二級進一步處理。第二階段和第三階段均由沉澱反應器、水力旋流器、澄清器、UF 和 RO 組成。同樣，來自二級 RO 膜的濃排物在第三階段進一步處理。該工廠唯一剩餘的鹽水來自三級 RO 處理。

來自三個 RO 階段中的每一個濾液被合併並氯化以進行最終消毒，然後在工程緩衝區中進行現場儲存。處理後的水隨後被抽送到威特班克市政供水系統的飲用水水庫以及當地的採礦作業。該工廠生產的飲用水約佔威特班克市總需求的 20%（Lazenby, 2011 年）。

#### 6.8.5 污水廠控制和處理理念

當涉及到操作和維護超過 99% 的水回收率運行的污水廠時，污水廠控制是非常重要。正是由於這個原因，處理廠位於兩個大型工程緩衝區之間。第一個是原水池，停留時間為兩天。第二個工程緩衝區是兩個最終水庫，除了為城鎮的配送網絡提供水的市政水庫外，還另使用了兩個水庫。

因此，很明顯的仔細控制整個供水系統，從水源到淨化水的儲存，對工廠運營商來說非常重要。該工廠本身利用具有六個處理屏障的多重屏障程序。該工廠

使用即時過程監控、現場水質控制以及來自南非國家認證系統認可實驗室的外部水質分析（Naidu，2012）。

完整性測試是污水廠運行和維護的重要方面之一，由於該廠使用 UF 和 RO 膜的三個階段，因此這些膜的驗證至關重要，為了防止膜結垢，建立了硫酸鈣飽和器的監測程序，還制定了全面的超濾膜性能監測計劃，以最大限度地降低懸浮固體突破的風險，另還監測了 RO 膜的通量、壓差和回收率，以便清楚地了解膜各個時間點的狀態（Hutton 等，2009）。

從計畫一開始，很明顯應該在系統中建立足夠的冗餘。該廠的招標規定是至少應有兩套相同的處理機組，容量為 20 MLD，以及為該廠的每個關鍵機械和電氣部件配備一個備用裝置（Gunther & Mey，2006）。

#### 6.8.6 水質監測

每天在現場進行水質監測，以了解化學過程並根據需要進行過程更改。此外，水樣還會被送到附近的認證實驗室，根據南非飲用水國家標準（SANS 241）每月進行全面的電感耦合等離子分析，以確認現場分析，以及出於與各種客戶的合約目的。

除了定期取樣計劃外，還進行了一系列生物毒性測試，以確定處理過的水是否有任何急性毒性或是否存在致癌物。結果顯示，該水對飲用沒有毒性，也沒有任何致癌物質。

#### 6.8.7 公共宣傳

工廠最初建成時，仔細考慮了僱用當地勞動力，並在施工期間保留了每日的登記冊，高達 63% 的現場勞動力為當地的勞動力。社區的任何事件或疑問都得到了認真的關注，並得到了謹慎和尊重的處理。

#### 6.8.8 經驗

該廠現已營運數年，並繼續為威特班克社區生產安全的飲用水，並降低不受控制的 AMD 排放造成的環境污染風險。該廠是世界上第一個此類型的工廠，因此，有許多無法預料的情況和需要克服的挑戰（Gunther & Mey，2006）。幸運的是，這些挑戰現已成為參與該項目的人以及研究它的人吸取的寶貴經驗與教訓。

在使用這種設計試車時，重要的是不要過早試車。讓操作維護團隊成員參與試車被證明是最有價值的，因為他們是早期問題解決團隊的一部分（Gunther & Mey, 2006）。工廠取決於膜處理過程，應仔細考慮對膜的任何風險。由於工廠實現了優良的回收率，需要考慮許多風險因素。全面的監測計劃以及操作和因應緊急狀況的指南至關重要（Gunther & Mey, 2006）。

綜上所述，該工廠非常敏感，需要不斷的維護、監控和操作調整，但如果由合格的人員正確地完成，該工廠將非常可靠。

## 6.9 推動之公眾溝通

### 6.9.1 新加坡: NEWater

在新加坡，15 億 L/d (MLD) 的用水需求中，高達 40% 可以通過水回收再利用（新加坡 NEWater）來滿足，而後又製定了一項更大的計劃以滿足多達 55 % 的用水需求，從長遠來看水再利用取得了驚人的成功。新加坡在再生水方面的成功已得到充分證明，並在全球水協會引起廣泛討論，尤其是透過不同利益相關團體，進行全面和大範圍的公共宣傳計劃以確保公眾接受。

NEWater 於 2003 年開始，主要供應工業氣冷給非住宅區域，如晶圓製造廠、工業區和商業建築。由於 NEWater 是無菌的，因此非常需要高純水的技術，在乾旱期，NEWater 也供水給水庫。

為了讓公眾接受水回收再利用，新加坡著手設計一個教育和參與流程，以提升信任和接受度。其重點為盡可能於早期讓所有的利益相關團體了解相關信息，包括政治領袖、媒體、基層組織、商業協會和宗教團體等，為了建立公眾的信任和信心，還在學校和社區舉辦了展覽和路演。

工程、生物醫學科學、化學和水技術領域的國際和當地水專家小組提供了專家證明，並解決了健康、安全和水質問題。他們的結論是：NEWater 是安全且品質高的，完全符合世界衛生組織和美國環境保護署 (USEPA) 的飲用水要求。

成立 NEWater 遊客中心是新加坡整個公共教育活動的核心，這會是一個最先進的水博物館，可為任何希望了解 NEWater 的生產方式及其在新加坡水策略中扮演的角色的人提供一站停留。該中心允許遊客從走廊觀看 NEWater 工廠的處理過程，並透過互動展示、參觀和研討會了解其背後的科學。該遊客中心向社區團體、個人和外國遊客開放。它也成為新加坡國家教育計劃的一部分，讓每個學生在上學期間至少有機會參觀 NEWater 游客中心一次，並讓公眾更多地接觸到水回收的專業知識，培養了信心和信任感。NEWater 瓶裝精美的水也可供民眾取樣，以助於大眾自行判斷 NEWater 的水質。

政府以身作則，證明了民眾對他們的信任是很好的。政治領導層通過公開飲用 NEWater 來支持。最早的領導人之一是時任新加坡總理吳作棟先生，他在網球比賽後立即喝了一瓶 NEWater，而其他內閣長官和國會議員也紛紛效仿，在國慶期間舉行的活動中與 NEWater 一起敬酒，而標誌著人民對 NEWater 的支持和

信心並為其在新加坡的實施奠定基礎的決定性時刻是在 2002 年國慶期間，約有 60000 名新加坡人為 NEWater 乾杯以表示團結。

福布斯研究在 2002 年底進行的一項獨立調查證實了該計劃的成功。NEWater 獲得了 98% 的接受率，82% 的受訪者表示他們會直接飲用 NEWater，另有 16% 的人會與水庫水混合飲用。

關鍵意見領袖的存在對於影響和支持該項目是最重要的，在新加坡，公共事業委員會 (Public Utilities Board, PUB) 所做的第一件事就是與媒體接觸以獲得支持，結果成功是公平公正的報導，而非“廁所水龍頭”的形象。媒體的報導也有助於在新加坡水資源策略背景下構建 NEWater。國家領導人的公開支持是一個強而有力的信號，有助於贏得公眾的支持，而媒體也適時傳達了這一點。

持續的公眾教育和與利益相關團體的參與是一個前進的過程，NEWater 遊客中心是持續公眾教育的主要方式，迄今已有超過 130 萬遊客蒞臨。而重要的里程碑，如 NEWater 工廠的開業，以及紀念第一瓶和第 5 百萬瓶 NEWater，都是為了讓 NEWater 保持在公眾視野中，更重要的是維持民眾對 NEWater 的信心。NEWater 也在傳播和教育方面獲得了多個獎項，包括 2014 年“Water for Life”聯合國水資源組織 (UN-Water) 的最佳實踐獎。

### 6.9.2 美國加州橘郡水務局

橘郡水務局 (Orange County Water District, 橘郡水務局) 在 1970 年代啟動了當地第一個水回收再利用系統 Water Factory 21，並於 2008 年被地下水補給系統取代。地下水補給系統由橘郡水務局和加州噴泉谷的橘郡衛生局 (Orange County Sanitation District, 橘郡衛生局) 共同運營，目前可生產 380 MLD 的水，並足以滿足近 85 萬人的需求，而大約三分之二的先進純水被抽送到加州阿納海姆的橘郡衛生局地面補給設施，剩餘的水被注入以防海水入滲。

為確保對水回收再利用和含水層補給工作進行全面和合理的評估，成立了一個由毒理學、微生物學、水文地質學、公共衛生和環境工程等各個領域的專家組成的獨立顧問小組，且該小組讓公眾相信，這些項目的關鍵技術已經過獨立和科學的審查。

2008 年，在該計畫上線前十年，為積極爭取民眾接受地下水補給系統的宣傳活動開始了。一名公共宣傳顧問被聘請進行了初步研究，包括橘郡水務局和橘

郡衛生局聯合服務內的焦點小組和電話調查。通過這項研究，確定了以下問題：關鍵問題（如成本、健康、安全、水的可靠性、術語的疑慮、RO 逆滲透的重要性）和目標利益相關受眾（如商業、環境、政治和其他社區領袖）。該計畫的原名橘郡再生水計畫因研究表明前者未能有效進行該計畫的溝通而改為地下水補給系統。

最初的推廣工作著重於就該計畫對橘郡的政治和社區領導進行教育，並建立理解和支持的基礎。隨後階段將這些努力擴大到普通民眾。從 1997 年到 2007 年，為地方、州和聯邦政策制定者、商業和公民領袖、健康專家、環保倡導者、學術界和公眾提供了 1200 多次關於地下水補給系統的學術演講，通過開發附屬設備（如信件、即時通訊、小冊子、影片）並將其提供給其他水務機構、圖書館、電視台和特殊社區活動得到了加強。此外，在 2001 年進行最終工程設計之前，橘郡還舉辦了一系列四次公共研討會，以聽取市民的意見。

重要的是，該計畫的支持信是從代表飲用水城市的民選官員以及州和聯邦官員那裡徵求和獲得的，同時還獲得了環境、商業、醫療和少數民族社區的支持。

民眾參觀也是推廣計劃的一個重要部分，而橘郡水務局和橘郡衛生局都提供免費的公共參觀設施。橘郡水務局每年還會收到數百個請求，為當地大學、水務機構、周邊社區和國際組織的訪客提供地下水補給系統的參觀和簡報。

在計畫的設計、施工、運營和初步擴展過程中，積極的推廣和教育活動不斷在進行，由於持續的活動，該計畫並沒有受到公眾強烈的反對。這些推廣活動仍是橘郡水務局和橘郡衛生局的最優先事項，其一直以來的目標便是透過教育下一代和社區領袖來維持社區對地下水補給系統的支持，而橘郡水務局的公共宣傳計劃也贏得了多個獎項。

### 6.9.3 澳洲圖文巴

面對持續的水資源危機，圖文巴市（位於澳洲昆士蘭州首府布里斯班以西約 100 公里）計劃在 2006 年推進水回收再利用計劃。這座城市的供水主要來自三個主要水庫，其水位已下降到容量的 20%，自 2003 年以來也已經進行水資源限制。

為應對該市的水資源挑戰，圖文巴市議會於 2005 年 7 月宣布了未來水計劃，其中包括一系列水資源解決方案，其中的關鍵是建造一個先進的水處理廠，為該

鎮提供飲用水回收。然而，儘管圖文巴市議會計劃開展一項為期三年的社區參與計劃作為提案的一部分，這主要是一份政策文件，而不是公共宣傳文件。

反對飲用污水公益組織對這一提議迅速發表公開反對意見，並提供論證支持他們的立場，他們資金充足，有政治動機，是第一個向公眾傳達和提供有關水回收再利用信息的組織。在六個月內便有 10000 人簽署了反對該提案的請願書。

2006 年 3 月，澳洲政府提供了財政支持，透過在幾個月內舉行的全民投票來證明未來水計畫。公投的理由尚不完全清楚，但除了公眾爭議之外，另一個因素是擔心水資源流失的下游農業利益團體。圖文巴市議會不得不迅速將該計劃濃縮為為期 10 週的宣傳活動，以教育民眾了解。他們分發了一本未來水小冊子，其中包含對水循環、當前供水水平以及可能的供水替代方案的解釋。然而，當委員會開始與公眾接觸時，反對飲用污水組織已經與圖文巴居民進行了半年多的溝通，使用污名化語言並製造對公共衛生的恐懼。在此期間，他們繼續使用公開集會、請願書和互聯網來驅使居民在公投中投反對票，而理事會則因他們計劃的全面教育和參與計劃直到後來才能獲得資金而受到阻礙。

在 2006 年 7 月 29 日舉行的全民投票中，62% 的居民投票反對提議的再利用水計劃，因此未來水計劃被放棄。根據反對飲用污水公益組織在公投前發表的媒體聲明，圖文巴市似乎不想成為澳洲第一個或唯一一個飲用再生水的地方。其他因素如政治利益、雙方人物的衝突、公共資訊的不信任、時機以及缺乏國家水回收再利用準則，都在影響公眾輿論方面發揮了作用。

值得注意的是，解決包括圖文巴在內的大昆士蘭東南部地區嚴重缺水的方案是開發一個連接一系列供應的水網，包括布里斯班西部通道的水回收再利用計劃，該計劃旨在提供經高級處理後的廢水輸送到主要的供水大壩威文霍，並建造了一條管道，將圖文巴連接起來。雖然擁有先進的處理程序，但昆士蘭的政治反對派也對該計畫產生了影響。最終洪水導致西部通道計劃被保留但未被使用（截至 2016 年）。

#### 6.9.4 美國加州聖地亞哥

儘管在人口密集的南加州，聖地亞哥和橘郡在技術上是鄰居，但他們已經嘗試實施水回收再利用，並取得了不同程度的成功。雖然橘郡是成功的水回收再利

用計劃的典範，但聖地亞哥市的水回收再利用計畫在第一次嘗試提出時就被負面的聯想“廁所到水龍頭”的標語所困擾。

聖地亞哥市 80-90% 的供水嚴重依賴進口水，因此 1984 年開始考慮水回收再利用，1994 年批准了一個全面的計畫。當時的驅動因素是乾旱，以及 Point Loma 污水處理廠一直到 2015 年才滿足 USEPA 的排放標準。

與新加坡不同的是聖地亞哥市的公共宣傳活動引起了爭議，該提案沒有得到一致的政治支持。民眾對該計畫的不信任，主要源於在解決健康和安全問題方面的答案不足。媒體將該計畫稱為“廁所水龍頭”，此負面形像放大了公眾的擔憂。儘管有一小部分意見領袖參與其中，但民眾並不了解進入聖地亞哥的進口水已經被重複使用，也有偏見的看法。擬建項目將使用來自聖地亞哥富裕地區經處理的廢水作為飲用水源（經高級處理），提供給低收入地區。因此，除了“廁所水龍頭”之外，聖地亞哥還有“富人的污水”的標語，這引起了額外的憤怒，即僅在一個地區不公平地使用了再利用，面對民眾的抵制，該計畫最終失敗。

2004 年，水回收再利用重新提上議會日程，隨著氣候變化導致長期乾旱的影響，聖地亞哥從 2004 年開始研究水回收再利用，以評估增加供水的所有選擇。市議會委託進行了一項中水回收的研究，全面研究所有的回收水，並於 2009 年進行了第二項研究。最終，有助於公眾輿論轉變的關鍵論點是，部分處理後的廢水排放到海洋中將顯著減少，如此引起了環保組織的支持。

由於缺水，一些行業威脅要離開聖地亞哥，因此政治支持在很大程度上增加了，而人們認識到海洋廢水的排放將因廢水循環利用而顯著減少。因此，該市從 2009 年到 2013 年開展了一個示範計畫，以探索實施與 橘郡水務局 成功使用的相同水處理程序的可行性，儘管聖地亞哥計畫將經過高級處理的廢水排放到未覆蓋的水庫中，通過淨水場彙整的數據，最終促成了聖地亞哥的純水計劃，這是一個為期 20 年的水回收再利用計畫，到 2023 年將有高達 57 MLD 的再利用水，期望產量於 2035 年增加到 315 MLD，佔全市供應總量的三分之一以上。

該市從過去的經驗中吸取教訓，還著手展開一項積極的公共交流計劃，以向所有利益團體提供現有的計畫資訊，另參觀再利用設施也很方便。

## 6.10 小結

彙整國際上直接和間接水回收再利用案例，包含處理流程、控制措施、公共宣傳、水質監測等資訊。針對部分國際案例做法進行說明，包含採用直接水回收再利用之南非溫得和克、美國德州、南非威特班克，以及採用間接水回收再利用之美國加州橘郡、美國維吉尼亞州新加坡、澳洲伯斯。這些應用案例中公眾溝通不足常是除了技術之外水回收再利用失敗的原因。

短時間內台灣飲用水透過水資源的調配使用，尚可提供足夠飲用水，短期內廢水回收主要做工業用水使用，然未來氣候變遷影響程度尚無法完全預期掌握，於技術層面可參考國際現有之成熟技術，而公眾溝通對台灣未來若要使用水回收作飲用水用會是較大的挑戰，應逐步建立我國民眾的接受度，未來應用時建議先採用間接水回收再利用，補注地下水或導入水庫再自淨。



## 第七章 飲用水管理相關法規制度

### 7.1 世界衛生組織(WHO)

世界衛生組織為聯合國體系內負責衛生事務之國際組織，世界衛生組織共有194個會員國，每年世界衛生組織的成員國會派代表團參加「世界衛生大會」，是世界衛生組織的最高決策機構。世界衛生組織認為其做為一個在大眾健康及飲用水方面具權威的國際組織，帶領全球致力於避免水媒疾病的傳輸、提供各國政府發展基於健康考量的目標(health-based target)與法規(regulation)。

世界衛生組織自 1984 年起持續發表「第一版飲用水水質指引」(Guidelines for Drinking-water Quality 1<sup>st</sup> edition)，提供基於風險管理概念而建立的飲用水水質指引值，作為各國法規標準制定的參考依據。

2004 年世界衛生組織出版「第三版飲用水水質指引」(Guidelines for Drinking-water Quality 3<sup>rd</sup> edition)，提供了安全飲用水的架構，整份指引的架構如圖 7.1-1，該架構中建議定訂出以健康考量的目標(health-based target)，並由飲用水供水單位實施水安全計畫(Water Safty Plan, WSP)，最有效的鑑定及管理從集水區水源到用戶端過程中所有供水環節都採用綜合風險評估和風險管理，而非只單純關注水質。並透過獨立的監督確保水安全計畫有效執行且達到健康考量的目標。

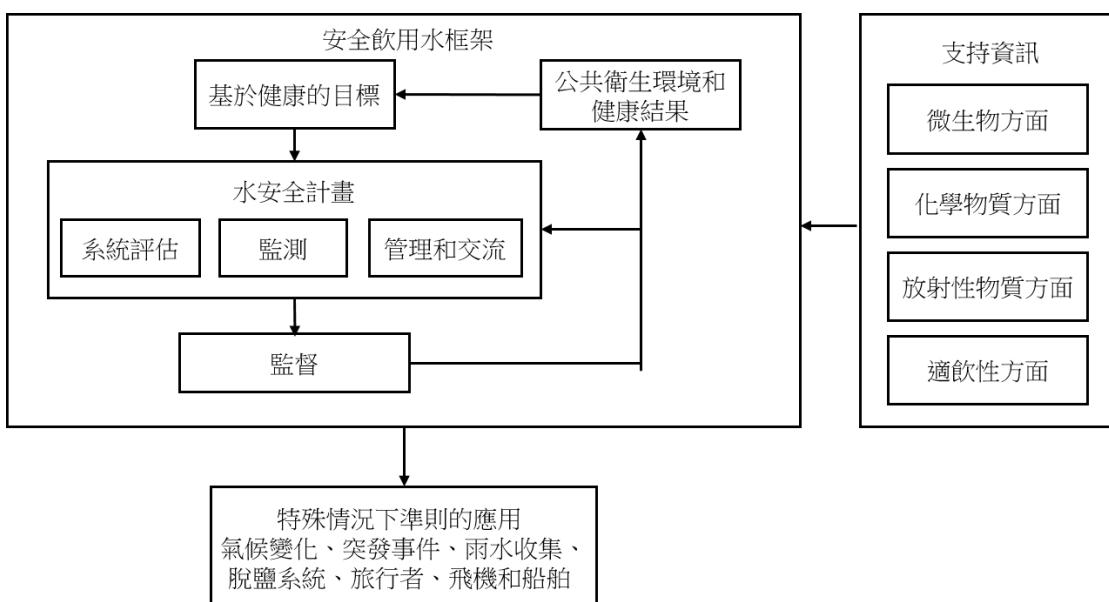


圖 7.1-1 世界衛生組織「飲用水水質指引」架構

最新之「飲用水水質指引」為 2017 年出版之第四版第一次修正，針對「飲用水水質指引」架構(圖 7.1-1)的每個要素均有詳細的介紹，並有詳細的微生物及化學物質資料表，列出各物質於飲用水中的可能來源、偵測方法、偵測極限、可行的處理程序及效率、指引值及指引值建立方式，可供各國依本身情況參考、調整、建立飲用水水質標準，而風險較低或因資料不足而尚未建立指引值之項目於指引中亦提出未建立指引值之原因供參考。

我國飲用水水質標準與 WHO 指引值比較列於表 7.1-1，我國 68 項列管項目中，有 20 項 WHO 未評估指引值，有 17 項 WHO 經評估認為無需建立指引值或資料不足以建立以健康為基礎的指引值。剩餘 31 項中，25 項我國的管制值與 WHO 指引值一致或更嚴格，有六項我國的管制值略高於 WHO 指引值，包含鎘、鋨、四氯化碳、順 1,2-二氯乙烯、反 1,2-二氯乙烯、2,4-D。然此六項管制值與國際管制趨勢相近且已考量健康風險，屬合理之管制標準。

WHO 飲用水水質指引廣泛納入各項可能影響飲用水安全之生物性、化學性物質、指標、適飲性指標等，本計畫已將其納入篩選作業流程中各階層清單進行評估。

表 7.1-1 我國飲用水水質標準與 WHO 指引值比較

編號	項目	我國	WHO
1	大腸桿菌群	6	—
2	總菌落數	100	—
3	臭度	3	—
4	濁度	2	—
5	色度	5	—
6	砷	0.01	0.01
7	鉛	0.01	0.01
8	硒	0.01	0.04
9	鉻	0.05	0.05
10	鎘	0.005	0.003
11	銀	2	1.3
12	銻	0.01	0.02
13	錳	0.02	0.07
14	汞	0.001	0.006
15	氰鹽	0.05	NR
16	亞硝酸鹽	0.1	0.9
17	三鹵甲烷	0.08	—
18	鹵乙酸類	0.06	—
19	溴酸根	0.01	0.01
20	次氯酸鹽	0.7	0.7
21	三氯乙烯	0.005	0.02
22	四氯化碳	0.005	0.004
23	1,1,1-三氯乙烷	0.2	NR
24	1,2-二氯乙烷	0.005	0.03
25	氯乙烯	0.0003	0.0003
26	苯	0.005	0.01
27	1,4-二氯苯 (對)	0.075	0.3
28	1,1-二氯乙烯	0.007	NR
29	二氯甲烷	0.02	0.02
30	1,2-二氯苯 (鄰)	0.6	1
31	甲苯	0.7	0.7
32	二甲苯	0.5	0.5
33	順 1,2-二氯乙烯	0.07	0.05
34	反 1,2-二氯乙烯	0.1	0.05
35	四氯乙烯	0.005	0.04
36	安殺番	0.003	NR
37	靈丹	0.0002	0.002
38	丁基拉草	0.02	—
39	2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-D)	0.07	0.03
40	巴拉刈	0.01	—
41	納乃得	0.01	—
42	加保扶	0.02	0.07
43	滅必蟲	0.02	—
44	達馬松	0.02	—
45	大利松	0.005	—
46	巴拉松	0.02	NR
47	一品松	0.005	—
48	亞素靈	0.003	—
49	戴奧辛	3	—
50	氟鹽	0.8	1.5
51	硝酸鹽	10	11.3
52	銀	0.05	NR
53	鉬	0.07	NR
54	銦	0.07	—
55	鐵	0.3	NR
56	錳	0.05	NR
57	銅	1	2
58	鋅	5	NR
59	硫酸鹽	250	NR
60	酚類	0.001	—
61	陰離子界面活性劑	0.5	—
62	氯鹽	250	NR
63	氨	0.1	NR
64	總硬度	300	NR
65	總溶解固體量	500	NR
66	鋁	0.2	NR
67	餘氯	0.2-1	—
68	酸鹼值	6-8.5	NR

註：NR 為 WHO 經評估認為無需建立指引值或資料不足以建立以健康為基礎的指引值。

## 7.2 歐盟

歐盟主要飲用水相關法令為「飲用水指令(Drinking Water Directive, DIRECTIVE 98/83/EC)」，於 2015 年修正。指令中闡明立法目的，主要標的為公眾使用的水的水質，藉由確保公眾使用之水是有益健康且乾淨的，以避免水中的污染物對人體造成負面影響，進而保護人體健康。歐盟「飲用水指令」中訂有飲用水水質標準，主要提供會員國做為訂定飲用水水質標準之立法參考，會員國可增加管制項目或將管制值加嚴，但禁止其會員國減少管制項目或放寬管制值，並依每日供水量大小規範不同飲用水水質檢測頻率，飲用水水質標準項目分成兩類，監測頻率略有不同。藉由提供水源水質檢測資料證明可減少監測項目或頻率。針對飲用水水質標準管制項目要求確保分析方法及檢驗實驗室的品質。歐盟針對飲用水水質的管制僅提出指導方針供會員國參考，針對飲用水水質超標的情況，歐盟僅要求各會員國必須確實了解、探討每一個超標事件的起因，並且盡快提出改善計畫予以改正，並未針對超標定出處分方式。

歐盟飲用水水質標準包含 2 項生物性參數、26 項化學性參數、18 項指標參數、2 項放射性參數，除放射性物質於我國係由原能會依權責訂定相關法規管理，非屬飲用水水質標準列管項目外，另 46 項參數的管制值與我國管制情況列於表 7.2-1 及表 7.2-2。其中 32 項我國飲用水水質標準亦有列管，11 項列於我國初步蒐集清單中，1 項列於我國蒐集清單中，1 項列於我國觀察清單中。

表 7.2-1 歐盟「飲用水指令」管制項目與與我國管制標準比較

編號	中文	英文	CAS	台灣	歐盟
1	大腸桿菌	Escherichia coli (E. coli)	—	蒐集清單	0/ 100 ml
2	腸球菌	Enterococci	—	初蒐清單	0/ 100 ml
3	丙烯醯胺	Acrylamide	79-06-1	初蒐清單	0.0001
4	銻	Antimony	7440-36-0	0.01	0.005
5	砷	Arsenic	7440-38-2	0.01	0.01
6	苯	Benzene	71-43-2	0.005	0.001
7	苯並[a]芘	Benzo(a)pyrene	50-32-8	初蒐清單	0.00001
8	硼	Boron	7440-42-8	觀察清單	1
9	溴酸根	Bromate	15541-45-4	0.01	0.01
10	鎘	Cadmium	7440-43-9	0.005	0.005
11	鉻	Chromium	7440-47-3	0.05 (total)	0.05
12	銅	Copper	7440-50-8	1	2
13	氰鹽	Cyanide	57-12-5	0.05	0.05
14	1,2-二氯乙烷	1,2-dichloroethane	107-06-2	0.005	0.003
15	環氧氯丙烷	Epichlorohydrin	106-89-8	初蒐清單	0.0001
16	氟鹽	Fluoride	16984-48-8	0.8	1.5
17	鉛	Lead	7439-92-1	0.01	0.01
18	汞	Mercury	7439-97-6	0.001	0.001
19	鎳	Nickel	7440-02-0	0.02	0.02
20	硝酸鹽	Nitrate	14797-55-8	10	11.3
21	亞硝酸鹽	Nitrite	14797-65-0	0.1	0.5
22	農藥	Pesticides	—	—	0.0001
23	農藥	Pesticides — Total	—	—	0.0005
24	多環芳香烴	Polycyclic aromatic hydrocarbons	—	初蒐清單	0.0001
25	硒	Selenium	7782-49-2	0.01	0.01
26	四氯乙烯	Tetrachloroethene and	127-18-4	0.005	0.01
	三氯乙烯	Trichloroethene	79-01-6	0.005	
27	總三鹵甲烷	Trihalomethanes Total	—	0.08	0.1
28	氯乙烯	Vinyl chloride	75-01-4	0.003	0.0005

\*單位如未註記則為 mg/L

表 7.2-2 歐盟「飲用水指令」指標參數管制項目與我國管制情況

編號	中文	英文	CAS	台灣	歐盟
1	鋁	Aluminium	7429-90-5	0.2	0.2
2	氨	Ammonium	14798-03-9	0.1	0.5
3	氯鹽	Chloride	16887-00-6	250	250
4	Clostridium perfringens	Clostridium perfringens (including spores)	—	初蒐清單	0/100 ml
5	色度	Colour	—	5 鉑鈷單位	無異常
6	導電度	Conductivity	—	初蒐清單	2500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ at 20 °C
7	氫離子濃度	Hydrogen ion concentration	—	6-8.5	6.5-9.5
8	鐵	Iron	7439-89-6	0.3	0.2
9	錳	Manganese	7439-96-5	0.05	0.05
10	臭度	Odour	—	3 初嗅數	無異常
11	氧化性	Oxidisability	—	初蒐清單	5 mg/l O <sub>2</sub>
12	硫酸鹽	Sulfate	14808-79-8	250	250
13	鈉	Sodium	7440-23-5	初蒐清單	200
14	口感	Taste	—	初蒐清單	無異常
15	菌落數	Colony count	—	100 (35 °C)	無異常 (22 °C)
16	大腸桿菌群	Coliform bacteria	—	6	0/100 ml
17	總有機碳	Total organic carbon	—	初蒐清單	無異常
18	濁度	Turbidity	—	2	無異常

### 7.3 美國

美國飲用水水質標準分為主要標準(National Primary Drinking Water Regulations, NPDWR)及次要(Secondary)標準，「安全飲用水法(SDWA)」要求針對現行飲用水水質標準每六年應重新檢視一次標準的合理性。此外「安全飲用水法(SDWA)」批准美國環保署授權小型淨水場在已經使用最佳處理技術(BAT)下，在不影響公共健康下，若因原水水質不佳而可與飲用水水質標準有容許偏差(variance)。

美國飲用水水質主要標準(National Primary Drinking Water Regulations, NPDWR)可區分為六大類：微生物(7項)、消毒劑(3項)、消毒副產物(4項)、無機物(16項)、有機物(53項)以及放射性物質(4項)，共87項(表 7.3-1)，其中39項我國飲用水水質標準亦有列管，27項列於我國初步蒐集清單中，11項列於我國蒐集清單中，5項列於我國觀察蒐集清單中，1項列於我國候選清單中。放射性物質於我國係由原能會依權責訂定相關法規管理，非屬飲用水水質標準列管項目。

表 7.3-1 美國飲用水水質主要標準管制項目與我國管制標準比較

編號	中文	英文	CAS	台灣	美國
1	丙烯醯胺	Acrylamide	79-06-1	初蒐清單	TT
2	拉草	Alachlor	15972-60-8	初蒐清單	0.002
3	銻	Antimony	7440-36-0	0.01	0.006
4	砷	Arsenic	7440-38-2	0.01	0.01
5	石棉	Asbestos	1332-21-4	初蒐清單	7 MFL
6	草脫淨	Atrazine	1912-24-9	初蒐清單	0.003
7	鋯	Barium	7440-39-3	2	2
8	苯	Benzene	71-43-2	0.005	0.005
9	苯並[a]芘	Benzo[a]pyrene	50-32-8	初蒐清單	0.0002
10	鍍	Beryllium [Be]	7440-41-7	蒐集清單	0.004
11	溴酸根*	Bromate	15541-45-4	0.01	0.01
12	鎘	Cadmium	7440-43-9	0.005	0.005
13	加保扶	Carbofuran	1563-66-2	0.02	0.04
14	四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5	0.005	0.005
15	氯胺 (一氯胺、二氯胺、三氯胺)	Chloramines	—	初蒐清單	4 (as Cl <sub>2</sub> )
16	可氯丹/氯丹	Chlordane	57-74-9	初蒐清單	0.002
17	氯*	Chlorine	7782-50-5	初蒐清單	4 (as Cl <sub>2</sub> )
18	二氧化氯	Chlorine dioxide	10049-04-4	初蒐清單	0.8 (as ClO <sub>2</sub> )
19	次氯酸鹽	Chlorite	14998-27-7	0.7	1
20	一氯苯	Monochlorobenzene	108-90-7	觀察清單	0.1
21	鉻	Chromium	7440-47-3	0.05	0.1
22	銅	Copper	7440-50-8	1	TT (1.3)
23	隱孢子蟲	<i>Cryptosporidium</i>	M	蒐集清單	TT
24	氰鹽	Cyanide	57-12-5	0.05	0.2
25	2,4-D	2,4-D	94-75-7	0.07	0.07
26	茅草枯	Dalapon (2,2-DPA)	75-99-0	初蒐清單	0.2
27	1,2-二溴-3-氯丙烷	1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)	96-12-8	蒐集清單	0.0002
28	1,2-二氯苯	o-Dichlorobenzene	95-50-1	0.6	0.6
29	1,4-二氯苯	p-Dichlorobenzene	106-46-7	0.075	0.075
30	1,2-二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	107-06-2	0.005	0.005
31	1,1-二氯乙烯	1,1-Dichloroethylene	75-35-4	0.007	0.007
32	順 1,2-二氯乙烯	cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	0.07	0.07
33	反 1,2-二氯乙烯	trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5	0.1	0.1
34	二氯甲烷	Dichloromethane	75-09-2	0.02	0.005
35	1,2-二氯丙烷	1,2-Dichloropropane (1,2-DCP)	78-87-5	蒐集清單	0.005
36	己二酸二(2-乙基己基)酯	Di(2-ethylhexyl)adipate (DEHA)	103-23-1	蒐集清單	0.4
37	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	117-81-7	候選清單	0.006
38	地樂酚	Dinoseb	88-85-7	初蒐清單	0.007
39	戴奧辛	Dioxin	--	3 pg-WHO-TEQ/L	0.00000003
40	敵草快/殺草快	Diquat	231-36-7	初蒐清單	0.02
41	草多索	Endothall	145-73-3	初蒐清單	0.1

\*單位如未註記則為 mg/L

表 2.3-1 美國飲用水水質主要標準管制項目與我國管制標準比較（續）

編號	中文	英文	CAS	台灣	美國
42	安特靈/異狄氏劑	Endrin	72-20-8	初蒐清單	0.002
43	環氧氯丙烷	Epichlorohydrin	106-89-8	初蒐清單	TT
44	乙苯	Ethylbenzene	100-41-4	觀察清單	0.7
45	1,2-二溴乙烷	1,2-Dibromoethane	106-93-4	觀察清單	0.00005
46	氟鹽	Fluoride	16984-48-8	0.8	4
47	梨形鞭毛蟲	<i>Giardia lamblia</i>	M	蒐集清單	TT
48	嘉磷塞	Glyphosate and AMPA	1071-83-6	蒐集清單	0.7
49	鹵乙酸類	Haloacetic acids – Total (HAAs)	--	0.06	0.06
50	飛佈達	Heptachlor	76-44-8	初蒐清單	0.0004
51	環氧飛佈達	Heptachlor epoxide	1024-57-3	初蒐清單	0.0002
52	總菌落數	Total Bacterial Count	M	100	TT (500)
53	六氯苯	Hexachlorobenzene	118-74-1	蒐集清單	0.001
54	六氯環戊二烯	Hexachlorocyclopentadiene	77-47-4	蒐集清單	0.05
55	鉛	Lead	7439-92-1	0.01	0.015
56	軍團菌屬	<i>Legionella</i>	M	初蒐清單	TT
57	靈丹	Lindane	58-89-9	0.0002	0.0002
58	汞	Mercury	7439-97-6	0.001	0.002
59	甲氧氯	Methoxychlor	72-43-5	初蒐清單	0.04
60	硝酸鹽	Nitrate	14797-55-8	10	10
61	亞硝酸鹽	Nitrite	14797-65-0	0.1	1
62	歐殺滅	Oxamyl (Vydate)	23135-22-0	蒐集清單	0.2
63	五氯酚	Pentachlorophenol (PCP)	87-86-5	初蒐清單	0.001
64	皮克落	Picloram	1918-02-1	初蒐清單	0.5
65	多氯聯苯	Polychlorinated biphenyls (PCBs)	-	初蒐清單	0.0005
66	硒	Selenium	7782-49-2	0.01	0.05
67	草滅淨	Simazine	122-34-9	初蒐清單	0.004
68	苯乙烯	Styrene (Vinyl benzene)	100-42-5	觀察清單	0.1
69	四氯乙烯	Tetrachloroethylene	127-18-4	0.005	0.005
70	鉻	Thallium [Tl]	82870-81-3	觀察清單	0.002
71	甲苯	Toluene	108-88-3	0.7	1
72	大腸桿菌群	Coliform Group / total coliform	M	6	5.00%
73	三鹵甲烷	Trihalomethanes (THM)	—	0.08	0.08
74	毒殺芬	Toxaphene	8001-35-2	初蒐清單	0.003
75	2,4,5-TP;Silvexa	2,4,5-TP; Silvexa	93-72-1	初蒐清單	0.05
76	1,2,4-三氯苯	1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1	初蒐清單	0.07
77	1,1,1-三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	0.2	0.2
78	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	蒐集清單	0.005
79	三氯乙烯	Trichloroethylene (Trichloroethene)	79-01-6	0.005	0.005
80	濁度	Turbidity	M	2 NTU	TT
81	氯乙烯	Vinyl chloride	75-01-4	0.003	0.002
82	病毒 (腸道)	Viruses (enteric)	M	初蒐清單	TT
83	二甲苯	Xylenes	1330-20-7	0.5	10
84	Alpha 粒子	Alpha particles	—	放射性	15 pCi/l
85	Beta 光子	Beta photon emitters	—	放射性	4
86	鐳 226、228	Radium 226 and 228	—	放射性	5 pCi/l
87	鈾	Uranium	7440-61-1	放射性	30 ug/l

\*單位如未註記則為 mg/L

美國飲用水水質次要標準之項目主要為影響適飲性或引起外觀效應之汙染物，因這些項目沒有影響健康的疑慮，故非強制管制項目，自來水單位可自行決定是否採行。美國飲用水水質次要標準共 15 項（表 7.3-2），其中 13 項我國亦有列管，2 項列於我國初步蒐集清單中。其中銅跟氟鹽在美國飲用水水質主要標準及次要標準中均出現，然次要標準的建議值較主要標準的管制值低，因考量影響適飲性或引起外觀效應而定之建議值，僅供自來水單位參考，無強制性。

表 7.3-2 美國飲用水水質次要標準管制項目與我國管制標準比較

編號	中文	英文	CAS	台灣	美國
1	鋁	Aluminum	7429-90-5	0.2	0.05 to 0.2
2	氯鹽	Chloride	16887-00-6	250	250
3	色度	Color	—	5 鉑鈷單位	15 color units
4	銅	Copper	7440-50-8	1	1.0
5	腐蝕性	Corrosivity	—	初蒐清單	Non-corrosive
6	氟鹽	Fluoride	16984-48-8	0.8	2.0
7	發泡劑	Foaming agents	10-84-4	初蒐清單	0.5
8	鐵	Iron	7439-89-6	0.3	0.3
9	錳	Manganese	8075-39-6 7439-96-5	0.05	0.05
10	臭度	Odor	—	3 初嗅數	3 初嗅數
11	pH	pH	—	6.0-8.5	6.5 - 8.5
12	銀	Silver	7440-22-4	0.05	0.1
13	硫酸鹽	Sulfate	14808-79-8	250	250
14	總溶解固體量	Total Dissolved Solids (TDS)	—	500	500
15	鋅	Zinc	7440-66-6	5	5

\*單位如未註記則為 mg/L

## 7.4 澳洲

澳洲之飲用水管理以「澳洲飲用水指引(Australian Drinking Water Guidelines)」為基礎，指引內容包含五大部分：

- 一、飲用水水質管理 (包含小型供水系統的應用)
- 二、飲用水水質項目說明
- 三、水質監測
- 四、飲用水消毒、採樣及統計分析相關資訊表格
- 五、水質項目資料表

澳洲飲用水指引(Australian Drinking Water Guidelines)中包含兩大類指引值(guideline value)，一類是健康相關(health-related)指引值，為針對可能造成健康風險之特定飲用水水質項目，根據現有知識所制定終生飲用也不會造成顯著健康風險的濃度值，另一類為適飲性(aesthetic)指引值，為針對影響適飲性之特定飲用水水質項目，消費者所能接受的濃度值，如外觀、味道、氣味等。這兩類指引值需要各自考慮但互相配合評估。當測定值超過健康相關指引值，則需立即啟動相關應變措施，以減低消費者的風險，必要時得通報衛生主管機關並告知消費者飲用水的問題即採取的措施。若是影響適飲性水質項目超過指引值，則可只需要採取告知相關消費者水質不良等相關行動即可。

澳洲「飲用水指引」針對飲用水水質項目提供資料表，資料表中提供已證實可有效去除飲用水中該物質之淨水處理程序，以及可達到之濃度，供民眾及自來水事業參考。以「鎘」為例，飲用水中的鎘可採用石灰軟化（在 pH 8.5-11.3 的範圍間去除濾可達 98%）及利用氯化鐵混凝（在 pH 8 以上去除濾可達 90%，但 pH 的時去除效率較差）有效去除。

我國 68 項列管項目中，有 16 項澳洲未評估指引值，剩餘 52 項中，35 項我國的管制值與澳洲指引值一致或更嚴格，有 17 項我國的管制值略高於澳洲指引值，然此 17 項管制值與國際管制趨勢相近且已考量健康風險，屬合理之管制標準。

表 7.4-1 我國飲用水水質標準與澳洲指引值比較

編號	項目	我國	澳洲	編號	項目	我國	澳洲
1	大腸桿菌群	6	—	35	四氯乙烯	0.005	—
2	總菌落數	100	—	36	安殺番	0.003	0.02
3	臭度	3	—	37	靈丹	0.0002	0.01
4	濁度	2	5	38	丁基拉草	0.02	—
5	色度	5	15	39	2,4-二氯苯氧乙酸(2.4-D)	0.07	0.03
6	砷	0.01	0.01	40	巴拉刈	0.01	0.02
7	鉛	0.01	0.01	41	納乃得	0.01	0.02
8	硒	0.01	0.01	42	加保扶	0.02	0.01
9	鉻	0.05	—	43	滅必蟲	0.02	—
10	鎘	0.005	0.002	44	達馬松	0.02	—
11	鋅	2	2	45	大利松	0.005	0.001
12	銻	0.01	0.003	46	巴拉松	0.02	0.02
13	鎳	0.02	0.02	47	一品松	0.005	—
14	汞	0.001	0.001	48	亞素靈	0.003	0.002
15	氟鹽	0.05	0.08	49	戴奧辛	3	—
16	亞硝酸鹽	0.1	3	50	氟鹽	0.8	1.5
17	三鹵甲烷	0.08	0.25	51	硝酸鹽	10	11.3
18	鹼乙酸類	0.06	—	52	銀	0.05	0.1
19	溴酸根	0.01	0.02	53	鉬	0.07	0.05
20	次氯酸鹽	0.7	0.8	54	銦	0.07	—
21	三氯乙烯	0.005	0.05	55	鐵	0.3	0.3
22	四氯化碳	0.005	0.003	56	錳	0.05	0.5
23	1,1,1-三氯乙烷	0.2	—	57	銅	1	2
24	1,2-二氯乙烷	0.005	0.003	58	鋅	5	3
25	氯乙烯	0.0003	0.0003	59	硫酸鹽	250	250
26	苯	0.005	0.001	60	酚類	0.001	—
27	1,4-二氯苯 (對)	0.075	0.04	61	陰離子界面活性劑	0.5	—
28	1,1-二氯乙烯	0.007	0.03	62	氯鹽	250	250
29	二氯甲烷	0.02	0.004	63	氨	0.1	0.5
30	1,2-二氯苯 (鄰)	0.6	1.5	64	總硬度	300	200
31	甲苯	0.7	0.8	65	總溶解固體量	500	600
32	二甲苯	0.5	0.6	66	鋁	0.2	0.2
33	順 1,2-二氯乙烯	0.07	0.06	67	餘氯	0.2-1	—
34	反 1,2-二氯乙烯	0.1	0.06	68	酸鹼值	6-8.5	6.5-8.5

## 7.5 日本

### 7.5.1 日本飲用水標準列管流程

日本飲用水標準列管流程如圖 7.5-1，概略分為「水質標準」、「水質管理目標設定項目」、「要檢討項目」。日本將可能存在於飲用水中對飲用水安全可能造成風險之物質列於「要檢討項目」，由於毒性評估未確定且尚不清楚於日本飲用水中的含量，因此未將該項目分為水質標準項目或水質管理目標設定項目，並逐步蒐集毒理資料及日本飲用水中含量資訊。而「水質管理目標設定項目」，共 27 項，並列詳列 114 項農藥，針對這些項目日本政府已進行一定程度評估並訂定目標值，「水質管理目標設定項目」的目標值不具法律強制性，供自來水事業參考。最後為水質標準，共 51 項，根據日本《水務法》第 4 條的水質標準規定。日本法律規定自來水必須符合水質標準，並且可依《水廠法》對自來水公司施加檢查義務。

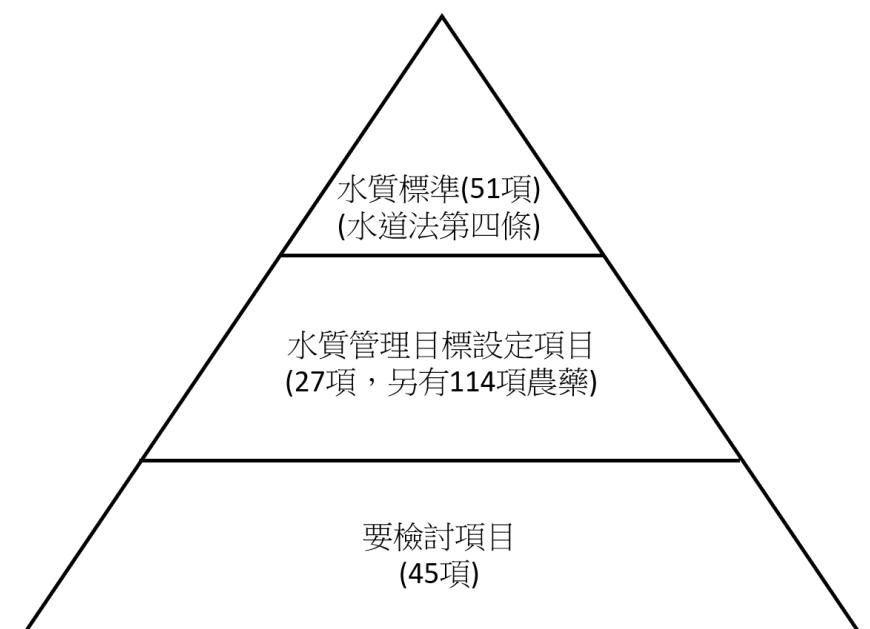


圖 7.5-1 日本飲用水標準列管流程

### 7.5.2 我國飲用水水質標準與日本水質標準比較

根據日本「水道法」第 4 條的規定，自來水必須符合「水質基準に関する省令」規定的水質標準。最近一次更新為 2020 年，管制項目沒有改變，僅六價鉻管制值從 0.05 mg/L 降低為 0.02mg/L。目前「日本飲用水水質標準項目（水質基準項目）

目）」包含 51 項；其中 32 項我國飲用水水質標準亦有列管，15 項列於我國初步蒐集清單中，2 項列於我國蒐集清單中，2 項列於我國觀察清單中（表 7.5-1）。

除 51 項管制項目外，日本列出 27 項「水質管理目標設定項目」，這些物質為有可能在自來水中檢測到而需要注意水質管理的物質，其中 15 項我國飲用水水質標準亦有列管，9 項列於我國初步蒐集清單中，2 項列於我國觀察清單中，1 項列於我國候選清單中（表 7.5-2）。「水質管理目標設定項目」中一項為農藥類，目標值為 114 項農藥的測值與目標值比值總和小於 1。2020 年新增了 PFOA 及 PFOS 的目標值。此外，日本也列出 45 項由於未確定毒性風險、清水中的存在量未知等因素，因此不能被分類為水質標準項目或水質管理目標設定項目的「需要考慮項目」。

**表 7.5-1 日本飲用水水質標準管制項目與我國管制標準比較**

編號	中文	英文	CAS	台灣	日本
1	總菌落數	Total Bacterial Count	M	100	<100/mL
2	大腸桿菌	<i>Escherichia coli</i> (O157) E.coli	M	蒐集清單	不得檢出
3	鎘	Cadmium	7440-43-9	0.005	0.003
4	汞	Mercury	7439-97-6	0.001	0.0005
5	硒	Selenium	7782-49-2	0.01	0.01
6	鉛	Lead	7439-92-1	0.01	0.01
7	砷	Arsenic	7440-38-2	0.01	0.01
8	鉻	Chromium	—	0.05	0.02 (六價鉻)
9	亞硝酸鹽	Nitrite	14797-65-0	0.1	0.04
10	氰鹽	Cyanide	57-12-5	0.05	0.01
11	硝酸鹽	Nitrate	14797-55-8	10	10 (硝酸鹽氮與亞硝酸鹽氮合計)
12	氟鹽	Fluoride	16984-48-8	0.8	0.8 (Fluorine )
13	硼	Boron	7440-42-8	觀察清單	1
14	四氯化碳	Carbon tetrachloride	56-23-5	0.005	0.002
15	1,4-環氧己烷	1,4-Dioxane	123-91-1	初蒐清單	0.05
16	順 1,2-二氯乙烯	cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	0.07	0.04
	反 1,2-二氯乙烯	trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5	0.1	
17	二氯甲烷	Dichloromethane	75-09-2	0.02	0.02
18	四氯乙烯	Tetrachloroethylene/tetrachloroethene	127-18-4	0.005	0.01
19	三氯乙烯	Trichloroethylene (Trichloroethene)	79-01-6	0.005	0.01
20	苯	Benzene	71-43-2	0.005	0.01
21	氯酸	Chloric acid	7790-93-4	初蒐清單	0.6
22	一氯乙酸	Monochloroacetic acid	79-11-8	初蒐清單	0.02
23	三氯甲烷/氯仿	Chloroform	67-66-3	初蒐清單	0.06

\*單位如未註記則為 mg/L

表 2.5-1 日本飲用水水質標準管制項目與我國管制標準比較（續）

編號	中文	英文	CAS	台灣	日本
24	二氯乙酸	Dichloroacetic acid	79-43-6	蒐集清單	0.03
25	二溴氯甲烷/一氯二溴甲烷	Dibromochloromethane (DBCM)	124-48-1	初蒐清單	0.1
26	溴酸	Bromic acid	7789-31-3	初蒐清單	0.01
27	三鹵甲烷	Total trihalomethanes (TTHMs)	—	0.08	0.1
28	三氯乙酸	trichloroacetic acid	76-03-9	初蒐清單	0.03
29	溴二氯甲烷/二氯一溴甲烷	Bromodichloromethane (BDCM)	75-27-4	初蒐清單	0.03
30	三溴甲烷	Bromoform	75-25-2	初蒐清單	0.09
31	甲醛	Formaldehyde	50-00-0	觀察清單	0.08
32	鋅	Zinc	7440-66-6	5	1
33	鋁	Aluminium	7429-90-5	0.2	0.2
34	鐵	Iron	7439-89-6	0.3	0.3
35	銅	Copper	7440-50-8	1	1
36	鈉	Sodium (Na)	7646-69-7	初蒐清單	200
37	錳	Manganese	7439-96-5	0.05	0.05
38	氯鹽	Chloride	16887-00-6	250	200
39	總硬度	Hardness	—	300	300
40	總溶解固體量	Total dissolved solids (TDS)	—	500	500
41	陰離子界面活性劑	MBAS	--	0.5	0.2
42	土臭素	Geosmin	19700-21-1	初蒐清單	0.00001
43	二甲基異莰醇	2-Methylisoborneol (2-MIB)	2371-42-8	初蒐清單	0.00001
44	非離子性介面活性劑	Non-ionic surfactant	68213-23-0	初蒐清單	0.02
45	酚類	Phenols	108-95-2	0.001	0.005
46	總有機碳	Total organic carbon (TOC)	—	初蒐清單	3
47	酸鹼值	pH	—	6.0-8.5	5.8-8.6
48	口感	Taste	—	初蒐清單	無異常
49	臭度	Odour	—	3 初嗅數	無異常
50	色度	Colour	—	5 鉑鈷色度	5 鉑鈷色度
51	濁度	Turbidity	M	2 NTU	2 NTU

\*單位如未註記則為 mg/L

表 7.5-2 日本「水質管理目標設定項目」與我國管制標準比較

編號	中文	英文	CAS	台灣	日本
1	銻	Antimony	7440-36-0	0.01	0.02
2	鈾	Uranium	7440-61-1	初蒐清單	0.002
3	鎳	Nickel	7440-02-0	0.02	0.02
4	1,2-二氯乙烷	1,2-Dichloroethane	107-06-2	0.005	0.004
5	甲苯	Toluene	108-88-3	0.7	0.4
6	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	117-81-7	候選清單	0.08
7	次氯酸鹽	Chlorite	14998-27-7	0.7	0.6
8	二氧化氯	Chlorine dioxide	10049-04-4	初蒐清單	0.6
9	二氯乙腈	Dichloroacetonitrile	3018-12-0	初蒐清單	0.01
10	水合氯醛	Chloral hydrate	302-17-0	初蒐清單	0.02
11	殺蟲劑	Pesticides		初蒐清單	1
12	餘氯	Residual chlorine		0.2-1	1
13	總硬度	Hardness	—	300	10-100
14	錳	Manganese	7439-96-5	0.05	0.01
15	碳酸	Free carbonic acid		初蒐清單	20
16	1,1,1-三氯乙烷	1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	0.2	0.3
17	甲基第三丁基醚	Methyl tertiary-butyl ether (MTBE)	1634-04-4	初蒐清單	0.02
18	總有機碳	Total organic carbon (TOC)	—	初蒐清單	3
19	臭度	Odour	—	3 初嗅數	3 初嗅數
20	總溶解固體量	Total dissolved solids (TDS)	—	500	30-200
21	濁度	Turbidity	M	2 NTU	1NTU
22	酸鹼值	pH	—	6.0-8.5	7.5
23	腐蝕性	Corrosivity	—	初蒐清單	-1~0 藍氏飽和指數
24	異營菌	Heterotrophic bacteria	M	100	<2000/mL
25	1,1-二氯乙烯	1,1-Dichloroethylene	75-35-4	0.007	0.1
26	鋁	Aluminium	7429-90-5	0.3	0.1
27	全氟辛酸	Perfluorooctanoic acid (PFOA)	335-67-1	觀察清單	0.00005
	全氟辛烷磺酸鹽	Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS)	1763-23-1	觀察清單	

\*單位如未註記則為 mg/L

表 7.5-3 我國飲用水水質標準與 WHO、歐盟、美國、澳洲、日本標準或指引值比較

編號	項目	我國	WHO	歐盟	美國	澳洲	日本
1	大腸桿菌群	6	NV	0/100 ml <sup>a</sup>	5.00%	—	<2000 <sup>a</sup>
2	總菌落數	100	NV	無異常 (22°C) <sup>a</sup>	TT (500)	—	<100
3	臭度	3	—	無異常 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	—	無異常
4	濁度	2	NV	無異常 <sup>a</sup>	TT	5	2
5	色度	5	—	無異常 <sup>a</sup>	15 color units <sup>a</sup>	15	5
6	砷	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
7	鉛	0.01	0.01	0.01	0.015	0.01	0.01
8	硒	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.01
9	鉻	0.05	0.05	0.05	0.1	—	0.02 (六價鉻)
10	鎘	0.005	0.003	0.005	0.005	0.002	0.003
11	鋅	2	1.3	—	2	2	—
12	銻	0.01	0.02	0.005	0.006	0.003	0.02 <sup>a</sup>
13	鎳	0.02	0.07	0.02		0.02	0.02 <sup>a</sup>
14	汞	0.001	0.006	0.001	0.002	0.001	0.0005
15	氟鹽	0.05	NR	0.05	0.2	0.08	0.01
16	亞硝酸鹽	0.1	0.9	0.5	1	3	0.04
17	三鹵甲烷	0.08	—	0.1	0.08	0.25	0.1
18	鹼乙酸類	0.06	—	—	0.06	—	—
19	溴酸根	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	—
20	次氯酸鹽	0.7	0.7	—	1	0.8	0.6 <sup>a</sup>
21	三氯乙烯	0.005	0.02	0.01	0.005	0.05	0.01
22	四氯化碳	0.005	0.004	—	0.005	0.003	0.002
23	1,1,1-三氯乙烷	0.2	NR	—	0.2	—	0.3 <sup>a</sup>
24	1,2-二氯乙烷	0.005	0.03	0.003	0.005	0.003	0.004 <sup>a</sup>
25	氯乙烯	0.0003	0.0003	0.0005	0.002	0.0003	—
26	苯	0.005	0.01	0.001	0.005	0.001	0.01
27	1,4-二氯苯(對)	0.075	0.3	—	0.075	0.04	—
28	1,1-二氯乙烯	0.007	NR	—	0.007	0.03	0.1 <sup>a</sup>
29	二氯甲烷	0.02	0.02	—	0.005	0.004	0.02
30	1,2-二氯苯(鄰)	0.6	1	—	0.6	1.5	—
31	甲苯	0.7	0.7	—	1	0.8	0.4 <sup>a</sup>
32	二甲苯	0.5	0.5	—	10	0.6	—
33	順 1,2-二氯乙烯	0.07	0.05	—	0.07	0.06	0.04
34	反 1,2-二氯乙烯	0.1	0.05	—	0.1	0.06	0.04

註：NR 為 WHO 經評估認為無需建立指引值或資料不足以建立以健康為基礎的指引值。NV 為有評估，然未有指引值。a: 非強制性標準。

表 2.5-3 我國飲用水水質標準與 WHO、歐盟、美國、澳洲、日本標準或指引值比較（續）

編號	項目	我國	WHO	歐盟	美國	澳洲	日本
35	四氯乙烯	0.005	0.04	0.01	0.005	—	0.01
36	安殺番	0.003	NR	—		0.02	—
37	靈丹	0.0002	0.002	—	0.0002	0.01	—
38	丁基拉草	0.02	—	—		—	—
39	2,4-二氯苯氧乙酸 (2,4-D)	0.07	0.03	—	0.07	0.03	—
40	巴拉刈	0.01	—	—		0.02	—
41	納乃得	0.01	—	—		0.02	—
42	加保扶	0.02	0.07	—	0.04	0.01	—
43	滅必蟲	0.02	—	—		—	—
44	達馬松	0.02	—	—		—	—
45	大利松	0.005	—	—		0.001	—
46	巴拉松	0.02	NR	—		0.02	—
47	一品松	0.005	—	—		—	—
48	亞素靈	0.003	—	—		0.002	—
49	戴奧辛	3	—	—	0.00000003	—	—
50	氟鹽	0.8	1.5	1.5	4	1.5	0.8 (Fluorine )
51	硝酸鹽	10	11.3	11.3	10	11.3	10 (亞硝酸鹽 氮合計)
52	銀	0.05	NR	—	0.1 <sup>a</sup>	0.1	—
53	鉬	0.07	NR	—		0.05	—
54	銻	0.07	—	—		—	—
55	鐵	0.3	NR	0.2 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>	0.3	0.3
56	錳	0.05	NR	0.05 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	0.5	0.05
57	銅	1	2	2	TT (1.3)	2	1
58	鋅	5	NR	—	5 <sup>a</sup>	3	1
59	硫酸鹽	250	NR	250 <sup>a</sup>	250 <sup>a</sup>	250	—
60	酚類	0.001	—	—		—	0.005
61	陰離子界面活性劑	0.5	—	—		—	0.2
62	氯鹽	250	NR	250 <sup>a</sup>	250 <sup>a</sup>	250	200
63	氨	0.1	NR	0.5 <sup>a</sup>		0.5	—
64	總硬度	300	NR	—		200	300
65	總溶解固體量	500	NR	—	500 <sup>a</sup>	600	500
66	鋁	0.2	NR	0.2 <sup>a</sup>	0.05-0.2 <sup>a</sup>	0.2	0.2
67	餘氯	0.2-1	—	—		—	1 <sup>a</sup>
68	酸鹼值	6-8.5	NR	6.5-9.5 <sup>a</sup>	6.5 - 8.5 <sup>a</sup>	6.5-8.5	5.8-8.6

註：NR 為 WHO 經評估認為無需建立指引值或資料不足以建立以健康為基礎的指引值。NV 為有評估，然未有指引值。a: 非強制性標準。

## 第八章 其他工作

### 8.1 飲用水標準中微生物標準或指標評估

淨水程序中常採用指標微生物或參數評估系統（一）是否遭糞便污染(faecal pollution)，（二）過濾或消毒的有效性驗證，（三）配水系統是否遭污染或有生物膜生成的可能性。WHO 飲用水水質指引中，列了 8 種微生物指標，包含總菌落數/總異營菌、大腸桿菌群 Coliform Group / total coliform、糞生大腸桿菌群 Fecal / thermo-tolerant coliform 及大腸桿菌 E. coli、腸球菌(Intestinal enterococci)、Clostridium perfringens、大腸桿菌噬菌體(Coliphages)、嗜 Bacteroides fragilis 病毒、腸病毒(Enteric viruses)等。WHO 把這些微生物指標的功能列表比較，本計畫彙整於表 8.1-1，國際上採用情況彙整於表 8.1-2。

國際上針對飲用水配水系統是否遭糞便污染的指標微生物多採用大腸桿菌（或糞便性大腸桿菌），然 WHO 認為腸球菌(Intestinal enterococci) 飲用水中的濃度通常低於大腸桿菌一個數量級，濃度較低，較不易分析，然而因腸球菌在飲用水中的存活時間較長且較能抵抗加氯消毒，為其作為指標微生物之優勢。澳洲與歐盟均有採用腸球菌作為指標之一，指引值及管制值均為不得檢出。WHO 認為 Clostridium perfringens 因其孢子較梨形鞭毛蟲及隱孢子蟲小，故除了可作為致病性原生動物污染指標外，亦可作為過濾程序的有效性指標，但分析方法較複雜且較昂貴。

表 8.1-1 微生物指標比較表

指標或微生物	程序有效性驗證	操作有效性驗證	驗證與監測
大腸桿菌(或糞便性大腸桿菌)	無	無	糞便性污染指標
大腸桿菌群	無	配水系統清潔度與完整性指標	無
異營菌	細菌消毒有效性指標	消毒程序有效性指標及配水系統清潔度與完整性指標	無
Clostridium perfringens	消毒有效性及去除病毒及原生動物之物理處理程序有效性指標	無	腸病毒及原生動物污染指標
大腸桿菌噬菌體	消毒有效性及去除病毒之物理處理程序有效性指標	無	腸病毒及原生動物污染指標
嗜 Bacteroides fragilis 病毒			
腸病毒			
腸球菌	無	無	糞便性污染指標

WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition (2017) Table 7.9 and section 11.6

表 8.1-2 各國對大腸桿菌群、糞便型大腸桿菌、大腸桿菌、腸球菌、*Clostridium perfringens* 的管制情形

國家	總菌落數 異營菌	大腸桿菌群 Total Coliform Group	糞生大腸桿菌群 Fecal coliform	大腸桿菌 ( <i>E. Coli</i> )	腸球菌 Enterococci	產氣莢膜芽胞梭菌 <i>Clostridium perfringens</i>
臺灣	100 /ml	6 MPN/100 ml (多管發酵法) 6 CFU/100 ml (濾膜法)	-	-	-	-
WHO	-	-	ND/100ml <sup>1</sup>	ND/100ml	-	-
美國	(500 colonies/mL)	5% <sup>2</sup>	不可檢出 <sup>2</sup>	不可檢出 <sup>2</sup>	-	-
歐盟	無異常	0/ 100ml	-	0/100 ml	0/100 ml	-
澳洲	-	-	ND/100ml <sup>1</sup>	0/100ml	0/100 ml	-
紐西蘭	-	-	-	<1/100ml	-	-
加拿大	-	ND/100ml	-	0 /100ml	-	-
日本	<100 /ml	- <sup>3</sup>	-	不可檢出	-	-
南韓	-	ND/100ml	ND/100ml	0/100ml	-	-
新加坡	-	-	<1/100ml <sup>1</sup>	<1/100ml	-	-

<sup>1</sup>規範耐熱性大腸菌群

<sup>2</sup>每個月不可超過5%樣品檢出大腸桿菌群(total coliform)；每個月規律檢驗樣品數低於40個樣品的淨水場，大腸桿菌群檢出的樣品數則不得大於1。檢出大腸桿菌群之樣品需進一步分析糞生大腸桿菌群(fecal coliforms)或大腸桿菌；若有連續兩次檢出大腸桿菌群，且其中一次檢出糞便性大腸桿菌或大腸桿菌，則嚴重違反最大污染程度(MCL)。

<sup>3</sup>因*E. Coli* 檢測技術提升，因此以*E.coli*取代原本total coliforms標準

本計畫彙整國際上應用於飲用水可作為糞便污染指標、消毒效率評估指標、過濾處理效能指標及配水管網完整性指標等 4 種指標之指標微生物種類，並探討其運用於我國飲用水管理之可行性。針對上述 4 種指標，篩選代表淨水場於原水、清水及配水點位進行前述指標至少 20 次採樣，分析我國本土淨水場其指標微生物之檢出情況，指標項目包含總菌落數、大腸桿菌群、糞生大腸桿菌群、大腸桿菌(*E. coli*)、*Clostridium perfringens*、腸球菌等至少 6 項。並根據分析結果進行系統性評估，針對我國本土化之微生物指標修正提出建議。

環保署自 109 年起於我國淨水廠針對國際上常用微生物指標進行檢測分析，109 年彙整 105 年至 108 年環保署抽驗飲用水大腸桿菌群檢測結果，挑選重複檢出之 20 個點位進行分析。110 年採樣擇於實施分區供水或減壓供水地區復水後進行採樣分析。在復水時因負壓而造成吸入污水之污染，及停水前後水中微生物群體可能改變、管線 Biofilm 脫落等，採樣時屬於微生物污染風險較高的時期。109-110 年共累積 40 處次檢測資訊，均僅有極少量檢出，或未檢出。本年度持續針對國際上常用微生物指標進行檢測，以累積足夠數據評估我國微生物指標管制標準是否應調整。

### 8.1.1 分析方法

針對大腸桿菌群(Coliform Group)、糞生大腸桿菌群(Fecal coliform)、大腸桿菌(*E. coli*)及腸球菌(Intestinal enterococci)環檢所公告方法彙整如表 8.1-3，本計畫均採用濾膜法(NIEA E230.55B、NIEA E237.53B、NIEA E214.00C、NIEA E237.53B、NIEA E233.50C)，其中大腸桿菌群採用兩種公告分析方法 NIEA E230.55B 及 NIEA E237.53B 進行分析比較。

*Clostridium perfringens* 的分析環檢所未有公告方法，本計畫使用市售固態培養基(成分如表 8.1-4)。實驗分析流程為取 100 ml 樣品用抽氣過濾將樣品中微生物截留在直徑 47 mm、孔徑 0.45 μm 且有格線的無菌濾膜上後，將過濾後之濾膜正面朝上置於固態培養基上，完成後培養基倒放(避免水氣干擾)置於無菌之密封袋內，並置入厭氧包(吸收氧氣釋放二氧化碳)維持袋中厭氧狀態，於 44.5 °C 培養

表 8.1-3 大腸桿菌群、糞生大腸桿菌群、大腸桿菌及腸球菌環檢所公告方法彙整

方法編號	環檢所方法	檢測項目	適用性
NIEA E201.54B	水中大腸桿菌群檢測方法—多管發酵法	大腸桿菌群	地面水體、地下水體、廢水、污水及水源水質水樣
NIEA E202.55B	水中大腸桿菌群檢測方法—濾膜法	大腸桿菌群	地面水體、地下水體、廢水、污水、放流水及海域地面水體
NIEA E213.02C	水中糞生大腸桿菌群(Fecal coliform)檢測方法—多管發酵法	糞便性大腸桿菌群	原水、海水及廢水
NIEA E214.00C	水中糞便性大腸桿菌群檢測方法—濾膜法	糞便性大腸桿菌群	飲用水、湖泊、水庫、河川、溪流、井水、泉水、地下水、娛樂用水、海水及放流水
NIEA E215.52C	水中大腸桿菌群及大腸桿菌檢測方法—酵素呈色及螢光反應檢測法	大腸桿菌群 大腸桿菌	地面水體、地下水體、飲用水水源水質、飲用水水質
NIEA E230.55B	飲用水中大腸桿菌群檢測方法—濾膜法	大腸桿菌群	飲用水及飲用水水源
NIEA E231.53B	飲用水中大腸桿菌群檢測方法—多管發酵法	大腸桿菌群	飲用水及飲用水水源
NIEA E233.50C	水中腸球菌檢測方法—濾膜法	腸球菌	地面水體、地下水體、飲用水水質、飲用水水源水質、娛樂用水、海水
NIEA E234.52C	水中大腸桿菌檢測方法—改良式 mTEC 培養基濾膜法	大腸桿菌	飲用水、飲用水水源、地面水體、地下水體、廢水、污水、放流水及海域地面水體
NIEA E235.51C	水中腸球菌檢測方法—螢光酵素檢測法	腸球菌	地面水、地下水、飲用水、飲用水水源、娛樂用水、海水及廢(污)水
NIEA E237.53B	水中大腸桿菌群及大腸桿菌檢測方法—酵素呈色濾膜法	大腸桿菌群 大腸桿菌	飲用水、飲用水水源、地面水體、地下水體、廢水、污水、放流水及海域地面水體

18-24 小時，完成培養後計算黑色菌落。微生物參數分析之樣品於採樣前均進行排水超過兩分鐘。

**表 8.1-4 Clostridium perfringens 市售固態培養基成分(pH 為 7.6± 0.2 )**

Composition	Concentration
Enzymatic digest of casein	15 g/l
Yeast Extract	5 g/l
Enzymatic digest of soya	5 g/l
Sodium disulfite	1 g/l
Ammonium iron(III) citrate	1 g/l
Agar	12 g/l
D-Cycloserine	0.4 g/l

#### 8.1.2 微生物指標採樣點篩選

本年度彙整 105 年至 110 年環保署抽驗飲用水大腸桿菌群檢測結果(表 8.1-5)，挑選 4 次檢出以上的點位（5 個點位）、2 次檢出以上的點位（15 個點位）以及曾超標點位（3 個）中挑選 20 個點位進行採樣分析。

**表 8.1-5 105 年至 110 年環保署抽驗飲用水大腸桿菌群檢測結果**

年度	檢測數	檢出數	超標數
105	7918	32	0
106	8968	61	0
107	8801	48	0
108	8836	77	2
109	9000	53	1
110	9204	98	0

表 8.1-6 微生物指標採樣點位及挑選原因

點位代號	縣市	區	地址	所屬淨水廠	挑選原因
百三	基隆市	七堵區	工建西路 30 號	六堵淨水場	參考環保署數據 檢出 4 次以上
過港	基隆市	暖暖區	水源路 38 號	暖暖淨水場	參考環保署數據 檢出 4 次以上
復興	基隆市	安樂區	安一路 358 號	安樂淨水場	參考環保署數據 檢出 4 次以上
信三	基隆市	安樂區	麥金路 720 號	新山淨水場	參考環保署數據 檢出 4 次以上
師大	臺北市	大安區	師大路 107 號	公館淨水場	北水處建議調整之點位 (原點位參考環保署數據 近年有重覆檢出)
麥樹仁	新竹縣	尖石鄉	嘉樂村 2 鄰麥樹仁 66 號	尖石淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出
中山南	臺中市	大安區	中山南路 680 號	大安淨水場	台水建議調整之點位 (原點位參考環保署數據 近年有重覆檢出)
同仁	嘉義縣	中埔鄉	同仁村 32-17 號	石弄淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出
龍山	嘉義縣	竹崎鄉	龍山村水道 42 號	竹崎淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出
大庄	嘉義縣	番路鄉	新福村 6 鄰大庄 25 號	觸口淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出
崇文	嘉義市	西區	崇文街 119 巷 13 號	蘭潭淨水場	台水建議調整之點位 (原點位參考環保署數據 近年有重覆檢出)
玉山	嘉義市	西區	玉山路 318 之 1 號	蘭潭淨水場	台水建議調整之點位 (原點位參考環保署數據 近年有重覆檢出)
林森東	嘉義市	東區	林森東路 113 號	公園淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出

表 6.2-6 微生物指標採樣點位及挑選原因（續）

點位代號	縣市	區	地址	所屬淨水廠	挑選原因
茂林 1	高雄市	茂林區	茂林 1：茂林巷 1 之 1 號	茂林淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出
茂林 2	高雄市	茂林區	茂林 2：茂林巷 1 號	茂林淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出
自強	高雄市	前金區	鹽新前 1：自強二路 26-1 號	澄清湖淨水場	台水建議調整之點位 (原點位曾超標)
維興	屏東縣	高樹鄉	新豐村泰和路 98-1 號前	新豐淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出
華光	屏東縣	高樹鄉	華光路 89 號	高樹淨水場	參考環保署數據 檢出 4 次以上
舊寮	屏東縣	高樹鄉	舊寮段舊寮段 149-8 地號	新豐淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出
佳興	屏東縣	泰武鄉	佳興巷 15-1 號	佳興淨水場	參考環保署數據 近年有重覆檢出

### 8.1.3 分析結果與討論

本年度採樣結果如表 8.1-8，分析結果顯示腸球菌及 *Clostridium perfringens* 均未檢出。糞生大腸桿菌群及大腸桿菌分別各僅一處檢出（1-2 CFU/100 mL），且雙重複樣品僅一個樣品有檢出。

大腸桿菌群採用環檢所公告 2 種大腸桿菌群之檢測方法，共三處檢出，其中配水點過港僅採用 E230.55B 分析方法有檢出，2 CFU/100 mL，且雙重複樣品僅一個樣品有檢出；而配水點崇文僅採用 E237.53B 分析方法有檢出，1 CFU/100 mL，且雙重複樣品僅一個樣品有檢出，採用兩種分析方法的檢測結果差異不大。

配水點信三以環檢所公告 2 種大腸桿菌群之檢測方法，結果有顯著差別，採用 E230.55B 分析方法平均測值為 40.5 CFU/100 mL，採用 E237.53B 分析方法則未檢出(<1 CFU/100mL)，此分析結果的差異可能原因包含：(1) 此二方法在設計上有相當程度的差異（表 8.1-7），(2) 過濾時的樣本差異，(3) 金屬光澤或藍色/紅色菌落的判斷可能存在主觀意識，進而造成差異，(4) 目標培養菌群為大腸桿菌群，檢測方法本身目標即非單一菌群，專一性較差。

**表 8.1-7 本計畫採用大腸桿菌群分析方法 E230.55B 及 E237.53B 比較**

方法名稱	飲用水中大腸桿菌群檢測方法—濾膜法	水中大腸桿菌群及大腸桿菌檢測方法—酵素呈色濾膜法
方法編號	NIEA E230.55B	NIEA E237.53B
培養基	m-Endo broth 培養基	含酵素色質之培養基(Chromocult® 加強選擇性大腸桿菌群培養基)
培養溫度	35 °C	35 °C
培養時間	22 小時	22 小時
菌落型態	金屬光澤的菌落	紅色加上深藍至紫色菌落數目之總和即可得到大腸桿菌群數
適用範圍	飲用水及飲用水水源	飲用水及飲用水水源

### 8.1.4 生物性指標建議

建議參考國際管制趨勢，以管制大腸桿菌取代現有專一性較差之大腸桿菌群。

此外配水點（信三）檢出較高總菌落數及大腸桿菌群，可能因基隆市受乾旱影響，該點餘氯亦較低，顯示維持自由有效餘氯仍是重要減少配水中微生物的重要措施。

表 8.1-8 微生物指標採樣結果（單位均為 CFU/100 mL）

點位 代號	餘氯 (mg/L)	大腸桿菌群 (E230.55B)		大腸桿菌群 (E237.53B)		糞生 大腸桿菌群		E.coli		腸球菌		Clostridium perfringens	
百三	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
過港	0.62	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
復興	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
信三	0	41	40	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
師大	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
麥樹仁	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中山南	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
同仁	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
龍山	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大庄	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
崇文	0.02	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
玉山	0.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
林森東	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茂林 1	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
茂林 2	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
自強	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
維興	0.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
華光	0.73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
舊寮	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
佳興	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 8.2 毒理資料庫建置與更新

本計劃將針對 6 項優先評估物質彙編毒理資料庫，並彙編更新飲用水水質標準管制項目及新興污染物毒理資料，並更新至少 18 項(含補齊列管項目資料)，參考資料如下：

- 一、聯合國 International Agency for Research on Cancer (IARC)
- 二、美國環保署 Integrated Risk Information System (IRIS)
- 三、澳洲 The National Health and Medical Research Council (NHMRC)
- 四、加拿大衛生部 Health Canada (HC)
- 五、TOXNET (包含 ChemIDplus, Hazardous Substances Data Bank (HSDB), Toxicology Literature Online (TOXLINE), Chemical Carcinogenesis Research Information System (CCRIS), Developmental and Reproductive Toxicology Database (DART), Genetic Toxicology Data Bank (GENE-TOX), Integrated Risk Information System (IRIS), International Toxicity Estimates for Risk (ITER), Drugs and Lactation Database (LactMed), Toxics Release Inventory (TRI)等資料庫)
- 六、International Agency for Research on Cancer (WHO-IARC)
- 七、International Program on Chemical Safety (WHO-IPCS)
- 八、世界衛生組織 WHO 飲用水水質指引
- 九、ACToR (Aggregated Computational Toxicology Resource) from EPA
- 十、European Chemicals Agency (ECHA)
- 十一、 Haz-Map
- 十二、 安全資料表（勞動部職業安全衛生署 GHS 網站）
- 十三、 國家網路藥典（國家網路醫藥）

毒理資料內容包含該物質之分析方法、環境背景資料、毒理研究摘錄與有害性鑑定、劑量效益評估、暴露評估、暴露途徑、風險特徵描述、處理技術及管制評估等。

歷年未列管新興污染物及列管物質之毒理資料庫新增與更新項目見表 8.2-1。

表 8.2-1 歷年未列管染物及列管物質毒理資料庫新增與更新項目

年度	毒理資料新增或更新項目
103	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 8 項農藥： 加保利、賽滅寧、芬殺松、百滅寧、托福松、賓克隆、甲基多保淨、固殺草</li> </ul>
104	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 17 項 6 項有機物：1,2-二溴乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,2,3-三氯丙烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、六氯苯、六氯環戊二烯、</li> <li>● 更新 11 項觀察清單物質： 微囊藻毒 LR 型、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、甲醛、鎔、鋒</li> </ul>
105	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 12 項 鉍、硼、鈷、全氟辛烷磺酸 (PFOA)、全氟辛烷磺酸 (PFOS)、嘉磷塞、大腸桿菌 (<i>E. coli</i>)、糞生大腸桿菌群、碲、雙酚 A、鉈、1,2-二溴乙烷</li> </ul>
106	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 6 項： 馬拉松、歐殺滅、愛殺松、N-亞硝二甲胺、N-亞硝二乙胺、N-亞硝基吡咯烷</li> <li>● 更新飲用水列管項目 18 項： 9 項重金屬（砷、鉛、硒、鉻、鎘、鋇、銻、鎳、汞）及 9 項揮發性有機物（三氯乙烯、四氯化碳、1,1,1-三氯乙烷、1,2-二氯乙烷、氯乙烯、苯、對-二氯苯、1,1-二氯乙烯、二氯甲烷）</li> </ul>
107	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 6 項： 吲哚美辛、磺胺甲噁唑、磺胺噻唑、氟甲喹、克拉黴素、雙氯芬酸</li> <li>● 更新飲用水列管項目 18 項： 金屬 7 項（銀、鐵、錳、銅、鋅、銦、鉬）、農藥 6 項（滅必蟲、達馬松、大利松、巴拉松、伊品松、亞素靈）及有機物 5 項（戴奧辛、甲苯、二甲苯、順-1,2-二氯乙烯、四氯乙烯）</li> </ul>
108	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 6 項： 金屬（釩、鎢、鋨、鋰、鉻、鈦）</li> <li>● 更新飲用水列管項目 12 項： 總三鹵甲烷、氯仿、溴仿、一溴二氯甲烷、一氯二溴甲烷、氟鹽、亞硝酸鹽氮、氟鹽、硝酸鹽氮、氯鹽、硫酸鹽、氨基</li> </ul>
109	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 6 項： 全氟己酸(PFHxA)、全氟丁酸(PFBA)、全氟丁基磺酸(PFBS)、全氟壬酸(PFNA)、全氟十一烷酸(PFUuDA)、全氟庚酸(PFHpA)</li> <li>● 更新 18 項新興污染物： 氯四環黴素、二苯甲酮、二乙基間甲苯胺、對羥基苯甲酸甲酯、對羥基苯甲酸乙酯、對羥基苯甲酸丙酯、對羥基苯甲酸丁酯、鉻、異丙醇、加保利、賽滅寧、芬殺松、百滅寧、賓克隆、甲基多保淨、固殺草、1,2,3-三氯丙烷、1,1,2-三氯乙烷</li> </ul>

**表 6.3-1 歷年未列管染物及列管物質毒理資料庫新增與更新項目（續）**

年度	毒理資料新增或更新項目
110	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 6 項： 雌素酮(E1)、雌二醇(E2)、乙炔動情激素(EE2)、黃體脂酮、炔諾酮、甲羥孕酮。</li> <li>● 新增飲用水列管項目 3 項： 溴酸鹽、亞氯酸鹽、陰離子界面活性劑</li> <li>● 更新 15 項新興污染物： 鄰苯二甲酸二正辛酯、陶斯松、大滅松、福瑞松、托福松、布洛芬、乙醯胺酚、凱妥布洛芬、萘普生、非諾布洛芬、氨基比林、非那雄胺、羥苯甲酮、四環黴素、羥四環黴素</li> </ul>
111	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 新增新興污染物 9 項： 五溴六苯醚、六溴六苯醚、七溴六苯醚、八溴六苯醚、九溴六苯醚、十溴六苯醚、土臭素(geosmin)、土霉味(2-MIB)、全氟己烷磺酸(PFHxS)</li> <li>● 更新 15 項新興污染物 全氟辛烷酸 (PFOA)、全氟辛烷磺酸 (PFOS)、馬拉松、歐殺滅、愛殺松、N-亞硝二甲胺、N-亞硝二乙胺、N-亞硝基吡咯烷、呴哚美辛、磺胺甲噁唑、磺胺噻唑、氟甲喹、克拉黴素、雙氯芬酸、氯四環黴素</li> </ul>

### 8.2.1 毒理資料庫項目新增

完成新增 9 項未列管新興污染物項目毒理資料庫，包含五溴二苯醚、六溴二苯醚、七溴二苯醚、八溴二苯醚、九溴二苯醚、十溴二苯醚、土臭味 (Geosmin)、土霉味 (2-MIB)、全氟己烷磺酸 (PFHxS) 等，以下為 9 項新增之毒理資料庫簡述，詳細毒理資料庫及更新 15 項新興污染物毒理資料請參閱附錄。

#### 五溴二苯醚

商業上五溴二苯醚(prntaBDE)主要使用在阻燃功能，作為生產家具產品的添加劑，因此常在家具和室內裝潢的軟質聚氨酯泡沫塑料中作為阻燃的添加劑。五溴二苯醚對人類尚未看到直接健康效應，但動物實驗資料顯示五溴二苯醚可能對肝臟、甲狀腺及神經行為的發育產生影響。IARC 基於缺乏人類證據及對動物有限的致癌性證據，多溴二苯醚一群無法歸類對人類有致癌性。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌。

#### 六溴二苯醚

多溴二苯醚為阻燃的化學物質，添加到塑膠和發泡產品使其難以燃燒。這些物質不是單一的化學物質，而是數種溴化物質的混合物，在四溴二苯醚、五溴二苯醚

和八溴二苯醚的商業製劑中，發現六溴二苯醚（hexaBDE）是一種雜質。當多溴二苯醚的產品廢棄或碎裂後，或是製造多溴二苯醚的過程，使其中的六溴二苯醚經由氣態或附著於小顆粒散佈於環境中，沈入河川底泥及進入食物鏈。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌。

### **七溴二苯醚**

七溴二苯醚(heptaBDE)為屬於多溴二苯醚族群中之一種化合物。因其具有熱穩定性和成本低，多溴二苯醚類物質常用做樹脂聚合物、塑料、粘合劑、密封劑和塗料等添加的阻燃劑。七溴二苯醚化合物沒有商業生產或使用，但商業的八溴二苯醚混合物約有 44% 的七溴二苯醚。IARC 基於缺乏人類證據及對動物有限的致癌性證據，多溴二苯醚一群無法歸類對人類有致癌性。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌。

### **八溴二苯醚**

八溴二苯醚（octa-BDE）為一種溴化阻燃劑，屬於多溴二苯醚(PBDEs)族群中之化合物。因其具有熱穩定性和成本低，常用做阻燃劑，商業上的八溴二苯醚是不同 PBDE 同系物的技術混合物。沒有證據顯示八溴二苯醚對人體有健康上的效應，在動物實驗方面，可能對肝臟、甲狀腺及神經發育有影響。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌(USEPA, 2000)。

### **九溴二苯醚**

九溴二苯醚(nonaBDE)為屬於多溴二苯醚族群中之一種化合物，多溴二苯醚類物質常用做樹脂聚合物、塑料、粘合劑、密封劑和塗料等添加的阻燃劑。重要的商業化生產多溴二苯醚混合物為五溴二苯醚、八溴二苯醚、十溴二苯醚。九溴二苯醚來源為十溴二苯醚混合物中釋放出或十溴二苯醚經降解後生成九溴二苯醚。IARC 基於缺乏人類證據及對動物有限的致癌性證據，多溴二苯醚一群無法歸類對人類有致癌性。

### **十溴二苯醚**

十溴二苯醚(deca-BDE)因其具有熱穩定性和成本低，和其他有機溴阻燃劑類似，十溴二苯醚廣泛使用在多種用品的防火，包括建築材料、電子產品、家具、塑料、紡

織品等，有時也被用於黏著劑、密封劑、塗料和油墨上。沒有證據顯示八溴二苯醚對人體有健康上的效應，在動物實驗方面，可能對肝臟、甲狀腺及神經發育有影響。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，對十溴二苯醚則分類為 C，可能對人類致癌(USEPA, 2000)。

### 全氟己烷磺酸（PFHxS）

全氟己烷磺酸（PFHxS）類似全氟辛烷磺酸(PFOS)，由於有良好的防水及防油性能，因此用於紡織品，如地毯處理溶液，也用於消防泡沫中，以前用於消防泡沫和地毯處理溶液導致使用後經由廢物流流布於環境中。PFHxS 及其鹽類在 2017 年 7 月被認定為高度關注物質(SVHC)，而加入 SVHC 候選清單中。一般人接觸到全氟化物基本上普遍存在，主要的暴露途徑是經由食物、飲用水攝入含有 PFHxS 的食物，吸入空氣中含有 PFHxS 的粉塵，使用接觸含有 PFHxS 的消費品而暴露，因而在人體中普遍廣泛的存在，且這些物質都有自人體排除緩慢的特性。全氟己烷磺酸可能是影響發育的神經毒性物質，作用類似 PFOS、PFOA 等。

### 土臭素（geosmin）

土臭素（geosmin）是一種由放線菌或真菌所產生的代謝產物，為具有泥土氣味的天然雙有機化合物，如天氣乾旱後下雨時，空氣中的味道，或當土壤被翻動時產生的氣味，皆是由放線菌或真菌產生的土臭素味道，土臭素也是造成穀物、魚類、蔬果等不同食物中泥土異味的原因。人類對於土臭素及 2-MIB 的嗅味閾值為 4~10 ng/L，在此濃度下，geosmin 及 2-MIB 對人類沒有直接的健康危害證據，但對公共用水來說，這些臭味物質則會影響飲用水適飲性。

### 土霉味（2-MIB）

2-methylisoborneol（MIB）為具有土霉味的天然有機化合物，是一種由放線菌或藍綠菌所產生的代謝產物，水中若有藻類優養化情形，如 Cyanobacteria 藍綠藻大量生長，甚至出現藻華情形時，藻類代謝物質如 geosmin 及 2-MIB，會給水帶來泥土味或霉味。而人類對於土臭素（geosmin）及 2-MIB 的嗅味閾值為 4~10 ng/L，在此濃度下，geosmin 及 2-MIB 對人類沒有直接的健康危害證據，但對公共用水來說，這些臭味物質則會影響飲用水適飲性。但會產生土黴味 geosmin 或 2-MIB 的藍綠藻類，可能也會釋放出藻毒素，這些毒素會導致肝臟、神經系統、皮膚傷害等健康影響。

### 8.3 預定進度及查核點

工作內容項目	月份	預定進度									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1. 篩選初步清單物質優先評估之項目、建立本土原水及清水資料，完成健康風險評估並彙編其毒理資料庫											
2. 初步蒐集清單優先評估物質之採樣											
3. 推動飲用水列管項目篩選作業											
4. 召開專家諮詢會											
5. 國內飲用水水質或水源水質中未列管之新興污染物抽驗											
6. 比較分析我國與世界衛生組織、歐盟、美國、澳洲及日本管理法規制度，並提出精進建議											
7. 簡易自來水水質資料彙整與評估											
8. 生物性參數水質抽驗											
9. 行政配合事項											
10. 第一次工作進度報告及期中、期末報告撰寫											
預定進度累積百分比 (%)		5	20	35	45	55	65	75	90	100	
查核點	預定完成時間	查核點內容說明									
第一次工作進度報告	111 年 5 月	(1) 篩選初步清單物質優先評估項目及採樣淨水廠 (2) 篩選新興汙染物抽驗及生物性參數採樣淨水廠 (3) 完成第一次專家諮詢會及會議資料整理									
期中報告	111 年 8 月	(1) 完成第二次專家諮詢會及會議資料整理 (2) 完成第一及第二次優先評估物質水質採樣 (3) 完成近 10 年簡易自來水水質管制項目及新興污染物水質檢測結果彙整 (4) 更新初步蒐集清單、蒐集清單、觀察清單內容									
期末報告	111 年 11 月	(1) 比較我國與世界衛生組織、歐盟、美國、澳洲及日本管理法規制度，並提出精進建議 (2) 完成優先評估物質三次水質採樣及檢測 (3) 完成第三次專家諮詢會及會議資料整理 (4) 完成飲用水新興污染物抽驗及飲用水指標微生物分析									

### 8.3.1 各工項進度說明

#### 一、篩選初步清單物質優先評估之項目、建立本土原水及清水資料，完成健康風險評估並彙編其毒理資料庫

本計畫完成選定 6 項多溴二苯醚類物質，並建立其毒理資料庫。(3.1 節及附錄 8.1-8.6)

#### 二、初步蒐集清單優先評估物質之採樣

本計畫完成三次採樣，採樣分析結果均為未檢出。(3.2-3.3 節)

#### 三、推動飲用水列管項目篩選作業

本計畫完成初步蒐集清單、蒐集清單、觀察清單物質更新，並初步完成蒐集清單物質是否提高關注層級評估及觀察清單物質是否可降低關注層級評估。(第二章)

#### 四、召開專家諮詢會

完成三次專家諮詢會議。(附錄二)

#### 五、國內飲用水水質或水源水質中未列管之新興污染物抽驗

完成抽驗 26 項未列管新興污染物共 3340 處次。(第四章)

#### 六、比較分析我國與世界衛生組織、歐盟、美國、澳洲及日本管理法規制度，並提出精進建議

本計畫彙整國際上以飲用水為目的之水回收再利用(Potable reuse)之作法及案例。(第六章、第七章)

#### 七、簡易自來水水質資料彙整與評估

蒐集彙整我國做為飲用水使用之簡易自來水系統水源與淨水程序資訊，及近十年飲用水水質標準管制項目與未列管項目水質分析結果，並提出管理建議。(第五章)

#### 八、生物性參數水質抽驗

完成 20 處次採樣分析，並提出建議。(8.1 節)

#### 九、行政配合事項

配合署裡彙整相關資訊。

#### 十、第一次工作進度報告及期中、期末報告撰寫

完成第一次工作進度報告及期中、期末報告撰寫。

## 第九章 結論與建議

### 9.1 結論

本計畫辦理飲用水列管物質篩選作業，優先評估 6 項多溴二苯醚類，於我國 6 座代表性淨水場進行監測及資料蒐集，三次採樣結果均未檢出，顯示此 6 項多溴二苯醚類於我國暫無顯著風險，因此為無需急迫關切的物質，後續暫無持續監測之必要。

本年度更新各階層關注清單，並彙整蒐集清單毒理資料及本土淨水廠檢測資料，經專家會議討論評估後將 N-亞硝基吡咯烷及全氟己烷磺酸納入觀察清單。此外原觀察清單中之甲醛及鎔，評估歷年檢測資訊後考量現有檢測數據足夠且結果顯示於我國飲用水中暫無顯著危害，經專家會議討論後，此二項物質改列蒐集清單，以有效運用檢測能量。

本計畫抽驗飲用水中 26 項未列管新興污染物共 3340 處次，結果顯示有 14 項污染物均低於定量極限或偵測極限，其他檢出之污染物濃度也極低，僅銻、硼、Geosmin、全氟化合物有少數樣品有較高檢出濃度，須持續監測。

微生物指標於我國 20 處次配水樣品的檢出情況結果顯示僅一配水點可能因於餘氯低，檢出大腸桿菌群，顯示維持自由有效餘氯仍是重要減少配水中微生物的重要措施。十年簡易自來水場飲用水水質結果顯示亦顯示不合格或高於國際管制值最小值的項目主要為微生物指標（總菌落數、大腸桿菌群、糞生大腸桿菌群、大腸桿菌等），與是否有消毒單元或消毒單元是否有妥適操作有關。

針對極端氣候因應方式部分本計畫彙整國際上以飲用水為目的之水回收再利用相關作法與案例，除技術及行政管理上的作為外，公眾溝通在水回收利用上亦扮演關鍵角色。短時間內台灣飲用水透過水資源的調配使用，尚可提供足夠飲用水，短期內廢水回收主要做工業用水使用，然未來氣候變遷影響程度尚無法完全預期掌握，於技術層面可參考國際現有之成熟技術，而公眾溝通對台灣未來若要使用水回收作飲用水用會是較大的挑戰。

## 9.2 建議

針對國飲用水中水質標準中生物性指標建議以大腸桿菌取代大腸桿菌群作管制，未來若要進行修訂應亦一併考量飲用水水源水質標準中生物性指標。

未列管新興汙染物抽驗結果顯示澎湖望安、馬公及馬祖南竿地區三處飲用水系統中檢測出硼濃度超過國際管制值  $1\text{ mg/L}$ ，但其濃度均小於  $1.3\text{ mg/L}$ ，在可接受範圍內，未來可考慮針對海淡廠供水系統硼的水質管理制定相關規範。

簡易自來水系統管理部分，考量簡易自來水供水水質管理採簡易自來水管理委員會自主管理方式為主，對消毒劑添加於供水系統之必要性認知相當欠缺，管理習慣上不採用消毒處理設施居多，故水質不合格事件多為生物性指標超標所致，於暴雨或颱風期間水質惡化時，建議地方環保單位可加強檢測簡易自來水系統供水水質，並宣傳民眾飲水煮沸後飲用等措施，以提升簡易自來水水質稽核管制績效，或可提供簡易水質檢測工具或設備給系統維管人員，減少地方環保單位人力壓力。

未來若考慮採用水回收作飲用水使用，建議應逐步建立我國民眾的接受度，並先採用間接水回收再利用，補注地下水或導入水庫再自淨，提高民眾接受度。

## 參考文獻

- Adami, H. O., Bergstrom, R., Mohner, M., Zatonski, W., Storm, H., Ekbom, A., Tretli, S., Teppo, L., Ziegler, H., Rahu, M., and et al. (1994). Testicular cancer in nine northern European countries. *Int. J. Cancer* 59, 33-38.
- Arcand-Hoy, L. D., Nimrod, A. C., and Benson, W. H. (1998). Endocrine-modulating substances in the environment: estrogenic effects of pharmaceutical products. *Int. J. Toxicol.* 17, 139-158.
- Aris, A.Z., Shamsuddin, A.S., Praveena, S.M., (2014). Occurrence of 17 $\alpha$ -ethynodiol (EE2) in the environment and effect on exposed biota: a review. *Environ. Int.* 69,104–119.
- Auger, J., Kunstmann, J. M., Czyglik, F., and Jouannet, P. (1995). Decline in semen quality among fertile men in Paris during the past 20 years. *N. Engl. J. Med.* 332, 281-285.
- Barber, L.B., Loyo-Rosales, J.E., Rice, C.P., Minarik, T.A., Oskouie, A.K., (2015). Endocrine disrupting alkylphenolic chemicals and other contaminants in wastewater treatment plant effluents, urban streams, and fish in the Great Lakes and Upper Mississippi River regions. *Sci. Total Environ.* 517, 195–206
- Baronti, C., Curini, R., D'Ascenzo, G., Di Corcia, A., Gentili, A., and Samperi, R. (2000). Monitoring natural and synthetic estrogens at activated sludge sewage treatment plants and in a receiving river water. *Environ. Sci. Technol.* 34, 5059-5066.
- Bergstrom, R., Adami, H. O., Mohner, M., Zatonski, W., Storm, H., Ekbom, A., Tretli, S., Teppo, L., Akre, O., and Hakulinen, T. (1996). Increase in testicular cancer incidence in six European countries: a birth cohort phenomenon. *J. Natl. Cancer Inst.* 88, 727-733.
- Birkett, J. W. (2003). Source of endocrine disrupters. In *Endocrine Disrupters in Wastewater and Sludge Treatment Processes* (J. W. Birkett, and J. N. Lester, Eds.), pp. 35-57. CRC Press LLC, London.
- California. Bill Text-AB-495 Cosmetics: Safety (2020).
- Demirtepe, H., I. Imamoglu. Levels of polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecane in treatment plant sludge: implications on sludge management. *Chemosphere*, 221 (2019), pp. 606-615
- Deng, D., H. Chen, N.F.Y. Tam. Temporal and spatial contamination of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in wastewater treatment plants in Hong Kong. *Sci. Total Environ.*, 502 (2015), pp. 133-142
- Deng, Y., L. Tang, C. Feng, G. Zeng, Z. Chen, J. Wang, H. Feng, B. Peng, Y. Liu, Y. Zhou Insight into the dual-channel charge-charrier transfer path for nonmetal

- plasmonic tungsten oxide based composites with boosted photocatalytic activity under full-spectrum light. *Appl. Catal. B: Environ.*, 235 (2018), pp. 225-237
- Desbrow, C., Routledge, E. J., Brighty, G. C., Sumpter, J. P., and Waldoch, M. (1998). Identification of estrogenic chemicals in STW effluent. 1. Chemical fractionation and in vitro biological screening. *Environ. Sci. Technol.* 32, 1549-1558.
- Fan, C. C., & Lin, T. F. (2018). N-nitrosamines in drinking water and beer: Detection and risk assessment. *Chemosphere*, 200, 48-56. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.02.025
- FDA. Indirect Food Additives: Polymers (2012).
- FDA. Indirect Food Additives: Adhesives and Components of Coatings. (2013).
- Fenet, H., Gomez, E., Pillon, A., Rosain, D., Nicolas, J. C., Casellas, C., and Balaguer, P. (2003). Estrogenic activity in water and sediments of a French river: Contribution of alkylphenols. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 44, 1-6.
- Ferguson, P., Iden, C., and Brownawell, B. (2001). Distribution and fate of neutral alkylphenol ethoxylate metabolites in a sewage-impacted urban estuary. *Environ. Sci. Technol.* 35, 2428-2435.
- Gerecke, A.C., W. Giger, P.C. Hartmann, N.V. Heeb, H.-P.E. Kohler, P. Schmid, M. Zennegg, M. Kohler. Anaerobic degradation of brominated flame retardants in sewage sludge. *Chemosphere*, 64 (2006), pp. 311-317
- Gomes, R. L., and Lester, J. N. (2003). Methods for the determination of endocrine disrupters. In *Endocrine Disrupters in Wastewater and Sludge Treatment Processes* (J. W. Birkett, and J. N. Lester, Eds.), pp. 177-217. CRC Press LLC, London.
- Guardia, M.J. La, R.C. Hale. Halogenated flame-retardant concentrations in settled dust, respirable and inhalable particulates and polyurethane foam at gymnastic training facilities and residences. *Environ. Int.*, 79 (2015), pp. 106-114
- Hansen, B., Munn SJ, De Bruijn J, Pakalin S, Luotamo M, and F, B. (2002a). 4-Nonylphenol (branched) and nonylphenol risk assessment. . In European Union Risk Assessment Report. (Office for Official Publications of the European Communities, Ed.), pp. 1-244. (JRC) EC-JRC, Protection IfHaC, (ECB) ECB,, Merseyside, UK.
- Houde, F., DeBlois, C., and Berryman, D. (2002). Liquid chromatographic-tandem mass spectrometric determination of nonylphenol polyethoxylates and nonylphenol carboxylic acids in surface water. *J. Chromatogr. A* 961, 245-256.
- Huang A. , N. Wang, M. Lei, L. Zhu, Y. Zhang, Z. Lin, D. Yin, H. Tang. Efficient oxidative debromination of decabromodiphenyl ether by TiO<sub>2</sub>-mediated photocatalysis in aqueous environment. *Environ. Sci. Technol.*, 47 (2013), pp. 518-525

- Iguchi, T. (2000). Embryonic and neonatal exposure to endocrine-altering contaminants: effects on mammalian female reproduction. In Environmental Endocrine Disrupters: an Evolutionary Perspective (L. J. Guillette, Jr., and D. A. Crain, Eds.), pp. 234-268. Taylor & Francis, New York.
- Jia, Y., F. Hu, Y. Lv, Y. Chen, Y. Hu. Biomineratization of 2'2'4'4'-Tetrabromodiphenyl ether in a *Pseudomonas putida* and Fe/Pd nanoparticles integrated system. *Chemosphere*, 221 (2019), pp. 301-313
- Jobling, S., Beresford, N., Nolan, M., Rodgers-Gray, T., Brighty, G. C., Sumpter, J. P., and Tyler, C. R. (2002a). Altered sexual maturation and gamete production in wild roach (*Rutilus rutilus*) living in rivers that receive treated sewage effluents. *Biol. Reprod.* 66, 272-281.
- Jobling, S., Coey, S., Whitmore, J. G., Kime, D. E., Van Look, K. J. W., McAllister, B. G., Beresford, N., Henshaw, A. C., Brighty, G., Tyler, C. R., and Sumpter, J. P. (2002b). Wild intersex roach (*Rutilus rutilus*) have reduced fertility. *Biol. Reprod.* 67, 515-524.
- Jobling, S., Nolan, M., Tyler, C. R., Brighty, G., and Sumpter, J. P. (1998). Widespread sexual disruption in wild fish. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2498-2506.
- Jobling, S., Sheahan, D., Osborne, J. A., Matthiessen, P., and Sumpter, J. P. (1996). Inhibition of testicular growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to estrogenic alkylphenolic chemicals. *Environ. Toxicol. Chem.* 15, 194-202.
- Johnson, A. C., Belfroid, A., and Di Corcia, A. (2000). Estimating steroid oestrogen inputs into activated sludge treatment works and observations on their removal from the effluent. *Sci. Total Environ.* 256, 163-173.
- Johnson, A. C., and Sumpter, J. P. (2001). Removal of endocrine-disrupting chemicals in activated sludge treatment works. *Environ. Sci. Technol.* 35, 4697-4703.
- Jonkers, N., Laane, R., de Graaf, C., and de Voogt, P. (2005a). Fate modeling of nonylphenol ethoxylates and their metabolites in the Dutch Scheldt and Rhine estuaries: validation with new field data. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 62, 141-160.
- Jonkers, N., Laane, R., and de Voogt, P. (2005b). Sources and fate of nonylphenol ethoxylates and their metabolites in the Dutch coastal zone of the North Sea. *Mar. Chem.* 96, 115-135.
- Jonkers, N., Laane, R., and De Voogt, P. (2003). Fate of nonylphenol ethoxylates and their metabolites in two Dutch estuaries: Evidence of biodegradation in the field. *Environ. Sci. Technol.* 37, 321-327.
- Kim, M., P. Guerra, M. Theocharides, K. Barclay, S.A. Smyth, M. Alaee. Polybrominated diphenyl ethers in sewage sludge and treated biosolids: effect factors and mass balance. *Water Res.*, 47 (2013), pp. 6496-6505

- Krogh, K. A., Halling-Sorensen, B., Mogensen, B. B., and Vejrup, K. V. (2003). Environmental properties and effects of nonionic surfactant adjuvants in pesticides: a review. *Chemosphere* 50, 871-901.
- Kuruto-Niwa R, Nozawa R, Miyakoshi T, Shiozawa T, and Y., T. (2005). Estrogenic activity of alkylphenols, bisphenol S, and their chlorinated derivatives using a GFP expression system. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 19, 121-130.
- Larsson, D. G. J., Adolfsson-Erici, M., Parkkonen, J., Pettersson, M., Berg, A. H., Olsson, P. E., and Forlin, L. (1999). Ethinyloestradiol - an undesired fish contraceptive? *Aquat. Toxicol.* 45, 91-97.
- Layout, A. C., Gregory, B. W., Seward, J. R., Schultz, T. W., and Sayler, G. S. (2000). Mineralization of steroid hormones by biosolids in wastewater treatment systems in Tennessee USA. *Environ. Sci. Technol.* 34, 3925-3931.
- LeBlanc, G. A. (2000). Steroid hormone-regulated processes in invertebrates and their susceptibility to environmental endocrine disruption. In *Environmental Endocrine Disruptors: an Evolutionary Perspective* (L. J. Guillette, Jr., and D. A. Crain, Eds.), pp. 126-154. Taylor & Francis, New York.
- Lei, M., N. Wang, L. Zhu, C. Xie, H. Tang. A peculiar mechanism for the photocatalytic reduction of decabromodiphenyl ether over reduced graphene oxide-TiO<sub>2</sub> photocatalyst. *Chem. Eng. J.*, 241 (2014), pp. 207-215
- Lei, M., N. Wang, L. Zhu, Q. Zhou, G. Nie, H. Tang. Photocatalytic reductive degradation of polybrominated diphenyl ethers on CuO/TiO<sub>2</sub> nanocomposites: a mechanism based on the switching of photocatalytic reduction potential being controlled by the valence state of copper. *Appl. Catal. B: Environ.*, 182 (2016), pp. 414-423
- Li, B., K. Wang, L.-X. Ma, S.-J. Sun, L.-R. Jia, A.-N. Yuan, J.-M. Shen, H. Qi, A.-P. Zhang. Deca-BDE and alternative halogenated flame retardants in a wastewater treatment plant in Harbin (2009–2016): occurrence, temporal trends, seasonal variation, and fate. *Sci. Total Environ.*, 625 (2018), pp. 1156-1163
- Liu, L., Y. Zhang, R. Liu, Z. Wang, F. Xu, Y. Chen, K. Lin. Aerobic debromination of BDE-209 by Rhodococcus sp. coupled with zerovalent iron/activated carbon. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 23 (2015), pp. 3925-3933
- Loyo-Rosales, J., Schmitz-Afonso, I., Rice, C., and A., T. ( 2003). Analysis of octyl- and nonylphenol and their ethoxylates in water and sediments by liquid
- Lv, Y., Z. Zhang, Y. Chen, Y. Hu. A novel three-stage hybrid nano bimetallic reduction/oxidation/biodegradation treatment for remediation of 2,2'4,4'-tetrabromodiphenyl ether. *Chem. Eng. J.*, 289 (2016), pp. 382-390

- Lye, C. M., Frid, C. L. J., Gill, M. E., and McCormick, D. (1997). Abnormalities in the reproductive health of flounder *Platichthys flesus* exposed to effluent from a sewage treatment works. *Mar. Pollut. Bull.* 34, 34-41.
- McGrath, T.J., P.D. Morrison, A.S. Ball, B.O. Clarke. Spatial distribution of novel and legacy brominated flame retardants in soils surrounding two Australian electronic waste recycling facilities. *Environ. Sci. Technol.*, 52 (2018), pp. 8194-8204
- Meeker, J.D.. (2012). Exposures to environmental endocrine disruptors and child development *Arch. Pediatr Adolec Med.*, 166, pp. 952-958.
- Menditto, A., and Turrio-Baldassarri, L. (1999). Environmental and biological monitoring of endocrine disrupting chemicals. *Chemosphere* 39, 1301-1307.
- Metcalfe, C. D., Metcalfe, T. L., Kiparissis, Y., Koenig, B. G., Khan, C., Hughes, R. J., Croley, T. R., March, R. E., and Potter, T. (2001). Estrogenic potency of chemicals detected in sewage treatment plant effluents as determined by in vivo assays with Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 297-308.
- Miyamoto J, and W., K. (1998). Environmental exposure, species differences and risk assessment. . *Pure Appl. Chem.* 70, 1829-1845.
- Montgomery-Brown, J., Drewes, J. E., Fox, P., and Reinhard, M. (2003). Behavior of alkylphenol polyethoxylate metabolites during soil aquifer treatment. *Water Res.* 37, 3672-3681.
- Morley, M. C., Snow, D. D., Fox, A., and Youngblood, D. (2004). Emerging chemicals and analytical methods. *Water Environ. Res.* 76, 481-530.
- Mueller, S., Schmid, P., and Schlatter, C. (1998). Evaluation of the estrogenic potency of nonylphenol in non-occupationally exposed humans. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 6, 27-33.
- Nose, K., S. Hashimoto, S. Takahashi, Y. Noma, S.-i. Sakai. Degradation pathways of decabromodiphenyl ether during hydrothermal treatment. *Chemosphere*, 68 (2007), pp. 120-125
- Pan, Y., D.C.W. Tsang, Y. Wang, Y. Li, X. Yang. The photodegradation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in various environmental matrices: kinetics and mechanisms. *Chem. Eng. J.*, 297 (2016), pp. 74-96
- Petrovic, M., Barcelo, D., Diaz, A., and Ventura, F. (2003). Low nanogram per liter determination of halogenated nonylphenols, nonylphenol carboxylates, and their non-halogenated precursors in water and sludge by liquid chromatography electrospray tandem mass spectrometry. *J. Am. Soc. Mass Spectrom.* 14, 516-527.
- Petrovic, M., Eljarrat, E., de Alda, M. J. L., and Barcelo, D. (2004). Endocrine disrupting compounds and other emerging contaminants in the environment: A

- survey on new monitoring strategies and occurrence data. *Anal. Bioanal. Chem.* 378, 549-562.
- Qiao, L., X.-B. Zheng, J. Zheng, S.-J. Chen, C.-Q. Zhong, S.-J. Chen, Z.-Y. Yang, B.-X. Mai. Legacy and currently used organic contaminants in human hair and hand wipes of female e-waste dismantling workers and workplace dust in south China. *Environ. Sci. Technol.*, 53 (2019), pp. 2820-2829
- Qu, R., C. Li, X. Pan, X. Zeng, J. Liu, Q. Huang, J. Feng, Z. Wang. Solid surface-mediated photochemical transformation of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in aqueous solution. *Water Res.*, 125 (2017), pp. 114-122
- Rice, C., Schmitz-Afonso, I., and Loyo-Rosales JE, L. E., Thoma R, Fay L, et al. (2003). Alkylphenol and alkylphenol-ethoxylates in carp, water, and sediment from the Cuyahoga River, Ohio. *Environ. Sci. Technol.* 37, 3747-3754.
- Robinson, C. D., Brown, E., Craft, J. A., Davies, I. M., Moffat, C. F., Pirie, D., Robertson, F., Stagg, R. M., and Struthers, S. (2003). Effects of sewage effluent and ethynodiol upon molecular markers of oestrogenic exposure, maturation and reproductive success
- Rodgers-Gray, T. P., Jobling, S., Morris, S., Kelly, C., Kirby, S., Janbakhsh, A., Harries, J. E., Waldock, M. J., Sumpter, J. P., and Tyler, C. R. (2000). Long-term temporal changes in the estrogenic composition of treated sewage effluent and its biological effects on fish. *Environ. Sci. Technol.* 34, 1521-1528.
- Routledge, E. J., and Sumpter, J. P. (1996). Estrogenic activity of surfactants and some of their degradation products assessed using a recombinant yeast screen. *Environ. Toxicol. Chem.* 15, 241-248.
- Santos, M.S.F., A. Alves, L.M. Madeira. Chemical and photochemical degradation of polybrominated diphenyl ethers in liquid systems-A review. *Water Res.*, 88 (2016), pp. 39-59
- Schmitz-Afonso, I., Loyo-Rosales, J., Aviles, M., Rattner, B., and Rice, C. (2003.). Determination of alkylphenol and alkylphenolethoxylates in biota by liquid chromatography with detection by tandem mass spectrometry and fluorescence spectroscopy. *J. Chromatogr. A* 1010: 1025-1035.
- Scrimshaw, M. D., and Lester, J. N. (2003). Fate and behavior of endocrine disrupters in sludge treatment and disposal. In *Endocrine Disrupters in Wastewater and Sludge Treatment Processes* (J. W. Birkett, and J. N. Lester, Eds.), pp. 145-176. CRC Press LLC, London.
- Sharpe, R. M. (2003). The 'oestrogen hypothesis' - where do we stand now? *Int. J. Androl.* 26, 2-15.

- Sharpe, R. M., Fisher, J. S., Millar, M. M., Jobling, S., and Sumpter, J. P. (1995). Gestational and lactational exposure of rats to xenoestrogens results in reduced testicular size and sperm production. *Environ. Health Perspect.* 103, 1136-1143.
- Shi, C., Y. Hu, T. Kobayashi, N. Zhang, H. Kuramochi, Z. Zhang, K.-Q. Xu. Anaerobic degradation of deca-brominated diphenyl ether contaminated in products: effect of temperature on degradation characteristics. *Bioresour. Technol.*, 283 (2019), pp. 28-35
- Spengler, P., Korner, W., and Metzger, J. W. (2001). Substances with estrogenic activity in effluents of sewage treatment plants in southwestern Germany. 1. Chemical analysis. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 2133-2141.
- Stumpf, M., Ternes, T. A., Wilken, R. D., Rodrigues, S. V., and Baumann, W. (1999). Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Sci. Total Environ.* 225, 135-141.
- Swan, S. H., and Elkin, E. P. (1999). Declining semen quality: can the past inform the present? *Bioessays* 21, 614-621.
- Swan, S. H., Elkin, E. P., and Fenster, L. (1997). Have sperm densities declined? A reanalysis of global trend data. *Environ. Health Perspect.* 105, 1228-1232.
- Swan, S. H., Elkin, E. P., and Fenster, L. (2000). The question of declining sperm density revisited: an analysis of 101 studies published 1934-1996. *Environ. Health Perspect.* 108, 961-966.
- Ternes, T. A., Kreckel, P., and Mueller, J. (1999a). Behaviour and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants - II. Aerobic batch experiments with activated sludge. *Sci. Total Environ.* 225, 91-99.
- Ternes, T. A., Stumpf, M., Mueller, J., Haberer, K., Wilken, R. D., and Servos, M. (1999b). Behavior and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants - I. Investigations in Germany, Canada and Brazil. *Sci. Total Environ.* 225, 81-90.
- Venkatesan, A.K., R.U. Halden. Contribution of polybrominated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PBDD/Fs) to the toxic equivalency of dioxin-like compounds in archived biosolids from the U.S. EPA's 2001 National Sewage Sludge Survey. *Environ. Sci. Technol.*, 48 (2014), pp. 10843-10849
- White, R., Jobling, S., Hoare, S. A., Sumpter, J. P., and Parker, M. G. (1994). Environmentally Persistent Alkylphenolic Compounds Are Estrogenic. *Endocrinology* 135, 175.
- World Health Organization. The Use of DDT in Malaria Vector Control; WHO Position Statement (2011).
- World Health Organization. Potable reuse: Guidance for producing safe drinking-water (2017).

- Xu, G.Y., J.B. Wang. Biodegradation of decabromodiphenyl ether (BDE-209) by white-rot fungus Phlebia lindtneri. Chemosphere, 110 (2014), pp. 70-77
- Yao B., Z. Luo, D. Hou, L. Luo, S. Du, Y. Zhou. Current progress in degradation and removal methods of polybrominated diphenyl ethers from water and soil: A review J. Hazard. Mater., 403 (2021), 123674
- Zhu, B., S. Wu, X. Xia, X. Lu, X. Zhang, N. Xia, T. Liu. Effects of carbonaceous materials on microbial bioavailability of 2,2',4,4'-tetrabromodiphenyl ether (BDE-47) in sediments. J. Hazard. Mater., 312 (2016), pp. 216-223
- 行政院環檢所. (2003). 九十二年度河川水體環境有機污染物調查分析. 環境檢驗所環境調查研究年報 11, 71-126.
- 許美芳, 陳庭堅, 陳福安, 謝季吟. (2003). 環境荷爾蒙調查研究. 中華民國行政院環境保護署環境檢驗所委託計畫(EPA-92-E3S5-02-01).
- 陳庭堅, 許美芳, 陳福安. (2002). 環境荷爾蒙規劃調查. 中華民國行政院環境保護署環境檢驗所委託計畫 EPA-91-E3S5-02-01.
- 曾迪華, 黃雪莉, 陳錫金. (2004). 烷基苯酚聚氧乙烯醇類界面活性劑之環境污染與復育之重要性. 台灣土壤及地下水環境保護協會簡訊 13, 2-8.
- 經濟部水利署([https://www.wra.gov.tw/News\\_Content.aspx?n=2945&s=7417](https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=2945&s=7417))
- 經濟部 109 年度前瞻基礎建設計畫—水環境建設無自來水地區供水改善計畫第四期
- 經濟部水利署 105 年台灣地區未接用自來水區域調查作業，行政院環境保護署飲用水管理資訊系統 (<https://dws.epa.gov.tw/DWS/Inspect/M041101-InspectSiteList.aspx>)
- 環保署 101-110 年飲用水水質標準中較難檢驗項目抽驗計畫
- 環保署 106-109 年飲用水新興污染物研究與水質管理
- 環保署 110 年飲用水未列管新興污染物之水質研究計畫

## 附錄

### 附錄一、審查意見回覆

#### 附錄 1.1 成果報告審查意見回復

審查建議	回覆
<b>(一) 張瓊芬 委員</b>	
1. 本計畫針對新興污染物進行相關研究，在環境中的濃度普遍來說皆相當低，為確認本研究檢測分析數值之可靠度，請檢附所有分析項目之 MDL 及 QAQC 報告於附錄中或內文中。	謝謝委員意見，優先評估物質分析之 MDL 列於表 3.3-3，QAQC 列於附錄 5.1。抽驗物質的 MDL 及 QAQC 列於表 4.3-1。
2. 第 44 頁，29 座佔總供水量 80%，3 座佔 97%，是否誤植？請於表 2.5-6 中補充說明各供水量。	謝謝委員意見，篩選出台水公司 29 座（實際供水量占台水公司總供水量 80%）及北水處 3 座（實際供水量占北水處總供水量 97%）淨水場，已逾內文補充說明。
3. Chapter2.6 小節中說明各項觀察清單歷年檢視結果，2.6.1 至 2.6.14，建議整理成一個統整表格說明重要歷年成果以供比較。	謝謝委員意見，已依委員意見彙整於表 2.6-15、2.6-16。
4. 第 71 頁，請補充各淨水廠採樣點和第 78 頁表 3.3-2 水質參數之相關性。此外，針對 PBDEs 在水中溶解度的呈現若未有相關數據應補充說明(附錄八中未有相關數據揭露)。請分析在水中有出現偵測極限濃度之數值可能性，研析 PBDEs 皆 ND，未來是否有持續監測之必要性(受限於分析)。	謝謝委員意見。 (1) 因多溴二苯醚類於本計畫各採樣點均未檢出，因此無法與現場水質參數進行相關性分析。 (2) 已依委員意見增列五溴二苯醚、六溴二苯醚、八溴二苯醚、十溴二苯醚之溶解度於附錄八各物質環境背景資料(第 5 項)的物化特性列表中。七溴二苯醚及九溴二苯醚未找到相關資訊。 (3) 除七溴二苯醚及九溴二苯醚未找到水中溶解度相關資訊外，其他四項多溴二苯醚類的水中溶解度(ug/L level)均高於本計畫分析的偵測極限(ng/L level)，故若水中含有多溴二苯醚類仍有機會檢出。

	(4) 雖水中若含有多溴二苯醚類仍有機會檢出，但考量本計畫北中南三地六座代表性淨水場三次採樣，在原水中均無檢出，顯示多溴二苯醚類對我國飲用水安全暫無顯著危害，後續暫無持續監測之必要。 上述回應已補充於 3.3.2 節。
5. 第 93 頁，建議補充嘉磷塞在國內的使用量及可能流布情形。	謝謝委員意見，已於 4.5.1 節補充說明。
6. 第 180 頁，依據微生物分析結果對我國本土化之微生物指標修正提出建議，請補充建議。	謝謝委員意見，已於 8.1.4 節補充說明。
7. 補充本計畫執行之「結論與建議」。	謝謝委員意見，已補充於第九章。

**(二) 康世芳 委員**

1. 彙整國際新興污染物管理趨勢與飲用水水質標準相關資料，可供我國研擬管理之參採。	謝謝委員肯定。
2. 美國飲用水水質標準有主要標準(87 項)與次要標準，日本有標準項目(51 項)、目標項目與要檢討項目，此與我國只有標準項目相異。美日標準項目為強制且為罰則項目，次要標準、目標項目與要檢討項目等非強制及非罰則項目，為法規行政上監測項目，此作法值得我國今後修訂飲用水水質標準之參考。	謝謝委員建議，將提供環保署作為施政參考。
3. 依表 7.3-1 美國飲用水水質標準與表 7.5-1 日本飲用水水質標準，彙整很好的資訊，顯示有些非我國標準項目，屬本研究之蒐集清單、候選清單或觀察清單，建議明年度計畫將其匯出另彙整一表，可盤查我國研議新增飲用水水質標準之優先重要清單。	謝謝委員肯定。
4. 第六章「以飲用水為目的之水回收再利用」收集美國許多州、澳洲、南非、及新加坡等國資訊，直接或間接再利用於水源(水庫與地下水	謝謝委員意見，目前國際上直接和間接水回收再利用案例及採取之處理流程彙整於表 6.1-2。

補注)或淨水場原水之案例，建議本章能有一小結，總結直接或間接再利用之前處理技術(薄膜、高級氧化等)與考量條件，以釐清回收再利用為飲用水之考量。	
5. 同意 8.1 節研究結果：「參考國際管理趨勢以大腸桿菌取代大腸桿菌群」，建議環保署可參採並修訂。	謝謝委員肯定。
6. 建議補述本計畫結論與建議(第九章)。	謝謝委員意見，已補充於第九章。
<b>(三) 陳冠中 委員</b>	
1. 建議補充英文摘要、工作項目執行進度完成對照表。	謝謝委員意見，已補充英文摘要及進度說明(8.3 節)
2. 飲用水新興污染物的篩選作業流程完整合理，亦配合專家諮詢會議建議執行。	謝謝委員肯定。
3. 第 31 頁表 2.4-7 中，NDMA、NDEA、NPYR 的定量極限(LOQ)在 111 年都大幅度提高，且都沒有註明偵測極限，建議補充說明原因。另外是否會因為 LOQ 的提高而對於檢出結果判斷造成影響，亦請補充說明。	謝謝委員意見，本計畫團隊已更換管柱並重新分析樣品，偵測極限及定量極限更新於表 2.4-7 及表 4.3-1，偵測極限已與往年差異不大，且均低於國際管制值最小值。
4. 第 92 頁表 4.5-1，NDMA 抽驗結果列於低於偵測極限，但沒有註明偵測極限。另外，表中部分檢測項目 $LOQ >$ 國際管制最小值，因此無法跟其他國家的標準進行比較，則是否有必要提出我國對應之風險評估。	謝謝委員意見，本計畫團隊已更換管柱並重新分析樣品，偵測極限及定量極限更新於表 4.3-1，偵測極限已與往年差異不大，且均低於國際管制值最小值。
5. 第 5.3 節過去簡易自來水系統有檢驗不合格之項目，但卻未持續監測，造成無法追蹤後續水質情形；對於簡易自來水系統的維護管理，本報告所提出之增設消毒單元，宜有管理人員的教育訓練等，建議提供具體之建議。	謝謝委員意見，已納入本計畫建議。
6. 簡易自來水系統之維護管理，有賴	謝謝委員意見，已納入本計畫建議。

水質之監測，但地方環保單位人力有限，是否可提供簡易水質檢測工具或設備給系統維管人員，亦宜作成建議。	
7. 各章節單元中，提出頗多的建議，宜於各章最後或報告最後，補增建議小節或單章。	謝謝委員意見，已補充結論與建議於第九章。
<b>(四) 林志麟 委員</b>	
1. 建議成果報告表 2.5-1 摘錄歷年觀察清單異動原因說明。	謝謝委員意見，已依建議補充表 2.5-1。
2. 建議研究團隊彙整說明近年來各項未列管新興污染物持續或未持續監測之原因，並根據歷年檢測結果，參考國際管制制度及標準規範，提出國內飲用水新興污染物檢測項目及相對應之檢測頻率建議，以供環保署水保處制訂內部新興污染物檢測作業要點之參考。	謝謝委員意見，將納入建議提供環保署參考。
3. 成果報告中提及澎湖望安、馬公及馬祖南竿地區三處飲用水系統中檢測出硼濃度超過國際管制值 1 mg/L，但其濃度均小於 1.3mg/L，在可接受範圍內，但仍建議團隊提出環保單位稽核管制海淡廠供水系統水質管理之精進作為說明。	謝謝委員意見，將納入建議提供環保署參考。
4. 建議團隊提出我國水回收再利用作為飲用水之方式(直接或間接回收再利用)可行性評估說明。	謝謝委員意見，已依委員建議於 6.10 節補充說明。
5. 我國簡易自來水系統供水水質管理採簡易自來水管線委員會自主管理方式為主，對消毒劑添加於供水系統之必要性認知相當欠缺，管理習慣上不採用消毒處理設施居多，故水質不合格事件多為生物性指標超標所致，於暴雨或颱風期間水質惡化時，建議地方環保單位可加強檢測簡易自來水系統供水水質，並宣傳民眾飲水煮沸後飲用等	謝謝委員意見，已納入本計畫建議。

措施，以提升簡易自來水水質稽核管制績效。	
6. 建議團隊補充報告結論與建議，針對環保署水保處未來對於飲用水新興污染物檢測與水質管理規範等施政方向，提出水質管理精進作為之具體建議。	謝謝委員意見，已補充結論與建議於第九章。
<b>(五) 李元陞 委員</b>	
1. 屬成果報告，仍應有一章節說明相關的工作進度管控情形，並依所需計畫內容說明其所對應章節及其完成工作項目內容，以利檢核其完成比例。	謝謝委員意見，已補充結論建議於第九章，補充進度說明於 8.3 節。
2. 摘要第一段最後無下文，請補正。	謝謝委員意見，下文誤植於下一段，已修正。
3. 各章節均屬獨立內容，建議各章節後應有一該章的結論，以利閱讀。	謝謝委員意見，本計畫統一彙整結論建議於第九章
4. 文中缺乏計畫內容一、(二)及(三)所要求的計畫內容，請補正。	謝謝委員意見，計畫內容一、(二)國際因應極端氣候(包括澇、旱等)飲用水管理做法，本年度著重於水回收做飲用水使用，內容列於第六章。計畫內容一、(三)配合機關施政需求彙整本計畫中 PFHxS 及飲用水中環境賀爾蒙資訊與環保署，因內容與計畫執行部分內容重疊，因此未重覆列出。
5. 依第 11 頁計畫內容二、(二)、2，於文中僅列出 5 項水質檢測值，是否此 6 家淨水廠僅驗此 5 項水質？	謝謝委員意見，計畫內容二、(二)、2 河川水體環境流布調查結果於附錄 8.1-8.6 各物質毒理資料內容第 5 項中環境水體中濃度段落說明。
6. 文中缺乏計畫內容二、(四)所要求的計畫內容，請補正。	謝謝委員意見，計畫內容二、(四)觀察清單物質監測計畫列於 2.5.4 節，分析方法列於表 2.5-4，其他資訊另詳列於觀察清單物質毒理資料庫提供予環保署。
7. 最後應有一整體結論與建議的章節。	謝謝委員意見，已補充於第九章。
<b>(六) 臺北自來水事業處</b>	

<p>1. 簡易自來水由於未能成立管理組織，常考慮當地居民口感未能有效消毒，微生物指標(如大腸桿菌群、大腸桿菌、總菌落數等)不合格是長久以來一直存在的問題，目前只能由地方環保機關消極宣導「煮沸後再行飲用」。而改善的關鍵還在於「整合相關政府機關權責與作為，有效監督與管理，以改善水質」，本報告 5.4 節已納入管理建議，值得稱許。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
<p>2. 本報告水回收再利用相關資料蒐集相當完整詳實，建議是否可就蒐集的回收再利用組織，有關採用的類型(IPR/DPR)、出水量、面臨的問題(要去除的污染物)、採行的水處理單元及監測的水質參數等進行表列，如此可一目瞭然。</p>	<p>謝謝委員意見，目前國際上直接和間接水回收再利用案例及採取之處理流程彙整於表 6.1-2。</p>
<p>3. 有關微生物標準或參考指標，簡報中有提及後續作法與建議，惟成果報告中未見到，建議予以納入。另外，有關總菌落數檢測報告中未提及採用何種方法，建議列出。若是採用混合稀釋法(NIEA E20455B)，是取 1mL 水樣進行培養，所以檢測值單位應為 CFU/mL，建議報告第 186 頁及第 187 頁應以該單位表示。</p>	<p>謝謝委員意見。</p>
<p>4. 本報告 p99 第 8 行，「所消毒使用藥劑包含 PAC、次氯酸鈉…」，其中 PAC(多元氯化鋁)並非消毒劑，請更正；另 p128 第 10 行，自由「於」氯「留」時間為...，是否為自由「餘」氯「接觸」時間為...，請確認修正。</p>	<p>謝謝委員意見，已依建議修正。</p>
<p>(七) 臺灣自來水股份有限公司</p>	
<p>1. 報告第 31 頁 NPYR，110 年及 111 年檢出數均為 42，較 106~109 年明顯增加：            (1) 報告中有說明質譜分析方法</p>	<p>謝謝委員意見。            (1) 由於自 110 年起發現用 131 做為定量離子確實無法對 NPYR 做定量，故改為用 101 做定量離子，</p>

<p>定量離子由 131 更換成 101，131 是否為 NPYR 特性離子，建議釐清。</p> <p>(2) 110 年起分析方法改變，感度及靈敏度大幅提升，理論上定量極限應變低，但 111 年定量極限較 110 年高 4 倍，請再確認檢驗技術。</p> <p>(3) 本公司自來水水源及清水均監測氯氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮等含氮物質項目，各場背景值變動不大，產生此類消毒副產物之濃度理應穩定，但本報告 111 年相較 110 年檢出濃度範圍差距大(110 年 7.2~183.4 111 年 24.6~7394)，請團隊加以釐清原因。</p> <p>(4) 第 32 頁，報告指出國際文獻尚無 NPYR 檢出頻率 NDMA 高的例子，為何台灣調查 NPYR 檢出頻率及量這麼高？與分析定量極限是否有關 NDMA488ng/L, NPYR20ng/L？或含氮有機物不同？團隊可否加以釐清？</p>	<p>後續會再查閱文獻以求精準。</p> <p>(2) 本計畫團隊已更換管柱並重新分析樣品，偵測極限及定量極限更新於表 4.3-1，偵測極限已與往年差異不大，且均低於國際管制值最小值。</p> <p>(3) 由於本計畫只針對清水做檢測，並無原水或水源區之資料可做比對是否可能已存在於原水中或其他新興前驅物質導致清水濃度增加(有機含氮物質)，建議往後可增加原水的分析以更進一步釐清可能原因。</p> <p>(4) 本計畫團隊已更換管柱並重新分析樣品，偵測極限及定量極限更新於表 4.3-1，偵測極限已與往年差異不大，且均低於國際管制值最小值。以現有資訊確實無法解釋為何台灣 NPYR 檢出頻率及濃度較國際上來的高，故建議往後可增加原水的分析及針對其他有可能的新興前驅物做進一步的研究與探討。</p>
<p>2. 第 32 頁表 2.4-8 苗栗第三 PFOA 超過國際管制值，與第 95 頁表 4.5-3 臺中清水日期及測值相同，請確認地點是否誤繕。</p>	<p>謝謝委員意見，第 32 頁表 2.4-8 苗栗第三為誤繕，已修正。</p>
<p>3. 第 184 頁，微生物採樣地址與第三次專家會議提供有所不同；將來若以大腸桿菌取代大腸桿菌群作管制，建議亦一併考量飲用水水源水質標準。</p>	<p>謝謝委員意見，地址經確認一致。委員所提建議已納入本計畫建議。</p>
<p>4. 針對觀察清單監測計畫，第三次專諮詢會議建議自來水事業 112 年檢測硼、鍺、鉈、碲、鄰苯二甲酸二丁酯及 DEHP 等，本公司目前有能力</p>	<p>謝謝委員意見。</p>

檢測鉻、碲、鄰苯二甲酸二丁酯及 DEHP，建議計畫團隊及貴署納入考量。	
<b>(八) 環保署水保處</b>	
1. 查本計畫各章節已完成各項工作項目，請依本署成果報告格式，補充各項工作執行進度百分比、結論及建議，以利檢核。	謝謝委員意見，已補充結論建議於第九章，補充進度說明於 8.3 節。
2. 本報告已為成果報告均以完成，報告「待」「預訂」等文字請統一檢視修正。	謝謝委員意見，已依建議修正。
3. 第 93 頁，後續未列管新興污染物之監測建議，觀察清單物質應持續監測，建議補充應持續之理由以強化該論點。	謝謝委員意見。觀察清單物質乃由蒐集清單經四項參數評估後，顯示於我國淨水場有可能潛在風險，而納入觀察清單，需持續監測以評估是否需進一步納入候選清單進行列管，若監測結果顯示暫無風險則可改列蒐集清單。已於 4.5.1 節補充說明。

## 附錄 1.2 第二次工作進度報告審查意見回覆

審查建議	回覆
8. 針對簡易自來水管理建議中增設消毒程序部分，請提出建議增設的優先順序，如多少供水量或多少供水人口以上優先增設。	謝謝委員意見。因微生物不合格數據檢出集中於臺東縣蘭嶼鄉，分別為83%大腸桿菌群及97%總菌落數。分析其數據，107年起持續檢出不合格，且蘭嶼近年來觀光業蓬勃發展，將較於其他零星測出之點位，建議優先增設臺東縣蘭嶼鄉簡易自來水廠之消毒程序。此外建議供水人口超過1000人的簡易自來水廠亦可優先考慮設立消毒處理程序。
9. 有關本計畫整理簡易自來水抽樣資料，哪些需持續關注(如易不合格)之點位，請團隊彙整提供。	謝謝委員意見。因微生物不合格數據檢出集中於臺東縣蘭嶼鄉，分別為83%大腸桿菌群及97%總菌落數。而其餘點位屬零星檢出，建議未來之抽驗優先納入這些曾檢出之點位，釐清不合格使偶發事件或常態現象。
10. 針對112年建議工項，其中建立蒐集清單(68項)及觀察清單(12項)之物質基本資料表，是否一次性完成？	謝謝委員意見。考量物質數量龐大，規劃每年建立30項物質之基本資料表，逐年建置完成。
11. 另以過往資料評估不同類型水源，是否可評估水源類別(如：河川水、地下水或水庫水)？	謝謝委員意見。本計畫規劃同步以過往水質檢測資料及相關文獻資料進行評估。
12. 本計畫已執行多年，成果豐碩，建議可與飲用水相關系統合作，建置查詢及應用功能。	謝謝委員意見。本計畫將配合署裡安排。
13. 請於第三次專家會議提出明年對委請自來水事業單位監測之觀察物質項目進行討論。	謝謝委員意見。已於第三次專家會議提出討論，於2.5.4節說明。
14. 簡報第38頁生物性檢測，因基隆市受乾旱影響，致1處配水點檢出較高總菌落數及大腸桿菌群，以環檢所公告2種大腸桿菌群之檢測方法，結果反差甚鉅，請補充說明。	謝謝委員意見。已於6.2.3節補充說明。

15. 有關土臭味(Geosmin)只有新竹 1 點位濃度較高，惟今年新聞曾報到嘉義市有幾百間住戶反應水有味道，致民眾不敢飲用，停水 2 天清洗後方回復正常。請團隊檢視嘉義市附近之淨水廠之檢測資料，以釐清是否因土臭味(Geosmin)代謝產物引起。	謝謝委員意見，經查 8/24 新聞報導自來水公司解釋，嘉義市於事件發生時曾進行原華興橋水管橋供水測試，疑似底層水流到管網，才會導致部分區域水質異常，應與土臭味(Geosmin)代謝產物無關。本計畫今年土臭味(Geosmin)的抽驗於嘉義縣市曾於 5/24 於水上淨水廠進行抽驗檢測，Geosmin 濃度為 13.6 ng/L，略高於國際指引值最小值。
16. 本署另一計畫，今年針對 4 大取水口之上游集水區及鄰近之事業執行新興污染物採樣及檢測，本計畫於 112 年規劃新興污染物之採樣檢測，可配合明年取水口遙近或中、下游之淨水場執行採樣，以了解新興污染物於上游集水區至下游淨水場是否具相關性。	謝謝委員意見。本計畫將配合署裡規劃安排。

## 附錄 1.3 期中報告審查意見回覆

審查建議	回覆
<b>(一) 林志麟 委員</b>	
1. 建議表 1.1-1 補充最新(2021 年)的研究評估之物質及列管情形。	謝謝委員意見。2021 年研究評估之物質於 1.1 節內容補充說明，表 1.1-1 節選作業原則建立「以前」環保署計畫研究評估之物質及列管情形。103 年後建立篩選作業原則，研究評估物質依不同階層清單進行，為避免內容重複，詳細資訊列於第二章。
2. 第 51 頁，DEHP 從候選清單更新至觀察清單主要原因是考量飲用水水源樣品之 DEHP 濃度逐年下降，建議研究團隊列表說明 DEHP 歷年檢測濃度及健康風險量化模板分數，以供環保署參考。	謝謝委員意見。DEHP 歷年檢測濃度列於表 2.6-14，並於 2.7 節計算健康風險。
3. 第 67-71 頁，今年度兩次採樣之水質參數結果說明僅列出各項數據，建議補充說明各檢項之目的與其數據之意義(如與新興污染物之連結)。同時，建議將表 3.3-3 與 3.3-9 中”餘氯”改為”自由有效餘氯”。	謝謝委員意見。補充說明於 3.3.2 節，並依委員建議修正餘氯為自由有效餘氯。
4. 第 83 頁，Geosmin(土臭味)屬非常態性檢出且無健康風險之檢項，臭味物質唯有在藻華或水質受微生物污染時才會大量存在於飲用水水源水體中，建議可考量移出觀察清單，由淨水場視需求進行自主水質檢驗及實施必要之水質管理措施。	謝謝委員意見。Geosmin 目前屬蒐集清單物質（見表 4.1-1），考量近年因極端氣候常有缺水情況，增加飲用水臭味問題，故環保署將 Geosmin 及 2-MIB 納入抽驗，盼了解近年飲用水臭味問題是否與藻類有關。
5. 第 103 頁，簡易自來水場供水水質生物性參數不合格率高，研究團隊建議增設消毒設施以改善此問題，然多數簡易自來水場雖設有消毒設備(次氯酸鈉消毒劑)，卻不常使用，主要是為了滿足偏鄉地區民眾用水習慣。因此，建議報告中可提	謝謝委員意見，已依委員建議納入報告。

出更務實的飲水水質改善方式(如教育宣導以鼓勵民眾用水前煮沸，且避免生飲自來水)。	
<b>(二) 林正芳 委員</b>	
7. 本計畫應該每年都要進行，建立飲用水質新興污染物定性定量資料。	謝謝委員意見。本計畫每年針對未有本土淨水場濃度資訊之新興汙染物進行調查，本年度調查之項目為多溴二苯醚類（第三章）。此外針對於我國淨水場中曾經檢出，較需關注之物質進行淨水場抽驗（第四章）。
8. 報告的章節編輯要再重整，過去執行內容多不同章節重複顯示，請再整編。	謝謝委員意見，已依委員建議調整。
9. 有些工具類圖資檔資料(如化學物質毒理資料)，是否考量移植附錄免影響本文的重要篇幅，本文應是計畫過程內容結果與討論結論等。	謝謝委員意見，已依委員建議調整。
10. 請討論外國的水質項目標準訂定項目之緣由與邏輯，某些是長江大河源遠流長，上游取水排水，中下游取水，自然要考量分析污水處理廠排放的各式化學物質，但如新西蘭全段河川潔淨無工業排放，其水質項目理當有不同訂義，而不是完全照抄工業化國家的情境，台灣地區飲用水水源集水區有很多在河川上游，可能也不需要一味照單全收。	謝謝委員建議。本計畫彙整相關資訊於第七章。
11. 計畫採樣地點應分配不同水源特性與地區，才能顯示新興污染物在其間的地理統計分布，增加計畫成果的政策參考價值。	謝謝委員意見。本計畫未列管之新興污染物抽驗（第四章）之抽驗淨水廠選擇根據不同污染物特性，亦考慮地理分布。
12. 第五章簡易自來水水質狀況評估，僅說明高雄市的簡水系統，建議再增強蒐集資料之時空完整性，我國簡易自來水共有 871 處，本章所引用的資料相較有限，建議再評估集中探討幾個較需要關注的縣市簡	謝謝委員建議。本計畫彙整可做飲用水使用之簡易自來水系統於附錄 6.2。經本計畫評估因微生物不合格數據檢出集中於臺東縣蘭嶼鄉，蘭嶼近年來觀光業蓬勃發展，因此建議優先關注。

水廠就可，簡水系統水質問題多為大腸桿菌群及總菌落數(很多住民對加氯有意見)，另外水利署已有執行簡水相關計畫，建議參考之。	
13. 現在儀器分析精密性非常好，本計畫四位主持人均有傑出研究能力，就請偏勞協助多一些檢測項目分析，多建立國內引用水中新興污染物的數據，不過還是要就水源地理區位特性思考問題。	謝謝委員肯定。
<b>(三) 陳冠中 委員</b>	
8. 蒐集清單之化學物質建議檢視前後文中使用中文或英文(縮寫)之一致性。	謝謝委員意見。
9. 第 49 頁第 2.6.4 節，110 年第三次專家會議中建議自來水事業 111 年針對 5 項觀察清單物質進行監測，其中包括本年度第一次專家會議改列為蒐集清單之甲醛和鎵(第 46 頁第 2.6.3 節)，則此兩項本年度是否仍進行監測？	謝謝委員提問，自來水事業今年仍有進行監測。
10. 報告中提到由於今年 NEDA(N-亞硝二乙胺)和 NPYR(N-亞硝基吡咯烷)檢出濃度較往年為高，建議於報告中補上歷年數據之比較表。	謝謝委員意見，依委員意見補充於表 2.4-10。
11. 有關簡易自來水之管理，第 5.2 和 5.3 節所引用之數據和資料來源，請附上參考文獻。	謝謝委員意見，依委員意見補充資料來源及參考文獻。
12. 過去 10 年簡水系統之水質檢驗結果建議製作總表，以呈現各年度之合格、不合格件數、比例和出現不合格水質項目之簡水系統，和水質變化之趨勢。	謝謝委員意見，本計畫彙整近 10 年簡易自來水系統曾有不合格數據之點位（不合格年份(筆數)）於附錄七。
13. 第 107 頁提到將對於公共污水廠二級處理放流水循環利用作為新興水源，彙整相關資料，建議宜參考世界各國最新之法規、政策、執行方法和目前成果，避免僅採單一國	謝謝委員意見，本計畫彙整各國目前已進行之直接和間接水回收再利用案例於表 6.1-2，並彙整美國、南非、新加坡等國案例資訊。

家之資料。	
<b>(四) 康世芳 委員</b>	
7. 環境賀爾蒙調查(第三章)  (1) 環境賀爾蒙多溴二苯醚類 6 項，於 6 處淨水場之第一次調查結果皆為 ND，第二次已於 7 月採樣及第三次採樣(9 月)之檢測結果，再據以評估是否維持於初步蒐集清單？	謝謝委員意見，經本計畫調查，多溴二苯醚類 6 項於本年度三次六座淨水場調查均未檢出，因此多溴二苯醚類 6 項將持續維持於初步蒐集清單。
8. 未列管新興污染物之抽驗。  (1) 未列管新興污染物計檢測 26 項，目前已完成今年度計畫測數量之 70%，符合期中進度。  (2) 25 項檢測結果之數值皆未測出大於最小國際建議值之數據，無水質安全之虞。惟離島淨水場硼濃度大於最小國際管制值，雖乃受海水背景硼濃度影響，建議後續仍持續檢測。  (3) Geosmin 為藻類代謝嗅味物，影響口感而非影響健康之水質項目，水源為水庫水發生優養化時才易檢測出，目前只有日本、澳洲管制。此項目污染源頭非工業製程或農藥使用，建議檢討可否不列入清單？	謝謝委員意見。Geosmin 目前屬蒐集清單物質（見表 4.1-1），考量近年因極端氣候常有缺水情況，增加飲用水臭味問題，故環保署將 Geosmin 及 2-MIB 納入抽驗，盼了解近年飲用水臭味問題是否與藻類有關。
9. 簡易自來水水質狀況評估(第五章)。  (1) 近十年測資料顯示新興污染物皆未檢測出大於最小國際建議值之數據，無顯著風險。相對地，不合格項目以大腸桿菌群、總菌落數居多，其次為自由有效餘氯，顯示消毒不足或無消毒處理(報告中指出)，建議無消毒處理者增設消毒設施。  (2) 環保署依飲用水管理條例管理簡易自來水水質，簡易自來水	謝謝委員意見。

<p>有供人飲用事實，依自來水法應設消毒設施才能許可經營。簡易自來水為小型自來水事業單位，其興辦、許可、營運管理(基本設施、水質)，依自來水法為各縣市政府權責(水質由縣市環保局稽核)，故建議環保署邀水利署、縣市政府研商簡易自來水應設消毒設施與水質管理等相關事宜</p>	
<p>10. 飲用水質標準中微生物標準或指標評估(6.2 節)。</p> <p>(1) 表 6.6.2 所示美國、日本、韓國、澳洲、加拿大、新加坡與紐西蘭等 7 個國家與歐盟，皆將大腸桿菌納入飲用水水質標準目。相對地，我國沒有納入，現行標準項目為大腸桿菌群。請問研究團隊對此議題之觀點。</p>	<p>本計畫建議參考國際管制趨勢，以管制大腸桿菌取代現有專一性較差之大腸桿菌群。</p>
<b>(五) 張瓊芬</b>	
8. 請補摘要。	謝謝委員意見，依委員意見補充。
9. 選定 6 種 PBDEs 進行檢測，請補充這 6 種 PBDEs 在水中的溶解度。	謝謝委員意見，依委員意見建立相關資訊，彙整於附錄八毒理資料中。
10. 選定的淨水場，進行淨水場水質檢測及描述採樣期間氣候及水源樣態，但未知新興污染物 PBDEs 的檢測成果之相關性，請研析。	謝謝委員意見，經本計畫調查，多溴二苯醚類 6 項於本年度三次六座淨水場調查均未檢出，現有資料難以研析相關性，然結果顯示此 6 項多溴二苯醚類於我國淨水廠暫無顯著風險。
11. 針對未列管之 ECs 的抽驗結果(chapter4)，和國際管制值進行比較，離島的測值偏高，建議補充說明和採樣的地點是否相關。	謝謝委員意見，硼的部分測值高於國際管制值均發生於澎湖及連江(離島)的淨水廠，推測可能與海水含硼有關
12. 簡易自來水之數據整理及管理策略，建議依其樣態(如山區、農業區等)歸納分析及建議。	謝謝委員意見，簡易自來水抽驗結果顯示抽驗項目及頻率相當有限，主要不合格項目微生物性參數，集中於臺東縣蘭嶼鄉。其他不合格項目之點位相對分散，且多只有一筆數據，暫難判斷是否屬偶發情況，本計畫彙整曾

	有不合格數據之點位（不合格年份及筆數）於附錄七。
<b>(六) 臺北自來水事業處</b>	
5. 第 50 頁表 2.6-6 觀察清單建議檢測淨水場臺北自來水事業處原水類別欄「翡翠水庫水流經北勢溪取水」建議修正為「翡翠水庫及南勢溪流經新店溪取水」，以符實際狀況。	謝謝委員意見，已依建議修正。
6. 第 82 頁未列管新興污染物抽驗表 4.5-1 中 1, 2—二溴乙烷定量極限 $1\mu\text{g}/\text{L}$ 為方法偵測極限 $0.022\mu\text{g}/\text{L}$ 之 45 倍，與一般 QDL 為 MDL 之 2~5 倍之認知有異，請確認之。另 N-亞硝二甲胺國際最小管制值為 $40\text{ng}/\text{L}$ (加拿大)，而非 $4\text{ng}/\text{L}$ ，請修正。	謝謝委員意見，1, 2—二溴乙烷定量極限為 $0.1\ \mu\text{g}/\text{L}$ ，已修正。N-亞硝二甲胺加拿大管制值已依建議修正。
7. 第 91 頁簡易自來水大腸桿菌群與總菌落數檢驗不合格者，「其他 17% 不合格數據分布於 9 鄉鎮市，...其中部分數據無法判斷是否高於管制值」，敘述邏輯不通，建議修正。	謝謝委員意見，已刪除該段敘述。
8. 第 103 頁有關簡易自來水水質管理建議，除加強完善水質監測外，建議能從簡易自來水目前存在的根本問題提出建議，譬如未依法成立或成立非正式的管理委員會(權責單位)、顧及用水民眾口感未妥適操作消毒設備，致未能接受政府主管機關之監督與改善輔導，抽驗不合格亦無法依法裁罰等現象，如何整合相關政府權責機關作為，有效監督與改善，才是水質改善與管理重點。	謝謝委員意見，已納入本計畫建議環保署參考。
9. 第 106 頁有關極端氣候飲用水管理，隨全球氣候變遷現象加劇，於飲用水水質管理益形重要，建議蒐	謝謝委員意見，本計畫年度針對以飲用水為目的之水回收再利用進行資料蒐集。

集國際文獻上有關極端氣候對飲用水水質衝擊可能影響型態、相關發生案例分析與自來水事業對應應變調適措施，供環保署於飲用水水質管理及自來水事業因應參考。	
<b>(七) 臺灣自來水股份有限公司</b>	
5. 感謝研究團隊用心執行本計畫，建議是否能進一步提供相關檢測數據，包含檢出的地點分布、分析可能污染來源，以利本公司未來預作因應。	謝謝委員意見。
6. 對於污染物風險使用線性模式評估，大部分引用美國毒理資料，是否能依我國情況探討國內可能的污染來源，例如取水方式或製程所造成風險，進一步評估哪些新興污染物對人體危害風險高，建議團隊往後執行本案時可納入參考。	謝謝委員意見。人體危害風險評估主要以毒理資料(即污染物毒性，與地區無關)為依據，配合本土淨水廠檢測結果進行評估。
7. 針對離島硼檢測，本公司對於澎湖海淡廠委外操作合約均有訂定水質要求，且檢測值均未超過國際管制值，是否請團隊說明數值較高原因或是因分析方法上差異所造成結果不同。	謝謝委員意見。本年度硼檢出值均小於 1.3 mg/L，1 mg/L 為國際管制或指引值的最小值，部分國家的管制值介於 1.4 到 5 mg/L，顯示硼於我國離島淨水廠的風險尚在可接受範圍。
8. 第 34-36 頁表 2.5-5 各項目樣本數差異甚大(最少 18，最多 2997)，樣本數太少之項目帶入線性模式計算是否適當，另外各項目有被檢出之數量未能呈現，建議補充說明。	謝謝委員意見。線性模式計算主要供專家委員參考，本計畫一併提供檢測統計資訊，如檢測數，供專家綜合評估討論後決定次否納入觀察清單。
9. 第 35 頁表 2.5-5 編號 16~19 之配水測值與採樣年分是否誤植?宜再確認。	謝謝委員意見。已確認後修正。
10. 本(111)年抽驗 26 項未列管項目，其中 10 項檢出高於定量極限(p84 表 4.5-2)，建議補充說明檢出地點分布。	謝謝委員意見。以補充於表 4.5-3。
11. 第 99-101 頁表 5.3-3 部分項目定量極限與方法偵測極限差異太大	謝謝委員意見。

(500~1000 倍)，建議再確認。	
<b>(八) 環保署水保處</b>	
<p>4. 第五章簡易自來水水質狀況評估，蒐集近 10 年簡易自來水檢測資料：</p> <p>(1) 第 91 頁「83%大腸桿菌群及 97 %總菌落數不合格數據檢出於臺東縣蘭嶼鄉，107 年起持續檢出不合格數據，蘭嶼鄉簡易自來水源包含地表水及地下水，無處理程序...」</p> <p>A.臺東縣蘭嶼鄉有多少簡易自來水？是否均無處理程序？</p> <p>B.107 年起持續檢出不合格數據是否來自相同的簡易自來水？</p> <p>(2) 第 91 頁「...大腸桿菌群 &lt;10CFU/100mL... 無法判斷是否高於管制標準，建議後續檢測應『將地』偵測極限」有誤繕，建議改為檢測不稀釋處理</p> <p>(3) 本章多以不合格數據筆數分析，例如「...苗栗頭屋鄉鄉 103-104 年有 5 筆大腸桿菌群抽驗不合格數據...」較難瞭解是否來自相同的簡易自來水？</p> <p>(4) 相關建議如建議持續抽驗追蹤或建議增設消毒或沉澱設備...等，是否有針對特定簡易自來水點位？</p>	<p>謝謝委員意見。</p> <p>(1) 臺東縣蘭嶼鄉可做飲用水使用之簡易自來水系統有兩處，均無處理程序。</p> <p>(2) 謝謝委員意見，已刪除該段敘述。</p> <p>(3) 本計畫彙整不合格點位及年份於附錄七。</p> <p>(4) 建議優先改善臺東縣蘭嶼鄉簡易自來水系統。</p>
5. 第 131 頁至第 134 頁建議改以本署發文之第 2 次專諮詢紀錄，結論請更正為 NPYR 與 PFHxS 是否納入觀察清單，係團隊彙整歷年 NDMA/NDEA/NPYR 與 PFOA/PFOS/PFHxS 清水檢測結果，進一步分析說明檢出地點分布情形及可能原因，提下次專諮詢討論，請修正內容。	謝謝委員意見。已彙整相關資料於 2.4.4 及 2.4.5 節，並於第三次專家會議進行討論。

## 附錄 1.4 期初工作進度報告審查意見回覆

審查建議	回覆
1. 期初工作進度報告(以下稱報告)第 1 頁，第 2 段末，2018 年美國環保署開始進行 CCL5 污染物提名，建議補充至今(2022)之進度。本計畫自評選服務建議書、啟動會議報告，至期初進度報告，皆未做相關進度之更新修訂。	謝謝委員建議，報告內容(1.1 節、2.1 節及圖 2.1-1)已更新至 2021 年，今年(2022)美國環保署未有相關更新。
2. 報告第 6 頁，2021 年之回顧應行補充(僅回顧至 2020)。	謝謝委員建議，報告內容(1.1 節)已更新至 2021 年回顧。
3. 報告第 9 頁，計畫目標二，研提我國飲用水管制標準修正建議，應作健康風險評估。	謝謝委員建議，將依委員建議辦理。
4. 報告第 77 頁，除「專家諮詢會議資料缺本署意見並非本署發文本」外，所列出席人員：康世芳、李奇旺提書面意見，並未出席卻有簽名，本人有出席且簽名未見於出席人員，所附簽名單明顯有誤。結論所列事項與本署核定版不符。	謝謝委員指正，已更正為正式發文內容(6.4.1 節)。
5. 本署飲用水新興污染物研究計畫：今年第 16 年 (1)康世芳 民國 96 至 98 (3 年) 發表「飲用水新興污染物之健康風險評估」論文 自來水會刊 第 28 卷第 3 期 pp 25-34 (2)王根樹 民國 99 至 102 (4 年) (3)黃良銘 民國 103 至 110 (8 年)	謝謝委員意見。
6. 環境毒素的問題在於它們不易分解，身體代謝也非 100%，累積所產生的危害是必然卻未知的，持續監測以作規範有其必要。近期，歐盟 2021/01/19 飲用水指令訂定：壬基酚指導值 300 ng/L，17-β-雌二醇指導值 1 ng/L。	謝謝委員意見。
7. 新興污染物濃度雖低，持續監測除與國際管制值或指導值比對，檢測值若不進行本土風險評估，基本上是 data	謝謝委員意見，本計畫已納入風險值計算。

的堆積，僅止於在初步蒐集清單、蒐集清單、觀察清單、候選清單中移轉，尚乏科技研究計畫之研析成果？	
8. 評析國內致病性微生物、重金屬、農藥、消毒副產物與持久性難分解有機物之污染現況及健康風險等，均是法規建置前必須審慎進行評估，作為法規研擬的依據參考。	謝謝委員意見。
9. 對尚未列管新興污染物進行進行健康風險評估試算，藉此了解台灣飲用水水質現況，提供未來提升飲用水安全之重要方針。新興污染物之 HQ 均低於會產生不良反應的閾值為安全。文獻中，美國環保署對致癌性物質將 Group A 至 E 分為 I、II、III 類，其閾值為： I、II 類 致癌風險 (Cancer Risk) CR 小於 10-6 II、III 類 危害商數 (Hazard Quotient) HQ 小於 1	謝謝委員意見，
10. 又，報告前言中，整理自 2003 年至 2020 年檢討飲用水水質標準情形，為何未更新至 2021 年；又表 1.1-1 整理 2003 年-2014 年計畫研究評估之物質及列管情形資料，請問為何只整理至 2014 年？	謝謝委員建議，報告內容前言部分(1.1 節)已更新至 2021 年回顧。表 1.1-1 彙整篩選作業原則建立以前環保署計畫（2003 年至 2013 年）研究評估之物質及目前列管情況，2014 年之後採用篩選作業，將污染物分為不同關注清單，於第二章進行說明。
11. 本計畫已進行多年，針對特定物質什麼時候納入清單，什麼時候升級、什麼時候降級，曾於什麼時候做過調查，例如最近一次專家諮詢會針對鎵及甲醛改列蒐集清單進行討論，經過怎樣討論、有怎樣的調查資料支持，多年後可能無法像現今瞭解緣由。另外毒理資料建立與更新，其時間點及更新內容等應清楚。	謝謝委員建議，針對蒐集清單、觀察清單物質，本計畫於列表中備註納入時間及調整關注層級時間(表 2.4-2、表 2.6-4)。另毒理資料將加註更新時間。

12. 本計畫團隊表示為掌握歷年資料，自己有建置資料庫，建議擇期說明相關功能。	謝謝委員建議，將依委員建議辦理。
13. 有關 110 年環保署計劃專家諮詢會議決議觀察清單物質若於五年內有 250 筆以上監測，且檢測值均未超過國際管制標準最小值，則可改列蒐集清單一節： 1. 甲醛符合上述條件，原則同意改列蒐集清單。 2. 銠則建議仍留觀察清單，先不改列蒐集清單。因為本國放流水標準已有銊之管制項目，且本國為高科技產業，常使用銊為原物料。銊則建議仍留觀察清單，在政策宣示上代表本署重視飲用水安全問題。	謝謝委員建議。
14. 另外，硼、FPOA 及 PFOS，往年均有數起檢驗出超過國際管制標準最小值之個案，今年仍請特別注意。	謝謝委員建議。
15. 報告第 84 頁，雖有預期進度查核，惟建議補充本計畫各項工作進度以利掌握本計畫進度。	謝謝委員建議。
16. 報告第 21 頁，增列南韓及新加坡等 2 國家之飲用水水質管制及監測項目，係指本計畫目前初步蒐集清單 405 項以外之項目，如是建議列表補充。	報告第 21 頁，增列南韓及新加坡等 2 國家之飲用水水質管制及監測項目，均已包含於初步蒐集清單物質中。
17. 報告第 32 頁，觀察清物質國際管制情形，備註部分項目未見。	謝謝委員意見，已依建議修正。
18. 請補充第 1 次專家諮詢會議本處意見及會議結論，部分團隊已於計畫中敘明，其他項目仍請團隊後續補充辦理情形。	謝謝委員建議，將依委員建議辦理。
19. 報告第 14 頁，極端氣侯(包括澇、旱等)飲用水管理，目前僅就聯合國氣侯變遷綱要公約敘明，後續請補充相關管理方向。	謝謝委員建議，將依委員建議辦理。

## 附錄 1.5 評選審查意見回覆

審查建議	回覆
<b>(一) 李德馨 委員</b>	
1. 本計畫執行，蒐集分析國際組織及先進國家之飲用水管理相關法規制度、監督與稽查機制，歐盟 2021/1/12 生效飲用水指令(EU 2020/2184 Drinking Water Directive)，歐盟委員會指出，新指令能將飲用水潛在的健康風險從 4%降至 1%以下，同時也能減少瓶裝水使用，降低塑廢料對環境造成的污染。新的指令第 13 條第 8 項：委員會應通過實施法來建立和更新針對物質或公眾或科學界因健康原因而關注的化合物(“觀察名單”)，例如：藥物、內分泌干擾化合物和微塑料。第一份觀察名單應於 2022 年 1 月 12 日之前確定，請說明針對歐盟該觀察名單，如何借鑒本計畫新興污物之研析。	謝謝委員意見，歐盟 2022 Watch list 包含壬基酚及雌二醇，壬基酚已列於我國蒐集清單並於我國淨水廠中進行多年監測，目前結果顯示並於顯著風險。雌二醇已列於我國初步蒐集清單，並於環保署「110 年飲用水未列管新興污染物之水質研究計畫」調查雌二醇於我國本土淨水廠清水濃度。未來將持續依我國飲用水未列管新興污染物質篩選作業流程進行評估。
2. 本計畫最為參考之美國污染物候選清單，首頁 p.1 僅提到美國 2018 年著手進行 CCL5 的提名，然而(2021/7/19 已公佈 CCL5 草案(包括：66 化學物質、3 種化學組、全氟/多氟烷基物質(PFAS)、藍藻毒素(cyanotoxins)、消毒性副產物(DBPs)及 12 種微生物)，EPA 於 2022/1/11 與科學顧委員(SAB)就 CCL5 草案進行會議，EPA 將在製定最終 CCL5 時考慮 SAB 的反饋以及公眾意見，本計畫未作最新進展更新？	謝謝委員意見，本計畫已將 CCL5 草案物質納入初步蒐集清單，並更新圖 2.2.1 美國篩選作業記事。
3. 本計畫人事費新臺幣 2,472,640 元(占 30.9%)，p.71 編列主持人、共同主持人 3 名外，編列專助理 5 名、	謝謝委員意見，因計畫經費有限，一位專任助理未從本計畫支薪。

兼任助理 1 名、臨時工 1 名，與 p.72 說明欄編列專任助理 4 名、臨時工及兼任助理之員額不符？	
4. 本計畫編列「委託檢測分析費用」新台幣 1,965,000 元(占 24.5%)，請說明 p.72 自行執行之“消毒副產物”檢測項目如何執行，以及如何管控委外及自行檢測工作品質？	謝謝委員意見，消毒副產物檢測由本計畫團隊執行，分析方法及檢測品管於 4.2 節說明。
5. 計執行人員於同年度執行本署委辦計畫逾 16 個人月數者，業務單位應於履約管理過程列為計畫成效查核重點案件。	謝謝委員意見。
<b>(二) 康世芳 委員</b>	
14. 針對極端氣候(湧、旱)於飲用水水源水質標準即飲用水水質監測，能提出我國飲用水水質管理之精進方向。	謝謝委員意見。
15. 國內簡易自來水是否有興新污染物資料？若無或不足，則提出管理精進方向。	環保署曾針對簡易自來水中的新興污染物進行抽驗，然資料不多，本計畫將依委員建議彙整相關資料，並提出管理精進方向。
<b>(三) 陳冠中 委員</b>	
14. 根據過去的前期計畫執行成果，少部分為列管新興污染物的檢測濃度變化較大(例如 DEHP、B 等)，請說明其與分析測點之關係，以及因應未來採樣分析之規劃。	謝謝委員意見，DEHP、B 雖有部分檢出濃度，但檢出之樣品數不多，B 檢出濃度較高的點位幾乎都在離島，本計畫將持續監測並評估其風險。
15. 簡易自來水之水質與管理之情形密切相關，也與民眾用水習慣有關，請說明計畫執行之重點和構想。	環保署曾針對簡易自來水中的新興污染物進行抽驗，然資料不多，本計畫將依委員建議彙整相關資料，並提出管理精進方向。
<b>(四) 盧重興 委員</b>	
1. 本年度針對未列管新興污染物質篩選監測項目應說明其代表性與重要性。	謝謝委員意見，篩選說明於 2.3.6 節。
2. 未列管新興污染物質篩選作業選定淨水場應增加說明淨水場監測位置。	本計畫未列管新興污染物質抽驗之水樣均為清水。

(五) 林志麟 委員	
13. 本計畫預計採樣之代表性水廠是否有考慮外島(如金門、馬祖)海淡廠水源及供水水質檢測？	謝謝委員意見，部分抽驗點位包含離島樣品。
14. 水質檢測結果作為是否納入觀察清單之依據是否會考量歷年(近五年，如 PFOA、PFOS)數據變化(如檢出發生濃度)予以評估其必要性。	謝謝委員意見，本計畫持續彙整、評估歷年檢測結果之變化，並據以評估新興污染物之關注層級是否應調整。
15. 簡易自來水廠原水及清水水質數據若無新興污染物檢測數據，該如何分析探討其背景資料，可否挑選一至二座地表水及地下水源之水場，進行重要新興污染物檢測。	環保署曾針對簡易自來水中的新興污染物進行抽驗，然資料不多，本計畫將依委員建議彙整相關資料，並提出管理精進方向。
(六) 張瓊芬 委員	
10. 計劃書內容對於已存在的事實如 2021 前的內容，請更新查證後，補充說明，如 CCL5 草案已於 2021 年 7 月 19 日公布。	謝謝委員意見，本計畫已將 CCL5 草案物質納入初步蒐集清單，並更新圖 2.2.1 美國篩選作業記事。
11. 飲用水篩選作業在 CCL5 的制訂流程中，進行改進以更好辨識、篩選和分類潛在的污染物，建議更新補充 p.18 和 p.21 中的各國際組織對於水質標準、污染物候選清單的更新和相關篩選機制改進並將成果反饋於本計畫。	謝謝委員意見，將依委員意見辦理。
12. 受氣候變遷影響及先進製程的影響，修正本土化篩選機制的必要性，建議補充說明修正依據。	謝謝委員意見，將依委員意見辦理。
13. 表 2.2-366 項污染物為全測項目亦或另有優先次序，建議補充說明 (pp22~26)。	表 2.2-3 為蒐集清單物質，均已有本土清水資料，在監測能量有限情況下，本計畫將針對依據蒐集清單物質的健康危害程度、於本土淨水場清水中出現的情況以及本土淨水場清水監測數據量提出後續監測的優先順序供署裡參考。
14. p27 風險評估資料取得的數據是否具有一致性如 LD <sub>50</sub> 對象等，若不一致時，數據之比較合理性；若無法	謝謝委員意見，考量 LD <sub>50</sub> 因實驗方法不同變異性極大，現階段本計畫僅採用 RfD、NOAEL 即 LOAEL 進行

取得相關數據時，如何進行計算 (p.28)，建議補充說明。	評估，若無法取得相關數據，則標註健康危害風險資料缺乏，優先評估及監測健康危害風險資料較完整之物質。
15. pp.46~47 請加入新增資料如 CCL5 草案等。	pp.46~47 為本計畫抽驗未列管新興污染物於國際上管制情況，本計畫已將 CCL5 草案物質納入初步蒐集清單，並更新圖 2.2 1 美國篩選作業記事。
16. 簡易自來水之用水風險建議依所在區域屬性評析。	謝謝委員意見，將依委員意見辦理。
17. p.61 clostridium perfringens 的檢測方法確效，建議補充說明。	謝謝委員意見，將依委員意見辦理。
18. 飲用水標準中微生物標準或指標評估，目的不同在選擇或篩選指標微生物的考量不同，建議補充說明評估程序。	謝謝委員意見，將依委員意見辦理。

## 附錄二、專家諮詢會議會議紀錄

### 附錄 2.1 第一次專家諮詢會議紀錄

一、時間：111年4月19日（星期二）下午3時00分

二、地點：臺大公共衛生學院7樓（701R室）

三、主席：顏處長旭明 紀錄：歐真好

四、出(列)席人員：詳會議簽名單

五、主席致詞：略。

六、議題說明（國立成功大學）：略。

七、會議討論之5項議題：

(一)6項優先評估物質，以及進行6項優先評估物質採樣之代表性採樣淨水場篩選是否合適？

(二)觀察清單物質關注程度調整是否合適？

(三)抽驗物質淨水廠篩選原則是否合適？

(四)本土之微生物指標檢測採樣點是否合適？

(五)缺少毒理資料之飲用水中新興污染物如何進行健康風險評估研析？

八、綜合討論

(一)黃委員志彬

1.本年度6項優先評估物質擬從PBDEs中五溴(BDE-99)、六溴(BDE-153、BDE154)、七溴(BDE-183)、八溴(BDE-197)、九溴(BDE-206)、十溴(BDE-209)二苯醚七種中挑選，又說目前我國十溴二苯醚為限制使用，其餘物種皆已禁用，但在環境調查中仍可檢測出，建議明確了解國內在環境調查中可以檢測出之物質是哪些？以作為篩選之參考。

2.規劃採樣之淨水場包含新山、直潭、板新、新竹第二、豐原第二、坪頂等6座淨水場，應該是恰當的，提醒在採樣當時順便了解進場原水的來源為何？尤其是直潭淨水場的南勢溪水與翡翠水庫庫水的比例、新竹第二淨水場寶山水庫庫水與頭前溪水的比例、及坪頂給水廠小坪淨水場高屏溪水及竹寮地下水的比例。

3.降低現有觀察清單中之鎵及甲醛關注程度，改列蒐集清單，是合理的。

4. 抽驗物質淨水場篩選原則，建議不要用淨水場來分，而是用水源來分，譬如說新竹縣市淨水場，可以挑選全部用寶山水庫水的寶山水廠及全部用頭前溪水的湧雅淨水場，其他縣市淨水場亦同。
5. 未列管之新興污染物抽驗在外島出現的機率很高，尤其是澎湖成功淨水場，建議慎重考量之。
6. 回顧傳統淨水處理採用微生物的指標目有二：a)總菌落數為了評估淨水處理之消毒效率、b)大腸桿菌群是為了評估飲用水是否遭遇過家庭污水的污染；如果要評估我國生物性參數管制標準之項目是否應調整，要先清楚管制微生物項目地目的在哪裡？因為要避免管線的生物膜脫落嗎？先釐清之後才能夠評估標準標項目調整之必要性。
7. 台灣是世界半導體的大戶，砷化鎵使用量是最大的，因此台灣針對鎵對水源安全之風險是比較明確的，雖然現在國際無管制質或指引質，且無毒理資料，台灣是否需要去針對鎵來進行毒性及風險評估？建議思考之。

## (二)毛委員義方

1. 有關內分泌干擾物質PBDE要檢驗共7種（選6種），由於這七種在檢驗上之方法在一次程序上均能完成，故7種一次做與作6種並無大分別。
2. 觀察清單改列蒐集之目前程序，贊成不必改變。至於甲醛及鎵改列蒐集清單原則上同意。
3. 生物指標檢測點除原有規劃外，建議其中有10%~20%為新檢測點。
4. 沒有RfD值之健康風險評估，似可以用BS8800之風險評估方式來計算說明，雖較粗略，但仍可用，即發生疾病的嚴重度（即毒性或半致死量）及發生傷害的可能程度之考量，最後產生的風險評估為低、中、高危害風險（附BS8800之風險評估方式）。

## (三)歐陽委員嶠暉

1. 建議參考WHO或韓、日兩國，列為要檢討項目及標準值蒐集清單，包括未列限值或暫列值。以瞭解目前國內蒐集清單與各國之距離等。
2. 台灣自來水取水口多在縱貫線以東，人口活動多為縱貫線西側，因此除極少數水源外，遭受人口生產活動之影響較少。過去如新營取水口、南港及汀州取水區皆已封閉。目前要重視的或是農作果園等施肥殘存者為對象。

- 3.頭前溪楠雅取水口左下游，其往北污水排水是排到鳳山溪，另竹東因距河口遠，故與放流除以AO及過濾外，再經人工溼地後才放流，但其放流水中是否有些需多瞭解的水質項目，如環境賀爾蒙類水質。
- 4.新興污染物之篩選，對於水源取水口前有放流水的取水口是否宜有不同的未列管項目的追蹤較為實際。
- 5.日本未列管檢討項目只48項，國內是否宜列出相關項目，以及多年來檢討項目及建議暫列值。

(四)陳委員曼莉

- 1.本年度優先評估物質，初步為PBDEs，建議考量以下因素：過去底泥或土壤檢測結果及檢出頻率、各物質之溶解度及實際使用情形。
- 2.規劃抽驗之淨水廠，除考慮長期規劃之一致性外，亦考慮水源可能遭受之風險。
- 3.微生物採樣點部分，建議增加餘氯量、距加氯點流達時間及滯留時間等參數。
- 4.視察清單調整至蒐集清單部分，因數據已完備，應調整關注程度。

(五)康委員世芳(書面意見)

- 1.河川底泥檢測出新興污染物，若採樣點為自來水取水口上游或位於自來水水源水質水量保護區（飲用水水質保護區）內，則可納入篩選考量，否則可不考量。
- 2.多溴二苯醚類（PBDEs）我國多使用BDE-209做為阻燃劑添加至產品中，主要來自工業廢水排放(非農藥或個人醫藥照顧)。今年規劃之6項物質與6座採樣淨水場皆合宜。
- 3.觀察清單中農藥歷年未檢出，藻華臭味物質與藻毒於環保署水利署與自來水事業已有通報應變機制，故可移出或順位至於後。
- 4.微生物採樣對象含小型與大型淨水場，建議收集採樣當日淨水場消毒劑與殘留之相關記錄資料，可據以檢討。
- 5.新興污染物無法計算HQ，則不做健康風險評估，無意義且論述不清。但對水質安全管理建議可依國際建議值(指針值)，及其0.7-0.8倍預警值(類似臨標值)作為加強監測之依據。

(六)李委員奇旺(書面意見)

- 1.除十溴二苯醚外，其餘種類之多溴二苯醚類皆已禁用，但在台灣主要河川底泥及土壤中仍可測得其存在。因此，擇定較不易揮發而逸散的五溴至十溴間之PBDE為待側污染物。測得這些物質之河川底泥及土壤河段是否已經為污染嚴重的下游河段？計畫中選擇的採樣淨水場受到這些污染物污染的機會？
- 2.同意根據110年環保署專家諮詢會議決議，將現有觀察清單中之鎔及甲醛之關注程度，改列蒐集清單。
- 3.鎔沒有國際管制值或指引值，亦無可靠毒理資料可供計算健康參考水準，以評估健康風險。之前將鎔從蒐集清單進一步改為觀察清單項目的原因為何？是否已經消失？
- 4.抽驗物質淨水廠篩選原則為1. 供水量供水人口較大者及2. 水源可能因上游有受到較多生活污水排放影響水質，或有產業污染之虞者。第2項範圍太大，可否針對該年度的待測物質去評估及篩選淨水廠？待測物質於生活污水出現的機會？待測物質於何種產業出現？
- 5.同意根據105年-110年飲用水大腸桿菌群檢測結果挑選的微生物指標檢測採樣點。

#### (七)何處長承嶧

- 1.簡報第 11 頁，由觀察清單改列蒐集清單原則，台水公司微囊藻毒 LR 型近年來均遠低於國際管制標準最小值，符合「5 年內有 250 筆檢測值均未超過國際管制標準最小值。」條件，建議於下次會議討論降階之可能。
- 2.簡報第 16-17 頁，各檢項幾乎以歷年曾測得濃度點位為第二順位，考量各項曾檢出值，倘經複測確認係屬偶發，建議得免列入採樣點。
- 3.簡報第22頁，因生物性採樣點屬直接供水點位，並需與用戶溝通始得設置，惟其限制條件為易受該用戶周界環境影響檢測結果(例如：擺放有機肥植栽、掃把拖把...等清潔用具)，故經檢討並報請地方政府環保主管機關核備變更點位更新如下，敬請研究團隊配合更新：
- 4.臺中市大甲區中山路一段1004 號，變更為臺中市大安區中山南路680號（大安淨水場）。
- 5.嘉義市永安街234號，變更為嘉義市崇文街119巷13號。
- 6.嘉義市玉山路 226 號，變更為嘉義市玉山路318 之1號。
- 7.高雄市前金區(鹽新前1)自強二路43號，變更為自強二路26-1號。

#### (八)水保處

- 1.本計畫針對台灣飲用水中尚未管制之新興污染物濃度作調查，應將調查數據，進行健康風險評估 (四步驟：危害性鑑定Hazard Identification、劑量效應評估 Dose-Response Assessment 、暴露評估 Exposure Analysis 、風險表徵 Characterization of Risk)，經計算非致癌性評估之危害商數 (Hazard Quotient) 與致癌性評估 (Cancer Risk)，並由所得結果分析是否低於會產生不良反應的閾值，俾提供飲用水安全管理之方針。此係本計畫之研析重點。
- 2.會議後，會提供新興污染物健康風險評估相關文獻供參。
- 3.今(111)年從內分泌干擾物質中選擇多溴二苯醚類進行檢測，惟多溴二苯醚多已禁用或限用，建議優先考量其他尚未禁、限用之內分泌干擾物質。

#### 九、結論

- (一)請依所規劃之6項優先評估物質及代表性採樣淨水場執行調查及檢測。
- (二)同意調整觀察清單項目「鎵」與「甲醛」之關注程度，改列至蒐集清單。
- (三)請依所規劃抽驗國內未列管之新興污染物質，及其淨水廠篩選原則進行調查及檢測。
- (四)請參考台灣自來水公司對調查點位建議調整採樣點後，執行本土之微生物指標檢測及採樣點。
- (五)囿於無毒理資料，飲用水中新興污染物無法計算HQ者，可考慮暫不做健康風險評估或參考BS8800之風險評估。非前述情況者，應作評估

#### 十、散會：下午5時0分

國立成功大學國際水質研究中心 會議簽名單  
 會議名稱：行政院環境保護署「111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫」第 1 次專家諮詢會議

開會時間：110 年 4 月 19 日(二) 下午 15 時 00 分至 17 時 00 分

出(列)席人員		
姓名	單位職稱	簽名
康世芳 教授	淡江大學水資源及環境工程學系	康世芳
毛義方 教授	中山醫學大學職業安全衛生學系	毛義方
黃志彬 教授	國立陽明交通大學環境工程研究所	黃志彬
陳曼莉 前副處長	臺北自來水事業處	陳曼莉
歐陽崎暉 教授	國立中央大學土木工程系與環工所	歐陽崎暉
李奇耶 教授	淡江大學水資源及環境工程學系	李奇耶
王根樹 教授	國立臺灣大學環境衛生研究所	王根樹
賴旭明 处長	行政院環境保護署水保處	賴旭明
李德馨 簡任技正	行政院環境保護署水保處	李德馨
孫維謙 科長	行政院環境保護署水保處	孫維謙
黃明輝 專員	行政院環境保護署水保處	黃明輝
歐真好 特約環境技術師	行政院環境保護署水保處	歐真好
何承暉 处長	台灣自來水公司水質處	何承暉
薛志宏 科長	臺北自來水事業處	

國立成功大學國際水質研究中心 會議簽名單  
會議名稱：行政院環境保護署「111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫」第 1 次專家諮詢會議

開會時間：110 年 4 月 19 日(二) 下午 15 時 00 分至 17 時 00 分

## 附錄 2.2 第二次專家諮詢會議紀錄

一、會議時間：111年7月25日（星期一）上午10時

二、會議地點：臺大公共衛生學院601樓會議室

三、會議主席：羅副處長仁鈞 紀錄：歐真好

四、出（列）席人員：詳見會議簽名單

五、主席致詞：略

六、計畫執行團隊報告：略

七、綜合討論：

### (一)林委員伯雄

1.針對水質中多溴二苯醚類物質，除十溴二苯醚仍限制使用中，其餘臺灣目前皆已禁用，分析結果亦呈現ND，低於偵測極限，建議未來本計畫可適度調整採樣分析頻率（減少）。

2.PFAS多氟或全氟烷基物質（PolyFAS）之物種（上千種）於消費者商品添加使用仍很高，目前分析項目仍以 PFOS、PFOA，其他 4、6、9碳及不同含氟數之PFAS物種仍有多項未曾分析，建議可針對上述之PFAS 新增納入未來分析項目，例如PFBS等。

3.藻毒素Microcystin採樣是否有納入離島之樣本，上述地區例如澎湖、金門及馬祖淨水廠有較高風險。

4.NPYR與PFHxS建議依目前管制及分析結果，可以持續監測，並納入觀察清單，考量

(1)99%美國人可檢出。

(2)2014年已有社區飲用水污染事件。

### (二)童委員心欣

1.N-亞硝二甲胺抽驗結果定量極限遠高於國際管制最小值，請確認方法。

2.NPYR與PFHxS建議納入觀察清單。

3.另外建議可以評估這些樣品或分析項目之採樣代表性，因為結果都是每季單次採樣，建議可以用統計方法確認代表性。

4.建議檢視過去清水檢出資料時除原水性質外，同時檢視處理流程，如有無前加氯、混凝劑種類等。

(三)毛委員義方

- 1.是否納入觀察清單模式套用U.S.EPA，提出CCL簡單線性模式，其回歸方程式基本上合乎常理可以繼續應用。
- 2.有關PBDE在水中未檢出，但在食物、室內空氣中似有分佈，其濃度宜探討在台灣的情形作補充資料。
- 3.第28頁PFHxS之檢出濃度範圍，低於LOQ定量，似有誤，請修正。

(四)歐陽委員嶠暉

- 1.新興物質項目的決定，是否應與該物質長期暴露對健康的可能影響內容，以及其可能來源，甚至主要掌握該物質有否輸入，以及在該集水區有否使用的可能，以判讀檢測結果的絕對性和可靠性。
- 2.坪頂水源之濁度及TDS較其他水源高，對於水源特性，以及長期供水之社會特性。

(五)陳委員曼莉

- 1.針對NPYR與PFHxS歷年清水檢測結果，呈現某些年後檢出率特別高之情形，建議進一步說明檢出地點分布之情形及可能之原因。
- 2.就風險而言，同意將NPYR及PFHxS納入觀察清單。
- 3.未列管項目之抽驗結果建議亦對有檢出之地點分布及可能原因再作討論，尤其是在與海淡廠有關之項目。

(六)李委員奇旺

- 1.採樣場地具代表性以供水量與供水人口為主，是否應改為可能污染之虞？
- 2.SLM(Simple Linear Model)分數的63項評分，是否已經有計算？
- 3.檢出率與濃度可否由其他計畫得知？
- 4.SLM的潛勢及健康危害嚴重性，是否新興污染物均有對應性？
- 5.NPYR、PFHxS應列入是否考量出現的趨勢？

(七)康委員世芳

- 1.第一次採樣多溴二苯醚6項(五溴、六溴、七溴、八溴、九溴、十溴二苯醚)各淨水場原水、清水及全流程之檢測結果皆為ND，後續依今年度計畫持續檢測。
- 2.澎湖馬公與望安、連江南竿二期硼仍高，歐盟與日本管制值1.0mg/L，建議本計畫今年度持續檢測，或轉知請台水公司與連江自來水廠加強檢測。

- 3.新竹桃山淨水場Geosmin濃度23ng/L超過澳洲與日本限值 10ng/L，Geosmin乃藻類代謝嗅味物質，建議轉知請台水公司是否寶山水庫優養化？
- 4.依美國環保署於CCL中提出之簡單線性模式試算得分大於3.5應納入觀察清單，N-亞硝基吡咯烷(NPYR)及全氟己烷磺酸鹽(PFHxS)之試算得分大於3.5，惟目前這2項累計樣本數分別為48與44個，且106-110年期間有1個年度檢出數大於3個(NPYR，110年度)、30個(PFHxS，106年度)，其餘年度檢出數低(0-4個)。某年度檢出數異常大時若影響線性模式試算得分值，且目前累計水樣數低於50個，建議可先不納入觀察清單，持續檢測。

(八)臺北自來水事業處薛志宏科長

- 1.6處淨水場PBDE原水清水結果均為ND，偵測極限極低，均為ng/L level，除顯示水質未受污染外；是否與PBDE 化合物為油溶性，不易溶於水，尤其高溴化合物（尤其我國主要使用10溴DE）較易吸附於固體顆粒、底泥及沉積物中有關？
- 2.第17頁，N-亞硝二甲胺定量極限0.488 $\mu$ g/L，國際最小管制值為加拿大之0.004（應為0.04） $\mu$ g/L，澳洲飲用水指引值0.1 $\mu$ g/L，抽驗偵測極限不夠低，可能無法反映水中NDMA之實際狀況，建議降低偵測極限。
- 3.第19頁，有檢出項目“檢出數”應為大於“偵測極限”，而非“定量極限”者，建議註明之。
- 4.第28頁，NPYR及PFHxS清水檢測結果，前者110年，後者106年檢出數較多，是否有系統誤差？建議先查明後再進行模式計算與是否納入觀察清單判斷。

(九)台灣自來水股份有限公司水質處陳文祥處長

- 1.簡報第28頁，N-亞硝基吡路烷 (NPYR) 106~110年共檢出48筆，其中110年就占43筆，是否因檢測方法改變或檢測技術精進等原因，宜補充說明。
- 2.簡報第28頁，全氟己烷磺酸 (PFHxS)：
- (1)累積檢驗樣品數 181 筆是否太少？
- (2)106年定量極限0.00143 $\mu$ g/L，檢出範圍0.000367~0.0779 $\mu$ g/L，與108、109及110年定量極限0.005 $\mu$ g/L相較為低（差4倍），106年30個樣品均檢

出，且大於定量極限有13筆，帶入簡單線性模式計算是否適當，建議說明。

(3)大於LOQ檢出109年有1筆及110年有6筆，澎湖望安場就佔4筆（109年  $127\mu\text{g/L}$ ；110年  $0.164$ 、 $0.991$ 、 $0.845\mu\text{g/L}$ ），其中有2筆數據高出國際管制值10倍以上，請說明原因。

3.110年NPYR及106年PEHxS 均未呈現偵測極限原因為何？簡報第28 頁中 NPYR之LOD與LOQ兩者差異不大，一般偵測極限（LOD）為3SD，定量極限（LOQ）為10SD，兩者差異3.3倍，還是此處LOQ是指檢量線第1點？請補充說明。

4.簡報中NPYR及PFHxS「統計樣品數」及「檢出濃度範圍」與附件「101-110 年之淨水場水質資料彙整」所呈現不一致，請再確認。

#### (十)本署水保處

- 1.清單內容建議更新為現況版本，以利核對內容。
- 2.請依會中各委員意見，提供及重新檢視數據採樣背景、成因、以致造成極端值之現象，供未來後續評估參考。
- 3.數據及會議資料，請建立把關機制，避免誤植等情事，影響評估討論結果。

### 八、結論

有關NPYR與PFHxS是否納入觀察清單，請計畫執行團隊彙整歷年 NDMA/NDEA/NPYR與PFOA/PFOS/PFHxS清水檢測結果，進一步分析說明檢出地點分布情形及可能原因，提下次專諮詢會討論。

### 九、散會：下午12時

### 附錄 2.3 第三次專家諮詢會議紀錄

一、會議時間：111年10月21日（星期五）上午10時

二、會議地點：臺大公共衛生學院601樓會議室

三、會議主席：儲簡任技正雯姊 紀錄：歐真好

四、出（列）席人員：詳見會議簽名單

五、主席致詞：略

六、計畫執行團隊報告：略

七、綜合討論：

#### (一)林委員伯雄

- 1.針對新興污染物及環境荷爾蒙之國際列管之現況及未來趨勢建議可以參考目前實行中之環保署化學局"化學物質管理之國際公約及國際交流計畫"之資料，作為參考。
- 2.多溴二苯醚類同源物之分析項目建議有部分高污染潛勢樣本納入分析含溴數小於5之同源物以確認環境中可能還原脫溴產物之環境背景值。
- 3.亞硝基二乙胺NDEA、N-Nitrisopyrrolidine(NPYR)之分析數值皆偏高之現況，且與其它抽驗項目污染物數值有較大之落差( $7.39\mu\text{g/L}$ )，建議應納入未來淨水場之清單。
- 4.PFOA、PFOS及PFHxS於特定淨水場有檢出( $8-85\mu\text{g/L}$ )與原水水源水質是否有關聯應予以釐清，與其他淨水場之差異是否類似，宜全數6座淨水場持續監測。
- 5.指標微生物之結果呈現高度相關與特定水廠餘氯量高度相關，建議於特定淨水場提高監測頻率。

#### (二)童委員心欣

- 1.建議檢視過去NPYR採樣、分析方法及檢測極限是否相同。
- 2.微生物指標作比較的兩個方法皆為濾膜法，但目前水公司多用MPN方法？這些方法在設計上原本就有可能有相當大的差異，除了過濾時的樣本差異外，金屬光澤或藍色/紅色不同人判讀其實都可能有差異，建議環檢所可以討論統一方法，由於目前使用的指標因為是coliform或fecal coliform，檢測專一性本來就不佳，建議改用E.coli作為標準。
- 3.目前方法中總菌落數的方法使用的培養基也與國際中使用於飲用水的培養基不同。
- 4.微生物採樣檢測是否有做重覆？或者採樣空白？

#### (三)毛委員義方

- 1.PBDE相關衍生物多種在台灣大部分已禁用，此類化合物其物化性不易溶在水中，都會沉澱，且今年之各水廠檢測結果均未檢出，建議退出篩選的項目。
- 2.NPYR檢出率高達80%宜再繼續追蹤。
- 3.觀察清單中同物化性質的前處理步驟類似的宜同年進行檢測，可節省檢測費用。
- 4.總大腸菌群之檢測方法不同，可能檢出結果部分不同，可以再查看文獻檢討，如沒有，研究單位可以自行作方法學實驗，110年新山水廠餘氯為0，易被污染。

#### (四)歐陽委員嶠暉

- 1.水質除來源外，取水時之豐枯狀態也有可能造成影響，為減低豐枯流量之影響以為比較基礎，可考量取樣日盡可能在幾天不下雨後之第幾日進行取樣。
- 2.坪頂之TDS濃度似偏高且清水皆比原水為高，其全年水質宜加注意，有否超過飲用水標準500 mg/L者，對其 處理加以注意。
- 3.討論二，台中清水、澎湖成功，特別檢出PFOA、PFOS、PFHxS皆有檢出，稍瞭解其水源之背景，並繼續進行觀察。
- 4.生物性參數指標，國際都採大腸桿菌，但國內可否檢討與國際同步之可能性，另檢出點都是基隆的信三及過港兩配水，宜針對其稍加瞭解。

#### (五)黃委員志彬

- 1.多溴二苯醚是易生物累積的環境荷爾蒙物質，是極疏水性化合物，六座主要淨水場之原水中本年度三次採樣均顯示"ND"，即是新山七月份原水高達120 NTU，在水相似呈"ND"，因此可以肯定台灣自來水中會存在 PBDEs的機會真的不高。
- 2.國內未列管之新興污染物的年度抽驗建議為「維持相同抽驗項目與頻率」，基於抽驗結果監測結果顯示我國皆無影響自來水安全之虞，是否考慮對大抽驗項目作適度減少抽驗頻率。
- 3.今年度 NPYR在全部43座淨水場均出現大於定量極限的測值，但同時這些水場的NDMA及NDEA均低於定量極限，同時NPYR在前幾年之測值大部分低於定量極限。因此，今年度NPYR測值偏高之原因是否有來自系統誤差之故，請了解之。
- 4.生物性參數檢測結果中「總大腸桿菌」項目建議改以「大腸桿菌群」稱之，另有關未檢出之數值表示法建議以「<1」表示。

#### (六)李委員奇旺

- 1.P20清單項目的數字與P5不一樣。
- 2.P8直潭原水、清水、DOC變化有時略高。
- 3.P28觀察清單監測計畫是否針對相同分析方法歸類？112和114年為何不一樣。

- 4.P5歐盟的優先篩選清單，與國內的清單階層的相對位置？
- 5.初步蒐集清單405項是否有針對相同分析方法歸納？每年挑選6項的方式是否合理。
- 6.P12未列管物質抽驗項目規劃及頻率的規劃原則？
- 7.P15硼超標的RO廠與操作參數的關係？
- 8.P21 NPYR的USEPA迴歸所得的分數是否超過提高層數的標準。

(七)康委員世芳

- 1.六項優先評估物質代表性淨水場採樣分析結果討論與建議。
  - (1)111年度多溴二苯醚類三次採樣，各淨水場原水、清水、及流程水結果皆為ND，後續視累計樣本數與監測結果，再據以研判受否持續監測。
- 2.抽驗分析結果討論與建議。
  - (1)26項抽驗項目僅3項硼、鍺、Geosmin超出國際建議或指針值，Geosmin藻類代謝嗅味物質，請確認新竹桃山淨水場水源為何(水庫水或河川水)?澎湖與連江之硼、鍺，是否為海水淡化後之海淡水含量較高?
  - (2)Geosmin與2MIB皆藻類代謝嗅味物質，因飲用水水質標準有嗅味管制，且用戶會反應嗅味問題，Geosmin與2MIB影響口感，不影響健康，故各國列入飲用水水質標準與否不一。
  - (3)嘉磷塞常為我國使用量大之農藥且多年使用，嘉磷塞在環境中易分解殘留量低，建議從毒理資料與既有監測資料，再檢討是否需要持續監測?是否有AMPA毒理資料及國際管制情形?若重點是AMPA則檢討嘉磷塞管制是否有意義?

3.112年自來水事業觀察清單監測項目是否合適?

- (1)贊成112-114年觀察清單監測計畫之名單規劃，後續視累計樣本數與監測結果，再據以滾動式檢討。

4.指標微生物採樣結果討論與建議。

- (1)二筆資料自由有效餘氯0-0.02 mg/L低於飲用水水質標準0.2-1.0 mg/L，指標微生物超過國際法規值。自由有效餘氯符合飲用水水質標準，且指標微生物雖然亦未超過國際法規值，但為接軌國際管制(含WHO指針值)水質微生物項目安全，與先進國家同為進步國家表徵，建議指標微生物列入飲用水水質標準。此外，依食品衛生管理法，許多食品(含飲料)製程之原料用水，準用飲用水水質標準。

(八)臺北自來水事業處薛志宏科長

- 1.第2及3次採樣時間北部集水區有降雨狀況，直潭原水濁度及DOC均略升，但PBDEs檢測結果均為"ND"，顯示暴雨沖刷不影響水中該化合物濃度，平時及暴雨時期水質均無PBDEs污染風險。
- 2.投影片 p.14 N-亞硝二甲胺(NDMA)定量極限0.488μg/L高於國際最小管制值0.004(加)，檢驗結果不足以判斷是否影響飲用水安全，請確認之。
- 3.投影片 p.28觀察清單物質監測計畫，本處同意112~114年之監測計畫建議，但由表列執行年份觀之，顯示每項目執行頻率均不同，建議以每項目3~5年1次之監測頻率為之。
- 4.投影片 p.23 NPYR大於定量極限點位，顯示所有地點之NDMA及NDEA測結果均為小於定量極限，而NPYR則全檢出(其中包括北水處5處淨水場)，與一般受污染原水以氯胺消毒，大部分產生NDMA及較少產生NPYR之結果有異，請確認產生NPYR之前驅物質(Precursors)為何？為何會均發生在110年？
- 5.指標微生物採樣檢驗結果，p.32顯示，餘氯仍為確保大腸桿菌群有效去活之一重要指標，但配水系統滯留餘氯不足，則可能產生生物膜致釋放出大腸桿菌群等。另本研究大腸桿菌群測方法分別為E230(濾膜法)及E237(酵素顯色濾膜法)，建議納入自來水事業目前使用之E215(酵素呈色及螢光反應檢測法)法，以利評估微生物指標。(以上3法均為環保署公告之標準檢驗方法)。

(九)台灣自來水股份有限公司水質處李蘊理副處長

- 1.簡報P.14 1,2二溴乙烷之定量極限1μg/L，為方法偵測極限50倍，且高於國際管制最小值(0.05)，請再確認。
- 2.澎湖吉貝今(111)年度及去年均驗出「鋒」超出美國健康建議值，本場目前以地下水為水源，建議研究團隊探討可能原因或污染源。
- 3.112年的觀察清單物質監測計畫項目於台水檢測較為困難，需委外，且經費負擔較重。113年之項目除了硼跟鋒需委外，其餘台水有能力自行檢測，負擔較小。針對觀察清單物質監測計畫，是否請計畫團隊與環保署討論112年和113年對換檢測項目之可行性。

(十)行政院環境保護署環檢所

- 1.針對微生物檢測結果，相當意外方法E230及E237此兩者的檢測結果差異如此巨大，雖然不同方法之檢測結果不可能完全相同，但本次檢測結果之差異仍令人意外。
- 2.建議執行團隊呈現微生物數據時應加上單位，因為菌落數跟大腸桿菌群單位不同。
- 3.請問微生物檢測是否由中環進行？
- 4.請問例如總菌落數，結果呈現之兩筆數據是雙重複檢測結果還是兩次平均結果？微生物檢測數據一般是二重複檢測結果取平均值出報告，品管報告包含如果二重複差距過大，表示該檢測有疑慮，而團隊之結果若為二重複，看起來檢測相對準確。但報告呈現數據不應該列出兩筆而是列出其平均值，建議團隊可再修正。

5.E215檢測部分，已有許多公司申請使用，但回饋環檢所其成本高於濾膜法。

## 八、結論

- 1.感謝各位委員及機關提供之寶貴意見，後續會納入本署相關計畫執行之參考。
- 2.有關觀察清單物質監測計畫部分，明年度的執行再請兩個自來水事業單位支持配合，予以協助，有關112年執行上的調整會再與成大討論。
- 3.有關新興汙染物抽驗，原則應以廣度或是否再做重複項目的部分，後續本署亦會再與成大討論，在明年度計畫將有限之經費發揮最大效益。

## 九、散會：下午12時



## 附錄三、評估是否增加關注程度之蒐集清單項目四項參數資訊

## 附錄 3.1 評估是否增加關注程度之蒐集清單項目(37 項)101-110 年之淨水場水質資料彙整

編號	項目		水場水質數據				採樣年份	
	中文	英文	清水		配水			
			樣本數	數值(mg/l)	樣本數	數值(mg/l)		
1	陶斯松	Chlorpyrifos	1445	ND (0.00000015 ~ 0.00032)	8	ND (0.00004 ~ 0.00029)	101~108	
2	福瑞松	Phorate	1299	ND (0.00018) ~<LOQ(0.001)	4	ND (0.00033)	101~106	
3	托福松	Terbufos	1531	ND (0.00016 ~0.0002)	8	ND (0.00039)~<LOQ(0.0002)	101~108	
4	大滅松	Dimethoate	1317	ND (0.00013) ~<LOQ(0.00204)	4	ND (0.00025)	101~106	
5	加保利	Carbaryl	165	ND (0.00015) ~<LOQ(0.001)	4	ND (0.0004)	103、107~108	
6	賽滅寧	Cypermethrin	233	ND (0.0003)	4	<LOQ(<0.005)	101、103、 107~108	
7	芬殺松	Fenthion	255	ND (0.00015)	55	ND(0.01662)	101、103、 105~106	
8	百滅寧	Permethrin	19	ND (0.00015)	-	-	101、103	
9	賓克隆	Pencycuron	19	ND (0.00015)	-	-	101、103	
10	甲基多保淨	Thiophanate-methyl	401	ND (0.00001)~0.08415	18	ND (0.00001)	101、103、 105~108	
11	固殺草	Glufosinate-ammonium	301	ND (0.00012)~0.14338	18	ND (0.00012)	101、103、 105~108	
12	鄰苯二甲酸丁基苯甲酯	Butyl benzyl phthalate	2593	ND(0.00063~ 0.00241)	233	ND(0.0006)~ 0.00164	102~110	
13	鄰苯二甲酸二辛酯	Di-n-octyl phthalate, DOP	2997	ND(0.00051)~0.00472	310	ND(0.00078~ 0.00393)	102~110	
14	辛基酚	p-tert-Octylphenol	61	ND(0.00000237)~0.00002	-	-	101~103	

編號	項目		水場水質數據				採樣年份	
	中文	英文	清水		配水			
			樣本數	數值(mg/l)	樣本數	數值(mg/l)		
15	1,2-二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	2656	ND (0.00016 ~ 0.00072)	95	ND (0.00016~ 0.00072)	101~106 、108	
16	萘普生/甲氧鈉丙酸 (俗稱: 拿百疼)	Naproxen / Misoprostol	21	ND(0.00000177)	-	-	101	
17	非那雄胺	Finasteride	21	ND(0.00000018)	-	-	101	
18	二苯基甲酮	Benzophenone	21	ND(0.0000071)	-	-	101	
19	二乙基間甲苯胺 (待乙妥)	N,N-Diethyl-meta-toluamide, DEET	21	ND(0.000006) ~0.0000232	-	-	101	
20	乙醯胺酚	Acetaminophen	39	ND(0.00000103)	-	-	101、107	
21	凱妥布洛芬/苯酮苯 丙酸	Ketoprofen	21	ND(0.00000409)	-	-	101	
22	四環黴素	Tetracycline	21	ND(0.0000085)	-	-	101	
23	羥四環黴素	Oxytetracycline	21	ND(0.0000075)	-	-	101	
24	氯四環黴素	Chlortetracycline	21	ND(0.000014)	-	-	101	
25	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	2270	ND (0.00018)~0.00205	75	ND (0.00018~ 0.00045)	101~106	
26	1,2,3-三氯丙烷	1,2,3-Trichloropropane	2411	ND (0.00002~ 0.00069)	84	ND (0.00015~ 0.00069)	101~108	
27	1,2-二溴-3-氯丙烷	1,2-Dibromo-3-chloropropane	2411	ND (0.00022)~0.0009	84	ND (0.00022~ 0.00072)	101~108	
28	六氯苯	Hexachlorobenzene	269	ND (0.00087~ 0.001)	90	ND (0.00087)	104~108	
29	六氯環戊二烯	Hexachlorocyclopentadiene	171	ND(0.001)	11	ND(0.00044)	104~106	
30	鍍	Beryllium	412	ND(0.000006~ 0.000107)	7	ND(0.000107)	105、 107~108	

編號	項目		水場水質數據				採樣年份	
	中文	英文	清水		配水			
			樣本數	數值(mg/l)	樣本數	數值(mg/l)		
31	鈷	Cobalt	18	0.00001~0.0001	-	-	105	
32	嘉磷塞	Glyphosate	114	ND(0.0001)~0.007883	4	ND (0.00012)	105、108、 109、110	
33	愛殺松	Ethion	165	ND(0.0004)~0.00077	4	ND (0.0004)	101、106~108	
34	馬拉松/馬拉硫磷	Malathion / Maldison	19	ND(0.0005)	-	-	101、106	
35	歐殺滅	Oxamyl / Vydate	19	ND(0.0005)	-	-	101、106	
36	N-亞硝基吡咯烷	N-nitrosopyrrolidine, NPYR	169	ND(0.000002)~0.00018343	-	-	106、109、 110	
37	全氟己烷磺酸	Perfluorohexanesulfo nic acid (PFHxS)	122	ND(0.00000087)~0.000991	8	ND (0.000005) ~0.000008	106、108~110	

## 附錄 3.2 評估是否增加關注程度之蒐集清單項目(37 項)毒理資料彙整

編號	物質名稱 中文	物質名稱 英文	健康危害 潛勢	評分採用參數	健康危害 嚴重性	評分採用臨界效應 (Critical Effects)	健康危害 參考資料
1	陶斯松	Chlorpyrifos	7	EPA OPP RfD 0.0003 mg/kg/day	7	reproductive and developmental effects, decreased brain cholinesterase activity	Draft CCL5
2	福瑞松	Phorate	7	EPA OPP RfD 0.00017 mg/kg/day	7	reproductive and developmental effects, red blood cell and brain cholinesterase inhibition	Draft CCL5
3	托福松	Terbufos	7	EPA OPP RfD 0.00005 mg/kg/day	3	Plasma ChE inhibition	CCL3
4	大滅松	Dimethoate	6	EPA OPP RfD 0.0022 mg/kg/day	5	Brain cholinesterase (ChE) inhibition	CCL3
5	加保利	Carbaryl	3	EPA Slope Factor 0.000875 (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	8	Suspected carcinogenicity	PCCL3
6	賽滅寧	Cypermethrin	4	EPA OPP RfD 0.06 mg/kg/day	9	Clinical signs of neurotoxicity & mortality; decreased body weight & body weight gain	PCCL3
7	芬殺松	Fenthion	7	EPA OPP RfD 0.00007 mg/kg/day	3	plasma cholinesterase inhibition	Draft CCL5
8	百滅寧	Permethrin	4	EPA OPP Slope Factor (Oral) 0.0096 (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	8	Suspected carcinogenicity	CCL4
9	賓克隆	Pencycuron	4	ADI 0.2 mg/kg/day	7	Reduced pup weight at parentally toxic doses	European Food Safety Authority
10	甲基多保淨	Thiophanate-methyl	5	EPA OPP Slope Factor (Oral) 0.0116 (mg/kg/day) <sup>-1</sup>	8	Suspected carcinogenicity	CCL4
11	固殺草	Glufosinate- ammonium	6	IRIS RfD 0.0004 mg/kg/day	3	Increased absolute and relative kidney weights in males	US EPA IRIS
12	鄰苯二甲酸 丁基苯甲酯	Butyl benzyl phthalate	4	IRIS RfD 0.2 mg/kg/day	3	Significantly increased liver-to-body weight and liver-to-brain weight ratios (Hepatic)	PCCL3
13	鄰苯二甲酸 二辛酯	Di-n-octyl phthalate	4	ATSDR RfD 0.5 mg/kg/day	7	reproductive and developmental effects, increased incidence of retained areolas and nipple in the male offspring of rats	Draft CCL5
14	辛基酚	p-tert-Octylphenol	5	MDH RfD 0.051 mg/kg/day	7	reproductive and developmental effects decreased uterine weight, decreased pup body weight, increased time to preputial separation, decreased adult body weight	Draft CCL5
15	1,2-二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	4	ATSDR Int. MRL 0.07 mg/kg/day	4	Hemolytic anemia in rats	ATSDR

編號	物質名稱 中文	物質名稱 英文	健康危害 潛勢	評分採用參數	健康危害 嚴重性	評分採用臨界效應 (Critical Effects)	健康危害 參考資料
16	萘普生/甲氧鈉丙酸(俗稱：拿百疼)	Naproxen / Misoprostol	6	LOAEL: 1 mg/kg/day	7	Embryotoxicity. Embryo / Fetal Development	MSDS
17	非那雄胺	Finasteride	9	LOAEL: 0.003 mg/kg body weight	7	Teratogenic effects, Embryotoxic effects	MSDS
18	二苯基甲酮	Benzophenone	4	MDH 0.053 mg/kg/day	6	increased renal tubule hyperplasia	Draft CCL5
19	二乙基間甲苯胺 (待乙妥)	N,N-Diethyl-meta-toluamide, DEET	3	ATSDR Int. MRL 1 mg/kg/day	7	Decreased pup weight	Draft CCL5 ATSDR
20	乙醯胺酚	Acetaminophen	4	EMEA ADI 0.05 mg/kg-day	3	Cholestatic effects	PCCL3
21	凱妥布洛芬/苯酮 苯丙酸	Ketoprofen	6	ADI 0.001 mg/kg-day	3	inhibition of platelet aggregation	Australian, ARfD list
22	四環黴素	Tetracycline	5	ADI 0.025 mg/kg-day	3	poor fetal development, gastrointestinal disturbance	FAO/WHO Paper
23	羥四環黴素	Oxytetracycline	5	ADI 0.025 mg/kg-day	3	poor fetal development, gastrointestinal disturbance	FAO/WHO paper
24	氯四環黴素	Chlortetracycline	5	ADI 0.025 mg/kg-day	3	poor fetal development, gastrointestinal disturbance	FAO/WHO
25	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	5	IRIS RfD 0.004 mg/kg/day	4	Clinical serum chemistry (effects on erythrocytes and depressed humoral immune status) (Immune, Hematologic)	US EPA IRIS
26	1,2,3-三氯丙烷	1,2,3-Trichloropropane	7	RAIS HE Slope Factor (Oral) 7 (mg/kg/day) <sup>-1</sup> HEAST	8	Suspected carcinogenicity	CCL4
27	1,2-二溴-3-氯丙烷	1,2-Dibromo-3-chloropropane	6	ATSDR Int. MRL 0.002 mg/kg/day	7	spermatogenesis and sperm morphology	ATSDR
28	六氯苯	Hexachlorobenzene	6	IRIS RfD 0.0008 mg/kg/day	6	Liver effects (Hepatic)	US EPA IRIS
29	六氯環戊二烯	Hexachlorocyclopentadiene	5	IRIS RfD 0.006 mg/kg/day	3	Chronic irritation (Gastrointestinal)	US EPA IRIS
30	鍍	Beryllium	6	IRIS RfD 0.002 mg/kg/day	5	Small intestinal lesions (Gastrointestinal)	US EPA IRIS

編號	物質名稱 中文	物質名稱 英文	健康危害 潛勢	評分採用參數	健康危害 嚴重性	評分採用臨界效應 (Critical Effects)	健康危害 參考資料
31	鈷	Cobalt	5	ATSDR Minimal Risk Level 0.01 mg/kg/day	4	Blood-increased hemoglobin, polycythemia; respiratory-effects on lung function	CCL4
32	嘉磷塞	Glyphosate	4	IRIS RfD 0.1 mg/kg/day	7	Increased incidence of renal tubular dilation in F3b offspring (Developmental, Urinary)	US EPA IRIS
33	愛殺松	Ethion	6	EPA OPP RfD 0.0005 mg/kg/day	5	Plasma, RBC & brain ChE inhibition	PCCL3
34	馬拉松/馬拉 硫磷	Malathion / Maldison	4	EPA OPP RfD 0.07 mg/kg/day	3	RBC ChE inhibition	PCCL3
35	歐殺滅	Oxamyl / Vydate	4	IRIS RfD 0.025 mg/kg/day	3	Decreased body weight gain and food consumption	US EPA IRIS
36	N-亞硝基吡咯 烷	N-nitrosopyrrolidine, NPYR	7	IRIS Lifetime Cancer Risk ( $10^{-4}$ ) 0.002 mg/L	8	Cancer	CCL4
37	全氟己烷磺酸	Perfluorohexanesulfonic acid (PFHxS)	8	ATSDR Int. MRL 0.00002 mg/kg/day	6	Thyroid follicular epithelial hypertrophy/ hyperplasia in rats	ATSDR

## 附錄 3.3 評估是否增加關注程度之蒐集清單項目(37 項)四項參數彙整

編號	物質名稱 中文	物質名稱 英文	健康危害 潛勢	健康危害 嚴重性	健康危害 參考資料	污染物出現 普遍性	污染物出現 濃度*	國際列管情形
1	陶斯松	Chlorpyrifos	7	7	Draft CCL5	1	6	WHO、加拿大、紐西蘭、澳洲、 新加坡、中國大陸非常規指標
2	福瑞松	Phorate	7	7	Draft CCL5	1	6	紐西蘭
3	托福松	Terbufos	7	3	CCL3	1	5	美國 CCL3、加拿大、澳洲
4	大滅松	Dimethoate	6	5	CCL3	1	7	WHO、美國 CCL3、加拿大、紐西 蘭、新加坡、中國大陸非常規指標
5	加保利	Carbaryl	3	8	PCCL3	1	6	加拿大、澳洲、南韓
6	賽滅寧	Cypermethrin	4	9	PCCL3	1	5	澳洲
7	芬殺松	Fenthion	7	3	Draft CCL5	1	5	澳洲
8	百滅寧	Permethrin	4	8	CCL4	1	5	美國 CCL3、澳洲、新加坡
9	賓克隆	Pencycuron	4	7	European Food Safety Authority	1	5	無
10	甲基多保淨	Thiophanate-methyl	5	8	CCL4	4	10	美國 CCL3、澳洲
11	固殺草	Glufosinate-ammonium	6	3	US EPA IRIS	6	10	無
12	鄰苯二甲酸丁基苯 甲酯	Butyl benzyl phthalate	4	3	PCCL3	1	7	日本關注
13	鄰苯二甲酸二辛酯	Di-n-octylphthalate	4	7	Draft CCL5	3	8	無
14	辛基酚	p-tert-Octylphenol	5	7	Draft CCL5	8	3	無
15	1,2-二氯丙烷	1,2-Dichloropropane	4	4	ATSDR	1	6	WHO、美國、紐西蘭、新加坡
16	萘普生/甲氧鈉丙酸	Naproxen /Misoprostol	5	7	MSDS	1	1	無
17	非那雄胺	Finasteride	6	7	MSDS	1	1	無
18	二苯基甲酮	Benzophenone	4	6	Draft CCL5	1	1	無
19	二乙基間甲苯胺 (待乙妥)	N,N-Diethyl-meta- toluamide, DEET	3	7	Draft CCL5	10	5	無

編號	物質名稱 中文	物質名稱 英文	健康危害 潛勢	健康危害 嚴重性	健康危害 參考資料	污染物出現 普遍性	污染物出現 濃度*	國際列管情形
20	乙醯胺酚	Acetaminophen	4	3	PCCL3	1	1	無
21	凱妥布洛芬/苯酮苯丙酸	Ketoprofen	7	3	Australian, ARfD list	1	2	無
22	四環黴素	Tetracycline	5	3	FAO/WHO	1	2	無
23	羥四環黴素	Oxytetracycline	5	3	FAO/WHO	1	2	無
24	氯四環黴素	Chlortetracycline	5	3	FAO/WHO	1	4	無
25	1,1,2-三氯乙烷	1,1,2-Trichloroethane	5	4	US EPA IRIS	2	7	美國
26	1,2,3-三氯丙烷	1,2,3-Trichloropropane	7	8	CCL4	1	6	美國 CCL3
27	1,2-二溴-3-氯丙烷	1,2-Dibromo-3-chloropropane	6	7	ATSDR	1	6	WHO、美國、紐西蘭、南韓、新加坡
28	六氯苯	Hexachlorobenzene	6	6	US EPA IRIS	1	6	美國、中國大陸非常規指標
29	六氯環戊二烯	Hexachlorocyclopentadiene	5	3	US EPA IRIS	1	6	美國
30	鍍	Beryllium	6	5	IRIS	1	5	美國、澳洲
31	鈷	Cobalt	5	4	CCL4	10	5	無
32	嘉磷塞	Glyphosate	4	7	IRIS	9	8	美國、加拿大、澳洲、日本、新加坡
33	愛殺松	Ethion	6	5	PCCL3	6	3	澳洲
34	馬拉松/馬拉硫磷	Malathion / Maldison	4	3	PCCL3	1	6	無
35	歐殺滅	Oxamyl / Vydate	4	3	IRIS	1	6	無
36	N-亞硝基吡咯烷	N-nitrosopyrrolidine, NPYR	7	8	CCL4	10	5	美國 CCL
37	全氟己烷磺酸	PFHxS	8	6	ATSDR	9	6	澳洲

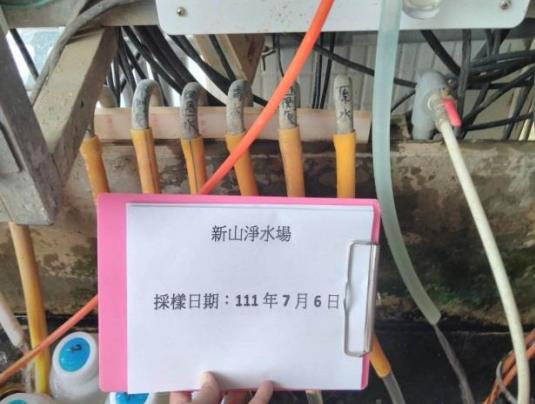


#### 附錄四、優先評估物質採樣時程記錄

##### 111 年度優先評估物質第一次採樣時程紀錄

新山淨水場	直潭淨水場
	
板新淨水場	新竹第二淨水場
	
豐原第二淨水場	坪頂淨水場
	

## 111 年度優先評估物質第二次採樣時程紀錄

新山淨水場	直潭淨水場
	
板新淨水場	新竹第二淨水場
	
豐原第二淨水場	坪頂淨水場
	

111 年度優先評估物質第三次採樣時程紀錄

新山淨水場	直潭淨水場
板新淨水場	新竹第二淨水場
豐原第二淨水場	坪頂淨水場

## 附錄五、分析項目偵測極限與品保品管

## 附錄 5.1 多溴二苯醚類物質分析之品保品管

## 樣品重複分析

	新山原水											
	第一次				第二次				第三次			
	1	2	Mean	RPD	1	2	Mean	RPD	1	2	Mean	RPD
BDE-99	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-153	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-183	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-197	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-206	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-209	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
	新竹原水											
	第一次				第二次				第三次			
	1	2	Mean	RPD	1	2	Mean	RPD	1	2	Mean	RPD
BDE-99	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-153	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-183	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-197	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-206	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-
BDE-209	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-	ND	ND	-	-

單位：ng/L

\*ND 為小於偵測極限

## 樣品添加分析與回收率

添加濃度 20	豐原原水									坪頂原水								
	第一次			第二次			第三次			第一次			第二次			第三次		
	未添加	添加後	回收率(%)	未添加	添加後	回收率(%)	未添加	添加後	回收率(%)	未添加	添加後	回收率(%)	未添加	添加後	回收率(%)	未添加	添加後	回收率(%)
BDE-99	ND	16.3	81	ND	16.5	83	ND	19.2	96	ND	19.0	95	ND	18.8	94	ND	26.0	130
BDE-153	ND	18.0	90	ND	21.8	109	ND	23.2	116	ND	19.7	98	ND	17.9	90	ND	21.4	107
BDE-183	ND	22.3	111	ND	14.5	73	ND	17.8	89	ND	24.4	122	ND	16.3	81	ND	20.2	101
BDE-197	ND	25.9	129	ND	11.0	55	ND	22.0	110	ND	19.7	98	ND	15.8	79	ND	16.3	82
BDE-206	ND	18.0	90	ND	19.3	97	ND	20.8	104	ND	21.9	109	ND	17.4	87	ND	17.4	87
BDE-209	ND	17.9	90	ND	22.2	111	ND	20.6	103	ND	16.6	83	ND	18.1	91	ND	16.0	80

單位：ng/L

ND 為小於偵測極限

## 附錄六、簡易自來水相關資料

附錄 6.1 高雄市內簡易自來水資料表

區	村(里)	供水範圍	簡易自來水系統名稱	水權登記	興辦性質
大樹區	和山里	1-10 鄉	和山里簡易自來水事業	有	高雄市政府
大樹區	興山里	2-13 鄉	興山里簡易自來水事業	有	高雄市政府
大樹區	竹寮里	5-8 鄉	竹寮北極殿自來水系統	無	大樹鄉公所
大樹區	溪浦里、 興田里	6-14 鄉、第 4 鄉	溪埔里簡易自來水系統	無	私人興辦
大樹區	久堂里、 九曲里	1-50 鄉、9- 49 鄉	九曲堂簡易自來水場	有	私人興辦
大樹區	龍目里	1-14 鄉	龍目簡易自來水場	有	私人興辦
大樹區	樣腳里	17-20 鄉	樣腳里土角厝簡易自來水 系統	無	私人興辦
內門區	金竹里	金瓜寮地區	金竹里金瓜寮簡易自來水 系統	無	私人興辦
六龜區	大津里	全里	大津里簡易自來水系統	無	私人興辦
六龜區	荖濃里	21-27 鄉	頂濃簡易自來水系統	無	私人興辦
六龜區	新發里	1-4 鄉	獅山簡易自來水系統	無	私人興辦
六龜區	新發里	淨閑山莊	淨閑山莊簡易自來水系統	無	私人興辦
六龜區	興龍里	8-13 鄉	興龍里簡易自來水系統	無	私人興辦
田寮區	新興里	全里(1、8、 9 鄉除外)	新興里簡易自來水系統	有	私人興辦
杉林區	新庄里	18-23 鄉	新和社區簡易自來水系統	無	台灣省政府 衛生處
杉林區	木梓里	12-13 鄉	螟蛉潭簡易自來水系統	無	杉林區公所
杉林區	新庄里	6-17 鄉	新庄社區簡易自來水系統	無	台灣省政府 衛生處
杉林區	新庄里	1-5 鄉	隘丁寮簡易自來水系統	無	台灣省政府 衛生處
杉林區	集來里	1-9 鄉	金興簡易自來水系統	無	私人興辦
美濃區	吉洋里	14-17 鄉	頂溪埔寮簡易自來水事業	有	高雄市政府
美濃區	龍山里	龍山國小中 心，含龍山 里、獅山里 及中潭里各 一部分	龍洲公井簡易自來水系統	無	私人興辦

區	村(里)	供水範圍	簡易自來水系統名稱	水權登記	興辦性質
那瑪夏區	達卡努瓦里	1-3 鄰	達卡努瓦里(一村)簡易自來水事業	有	高雄市政府
那瑪夏區	達卡努瓦里	瑪星哈蘭部落	瑪星哈蘭部落簡易自來水事業	有	高雄市政府
那瑪夏區	瑪雅里	全里	瑪雅里簡易自來水事業	有	高雄市政府
那瑪夏區	南沙魯里	1-4 鄰	南沙魯里簡易自來水事業	有	高雄市政府
那瑪夏區	達卡努瓦里	青山部落	青山部落簡易自來水事業	有	高雄市政府
茂林區	萬山里	1-6 鄰	萬山里簡易自來水事業	有	高雄市政府
桃源區	梅山里	1-2 鄰	梅山里簡易自來水事業	有	高雄市政府
桃源區	梅山里	3 鄰	梅山口簡易自來水事業	有	高雄市政府
桃源區	復興里	1-3 鄰	復興里簡易自來水事業	有	高雄市政府
桃源區	桃源里	1-7 鄰	桃源里簡易自來水事業	有	高雄市政府
桃源區	高中里	3-5 鄰	高中里簡易自來水事業	有	高雄市政府
桃源區	寶山里	1-9 鄰	寶山里二集團簡易自來水事業	有	高雄市政府
桃源區	拉芙蘭里	1-3 鄰	拉芙蘭里簡易自來水事業	有	高雄市政府
桃源區	勤和里	1-3 鄰	勤和里簡易自來水事業	有	高雄市政府
鳥松區	鳥松里	觀湖山莊	觀湖山莊簡易自來水系統	有	私人興辦
楠梓區	宏南里、 宏榮里、 宏毅里	宏南里、 宏榮里、 宏毅里全部	中油煉油廠簡易自來水系統	有	私人興辦

資料來源：高雄市政府經濟發展局 104 年資料

## 附錄 6.2 可做飲用水使用之簡易自來水系統

縣市	鄉鎮 市區	設施名稱	設置地點	實際供水量 (CMD)	實際供 水戶數	實際供 水人口	水源 種類	水源種類說明	處理程序	使用藥劑 種類
新北市	金山區	天籟社區	金山區秀峰坪 6 號(頂中股段硫礦子坪小段)	592	858	800	其他	頂中股坪 (購入北基農田 水利會坪水)	混凝沈澱 過濾消毒	PAC 次氯酸鈉
宜蘭縣	礁溪鄉	林美村簡易自來水	礁溪鄉林美村宜蘭事業區第 29 林班地	300	360	1,240	地面水	山澗或山泉水	沈澱	
宜蘭縣	礁溪鄉	礁溪鄉龍潭村 龍潭湖畔	礁溪鄉龍潭村龍潭湖畔	200	150	1,000	地面水	山泉水	沈澱	
桃園市	龜山區	長庚大學簡易自來水	龜山區文化一路 259 號	60,000	0	15,000	地下水	地下水層之水	消毒	次氯酸鈉
桃園市	龍潭區	三林簡易自來水	龍潭鄉三林村民族路	1,100	1,400	5,000	混和水源	山泉水、地下 水	沈澱過濾 消毒	次氯酸鈉
桃園市	龍潭區	石門簡易自來水	龍潭鄉大坪及三坑村	250	450	2,000	地面水	溪水	過濾消毒	氯
桃園市	龍潭區	高平簡易自來水	龍潭區高平村	1,382	1,250	3,500	地下水		消毒	氯
桃園市	龍潭區	高原簡易自來水管理委員會	龍潭區高原里	1,000	750	3,000	地下水		過濾消毒	次氯酸鈉
桃園市	復興區	羅浮台地簡易自來水	復興區羅浮村 3.4.5 鄉	262	186	656	地面水	溪水	過濾消毒	次氯酸鈉
新竹縣	關西鎮	大東大同簡易自來水	新竹縣關西鎮 10 鄉仁安里 56-1 號	230	150	500	地下水		沈澱	

## 附錄三、可做飲用水使用之簡易自來水系統（續）

縣市	鄉鎮 市區	設施名稱	設置地點	實際供水量 (CMD)	實際供 水戶數	實際供 水人口	水源 種類	水源種類說明	處理 程序	使用藥劑 種類
新竹縣	關西鎮	石光簡易自來水	新竹縣關西鎮石光里 9 鄰 372 號	420	420	1,500	地下水		沈澱	
新竹縣	新埔鎮	上寮簡易自來水	新埔鎮上寮里上枋寮 181 號	350	192	600	地下水		沈澱	
新竹縣	橫山鄉	力行簡易自來水	新竹縣橫山鄉中山街 1 段 3 號	100	187	1,000	混和水源	伏流水	沈澱	
新竹縣	橫山鄉	大肚簡易自來水	橫山鄉中豐路 2 段 83 號	100	1,200	5,000	混和水源	伏流水	沈澱	
新竹縣	橫山鄉	田寮簡易自來水	新竹縣橫山鄉田寮村 田洋街 118 號	133	196	830	混和水源	伏流水	沈澱	
新竹縣	橫山鄉	沙坑簡易自來水	橫山鄉中豐路 3 段 56 號	200	260	800	混和水源	伏流水	沈澱	
新竹縣	橫山鄉	新興簡易自來水	新竹縣橫山鄉巨群街 15 號	400	576	2,200	混和水源	伏流水	沈澱	
新竹縣	橫山鄉	福興簡易自來水	橫山鄉福興村 8 鄰 39 號	435	170	650	混和水源	伏流水	沈澱	
新竹縣	橫山鄉	橫山簡易自來水	橫山鄉中豐路 1 段 238 號	825	860	3,500	混和水源	地下水	沈澱	
新竹縣	橫山鄉	頭份林簡易自來水	新竹縣橫山鄉橫山村 19 鄰 27-12 號	120	175	1,000	混和水源	伏流水	沈澱	

## 附錄三、可做飲用水使用之簡易自來水系統（續）

縣市	鄉鎮 市區	設施名稱	設置地點	實際供水量(CMD)	實際供 水戶數	實際供 水人口	水源 種類	水源種類說明	處理程 序	使用藥劑 種類
新竹縣	尖石鄉	秀巒村 7 鄰泰崙部落 簡易自來水	尖石鄉秀巒村 7 鄰 64 號	286	286	500	地面水	野溪、山澗或 山泉水	沈濾	
新竹縣	五峰鄉	高峰簡易自來水	新竹縣五峰鄉大隘村 19 鄰高峰 371 號	390	390	600	地面水	野溪、山澗或 山泉水	沈濾	
苗栗縣	公館鄉	公館鄉大坑村簡易自 來水	公館鄉大坑村鹹泥湖附 近	400	145	500	地面水	山泉水、河川 水	沈濾	
苗栗縣	頭屋鄉	頭屋鄉頭屋村	頭屋鄉頭屋村中正街東 昇教練場對面水池:教練 場東側山頂	1,200	424	1,696	地下水		沈濾	
南投縣	草屯鎮	雙冬簡易自來水場	雙冬	100	450	1,800	地面水	山澗或山泉水	沈濾	
南投縣	信義鄉	仁愛鄉南豐村楓林社 區簡易自來水系統	仁愛鄉南豐村楓林社區	100	128	548	地面水	山泉水	過濾	
南投縣	信義鄉	信義鄉望美村倉農簡 易自來水系統	信義鄉望美村	100	111	271	地面水	山泉水	沈濾	
南投縣	信義鄉	信義鄉愛國村愛國社 區簡易自來水系統	信義鄉愛國村愛國社區	100	135	390	地面水	山泉水	沈濾	
南投縣	信義鄉	信義鄉潭南村潭南社 區簡易自來水系統	信義鄉潭南村潭南社區	100	217	769	地面水	山泉水	沈濾	
南投縣	仁愛鄉	仁愛鄉力行村力行簡 易自來水系統	仁愛鄉力行村	100	158	648	地面水	山泉水	過濾	

## 附錄三、可做飲用水使用之簡易自來水系統（續）

縣市	鄉鎮 市區	設施名稱	設置地點	實際供水量 (CMD)	實際供 水戶數	實際供 水人口	水源 種類	水源種類說明	替代水 源說明	處理 程序	使用藥劑 種類
南投縣	仁愛鄉	仁愛鄉互助村中原部落簡易自來水系統	仁愛鄉互助村中原部落	100	179	814	地面水	山澗或山泉水		過濾	
南投縣	仁愛鄉	仁愛鄉合作村簡易自來水系統	仁愛鄉合作村	100	182	782	地面水	山泉水		沈澱	
南投縣	仁愛鄉	仁愛鄉法治村武界部落簡易自來水系統	仁愛鄉法治村武界部落	100	153	660	地面水	山澗或山泉水		過濾	
南投縣	仁愛鄉	仁愛鄉南豐村天主堂簡易自來水系統	仁愛鄉南豐村天主堂	100	117	551	地面水	山泉水		沈澱	
南投縣	仁愛鄉	仁愛鄉新生村新生社區簡易自來水系統	仁愛鄉新生村新生社區	100	113	452	地面水	山澗或山泉水		沈澱	
南投縣	仁愛鄉	仁愛鄉親愛村松林簡易自來水系統	仁愛鄉親愛村	100	119	521	地面水	山澗或山泉水		沈澱	
南投縣	仁愛鄉	南投縣仁愛鄉翠華村華崗簡易自來水系統	南投縣仁愛鄉翠華村	100	122	523	地面水	山澗或山泉水		沈澱	
雲林縣	古坑鄉	古坑鄉草嶺社區合作社簡易自來水	古坑鄉草嶺村	150	147	1,260	地面水	山泉水	自來水 (設有自 來水廠)	過濾 消毒	次氯酸鈉
屏東縣	長治鄉	行政院農業委員會屏東農業生物技術園區淨水場	長治鄉園北路 1 號	450	100	800	地下水			消毒	次氯酸鈉
臺東縣	長濱鄉	真柄社區簡易自來水系統	長濱鄉三間村 1-5 鄰	232	160	466	地面水	山泉水		未處理	

## 附錄三、可做飲用水使用之簡易自來水系統（續）

縣市	鄉鎮 市區	設施名稱	設置地點	實際供水 量(CMD)	實際供 水戶數	實際供 水人口	水源 種類	水源種類說明	處理程序	使用藥劑 種類
臺東縣	海端鄉	初來簡易自來水 系統	海端鄉海瑞村初來社 區西側山腰李子圓內	150	140	300	地面水	山澗或山泉水	過濾	
臺東縣	蘭嶼鄉	蘭嶼鄉椰油國小	椰油國小	0	0	0	混和水源		未處理	
臺東縣	蘭嶼鄉	蘭嶼椰油社區	蘭嶼椰油社區	1	1	1	地下水		未處理	
花蓮縣	玉里鎮	玉里鎮春日里簡 易自來水場	玉里鎮春日里社區	230	213	620	地面水	秀姑巒溪水系- 里換溪	沈澱消毒	次氯酸鈉
花蓮縣	玉里鎮	玉里鎮高寮簡易 自來水	玉里鎮高寮	590	505	1,419	地面水	山澗水、秀姑 巒溪水系-無名 溪(高寮溪)	沉澱消毒	次氯酸鈉
花蓮縣	光復鄉	大興村簡易自來 水	花蓮縣光復鄉大興段 (0289)253 地號	300	157	501	地面水	河川水、山泉 水	沈澱消毒	次氯酸鈉
澎湖縣	馬公市	馬公市山水	馬公市山水里	550	517	1,800	地下水	山水 3 號，4 號 水井	過濾	
澎湖縣	馬公市	馬公市烏崁里	馬公市興仁國小旁	500	779	2161	地下水	興仁國小西、 南、北方水井	過濾	
臺中市	沙鹿區	犁分里古井水塔 地下水	犁分里三民路 v.s 七 賢路口	100	358	1315	地下水	犁份里古井水 塔地下水	沉澱過濾	
臺中市	新社區	協成里田寮簡易 自來水	新社區華豐一街 101 號	100	100	500	地面水	山澗或山泉水	過濾	

## 附錄三、可做飲用水使用之簡易自來水系統（續）

縣市	鄉鎮 市區	設施名稱	設置地點	實際供水量(CMD)	實際供 水戶數	實際供 水人口	水源 種類	水源種類說明	替代水 源說明	處理 程序	使用藥 劑種類
臺中市	新社區	新社里簡易自來水	台中市新社區新社村中和街 4 段 306 號	100	200	1200	地下水			過濾	
臺中市	外埔區	大東里簡易自來水	外埔區大東里甲后路 5 段 130 巷 16 弄 15 號	100	200	600	地下水			過濾	
臺中市	大肚區	社腳社區第一簡易自來水	社腳里沙田路一段 854 巷 94 號前	20000	503	1509	地下水		自來水	過濾	
臺中市	大肚區	社腳社區第二簡易自來水	沙田路一段 854 巷 24 號(大忠國小內)	20000	503	1509	地下水		自來水	過濾	
臺中市	大肚區	社腳社區第三簡易自來水	沙田路一段 744 巷 21 號之 80 旁	100	503	2012	地下水			沈澱	
臺中市	霧峰區	五福里 19.20 鄰簡易自來水	霧峰鄉五福村五福路 842 巷 15 號旁	100	100	350	其他			過濾	
臺中市	霧峰區	五福里簡易自來水	霧峰區五福路 232 巷 79 弄 5 號	100	450	450	地下水			過濾	
臺中市	霧峰區	北勢社區簡易自來水	北勢里豐正路 566 號	100	160	500	地下水	地下水井		過濾	
臺中市	霧峰區	自強社區自強路 10.33-35 鄰簡易自來水	吉峰里自強路 504 號對面	100	264	1000	地下水			過濾	
臺中市	霧峰區	桐林里簡易自來水	民生路北坑巷北二橋	300	350	900	地面水	山泉水		沈澱	

## 附錄三、可做飲用水使用之簡易自來水系統（續）

縣市	鄉鎮市區	設施名稱	設置地點	實際供水量(CMD)	實際供 水戶數	實際供 水人口	水源 種類	水源種類 說明	替代水 源說明	處理 程序	使用藥劑 種類
臺中市	霧峰區	獅子城簡易自來水	民生路 296 巷 67 弄 14 號邊	100	121	500	地下水			沈澱	
臺中市	霧峰區	樂美家園簡易自來水	吉峰里民生路 290 號 14 號對面	165	147	600	地下水			沈澱	
臺中市	霧峰區	龍鳳社區簡易自來水	台中市霧峰區吉峰里民生路 364 巷 2 號	100	90	500	地下水			過濾	
臺中市	霧峰區	舊正社區簡易自來水	霧峰區光明路 116 巷 54 號	100	131	453	地下水			消毒	
臺中市	霧峰區	豐正第一簡易自來水	舊正里象鼻路	6000	1600	3000	地下水			沈澱	
臺中市	霧峰區	豐正第二簡易自來水	萬豐村中正路 144 巷內	1000	600	1000	地下水			沈澱	
臺中市	大里區	塗城社區簡易自來水	大里區光正路 8 巷 6 號	150	330	1200	地下水		自來水	過濾	
臺中市	大里區	樹王社區簡易自來水	大里區樹王里樹王路 94 號	300	580	2000	地下水			過濾	
臺北市	士林區	平等里簡易自來水 95 巷	臺北市士林區平菁街 95 巷	100	250	1100	地面水	溪水、坪林溪		沈澱過濾消毒	次氯酸納
高雄市	大寮區	輔英科技大學	高雄市大寮區永芳村進學路 151 號	546	1	10000	地下水			沈澱過濾消毒	PAC 次氯酸鈉
高雄市	鳥松區	長庚醫療財團法人高雄長庚紀念醫院	高雄市鳥松區大埤路 123 號	1500	0	2000	地下水	僅使用地下水製程		沈澱過濾消毒	次氯酸鈉

## 附錄七、近 10 年簡易自來水系統曾有不合格數據之點位（不合格年(筆數)）

縣市	區	簡易自來水場	大腸桿 菌群	總菌落 數	糞便性 大腸桿 菌群	大腸桿 菌	濁度	色度	亞硝酸 鹽氮	硝酸鹽 氮	鐵	錳	氨氮	溴酸鹽	自由有 效餘氯	pH
宜蘭縣	礁溪鄉	林美村簡水			104(1), 105(1)	104(1), 105(1)										
		龍潭村簡水			104(1), 105(1)	104(1), 105(1)										
花蓮縣	玉里鎮	玉里鎮春日里簡水	101(2), 102(1), 103(1)					101(1)								
		玉里鎮高寮簡水	102(1), 103(2)		105(1)	105(1)										
		玉里鎮高寮簡水(重複 2/2)(已停用)	101(1)					101(1)								
	光復鄉	大興村簡水			104(1), 105(1)	104(1), 105(1)							110(1)			
苗栗縣	三義鄉	三義鄉廣聲新城簡水 (已停用)			104(1)											
	公館鄉	公館鄉福基簡水(已停 用)			104(1)	104(1)										
		公館鄉大坑村簡水	103(3), 104(2)		104(1), 105(1)	104(1), 105(1)										
	頭屋鄉	頭屋鄉頭屋簡易自 來水場	103(1), 104(4)								103(1)	104(1)	104(3)			

縣市	區	簡易自來水場	大腸桿 菌群	總菌落 數	糞便性 大腸桿 菌群	大腸桿 菌	濁度	色度	亞硝酸 鹽氮	硝酸鹽 氮	鐵	錳	氨氮	溴酸鹽	自由有 效餘氯	pH
南投縣	仁愛鄉	互助村中原部落簡 水			105(1)	105(1)										
		合作村簡易自來水 系統														107 (1)
		仁愛鄉萬豐村(原精英 村廬山部落)簡水 (已停用)			104(1)	104(1)										
		法治村武界部落簡 水			105(1)	105(1)										
	信義鄉	信義鄉地利村簡水(已 停用)			104(1)	104(1)										
		愛國村愛國社區簡 水			105(1)	105(1)										
	桃園市	龍潭區 高原簡易自來水管 理委員會	107(2)	107(2)												
		石門簡易自來水			104(1)	104(1)										
新北市	復興區	復興鄉羅浮簡水(已停 用)					101(1)									
	新店區	新店美潭里簡水(已停 用)			105(1)	105(1)										
	雙溪區	雙溪區上林里大瀨簡水 (已停用)			105(1)	105(1)										

## 111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫

縣市	區	簡易自來水場	大腸桿 菌群	總菌落 數	糞便性 大腸桿 菌群	大腸桿 菌	濁度	色度	亞硝酸 鹽氮	硝酸鹽 氮	鐵	錳	氨氮	溴酸鹽	自由有 效餘氯	pH
高雄市	大寮區	輔英科技大學	109(1), 110(1)													
	鳥松區	長庚醫療財團法人 高雄長庚紀念醫院													104(1)	
	楠梓區	台灣中油股份有限公司煉製事業部高 雄煉油廠								105(1)						
雲林縣	古坑鄉	古坑鄉草嶺社區合 作社簡易自來水	102(1), 104(2)													
彰化縣	芬園鄉	王炳煌 (已停用)	103(2), 104(1), 109(1)	103(1), 104(1)												
	彰化市	江南花園城(已停 用)							103(2)			103(1)				
		華興社區(已停用)		103(1)			103(2)				103(1)	103(2)	103(2)			
臺北市	士林區	平等里簡易自來水 95 巷	110(5)													

縣市	區	簡易自來水場	大腸桿 菌群	總菌落 數	糞便性 大腸桿 菌群	大腸桿 菌	濁度	色度	亞硝酸 鹽氮	硝酸鹽 氮	鐵	錳	氨氮	溴酸鹽	自由有 效餘氯	pH
臺東縣	長濱鄉	真柄社區簡易自來 水系統	110(1)		105(1)	105(1)										110 (2)
		蘭嶼東清社區簡易 自來水設施(已停 用)	109(2)	109(2)												
	蘭嶼鄉	蘭嶼鄉椰油國小	102(1), 103(1), 107(1), 108(3), 109(3), 110(2)					109(1)							102(3), 103(3)	
		蘭嶼椰油社區	108(29) 109(73) 110(3)	108(26), 109(72), 110(2)			109(1)									
		蘭嶼椰油社區(河川 水(已停用))	107(1), 108(51)	107(1), 108(48)												102(2)
	卑南鄉	利吉簡水(已停用)			105(1)	105(1)										
	成功鎮	宜灣簡水(已停用)			105(1)	105(1)										

## 111 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫

縣市	區	簡易自來水場	大腸桿 菌群	總菌落 數	糞便性 大腸桿 菌群	大腸桿 菌	濁度	色度	亞硝酸 鹽氮	硝酸鹽 氮	鐵	錳	氨氮	溴酸鹽	自由有 效餘氯	pH
新竹縣	新埔鎮	上寮簡水			104(1), 105(1)	104(1), 105(1)										
	橫山鄉	大肚簡水			104(1)											
		田寮簡水			104(1)	104(1)										
		新興簡水			104(1)	104(1)										
		福興簡水			104(1)	104(1)										
		橫山簡水			104(1)	104(1)										
		頭份林簡水			104(1)	104(1)										
	關西鎮	大東大同簡水			104(1)	104(1)										
臺中市	大肚區	社腳社區第二簡水			104(2)	104(1)	105(1)									
	大里區	塗城社區簡水			105(1)											
澎湖縣	馬公市	馬公市山水里簡水			104(1)	104(1)										
屏東縣	長治鄉	行政院農業委員會 屏東農業生物技術 園區淨水場								104(1)						

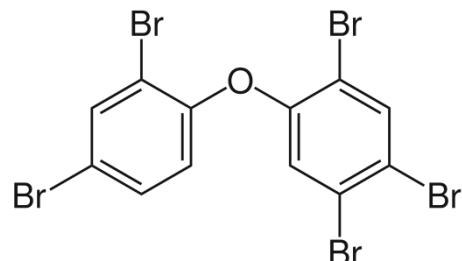
## 附錄八、毒理資料

### 附錄 8.1 五溴二苯醚 Pentabromodiphenyl ether

- 水質項目名稱：五溴二苯醚（pentabromodiphenyl ether）

別名：2,2',4,4',5-Pentabromodiphenyl ether, BDE-99(CAS: 60348-60-9)

- 化學式/結構式： $C_{12}H_5Br_5O$



- 使用單位：ng/L

- 分析方法：

全氟辛烷酸	APHA「標準方法」 (分類索引編號)	我國環保署環檢所公告 (分類索引編號)
分析方法	EPA-OW/OST 1614	多溴二苯醚檢測方法-氣相層析/ 高解析質譜法 (NIEA M802.00B) 毒性化學物質中多溴二苯醚類 檢測方法-氣相層析質譜儀法 (NIEA T506.31B)

### 5. 環境背景資料

多溴二苯醚(PBDEs)為阻燃的化學物質，添加到塑膠和發泡產品使其難以燃燒。這些物質不是單一的化學物質，而是數種溴化物質的混合物，整個多溴二苯醚族群由 209 種物質組成，稱為同源物。五溴二苯醚(pentaBDE)即為其中一種屬於多溴二苯醚族群中之化合物，在商業上五溴二苯醚主要使用在阻燃功能(95-98%)，作為生產家具產品的添加劑，多用於軟性聚氨酯泡沫(flexible polyurethane foam, FPUF)，在床墊和軟墊產品上提供緩衝功能，因此常在家具和室內裝潢的軟質聚氨酯泡沫塑料中作為阻燃的添加劑，其他用途還有環氧樹脂、酚醛樹脂、不飽和聚酯和紡織品中的阻燃添加劑(European Union; pentabromodiphenyl ether 2010)，或用於印刷電路板等。歐盟根據現有物質規範 793/93/EEC，進行全面性的風險評估後，2004 年起限制使用八溴二苯醚及五溴二苯醚([Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003.](#))。2009 年 5 月斯德哥爾摩公約則陸續將六溴二苯醚、七溴二苯醚、四溴二苯醚、五溴二苯醚及八溴二苯醚列為公約附件 A 的禁用範圍。當使用多溴二苯醚的產品廢棄或碎裂後，多溴二苯醚經由氣態或附著於小顆粒散佈於環境中，沈入河川底泥及進入食物鏈。

空氣中：根據大氣中半揮發性有機化合物的氣體/顆粒分配的模式(Bidleman TF; 1988)，五溴二苯醚常溫時蒸汽壓為  $2.2 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$  mm Hg (European Union; 2001)，會存在於大氣的蒸氣相及顆粒相中，氣相的五溴二苯醚會和空氣中光化學反應產生的氫氧自由基反應而降解，半衰期估計為 29 天，顆粒相的五溴二苯醚可藉由乾沈降或濕沈降自空氣中移除。15 種多溴二苯醚(四至十的異構物)在波長>290nm 處有吸收(Eriksson J et al; 2004)，因此預期可直接被陽光所光解。

土壤中：五溴二苯醚估計的  $K_{oc}$  為 22000(US EPA; 2010)，顯示在土壤中是固定不容易移動，根據蒸氣壓  $3.5 \times 10^{-7}$ (Hardy ML, Smith RL; 1999) 水溶性為  $1.3 \times 10^{-2}$  mg/L(European Union; 2001)，估計可從潮濕的土壤表面揮發，但不易從乾燥的土壤表面揮發，吸附到土壤可能會減弱揮發性。根據對五溴二苯醚(例如含 34% 的四溴二苯醚、55% 的五溴二苯醚、12% 的六溴二苯醚)進行生物降解測試，29 天後五溴二苯醚沒有出現生物降解(European Union; 2001)。

水中：水中五溴二苯醚的  $K_{oc}$  為 22000(USEPA; 2009)，容易被懸浮固體和底泥所吸附，且會從水體表面揮發。水中鯉魚的 BCF 為 10000 (WHO; 1994)，顯示對水中生物的生物濃縮性非常高，也不易在水中生物降解。由於缺乏在環境條件下水解的官能基，估計五溴二苯醚不容易在水環境中被水解(Lyman WJ et al; 1990)。

表一、五溴二苯醚物化特性

物化特性		文獻
蒸氣壓	$25^{\circ}\text{C}$ 下， $3.5 \times 10^{-7}$ mm Hg	Hardy ML, 1999
$K_{oc}$	22000	US EPA; 2010
BCF	>10000	WHO; 1994
溶解度	0.0133 mg/L	pubchem

### 人體可能的暴露途徑

五溴二苯醚用作環氧樹脂、酚醛樹脂、紡織品等的添加劑(WHO; 1994)，經由相關產品不同的製造及使用過程釋放至環境中，在生產或使用五溴二苯醚的場所，相關工作人員可能職業上經由皮膚接觸而暴露五溴二苯醚。一般人可能經由吸入環境空氣，食入或皮膚接觸到含五溴二苯醚的產品而暴露，例如瑞典民眾主要是經由魚類相關食物攝入五溴二苯醚(WHO; 1994)，且五溴二苯醚主要儲存在體內的脂肪中，並可能在體內停留數年的時間。

### 環境水體中的濃度

放流水：1988年9月瑞典一間污水處理廠(哥德堡)的水樣分析五溴二苯醚，以少量雨水混合32天以上的污泥水樣本，以及7天雨季期間的污泥水樣本， $2,2',4,4',5$ -五溴二苯醚的濃度為19 ug/kg，未知結構五溴二苯醚的濃度分別為3.4及3.7 ug/kg，總五溴二苯醚則為37-38 ug/kg(Nylund K et al; 1992)。西班牙2005年測試Barcelona、Burgos、Lleida、Pamplona及Terragona地方的五家廢水處理廠， $2,2',4,4',5$ -五溴二苯醚的濃度分別為6.29、5.63、5.60、6.50 和 11.0 ng/g 乾重(Eljarrat E et al; 2008)。瑞士在2003年~2005年取自16個地點的污水污泥中檢測五溴二苯醚的異構物，含量為49-248 ug/kg乾性物質(Kupper T et al; 2008)。

河川底泥：英國1995-1996年間對生產溴化阻燃劑下游的底泥進行調查，這些樣本中 $2,2',4,4',5$ -五溴二苯醚的濃度範圍為<0.6 ~ 898 ug/kg 乾重

( Allchin CR et al; 1999)。韓國2006年取自Mason Bay的底泥則測有2,2',3,4,4'-, 2,2',4,4',5- and 2,2',4,4',6-五溴二苯醚濃度分別為<30, 30-375 及 <30 pg/g乾重 (Hong SH et al; 2009)。108年調查臺灣本島主要15條河川（包含：南崁溪、頭前溪、客雅溪、中港溪、後龍溪、大安溪、烏溪、北港溪、朴子溪、鹽水溪、二仁溪、典寶溪、東港溪、蘭陽溪及新城溪等15條）之底泥及魚體中特定化學物質，其中檢測25種多溴二苯醚類，河川底泥中25種PBDEs同源物總量平均濃度及範圍為17,943 (281~401,946) ng/kg乾重，以二仁溪平均濃度82377 ng/kg乾重為最高，南崁溪78,507 ng/kg乾重次之（化學局，108年）。109年調查淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河、大甲溪、濁水溪、八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪等15條河川之底泥中三溴至十溴共24種PBEDs同源物質，平均濃度及範圍為15,858 (133~187,264) ng/kg dw，以豐水期濃度較高，各河川全年平均濃度以淡水河本流平均濃度68,196 ng/kg dw 為最高，大漢溪67,232 ng/kg dw 次之（化學局，109年）。

## 6. 健康評量及毒理資料

五溴二苯醚對人類尚未看到直接的健康效應，但動物實驗資料顯示五溴二苯醚可能對肝臟、甲狀腺及神經行為的發育產生影響(Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers \(PBBs and PBDEs\)](#). (Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, September 2004.)，動物實驗給予雌大鼠高劑量五溴二苯醚，會誘發脂肪肝症狀(Bruchaizer E et al; 2010)。

IARC 基於缺乏人類證據及對動物有限的致癌性證據，多溴二苯醚一群無法歸類對人類有致癌性。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，且特定同源物 2,2',4,4'-四溴二苯醚，2,2',4,4',5-五溴二苯醚和 2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚為無法歸類對人類致癌，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌(USEPA, 2000)。

	RfD	NOAEL ( mg/kg/day)	LOAEL ( mg/kg/day)	MRDD	LD50 (mg/kg)	實驗方式
1	—	—	—	—	LC50: >50000 (mg/m <sup>3</sup> /4h)	大鼠/吸入(1)
2	—	—	—	—	>2000	大鼠/皮膚(2)
3					5000	大鼠/口服(3)

- (1) Haz-Map, Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases
- (2) Canadian EPA Priority Substances List Assessment Report for Polybrominated diphenyl ethers p.8 (2006). Available from, as of September 17, 2010: <https://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/index-eng.php>
- (3) Lewis, R.J. Sr. (ed) Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials. 11th Edition. Wiley-Interscience, Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2004., p. 2830

## 7. 處理技術/成本分析

## 8. 國內外管制情形

歐盟根據現有物質規範 793/93/EEC，進行全面性的風險評估後，2004 年起限制使用八溴二苯醚及五溴二苯醚([Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003](#))。2009 年 5 月斯德哥爾摩公約則陸續將六溴二苯醚、七溴二苯醚、四溴二苯醚、五溴二苯醚及八溴二苯醚列為公約附件 A 的禁用範圍。美國環保署針對五項（其中包含十溴二苯醚）持久性、生物蓄積性和毒性物質，於 2016 年開始制訂風險管理措施，2020 年 12 月公布最終限制規定，自 2021 年 3 月 8 日起，限制含有十溴二苯醚 物質、產品或成品之製造、加工與商業銷售，但餐旅業之窗簾、核能電廠之電線電纜應用等特殊情況之限制則陸續於 2022 年 7 月及 2023 年 1 月開始實施。我國環保署於 94 年公告八溴二苯醚禁止製造、輸入、販賣及使用。105 年 1 月 1 日起八溴二苯醚、五溴二苯醚、2,2',4,4'-四溴二苯醚、2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚、2,2',4,4',5,6'-六溴二苯醚、2,2',3,3',4,5',6-七溴二苯醚、2,2',3,4,4',5',6-七溴二苯醚禁止使用於電子產品之阻燃劑。

項目	國名						
	我國	美國	WHO	EC	德國	英國	澳洲
標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	—	—	—	—

## 9. 行政考量

## 10. 管制優先次序

## 11. 參考文獻

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers \(PBBs and PBDEs\)](#). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, September 2004.

Allchin CR et al; Environ Pollut 105: 197-207 (1999)

Bruchaizer E et al; Hum Exp Toxicol. 2010 ([https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/h\\_sdb/7109](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/h_sdb/7109))

Canadian EPA Priority Substances List Assessment Report for Polybrominated diphenyl ethers p.8 (2006). Available from, as of September 17, 2010: <https://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/index-eng.php>

Eljarrat E et al; Chemosphere 71: 1079-86 (2008)

Eriksson J et al; Environ Sci Tech 38: 3119-25 (2004)

European Union; Diphenyl ether, pentabromo derivative (pentabromodiphenyl ether).

European Union Risk Assessment Report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Committees, p. 18 (2001). Available from, as of October

- 28, 2010: [https://ecb.jrc.ec.europa.eu/DOCUMENTS/Existing-Chemicals/RISK\\_ASSESSMENT/REPORT/penta\\_bdpereport015.pdf](https://ecb.jrc.ec.europa.eu/DOCUMENTS/Existing-Chemicals/RISK_ASSESSMENT/REPORT/penta_bdpereport015.pdf)
- European Union; Diphenyl ether, pentabromo derivative (pentabromodiphenyl ether). European Union Risk Assessment Report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Committees, p. 1-124 (2001)
- Hardy ML, Smith RL; IN: Amer Chem Soc, Div Environ Chem, Preprint Extend Abstr, 217th ACS Nat Meet, V39, pp 191-4 (1999)
- Haz-Map, Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases([URL: https://haz-map.com/Agents/6555](https://haz-map.com/Agents/6555))
- Hong SH et al; Chemosphere 77: 854-62 (2009)
- Kupper T et al; Chemosphere 71: 1173-80 (2008)
- Lewis, R.J. Sr. (ed) Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials. 11th Edition. Wiley-Interscience, Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2004., p. 2830
- Lyman WJ et al; Handbook of Chemical Property Estimation Methods. Washington, DC: Amer Chem Soc pp. 7-4,7-5,15-1 to 15-29 (1990)
- Nylund K et al; Chemosphere 24: 1721-30 (1992)
- U.S. Dept Health & Human Services/Agency for Toxic Substances & Disease Registry; Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers (PBBs and PBDEs) p.372 (September 2004). Available from, as of November 29, 2010: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp>
- European Union; Diphenyl ether, pentabromo derivative (pentabromodiphenyl ether). European Union Risk Assessment Report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Committees, p. 1-124 (2001)
- WHO; Environmental Health Criteria 162. Brominated Diphenyl Ethers. Geneva, Switzerland: WHO (1994)
- 化學局，108 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫  
化學局，109 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫

## 附錄 8.2 六溴二苯醚 Hexabromodiphenyl ether

1.水質項目名稱：六溴二苯醚 (hexabromodiphenyl ether)

別名：2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-153 (CAS: 68631-49-2)

2,2',4,4',5,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-154 (CAS:207122-15-4)

2,2',3,3',4,4'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-128 (CAS:2182677-28-7)

2,2',3,3',4,5-Hexabromodiphenyl ether, BDE-129 (CAS:446254-87-1)

2,2',3,3',4,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-130 (CAS:446254-88-2)

2,2',3,3',4,6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-131 (CAS:446254-89-3)

2,2',3,3',4,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-132 (CAS:446254-90-6)

2,2',3,3',5,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-133 (CAS:446254-91-7)

2,2',3,3',5,6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-134 (CAS:446254-92-8)

2,2',3,3',5,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-135 (CAS:446254-93-9)

2,2',3,3',6,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-136 (CAS:446254-94-0)

2,2',3,4,4',5-Hexabromodiphenyl ether, BDE-137 (CAS:446254-95-1)

2,2',3,4,4',5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-138 (CAS:182677-30-1)

2,2',3,4,4',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-139 (CAS:446254-96-2)

2,2',3 ,4,4',6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-140 (CAS:243982-83-4)

2,2',3,4,5,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-141 (CAS:446254-97-3)

2,2',3,4,5,6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-142 (CAS:446254-98-4)

2,2',3,5,5,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-143 (CAS:446254-99-5)

2,2',3,4,5',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-144 (CAS:446255-00-1)

2,2',3,4,6,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-145 (CAS:446255-01-2)

2,2',3,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-146 (CAS:446255-02-3)

2,2',3,4',5,6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-147 (CAS:116995-33-6)

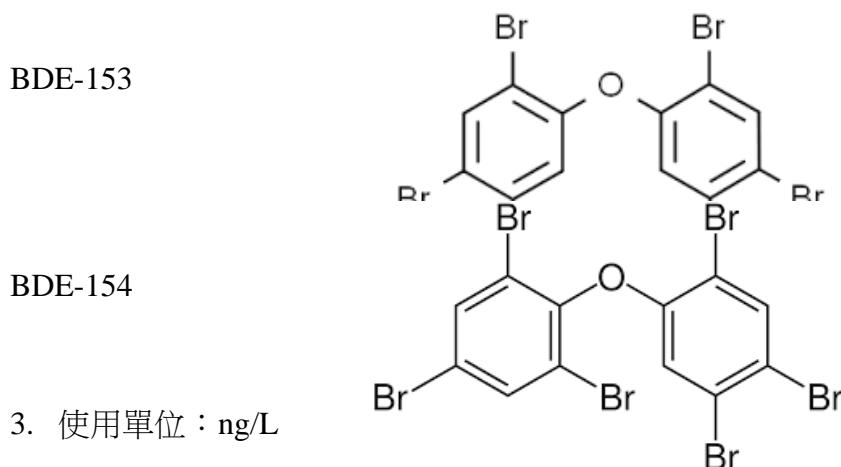
2,2',3,4',5,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-148 (CAS:446255-03-4)

2,2',3,4',5',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-149 (CAS:446255-04-5)

2,2',3,4',6,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-150 (CAS:446255-05-6)

2,2',3,5,5',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-151 (CAS:446255-06-7)  
 2,2',3,5,6,6'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-152 (CAS:446255-07-8)  
 2,3,3',4,4',5-Hexabromodiphenyl ether, BDE-156 (CAS:405237-85-6)  
 2,3,3',4,4',5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-157 (CAS:446255-08-9)  
 2,3,3',4,4',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-158 (CAS:446255-09-0)  
 2,3,3',4,5,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-159 (CAS:446255-10-3)  
 2,3,3',4,5,6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-160 (CAS:446255-11-4)  
 2,3,3',4,5',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-161 (CAS:446255-12-5)  
 2,3,3',4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-162 (CAS:446255-13-6)  
 2,3,3',4',5,6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-163 (CAS:446255-14-7)  
 2,3,3',4',5',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-164 (CAS:446255-15-8)  
 2,3,3',5,5',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-165 (CAS:446255-16-9)  
 2,3,4,4',5,6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-166 (CAS:189084-58-0)  
 2,3',4,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-167 (CAS:446255-17-0)  
 2,3',4,4',5',6-Hexabromodiphenyl ether, BDE-168 (CAS:53551-87-4)  
 3,3',4,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether, BDE-169 (CAS:446255-18-1)

2. 化學式/結構式： $C_{12}H_4Br_6O$



全氟辛烷酸	APHA「標準方法」 (分類索引編號)	我國環保署環檢所公告 (分類索引編號)
-------	------------------------	------------------------

分析方法	EPA-OW/OST 1614	多溴二苯醚檢測方法-氣相層析/ 高解析質譜法 (NIEA M802.00B) 毒性化學物質中多溴二苯醚類 檢測方法-氣相層析質譜儀法 (NIEA T506.31B)
------	-----------------	---

## 5.環境背景資料

多溴二苯醚(PBDEs)為阻燃的化學物質，添加到塑膠和發泡產品使其難以燃燒。這些物質不是單一的化學物質，而是數種溴化物質的混合物，整個多溴二苯醚族群由 209 種物質組成，稱為同源物。三種重要的商業化生產多溴二苯醚混合物為五溴二苯醚、八溴二苯醚、十溴二苯醚。十溴二苯醚主要用在電子產品外殼(如電視機殼)，八溴二苯醚則多用商業設備生產的塑膠，五溴二苯醚主要用在室內裝潢緩衝泡棉材料(如床墊、軟墊等)。在四溴二苯醚、五溴二苯醚和八溴二苯醚的商業製劑中，發現六溴二苯醚是一種雜質，濃度約為 4-12% ( WHO; Environmental Health Criteria 162.1994)。當多溴二苯醚的產品廢棄或碎裂後，或是製造多溴二苯醚的過程，使其中的六溴二苯醚經由氣態或附著於小顆粒散佈於環境中，沈入河川底泥及進入食物鏈。

空氣中：若釋放至空氣中，根據大氣中半揮發性有機化合物的氣體/顆粒分配的模式 (Bidleman TF; 1988) ，六溴二苯醚常溫時蒸汽壓為  $5.1 \times 10^{-8}$  ( Sjodin A et al; 2001) ，會同時存在於大氣的蒸氣相及顆粒相中，氣相的六溴二苯醚會和空氣中光化學反應產生的氫氧自由基反應而降解，半衰期估計為 46 天，顆粒相的六溴二苯醚可藉由乾沈降或濕沈降自空氣中移除。15 種多溴二苯醚(四至十的異構物)在波長>290nm 處有吸收( Eriksson J et al; 2004) ，因此預期可直接被陽光所光解。

土壤中：六溴二苯醚估計的 Koc 為 35000(US EPA; 2009.)，顯示在土壤中是固定不容易移動，根據蒸氣壓估計從潮濕的土壤表面揮發的量不多。利用日本 NITE 測試，六溴二苯醚在土壤中和水中不易生物降解。(NITE; 2010)。

水中：水中六溴二苯醚的 Koc 為 35000(EPA; 2009)，容易被懸浮固體和底泥所吸附，且不易從水體表面揮發。水中鯉魚的 BCF 為 216-1310 及 527-1490 ( NITE; 2010 )，顯示對水中生物的生物濃縮性非常高，也不易在水中生物降解。由於缺乏在環境條件下水解的官能基，估計六溴二苯醚不容易在水環境中被水解 (Lyman WJ et al; 1990)。

表一、六溴二苯醚物化特性

物化特性		文獻
蒸氣壓	$25^{\circ}\text{C}$ 下， $5.1 \times 10^{-8}$ mm Hg	Sjodin A et al; 2001
Koc	35000	US EPA; 2009
BCF	1.35e+06(BDE-153) 1.41e+06(BDE-154) 216-1310, 527-1490(BDE-148)	WHO; 1994 EPA DSSTox NITE; 2010
溶解度	0.00408 mg/L at 25 °C	pubchem

### 人體可能的暴露途徑

在生產或使用六溴二苯醚的場所，相關工作人員可能職業上經由皮膚接觸而暴露，一般人可能經由吸入環境空氣，食入或皮膚接觸到含六溴二苯醚的消費性產品而暴露。

### 環境水體中的濃度

地表水：在日本1987年收集的75個水樣及1988-1989年在50個地區收集的150個水樣皆未檢出六溴二苯醚(偵測極限為0.04 ug/L)(WHO; 1994)。

放流水：西班牙2005年從Barcelona, Burgos, Lleida, Pamplona, and Terragona城市廢水處理廠檢測2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚的濃度分別為3.68, 3.55, 3.69, 3.31, 及 5.70 ng/g乾重，2,2',4,4',5,6'-六溴二苯醚的濃度則為3.42, 3.51, 2.47, 2.82, 及 4.08 ng/g乾重(Eljarrat E et al; 2008)。瑞士在2003及2005年16個地點採集的污水污泥中檢測到六溴二苯醚的異構物，2,2',3,4,4',5'-, 2,2',4,4',5,5'- 及 2,2',4,4',5,6'-六溴二苯醚分別為0.2-0.8, 2.5-8.8 及 1.3-6.1 ug/kg乾重(Kupper T et al; 2008)。

河川底泥：日本1981-1983年間在不同地區收集海洋、河口和河流沉積物的樣本，分析六溴二苯醚(WHO;1994)，15個樣本中有5個檢出，含量9-26 ug/kg(Watanabe I et al; 1987)。1987年日本環境調查，69個樣品沉積物中有4個檢出六溴二苯醚，濃度為7-77 ug/kg乾重，1988-1989年在47個地區採集的141個樣本中則4個檢出，濃度為4.5-18 ug/kg乾重。108年調查臺灣本島主要15條河川（包含：南崁溪、頭前溪、客雅溪、中港溪、後龍溪、大安溪、烏溪、北港溪、朴子溪、鹽水溪、二仁溪、典寶溪、東港溪、蘭陽溪及新城溪等15條）之底泥及魚體中特定化學物質，其中檢測25種多溴二苯醚類，河川底泥中25種PBDEs同源物總量平均濃度及範圍為17,943 (281~401,946) ng/kg乾重，以二仁溪平均濃度82377 ng/kg乾重為最高，南崁溪78,507 ng/kg乾重次之（化學局，108年）。109年調查淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河、大甲溪、濁水溪、八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪等15條河川之底泥中三溴至十溴共24種PBEDs同源物質，平均濃度及範圍為15,858 (133~187,264) ng/kg dw，以豐水期濃度較高，各河川全年平均濃度以淡水河本流平均濃度68,196 ng/kg dw 為最高，大漢溪67,232 ng/kg dw 次之（化學局，109年）。

## 6. 健康評量及毒理資料

以大鼠為模型研究口服給藥後多溴二苯醚在體內組織分布的情形，雄性大鼠給予多溴二苯醚後，量測大鼠體內各組織、血漿及糞便中 15 種多溴二苯醚，在體內各組織(包含腦部)皆可發現多溴二苯醚，且對於多數多溴二苯醚的處理間分布模式並無明顯差異，如在脂肪、腦、肝、肺等及殘留屍體，三溴至六溴二苯醚佔多溴二苯醚的 80%以上，但在肝臟和血漿中則<40%，BDE-209 是肝臟和血漿中主要的同源物，但在脂肪組織及屍體中則未檢測到，總之低溴的同源物傾向均勻分布在脂質中，顯示脂肪組織和血漿是適合生物監測的基質，血漿則是檢測高溴同源物(尤其是 BDE-209)的最佳基質(Huwe JK et al; 2008)。

多溴二苯醚可能會造成職業性肝毒素，基於人類的攝入及動物實驗案例，職業環境中頻繁接觸多溴二苯醚的潛在毒性可能引發續發性肝毒物效應([Haz-Map, Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases](#))。

IARC 基於缺乏人類證據及對動物有限的致癌性證據，多溴二苯醚一群無法歸類對人類有致癌性。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，且特定同源物 2,2',4,4'-四溴二苯醚，2,2',4,4',5-五溴二苯醚和 2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚為無法歸類對人類致癌，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌(USEPA, 2000)。

	RfD	NOAEL ( mg/kg/day)	LOAEL ( mg/kg/day)	MRDD	LD50 (mg/kg)	實驗方式
1	—	—	—	—	>2000	兔子/口服(1)
2	—	—	—	—	—	—

(4) Canadian EPA Priority Substances List Assessment Report for Polybrominated di phenyl ethers p.8 (2006). Available from, as of September 17, 2010: <https://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/index-eng.php>

## 7. 處理技術/成本分析

## 8. 國內外管制情形

歐盟根據現有物質規範 793/93/EEC，進行全面性的風險評估後，2004 年起限制使用八溴二苯醚及五溴二苯醚([Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003](#))。2009 年 5 月斯德哥爾摩公約則陸續將六溴二苯醚、七溴二苯醚、四溴二苯醚、五溴二苯醚及八溴二苯醚列為公約附件 A 的禁用範圍。美國環保署針對五項（其中包含十溴二苯醚）持久性、生物蓄積性和毒性物質，於 2016 年開始制訂風險管理措施，2020 年 12 月公布最終限制規定，自 2021 年 3 月 8 日起，限制含有十溴二苯醚物質、產品或成品之製造、加工與商業銷售，但餐旅業之窗簾、核能電廠之電線電纜應用等特殊情況之限制則陸續於 2022 年 7 月及 2023 年 1 月開始實施。我國環保署於 94 年公告八溴二苯醚及五溴二苯醚為第一類毒性化學物質，禁止製造、輸入、販賣及使用。105 年 1 月 1 日起八溴二苯醚、五溴二苯醚、2,2',4,4'-四溴二苯醚、2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚、2,2',4,4',5,6'-六溴二苯醚、2,2',3,3',4,5',6-七溴二苯醚、2,2',3,4,4',5',6-七溴二苯醚禁止使用於電子產品之阻燃劑。

項 目	國名						
	我國	美國	WHO	EC	德國	英國	澳洲
六溴二苯醚	—	—	—	—	—	—	—
標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	—	—	—	—

## 9. 行政考量

## 10. 管制優先次序

## 11. 參考文獻

- Bidleman TF; Environ Sci Technol 22: 361-367 (1988)
- Canadian EPA Priority Substances List Assessment Report for Polybrominated diphenyl ethers p.8 (2006). Available from, as of September 17, 2010: <https://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/index-eng.php>
- Eljarrat E et al; Chemosphere 71: 1079-86 (2008)
- Eriksson J et al; Environ Sci Tech 38: 3119-25 (2004)
- EPA DSSTox:
- BDE-154 (<https://comptox.epa.gov/dashboard/DTXSID3052692>)
  - BDE-153 (<https://comptox.epa.gov/dashboard/DTXSID4030047>)
- Haz-Map, Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases(URL: <https://haz-map.com/Agents/5503>)
- Huwe JK et al; Environ Sci Technol 42 (18): 7018-24 (2008)
- Kupper T et al; Chemosphere 71: 1173-80 (2008)
- Lyman WJ et al; Handbook of Chemical Property Estimation Methods. Washington, DC: Amer Chem Soc pp. 7-4,7-5,15-1 to 15-29 (1990)
- NITE; Chemical Risk Information Platform (CH RIP). Biodegradation and Bioconcentration. Tokyo, Japan: Natl Inst Tech Eval. Available from, as of Nov 15, 2010: <https://www.safe.nite.go.jp/english/db.html>
- Sjodin A et al; Environ Sci Technol 35: 3830-3 (2001)
- US EPA; Estimation Program Interface (EPI) Suite. Ver. 4.0. Jan, 2009. Available from, as of Nov 17, 2010: <https://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuitedl.htm>
- Watanabe I et al; Chemosphere 16: 2389-96 (1987)
- WHO; Environmental Health Criteria 162. Brominated Diphenyl Ethers. Geneva, Switzerland: WHO (1994)
- 化學局，108 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫  
化學局，109 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫

### 附錄 8.3 七溴二苯醚 Heptabromodiphenyl ether

#### 1. 水質項目名稱：七溴二苯醚 (heptabromodiphenyl ether)

別名：2,2',3,3',4,5,6-Hepatbromodiphenyl ether, BDE-173(CAS: 446255-20-5)

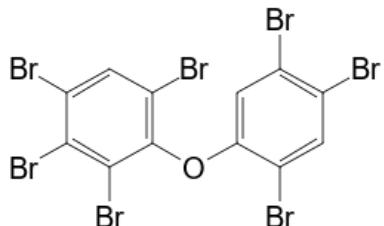
2,2',3,4,4',5,6-Hepatbromodiphenyl ether, BDE-180(CAS: 189084-67-1)

2,2',3,4,4',5',6-Hepatbromodiphenyl ether, BDE-183(CAS: 207122-16-5)

2,2',3,3',4,5',6-Hepatbromodiphenyl ether, BDE-175(CAS: 446255-22-7)

2,3,3',4,4',5',6-Hepatbromodiphenyl ether, BDE-191(CAS: 446255-30-7)

#### 2. 化學式/結構式： $C_{12}H_3Br_7O$



3. 使用單位：ng/L

4. 分析方法：

全氟辛烷酸	APHA「標準方法」 (分類索引編號)	我國環保署環檢所公告 (分類索引編號)
分析方法	EPA-OW/OST 1614	多溴二苯醚檢測方法-氣相層析/ 高解析質譜法 (NIEA M802.00B) 毒性化學物質中多溴二苯醚類 檢測方法-氣相層析質譜儀法 (NIEA T506.31B)

#### 5. 環境背景資料

多溴二苯醚(PBDEs)為阻燃的化學物質，添加到塑膠和發泡產品使其難以燃燒。這些物質不是單一的化學物質，而是數種溴化物質的混合物，整個多溴二苯醚族群由 209 種物質組成，稱為同源物。七溴二苯醚(heptaBDE)即為其中一種屬於多溴二苯醚族群中之化合物。因其具有熱穩定性和成本低，這些物質常用做樹脂聚合物、塑料、粘合劑、密封劑和塗料等添加的阻燃劑。七溴二苯醚化合物沒有商業生產或使用，但商業的八溴二苯醚混合物約有 44% 的七溴二苯醚 (WHO; 1994)。

歐盟根據現有物質規範 793/93/EEC，進行全面性的風險評估後，2004 年起限制使用八溴二苯醚及五溴二苯醚([Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003.](#))。2009 年 5 月斯德哥爾摩公約則陸續將六溴二苯醚、七溴二苯醚、四溴二苯醚、五溴二苯醚及八溴二苯醚列為公

約附件 A 的禁用範圍。當使用多溴二苯醚的產品廢棄或碎裂後，多溴二苯醚經由氣態或附著於小顆粒散佈於環境中，沈入河川底泥及進入食物鏈。

空氣中：根據大氣中半揮發性有機化合物的氣體/顆粒分配的模式(Bidleman TF; 1988)推估七溴二苯醚常溫時蒸汽壓為 $3.3 \times 10^{-10}$  mm Hg (Lyman WJ; 1985)，主要存在於大氣的顆粒相中，顆粒相的七溴二苯醚可藉由乾沈降或濕沈降自空氣中移除。

土壤中：七溴二苯醚估計的  $K_{oc}$  為 89000(Swann RL et al; 1983)，顯示在土壤中是固定不容易移動，根據蒸氣壓  $3.3 \times 10^{-10}$  (Lyman WJ; 1985) 估算，也不易從乾燥和潮濕的土壤表面揮發。根據對五溴二苯醚(例如含 34%的四溴二苯醚、55%的五溴二苯醚、12%的六溴二苯醚)進行生物降解測試，因較少溴的異構物不會生物降解(European Union; 2001)，推估七溴二苯醚在土壤中亦不會生物降解。

水中：水中七溴二苯醚容易被懸浮固體和底泥所吸附，且不易從水體表面揮發，估計 BCF 為 29 (Meylan WM, 1995)，顯示對水中生物的生物濃縮性為中等，根據對五溴二苯醚的生物降解測試，因較少溴的異構物不會生物降解(European Union; 2001)，推估七溴二苯醚在水中亦不會生物降解(European Union; 2001)。

表一、七溴二苯醚物化特性

物化特性		文獻
蒸氣壓	$25^{\circ}\text{C}$ 下， $3.3 \times 10^{-10}$ mm Hg	Lyman WJ; 1985
$K_{oc}$	89000	Swann RL et al; 1983
BCF	29	Meylan WM, Howard PH; 1995
溶解度	—	

#### 人體可能的暴露途徑

七溴二苯醚經由不同的過程釋放至環境中，例如製造八溴二苯醚之產品和使用，使得七溴二苯醚釋放至環境中。一般人在人體血液、體內脂肪中的多溴二苯醚濃度，顯示大部分人都暴露到低濃度的多溴二苯醚，可能經由食入或吸入或接觸到含七溴二苯醚的消費性產品(例如電腦或電視等)而暴露，人類暴露七溴二苯醚的情況很普遍，100%的人體脂肪中接有發現此物質(Cramer PH et al; 1991)。

#### 環境水體中的濃度

放流水：德國13個水處理設施的污泥樣本中，檢測七溴二苯醚的濃度範圍為未檢出到 $0.46 \text{ ng/g}$  (Hagenmaier H. et al; 1992)。

河川底泥：調查臺灣本島主要15條河川(含：南崁溪、頭前溪、客雅溪、中港溪、後龍溪、大安溪、烏溪、北港溪、朴子溪、鹽水溪、二仁溪、典寶溪、東港溪、蘭陽溪及新城溪等15條)之底泥及魚體中特定化學物質，其中檢測25種多溴二苯醚類，河川底泥中25種PBDEs同源物總量平均濃度及範圍為 $17,943$  ( $281\sim401,946$ )  $\text{ng/kg}$  乾重，以二仁溪平均濃度 $82377 \text{ ng/kg}$  乾重為最高，南崁溪 $78,507 \text{ ng/kg}$  乾重次之(化學局, 108年)。109年調查淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河、大甲溪、濁水溪、八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪等15條河川之底泥中三溴至十溴共24種PBEDs同源物質，平均濃度及範圍為 $15,858$  ( $133\sim187,264$ )  $\text{ng/kg dw}$ ，以豐水期濃度較高，各河川全年平

均濃度以淡水河本流平均濃度68,196 ng/kg dw 為最高，大漢溪67,232 ng/kg dw 次之（化學局，109年）。

## 6. 健康評量及毒理資料

動物數據顯示實驗動物經由口服食入或吸入吸收八溴二苯醚後，八溴二苯醚及其代謝物累積在肝臟、脂肪組織及肺中(吸入途徑)，而現有數據無法評估吸收和排除的量。來自人類的數據顯示商業使用的 OBDPE(八溴二苯醚)、HxBDPE、HpBDPE 及 NonaBDPE 的成分，都可被人體吸收分布至血液中，至少有資料顯示 OBDPE、HxBDPE 分布在脂肪組織中，但缺乏自脂肪組織排除或生物累積速率的數據。八溴二苯醚不是眼睛或皮膚的刺激物質，沒有資料顯示會引起實驗動物皮膚過敏。

IARC 基於缺乏人類證據及對動物有限的致癌性證據，多溴二苯醚一群無法歸類對人類有致癌性。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，且特定同源物 2,2',4,4'-四溴二苯醚，2,2',4,4',5-五溴二苯醚和 2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚為無法歸類對人類致癌，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌(USEPA, 2000)。

	RfD	NOAEL ( mg/kg/day)	LOAEL ( mg/kg/day)	MRDD	LD50 (mg/kg)	實驗方式
1	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—

## 7. 處理技術/成本分析

## 8. 國內外管制情形

歐盟根據現有物質規範 793/93/EEC，進行全面性的風險評估後，2004 年起限制使用八溴二苯醚及五溴二苯醚([Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003.](#))。2009 年 5 月斯德哥爾摩公約則陸續將六溴二苯醚、七溴二苯醚、四溴二苯醚、五溴二苯醚及八溴二苯醚列為公約附件 A 的禁用範圍。美國環保署針對五項（其中包含十溴二苯醚）持久性、生物蓄積性和毒性物質，於 2016 年開始制訂風險管理措施，2020 年 12 月公布最終限制規定，自 2021 年 3 月 8 日起，限制含有十溴二苯醚 物質、產品或成品之製造、加工與商業銷售，但餐旅業之窗簾、核能電廠之電線電纜應用等特殊情況之限制則陸續於 2022 年 7 月及 2023 年 1 月開始實施。我國環保署於 94 年公告八溴二苯醚禁止製造、輸入、販賣及使用。105 年 1 月 1 日起八溴二苯醚、五溴二苯醚、2,2',4,4'-四溴二苯醚、2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚、2,2',4,4',5,6'-六溴二苯醚、2,2',3,3',4,5',6-七溴二苯醚、2,2',3,4,4',5',6-七溴二苯醚禁止使用於電子產品之阻燃劑。

項目	國名						
七溴二苯醚	我國	美國	WHO	EC	德國	英國	澳洲

標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	—	—	—	—
----------------------	---	---	---	---	---	---	---

9. 行政考量

10. 管制優先次序

11. 參考文獻

Cramer PH et al; Mass Spectrum Confirmation of Chlorinated and Brominated Diphenylethers in Human Adipose Tissue. Washington, DC: US EPA, Off Tox Sub. U SEPA-560/5-90-012 (1991)

Stanley JS et al; Chemosphere 23: 1185-1186 (1991)

[Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003](#)

European Union; Diphenyl ether, pentabromo derivative (pentabromodiphenyl ether).

European Union Risk Assessment Report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Committees, p. 1-124 (2001)

Hagenmaier H et al; Chemosphere 25: 1457-62 (1992)

Lyman WJ; p. 31 in Environmental Exposure From Chemicals Vol I, Neely WB, Blau GE, eds, Boca Raton, FL: CRC Press (1985)

Meylan WM, Howard PH; J Pharm Sci 84:83-92 (1995)

Swann RL et al; Res Rev 85: 17-28 (1983)

WHO; Environmental Health Criteria 162. Brominated Diphenyl Ethers. Geneva, Switzerland: WHO (1994)

化學局，108 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫  
化學局，109 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫

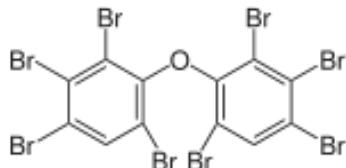
## 附錄 8.4 八溴二苯醚 Octabromodiphenyl ether

1. 水質項目名稱：八溴二苯醚 (octabromodiphenyl ether)

同名（同源物種）：2,2',3,3',4,4',6,6'-Octabromodiphenyl ether, BDE-197(CAS: 117964-21-3)

2,2',3,3',4,4',5,6'-Octabromodiphenyl ether, BDE-196(CAS: 446255-39-6)

2. 化學式/結構式： $C_{12}H_2Br_8O$



3. 使用單位：ng/L

4. 分析方法：

全氟辛烷酸 分析方法	APHA「標準方法」 (分類索引編號) EPA-OW/OST 1614	我國環保署環檢所公告 (分類索引編號) 多溴二苯醚檢測方法-氣相層析/ 高解析質譜法 (NIEA M802.00B) 毒性化學物質中多溴二苯醚類 檢測方法-氣相層析質譜儀法 (NIEA T506.31B)

5. 環境背景資料

八溴二苯醚(octaBDE, octa-BDE, OBDE, octa, octabromodiphenyl oxide, OBDPO)為一種溴化阻燃劑，屬於多溴二苯醚(PBDEs)族群中之化合物。因其具有熱穩定性和成本低，常用做阻燃劑，八溴二苯醚和三氧化二錫一起用作電氣和電子設備外殼的阻燃劑，主要用於塑料丙烯腈丁二烯苯乙烯(acrylonitrile butadiene styrene)，也用於抗高衝擊的聚苯乙烯(polystyrene)、聚對苯二甲酸丁二醇酯(polybutylene terephthalate)及聚酰胺(polyamides)( [European Union risk assessment report. Diphenyl ether, octabromo derivative.](#) Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003.)。商業上的八溴二苯醚是不同 PBDE 同系物的技術混合物，主要成分可能含有七溴及八溴二苯醚的混合物，八溴二苯醚一詞指的是八溴二苯醚的異構物，即多溴二苯醚同系物編號 194-205，如 2,2',3,3',4,4',6,6'-octa-bromodiphenyl ether(BDE 197)，2,2',3,4,4',5,5',6-octabromodiphenyl ether(BDE 203)， 2,2',3,3',4,4',5,6'-octa-bromodiphenyl ether(BDE 196)等。

歐盟根據現有物質規範 793/93/EEC，進行全面性的風險評估後，2004 年起禁止使用八溴二苯醚([Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the](#)

[Council of 6 February 2003.](#))。2009年5月斯德哥爾摩公約增加商業用的八溴二苯醚至名單中，因此項有機污染物符合持久性、生物累積性及毒性的準則。環保署在民國88年公告十溴二苯醚為毒化物，94年底又公告八溴二苯醚及五溴二苯醚為毒化物，嚴格限制使用用途。當使用多溴二苯醚的產品廢棄或碎裂後，多溴二苯醚經由氣態或附著於小顆粒散佈於環境中，沈入河川底泥及進入食物鏈。

空氣中：根據大氣中半揮發性有機化合物的氣體/顆粒分配的模式(Bidleman TF; 1988)推估八溴二苯醚常溫時蒸汽壓為 $1.3 \times 10^{-9}$  mm Hg (Sjodin A et al; 2003.)，主要存在於大氣的顆粒相中，顆粒相的八溴二苯醚將藉由乾沈降或濕沈降自空氣中移除。

土壤中：八溴二苯醚估計的Koc為99000(US EPA; 2010.)，顯示在土壤中是固定不容易移動，根據蒸氣壓 $1.3 \times 10^{-9}$ (Sjodin A et al; 2003.)估算，也不易從乾燥和潮濕的土壤表面揮發。根據使用溴較少的溴化二苯醚測試，不易在環境中生物降解(European Union; 2001.)。

水中：水中八溴二苯醚容易被懸浮固體和底泥所吸附(US EPA; 2010.)，且不易從水體表面揮發，估計在魚類的BCF為1560 - 2900 (WHO; 1994. Meylan WM et al; 1999.)，顯示對水中生物的生物濃縮性很高，由於缺乏在天然環境下水解的官能基，評估八溴二苯醚也不易在環境中水解。

在環境中光分解、厭氧分解及生物體的代謝，可能使八溴二苯醚降解成溴原子較少的多溴二苯醚，但這些產物可能具有較高的毒性或生物累積性(Ad hoc working group on C-Octabromodiphenyl ether under the Persistent Organic Pollutants Review Committee of the Stockholm Convention. 2007.)。

表一、八溴二苯醚物化特性

物化特性		文獻
蒸氣壓	25°C下， $1.3 \times 10^{-9}$ mm Hg	Sjodin A et al; 2003.
Koc	99000	US EPA; 2010.
BCF	1560-2900	WHO; 1994. Meylan WM et al; 1999.
溶解度	0.005 mg/L	pubchem

#### 人體可能的暴露途徑

八溴二苯醚經由不同的過程釋放至環境中，例如製造含八溴二苯醚之產品和產品本身(Ad hoc working group on C-Octabromodiphenyl ether under the Persistent Organic Pollutants Review Committee of the Stockholm Convention. 2007. Hale RC, La Guardia MJ, Harvey E, Gaylor MO, Mainor TM; 2006. Stapleton, Heather M., et al. 2005.)，釋放至空氣、水、土壤、底泥、食物、污泥和灰塵等，使這些介質中八溴二苯醚的濃度升高。一般人可能經由食入或吸入或接觸到含八溴二苯醚的產品而暴露，八溴二苯醚主要儲存在體內脂肪中，可能留在體內數年的時間(Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2004.)。相關工作人員則可能在生產或使用八溴二苯醚的場所，經由職業性吸入或皮膚接觸而暴露(NIOSH; 2010.)。

#### 環境水體中的濃度

地表水：日本1987年檢測75個水樣無偵測到八溴二苯醚，1988-1989年在49個地區採集的147個水樣中也無檢出(WHO; 1994.)。

放流水：2005年西班牙於5個地方的污水處理廠量測2,2',3,3',4,4',5',6-八溴二苯醚(2,2',3,3',4,4',5',6-Octabromodiphenyl ether)在Lleida, Pamplona and Tarragona三地的污水廠低於定量極限，巴塞隆納為未檢出，Burgos為14.9 ng/g 乾重(Eljarrat E et al; 2008.)。瑞士2003年和2005年在16個地方採集的污水廠污泥樣本檢測到八溴二苯醚濃度為7.9-34 ug/kg 乾重 (Kupper T et al; 2008.)。

底泥及沉積物：1987年進行海中沉積物的相關調查，51個樣本中有3個檢出八溴二苯醚，濃為度8-21 ug/kg(乾重)，1988-1989年的調查則收集自45個區域的135個樣本中有3個檢出八溴二苯醚，濃度為15-22 ug/kg(WHO; 1994.)。瑞士的小優養化湖泊Greifensee Lake的八溴二苯醚濃度，從1974年的0.03 ng/g(乾重)增加至2001年的0.14(Kohler M et al; 2008.)。

## 6. 健康評量及毒理資料

動物數據顯示實驗動物經由口服食入或吸入吸收八溴二苯醚後，八溴二苯醚及其代謝物累積在肝臟、脂肪組織及肺中(吸入途徑)，而現有數據無法評估吸收和排除的量。來自人類的數據顯示商業使用的 OBDPE(八溴二苯醚)、HxBDPE、HpBDPE 及 NonaBDPE 的成分，都可被人體吸收分布至血液中，至少有資料顯示 OBDPE、HxBDPE 分布在脂肪組織中，但缺乏自脂肪組織排除或生物累積速率的數據。八溴二苯醚不是眼睛或皮膚的刺激物質，沒有資料顯示會引起實驗動物皮膚過敏。

八溴二苯醚沒有證據顯示對人體有健康上的效應，在動物實驗方面，可能對肝臟、甲狀腺及神經發育有影響(Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2004.)。

IARC 基於缺乏人類證據及對動物有限的致癌性證據，多溴二苯醚一群無法歸類對人類有致癌性。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物，且特定同源物 2,2',4,4'-四溴二苯醚，2,2',4,4',5-五溴二苯醚和 2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚為無法歸類對人類致癌，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌(USEPA, 2000)。

	RfD	NOAEL ( mg/kg/day)	LOAEL ( mg/kg/day)	MRDD	LD50 (mg/kg)	實驗方式
1	—	—	—	—	>28000	大鼠/口服(1)
2	—	—	—	—	>10000	大鼠/口服(2)
3	—	—	—	—	>5000 >2000	大鼠/口服(3) 大鼠/皮膚

(1) Organization for Economic Cooperation and Development; 2010.

(2) European Commission, ESIS; 2010.

(3) Canadian EPA Priority Substances List Assessment Report for Polybrominated diphenyl ethers; 2006.

## 7. 處理技術/成本分析

## 8. 國內外管制情形

歐盟電子及電機設備有害物質限制使用指令(RoHS)規定，2006 年 7 月後，電子及電器設備禁含溴化阻燃劑；歐洲議會 2003 年明令禁止銷售與使用八溴二苯醚及五溴二苯醚；美國加州在 2008 年後禁止八溴二苯醚與十溴二苯醚的使用。

美國環保署針對五項（其中包含十溴二苯醚）持久性、生物蓄積性和毒性物質，於 2016 年開始制訂風險管理措施，2020 年 12 月公布最終限制規定，自 2021 年 3 月 8 日起，限制含有十溴二苯醚 物質、產品或成品之製造、加工與商業銷售，但餐旅業之窗簾、核能電廠之電線電纜應用等特殊情況之限制則陸續於 2022 年 7 月及 2023 年 1 月開始實施。

國內環保署於 94 年公告八溴二苯醚禁止製造、輸入、販賣及使用。

項目	國名						
	我國	美國	WHO	EC	德國	英國	澳洲
八溴二苯醚 標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	—	—	—	—

## 9. 行政考量

## 10. 管制優先次序

## 11. 參考文獻

Ad hoc working group on C-Octabromodiphenyl ether under the Persistent Organic Pollutants Review Committee of the Stockholm Convention. [Draft risk profile: commercial octabromodiphenyl ether](#). United Nations Environment Programme, August 2007.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers \(PBBs and PBDEs\)](#). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, September 2004.

Canadian EPA Priority Substances List Assessment Report for Polybrominated diphenyl ethers p.8 (2006). Available from, as of September 17, 2010: <https://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/index-eng.php>

[Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 amending for the 24th time Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations \(pentabromodiphenyl ether, octabromodiphenyl ether\)](#). Official Journal of the European Union 15.2.2003.

Eljarrat E et al; Chemosphere 71: 1079-86 (2008)

European Commission, ESIS; IUCLID Dataset, Diphenyl ether, octabromo derivative (32536-25-0) p.11 (2000 CD-ROM edition). Available from, as of September 20, 2010: <https://esis.jrc.ec.europa.eu/>

European Union; Diphenyl ether, pentabromo derivative (pentabromodiphenyl ether). European Union Risk Assessment Report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Committees, p. 1-124 (2001)

- European Union risk assessment report. Diphenyl ether, octabromo derivative. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. Publication EUR 20403 EN.
- Hale RC, La Guardia MJ, Harvey E, Gaylor MO, Mainor TM (2006): Brominated flame retardant concentrations and trends in abiotic media. Chemosphere. 64(2):181-6. [doi:10.1016/j.chemosphere.2005.12.006 PMID 16434082](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.12.006)
- Kohler M et al; Environ Sci Technol 42: 6378-84 (2008)
- Kupper T et al; Chemosphere 71: 1173-80 (2008)
- NIOSH; NOES. National Occupational Exposure Survey conducted from 1981-1983. Estimated numbers of employees potentially exposed to specific agents by 2-digit standard industrial classification (SIC). Available from, as of Nov 22, 2010 : <https://www.cdc.gov/noes/>
- OECD; SIDS Initial Assessment Profile SIAM 16 (May 2003). Available from, as of October 28, 2010: <https://webnet.oecd.org/Hpv/UI/handler.axd?id=024be5b0-c193-4b10-8f8b-48b8b5b0651e>
- Organization for Economic Cooperation and Development; SIDS Initial Assessment Profile (SIAP) for Diphenyl ether, octabromo derivative, p.1 (SIAM 16, May 2003). Available from, as of September 20, 2010: <https://webnet.oecd.org/Hpv/ui/SponsoredSubstances.aspx>
- Sjodin A et al; Environ Int 29: 829-39 (2003)
- Stapleton, Heather M., et al. Polybrominated Diphenyl Ethers in House Dust and Clothes Dryer Lint. Environmental Science & Technology 39(4), 925-931, 2005.
- US EPA; Estimation Program Interface (EPI) Suite. Ver. 4.0. Jan, 2009. Available from, as of Nov 18, 2010: <https://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuitedi.htm>
- U.S. Environmental Protection Agency's Integrated Risk Information System (IRIS). Summary on Decabromodiphenyl ether (DBOPE) (1163-19-5). Available from, as of March 15, 2000: <https://www.epa.gov/iris/>
- WHO; Environmental Health Criteria 162. Brominated Diphenyl Ethers. Geneva, Switzerland: WHO (1994)

## 附錄 8.5 九溴二苯醚 Nonabromodiphenyl ether

1. 水質項目名稱：九溴二苯醚（nonabromodiphenyl ether）

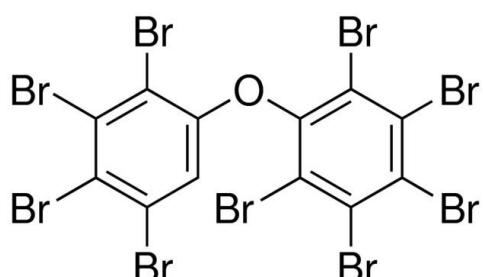
別名：2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nonabromodiphenyl ether, BDE-206 (CAS: 63387-28-0)

2,2',3,3',4,4',5,6,6'-Nonabromodiphenyl ether, BDE-207 (CAS: 437701-79-6)

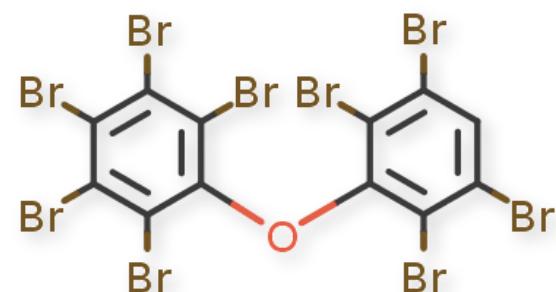
2,2',3,3',4,5,5',6,6'-Nonabromodiphenyl ether, BDE-208 (CAS: 437701-78-5)

2. 化學式/結構式： $C_{12}HBr_9O$

BDE-206



BDE-208



3. 使用單位：ng/L

4. 分析方法：

全氟辛烷酸 (分類索引編號)	APHA「標準方法」 (分類索引編號)	我國環保署環檢所公告 (分類索引編號)
分析方法	EPA-OW/OST 1614	多溴二苯醚檢測方法-氣相層析/ 高解析質譜法 (NIEA M802.00B) 毒性化學物質中多溴二苯醚類 檢測方法-氣相層析質譜儀法 (NIEA T506.31B)

5. 環境背景資料

多溴二苯醚(PBDEs)為阻燃的化學物質，添加到塑膠和發泡產品使這些產品難以燃燒。多溴二苯醚不是單一的化學物質，而是數種溴化物質的混合物，整個多溴二苯醚族群由 209 種物質組成，稱為同源物。三種重要的商業化生產多溴二苯醚混合物為五溴二苯醚、八溴二苯醚、十溴二苯醚。五溴二苯醚主要用在室內

裝潢緩衝泡棉材料(如床墊、軟墊等)，八溴二苯醚則多用在商業設備的塑膠，十溴二苯醚主要用在電子產品外殼(如電視電腦機殼)。當多溴二苯醚的產品廢棄或碎裂後，或在製造多溴二苯醚的過程，且溴化度較高的多溴二苯醚可能經由熱或其他方式降解成溴化度較低的多溴二苯醚(例如十溴二苯醚降解成九溴二苯醚等)，這些多溴二苯醚同源物經由氣態或附著於小顆粒散佈於環境中，沈入河川底泥及進入食物鏈。

研究居住在電子垃圾拆解區居民血中多溴二苯醚的含量，測量周圍居民及對照組血清中 14 種多溴二苯醚同源物，並對 BDE-207、BDE-208、BDE290 三種進行定量，結果顯示職業暴露工人血中七溴至十溴二苯醚濃度是對照組的 11-20 倍，而 BDE-209 是在電子垃圾拆解工人中濃度最高的物種，一些溴化度較高的同源物，如 BDE-197、BDE-207、BDE-208 在拆解工人中也有濃度升高的情形，顯示廣泛職業暴露 PBDEs 會導致血清中所有多溴二苯醚同系物濃度增加([Weiyue Qu, et al., ; 2007](#))。在英格蘭西北部半農村地區，針對日常空氣樣本中的多溴二苯醚進行調查，發現十溴二苯醚 (BDE-209) 與九溴二苯醚 (BDE-206, BDE-207, BDE-208) 為主要的物種，且九溴二苯醚含量高於商用十溴二苯醚混合物，可能原因為十溴二苯醚降解而來 ([Bryony HW, et al., 2008](#))。

#### 人體可能的暴露途徑

在生產或使用多溴二苯醚的場所，相關工作人員可能職業上經由皮膚接觸而暴露。含有多溴二苯醚的消費性產品會釋放這些物質到空氣中，一般人可能經由吸入環境空氣，食入或皮膚接觸到含多溴二苯醚的消費性產品而暴露。

#### 環境水體中的濃度

河川底泥：108年調查臺灣本島主要15條河川（包含：南崁溪、頭前溪、客雅溪、中港溪、後龍溪、大安溪、烏溪、北港溪、朴子溪、鹽水溪、二仁溪、典寶溪、東港溪、蘭陽溪及新城溪等15條）之底泥及魚體中特定化學物質，其中檢測25種多溴二苯醚類，河川底泥中25種PBDEs同源物總量平均濃度及範圍為17,943 (281~401,946) ng/kg乾重，以二仁溪平均濃度82377 ng/kg乾重為最高，南崁溪 78,507 ng/kg乾重次之（化學局，108年）。109年調查淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河、大甲溪、濁水溪、八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪等15條河川之底泥中三溴至十溴共24種PBEDs 同源物質，平均濃度及範圍為15,858 (133~187,264) ng/kg dw，以豐水期濃度較高，各河川全年平均濃度以淡水河本流平均濃度68,196 ng/kg dw 為最高，大漢溪 67,232 ng/kg dw 次之（化學局，109年）。

## 6. 健康評量及毒理資料

研究顯示較低溴的多溴二苯醚(如四溴、五溴、六溴二苯醚)可能造成小鼠神經發育效應，有研究顯示 2,2',3,3',4,4',5,5',6- 九溴二苯醚 (PBDE-206)，2,2',3,4,4',5,5',6- 八溴二苯醚 (PBDE-203) 和少量 2,2',3,4,4',5',6'- 七溴二苯醚 (PBDE-183) 可誘導神經發育毒性效應([Henrik Viberg, et al.,; 2006](#))。

多溴二苯醚可能會造成職業性肝毒素，基於人類的攝入及動物實驗案例，職業環境中頻繁接觸多溴二苯醚的潛在毒性可能引發續發性肝毒物效應([Haz-Map, Information on Hazardous Chemicals and Occupational Diseases](#))。

IARC 基於缺乏人類證據及對動物有限的致癌性證據，多溴二苯醚一群無法歸類對人類有致癌性。美國環保署指出一、二、三、四、五、六、七、八和九溴二苯醚無法歸類在人類的致癌物(D, Not classifiable as to human carcinogenicity)，且特定同源物 2,2',4,4'-四溴二苯醚，2,2',4,4',5-五溴二苯醚和 2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚為無法歸類對人類致癌，對十溴二苯醚則分類為可能對人類致癌(USEPA, 2000)。

## 7. 處理技術/成本分析

## 8. 國內外管制情形

歐盟根據現有物質規範 793/93/EEC，進行全面性的風險評估後，2004 年起限制使用八溴二苯醚及五溴二苯醚([Directive 2003/11/Ec of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003](#))。2009 年 5 月斯德哥爾摩公約則陸續將六溴二苯醚、七溴二苯醚、四溴二苯醚、五溴二苯醚及八溴二苯醚列為公約附件 A 的禁用範圍。美國在 2013 年底停止進口和生產多溴二苯醚。美國環保署環保署針對五項（其中包含十溴二苯醚）持久性、生物蓄積性和毒性物質，於 2016 年開始制訂風險管理措施，2020 年 12 月公布最終限制規定，自 2021 年 3 月 8 日起，限制含有十溴二苯醚物質、產品或成品之製造、加工與商業銷售，但餐旅業之窗簾、核能電廠之電線電纜應用等特殊情況之限制則陸續於 2022 年 7 月及 2023 年 1 月開始實施。我國環保署於民國 94 年公告八溴二苯醚及五溴二苯醚為第一類毒性化學物質，禁止製造、輸入、販賣及使用。105 年 1 月 1 日起八溴二苯醚、五溴二苯醚、2,2',4,4'-四溴二苯醚、2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚、2,2',4,4',5,6'-六溴二苯醚、2,2',3,3',4,5',6-七溴二苯醚、2,2',3,4,4',5',6-七溴二苯醚禁止使用於電子產品之阻燃劑。

項目	國名						
	我國	美國	WHO	EC	德國	英國	澳洲
九溴二苯醚	—	—	—	—	—	—	—
標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	—	—	—	—

## 9. 行政考量

## 10. 管制優先次序

## 11. 參考文獻

[Bryony H Wilford, Gareth O Thomas, Kevin C Jones, Brian Davison, Debra K Hurst.](#)  
 Decabromodiphenyl ether (deca-BDE) commercial mixture components, and other PBDEs, in airborne particles at a UK site. Environ Int. 34(3):412-9. (2008)  
 Henrik Viberg, Niclas Johansson, Anders Fredriksson, Johan Eriksson, Göran Marsh, Per Eriksson; Neonatal exposure to higher brominated diphenyl ethers, hepta-, octa-, or nonabromodiphenyl ether, impairs spontaneous behavior and learning

and memory functions of adult mice. Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology. 2006

Weiyue Qu , Xinhui Bi, Guoying Sheng, Shaoyou Lu, Jiamo Fu, Jing Yuan, Liping Li. Exposure to polybrominated diphenyl ethers among workers at an electronic waste dismantling region in Guangdong, China. Environ Int 2007 Nov;33(8):1029-34.

化學局，108 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫

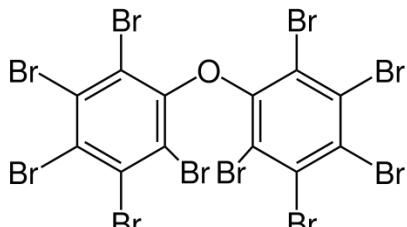
化學局，109 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫

## 附錄 8.6 十溴二苯醚 Decabromobiphenyl ether

1. 水質項目名稱：十溴二苯醚 (decabromobiphenyl ether)

別名：Decabromobiphenyl oxide, Decabromophenyl ether, DecaBDE, DBDE, Pentabromophenyl ether  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pcsubstance/?term=%2217alpha-Ethynelestradiol%22%5bCompleteSynonym%5d%20AND%205991%5bStandardizedCID%5d>, Decabromodiphenyl ether, BDE-209 (CAS:1163-19-5)

2. 化學式/結構式： $C_{12}Br_{10}O$



3. 使用單位：ng/L

4. 分析方法：

	APHA「標準方法」 (分類索引編號)	我國環保署環檢所公告 (分類索引編號)
分析方法	EPA-OW/OST 1614	多溴二苯醚檢測方法-氣相層析/ 高解析質譜法 (NIEA M802.00B) 毒性化學物質中多溴二苯醚類 檢測方法-氣相層析質譜儀法 (NIEA T506.31B)

5. 環境背景資料

十溴二苯醚為一種有機溴化合物，因其具有熱穩定性和成本低，常用做阻燃劑，和其他有機溴阻燃劑類似，十溴二苯醚廣泛使用在多種用品的防火，包括建築材料、電子產品、家具、塑料、紡織品等，有時也被用於黏著劑、密封劑、塗料和油墨上。環保署在民國 88 年公告十溴二苯醚為毒化物，94 年底又公告八溴二苯醚及五溴二苯醚為毒化物，嚴格限制使用用途。當使用多溴二苯醚的產品廢棄或碎裂後，多溴二苯醚經由氣態或附著於小顆粒散佈於環境中，沈入河川底泥及進入食物鏈。

空氣中：根據大氣中半揮發性有機化合物的氣體/顆粒分配的模式 (Bidleman TF; 1988) 推估十溴二苯醚常溫時蒸汽壓為  $6.96 \times 10^{-11}$  mmHg (Lorber M, Cleverly D; 2015.)，主要存在於大氣的顆粒相中，顆粒相的十溴二苯醚將藉由乾沈降或濕沈降自空氣中移除，十溴二苯醚在大氣中亦可能發生光解

(European Chemical Agency; 2015. Norris JM et al; 1979. Watanabe I et al; 1986) ，

但光降解速度很難評估。全球監測在世界各處偏遠地區可測到十溴二苯醚，顯示其可經由大氣而有長距離傳輸(Arellano L et al; 2011. Xu Y et al; 2011. Meng X-Z et al; 2011. Meyer T et al; 2012.)，顯示在大氣中的光解速度不快。

土壤中：十溴二苯醚估計的  $K_{oc}$  為  $2.8 \times 10^5$ (Swann RL et al; 1983.)，在土壤中是固定不容易移動，也不易從潮濕和潮濕的土壤表面揮發，且根據日本 MITI 測試中使用活性污泥的理論 BOD 為 0% (NITE; 2015.)，顯示十溴二苯醚不易生物降解，厭氧生物降解非常緩慢(USEPA; 2015.)。在沒有陽光的情況下，該化合物化合物會持續存在土壤及底泥等沉積物中(Hooper K, McDonald TA; 2000.)，陽光照射下則容易因光降解成可生物累積的低溴同系物（如四溴和六溴二苯）(United Nations; 2013.)。

水中：水中十溴二苯醚容易被懸浮固體和底泥所吸附(US EPA; 2012.)，因其 BCF 為  $0.3 - <50$  (Norris JM et al; 1973. ECHA; 2015. NITE; 2015.)，對水中生物的生物濃縮性較低，而根據日本 MITI 測試中使用活性污泥的理論 BOD 為 0% (NITE; 2015.)，因此也不易被生物降解，厭氧降解非常緩慢(Hooper K, McDonald TA; 2000.)。在沒有照到陽光的情況下，十溴二苯醚會持續存在於底泥中。十溴二苯醚在水中不會水解，在水體表層可能發生光降解(Norris JM et al; 1973. Watanabe I et al; 1986.)，因光降解成可生物累積的低溴同系物（如四溴和六溴二苯醚）。

表一、十溴二苯醚物化特性

物化特性		文獻
蒸氣壓	$25^\circ\text{C}$ 下, $6.96 \times 10^{-11} \text{ mm Hg}$	Lorber M, Cleverly D; 2010.
$K_{oc}$	$2.8 \times 10^5$	Swann RL et al; 1983.
BCF	$0.3 - <50$	Norris JM et al; 1973. ECHA; 2015. NITE; 2015. <a href="https://www.safe.nite.go.jp/english/db.html">https://www.safe.nite.go.jp/english/db.html</a>
溶解度	$<1.0 \times 10^{-4} \text{ mg/L}$ at $25^\circ\text{C}$	pubchem

#### 人體可能的暴露途徑

十溴二苯醚受到加熱分解時會釋放出有毒的一氧化碳和二氧化氮煙霧，還可能釋放出溴化氫煙霧，人體經由吸入而暴露到這些有害氣體(NTP, 1992)。一般人可能經由吸入環境中的空氣和室內灰塵、攝取魚類和食物、接觸含有十溴二苯醚之產品(如電視機和計算機外殼，紡織品等)而暴露。相關工作人員則可能在生產或使用十溴二苯醚的場所，經由職業性吸入或皮膚接觸而暴露。

ADI(每日平均攝取量):根據嬰兒配方奶粉和穀物估算，美國嬰兒(1-12 個月大的每日十溴二苯醚攝取量的中位數為  $2.73 - 4.28 \text{ ng/天}$ (Liu L-Y et al; 2014)。

#### 環境水體中的濃度

地表水：荷蘭在1999年4、7、9月從18的地表水採樣點中採集到的44個懸浮顆粒樣本有測到多溴二苯醚，濃度為 $9 - 4600 \text{ ug/kg}$  乾重(deBoer J et al; 2003.)。2011年8月-9月中國在流入巢湖的7條河川中，檢測到十溴二苯醚的濃度為 $0.31 - 83 \text{ ng/L}$ (Wang X et al; 2013.)。

雨/雪/霧：瑞典在2008年8月-9月的乾濕沉降中監測多溴二苯醚的主要同系物，其中有測得十溴二苯醚，整體多溴二苯醚以顆粒及溶解形態存在，平均濃度為 $209 \text{ pg/L}$ (terSchure AFH, Larsson P; 2002.)。2008-2010年間在烏干達Entebbe地方採集

的降雨樣本中，有測到十溴二苯醚(Arinaitwe K et al; 2014.)。2005-2008年間在加拿大Nunavut 冰帽採集的冰雪樣品十溴二苯醚含量為680-100,000 pg/L (Meyer T et al; 2012.)。

放流水：荷蘭1999年4、7、9月採集的污水和工業廢水樣品(deBoer J et al; 2003.)，來自9個地點收集的樣本，13個進流水測到十溴二苯醚，含量<0.5-330 ug/kg(乾重)，13個出流水測到310-920 ug/kg(乾重)，3個地點採集的3個工業廢水則測到十溴二苯醚<0.5-200 ug/kg(乾重)。臺灣一間回收工廠的灰燼中測得510-2500 mg/kg的十溴二苯醚(deBoer J et al; 1998.)。

底泥及沉積物：在日本大阪的寢屋川及第二寢屋川底泥中，發現33-375 ppb (乾重) 的十溴二苯醚，以及7個不同河流口沉積物中的1個測得20 ppb(乾重)( Watanabe I et al; 1987.)。1995-1996年英國收集流域內有製造溴化阻燃劑的4個河口之底泥，測到十溴二苯醚的濃度為<0.6 to 3190 ug/kg(乾重)( Allchin CR et al; 1999.)。荷蘭1999年4、7、9月在17個地點採集的22個底泥樣品中有測得十溴二苯醚(deBoer J et al; 2003.)，濃度 <4-510 ug/kg (乾重)。西班牙 Cinca河底泥測得十溴二苯醚，Monzon上游的兩個地點測得2.1 ng/g(乾重)，下游為39.9 ng/g(乾重)，下游30公尺處為5.7 ng/g(乾重)( Eljarrat E et al; 2004. )。調查臺灣本島主要15條河川(含：南崁溪、頭前溪、客雅溪、中港溪、後龍溪、大安溪、烏溪、北港溪、朴子溪、鹽水溪、二仁溪、典寶溪、東港溪、蘭陽溪及新城溪等15條)之底泥及魚體中特定化學物質，其中檢測25種多溴二苯醚類，河川底泥中25種PBDEs同源物總量平均濃度及範圍為17,943 (281~401,946) ng/kg 乾重，以二仁溪平均濃度82377 ng/kg乾重為最高，南崁溪78,507 ng/kg 乾重次之(化學局，108年)。109年調查淡水河本流、大漢溪、新店溪、基隆河、大甲溪、濁水溪、八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪等15條河川之底泥中三溴至十溴共24種PBEDs同源物質，平均濃度及範圍為15,858 (133~187,264) ng/kg dw，以豐水期濃度較高，各河川全年平均濃度以淡水河本流平均濃度68,196 ng/kg dw 為最高，大漢溪67,232 ng/kg dw 次之(化學局，109年)。

生態方面：在鳥類、哺乳動物和水生生物的組織中有發現十溴二苯醚。

## 6. 健康評量及毒理資料

接觸到十溴二苯醚的症狀可能包括刺激皮膚、眼睛、黏膜和上呼吸道，還可能導致腹瀉、肝及腎損傷。

人體皮膚接觸十溴二苯醚 (Deca-BDE) 不會產生皮膚過敏。在對生產製造流程中會接觸到多溴二苯醚(含十溴二苯醚)至少六週的工人進行健康評估顯示，35 名接觸工人中有 4 名的原發性甲狀腺功能衰退的盛行率比一般高，血清中促甲狀腺素 (thyrotropin) 濃度上升，血清 T4 濃度低 (對照組則 89 人中有 0 人)。在接觸十溴二苯醚的工人中，工作時間長短與促卵泡激素 (follicle stimulating hormone) 的濃度間存在顯著相關。

動物研究 Deca-BDE 不會引起皮膚反應，因吸收性差，不容易穿透細胞壁，急性和慢性毒性相對較低，而以肝臟和甲狀腺為主要目標，且有一些致癌性的證據。一些證據顯示雄性和雌性大鼠具有致癌性，低劑量 (25,000 ppm) 雄性大鼠和高劑量 (50,000 ppm) 組的雄性及雌性大鼠之肝臟腫瘤結節發生率增加。但無

證據顯示對飲食中食入低劑量(25,000 ppm)和高劑量 (50,000 ppm) 的雌性小鼠有致癌性。幾項動物研究顯示，十溴二苯醚可能導致發育神經毒性，影響運動和地獄認知。懷孕和哺乳期間暴露 Deca-BDE，會損害大鼠的免疫功能。

有限證據顯示十溴二苯醚對實驗動物造成致癌性，因此在 IARC 則未歸類在人類的致癌物(Group 3)(IARC,1999)。而基於缺乏人類數據及對動物有限的致癌性證據，美國環保署將其分類為 C，可能的人類致癌物(USEPA, 2000)。

	RfD	NOAEL ( mg/kg/day)	LOAEL ( mg/kg/day)	MRDD	LD50 (mg/kg)	實驗方式
1	—	—	—	—	500( LDLo)	大鼠/口服(1)
2	—	—	—	—	>3 gm/kg(LD)	大鼠/皮膚(2)

(4) National Technical Information Service., OTS0522261

(5) Gigiena i Sanitariya. 1983

## 7. 處理技術/成本分析

## 8. 國內外管制情形

美國環保署針對五項（其中包含十溴二苯醚）持久性、生物蓄積性和毒性物質，於 2016 年開始制訂風險管理措施，2020 年 12 月公布最終限制規定，自 2021 年 3 月 8 日起，限制含有十溴二苯醚 物質、產品或成品之製造、加工與商業銷售，但餐旅業之窗簾、核能電廠之電線電纜應用等特殊情況之限制則陸續於 2022 年 7 月及 2023 年 1 月開始實施。

項目	國名						
	我國	美國	WHO	EC	德國	英國	澳洲
十溴二苯醚	—	—	—	—	—	—	—
標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	—	—	—	—

## 9. 行政考量

## 10. 管制優先次序

## 11. 參考文獻

- Allchin CR et al; Environ Pollut 105: 197-202 (1999)
- Arellano L et al; Environ Sci Technol 45: 9268-75 (2011)
- Arinaitwe K et al; Environ Sci Technol 48: 1458-66 (2014)
- Bidleman TF; Environ Sci Technol 22: 361-367 (1988)
- deBoer J et al; Environ Pollut 122: 63-74 (2003)

- deBoer J et al; in *Handbook Environ Chem.* Paasivirta J, ed., Berlin Germany: Springer-Verlag 3(K): 61-95 (1998)
- ECHA; Search for Chemicals. Bis(pentabromophenyl) ether (CAS 1163-19-5) Registered Substances Dossier. European Chemical Agency. Available from, as of Mar 24, 2015: <https://echa.europa.eu/>
- Eljarrat E et al; *Environ Sci Technol* 38: 2603-8 (2004)
- EPA-OW/OST 1614. National Environmental Methods Index; Analytical, Test and Sampling Methods. Decabromobiphenyl Ether (1163-19-5). Available from, as of March 4, 2015: <https://www.nemi.gov>
- European Chemical Agency; European Union Risk Assessment Report, Bis(pentabromophenyl) ether (1163-19-5) (July 2002). Available from, as of Mar 24, 2015: <https://echa.europa.eu/documents/10162/da9bc4c4-8e5b-4562-964c-5b4cf59d2432>
- Gigiena i Sanitariya. For English translation, see *HYSAAV.*, 48(8)(18), 1983
- Hooper K, McDonald TA; *Environ Health Perspect* 108: 387-92 (2000)
- IARC. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1972-  
PRESENT. (Multivolume work). Available at: <https://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>, p. V71 1368 (1999)
- Liu L-Y et al; *Environ Sci Technol* 48: 9812-18 (2014)
- Lorber M, Cleverly D; in *An Exposure Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers*. EPA/600/R-08/086F. National Center for Environmental Assessment (NCEA), Office of Research and Development. Washington, DC (2010). Available from, as of Mar 24, 2015: <https://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=210404>
- Lyman WJ et al; *Handbook of Chemical Property Estimation Methods*. Washington, DC: Amer Chem Soc pp. 15-1 to 15-29 (1990)
- Meng X-Z et al; *Chemosphere* 83: 1391-7 (2011)
- Meyer T et al; *Environ Sci Technol* 46: 826-33 (2012)
- National Technical Information Service., OTS0522261
- NIOSH 2259. CDC; NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. Decabromodiphenyl Oxide (1163-19-5). Available from, as of March 4, 2015: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/>
- NITE; Chemical Risk Information Platform (CH RIP). Biodegradation and Bioconcentration. Tokyo, Japan: Natl Inst Tech Eval. Available from, as of Mar 24, 2015: <https://www.safe.nite.go.jp/english/db.html>
- Norris JM et al; *Appl Polymer Sympos* 22: 195-219 (1973)
- Norris JM et al; *Appl Polymer Sympos* 22: 195-219 (1979)
- NTP, National Toxicology Program, Institute of Environmental Health Sciences, National Institutes of Health (NTP). 1992. National Toxicology Program Chemical Repository Database. Research Triangle Park, North Carolina.
- Swann RL et al; *Res Rev* 85: 17-28 (1983)
- terSchure AFH, Larsson P; *Atmos Environ* 36: 4015-22 (2002)
- United Nations; Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, UNEP/POP S/POPRC.9/2 (June 2013), Persistent Organic Pollutants Review Committee Ninth Meeting Rome, 14-18 October 2013. Available from, as of Mar 25, 2015: <https://chm.pops.int/The>

[Convention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC9/Overview/tabcid/3280/mctl/ViewDetails/EventModID/871/EventID/407/xmid/10326/Default.aspx](https://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuitedl.htm)

US EPA; Estimation Program Interface (EPI) Suite. Ver. 4.11. Nov, 2012. Available from, as of Mar 24, 2015: <https://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuitedl.htm>

U.S. Environmental Protection Agency's Integrated Risk Information System (IRIS). Summary on Decabromodiphenyl ether (DBOPE) (1163-19-5). Available from, as of March 15, 2000: <https://www.epa.gov/iris/>

USEPA; An Alternatives Assessment for the Flame Retardant Decabromodiphenyl Ether (DecaBDE), Final Report (January 29, 2014). Available from, as of Mar 24, 2015: <https://www2.epa.gov/saferchoice/partnership-evaluate-flame-retardant-alternatives-decabde-publications>

Wang X et al; Chemosphere 93: 1624-31 (2013)

Watanabe I et al; Chemosphere 16: 2389-96 (1987)

Watanabe I et al; Bull Environ Contam Toxicol 36: 839-42 (1986)

Xu Y et al; Sci Total Environ 409: 4564-71 (2011)

化學局，108 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫

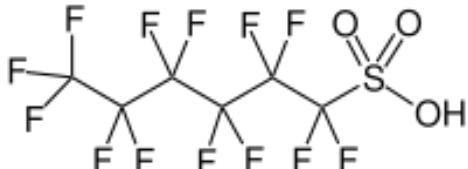
化學局，109 年化學物質環境流布背景調查及釋放量管理策略研析專案工作計畫

### 附錄 8.7 全氟己烷磺酸 Perfluorohexanesulfonic acid

1. 水質項目名稱：全氟己烷磺酸（Perfluorohexanesulfonic acid, PFHxS）

(CAS : 355-46-4)

2. 化學式/結構式： $C_6HF_{13}O_3S$



3. 使用單位：ng/L

4. 分析方法：

全氟辛烷酸 APHA「標準方法」 (分類索引編號)	我國環保署環檢所公告 (分類索引編號)
分析方法	- 全氟烷酸類化合物檢測方法-固相萃取與高效益相層析/串聯式質譜儀法(NIEA W542.50B)

### 5. 環境背景資料

全氟己烷磺酸 (PFHxS) 為全氟烷基化學品(PFAS)家族中的六碳化合物，類似全氟辛烷磺酸(PFOS)，由於有良好的防水及防油性能，因此用於紡織品，如地毯處理溶液，也用於消防泡沫中，曾被3M公司廣泛用作防污劑和防水劑，但因美國環保署的規定而逐步淘汰其使用(Garcia J. S. et al; 2015)。PFHxS及其鹽類在2017年7月被認定為高度關注物質(SVHC)，而加入SVHC候選清單中。全氟己烷磺酸的產生和使用是作為在生產全氟烷基磺酸鹽(PFAS)產品的原料或前驅物(OECD; 2011)，或用作表面活性劑(NTP; 2015)。以前用於消防泡沫和地毯處理溶液(Garcia J. S. et al; 2015)，導致使用後經由廢物流流布於環境中。2009年一項對製造商的調查報告指出超過80%的PFAS化學品是釋放至當地水道，而少量才會排到空氣中，且以全氟己烷磺酸(PFHxS)貢獻大部分的釋放量(OECD; 2011)。

空氣中：若PFHxS排放至空氣中，25°C時的蒸氣壓約為0.0046 mm Hg (US EPA; 2012)，推估PFHxS將僅以蒸氣型態存在於大氣中，但監測資料顯示在大氣中以氣態和粒狀同時存在(Kim SK, Kannan K; 2009)。且與光化學產生的氫氧自由基反應而在大氣中降解；該反應在空氣中的半衰期估計為115天(USEPA; 2012)。PFHxS預計不會受到日光直接光解，在偏遠的北極地區及海洋空氣中測得PFHxS的存在(Dreyer A et al; 2009. ATSDR; 2015)，顯示該化合物在全球範圍內可進行長距離的傳輸。

土壤中：如果釋放到土壤中，全氟己烷磺酸的Koc為9.3 (Awad E et al; 2011)，因此在土壤中全氟己烷磺酸具很高的移動性。該化合物預估的pKa為0.14(ATSDR; 2015)，顯示全氟己烷磺酸在環境中幾乎都以陰離子形式存在，而在

含有機碳和黏土的土壤中，中性物質較陰離子容易被吸附(Doucette WJ; 2000)。類似的化合物 PFOS(全氟辛烷磺酸)不易在潮濕土壤表面揮發(Giesy JP, Kannan K; 2002)，預估全氟己烷磺酸也是如此。因蒸氣壓為0.0046 mmHg，全氟己烷磺酸也不會從乾燥的土壤表面揮發(US EPA; 2015)。土壤中的生物降解數據仍十分缺乏，現有的測試結果顯示可能具有抗生物降解性(ATSDR; 2015)。

水體中：水中的PFHxS不會吸附在懸浮的固體和沈積物中，該化合物預估的pKa為0.14(ATSDR; 2015)，顯示在pH值範圍5~9時的水體環境中幾乎以陰離子形式存在，因此不易從水體表面揮發。但因為全氟烷基化合物具有表面活性劑的性質，儘管這些物質pKa較低，釋放到水體中的量可能形成膠束且以締結形態存在(ATSDR; 2015)，水體表面的全氟己烷磺酸可能揮發至大氣中。BCF為10(Conder JM et al; 2008)和田野的BAF為70(Awad E et al; 2011)，因此水生生物中的生物濃縮度為低到中等。參考PFOS的水解結果(ATSDR; 2015)，推測PFHxS也不易水解。

表一、全氟己烷磺酸物化特性

物化特性		文獻
蒸氣壓	25°C下，0.0046 mmHg	US EPA; 2015
Koc	9.3	Awad E et al; 2011
BCF	10	Conder JM et al; 2008

#### 人體可能的暴露途徑

數十年來全烷基化學品(PFC)各種消費產品中的表面活性劑和防污劑。一般人接觸到這些化學物質基本上普遍存在，主要的暴露途徑是經由食物、飲用水攝入含有PFHxS的食物，以及吸入空氣中含有PFHxS的粉塵，使用接觸含有PFHxS的消費品而暴露(ATSDR; 2015)。在一項監測研究中，評估消防員體內血清全氟烷基酸鹽(PFAAs)的濃度，而消防員體內血清中的全氟己烷磺酸(PFHxS)統計上有較高濃度。

#### 環境水體中的濃度

飲用水：2010年荷蘭阿姆斯特丹檢測飲用水及自來水樣品，PFHxS的平均濃度為0.6和1.3 ng/L(Eschauzier C et al; 2011)；2011年2~4月採集的自來水樣品則檢測PFHxS平均濃度為0.55 ng/L(Eschauzier C et al; 2013)。2008年10月至2009年1月採集自挪威奧斯陸的飲用水樣品，檢測PFHxS的濃度為0.045~0.15 ng/L(Haug LS et al; 2010)。2010年8~11月澳洲的34個飲用水採樣點有21個檢出PFHxS，濃度範圍為<0.92 ~ 9.98 ng/L(Thompson J et al; 2011)。臺灣於民國108-109年抽選自來水廠共93個清水進行全氟碳化物篩檢，有3個水樣檢出PFHxS（環保署，2020）。

地表水：2008年12月中國天津3條河川沿岸23處採樣點的水樣中，PFHxS濃度為0.14~1.28 ng/L (Pan Y et al; 2011)。2003和2004年加拿大北極地區Resolute湖和Meretta湖採集的水樣，PFHxS濃度為1.5~24 ng/L (Stock NL et al; 2007)。2006年紐約阿爾巴尼附近採集的湖水樣品，PFHxS濃度為<0.25 (偵測極限) ~4.05 ng/L (Kim SK, Kannan K; 2007)。2004年7月

紐約州 Onondaga 湖水樣測到的 PFHxS 濃度為 4.2~8.5 ng/L，Erie 運河濃度為 2.5-5.6 ng/L，其他湖泊河川濃度為 0.9-2.8 ng/L ( Sinclair E et al; 2006 ) 。

地下水：從位於明尼蘇達州的3M工廠抽取的井水水樣測到PFHxS濃度為6.47-40.0 ug/L( ATSDR; 2015)。

放流水：2010年歐洲90個廢水處理廠之放流水樣分析了156種有機污染物，71% 的放流水樣品可檢出 PFHxS，平均濃度和最大濃度為 48.6 和 922 ng/L ( Loos R et al; 2013 ) 。美國在10個污水處理廠之進流水和放流水進行分析，PFHxS 濃度範圍為 2.3-12 ng/L ( 進流水 ) 和 2.4-17 ng/L ( 放流水 ) ( Schultz MM et al; 2006 ) 。紐約州6個污水處理廠的放流水PFHxS濃度範圍為 <2.5-39 ng/L ( Sinclair E, Kannan K; 2006 ) 。

## 6. 健康評量及毒理資料

全氟辛烷磺酸(PFOS)、全氟辛酸(PFOA)及全氟己烷磺酸(PFHxS)在人體中普遍廣泛的存在，且這些物質都有自人體排除緩慢的特性。全氟己烷磺酸可能是影響發育的神經毒性物質，作用類似全氟辛烷磺酸(PFOS)、全氟辛酸(PFOA)，也與其他物質如多氯聯苯、多溴二苯醚、雙酚A類似。研究顯示全氟己烷磺酸之影響為在組織發育及型態、細胞組合及細胞間傳導的基因方面(Power MC et al; )。

## 7. 處理技術/成本分析

使用活性碳吸附，膜過濾和離子交換處理水中全氟碳化物 ( Herkert et al., 2020 ) 。

## 8. 國內外管制情形

PFHxS 為一新興污染物，因此各國對於其在飲水中濃度的標準，大部分都尚未有所定論。

項目	國名						
PFHxS	我國	美國	WHO	EC	德國	英國	澳洲
標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	0.0001*	—	—	0.00007**

\*歐盟以 sum of PFAS 為 0.1μg/l

\*\*澳洲為 PFOS 及 PFHxS 合計 70 ng/L

## 9. 行政考量

## 10. 管制優先次序

## 11. 參考文獻

- ATSDR; Draft Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Atlanta, GA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US Public Health Service (2015). Available from, as of Oct 5, 2015: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp>
- Awad E et al; Environ Sci Technol 45: 8081-89 (2011)
- Conder JM et al; Environ Sci Technol 42: 995-1003 (2008)
- Doucette WJ; pp. 141-188 in Handbook of Property Estimation Methods for Chemicals. Boethling RS, Mackay D, eds. Boca Raton, FL: Lewis Publ (2000)
- Dreyer A et al; Environ Sci Technol 43: 6507-14 (2009)
- Eschauzier C et al; Environ Sci Technol 46(3): 1708-15 (2011)
- Eschauzier C et al; Chemosphere 90: 36-41 (2013)
- Garcia J. S. et al; Perfluoroalkyl Compounds, Hamilton & Hardy's Industrial Toxicology 69 (2015). <https://onlinelibrary.wiley.com/advanced/search>
- Giesy JP, Kannan K; Environ Sci Technol 36: 147A-152A (2002)
- Haug LS et al; Chemosphere 80: 1137-43 (2010)
- Herkert et al., N.J. Herkert, J. Merrill, C. Peters, D. Bollinger, S. Zhang, K. Hoffman, et al. Assessing the effectiveness of point-of-use residential drinking water filters for perfluoroalkyl substances (PFASs). Environmental Science & Technology Letters, 7 pp. 178-184 (2020)
- Kim SK, Kannan K; Environ Sci Technol 41: 8328-34 (2007)
- Loos R et al; Water Research 47: 6475-87 (2013)
- NTP; Perfluorohexane sulfonate, PFHXS - M040005 (CAS 355-46-4), National Institute of Environmental Health Sciences. Available from, as of Oct 6, 2015: <https://ntp.niehs.nih.gov/testing/status/agents/ts-m040005.html>
- OECD; PFCS: Outcome of the 2009 survey. Survey on the production, use and release of PFOS, PFAS, PFOA PFCA, their related substances and products/mixtures containing these substances. Series on risk management No.24 (Jan 7, 2011). Available from, as of Oct 6, 2015: [https://www.oecd.org/officialdocuments/public-displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2011\)1&doclanguage=en](https://www.oecd.org/officialdocuments/public-displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2011)1&doclanguage=en)
- Pan Y et al; Bull Environ Contam Toxicol 87(2): 152-57 (2011)
- Power MC et al; Neuroepidemiology 40(2): 125-32 (2013).
- Schultz MM et al; Environ Sci Technol 40: 289-95 (2006)
- Sinclair E et al; Arch Environ Contam Toxicol 50: 398-410 (2006)
- Stock NL et al; Environ Sci Technol 41: 3529-36 (2007)
- Thompson J et al; Chemosphere 83: 1320-25 (2011)
- US EPA; Estimation Program Interface (EPI) Suite. Ver. 4.11. Nov, 2012. Available from, as of Oct 6, 2015: <https://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuitedi.htm>

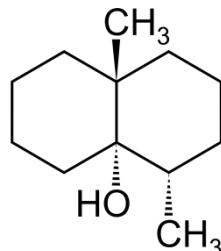
環保署，109 年飲用水新興污染物研究與水質管理計畫，2020

## 附錄 8.8 土臭素 Geosmin

### 1. 水質項目名稱：土臭素（geosmin）

別名：4,8a-Dimethyl-decahydronaphthalen-4a-ol; Octahydro-4,8a-dimethyl-4a(2H)-naphthalenol (CAS: 19700-21-1)

### 2. 化學式/結構式： $C_{12}H_{22}O$



### 3. 使用單位：ng/L

### 4. 分析方法：

	APHA「標準方法」 (分類索引編號)	我國環保署環檢所公告 (分類索引編號)
分析方法		水中土霉味物質 Geosmin 及 2-Methylisoborneol 檢測方法-固相微萃取/頂空/氣相層析質譜儀法 (NIEA W537.51B)

### 5. 環境背景資料

土臭素是一種由放線菌或真菌所產生的代謝產物，為具有泥土氣味的天然雙環萜烯（bicyclic terpene）有機化合物，甜菜皮和其他植物部分中也發現土臭素的存在，或例如天氣乾旱後下雨時，空氣中的味道，或當土壤被翻動時產生的氣味，皆是由放線菌或真菌產生的土臭素味道，土臭素也是造成穀物、魚類、蔬果等不同食物中泥土異味的原因，且人類的鼻子可在空氣中低至 5 ppt 的濃度下檢測到。土臭素和 2-MIB 對化學 (Peter, A., and U. von Gunten. 2007.; Westerhoff, P., et al., 2006) 和生物降解相對穩定，並且可以溶解形式水中持續存在一段時間，因此在水或食物中存在時造成異味的問題(Cane & Ikeda, 2012)。

水中若有藻類優養化情形，藻類代謝物質如 geosmin 及 2-MIB ( 2-Methylisoborneol )，會給水帶來泥土味或霉味，亦為水中常見產生臭味的化學物質，且多是溶解形式存在，在低濃度就能聞到味道，影響人們用水的舒適性。生物膜也是土臭味顯著的來源，即使在大型快速流動的溪流中也可能有土臭味存在，因附著在岩石上或在河流中生長的藍綠藻和放線菌等 (cyanobacteria, actinomycetes)，可能將細胞代謝物質 geosmin 及 2-MIB 釋放到水中，造成臭味問題。

人體可能的暴露途徑

一般民眾可能經由飲用水或含土臭素的食物暴露到土臭素。

### 環境水體中的濃度

地表水：在瑞士蘇黎世附近的一些小溪流中，發現了4~7 ng/L的土臭素（Jüttner, F.;1999）。水中的土臭素及2-MIB濃度也會隨著季節和水層變化而有所差異，例如在德國Schleinsee湖7月表層測量到190 ng/L的土臭素，9月時表層水的濃度降低至50 ng/L，但較底層的土臭素濃度則顯著增加至190~950 ng/L ( Henatsch, J., and F. Jüttner. 1990.)，推測原因可能是水中顆粒結合土臭素，沈降至湖泊較底層。經濟部水利署南區水資源局110年對轄區5個水庫進行水質監測與分析，曾文水庫5月時測得2-MIB為27.4 ng/L，其餘2-MIB與geosmin均符合日本所訂之標準（2-MIB < 20 ng/L，geosmin < 10 ng/L）；牡丹水庫皆符合標準；阿公店水庫2-MIB濃度為ND~295.68 ng/L，geosmin為ND~182.3 ng/L；高屏溪攔河堰2-MIB三季濃度為ND、31.4ng/L、ND，geosmin三季為ND、2.5 ng/L、ND；甲仙攔河堰皆符日本所訂之標準（經濟部水利署南區水資源局; 2021）。

### 6. 健康評量及毒理資料

人類對於土臭素（geosmin）及 2-MIB 的嗅味閾值為 4~10 ng/L，在此濃度下，geosmin 及 2-MIB 對人類沒有直接的健康危害證據，但對公共用水來說，這些臭味物質則會影響飲用水適飲性。

	RfD	NOAEL ( mg/kg/day)	LOAEL ( mg/kg/day)	MRDD	LD50 (mg/kg)	實驗方式
1	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—

### 7. 處理技術/成本分析

活性碳吸附可處理水中土霉味物質。

### 8. 國內外管制情形

項 目	國名						
	我國	美國	WHO	EC	日本	英國	澳洲
土臭素 標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	—	0.00001	—	0.00001

### 9. 行政考量

### 10. 管制優先次序

### 11. 參考文獻

Cane, D. E., & Ikeda, H. (2012). Exploration and mining of the BacterialTerpenome. Accounts of Chemical Research, 45, 463–472

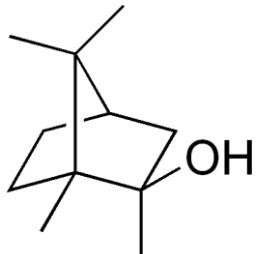
- Henatsch, J., and F. Jüttner.** 1990. Dynamik flüchtiger organischer Stoffe im Schleinsee. Ö kol. Natursch. 3:93-126.
- Jüttner, F.** 1999. Geosmin und andere biogene Geruchsstoffe im Zürichseewasser. Schweiz. Ver. Gas Wasserf. 1999:60-65
- Peter, A., and U. von Gunten. 2007. Oxidation kinetics of selected taste and odor compounds during ozonation of drinking water. Environ. Sci. Technol. 41:626-631.
- Westerhoff, P., B. Nalinakumari, and P. Pei.** 2006. Kinetics of MIB and geosmin oxidation during ozonation. Ozone Sci. Eng. 28:277-286.
- 經濟部水利署南區水資源局，110 年度水庫庫區與集水區水質檢驗分析計畫成果報告。

## 附錄 8.9 二甲基異莰醇 2-Methylisoborneol

1. 水質項目名稱：二甲基異莰醇（2-methylisoborneol）

別名：2-MIB；二甲基冰片（CAS: 2371-42-8）

2. 化學式/結構式： $C_{11}H_{20}O$



3. 使用單位：ng/L

4. 分析方法：

全氟辛烷酸	APHA「標準方法」 (分類索引[編號])	我國環保署環檢所公告 (分類索引[編號])
分析方法		水中土霉味物質 Geosmin 及 2-Methylisoborneol 檢測方法-固相微萃取/頂空/氣相層析質譜儀法 (NIEA W537.51B)

## 5. 環境背景資料

2-methylisoborneol (MIB) 2-甲基異莰醇為具有土霉味的天然雙環萜類 (bicyclic terpenoid) 有機化合物，是一種由放線菌或藍綠菌所產生的代謝產物，人類的鼻子可在空氣中低至 10 ppt 的濃度下偵測到。土臭素和 2-MIB 土霉味對化學 (Peter, A., and U. von Gunten. 2007.; Westerhoff, P., et al., 2006) 和生物降解相對穩定，並且可以溶解形式水中持續存在一段時間，因此在水或食物中存在時造成異味的問題(Cane & Ikeda, 2012)。

水中若有藻類優養化情形，如 Cyanobacteria 藍綠藻大量生長，甚至出現藻華情形時，藻類代謝物質如 geosmin 及 2-MIB，會給水帶來泥土味或霉味，隨著藻類微生物的死亡，細胞中的 2-MIB 釋放出來，為水中常見產生臭味的化學物質 ((Kakimoto et al., 2014))。在一些水產品中 (如大西洋鮭魚或虹鱒魚等) 這些化合物的存在也影響了水產品、海鮮產品的產量和價格 (Zhang et al., 2016)，且在低濃度就能聞到味道，影響人們用水的舒適性。

### 人體可能的暴露途徑

一般民眾可能經由飲用水或含 2-MIB 的食物暴露到 2-MIB，主要是土霉味造成味道的不適感。。

### 環境水體中的濃度

地表水：檢測斯里蘭卡5個地區(Anuradhapura, Pollonnaruwa, Ampara, Batticalao及Trincomalee 5個地區) 在乾季時16個淨水場清水的異臭味物質，處理過的水土臭素濃度範圍8.4 - 38.9 ng/L，2-MIB為4.5 - 98.5 ng/L ( Ganegoda SS. 2018 )，而在淨水處理過程使用顆粒狀或粉狀活性碳，對去除土臭素和2-MIB很有效果。經濟部水利署南區水資源局110年對轄區5個水庫進行水質監測與分析，曾文水庫5月時測得2-MIB為27.4 ng/L，其餘2-MIB與geosmin均符合日本所訂之標準( 2-MIB < 20 ng/L，geosmin < 10 ng/L )；牡丹水庫皆符合標準；阿公店水庫2-MIB濃度為ND~295.68 ng/L，geosmin為ND~182.3 ng/L；高屏溪攔河堰2-MIB三季濃度為ND、31.4ng/L、ND，geosmin三季為ND、2.5 ng/L、ND；甲仙攔河堰皆符日本所訂之標準（經濟部水利署南區水資源局; 2021）。

## 6. 健康評量及毒理資料

使用濃度 10 ng/L ~ 300mg/L 的土黴味物質 geosmin 及 2-MIB 研究細胞毒性，而兩種物質在人類的 KB 細胞及源於人類、猴子、狗的 WST-1 細胞皆未顯示有細胞毒性 (Mochida k. 2009)。而人類對於土臭素 (geosmin) 及 2-MIB 的嗅味閾值為 4~10 ng/L，在此濃度下，geosmin 及 2-MIB 對人類沒有直接的健康危害證據，但對公共用水來說，這些臭味物質則會影響飲用水適飲性。

但會產生土黴味 geosmin 或 2-MIB 的藍綠藻類，可能也會釋放出藻毒素，如肝毒素、圓柱藻毒素 ( cylindrospermopsins )、微囊藻毒素 ( microcystins )、神經毒素、類毒素 ( anatoxins )、皮膚毒素等毒素，這些毒素會導致肝臟、神經系統、皮膚傷害等健康影響(Graham et al., 2010)。

	RfD	NOAEL ( mg/kg/day)	LOAEL ( mg/kg/day)	MRDD	LD50 (mg/kg)	實驗方式
1	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—

## 7. 處理技術/成本分析

去除清水中的臭味物質成本高，因此自來水公司傾向減少水源中的臭味物質方式，例如使用硫酸銅進行選擇性處理藻類，或活性碳吸附可有效處理水中土霉味物質。

## 8. 國內外管制情形

項 目	國名						
	我國	美國	WHO	EC	日本	英國	澳洲
2-MIB 標準值 (單位： mg/L)	—	—	—	—	0.00001	—	0.00001

## 9. 行政考量

## 10. 管制優先次序

## 11. 參考文獻

- Cane, D. E., & Ikeda, H. (2012). Exploration and mining of the BacterialTerpenome. *Accounts of Chemical Research*, 45, 463–472
- Ganegoda, S.S.; Manage, P.M.; Chinthaka, S.D.M. Determination of Geosmin and 2-Methylisoborneol Removal at Water Treatment Processes [International Forestry and Environment Symposium-2018](#)
- Graham, J., Loftin, K., Meyer, M., & VZiegler, A. (2010). Cyanotoxins mixtures and taste-and-odor compounds in cyanobacterial blooms from the Midwestern United States. *Environmental Science & Technology*, 44(19), 7361–7368.
- Kakimoto, M., Ishikawa, T., Miyagi, A., Saito, K., Miyazaki, M., Asaeda, T., et al. (2014). Culture temperature affects gene expression and metabolic pathways in the 2-methylisoborneol producing cyanobacterium *Pseudanabaena galeata*. *Journal of Plant Physiology*, 171(3–4), 292–300.
- Mochida kyo. [Evaluation of the cytotoxicity of geosmin and 2-methylisoborneol using cultured human, monkey, and dog cells](#) Biocontrol science 2009 Mar; 14(1):35-8)
- Peter, A., and U. von Gunten.** 2007. Oxidation kinetics of selected taste and odor compounds during ozonation of drinking water. *Environ. Sci. Technol.* 41:626-631.
- Zhang, T., Xue, Y., Li, Z., Wang, Y., Yang, W., & Xue, C. (2016b). Effects of ozone on the removal of geosmin and the physicochemical properties of fish meat from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 16–23.

經濟部水利署南區水資源局，110 年度水庫庫區與集水區水質檢驗分析計畫成果報告。

