

「114-115 年度竹科園區節水節能輔導計畫」

114 年度節水教育訓練

環保法規加嚴之廢水因應對策



財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

環境工程研究中心 許國恩 組長

kuoenh@sinotech.org.tw

114年7月

簡報大綱

壹

產業面臨之挑戰

貳

放流水標準及水污管理現況

參

廢(污)水處理精進作為-綠色轉型

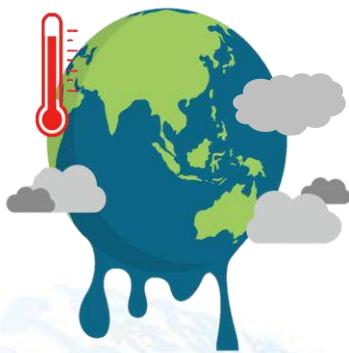
肆

結語與展望

壹、產業面臨之挑戰



產業升級轉型驅動力



溫室
氣體



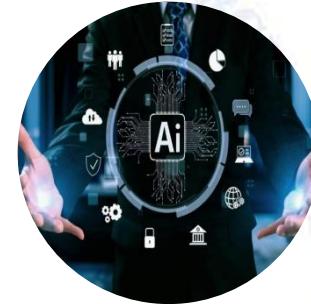
水資源
利用



環境
品質



新興
污染物



AI數位
智慧管理

新興污染物(Emerging contaminants)

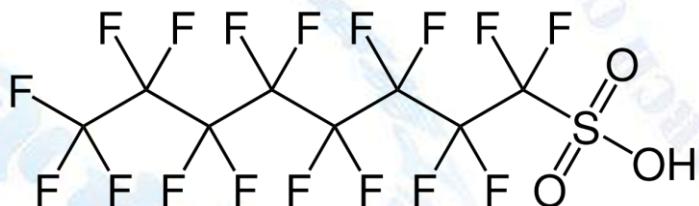
- 新認定或之前未確認」、「未受法規規範」、「且對人體健康及生態環境具有風險性」的化學物質



全氟及多氟烷基物質

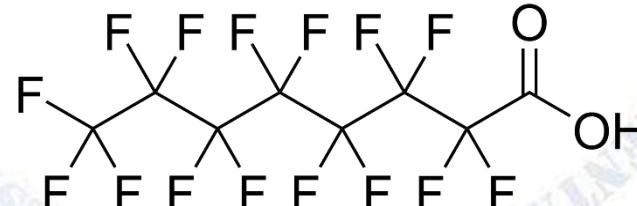
Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)

- PFAS為一群人工合成化學物質，非天然存在環境
 - 依據OECD定義為至少含1個全氟甲基(-CF₃)或全氟亞甲基(-CF₂-)的物質
 - PFAS具長碳鏈結構的化學物質，其碳上的氫原子皆被氟原子和其他官能基所取代
 - 長碳鏈具疏水性，具有強碳氟(C-F)鍵結；而另一端則為親水端，通常為羧酸或磺酸官能基



全氟辛烷磺酸

(Perfluorooctane Sulfonic Acid, PFOS)

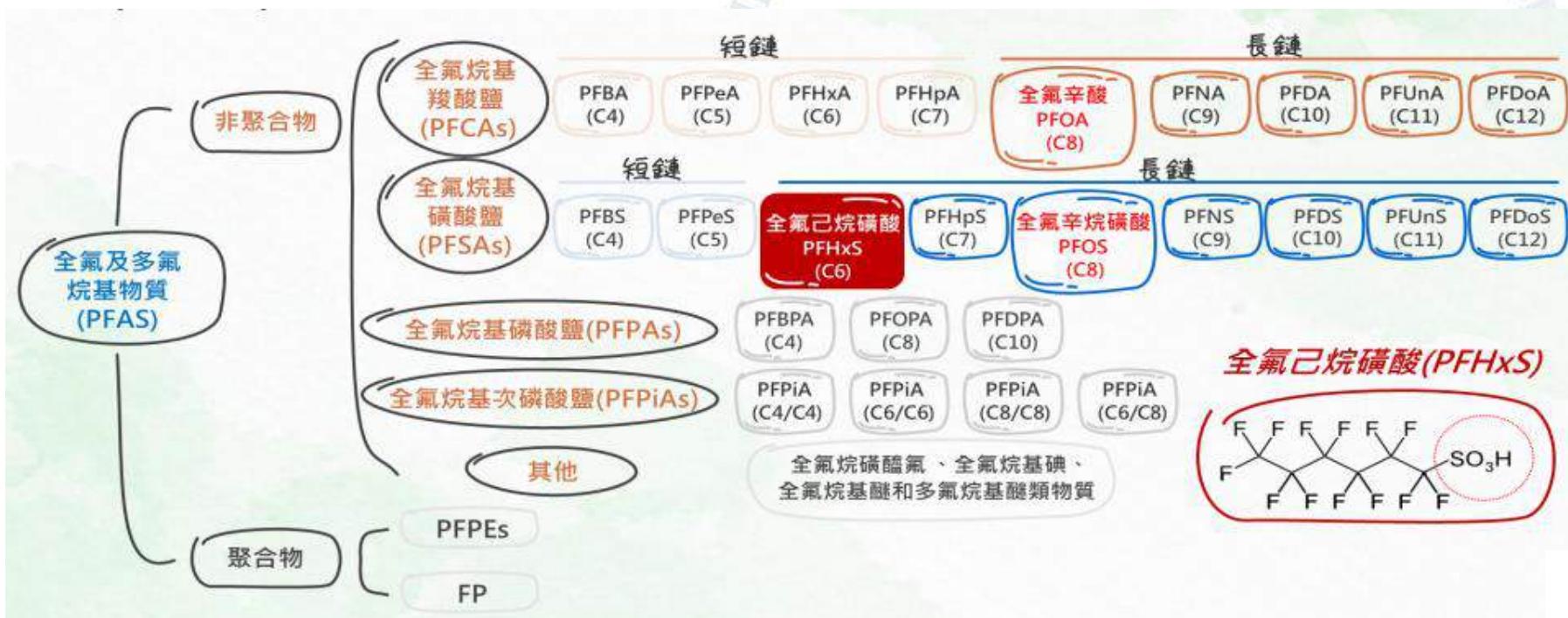


全氟辛酸

(Perfluorooctanoic acid, PFOA)

PFAS家族

- PFAS包括數萬種化合物
- 以全氟辛酸(PFOA)、全氟辛烷磺酸(PFOS)和全氟己烷磺酸(PFHxS)近年備受重視



PFAS特性

- 結晶狀或粉狀固體；短鏈(C4-C6)為液體
- 高強度碳氟(C-F)鍵結，**化學結構穩定而不易分解**，又稱為**永久性化學物質(Forever chemicals)**
- 具熱穩定性、化學穩定性(反應性低)，及疏水疏油之界面活性劑特性
- 具**PBT**特性
 - 持久性(Persistent)、生物蓄積性(Bioaccumulative)和毒性(Toxic)



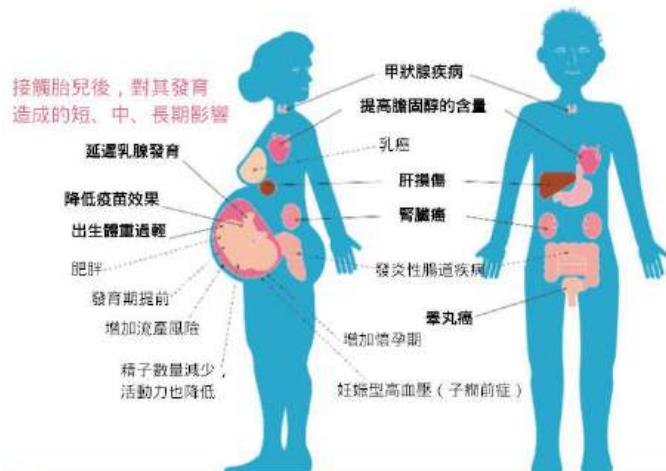
圖片來源：維基百科

PFAS毒性特性

- 國際癌症研究署(IARC)已將**PFOA**歸類為第1類「對人類致癌」，**PFOS**則為第2B類「可能對人類致癌」
- 動物研究顯示，PFOS 和 PFOA 會對肝臟和免疫系統造成傷害，亦可能導致肝臟、胰臟等癌症
- PFOS和PFOA可能對人體健康造成危害，包括增加膽固醇濃度、增加孕婦高血壓的風險以及影響嬰兒發育等

— 高度相關
--- 低度相關

PFAS會對男性與女性造成不同的健康風險



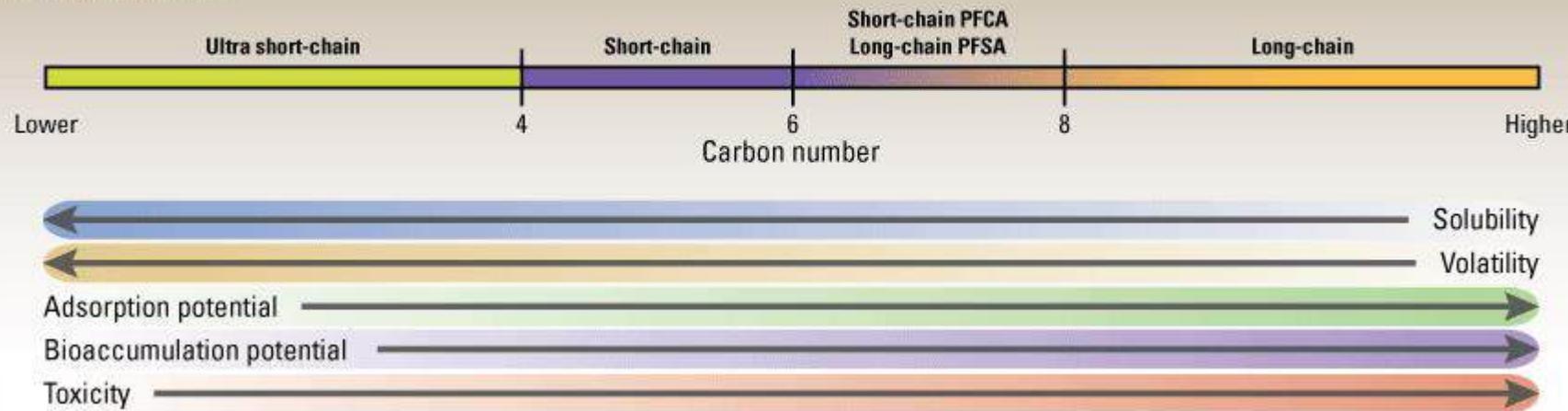
Sources: US National Toxicology Program (2016); C8 Health Project Reports (2012); WHO IARC (2017); Barry et al. (2013); Fenton et al. (2009); and White et al. (2011) apud Emerging chemical risks in Europe — "PFAS".

圖片來源：看守台灣網站

PFAS物化特性

Molecular Formula	Molecular Weight	Vapor Pressure at 25 °C (Pa)	Water Solubility at 25 °C (mg/L)	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Log of Organic Carbon Partition Coefficient (logK _{oc})
C ₃ F ₇ COOH	214.0	851	562,877	-17.5	120	1.9
C ₄ F ₉ SO ₃ H	300.1	631	30,010	20.4–70.4	205–214	1.2–1.79
C ₅ F ₁₁ COOH	314.1	120	21,730	14	157	1.3
C ₆ F ₁₃ SO ₃ H	400.1	58.9	2302	26.7–73.2	218–238	2.4–3.1
C ₇ F ₁₅ COOH	414.1	4.2	771	54.3	188	1.89–2.63
C ₈ F ₁₇ SO ₃ H	500.1	6.8	60.1	15.2–73.5	219–262	2.4–3.7
C ₉ F ₁₉ COOH	514.1	0.2	25.2	78–88	218	2.76–2.96
C ₁₀ F ₂₁ SO ₃ H	600.1	0.7	2.4	11.6–85.2	224–284	3.53–3.66

C. PFAS chain length



資料來源：Jay N. Meegoda, Jitendra A. Kewalramani, Brian Li and Richard W. Marsh, 2020.
Mitchell A. McAdoo, Gregory T. Connock, and Terence Messinger, 2022.

PFAS用途

PFAS有防水、防油效果，廣泛應用於工商業



水污染管理管制面臨之問題

- 製程化學品未列於既有管制項目
 - 危害性未明，可能造成環境衝擊(其慢毒性或生物累積性資料不足，不易評估適宜管制濃度)
 - 預防管理機制不足
- 先進國家亦尚未訂定放流水管制標準
 - 部分製程化學物質為我國高度發展產業，國外缺乏調查資料
 - 有機物進入廢水處理單元後又會衍生成多種化合物，逐一定性定量困難度高
 - 廢污水存在濃度低(如持久性有機污染物及環境荷爾蒙)，適切之管理管制策略待擬定

貳、放流水標準及水污管理現況



水污法目前計管制64種事業

最新修正日期：110年4月16日

高科技產業
(半導體/光電)
2種

有機化合物產業
(石化/化工/藥品/農藥/橡膠)
5種

重金屬產業
(金表/電鍍/電路板/金屬基本)
4種

食品產業
(食品製造/屠宰/製糖等)
7種

飼養動物產業
(畜牧/水產養殖/動物園)
3種

傳統產業
(印染/紡織/製革/造紙/紙漿)
5種

服務產業
(洗衣/遊樂園/醫院等)
12種

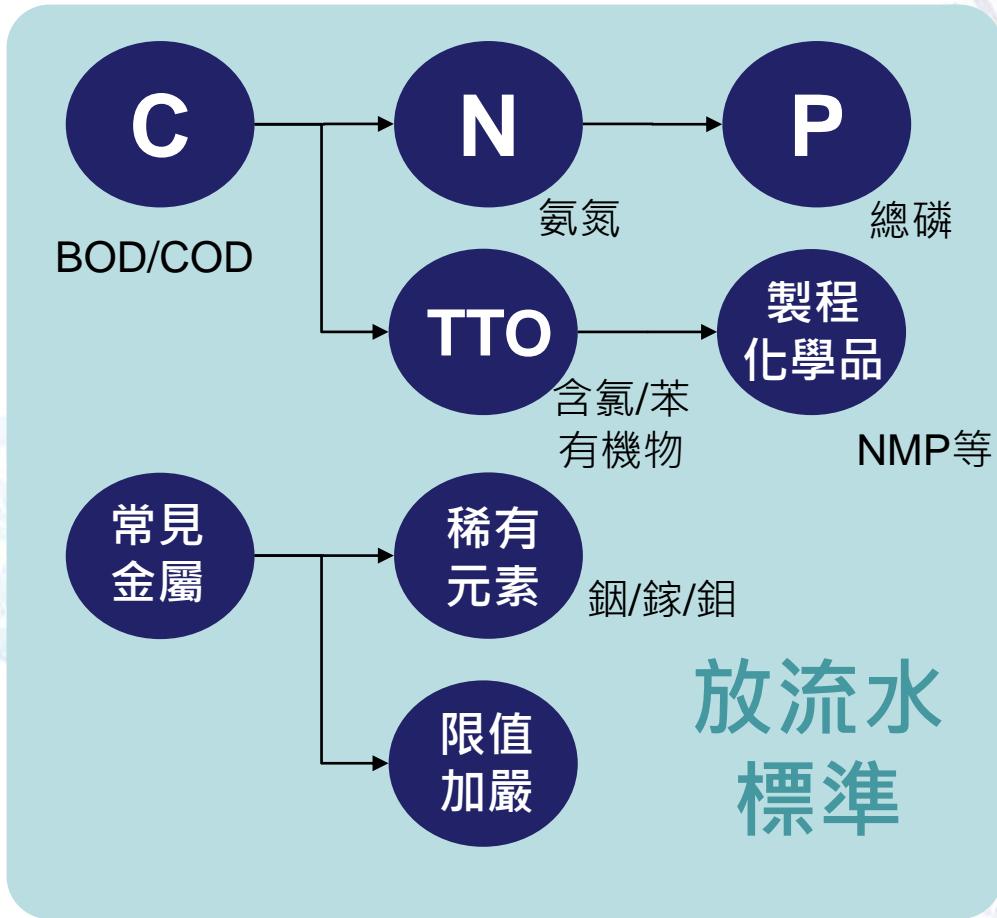
高濃度SS產業
(陶窯/水泥/土石採取/土石加工等)
9種

其他
(發電廠/修車廠/等)
17種

詳水污染防治法事業分類及定義



高科技產業水污染管理動態



應揭露污染物

水污法§14-1

生物急毒性

水措管理辦法
§84-1、§84-2

新興關注項目

水措管理辦法
§84-3

放流水標準加嚴管制

- 依據水污法第7條規定，事業、污水下水道系統和建築物污水處理設施，排放廢（污）水於地面水體者，應符合放流水標準
- 106年12月25日修正放流水標準，增列或加嚴特定對象之**氨氮**、**重金屬**、**真色色度**、**有害物質**等管制項目，**第二階段管制自113年1月1日生效**，**第三階段管制自116年生效**；108年4月29日新增「海水淡化廠」及「蒸汽供應業」，並增訂管制項目



放流水標準加嚴管制-113年

- 高科技等產業**加嚴銅管制限值**，另增訂**氨氮、總磷及自由有效餘氯管制** (113年12月18日修正)



放流水標準計16個附表

最新修正日期：113年12月18日

類型	業別或系統	適用附表	管制項目
一、事業	晶圓製造及半導體製造業	一	35項
	光電材料及元件製造業	二	40項
	石油化學業	三	27項
	化工業	四	54項
	金屬基本工業、金屬表面處理業、電鍍業和印刷電路板製造業	五	30項
	發電廠	六	28項
	海水淡化廠	七	21項
	前七款以外之事業	八	54項
	科學工業園區專用污水下水道系統	九	43項
二、污水 下水道 系統	石油化學專業區專用污水下水道系統	十	47項
	其他工業區專用污水下水道系統	十一	52項
	社區專用污水下水道統	十二	26項
	其他指定地區或場所專用污水下水道統	十三	46項
	公共污水下水道系統	十四	13項
	三、建築物污水處理設施	十五	26項
總量管制區銅等6項重金屬限值		十六	6項

放流水標準加嚴管制 – 事業氮氮

113.12.18.印刷電路板製造業等事業新增氮氮管制

業別或系統	適用附表	氨氮			
		保護區內	保護區外		
			既設	新設	
晶圓製造及半導體製造業	一	10	30		20
光電材料及元件製造業	二		30		20
石油化學業	三		非高含氮20/高含氮60		20
化工業	四		非高含氮20/高含氮60		20
金屬基本工業、金屬表面處理業、電鍍業和印刷電路板製造業	五		金表業、電鍍業	120	60 (116.01.01)
發電廠	六		印刷電路板製造業	75 (116.01.01)	45 (118.01.01)
海水淡化廠	七		100		60 (116.01.01)
前七款以外之事業	八		20		
	10 (觀光 旅館 管制 總氮15)	製革業 (生皮)、廢 棄物掩埋場	60		20
		製革業 (濕藍皮)、 屠宰、肉品市場	75 (116.01.01)	45 (120.01.01)	30
		醫院醫事機構	75 (116.01.01)	45 (118.01.01)	30

放流水標準加嚴管制 – 事業總磷

113.12.18.晶圓製造及半導體業等事業新增總磷管制

業別或系統	適用附表	正磷酸鹽 保護區內	總磷			新設												
			保護區外															
			既設															
晶圓製造及半導體製造業	一		100* (116.01.01)	50* (118.01.01)	25* (120.01.01)	25												
光電材料及元件製造業	二		-	-	-	25												
石油化學業	三		-	-	-													
化工業	四		-	-	-													
金屬基本工業、金屬表面處理業、電鍍業和印刷電路板製造業	五	4.0	-	-	-													
發電廠	六		-	-	-													
海水淡化廠	七	-	-	-	-													
前七款以外之事業	八	4.0	觀光旅館2		<p>*有技術困難或涉及工程等改善措施者，於指定日期前提出放流水污染物削減管理計畫，經直轄市、縣(市)主管機關核定並依計畫內容執行，該階段管制期程得延後2年施行</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>原施行日期</th> <th>指定日期</th> <th>延後施行日期</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>116年1月1日</td> <td>115年3月31日</td> <td>118年1月1日</td> </tr> <tr> <td>118年1月1日</td> <td>117年3月31日</td> <td>120年1月1日</td> </tr> <tr> <td>120年1月1日</td> <td>119年3月31日</td> <td>122年1月1日</td> </tr> </tbody> </table>		原施行日期	指定日期	延後施行日期	116年1月1日	115年3月31日	118年1月1日	118年1月1日	117年3月31日	120年1月1日	120年1月1日	119年3月31日	122年1月1日
原施行日期	指定日期	延後施行日期																
116年1月1日	115年3月31日	118年1月1日																
118年1月1日	117年3月31日	120年1月1日																
120年1月1日	119年3月31日	122年1月1日																

註：[1]單位為mg/L；既設及新設認定時間詳標準規定。

[2] 正磷酸鹽以三價磷酸根計算。



放流水標準加嚴管制 – 專用下水道系統氮磷

113.12.18.科學工業園區等新增總磷管制

業別或系統	適用 附表	氨氮			正磷酸鹽	總磷			
		保護 區內	保護區外			保護 區內	保護區外		
			既設	新設		既設	新設		
科學工業園區	九		30	20		100* (116.01.01) 50* (118.01.01) 25* (120.01.01)	25		
石油化學專業區	十	10	60	20	4.0				
其他工業區	十一		75 30 (116.01.01)	20					

註：[1]單位為mg/L；既設及新設認定時間詳標準規定。

[2] 正磷酸鹽以三價磷酸根計算。

*有技術困難或涉及工程等改善措施者，於指定日期前提出放流水污染物削減管理計畫，經直轄市、縣(市)主管機關核定並依計畫內容執行，該階段管制期程得延後2年施行

原施行日期	指定日期	延後施行日期
116年1月1日	115年3月31日	118年1月1日
118年1月1日	117年3月31日	120年1月1日
120年1月1日	119年3月31日	122年1月1日

放流水標準加嚴管制 – 銅

● 依據106年增修管制情形及水量規模，加嚴銅管制限值，給予相當期間進行改善(113.12.18.修正)

● 附表1(半導體業)、附表2(光電業)、附表4(化工業)、附表5(印刷電路板製造業、電鍍業、金表業、金屬基本工業)、附表9(科學工業園區)、附表10(石化專區)、附表11(一般工業區)之列管對象

106年已加嚴銅限值對象再次加嚴

■ 半導體業	(>500 CMD)
■ 光電業	
■ 化工業	(>150 CMD)
■ 印刷電路板製造業	
■ 電鍍業	(>150 CMD)
■ 金表業	
■ 金屬基本工業	
■ 科學工業園區	(>150 CMD)
■ 石化專區	
■ 工業區	

銅 3.0

↓
106年
已加嚴

銅 1.5

↓
加嚴

銅 1.0

116年1月1日施行

特定業別部分對象新加嚴銅限值

■ 半導體業	(≤500 CMD)
■ 光電業	
■ 化工業	(≤150 CMD)
■ 印刷電路板製造業	
■ 電鍍業	(≤150 CMD)
■ 金表業	
■ 金屬基本工業	

銅 3.0 (106/12/25前
既設)

↓ 加嚴

銅 2.0 (106/12/25
前既設)

116年1月1日施行

放流水標準-附表一

(晶圓製造及半導體製造業)

管制項目計36項

未修正

- 水溫、TTO等17項
- 氨氮-保護區外既設30
新設20

增修
管制
(106年)

- 硼調整限值
- 鎬等9項加嚴限值
- 新增錫、鉬、N-甲基
吡咯烷酮、2-甲氧基-
1-丙醇、二甲基乙醯
胺、鈷和銻等7項目

新增
管制
(113年)

- 新增總磷管制

項目	既設	既設		新設
硼	1	保護區內1/保護區外5		
鎘	0.03	0.02	大於500 CMD	0.02
鉛	1.0	0.5		0.5
總鉻	2.0	1.5		1.5
六價鉻	0.5	0.35		0.35
銅	3.0	1.5		1.5
鋅	5.0	3.5		3.5
鎳	1.0	0.7		0.7
硒	0.5	0.35		0.35
砷	0.5	0.35		0.35
錫	-	2.0		1.0
鉬	-	0.6		0.6
N-甲基吡咯烷酮	-	1.0	大於1萬CMD。但 僅運作研磨、切割、 測試或封裝者，不 在此限	
2-甲氧基-1-丙醇	-	0.1		
二甲基乙醯胺	-	0.1		
鈷	-	1.0		
銻	-	1.0		
總磷	100(116年)/50(118年)/25(120年)			25

得提削減管理計畫，延後施行日期

註：單位均為mg/L

放流水標準-附表一 (晶圓製造及半導體製造業)

● 總毒性有機物TTO (30項)

類別	英文名稱	中文名稱	CAS No.	類別	英文名稱	中文名稱	CAS No.
苯類	1,2-dichlorobenzene	1,2-二氯苯	95-50-1	酚類	2-Chlorophenol	2-氯酚	95-57-8
	1,3-dichlorobenzene	1,3-二氯苯	541-73-1		2,4-Dichlorophenol	2,4-二氯酚	120-83-2
	1,4-dichlorobenzene	1,4-二氯苯	106-46-7		4-Nitrophenol	4-硝基酚	100-02-7
	1,2,4-trichlorobenzene	1,2,4-三氯苯	120-82-1		Pentachlorophenol	五氯酚	87-86-5
	Toluene	甲苯	108-88-3		2-Nitrophenol	2-硝基酚	88-75-5
	Ethylbenzene	乙苯	100-41-4		Phenol	酚	108-95-2
烷類	Chloroform	三氯甲烷	67-66-3	酯類	2,4,6-Trichlorophenol	2,4,6-三氯酚	88-06-2
	1,2-dichloroethane	1,2-二氯乙烷	107-06-2		Bis(2-ethylhexyl)phthalate	鄰苯二甲酸乙己酯	117-81-7
	Dichloromethane	二氯甲烷	75-09-2		Di-n-butylphthalate	鄰苯二甲酸二丁酯	84-74-2
	1,1,1-trichloroethane	1,1,1-三氯乙烷	71-55-6		Butylbenzylphthalate	鄰苯二甲酸丁苯酯	85-68-7
	1,1,2-trichloroethane	1,1,2-三氯乙烷	79-00-5		Anthracene	蒽	120-12-7
	Dichlorobromomethane	二氯溴甲烷	75-27-4		1,2-Diphenylhydrazine	1,2-二苯基聯胺	122-66-7
烯類	Tetrachloroethylene	四氯乙烯	127-18-4	其他	Isophorone	異佛爾酮	78-59-1
	Trichloroethylene	三氯乙烯	79-01-6		Carbon tetrachloride	四氯化碳	56-23-5
	1,1-dichloroethylene	1,1-二氯乙烯	75-35-4		Naphthalene	萘	91-20-3

放流水標準-附表二(光電材料及元件製造業)

管制項目計41項

未修正

- 水溫、TTO等21項
- 氨氮-保護區外既設30
新設20

增修
管制
(106年)

- 硼調整限值
- 真色色度加嚴限值
- 鎬等9項加嚴限值
- 錫、自由有效餘氯、
N-甲基吡咯烷酮、2-
甲氧基-1-丙醇、二甲
基乙醯胺、N-甲基甲
醯胺和二乙二醇二甲
醚等7項項目

新增
管制
(113年)

- 新增總磷管制

註：真色色度無單位，其餘項目單位均為mg/L

項目	既設	既設	新設
硼	1	保護區內1/保護區外5	
真色色度	550	400	300
鎬	0.03	0.02	大於500 CMD
鉛	1.0	0.5	0.5
總鉻	2.0	1.5	1.5
六價鉻	0.5	0.35	0.35
銅	3.0	1.5	1.5
鋅	5.0	3.5	3.5
鎳	1.0	0.7	0.7
硒	0.5	0.35	0.35
砷	0.5	0.35	0.35
錫	-	2.0	1.0
自由有效餘氯	-	2.0	2.0
N-甲基吡咯烷酮	-	1.0	
2-甲氧基-1-丙醇	-	0.1	
二甲基乙醯胺	-	0.1	
N-甲基甲醯胺	-	1.0	
二乙二醇二甲醚	-	1.0	
總磷	100(116年)/50(118年)/25(120年)		

大於1萬CMD。但
僅運作研磨、切割、
測試或封裝者，不
在此限

進行污染物揭露與風險評估

◆ 水污法§14-1

經中央主管機關**指定公告之事業**，於申請、變更水污染防治措施計畫、排放許可證或簡易排放許可文件時，應**揭露**其排放之廢（污）水可能含有之**污染物及其濃度與排放量**。

事業排放之廢（污）水含有放流水標準管制以外之污染物項目，並經直轄市、縣（市）主管機關認定有危害**生態或人體健康之虞**者，應依中央主管機關之規定提出風險評估與管理報告，說明其廢（污）水對生態與健康之風險，以及可採取之風險管理措施。

前項報告經審查同意者，直轄市、縣（市）主管機關應依審查結果核定其水污染防治措施計畫、排放許可證、簡易排放許可文件之污染物項目排放濃度或總量限值。

第二項污染物項目經各級主管機關評估有必要者，應於放流水標準新增管制項目。

公告指定事業和應揭露污染物 (105.02.04公告)

指定公告 之事業

揭露可能含有之污染
物及其濃度與排放量

申請、變更水措、
排放許可證(文件)

含有放流水標準管制
以外之污染物項目

否

是

認定有危害生態
或人體健康之虞

否

是

提出風險評估與
管理報告

一般許可審
查核定作業

審查同意

- 核定污染物項目排
放濃度或總量限值
- 必要者於放流水標
準新增管制項目

公告指定事業和應揭露污染物 (105.02.04公告)

指定事業

核准排放水量
(或核准納管水量)
每日達1萬立方公尺以上

- ◆ 晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業
 - 不包括僅運作研磨、切割、測試或封裝

應揭露之污染物

- ◆ 運作或變更運作之原物料屬附表所列之化學品
- ◆ 於申請或變更水污染防治措施計畫或許可證（文件）時，應揭露排放廢（污）水或納管事業廢(污)水排入工業區專用污水下水道系統之污染物濃度與排放量

129種
經IARC或勞動部認定對人體具致癌性、生殖細胞致突變性或生殖毒性之物質，且屬事業製程可能使用者

參考資料：公告應揭露排放廢（污）水可能含有之污染物及其濃度與排放量之事業

公告指定事業和應揭露污染物 (105.02.04公告)

附表-明列129種應揭露項目

規定								說明
編號	CAS NO (註1)	英文名稱	中文名稱	分類 (註2、3)	檢測項目	檢測方法 (註4、5)	致癌 斜率 (SF _{-oral}) (mg/kg-day) ⁻¹ (註6)	
23	51-79-6	Ethyl carbamate (Urethane)	氨基甲酸乙酯(胺甲酸乙酯)	屬CMR第一級物質	氨基甲酸乙酯(胺甲酸乙酯)	水中半揮發性有機化合物 檢測方法 - 氣相層析質譜儀法(NIEA W801.52B)	1	公告 事項二 應揭露 之化學品。
128	1303-00-0	Gallium arsenide	砷化鎵	屬IARC致癌性第一類物質	鎵	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 W311.53C) 水中微量元素檢測方法 - 感應耦合電漿質譜法 (NIEA W313.53B)	-	
129	直轄市、縣(市)主管機關審查指定事業水污染防治措施計畫、排放許可證或簡易排放許可文件，若指定事業運作或變更運作之原物料非屬前述所列之化學品， 地方主管機關 得依指定事業運作之原物料排放於廢水中之情形，命指定事業增加應揭露之污染物及其濃度與排放量。(註7)							

公告指定事業和應揭露污染物 (105.02.04公告)

應提出風險評估報告之
污染物(應評估化合物)

納管事業廢(污)水排入工業區
專用污水下水道系統應揭露
之污染物

含有放流水標準管制以外之
污染物項目，**其排放(入)量**
達附表所定基準者

得免進行風險評估

- ◆ 風險評估與管理報告，已有地方主管機關審查同意，且已核定其**許可登載**應評估污染物之排放(入)濃度或總量
- ◆ 環境影響說明書或環境影響評估報告書，已核定應評估污染物之排放(入)濃度或總量

參考資料：水污染防治法風險評估與管理報告作業規範

物化檢測VS生物毒性試驗

物化檢測

比較目標污染物檢測濃度與放流水標準，據以判別毒性高低

- 方法明確
- 操作一致
- 匹配性高

- 無法檢測未知的化學物質
- 未考慮污染物的相互作用
- 未考慮污染物的生物有效性

目的

判定所有污染物與生物體(如藻類、蚤類、魚類等)短期或長期作用後產生之危害

優點

- 了解樣品是否具生物毒性
- 了解樣品生物毒性與生物效應之關係

缺點

- 耗時、耗人
- 相同毒性結果可能來自不同污染物，無法準確說明致毒原因

廢污水導入生物毒性管理精神

- 美國環保署於1972年和1977年分別通過「聯邦水污染控制法案」和「淨水法」
 - 達成淨水法「零排放」之目標
 - 國家污染排放減量系統 (NPDES)訂定各污染物管制標準
- 美國環保署1984年提出利用「全放流水毒性測試 (Whole Effluent Toxicity, WET)」
 - 水中污染物眾多，無法逐一定量分析
 - 污染物間反應機制未明
 - 可直接反映廢水對水生生物之影響

台灣推動生物急毒性管制背景

環境部自96年起著手進行
生物急毒性調查及管制評估

歸納國外
管制方式



國內水質
背景調查



訂定管理
策略

美

韓

德

日 (規劃中)

生物急毒性
為國際
管制趨勢

管制項目
無法充分反映
對水生生物
之影響

氮磷

重金屬

有機物

氯化物

台灣放流水生物急毒性管理演進

訂定標準

放流水標準光電業和
科學園區新增生物急毒性
(限值1.43)

96

99

102

調查基線

調整機制

改用管理辦法*規範，
對象擴及其他排放水量大之事業

檢測申報

建置申報系統，規範
對象依規定執行
(水蚤、米蝦、魚類)

102~

107~

108

檢討測試物種

斑馬魚胚胎及發光細菌
可列為急毒性測試之物種

管理辦法114年01月20日修正
納入斑馬魚胚胎測試物種



*註：「管理辦理」係指「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」

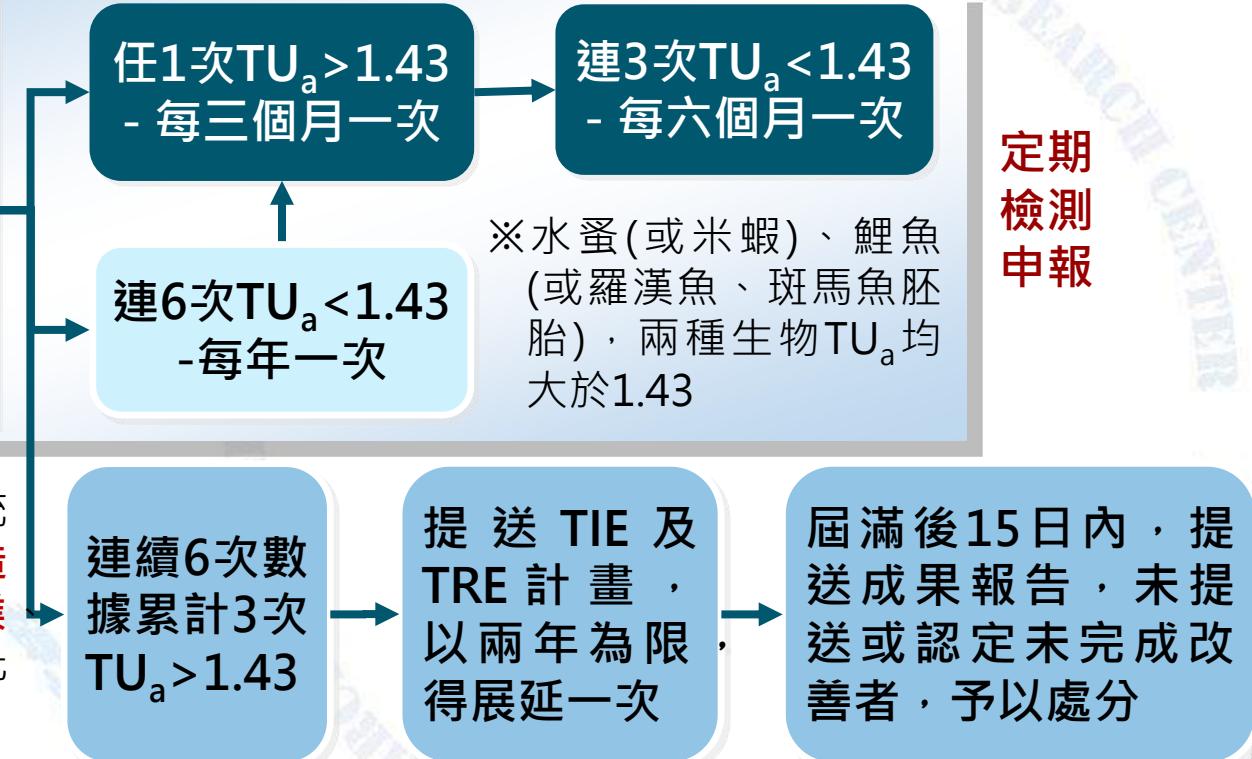
生物急毒性國內外管理管制情形

國家	管理方式	測試物種
台灣 	管理辦法規定特定事業與下水道系統進行申報、加強監測及毒性鑑定與減量規定	水蚤(或米蝦)、鯉魚(或羅漢魚)
德國 	廢水排入水體相關法令條例，依據事業別訂定不同管制標準	魚卵、水蚤、藻類和螢光細菌 (多規範魚卵毒性)
韓國 	依據事業與排放水體訂定不同管制標準	水蚤
美國 	環保署訂定全放流水毒性測試方法 (WET)，各州參酌指引訂定事業之管制	魚、蝦、水蚤、藻類各州可視需求增加敏感物種
日本 	調查分析與研議管制措施，尚未納入管理管制	藻類、甲殼類和魚類等

一定規模以上對象進行生物急毒性檢測申報

水污染防治措施及檢測申報管理辦法§84-1和§84-2

- 2萬CMD以上工業區及特定事業*，每6個月檢測1次^註
- 主管機關稽查採樣(不分業別規模)
- 其他依84條指定者



*工業區專用污水下水道系統或屬晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業、印刷電路板製造業、石油化學業、化工業、造紙業

註：但原水來源為海水或放流水為高濃度鹵離子廢水，且排入之承受水體為海洋者，不在此限。

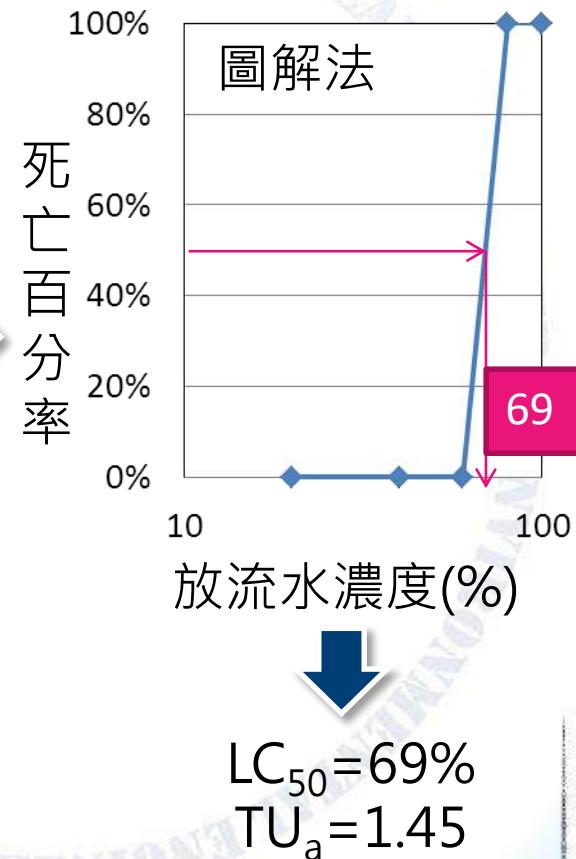
含高濃度鹵離子水中化學需氧量檢測方法—重鉻酸鉀迴流法之適用範圍
為海水與氯離子濃度 $\geq 2,000 \text{ mg/L}$ 之地面水、地下水及放流水

生物急毒性測試物種與評估指標

公告方法	測試物種	測試時間	評估指標
水蚤靜水式法 (B901.14B)	水蚤 <i>Daphnia pulex</i> <i>Daphnia magna</i>	48小時	<ul style="list-style-type: none"> 半數致死濃度 (LC_{50}) 水蚤第二觸角、胸腳及後腹部等器官或部位，有明顯不活動，並經過輕敲燒杯亦無反應
米蝦靜水式法 (B905.13B)	多齒新米蝦 <i>Neocaridina denticulata</i>	48小時	<ul style="list-style-type: none"> 半數致死濃度 (LC_{50}) 觸、鬚及鰓的活動停止；蝦體已翻倒，經細玻璃棒輕觸沒反應
羅漢魚靜水式法 (B902.13B)	羅漢魚 <i>Pseudorasbora parva</i>	96小時	<ul style="list-style-type: none"> 半數致死濃度 (LC_{50}) 鰭及鰓的活動停止；玻璃棒輕觸沒反應
鯉魚靜水式法 (B904.13B)	鯉魚 <i>Cyprinus carpio</i>		
斑馬魚胚胎半靜水式法 (B909.10C)	斑馬魚胚胎 <i>Danio rerio</i>	96小時	<ul style="list-style-type: none"> 半數致死濃度 (LC_{50}) 胚胎凝結、體節發育不全、尾部剝離不全及心跳停止

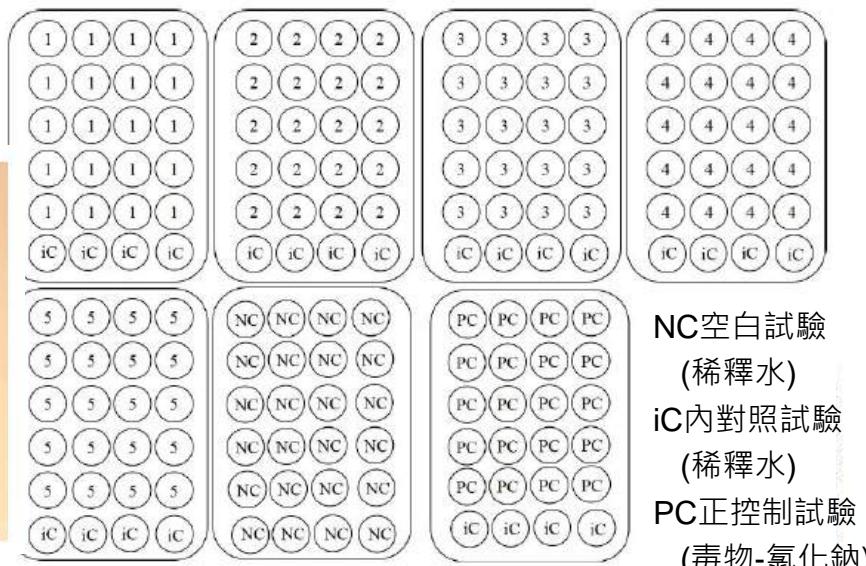
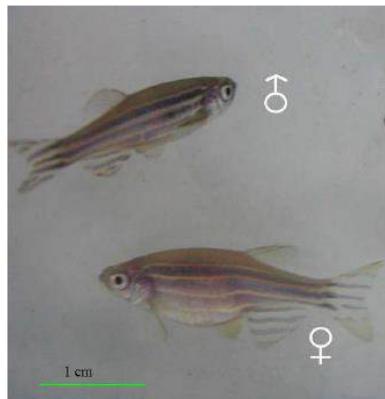
水蚤急毒性檢測方法

空白測試：死亡率要低於10%



斑馬魚胚胎急毒性檢測方法

- 種魚馴養(至少 14 天)，試驗前一日將雌魚與雄魚隔開，隔日使其碰觸排出精卵，收集足夠數目胚胎
- 稀釋水樣為 5 個濃度，分裝至 24 孔盤
- 挑選正常胚胎放置於 24 孔盤 (胚胎需於 3 小時內進行試驗)
- 於第 24、48、72、96 小時進行觀察並記錄死亡數
- 計算樣品 96 小時 LC_{50} 與 TU_a



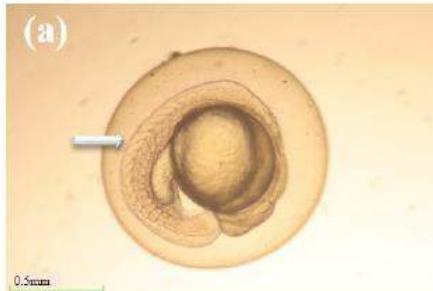
斑馬魚胚胎急毒性檢測方法(續)

死亡判定

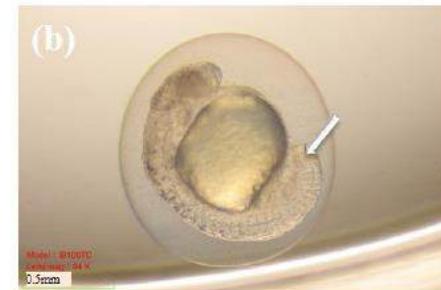
- 胚胎凝結、體節發育不全、尾部剝離不全及心跳停止
- 利用顯微鏡觀察、拍照並記錄



(a) 正常胚胎 (b) 胚胎凝結



(a) 正常胚胎 (b) 體節發育不全



(a) 正常胚胎 (b) 尾部未剝離



(a) 正常胚胎 (b) 心臟無跳動



國外廢污水PFAS管理管制動態(1/2)

美國環保署2019年擬定PFAS行動方案 (Action Plan)

- 規劃納入NPDES水污許可管理，累積數據後，評估訂定水質品質標準
- 美國2021年發布多行業PFAS研究報告，2023年發布「**15號放流水指引規劃**」，說明管理策略方向

	現況及調查結果	管理策略
有機化學品、塑膠和合成纖維業 (OCPSF)	<ul style="list-style-type: none"> 許可大多僅規定PFAS監測，未訂排放限值 (3M某廠亦被要求特定廢水須經活性碳前處理) PFAS製造廠放流水PFOA和PFOS最大檢出濃度分別為430和21.2 $\mu\text{g}/\text{L}$ 	<p>擬訂管制限值，解決PFAS排放問題</p>
金屬表面處理業 (鍍鉻製程)	<ul style="list-style-type: none"> 許可未見PFAS監測及排放限值規定 鍍鉻工廠廢水PFOS最高檢出濃度為240 $\mu\text{g}/\text{L}$ 自2015年起逐步淘汰PFOS重量百分比高於1%之鉻霧抑制劑，目前估計約有50%鍍鉻廠仍有使用含PFAS之鉻霧抑制劑 	<p>擬訂管制限值，解決PFAS排放問題</p>

持續調查垃圾掩埋場、紡織業、公共污水處理廠、紙漿及紙製品、機場排放PFAS情形

國外廢污水PFAS管理管制動態(2/2)

- 美國各州政府積極推動廢污水全氟化物管理作為
 - 污染監測、推動削減措施、訂定地面水體水質基準

監測

密西根州

2017年啟動都市和工業污染源及河川湖泊監測

- 2018年2月啟動PFAS工業前處理計畫(Industrial Pretreatment Programs, IPP)，污水處理廠須評估潛在污染源，並採取削減措施
- 污水處理廠排放許可證(National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES)納入監測規定
- 若污水處理廠放流水具合理潛勢超過WQBELs (Water Quality-based Effluent Limitations)，其NPDES排放許可證將訂有PFOS、PFOA或PFBS放流水限值

措施

地面水體水質基準 (Water Quality Standards, WQS)

PFOS : 0.012 µg/L / PFOA : 0.170 µg/L / PFBS : 670 µg/L / PFHxS : 0.210 µg/L / PFNA : 0.030 µg/L

註：適用於地面水非作為飲用水水源。

基準

威斯康辛州

2019年7月要求125座
都市污水處理廠自主監測

- 2020年制定PFAS行動計畫，盤點和減少目前PFAS排放及暴露、預防未來PFAS排放及暴露
- 特定對象之NPDES排放許可證納入監測規定

麻薩諸塞州

--

特定對象之
NPDES排放許
可證納入監測
規定

--

地面水體水質基準 (WQS)

PFOS : 0.008 µg/L
PFOA : 0.095 µg/L

註：適用於地面水非作為飲用水水源。



PFAS管理行動計畫

行政院113年10月22日核定



水措管理辦法-新興關注項目(1/3)

- 環境部114年1月20日修正發布水措管理辦法，要求**特定對象**進行廢(污)水及放流水PFAS或藥物檢測申報，且**放流水PFAS或藥物濃度須符合規定數值**

第八十四條之三 經中央主管機關指定之事業或污水下水道系統依附表六規定**辦理新興關注項目檢測**。

前項放流水檢測項目數據**連續二次超過附表六規定數值**者，應於三個月內提出該項目之**自主削減管理計畫**，並送直轄市、縣(市)主管機關備查後，據以執行；自主削減管理計畫執行期間以二年為限，該項目執行期間免依附表六規定檢測。

前項自主削減管理計畫執行期間屆滿後三十日內，事業或污水下水道系統應向直轄市、縣(市)主管機關提送改善情形報告。第一項放流水檢測項目數據累計連續三次以上未超過附表六規定數值者，該項目得免檢測申報。但經主管機關稽查採樣，數據超過規定數值者，該項目應回復依第一項規定辦理。

水措管理辦法-新興關注項目(2/3)

附表六 事業或污水下水道系統應檢測申報新興關注項目及頻率-全氟及多氟烷基物質

事業或污水下水道系統	新興關注項目	檢測頻率及 施行日期		放流水 數值 (mg/L)
		檢測 頻率	施行 日期	
一、科學工業園區和工業區專用污水下水道系統	全氟及多氟烷基物質	全氟辛烷磺酸 全氟辛酸 全氟己烷磺酸	原(水污及水流年廢放每檢一次	0.00012 0.0017 0.0021
二、廢水排放至地面水體且製程有使用光阻劑之晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業				
三、廢水排放至地面水體且製程有使用鉻霧抑制劑之電鍍業、金屬表面處理業				
四、廢水排放至地面水體且製程有使用撥/潑水劑或具撥/潑水效能化學品之印染整理業、紡織業、製革業、造紙業、化工業				

水措管理辦法-新興關注項目 (3/3)

附表六 事業或污水下水道系統應檢測申報新興關注項目及頻率-藥物

事業或污水下水道系統	新興關注項目	檢測頻率及日期		放流水數值 (mg/L)
		檢測頻率	適用日期	
一、醫院、醫事機構：適用於目的事業主管機關認定之 醫學中心、核准排放水量每日一千立方公尺以上之醫院 。	藥物	乙醯胺酚	廢(汚)水及放流水每年檢測一次	4.2
		礦胺甲噁唑		0.0031
		紅黴素		0.009
		克拉黴素		0.00095
		17 β-雌二醇		0.0035
		環丙沙星	116年1月1日起	0.0017
		頭孢他啶		0.0022
		二甲雙胍		7.8
二、適用於有目的事業主管機關認定之醫學中心、核准 納管 水量每日一千立方公尺以上之醫院 納管 之 污水下水道系統 。				

可提供PFAS檢測服務機構

- 國環院已有公告PFAS檢測方法，目前計5家檢測機構取得飲用水許可，廢(污)水部分尚未開放申請
 - 水中全氟與多氟烷基物質檢測方法 - 液相層析串聯式質譜儀法(NIEA W542.52B)

<https://www.nera.gov.tw/zh-tw/Categoryquery/787.html>



方法 W542.52B (含前處理) 建立時間：2025/06/03

檢測類別	方法名稱	許可實驗室
飲用水檢測類	全氟辛酸(W542.52B)	上準(ER)、中興社(EU)、台檢(FI)、正修(IJ)、環虹錦騰新速(MP)
飲用水檢測類	全氟己烷磺酸(W542.52B)	上準(ER)、中興社(EU)、台檢(FI)、正修(IJ)、環虹錦騰新速(MP)
飲用水檢測類	全氟辛烷磺酸(W542.52B)	上準(ER)、中興社(EU)、台檢(FI)、正修(IJ)

藥物

- 5項抗生素、1項類固醇激素、1項消炎止痛藥及1項糖尿病用藥

藥物項目	用途	國外管理管制現況						
		瑞士 水保 護法 案	丹麥 醫院廢水藥 物建議排放 基準	歐盟 優先物質 環境品質標準 觀察名單 (候選物質)	荷蘭 地面水體 環境品質 標準	美國 飲用水 污染物 候選清單	日本 飲用水 水質標 準	超級細菌 具抗藥性 之藥物
乙醯胺酚	非類固醇 消炎止痛藥		∨			∨		
礦胺甲噁唑	抗生素		∨	∨				
紅黴素	抗生素		∨	∨		∨		
克拉黴素	抗生素	∨	∨	∨				∨
17 β -雌二醇	類固醇激素			∨		∨	∨	
環丙沙星	抗生素		∨	∨				∨
頭孢他啶	抗生素		∨					∨
二甲雙胍	糖尿病用藥				∨			

可提供藥物檢測服務機構

- 國環院已有公告藥物檢測方法，部分新興關注項目之藥物刻正擴充既有檢測方法之目標化合物，尚未開放許可申請
 - 水中抗生素類及鎮痛解熱劑類化合物檢測方法 - 固相萃取與高效液相層析 / 串聯式質譜儀法 (NIEA W543.50B)
 - 水中新興污染物檢測方法 - 液相層析串聯式質譜儀法 (NIEA W545.51B)



參、廢(污)水處理精進作為



廢水處理趨勢-以某半導體業為例

- 傳統符合納管標準，升級為資源化利用



環境部刻正推動廢污水處理綠色轉型

能源化

有機廢水厭氧處理
沼氣再利用

資源化

廢水氮/磷/金屬等物質
資源回收再利用

智慧化

採用低碳節能技術
導入智慧水管理

減害化

藥物和全氟化物檢測申報
符合數值及自主削減



環境部刻正推動廢污水處理綠色轉型



能源化

有機廢水厭氧處理
沼氣再利用

資源化

廢水氮/磷/金屬等物質
資源回收再利用

智慧化

採用低碳節能技術
導入智慧水管理

減害化

藥物和全氟化物檢測申報
符合數值及自主削減



廢水厭氧處理成趨勢



國際上**紙漿及造紙業**、食品業及公共污水廠以厭氧處理高有機廢(污)水，**回收沼氣產能**



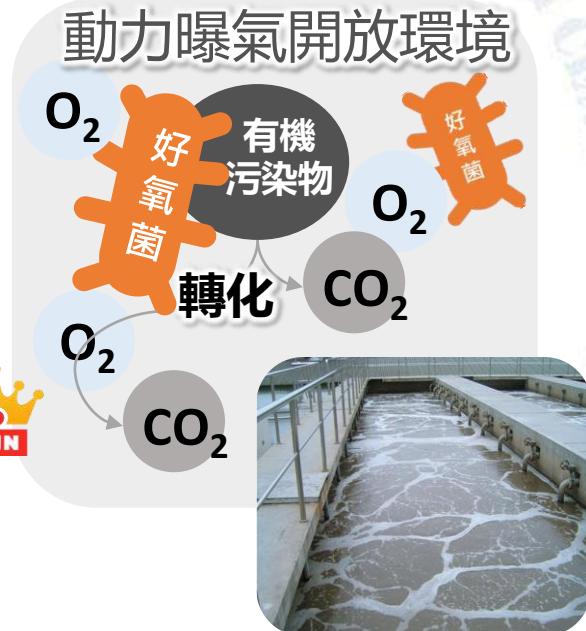
韓國立法強制特定對象**利用有機廢棄物資源生產和使用沼氣並設定目標值**，**未達規定生產目標的企業予以處罰**



歐洲沼氣協會(EBA)建議歐盟應訂定指引，規範**污水處理汰舊換新時，導入厭氧處理等節能及永續廢水處理方式**

廢水厭氧生物處理 低能耗 產綠電

厭氧處理 VS 好氧處理



沼氣回收利用 發電減碳好處多

沼氣回收利用

減量方法學AMS.III.H. 廢水處理之甲烷氣回收專案
(包含甲烷回收和燃燒處理)



碳權/碳抵換

鍋爐加熱

污泥乾燥



發電



燃燒塔

售電予台電

- 近3年總度數1.4億度
- 生質能發電躉購費率每度約7元

碳權/碳抵換

減量方法學AMS.I.D.
再生能源電網發電

未收集利用
(不建議)



逸散

甲烷暖化潛勢
為二氧化碳

28倍

法規措施驅動事業評估採行

- 特定高有機廢水業別達一定規模具能源化潛勢者，於許可新申請、變更或展延時，應評估**優先採行厭氧處理及沼氣回收處理**

114/1/20公告修正水措管理辦法第49條之12、第73條

造紙、食品製造、酦酵或石化業：

廢（污）水化學需氧量濃度2,000 mg/L以上且核准排放或納管水量1,000 CMD · 或化學需氧量有機負荷每日2公噸以上

公共污水下水道系統：

設計處理水量3萬立方公尺/日以上者

未設厭氧或污泥採厭氧消化者，於許可文件新申請、變更或展延時評估

納入厭氧處理單元

污泥採行厭氧消化

收集、處理或利用厭氧所生沼氣

環境部刻正推動廢污水處理綠色轉型

能源化

有機廢水厭氧處理
沼氣再利用

資源化

廢水氮/磷/金屬等物質
資源回收再利用

智慧化

採用低碳節能技術
導入智慧水管理

減害化

藥物和全氟化物檢測申報
符合數值及自主削減



廢水分流收集

- 有利於後端採行廢水資源化技術
 - 管理辦法§49-9：5種事業6類作業廢水應分流收集處理
 - 已有1,655家事業採行廢水分流收集

水污事業別	分流收集處理之作業廢水類型	目前採行家數
晶圓製造及半導體製造業	1. 研磨或切割廢水 2. 氟系（含氟）廢水 3. 氢氧化四甲基銨（TMAH）有機廢水 4. 氰系（含氰）廢水 5. 鉻系（含鉻）廢水 6. 銅系（含銅）廢水	140
光電材料及元件製造業		56
印刷電路板製造業	1. 氰系（含氰）廢水 2. 鉻系（含鉻）廢水	183
電鍍業		471
金屬表面處理業		713

註：其他非管理辦法規定之事業別，採行廢水分流收集者計92家。

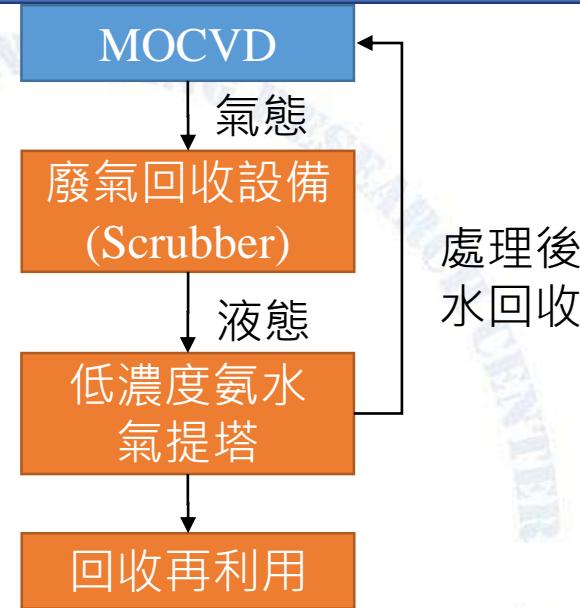
國內已採行之技術-TMAH

- 氢氧化四甲基銨 (TMAH) 廢水專管分流收集，並經**陽離子交換樹脂吸附處理**，將**TMA**脫附再生為**TMACI**再由回收商進一步處理(如電解或**陰離子交換樹脂**)，製成之TMAH可作為光電業再利用
- 實際TMAH進流濃度約100 mg/L，處理後可低於5 mg/L

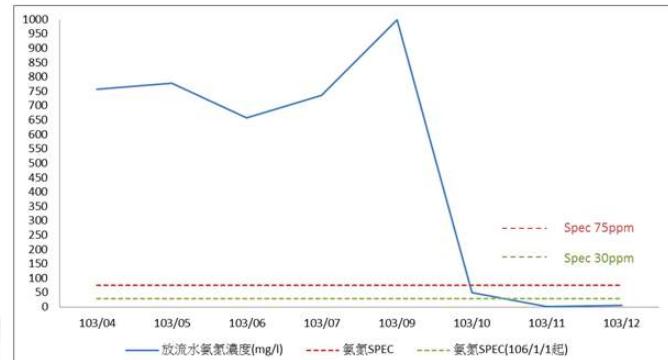


國內已採行之技術-氨水

- 某LED廠廢氨氮經洗滌塔後，廢水氨氮濃度約6%，再經氣提塔提濃，**氨水濃度可達28%~30%**，委外清運
 - 氨水濃度能符合CNS工業級標準
 - 2014年氨水實際回收量達2,009公噸
 - 進一步進行蒸餾、純化等步驟，產生5N- NH_3 後填充至鋼瓶，經ISO TANK及BSGS系統供氣至MOCVD機台使用
- 納管水氨氮濃度由1,000 mg/L，降低為15 mg/L以下



氨水濃度25% wt以上

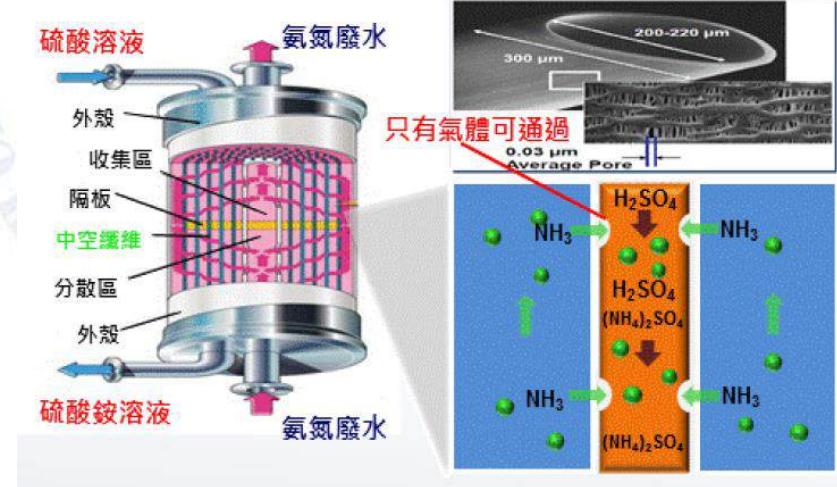
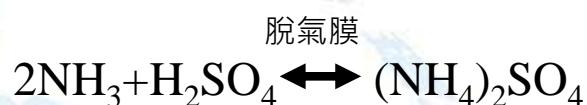
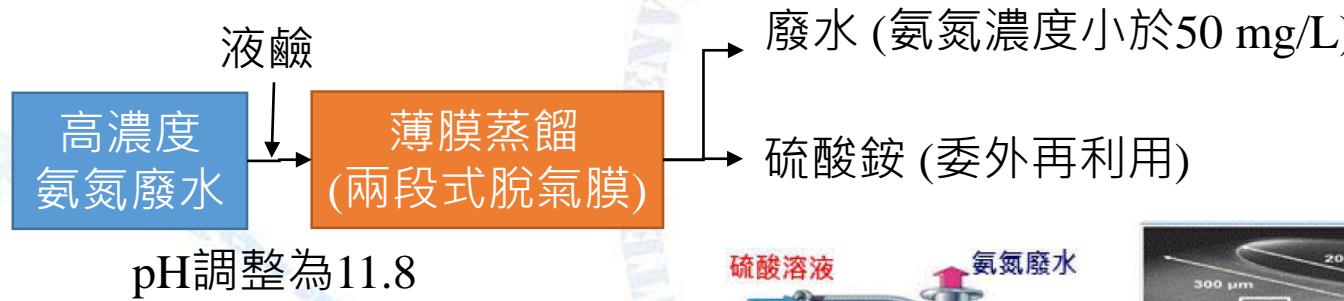


放流水含氨氮濃度趨勢圖

國內已採行之技術-硫酸銨

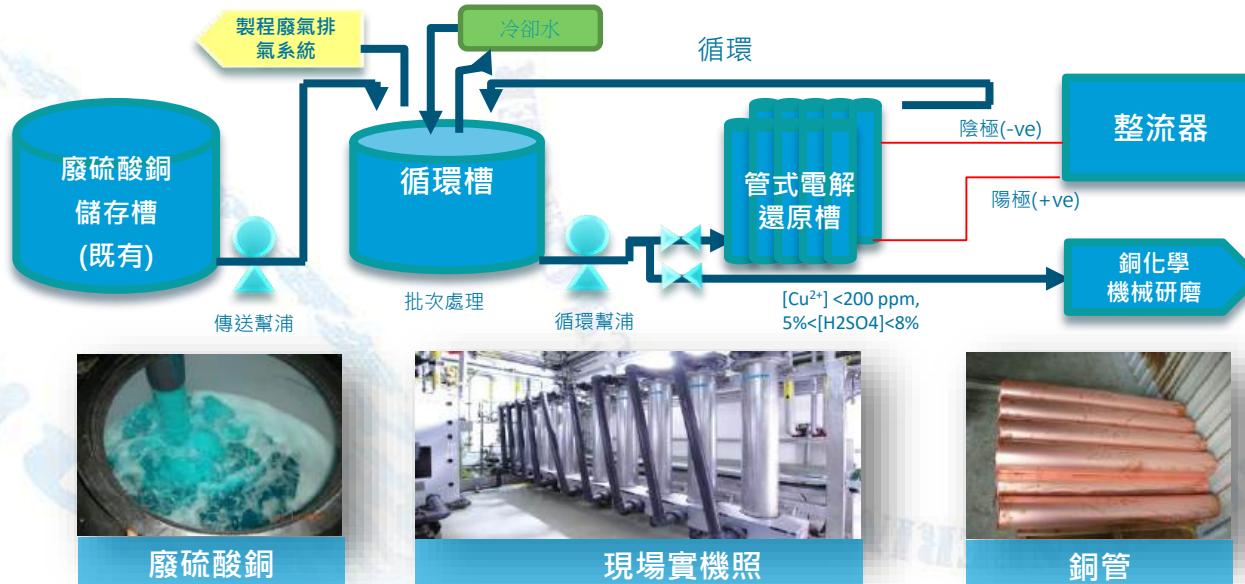
- 某半導體廠高濃度氨氮廢水 (>3,000 mg/L)

- 兩段式脫氣膜串聯，氨氮去除率>97%
- 硫酸循環產生硫酸銨，委外資源化



國內已採行之技術-銅

- 藉由直流電將銅等金屬離子經還原反應沉積在陰極表面予以回收
 - 108 年共回收 1 萬 5,654 公噸含銅廢液，再製成 167 公噸的再生銅管
 - 每年回收減廢效益超過新臺幣 1 億元



國內已採行之技術-鈷

- 延續液中求銅經驗，台積電新增高濃度含鈷廢水及研磨含鈷廢水分流及其處理系統，成功建置含鈷廢水電鍍系統，回收製成鈷棒

- 108年共減少原先需委外處理的含鈷廢液277公噸，產出約180公斤的純鈷產品
- 回收減廢效益超過新臺幣1,000萬元
- 產出之純鈷產品更可循環使用於電池及觸媒產業



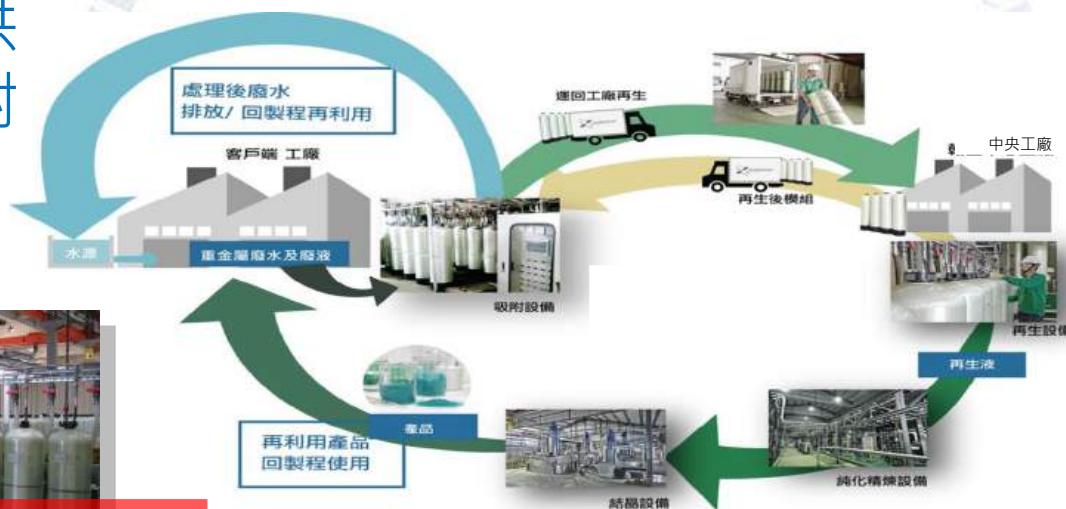
資料來源：台積電，台積公司108 年度企業社會責任報告書

國內已採行之技術-鎳

- 再利用機構提供**模組化之離子交換樹脂吸附設備**設置於電鍍廠內，飽和之樹脂再送回再利用機構之中央工廠進行再生，產製資源化產物
- 國內已有廠商提供此服務，但僅針對鎳系廢水



- 減少混凝藥劑使用
- 減少污泥清理費用
- 產水可回收利用

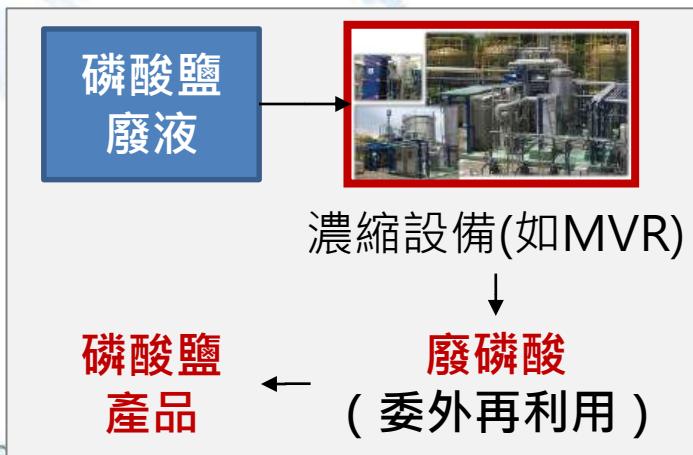


推動中之廢水資源化技術-磷

● 磷屬戰略性物資

，國際磷礦日漸枯竭，各國採行資源化技術再利用

■ 中濃度廢液-以濃縮設備(如機械式蒸氣再壓縮MVR)將廢液中磷酸提濃，再委外純化成75-85%磷酸



，避免廢水高濃度磷酸鹽排入水體

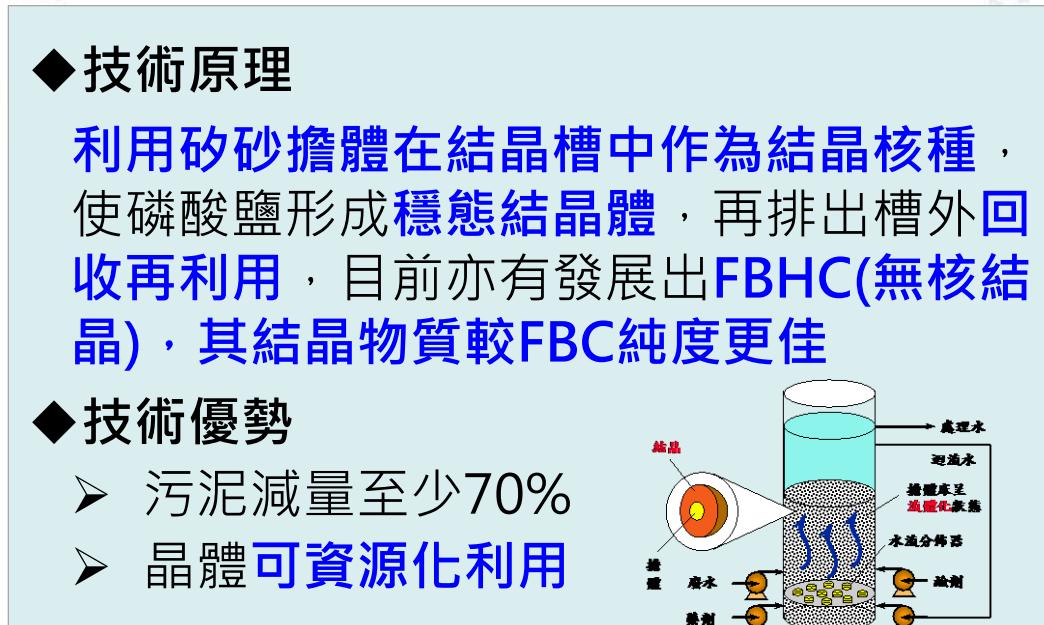
■ 以流體化床結晶(FBC)取代混凝沉澱，將廢水磷酸鹽製成磷酸銨鎂/磷酸亞鐵等產品

◆ 技術原理

利用矽砂擔體在結晶槽中作為結晶核種，使磷酸鹽形成**穩態結晶體**，再排出槽外**回收再利用**，目前亦有發展出**FBHC(無核結晶)**，其結晶物質較FBC純度更佳

◆ 技術優勢

- 污泥減量至少70%
- 晶體**可資源化利用**



環境部刻正推動廢污水處理綠色轉型

能源化

資源化

智慧化

減害化

有機廢水厭氧處理
沼氣再利用

廢水氮/磷/金屬等物質
資源回收再利用

採用低碳節能技術
導入智慧水管理

藥物和全氟化物檢測申報
符合數值及自主削減



廢污水處理導入智慧管理新趨勢

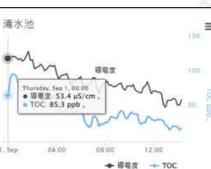
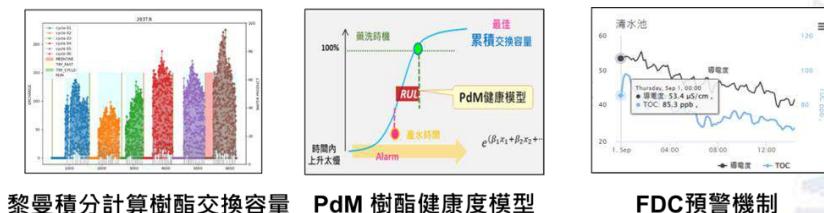
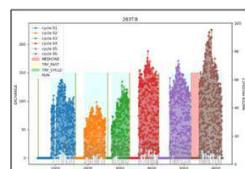
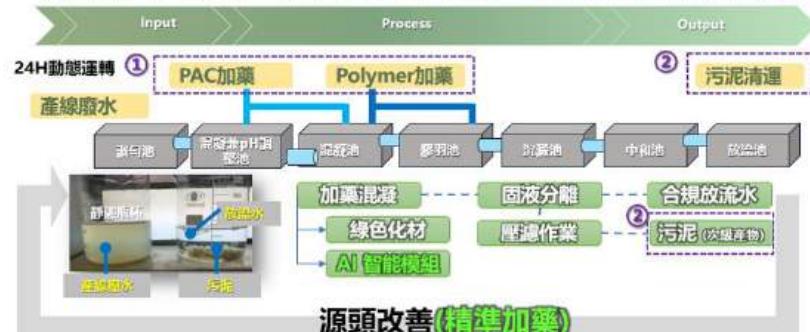


事業實務應用案例

- 運用偵測儀器取代人力監視，善用電腦運算改善人力調整所需之頻率，AI自動依據水質水量演算出合適藥品添加量
- AI智能導入，計算2B3T再生時間，達到運轉最佳化，減少再生用藥

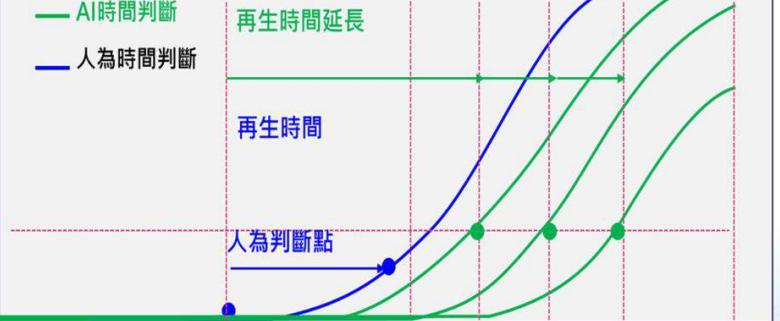
智慧管理導入

擷取系統重點加藥項目&功能，納入學術運用基礎，依據環境變化給予最佳用藥量



離子交換樹脂再生時間曲線

AI時間判斷
人為時間判斷



環境部刻正推動廢污水處理綠色轉型

能源化

有機廢水厭氧處理
沼氣再利用

資源化

廢水氮/磷/金屬等物質
資源回收再利用

智慧化

採用低碳節能技術
導入智慧水管理

減害化

藥物和全氟化物檢測申報
符合數值及自主削減



廢(污)水PFAS減量

源頭管理

■法規禁限用

■**設備更換或製程調整**(如電鍍金表業改採密閉式鍍槽搭配抽風設備，可減少使用鉻霧抑制劑)

■**化學品替代或減量** (如替換使用C6、C4或無氟之撥/潑水劑、鉻霧抑制劑、光阻劑等)

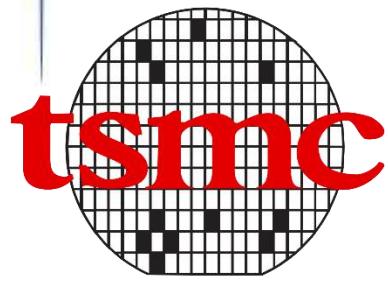
■**污染源鑑定**：科學園區、工業區推動源頭納管廠商污染源削減

處理技術

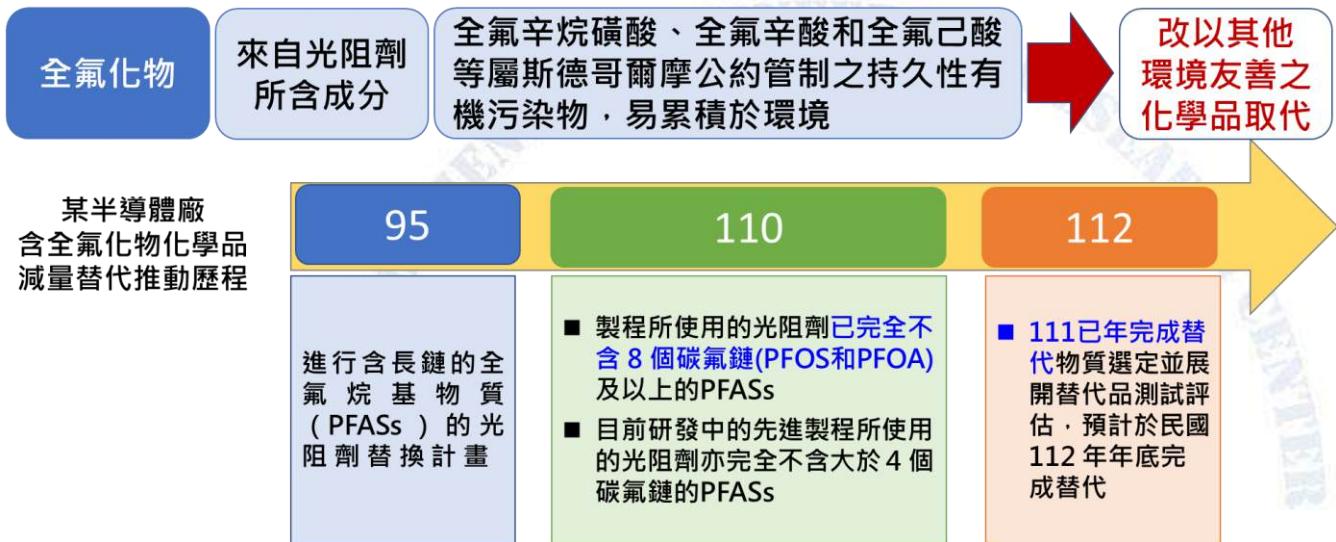
- 污染物物化特性
(溶解度、LogKow等)
- 成本
- 中間產物 (毒性更高)
- 衍生廢棄物
- 常見之濃度範圍
- 法規限值



化學品替代或減量



台灣積體電路製造股份有限公司
Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Ltd.



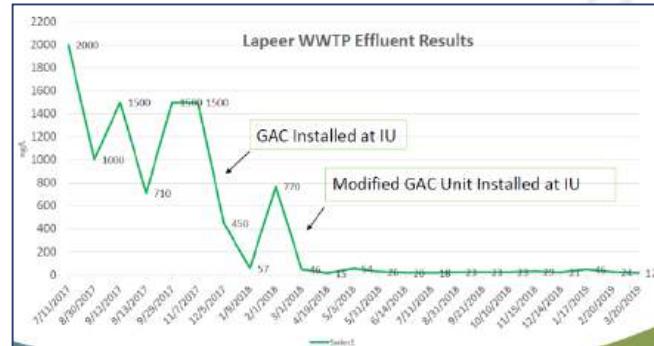
料號	PFAS C1-C4	PFAS C5-C7	PFOS C=8	PFAS ≥ C-9	PFOA	含量比例	是否有取代計劃
32-01-0051S			BARCs				已取代
32-01-0009			BARCs			2.38%	已取代
32-01-0035			BARCs				已取代
32-01-0014	Resists					0.04%	已取代
32-01-0002	Resists					<0.01 %	已取代
32-01-0008	Resists					<0.5 %	已取代
32-01-0010	Resists					<0.01 %	已取代
32-01-0011	Resists					<0.01 %	已取代
32-01-0057	Resists					<0.5 %	已取代

資料來源：台灣積體電路股份有限公司網站，台積公司110年度永續報告書，2022。
力晶科技股份有限公司，企業社會責任報告書，2017。

污染源鑑定

- 以美國密西根州污水處理廠PFOS改善做法為例
 - 源頭納管廠商改善 (增設活性碳吸附或設備汰換與清洗)

污水處理廠	放流水PFOS濃度(ng/L)	放流水PFOS削減率(%)	PFOS減量做法
Ionia	<14.96	99%	污染源1設置PAC
Lapeer	20	99%	污染源1設置PAC
Wixom	36	99%	污染源1設置PAC
Howell	6	95%	污染源1設置PAC
Bronson	13	96%	污染源1設置PAC
Kalamazoo	3.1	92%	污染源2設置PAC
K.I. Sawyer	18	83%	淘汰含PFOS泡沫滅火劑
GLWA	5.7	62%	污染源8設置PAC



活性碳吸附 (Activated carbon)

● 設置目的

- 活性碳是一種多孔性的含碳物質，可藉由物理性與化學性吸附力去除水中有機物

● 型式

- 粉末狀活性碳
- 顆粒狀活性碳
- 纖維狀活性碳

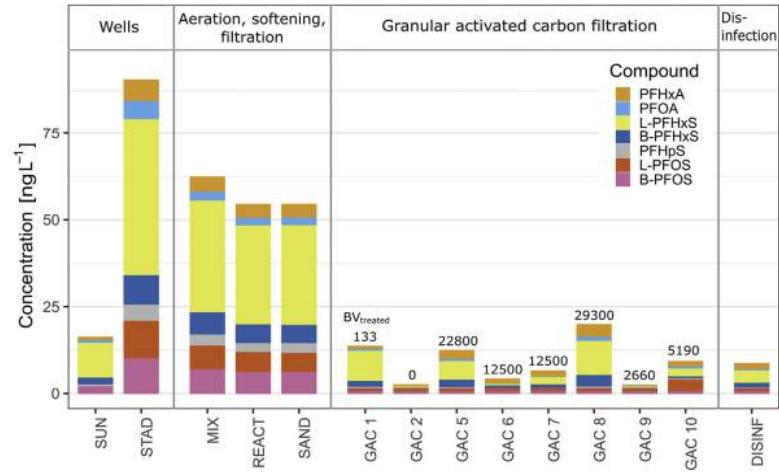


AC對PFAS去除效能

- 污染物去除效率與**物質特性(K_{ow}、極性)**、**AC特性(比表面積等)**有關
 - AC對PFOA和PFOS等C8以上之長鏈PFAS具良好吸附效果，PFBS等短鏈PFAS吸附效果較不理想
 - 水中DOC/NOM之競相吸附，會降低其效能
- PAC添加量高，接觸時間長，效率較高
 - PAC相較GAC有較高之比表面積
 - 直接添加於水中後，需再進一步分離，實際案例較少
- 活性碳有**吸附容量限制**，需定期更換，且**吸附飽和之活性碳需進一步處理**
- 國際已有使用AC處理PFAS之實績

AC處理PFAS之實例-瑞典

- 乌普薩拉淨水場2012年檢測地下水水源，發現受到**含PFAS消防泡沫污染**，濃度達0.250 $\mu\text{g/L}$
- 2015年實廠加裝10座活性碳吸附過濾器，AC有效粒徑介於0.6 mm~0.7 mm，2處原水地下水之PFAS濃度經處理後降為0.007 $\mu\text{g/L}$ ，**去除率介於67~100%**
 - AC對直鏈異構物(L)吸附效果較支鏈異構物(B)佳
 - AC對PFSAs吸附效果較PFCAs佳



資料來源：Belkouiteb N, Franke V, McCleaf P, Köhler S, Ahrens L. Removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in a full-scale drinking water treatment plant: Long-term performance of granular activated carbon (GAC) and influence of flow-rate, Water Res., 2020.

離子交換樹脂 (Ion exchange resin)

● 設置目的

- 液相中的離子與固相（樹脂）中離子間互相交換，而達到降低鹽類、重金屬或污染物濃度效果
- 飽和樹脂委外以廢棄物處理或再生

● 型式

- 離子交換樹脂一般呈現多孔狀或顆粒狀，其大小約為0.1~1mm
- 依交換特性可分為
 - 陽離子交換樹脂(CER)：可去除懸浮顆粒、有機物、以及正電荷離子
 - 陰離子交換樹脂(AER)：去除帶負電荷之無機鹽類



離子交換樹脂 (Ion exchange resin)

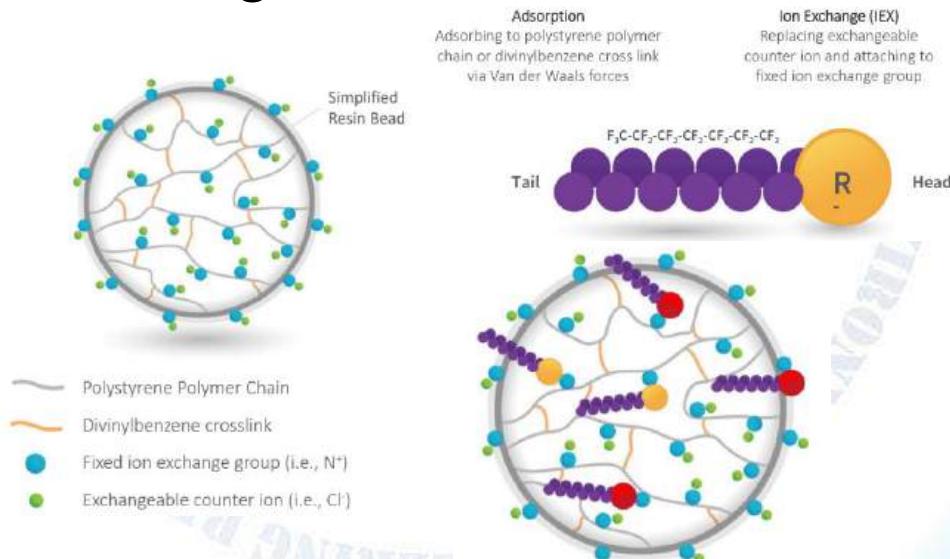
- 依使用情形可分為**單次使用型**或**重複利用型**
 - 單次使用型於貫穿時，即予以更換，取出之廢樹脂則以焚化處理
 - 重複利用型於貫穿時不須更換，可直接利用溶劑進行脫附及濃縮PFAS，再生後樹脂可重複利用(但樹脂重複利用次數有所限制，因其吸附容量會逐漸下降)，濃縮之PAFS需進一步處理
- 考量處理成本，單次使用型較適用於污染濃度較低之情形；重複利用型因可再生使用，較常應用於污染濃度較高之情形

離子交換樹脂對PFAS去除效能

- 因**PFAS**通常帶負電性，使用**AER**對PFAS具高度選擇性，可將多數PFAS濃度處理到偵測極限以下
 - PFAS 中 PFSAs 對離子交換樹脂的親和力優於PFCAs，另隨碳鏈增加親和力隨之增強
- 效能會受廢水所含有機/無機污染物競相吸附影響
- 國際已有使用離子交換樹脂處理**PFAS**之實績
 - AMBERLITE™ PSR2 Plus、Purofine® PFA694E、CalRes 2301、Sorbix PURE LC、ResinTech SIR-110-HP等

離子交換樹脂處理PFAS之實例

- 美國某紡織業因**製程使用含PAFS撥水劑**，含PFAS廢水排放至鄰近潟湖造成污染
- 經GAC和砂濾前處理去除共污染物(co-contaminants)和固體顆粒，再導入**ECT2離子交換樹脂**，將廢水PFOS和PFOA濃度降低至70 ng/L以下

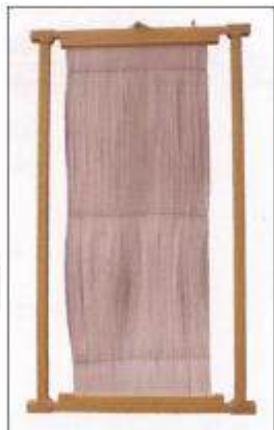
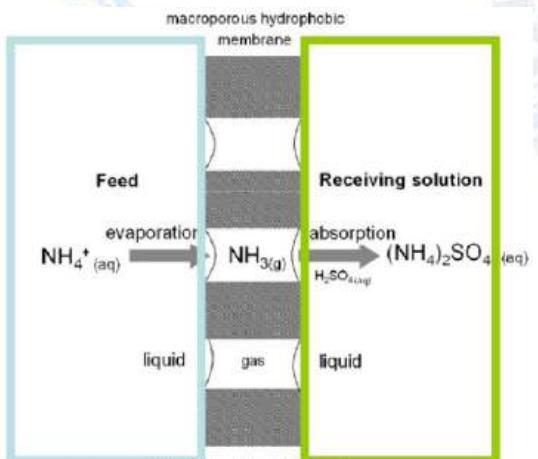


資料來源：ect2網站，<https://www.ect2.com>，2024。

Patrick McKeown, PFAS In The Environment; Practical Technologies for Removal at Industrial Sites

薄膜分離(Membrane Fractionation)

- 薄膜分離法係利用薄膜構造與分子粒徑、電位分布等差異，使溶質及溶液分離，其中常見之逆滲透膜係利用壓力為驅動力；電透析法之驅動力為電場；薄膜蒸餾法則為蒸汽壓
- 處理效果佳，惟操作難度較高、維護成本較大，且需避免膜件受到有機污堵



薄膜分離應用於PFAS去除

- MF和UF對PFAS分離效率不佳
- NF和RO對PFAS具良好之分離效果，惟相較活性碳和離子交換樹脂其操作成本較高
- 待處理廢污水導入薄膜前須經適當前處理，以避免膜件受到污堵
- 高濃度濃縮液仍需進一步處理

C数 採水地点	参考										
	PFPA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFBS	PFOS	電氣伝導率	Cl ⁻ (mg/L)
濃度 (ng/L)	膜流入水	460	390	2740	1840	1540	1180	1040	4690	1540	127
	膜處理水	180	140	810	340	42	25	23	1450	29	65
	濃縮水	610	520	3440	2000	1710	1160	720	5400	1660	148
溶質 阻止率(%)	膜處理水	67.3	68.7	73.8	82.4	97.4	97.9	97.4	71.4	98.2	52.7
											51.2

資料來源：大阪市水道局 稲田康志 林 広宣 服部晋也 森口泰男 宮田雅典・有機フッ素化合物の淀川水系における動向と浄水処理過程における挙動

泡沫分離 (Foam Fractionation)

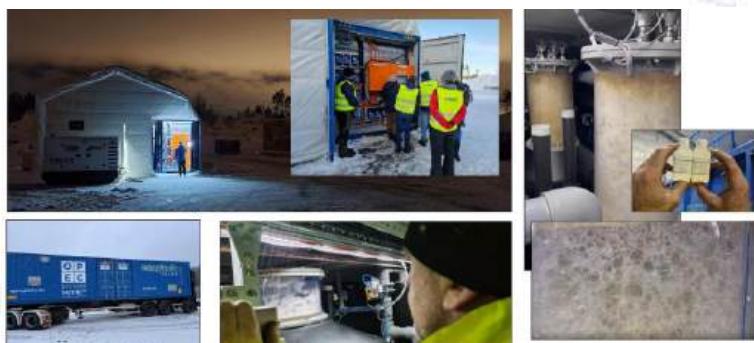
- 屬濃縮技術，在水中加入界面活性劑，藉由曝氣將水中具表面活性的PFAS，富集形成泡沫予以分離
 - 適用於分子鏈較長、氣液相吸附比率較高的PFAS，因此類分子通常對氣泡表面具較高的親和力
 - 60分鐘曝氣後，PFDS、PFHpS、PFHpA及PFNS等化合物可達幾乎去除
 - PFHxA、PFBS及PFPeS等化合物去除率變化較大
- 相較GAC或薄膜分離等技術，泡沫分離具消耗品用量少、適用水質變化範圍較大等優勢
- 國際已有現地模場應用案例

泡沫分離應用於PFAS去除-瑞典

● 垃圾掩埋場現場試驗顯示**長碳鏈PFAS**具較佳效能

- PFOA、PFOS、PFHxS去除率>98%，處理後放流水PFOA、PFOS、PFHxS濃度均低於2.0 ng/L
- PFBA、PFBS和PFPeA等短鏈PFAS因疏水性較不理想，去除效率較低，介於4.4~26.7%

Aust. & NZ NEMP (2020) PFAS Suite (3)	Removal Percentages (%R)			Treatment Results (Field Trial)		
	Predictive Desktop Audit (1)	15L Bench- Scale Testing (1,4)	Full-Scale Field Trial Removal Results (4)	Feedwater Conc. (2) (ng/l)	Criteria (ng/l)	Treated Water Results (ng/l)
PFOS	98-99%	98% (4)	99.8% (4)	2,790	70	< 4
PFOA	98-99%	98% (4)	99.8% (4)	480	560	< 1
PFHxS	95-97%	97% (4)	98.4% (4)	1,030	70	< 17
Combined PFOS + PFHxS	96-98%	97-98% (4)	99.1% (4)	3,810	70	< 11
8:2-FTS	100%	98% (4)	100% (4)	32	-	< 1
PFDA	100%	98% (4)	98.8% (4)	156	-	< 3
PFNA	100%	98% (4)	100% (4)	116	-	< 1
6:2-FTS	100%	98% (4)	100% (4)	100	-	< 6
PFHxS	95%	75% (4)	80.8% (4)	104	-	< 20
PFHxA	95%	70% (4)	81.5% (4)	367	-	68
PFHxA	<50%	51% (4)	46.7% (4)	755	-	402



資料來源：PFAS in Leachate Treatment SAFF40 ·

<https://www.wmrr.asn.au/common/Uploaded%20files/ALTS/2021/David%20Burns.pdf>

焚化和熱處理

- 飽和活性碳或離子交換樹脂等固體廢棄物、AFFF 或高濃度PAFS廢液可經焚化或熱處理予以分解
 - 溫度一般介於200~1,400°C(與化合物種類有關)，PFAS因氟之負電性及其化學穩定性，相較於其他鹵化物較不易分解
 - 需須留意**PFAS**分解不完全可能會形成小分子**PFAS**或混合鹵化物有機副產品等不完全燃燒產物(Products of incomplete combustion, PICs)
- 目前美國環保署刻正積極研究**PFAS**最適之分解溫度、反應時間和**PICs**生成潛勢等，以及含PFAS煙道氣釋放和可能之地面沉降

高級氧化和還原

- 藉由添加**氧化劑或還原劑**，經氧化還原反應**破壞PFAS化學結構**，包含脫氟、減少碳鏈長度等，直到完全降解為 CO_2 、 F^- 和 H_2O
 - 若反應不完全時，可能增加PFAAs和前驅物濃度
 - 高級氧化程序包含臭氧、零價鐵、過硫酸鹽、電化學氧化和超臨界水氧化(Supercritical water oxidation, SWCO)等
- 較**不會產生固體或液體廢棄物需再進一步處置**

肆、結語與展望



邁向環境零衝擊

- 翻轉傳統處理思維，兼顧**水資源處理、資源回收及再利用**與**能源耗用**
 - 因應放流水標準增修**總磷和銅**管制趨勢，事業**應檢視既有設備之功能**，評估必要之擴(改)建
 - 思考**轉廢為能**之可能性，將**廢水有價能資源予以回收再利用**，並同時**考量節能減碳措施**
- 水措管理辦法針對特定對象要求進行**新興關注項目檢測申報**，事業或下水道系統應盡速盤點製程貢獻來源，**優先評估源頭改善**(包含製程調整或化學品替代與減量)及增設處理程序之可能性

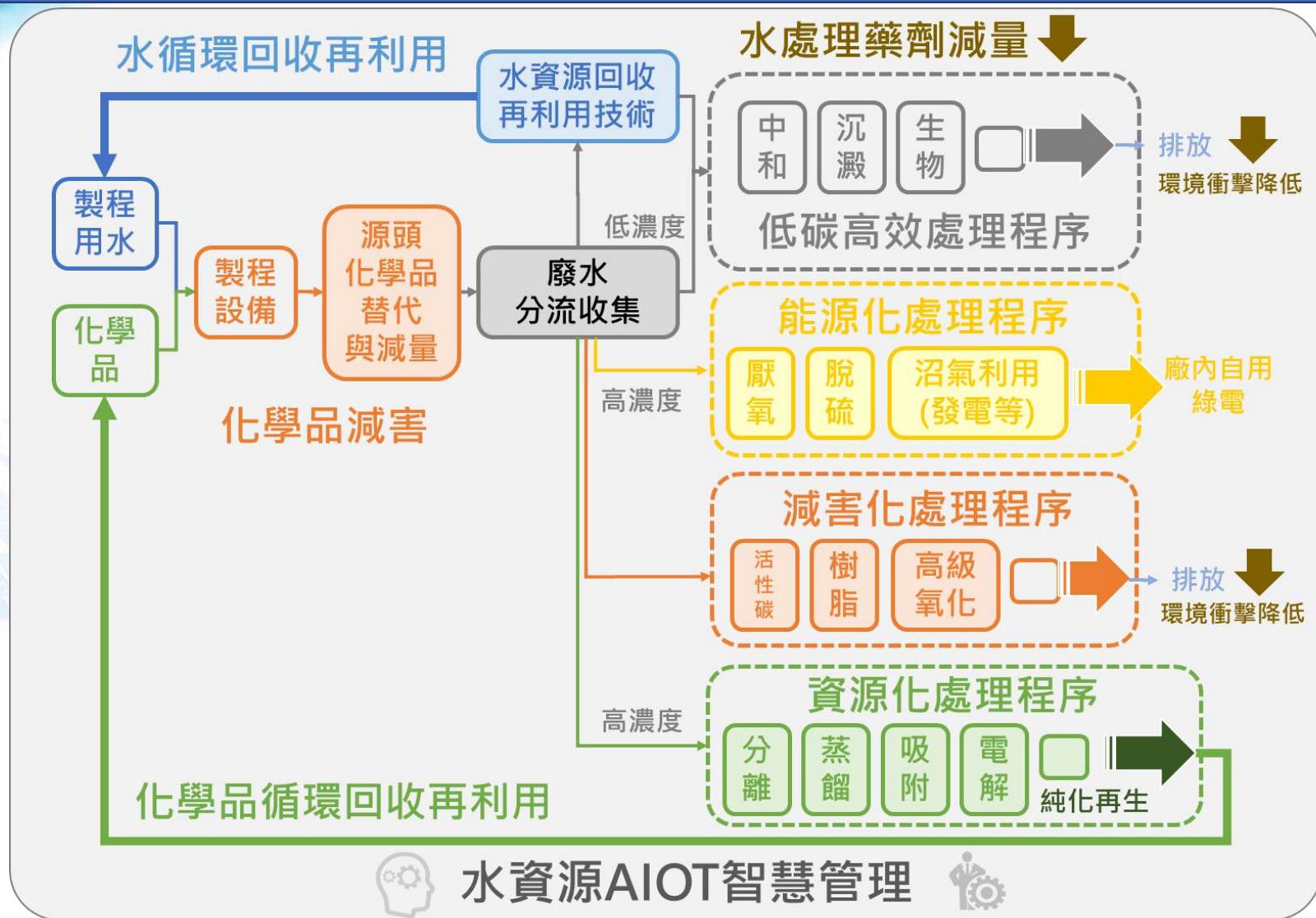


淨水永續

- 環境部為鼓勵水污染防治及水資源再利用具有重大績效之對象，**3月21日辦理第2屆「淨水永續獎」頒獎**，表揚15家績優廠商及其協力廠商，肯定業者廢水處理能資源化與智慧創新的努力
- 環境部另發布「**補助廢（污）水處理技術創新及研究發展計畫執行要點**」，每年提供至少2,000萬元獎勵業者創新從傳統去除污染物轉換為能資源化利用，助攻減碳與資源循環



廢水處理朝能資源再利用最大化 & 環境影響最小化





環境工程研究中心

簡報結束
敬請指教

環境智庫 水處理與水資源 / 下水道與再生水
/ 土壤地下水污染 / 海洋事務

檢測分析 環境部許可環境檢驗測定機構
國環證檢字第021號

查證服務 耗水費用水回收率查驗 / 碳盤查



114065 臺北市內湖區新湖二路280號
No.280, Xinhua 2nd Rd., Neihu Dist., Taipei City

(02) 8791-9198
<http://www.sinotech.org.tw>



官方網站



YouTube



Instagram