經濟部

153
中華民國110年11月
VOL.40 No.3 Nov. 2021
ISSN 12042783

INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION AND CONTROL

工業污染防治

經濟部工業局 編印
INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS TAIWAN R.O.C

153 工業污染防治 Industrial Pollution Prevention and Control VOL.40 No.3 Nov. 2021 Taiwan R.O.C.

經濟部

153

中華民國110年11月
VOL.40 No.3 Nov. 2021
ISSN 12042783

INDUSTRIAL POLLUTION PREVENTION AND CONTROL

工業污染防治

經濟部工業局 編印
INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS TAIWAN R.O.C

153 工業污染防治

廢（污）水處理類

含氮物質之新興物化處理技術評析
……吳柏璋、侯嘉洪、賴進興、官文惠、駱尚廉、蔡人傑、張莉珣、顏旭明 1
污水處理廠調和池水質調節能力分析
……蔣守銘、張馨方、桂國華、張達國、陳伯珍、薛富仁、陳建彰、游展豪 23
污水處理廠二沉池水流型態分析
……王進崇、蕭宇展、蔣守銘、劉雅文、陳伯珍、薛富仁、陳建彰、游展豪 43
複合式固定膜活性污泥法 (IFAS) 在工業廢水處理之應用
……………………………王富民、王群輔、孫宏華、雷憶湘、許盈志 69

空氣污染與噪音類

積灰對於脫硝觸媒 (SCR) 運轉效率的影響
……………………………………………………蔡東昇、郭奇亮、張涴甄 85

廢棄物類

建構有機剩餘資材能資源化之循環經濟平台
……………………………………………………吳俊毅、王振興、鐘明吉 97

環境規劃與管理類

水質感測物聯網現地規劃與環境執法應用
……………………………………………………彭書憶、陳范倫、米姿蓉 119

環境化學與微生物類

加速推動土壤及地下水污染場址改善執行現況及策略
……………………………簡慧貞、王禎、王子欣、許位嘉、黃敬堯 135

本期簡介

「工業污染防治」刊物 (以下簡稱本刊物) 自民國 71 年發刊至今，已出版 152 期，共刊載 1,802 篇技術論文，為目前環工界歷史最悠久之技術刊物，提供國內產、官、學、研環保人員之專業發表平台。

近年來，國內社會大眾、環保團體及輿情均相當重視各項環保議題，且中央及地方環保主管機關亦積極制修定環保法規。產業界為因應此趨勢與符合法規要求，需多元落實各類工業污染防治 (制) 技術，據以改善製程及提升管末處理設施效能。為響應環保，本刊物以電子化方式，置於工業局永續發展組委辦之「產業綠色技術資訊網」，供各界瀏覽下載。

110 年度之文稿範疇包含空污 (跨媒介) 整治及案例、節水廢水回收再利用、廢水氨氮及重金屬處理技術、綠色材料與永續物料管理、土壤與地下水整治、毒性化學物質管理、再生能源發展與應用、永續發展策略、生命週期評估及淨零碳排。本期共收錄 8 篇，分別撰述「含氮物質之新興物化處理技術評析」、「污水處理廠調和池水質調節能力分析」、「污水處理廠二沉池水流型態分析」、「複合式固定膜活性污泥法 (IFAS) 在工業廢水處理之應用」、「積灰對於脫硝觸媒 (SCR) 運轉效率的影響」、「建構有機剩餘資材能資源化之循環經濟平台」、「水質感測物聯網現地規劃與環境執法應用」及「加速推動土壤及地下水污染場址改善執行成果及精進」，作者慨賜宏文，提供寶貴經驗，特此致謝。

廢 (污) 水處理類

含氮物質之新興物化處理技術評析

吳柏璋 *、侯嘉洪 **、賴進興 ***、官文惠 ****、駱尚廉 *****
蔡人傑 ******、張莉珣 *******、顏旭明 ********

摘　　要

近年臺灣環保意識興起，行政院環保署自中華民國 110 年 1 月 1 日起，針對國內水污染防治法之管制對象，進行管制項目 (如氨氮及硝酸鹽氮) 之增修或加嚴，目的為有效管理事業與污水下水道系統所排放之廢 (污) 水，並加強對環境生態系統的維護。國內產業為因應環保署加嚴 / 新增管制的放流水標準，污染防治策略可提升現階段廢污水處理系統的分離、削減與回收再利用之技術，以達成污染減量與污染防治之效，進而符合環保署規範之放流水標準，維持河川水體健康。本文提出 3 項具發展潛力之新興物化處理技術，包括電容去離子、氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨、及非熱電漿技術，作為具低污染、低耗能、低成本、低空間及循環經濟之新興廢水處理技術。研究透過先導型試驗來驗證各技術應用於各產業之可行性，協助產業解決現階段廢水處理系統之技術瓶頸，同時減少二次污染物 (如污泥) 的產生。後續可透過技術媒合以及技術輔導等方式，加速推廣本土的新興廢水處理技術於產業上之應用，以實質升級我國廢水處理技術，達到廢水強化管理以及廢水資源循環再利用之目的。

【關鍵字】含氮物質處理技術、硝酸鹽氮、氨氮、物化處理

* 國立臺灣大學 環境工程學研究所　博士候選人
** 國立臺灣大學 環境工程學研究所 水科技與低碳永續創新研發中心　教授
*** 輔英科技大學 環境工程與科學系　特聘教授
**** 明志科技大學 環境與安全衛生工程系 電漿與薄膜科技中心　教授
***** 國立臺灣大學 環境工程學研究所 水科技與低碳永續創新研發中心　特聘教授
****** 財團法人環境與發展基金會　資深經理
******* 行政院環境保護署 水質保護處　簡任技正
******** 行政院環境保護署 水質保護處　處長

一、前言

隨著近年臺灣環保意識興起、環境議題日受重視，行政院環保署為有效管理事業與污水下水道系統所排放之廢 (污) 水，強化水污染防治措施之管理、降低農地污染風險、提升水體品質及對環境生態系統的維護。自中華民國 110 年 1 月 1 日起，針對國內水污染防治法之特定管制對象，進行管制項目 (如氨氮、硝酸鹽氮) 之增修或限值之加嚴。對此，國內產業為因應環保署加嚴 / 新增管制的放流水標準，策略上，可提升現階段廢 (污) 水處理系統的分離、削減與回收再利用之技術，以達成污染減量與污染防治之效，進而符合環保署規範之放流水標準。

然而部分中小型規模產業礙於需增加廢 (污) 水處理設施及操作成本，或受廠房空間使用限制，而無法加速進行改善。因此，為解決產業界現階段廢水處理系統之技術瓶頸，同時減少二次污染物 (如污泥) 的產生，實有必要加速推廣本土的新興廢水處理技術於產業上之應用，促進產業轉型與技術創新。

目前國內外新興廢水處理技術已逐漸朝低污染、低耗能、低成本、低空間及循環經濟之方向發展，本文針對國內 3 項發展中的新興物化處理技術，包括電容去離子技術、循環回收技術 (如氯化銨之回收再利用) 及非熱電漿技術，在含氮廢污水的發展與應用潛力，進行說明與介紹。

二、含氮物質物化處理技術之發展進程

2.1 國內事業放流水氨氮及硝酸鹽氮之管制標準

臺灣 80 至 90 年放流水標準已訂定硝酸鹽氮 (50 mg/L) 為事業共通性管制項目，並針對位於自來水水質水量保護區內之事業和新設立之公共污水下水道系統分別管制氨氮和總氮 (標準分別為 10 和 15 mg/L)。環保署自 100 年起為加速水體水質改善，並考量廢水氨氮來源之硫酸銨、氫氧化四甲基銨、乙醇胺和氨水等化合物亦會危害水中生物，爰陸續依據事業氨氮排放總量及濃度、製程及廢水特性擴大氨氮管制對象，管制歷程分階段說明：

1. 民國 100 年至 105 年推動高科技產業及石化產業之氨氮管制：高科技產業 (晶圓製造及半導體製造業和光電材料及元件製造業) 及石化產業 (石油化學業和化工業) 放流水標準氨氮管制區分新設廠和既設廠；另石油化學業和化工業因製程產品類別繁多，既設事業按製程再區分高含氮及非高含氮製程管制，高含氮製程之石油化學業和化工業係指分別含有 9 類和 27 類特定含氮製程，且作業廢水水量達放流口許可核准排放水量 40% 以上者。此外，針對科學工業園區及石油化學專業區污水下水道系統亦同步訂定管制。
2. 民國 106 年起推動金屬表面處理業、電鍍業、製革業、發電廠等業別之氨氮管制：針對原廢水具高濃度氨氮潛勢，且排放於自來水水質水量保護區外之事業增列氨氮管制，包含金屬表面處理業、電鍍業、製革業 (生皮製成成品皮者)、廢棄物掩埋場和發電廠等，並依既設廠和新設廠區分管制限值；考量事業廢水污染改善所需時間，製革業 (生皮製成成品皮者) 和廢棄物掩埋場之既設對象區分兩階段管制；而金屬表面處理業、電鍍業或發電廠和工業區污水下水道系統之既設對象分三階段管制，前述新增氨氮管制之事業或下水道系統既設對象之第一階段管制均自 110 年 1 月 1 日生效 (表 1)。另針對排放於自來水水質水量保護區內之觀光旅館新增總氮管制，限值為 15 mg/L，亦於 110 年 1 月 1 日生效。此外，有關公共污水下水道系統部分，針對流量大於 250 CMD 者，依據建設時間和許可核准收受處理事業廢水、截流水或水肥達總廢 (污) 水最大量比例區分管制限值。
3. 地方政府劃定氨氮排放總量管制區：高雄市政府基於後勁溪部分河段氨氮濃度超過嚴重污染限值，為改善水體污染情形，106 年 12 月 29 日公告劃定後勁溪氨氮排放總量管制區，針對排放於總量管制區內之事業及污水下水道系統 (不包含社區專用污水下水道系統)，禁用原物料氯化銨，並加嚴放流水氨氮管制限值。

國內產業多屬中小型規模，且廠內空間有限，採行含氮物質源頭化學品替代或減量措施後，如廢水氨氮或硝酸鹽氮等含氮物質濃度仍偏高時，仍須廢水處理程序增設處理單元，發展高效能含氮物質的污染削減設施實有其必要性。

2.2. 國內既有氨氮廢水處理技術現況與限制

本文盤點國內常見的廢水處理技術。國內各行業別皆有其特定之製程、使用之原物料及製品 / 產品，致使各事業產生之廢水量、廢水污染物特性之差異性較大，因此，各行業別所採用之廢水處理技術與單元不盡相同，需依照各行業之製程特性及放流之氨氮廢水處理濃度決定最適當之處理程序及單元，並根據不同操作原理分為物理與化學處理等方法，見表 2 所示。在不同處理方法與技術之選擇原則，通常以廢水中氨氮濃度為選擇基準。

低濃度之氨氮廢水 (約 100 mg/L 以下) 可以化學處理技術如折點加氯法，添加次氯酸以氧化方式去除氨氮，其將水中的游離氨氮藉由化學方法氧化成氮氣，亦可抑制微生物的生長，但其操作成本較高，且在氧化還原的反應過程中，需透過額外添加藥劑達到酸鹼中和，達到控制 pH 之目的，並且有過量餘氯之衍生問題。

中高濃度之氨氮廢水 (約 100 至 1,000 mg/L 之間) 可以流體化床結晶法，添加磷酸及鎂離子形成磷酸銨鎂結晶，將氨氮形成固體物後達到去除之目的 (Bykovsky et al., 2017)，藉由產生晶體減少污泥量，但需額外添加鎂鹽及磷酸。

高濃度之氨氮廢水 (約 1,000 mg/L 以上) 可以離子交換、流體化床結晶、氣提、電透析、倒極式電透析、薄膜蒸餾等。其中，離子交換法是將含銨離子置換而去除氨氮，此處理方法技術簡單且投資金額較低，具有較高的去除率與穩定性，但對於高濃度的氨氮廢水會因樹脂再生頻繁而造成操作困難，後續亦有廢棄物仍需處理，使處理成本增加。薄膜蒸餾法，在進行氨氮分離時，主要機制是添加鹼液使 pH 值提高，讓離子態氨氮形成分子態氨氮而通過薄膜，達到分離及濃縮效果，但其缺點是在長時間操作下，易導致薄膜積垢，使薄膜系統效能降低與操作成本增加，因此需針對廢水前處理與再生程序加以控制。

表 1　氨氮及硝酸鹽氮之放流水標準 (環保署 , 2020)

<table>
<tr><th>管制項目</th><th colspan="2">管制對象</th><th colspan="2">管制限值 (mg/L)</th></tr>
<tr><td rowspan="22">氨氮</td><td colspan="2">晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業</td><td colspan="2">30</td></tr>
<tr><td rowspan="2">石油化學業</td><td>非高含氮製程</td><td colspan="2">20</td></tr>
<tr><td>高含氮製程</td><td colspan="2">60</td></tr>
<tr><td rowspan="2">化工業</td><td>非高含氮製程</td><td colspan="2">20</td></tr>
<tr><td>高含氮製程</td><td>60</td><td>107/12/31 施行</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">金屬表面處理業、電鍍業</td><td>150</td><td>110/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>120</td><td>113/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>60</td><td>116/1/1 施行</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">製革業 (生皮製成成品皮)、廢棄物掩埋場</td><td>150</td><td>110/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>60</td><td>113/1/1 施行</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">發電廠</td><td>150</td><td>110/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>100</td><td>113/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>60</td><td>116/1/1 施行</td></tr>
<tr><td colspan="2">海水淡化廠</td><td colspan="2">20</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">其他工業區專用污水下水道系統</td><td>100</td><td>110/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>75</td><td>113/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>30</td><td>116/1/1 施行</td></tr>
<tr><td colspan="2">科學工業園區專用污水下水道系統</td><td colspan="2">30</td></tr>
<tr><td colspan="2">石油化學專業區專用污水下水道</td><td colspan="2">60</td></tr>
<tr><td rowspan="3">公共污水下水道系統 (許可核准收受處理事業廢水、截流水或水肥)</td><td rowspan="2">設計最大量達總廢污水最大量百分之 20 以上者</td><td>75</td><td>110/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>30</td><td>113/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>設計最大量未達總廢污水最大量百分之 20 者；或未收受處理事業廢水、截流水或水肥</td><td>10</td><td>110/1/1 施行</td></tr>
<tr><td rowspan="4">硝酸鹽氮</td><td colspan="2">晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業、石油化學業、化工業、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、發電廠及海水淡化廠</td><td colspan="2" rowspan="4">50</td></tr>
<tr><td colspan="2">上述以外之事業 (不適用有總氮管制者)</td></tr>
<tr><td colspan="2">石油化學專業區專用污水下水道系統、科學工業園區專用污水下水道系統、其他工業區專用污水下水道系統、社區專用污水下水道系統、其他指定地區或場所專用污水下水道系統、建築物污水處理設施</td></tr>
<tr><td colspan="2">公共污水下水道系統 (不適用有總氮管制者)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">總氮</td><td rowspan="2">公共污水下水道系統 (許可核准收受處理事業廢水、截流水或水肥)</td><td rowspan="2">設計最大量未達總廢污水最大量百分之 20 者；或未收受處理事業廢水、截流水或水肥</td><td>50</td><td>110/1/1 施行</td></tr>
<tr><td>35</td><td>113/1/1 施行</td></tr>
</table>

註：適用排放於自來水水質水量保護區外之既設者 (完成建造、建造中或已完成工程招標)

2.3 含氮物質新興處理技術研析

以廢水氨氮處理技術為例，將現行技術依照其適用處理範圍以及技術成熟度進行盤點，見圖 1(a)。因此可以依照各產業廢水性質與現地大小以及其製程需求，規劃合適的技術與現有技術進行結合。為因應環保署最新的法規要求，針對新增 / 加嚴管制放流水標準之受影響產業 (如金屬表面處理業或電鍍業) 衍生之廢水處理技術需求，具低污染、低耗能、低成本及低空間之前瞻廢水處理技術，即綠色分離技術、循環回收技術以及高效去除技術，為目前進一步研發之含氮物質新興處理技術。

本文蒐整氨氮廢水處理之現況，釐清我國廢水處理技術之技術瓶頸，並藉由技術研發的方式，實質地提出可行之解決方案。將蒐整之廢水處理技術進一步歸納，統整出處理方式為分離、分解及回收之技術特點，可參考圖 1(b) 所示。藉由研發綠色分離程序、資源循環回收以及高效率去除等技術，並進行技術驗證以及系統整合，以因應國內各行業對於含氮物質處理技術之需求為前提，尋找合適的產業應用標的，進行試驗示範，以協助產業突破現有廢水處理之技術瓶頸。

表 2　國內不同氨氮濃度之處理及技術限制

處理技術	處理方法	技術限制
折點加氯	透過添加氯氣或次氯酸鈉，產生自由餘氯 (次氯酸及次氯酸鹽)，氧化水體有機物	1. 操作成本較高 2. 氧化還原的反應過程中，需額外添加藥劑達酸鹼中和，達到控制 pH 之目的
離子交換	利用樹脂對銨離子之交換性，將銨離子分離	1. 有機物與樹脂結合，造成效能降低 2. 需前處理，以避免堵塞樹脂床 3. 其他陽離子會與銨離子競爭吸附 4. 再生液需另行處理
流體化床結晶	含氨氮廢水中添加磷酸及鎂離子以形成磷酸銨鎂結晶	可產生晶體減少污泥量，但需額外添加鎂鹽及磷酸
薄膜蒸餾	調高 pH 值使氨氮離子形成分子態氨，通過薄膜至另一端，得到氨水硫酸銨及磷酸銨等溶液。	1. 無需加熱且可以得到高純度產品，需添加液鹼 2. 長時間操作易導致薄膜積垢 3. 需對廢水前處理與再生程序加以控制

本文研析以分離、回收及分解三者技術特點為核心，進行技術發展及推廣。其中，分離技術 (包括電容去離子技術、電透析、薄膜蒸餾等) 可作為清淨、綠色、節能的廢水處理技術。以電容去離子技術為例，此技術適合用於分離廢水內中低濃度範圍的氨氮 (如小於 500 mg/L 之氨氮) 抑或是含有重金屬之廢水，其特點在於兼具低耗能、高度環境友善性等特性，且具有能源回收的潛力。回收技術 (包括氨氮氣提循環回收、氯化銨結晶等) 可作為永續資源與循環再利用的廢水回收技術，以氣提與結晶技術回收及處理氨氮廢水為例，此技術適用於回收廢水中高濃度的氨氮 (如大於 2,000 mg/L 之氨氮)，其技術特點在於可有效處理高濃度的氨氮廢水，且回收之氯化銨可供電鍍製程再利用。分解技術 (包括非熱電漿技術、電催化技術、高效率生物網膜法等) 可作為新興、高效率的廢水處理技術，以非熱電漿技術為例，此技術適用於去除低濃度範圍之氨氮 (如小於 500 mg/L 之氨氮)，亦或是用以處理含有複雜有機物之廢水，其特點在於無需額外添加化學藥劑，且無污泥產生的問題。基於分離、回收及分解三項技術特點，本文提出以電容去離子技術分離出濃縮及較低濃度之氨氮廢水，以氣提與結晶技術回收處理濃縮之氨氮廢水，以非熱電漿技術分解較低濃度之氨氮廢水。而藉由實廠廢水之測試，可建立符合實場現況之最佳操作參數，並計算其處理效果與操作成本。透過評估與驗證上述 3 項技術應用於實場廢污水之處理，以精進本土化的廢水處理技術。最終，以技術成果推廣為導向，為產業安排技術諮詢輔導與合作示範。

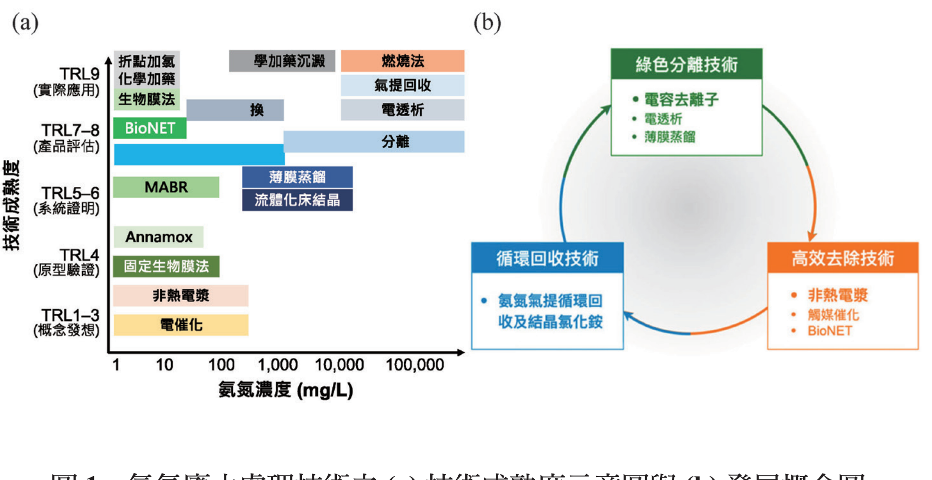


圖 1　氨氮廢水處理技術之 (a) 技術成熟度示意圖與 (b) 發展概念圖

三、含氮物質新興物化處理之技術開發

3.1 電容去離子技術

3.1.1 電容去離子技術之原理

電容去離子技術為新穎的清淨、節能電化學分離技術 (圖 2)。其藉由施加低電壓於高比表面積之多孔碳電極板上，形成外部電場。當溶液流經電場時，水體中的陽離子與陰離子，可分別被帶負電荷與正電荷的電極，以電吸附的方式，儲存於電雙層之中，從而達到分離水中離子之效，產生低導電度之淨水。而當移除外部電壓或施以一負電壓形成反向電場時，原先吸附於電極表面之陰離子與陽離子可以重新回到溶液中，此時溶液中的帶電荷離子可被富集回收，同時可在無額外添加藥劑條件下達到電極再生。

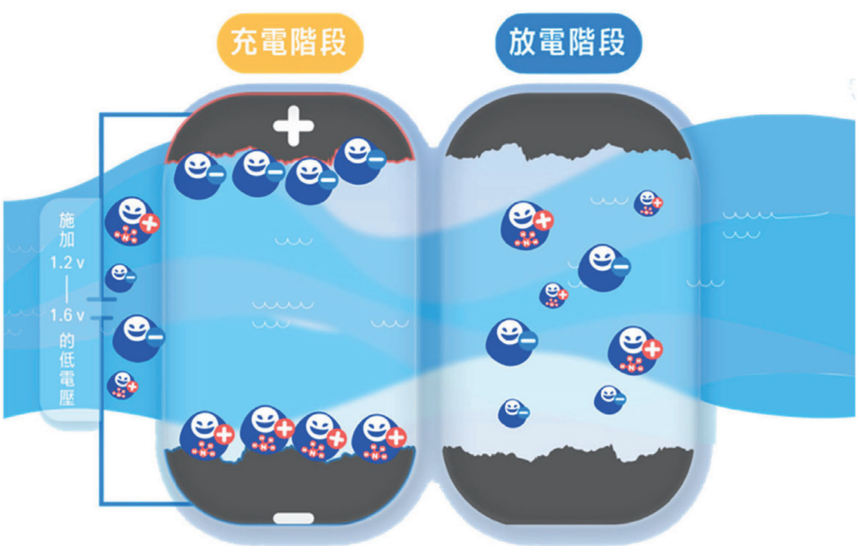


圖 2　電容去離子技術示意圖

3.1.2 電容去離子技術之應用

電容去離子技術隨著電極材料的突破而不斷演進，發展出模組構造與電極材料之交互運作方式 (圖 3)。如離子交換薄膜之運用，發展出薄膜電容去離子技術，以及電池複合材料之開發，應用於電池脫鹽技術，從而突破原有孔洞碳材料之電吸附容量限制。薄膜電容去離子技術是以離子交換層披覆於電極材料上，以增加陰離子與陽離子於電性相反的多孔碳電極板上傳輸的電流效率，進而提升電吸附容量。電池脫鹽技術則是以電池複合材料作為電極，透過可逆氧化還原反應使離子嵌入材料的晶格內，使電極的離子儲存量大幅提升。

1. 披覆離子交換層於硝酸鹽氮之去除

薄膜電容去離子技術可利用離子交換層的運用，將特定離子進行選擇性分離，其中離子通過交換膜的擴散速率為決定離子選擇性的重要因子。離子交換膜之化學特性影響特定離子之傳輸，如疏水性的膜有利於硝酸根離子的選擇性通透 (Mubita et al., 2020)。例如，以選擇性離子交換膜與商用離子交換膜，對於硝酸根離子之去除進行比較，選擇性離子交換膜的硝酸根離子對氯離子之選擇性係數為 1.9 (選擇性係數大於 1，代表有選擇性，數字愈大代表選擇性愈高)，大於商用膜的 1.4 倍。硝酸根離子對二價陰離子 (硫酸根離子) 的選擇性係數為 1.8，大於商用膜的 2 倍，顯示其應用於選擇性硝酸鹽氮去除之發展潛力。

2. 應用電池複合電極於氨氮之去除

為突破電容去離子技術對特定離子的電吸附選擇性成效，研究發現電池複合材料不僅能提升離子儲存容量外，對於不同種類離子亦具不同反應速率與活性，故可提升分離選擇性與分離量。電池複合材料對離子選擇性之機制是以離子水合半徑所決定，半徑小的離子具較好選擇性分離效果 (Hou and Huang, 2013; Singh et al., 2020)。例如，以鐵氰化鎳 (nickel hexacyanoferrate, NiHCF) 之電池複合電極，應用於都市 (二級) 污水處理廠放流水之氨氮移除與回收，氨氮濃度可從 16.8 mg-N/L 降到 10 mg-N/L 以下，銨離子對鈉離子選擇性係數可達 7.8，說明在背景陽離子濃度較高、組成較複雜之條件，仍具高度之分離選擇性與良好之氨氮去除潛力。

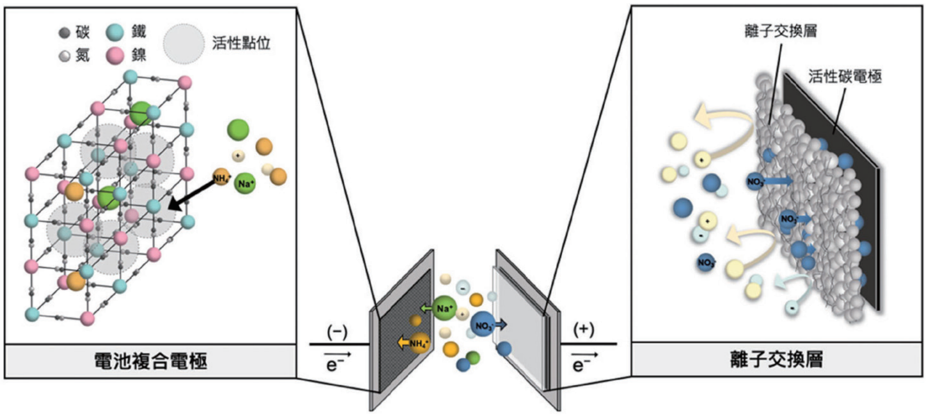


圖 3　電容去離子對氨氮及硝酸鹽氮選擇性機制示意圖

3.1.3 電容去離子技術現況與展望

近年來淨水技術朝向低耗能及高環境友善性發展，電容去離子技術為受國際重視，下世代的離子分離技術。國內如臺灣大學、清華大學、陽明交通大學、成功大學與工研院等團隊亦積極投入電容去離子相關技術之開發，包括高效能多孔碳材的開發、薄膜電容去離子、液流式電容去離子、混合式電極電容去離子等不同形式架構之應用研究。而電容去離子技術於含氮物質去除之應用深具潛力，研究成果廣受各界熱烈關注。

國立臺灣大學侯嘉洪教授團隊投入發展電容去離子技術、嵌入式 (intercalation) 電池材料開發、電化學調控離子選擇性分離等先進水處理技術，目前薄膜電容去離子技術已有工業級原型模組開發經驗，經實場運作卓有成效 (圖 4)。為因應含氮物質排放廢水法規加嚴，侯教授團隊針對銨離子與硝酸根離子之去除，規劃以自主研發之先導型 (pilot) 試驗級模組系統與水樣處理測試為研究重點，進行不同電壓與處理流速之調控，以針對不同的應用條件設定最佳系統配置。於處理過程中，充電階段將產生可供利用之再生水，而放電階段將排放富集離子之出流水，此濃排水可經後續物化處理方法循環回收。藉由探討充電階段之離子選擇性表現與放電階段之物質濃縮比例，可

促進電容去離子選擇性分離技術於含氮物質廢水處理之應用，並協助推動前瞻廢水處理技術之發展。後續將技術產業化推廣到業界使用，可全面考量其單位時間處理量、連續處理之壽命及其成本，為日後廠商媒合之依循。

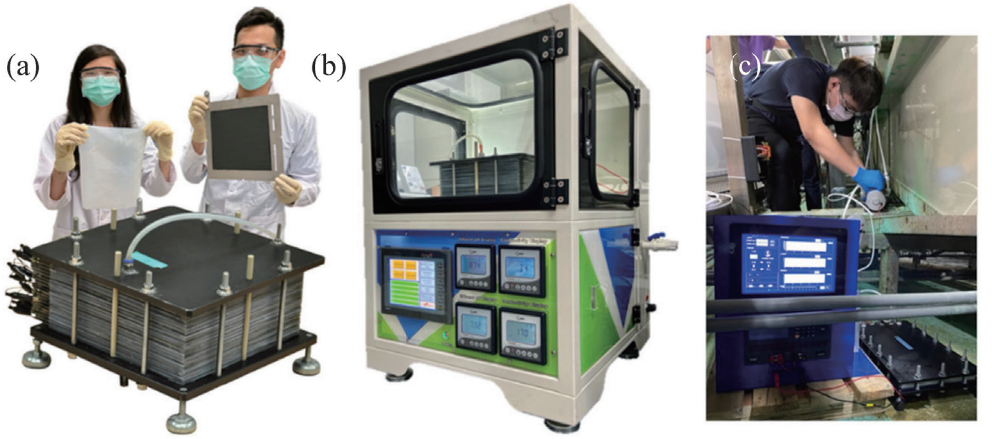


圖 4　電容去離子技術之 (a) 原型組件、(b) 臺大研發型機臺及 (c) 實廠廢水現場驗證

3.2 氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術

3.2.1 氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術原理

氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術可分為氣提技術、循環回收技術以及結晶技術 (圖 5)。第一部分的氣提技術主要針對含高濃度氨氮廢 (污) 水進行處理，藉由控制 pH 值，可將水中之銨離子轉換為氨氣：

$$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_{3(g)} + H_2O$$

第二部分為導入氨氣於循環回收系統，藉由 HCl 溶液淋洗，使氨氣轉換為液態之氯化銨：

$$NH_{3(g)} + HCl \rightarrow NH_4Cl_{(aq)}$$

第三部分則為液態氯化銨的減壓濃縮結晶。此技術利用抽氣幫浦抽氣使溶液於低壓下沸點降低，輔以水浴加熱，使水分蒸發，產生氯化銨結晶，進行後續回收。其反應式如下：

$$NH_4Cl_{(aq)} \rightarrow NH_4Cl_{(s)}$$

整體而言，氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術結合傳統物化處理之氣提法、循環回收與結晶技術，屬高濃度 (約 1,000 mg/L 以上) 氨氮廢水處理適用之技術。最終收集有循環利用價值之氯化銨原料供電鍍等工業製程使用。

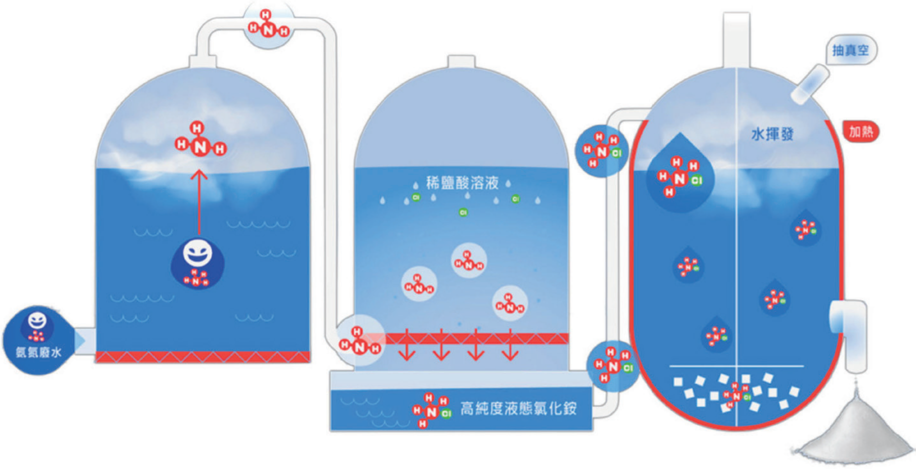


圖 5　氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術示意圖

3.2.2 氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術之應用

就氨氮處理技術而言，氣提法以處理高濃度氨氮廢水為主，濃縮產物可為硫酸銨、氯化銨或氨水等。循環回收法常視終端產物需求而以磷酸、硫酸或鹽酸淋洗，產生含銨化合物。結合後續結晶法，可產生高純度銨回收產物供循環應用。輔英科技大學賴進興教授團隊已規劃設計氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術實場試驗系統。此試驗系統設備包括：廢水氨氮氣提單元、氯化銨循環回收單元、與結晶氯化銨單元 (圖 6)。

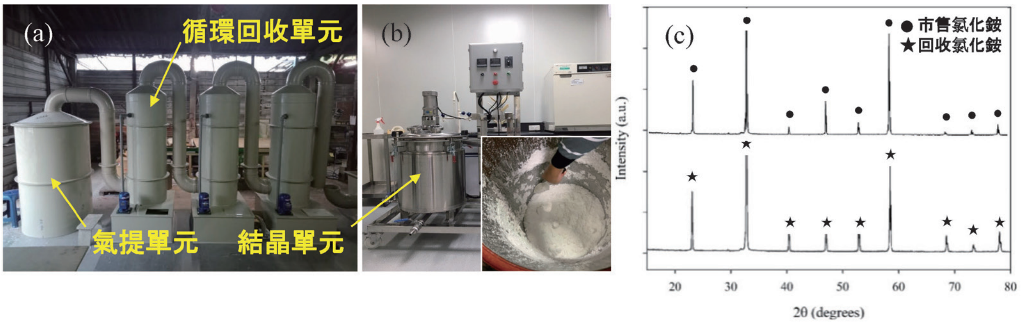


圖 6　(a) 氣提單元與循環回收單元設備、(b) 結晶單元設備與 (c) 固態氯化銨純度分析比較

1. 氨氮氣提單元

氨氮氣提單元可將氫氧化鈉與含氨氮廢水混合產生鹼化混合液。底部設有散氣盤，可增加鹼化混合液與空氣接觸而促進氨氣生成。曝氣量對與氨氮氣提速率呈現高度相關性，氨氮廢水濃度高達 15,000 mg/L，在 24 小時內氨氮氣提去除率即可達 90% 以上。

2. 循環回收單元

氨氮氣提單元產生的氨氣被導入循環回收單元，可與噴流之鹽酸霧滴接觸反應，生成之液態氯化銨溶液可持續與鹽酸混合，並於循環回收單元連續循環使用，藉以濃縮液態氯化銨溶液之濃度。循環回收液態氯化銨溶液之濃度累積可達 30% 以上。

3. 結晶單元

高純度液態氯化銨溶液通入固態結晶反應槽，藉由增溫控制提升水分揮發速率，再運用抽氣控制使反應槽趨向真空，加速水分揮發，進而產製高純度氯化銨結晶。分析固態結晶氯化銨之純度，雜質成分含量低於 0.009% 以下，而純度可達到 99% 以上，與市售氯化銨之 XRD 圖譜相比，本文之結晶固態氯化銨皆屬於結晶型態優良之氯化銨晶體。

3.2.3 氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術之現況與展望

環保署近年起陸續增訂國內產業之氨氮管制項目，並依是否具備「高含氮製程」來制定不同的管制限值。對於產出高氨氮廢水產業及環保業者而言，需要廠內再增設氨氮前處理單元或提升廠內廢水處理廠單元等級，此處理技術與成本對業者具有高挑戰性。

輔英科技大學賴進興教授長期開發氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術，已規劃實場氨氮氣提循環回收技術之驗證示範，並設置於「高雄岡山本洲工業區南區環保科技園區」廠商某環保公司進行大型模廠實場廢水之氣提試驗。同時，於實場廢水的氣提及氯化銨溶液之循環回收效能中，實場廢水氨氮濃度為 7,110 mg/L，實場廢水量為 785 L，在曝氣量為 1,500 L/min 的條件下，經過 24 小時的氣提時間，氨氮濃度降至 55.47 mg/L，已符合環保署增訂高含氮製程第一階段限值 150 mg/L 與第二階段 60 mg/L 之限值。此外，設計大型氯化銨結晶反應系統，可將循環回收的液態氯化銨溶液成功產製結晶固態氯化銨。因此，該環保公司接受研究團隊輔導建議：規劃在現有廠內針對氨氮氣提單元進行更新設計與操作參數之調整，包括曝氣量、曝氣盤的位置與數量 (圖 7 (a))、廢水進流量、氨氮廢水氣提 pH 值之調控等。該環保公司依本實場廢水研發與驗證成果，亦在「台南科技工業區」建立含高濃度氨氮廢水循環回收氯化銨之資源再利用廠 (圖 7 (b))，將降低國內產業產出含高濃度之氨氮廢水含量，作為電鍍業、金屬表面處理業之廢水處理選擇使用，未來可加速實現實場之氨氮廢水產業化的可行性。

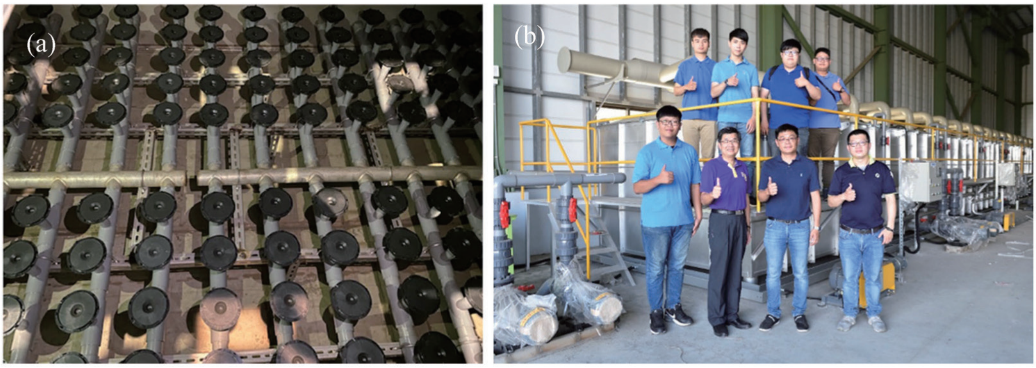


圖 7　(a) 實場氨氮氣提單元曝氣盤與 (b) 輔英科大賴教授團隊輔導國內廠商建置實場設備

3.3 非熱電漿技術

3.3.1 非熱電漿技術原理

非熱電漿技術藉由施加外部高壓交流、直流或脈衝電源，可於電漿放電區將通入的部分氣體離子化 (離子化程度達 10–4–10–1%)，其系統的氣體溫度不高 (僅略高於室溫) 卻存在相當高能量的電子，可用於激發不同的氣體分子 (如氬氣、氧氣、氮氣、空氣或混合氣體)，使其產生一系列之高活性化學物質進行氧化或破壞反應，包括 OH·、H·、^{1}O、O_2^-、H_2O_2、$e^-_{(aq)}$ 及 UV 光等。若選用不同的氣體，甚至可能產生 O_3、NO_2·、NO·等，可應用於氨氮、酚類、藥物分子、全氟化物、難分解有機物等廢污水之處理 (圖 8)，且無需額外添加化學藥劑、無污泥生成等優勢。若電漿密度夠高，也會對液相產生衝擊波。由於電漿可與氣相發生反應，也可直接與液相發生反應，在液面上產生的活性物質或自由基則會根據各自對應的亨利定律常數溶解於水中，並與水中污染物發生反應。

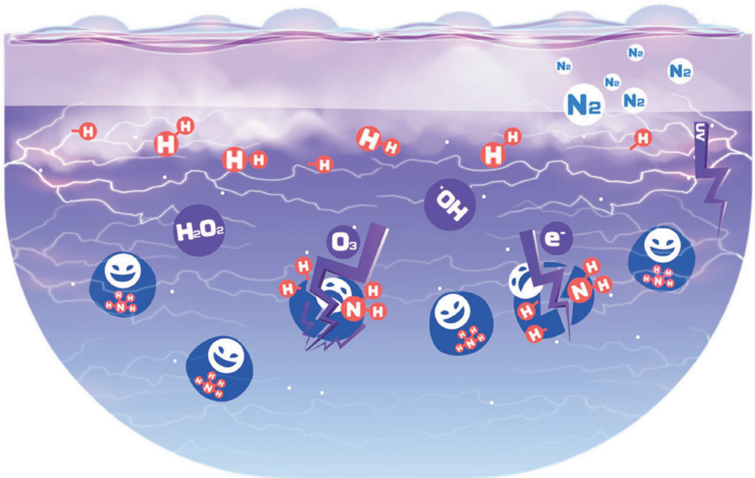


圖 8　非熱電漿技術處理含氨氮廢水示意圖

3.3.2 非熱電漿技術之應用與設計

非熱電漿技術於氣態污染物分解領域已有實務技術問世 (李灝銘 , 2004)，而於水處理領域之發展多數仍在實驗室研發階段，待研究方向包括 (1) 電漿技術應用於廢水處理之基礎研究，如不同的輸入能量源 (直流電、交流電及脈衝直流電等)、輸入氣體 (種類、輸入位置)、廢水性質 (導電度、pH、水中其他共存物質) 等之影響。(2) 模廠或實場規模反應槽設計，包括電極材料、反應槽材料、電源設計等。(3) 與國內其他新興技術或單元的整合與搭配，如新穎觸媒、奈米氣泡生成技術、添加催化劑、搭配生物處理單元、能源與經濟最適化等之研究 (Jiang et al., 2014)。

電漿技術的關鍵在於電漿源，而影響電漿源的因素在於能量源與電極配置。目前，能量源包含直流放電、低頻與中頻放電、射頻放電及微波放電等。而電極配置則以介電屏蔽板式放電為最適之電極配置，可於 1 大氣壓下產生大面積且均勻之輝光 (glow) 電漿 (Kanazawa et al., 1988; Yokoyama et al., 1990)。相關技術關鍵包括電極結構、電極間距離、放電氣體與電源頻率等。明志科技大學官文惠教授團隊投入非熱電漿技術的研發，探討脈衝波型態、電漿電壓、電漿頻率及載流流量對廢污水中氨氮去除的

影響；此外，亦建立不同氣體種類與配比之活性物種產率關係，針對電漿於氣相與水相產生之活性物種進行偵測，包括被激發的 OH· 與氧氣、氬氣及氮氣之活性物種等，進而找出最適化之非熱電漿操作條件，有助於實場廢水污染物去除之應用。再者，綜合考量經濟效益與水處理量，應用水上氣相電漿 (gas phase discharge over a liquid surface) 與遠距電漿 (remote discharge) 進行測試，設計批次式與半連續流式 (包含圓盤式、斜板式與噴射式)3 種模組 (圖 9)，於試驗中進行成效探討與優化調整。為評估目標污染物處理效率與建立反應動力參數，官教授團隊並以氨氮、抗生素安莫西林、新興污染物與染料色度為目標污染物。其中，非熱電漿技術應用於氨氮廢水之處理，氨氮去除率於反應 10 分鐘後可達 65% 以上，並產生約為 90% 的氮氣，說明氨氮轉換成氮氣之選擇性高。

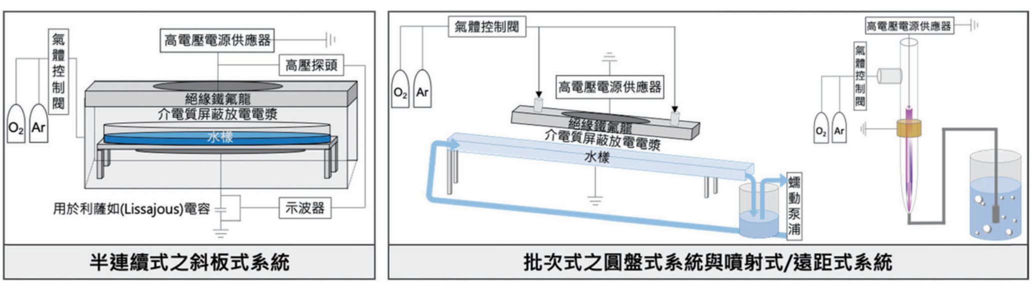


圖 9　非熱電漿淨水模組設計

3.3.3 非熱電漿技術現況與展望

非熱電漿技術之發展主要起於熱電漿技術之限制。電漿技術於環境工程領域已有實務技術應用，多用於氣狀污染物之分解與廢棄物熔融，然而熱電漿具有高能耗之發展不利因素。而非熱電漿為一新興且較低能耗之水處理技術，具有處理速度快、占地面積小、水質條件限制少，與較無二次污染等發展優勢。於特定系統配置下，並可於廢水處理過程同時產氫，足具開發潛力。

國內發展如明志科大官教授團隊，以氨氮、染料色度、抗生素及新興污染物等作為處理標的，進行非熱電漿處理之先導研究，並採集北部醫療院所放流水，進行其

中基本水質特性分析及常見抗生素分析，並以非熱電漿技術進行污染物去除試驗 (圖 10)。藉由進行電漿源、氣體配置與水處理反應器系統參數最適化開發，探討不同水質條件對處理效能與能源效率之影響，此技術研究將能促進含氮廢水中污染物破壞領域的發展，並推動整體有機物廢污水處理之進展。非熱電漿技術之成熟度現屬於實驗室規模，氣體與能源使用效率皆有機會進行優化，未來應用非熱電漿技術於廢污水處理時，可善用高活性化學物質之特性以提高處理效率、縮短處理時間及提升能源效率，如強化氣水混合 (氣體循環使用與液下進氣)、電漿接觸面積、改變介電質屏蔽材質與電極配置等。此外，非熱電漿反應器設計宜考量電漿氣體循環再利用，以節省操作成本。整體而言，技術成熟度在未來可持續精進，並朝下一階段邁進。

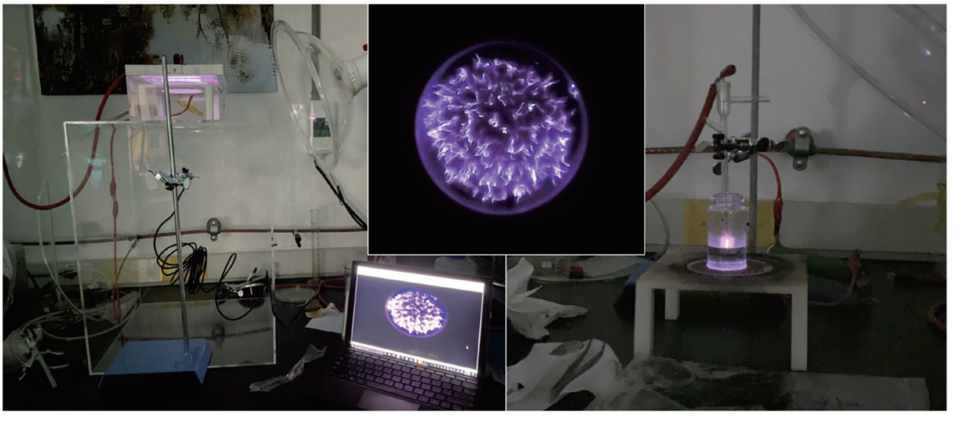


圖 10　非熱電漿模組之實驗系統與電漿源示意圖

四、結論

當前，含氮物質為生活污水與事業廢水處理之重要議題，環保署為此新增排放污水之管制事業與加嚴管制標準。針對管制標準之變化及現有處理技術的限制，研究團隊研析現有物化處理技術，提出電容去離子、氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨、及非熱電漿技術，共同推動事業含氮物質排放廢污水的新興物化處理。本文技術以分離、分解及回收為核心，將特定污染物質分離，並以捕捉與富集為策略，一方面將氨氮、

難處理之有機物或污染物進行分解。另一方面將富集之高濃度污染物進行回收，以達到資源循環再利用之目的。3 項技術皆位於不同階段的技術成熟度 (TRL) (圖 11)，電容去離子技術於 TRL 3 之實驗室規模試驗，研析離子交換膜與複合電池電極之關鍵選擇性的技術開發，並採集實場水完成 TRL 4 之技術驗證，以規劃邁向 TRL 5 的實際環境試驗。氨氮氣提循環回收與結晶氯化銨技術以 TRL 4 之實驗室燒杯試驗與實驗室模廠試驗成果為基礎，完成實場 TRL 5 之大型模廠試驗，以推廣此技術於國內廢 (污) 水場址的示範應用，朝商業化運轉目標發展。非熱電漿技術屬實驗室開發階段，依基礎科學理論進行 TRL 2 之實驗室規模技術的可行性測試，再依模擬廢水試驗成果，採集實場廢水進行 TRL 3 之實驗室小型模場規模之技術驗證試驗。整體而言，透過評估、驗證、廠商媒合與現地輔導本文 3 項技術於實場廢 (污) 水處理之應用，將可朝向低污染、低耗能、低成本、低度空間使用與循環經濟之願景邁進。

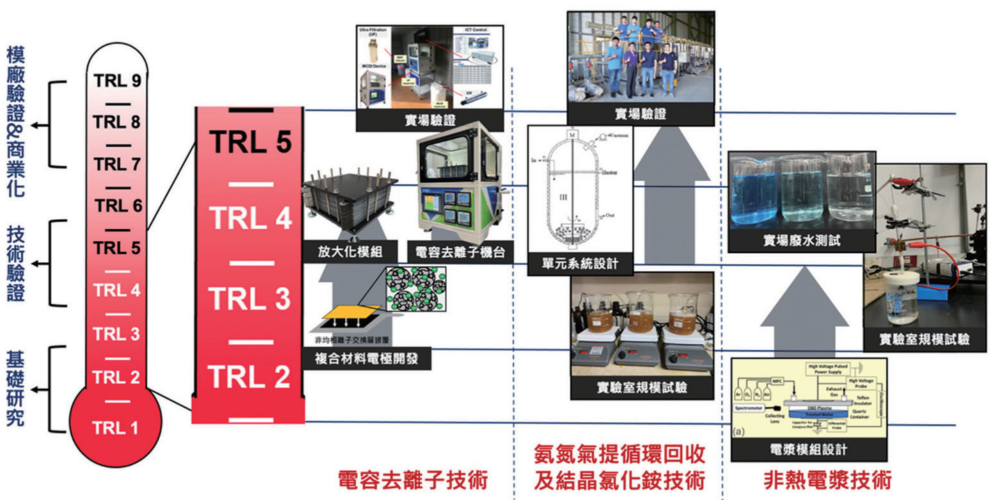


圖 11　新興物化處理技術發展指標

致謝

本文承行政院環境保護署水質保護處 109 年度「廢污水新興處理技術示範驗證計畫」支持，特此致謝。

參考文獻

行政院環境保護署 (2020)，廢污水新興處理技術示範驗證計畫。

李灝銘、張木彬 (2004)，氣態污染物控制新技術—非熱電漿技術，工業污染防治，第 4 期，p 169　191。

Bykovsky, N.A., Rahman, P.A., Puchkova, L.N., Fanakova, N.N. (2017), Electrochemical recycling of still waste liquid in ammonia soda production, Key Engineering Materials, 743: p 342　346.

Hou, C.H., Huang, C.Y. (2013), A comparative study of electrosorption selectivity of ions by activated carbon electrodes in capacitive deionization, Desxalination, 314: p 124　129.

Jiang, B., Zheng, J., Qiu, S., Wu, M., Zhang, Q., Yan, Z., Xue, Q. (2014), Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation, Chemical Engineering Journal, 236: p 348　368.

Kanazawa, S., Kogoma, M., Moriwaki, T. Okazaki, S. (1988), Stable glow plasma at atmospheric pressure, Journal of Physics D: Applied Physics, 21: p 838.

Mubita, T., Porada, S., Aerts, P., Van Der Wal, A. (2020), Heterogeneous anion exchange membranes with nitrate selectivity and low electrical resistance, Journal of Membrane Science, 607: p 118000.

Singh, K., Qian, Z.X., Biesheuvel, P.M., Zuilhof, H., Porada, S., de Smet, L.C.P.M. (2020), Nickel hexacyanoferrate electrodes for high mono/divalent ion-selectivity in capacitive deionization, Desalination, 481: p 114346.

Yokoyama, T., Kogoma, M., Moriwaki, T., Okazaki, S. (1990), The mechanism of the stabilisation of glow plasma at atmospheric pressure, Journal of Physics D: Applied Physics, 23: p 1125.

廢 (污) 水處理類

污水處理廠調和池水質調節能力分析

蔣守銘 *、張馨方 **、桂國華 ***、張達國 **** 陳伯珍 *****
薛富仁 ******、陳建彰 ******、游展豪 ******

摘　　要

調和池設置之目的為水質及水量的調節，使後續各處理單元能有穩定的進流水質及水量，以利操作及提高處理效率。本次係測試國內某工業區污水處理廠調和池的水質調節功能，測試人員在調和池的進流及出流處各設置 1 台 SS 傳感器 (sensor)，進行了 2 次測試，以量測進、出流廢水的 SS。第一次以高濃度範圍 (0~1,000mg/L) 的 SS 傳感器測試，累積接近 3 天進、出流的 SS，但進流濃度數值常跳動過大，無法確認數據是否正確，且標準方法量測之進流水 SS 並不高，與 SS 計量測結果差距頗大；故另選擇低濃度 (0~100mg/L) SS 傳感器，並進行校正後，再做 1 次約 21 小時量測，第二次進、出流水的 SS 濃度對時間曲線的變化趨勢相當一致，均呈現較大幅度的變化。因事前已使用標準方法分析現場廢水樣品來校正 SS 計，進、出流水質相關性的可信度較高，故判定調和池因有部分進流水由出流渠道以重力方式流出調和池，會產生進流水混合時間短及短流的情況，此情況發生時，調和池並不具有良好的水質調節能力。在試驗的同時，也由試驗結果與現場情況，提出關於現場與儀器使用的建議供參考。

【關鍵字】調和池、處理廠功能分析技術(PAT)、SS偵測計、SS傳感器

* 銘泰環境顧問有限公司　環工技師 (博特水業有限公司特約)
** 盈安環境工程技師事務所　環工技師 (博特水業有限公司特約)
*** 台灣世曦工程顧問股份有限公司　正工程師 (博特水業有限公司特約)
**** 建越科技工程股份有限公司　專案副理 (博特水業有限公司特約)
***** 淡江大學水環系　兼任副教授 (退休)
****** 濬創科技有限公司　工程師

一、前言

污水處理廠的設計工作、處理功能分析或是功能評鑑，主要是依據書面資料與現場觀察來進行，例如處理廠的設計資料、標準的設計規範、處理廠的現行負荷與操作紀錄、人口或工業成長的預估、以及由其他類似的處理設施得到的經驗等。這些對於資料與觀察的評價，來自對於設計與操作數據的評估與專家累積的經驗，提供了對於污水處理廠更多的認識。然而規範中的參數總是有很多不確定性，常常必須以比較保守的參數來設計，這些參數在不同的污水處理廠是否能夠一體適用？如何找出最佳的設計與操作參數？或是如何使現有的污水處理廠發揮其最大的功能，並降低擴充的費用？這些問題或許需要更多污水處理廠的現況數據，才能得到更清楚的答案。而適當的測試，有助於取得需要的數據，使設計者與評估者得以將想法由建議提升到實用的層面，這種用來評估污水處理廠操作程序或單元的技術，被稱為處理廠功能分析技術 (Plant Analysis Technologies, PAT) (Daigger, 1992)。

處理廠功能分析技術可用來判斷處理廠現有單元與設備實際能處理的容量，並可以測試處理程序的各種控制策略，可執行的技術至少包括氧傳分析 (oxygen transfer analysis)、沉澱池負荷試驗與水力分析 (clarifier stress testing and hydraulic analysis)、線上監測 (on-line monitoring)、反應槽追蹤劑試驗 (reactor tracer testing) 等 (Daigger, 1992)。以下係於國內某工業區污水處理廠進行的線上監測測試，本文以此案例來說明處理廠功能分析技術可以如何應用於既有的污水處理廠。

二、測試過程與方法

2.1 測試單元背景說明

一般調和池設置之目的有二，一為水質的調節，將出水水質儘量維持於穩定情況，以便後續各處理單元，如初沉池及生物處理單元等，能有穩定的進流水質，以利初沉池加藥系統的操作，以及曝氣池曝氣量及食微比的控制，並應能提高處理效率；二為流量的調節，將出水流量儘量維持於定量流情況，以便後續各處理單元，如初沉

池及生物處理單元等，能有穩定的進流水，以簡化操作手續及提高處理效率，避免高流量時的突增負荷導致生物處理之不順，以及低流量時固體物在初沉池進流渠道的淤積。

測試之污水處理廠分為東、西兩區，其中西區污水處理廠之調和池係於民國 79-80 年間所增建，共設有 2 池，西側的調和池 1 的平面形狀呈矩形，長 25.0 m、寬 18.0 m、池高 7.10 m、池邊水深 6.50 m、有效操作水深 6.00 m、有效操作容量為 2,700 m^3；東側的調和池 2 呈梯形、北側寬 15.50 m、南側寬 21.20 m、南北向長 25.0 m、池高 7.10 m、池邊水深 6.50 m、有效操作水深 6.00 m、有效操作容量為 2,730 m^3。

在水質調節方面，2 個調和池都各設有 2 台輻射型噴射式曝氣機，利用乾井式循環抽水機將污水注入曝氣機機台的內噴嘴，產生文丘力 (venturi) 效應，其負壓會經由連接管吸引鼓風機來的空氣，並使污水及空氣密切混合，產生細小氣泡，達成調和池內污水曝氣及攪拌的目的。

西區污水廠在興建完成之後的 30 年來，污水量不斷增加，所以自進流抽水站泵送至調和池前端曝氣沉砂除油池的壓力管線，已從最初的 1 支增加為 3 支，再加上來自東區的 1 支輸送管，所以連接至調和池上游單元的壓力管線至目前已有 4 支。另還有廠內的污泥濃縮池上層液迴流管等管線，亦輸送至調和池。由於 2 池曝氣沉砂除油池的出流水即為調和池的進流水，而曝氣沉砂除油池的進流水渠道如前所述，共有 4 支進流管，每支進流管皆配置 1 個流量計，其中 3 個流量計屬於進廠專用流量計，已經跟環保局連線，另一個流量計屬於由東區輸送至西區的廠內管線，不須與環保局連線。

在流量調節方面，調和池的進流水主要係從進流渠道的進水閘門流到調和池 1，再經由 2 池間的聯通閘門流到調和池 2，而兩池調和池的出流水係分別經由緊靠的 2 個出水閘門流到出流渠道，再流到下一個單元 (快混池)。實際上，調和池的出流水分成兩股流到快混池、慢混池及初沉池，其一即是上述的出流渠道，因水位高，故可以將池面水以重力方式經由 1 支 600 mm 出流管流到快混池；另一股水係以 3 台抽水機經由 1 支 300 mm 的壓力管線流到快混池，可將池底水以壓力方式泵送至快混池、

慢混池及初沉池，該壓力管設有流量計及流量控制閥。從曝氣沉砂除油池至初沉池的廢水流向詳圖 1 及圖 2。

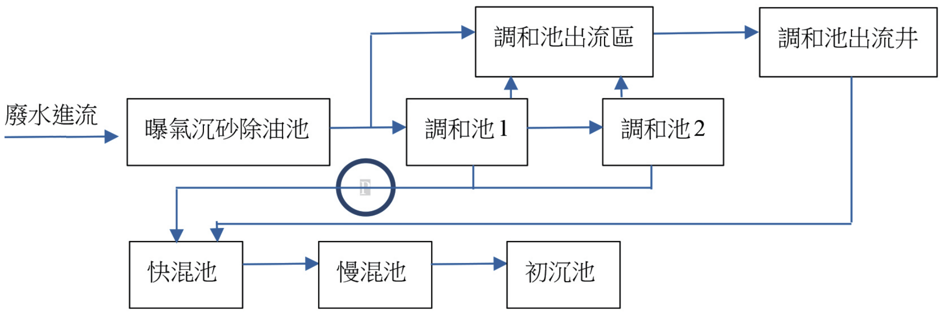


圖 1　西區污水廠從曝氣沉砂除油池至初沉池的廢水流向圖

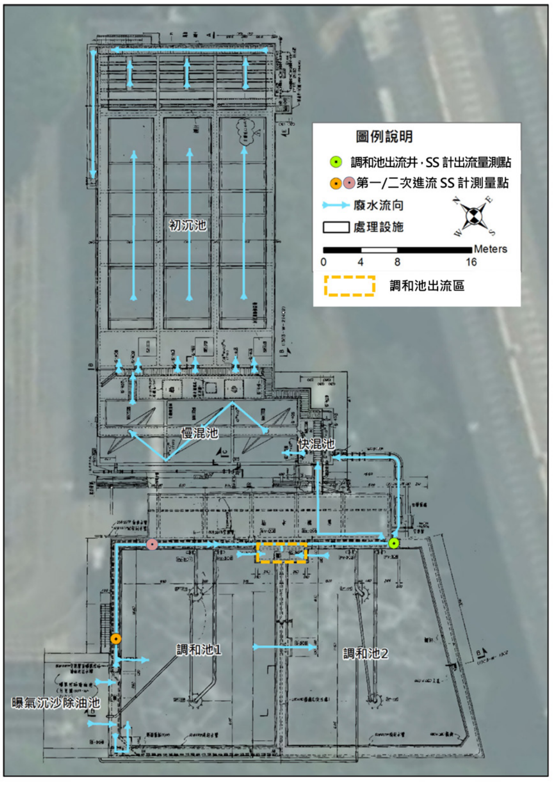


圖 2　西區污水廠從曝氣沉砂除油池至初沉池的廢水流向平面圖

註：原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

2.2 測試緣由與方法建立

經評估在進流水量方面，西區污水廠的進流污水，經進流抽水站泵送至曝氣沉砂除油池 (及下游端的調和池) 的 3 支進流管配置有流量計，第四支進流管則係由東區輸送到西區的管路，亦配置有流量計。前 3 支管的流量計係與環保局連線，如果測試時要由這些流量計拉出訊號做流量連續監測，因牽涉廠方考量避免主管機關誤認虛報流量或造假的情事，必須事先向環保局報備，可能需要 1-2 個月的行政流程。且東區往西區的輸送管又分為 2 支，一支直送放流口，另一支則併入西區前處理單元，所以無法以該流量計得知流進西區處理的污水量。

在出流水量方面，西區調和池的出流水分成 2 股流到快混池，其一為因水位高，故可經出流渠道，以重力方式由 1 支 600 mm 出流管流到快混池；其二係以 3 台抽水機經由 1 支設有流量計及流量控制閥的 300 mm 壓力管流到快混池。以 600 mm 出流管流到快混池的水量因無流量計，且因係埋管，而其明管既短又緊接在彎頭之後，裝設臨時流量計亦不可行。而以 3 台抽水機泵送到快混池的壓力管雖設有流量計及流量控制閥，但因該流量計年代久遠，且缺少流量驗證，以至於無從知道流量，並且流量控制閥並沒有正常的運作，使得調和池出水流量無法求得。

在無法測試流量調節的情況下，轉而測試該調和池的水質調節，亦即想了解該調和池是否有達到原先預定的攪拌及混合的功能。由於由各工廠排放廢水的水質差異性很大，加以區內工廠採單班制、兩班制或三班制，所以流到污水廠的水質濃度會隨時間而改變，因此採用的方法係在調和池的進流及出流處各設置 1 台 SS 傳感器，然後長時間量測進出流的 SS，最後將同一時間得到的兩種 SS 數據的曲線並列畫在同一曲線圖上，即可看出該調和池的攪拌及混合效果。

在進流水質方面，4 支進流管以及東區往西區的輸送管皆流至 2 池曝氣沉砂除油池的入口渠道，經沉砂及除油後，污水再流至調和池進流渠道，所以在調和池進流渠道量測的污水水質確能代表調和池的進水水質。

在出流水質方面，由於有 2 股水從分別以重力管及壓力管從調和池流到快混池，重力管係依照原設計連接到快混池的進流渠道，而壓力管改變原設計，從原來直接排

入重力管前的匯合井，改為排到現在已不再使用的快混池內，所以理論上在快混池內才能量到兩股出流水的混合水質，但一來因為壓力水跌落產生的泡沫可能影響 SS 傳感器的準確度，二來因快混池目前不再使用，其底部恐怕有污泥淤積而擾動後的快混池，恐怕沖刷出來的淤泥也會影響 SS 傳感器的準確度，所以本測試在出流水質方面即直接量取未排至重力管前的出流渠道出流水，該處的水係由 2 座調和池的出流水所混合，雖然是池面水，其水質與壓力管取得的池底水水質或許不盡相同，但可分析本調和池對於這股污水的水質調節功能為何。圖 3 至圖 6 分別是西區調和池平面配置、調和池抽水機房平面、噴射式曝氣機及循環抽水機設計立面及調和池出水壓力管立面的詳圖。

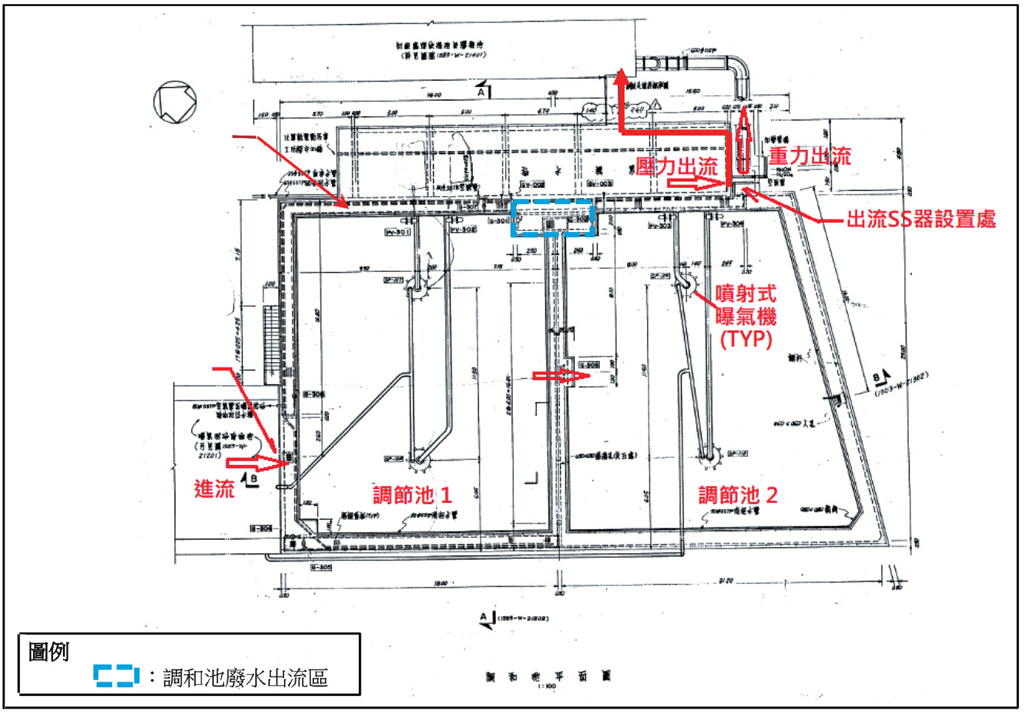


圖 3　西區調和池平面配置圖

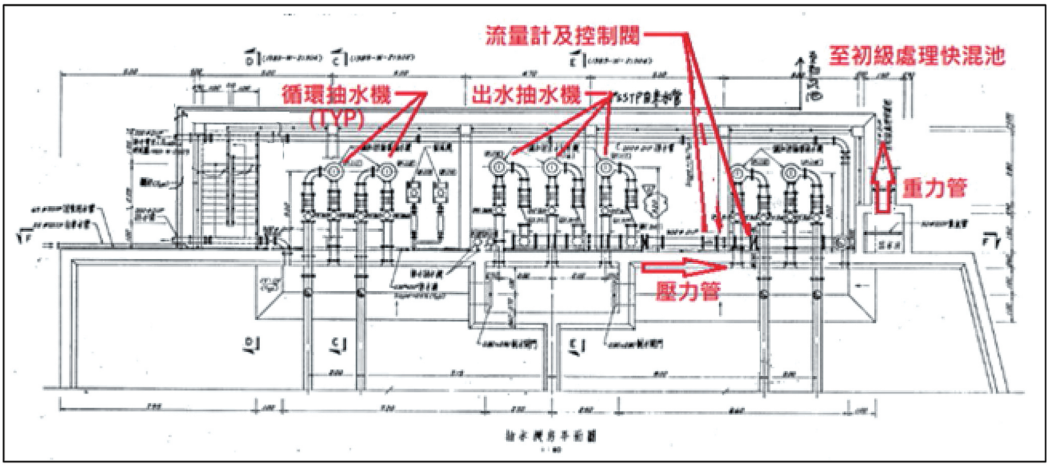


圖 4　調和池抽水機房平面圖

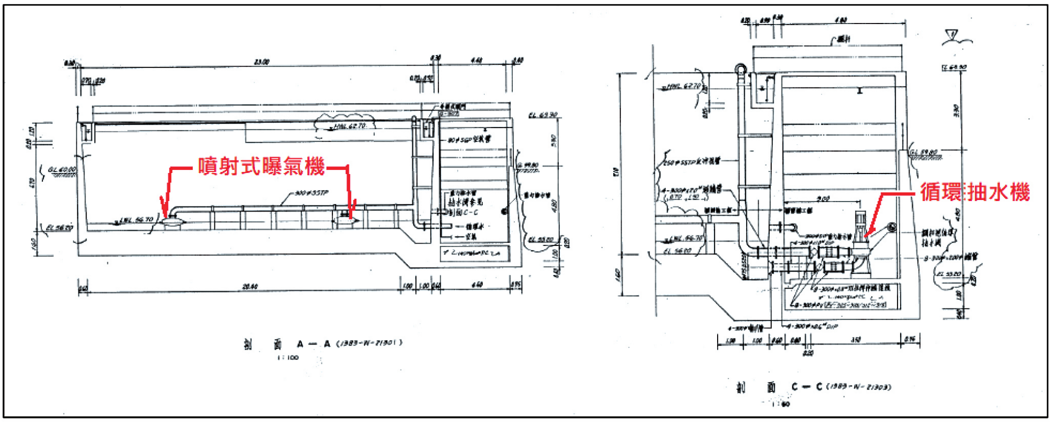


圖 5　噴射式曝氣機及循環抽水機設計立面圖

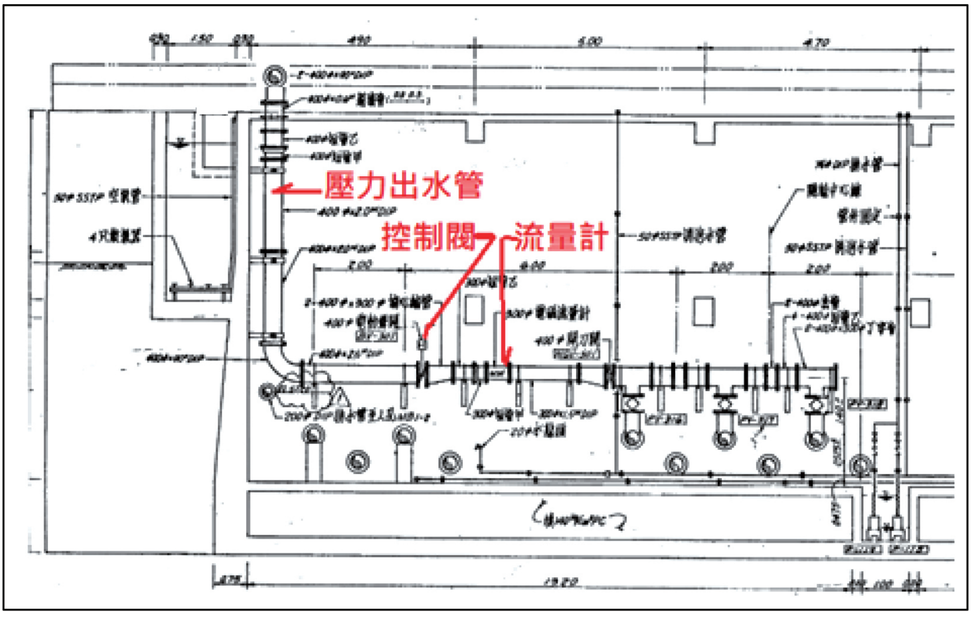


圖 6　調和池出水壓力管立面圖

2.3 測試儀器設備

共進行 2 次測試，第一次測試使用之懸浮固體偵測器 (SS meter) 包括：偵測傳訊器及記錄器各 1 台 (圖 7)，傳感器 (sensor)2 支 (圖 8)。偵測傳訊器之廠牌為 Chemitec，型號為 50 series-2；紀錄器廠牌為 Simex，型號為 Multilog；傳感器之廠牌為 Chemitec，型號為 S461/T，形式為紅外線濁度感測器，量測方法係採用 90° 分散光源 (90° scattered light)，量測範圍為 0-1,000 NTU，準確度為 ±2%，重複性為 98%，設定 SS 濃度偵測範圍為 0~1,000 mg/L，記錄頻率為每分鐘紀錄 1 筆數據。

第二次測試使用懸浮固體偵測傳訊器 1 台 (同圖 7)，偵測探針 2 支。懸浮固體偵測傳訊器及探針之廠牌為 Chemitec，偵測傳訊器型號為 50 series-2，傳感器型號為 S461LT(圖 8)，量測方法係採用 90° 分散光源 (90° scattered light)，量測範圍為 0-10/0-100 NTU，準確度為 ±2%(0-10 NTU)/±5%(0-100 NTU)，重複性為 ±0.05 NTU(0-10 NTU)/ ±0.5 NTU(0-100 NTU)，反應時間 T90<60s，設定 SS 濃度偵測範圍為 0~100mg/L，記錄頻率為每分鐘紀錄 1 筆數據。

圖 7　偵測傳訊器 (圖右) 及紀錄器 (圖左)

圖 8　第一次測試 (左) 及第二次測試 (右) 之懸浮固體傳感器

2.4 測試步驟

2.4.1 第一次測試

於 2020.4.18 舉行第一次會議，於 2020.4.30 於該污水處理廠西區調和池安裝試驗儀器，並於 2020.5.3. 取得測試數據，測試期間天氣晴朗，氣溫約 20~28° C；測試步驟條列如下。

1. 會同現勘並選擇安裝位置。

2. 安裝設定 SS 偵測計，SS 傳感器及記錄器，詳見本文 2.3 節、測試儀器設備。

3. 測試並記錄。

4. 下載數據。

5. 設備拆除及保存。

6. 數據解讀與討論。

7. 提交測試報告。

2.4.2 清水測試

由於第一次測試得到的數據中，進流水數據跳動太大，故於 2020.6.23 至 2020.6.24 實施儀器的清水測試，將 2 支探針置入清水槽中，並加蓋以減少光線的影響，持續量測 SS 數據約 19 小時，測試期間天氣良好，無降雨。結果發現即使放置於清水中，偵測探針確有易產生數據跳動的情況。故一方面檢查儀器設定後，再對儀器進行校正；另一方面與污水廠討論，得知進流水 SS 常在 100mg/L 以下，故檢討以低濃度 SS 設備進行調和池水質測試的可能性。

2.4.3 儀器校正

經污水廠同意以低濃度 SS 設備用於調和池測試，故於 2020.11.12 對儀器進行校

正，校正於室內進行，步驟如下。

1. 污水廠協助取樣並以標準方法測試水樣 SS，並準備純水。

2. 懸浮固體偵測傳訊器與探針連線。

3. 將純水加入校正用容器。

4. 探針接入校正用容器，標定零點 (Zero，0mg/L)。

5. 將標準水樣加入校正用容器。

6. 探針接入校正用容器，標定跨度點 (Span,100mg/L)。

7. 校正另一支探針。

2.4.4 第二次測試

於 2020.12.15 於調和池設置安裝試驗儀器，並於 2020.12.16 取得測試數據，共取得約 21 小時的數據，測試期間為陰天，氣溫 13~15˚ C，偶有降雨，測試步驟與第一次測試相同。

三、測試結果

3.1 第一次測試

由 2.2 節、測試緣由與方法建立的敘述中，已述明本測試之目的係了解調和池之水質調節功能，並以進、出流廢水中 SS 濃度為指標。圖 9 為第一次測試時儀器取得之調和池進、出流水中 SS 監測濃度與質量平衡計算出流水 SS 濃度對時間的變化圖，圖中 SS in (藍色點) 和 SS out(紅色點) 分別為進、出流水 SS 數據。

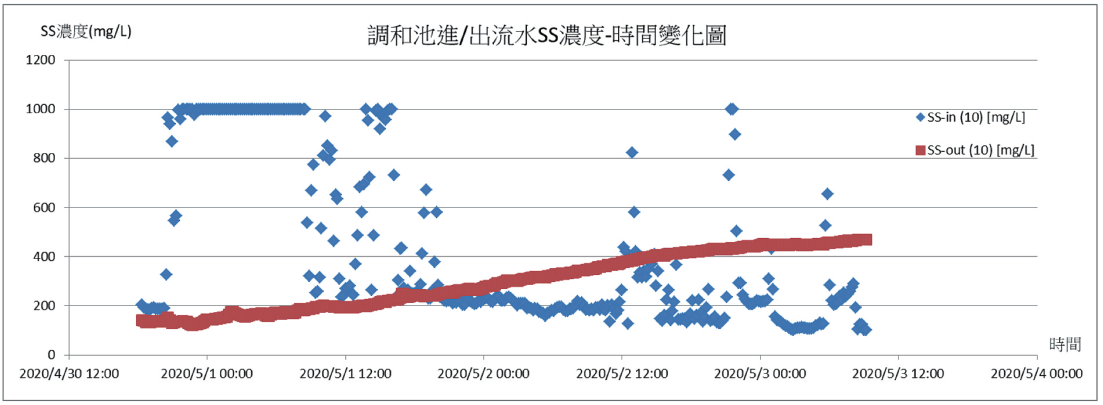


圖 9　第一次測試調和池進 / 出水 SS 濃度對時間變化圖

註：原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

由圖 9 可知，本次測試出流水 SS 的監測濃度較進流水 SS 數據曲線平坦得多，顯示調和池仍具有不錯的水質調節能力，相當程度緩和了進流濃度變化程度大的情況，後續處理單元不會接收過多突增或突減的負荷。但進流水濃度在測試時間內有多筆數據高於設定的 SS 濃度上限 (1,000mg/L)，且數據有很大的跳動變化。經討論此情況，得知 4 月 30 日及 5 月 1 日廠內於調和池取樣廢水所做的 SS 濃度分析，得到的數據約為 60mg/L 及 30mg/L；4 月 30 日在進流抽水站取樣分析的廢水 SS 濃度則約為 80mg/L，與 SS 計測得之較高濃度有一些差距，SS 計測得之高濃度，或許與光線或氣泡之影響有關，且 SS 感測器與傳訊器偵測範圍過大，也不易取得較正確的數據。至於進流水數據的跳動，可能的原因包括光線或氣泡之影響，與現場發現 SS 傳感器上有污泥附著的情況。

檢討本次的試驗發現監測期間進流水 SS 監測濃度數據的總平均值為 425.4 mg/L，但出流水 SS 監測濃度數據的總平均值為 298.2 mg/L，並未完全平衡，初步認為造成此現象的可能性包括調和池可能有 SS 沉積問題，或是 SS 傳感器受到污泥附著等干擾。第一個可能性仍須進一步測試，第二個可能性則因本次試驗結束時發現 SS 傳感器上

有污泥附著的情況而無法排除，建議每日應至少清洗 SS 傳感器 1 次，或減少測試時間，以避免此一現象。

由於第一次測試發生數據跳動過大的情況，故實施儀器的清水測試，發現感測器確實易產生數據跳動的情況，詳見圖 10。加以 SS 傳感器與傳訊器設定之偵測範圍 (0~1,000mg/L) 過大，進流水 SS 濃度的總平均值與出流水 SS 濃度的總平均值並未完全平衡，以及 SS 傳感器上有污泥附著的情況等問題，故研擬以較低濃度範圍的 SS 偵測傳訊器及傳感器取代高濃度範圍的儀器進行測試，並於測試前以現場廢水進行儀器校正，與適當縮短測試時間以減少污泥附著情況等方式，來進行第二次測試，以確認測試結果。

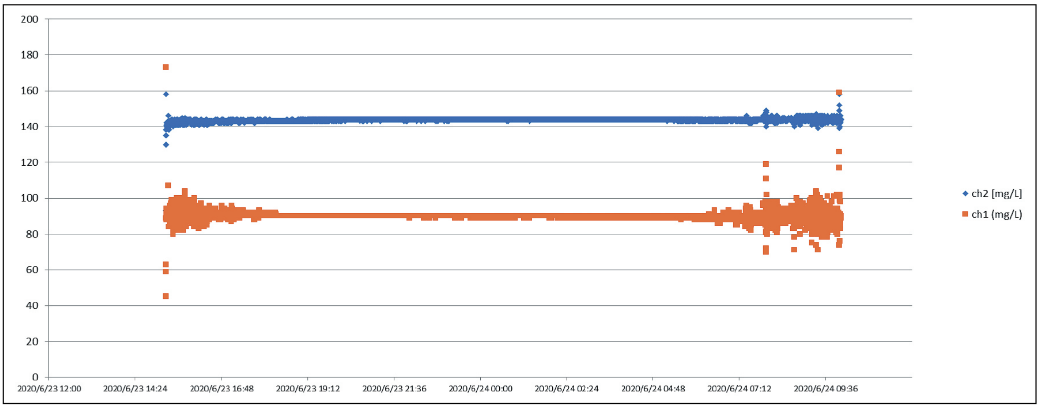


圖 10　清水測試 SS 濃度對時間變化圖

註：原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

3.2 第二次測試

基於儀器量測範圍以較接近實際數值為佳，並得知進流水 SS 常在 100mg/L 以下，故檢討以低濃度 SS 設備進行測試的可能性，故第二次測試以低濃度之 SS 偵測傳訊器及感測器進行。第二次測試以低濃度範圍 (0~100mg/L) 之 SS 偵測傳訊器及傳感器進

行，2020.12.15 於調和池設置安裝試驗儀器並開始測試，並於 2020.12.16 取得測試數據，測試時間共約 21 小時，此次測試並未發生 SS 傳感器上污泥附著的情況，且測試時間仍遠大於停留時間 (依據排放許可證，設計最大日水量時為 4.7 小時)。結果數據如圖 11，可知第二次測試得到的進、出流水的 SS 濃度對時間變化曲線的趨勢相當一致，均呈現較大幅度的變化，此數據顯示調和池並未發揮水質調整的功能。若再檢視進、出流水 SS 濃度的相對高點及低點發生時間的差距，詳見表 1，可知進流濃度出現數據的相對高或低點的時間，與出流濃度的相對高或低點的推遲時間，平均時間間隔僅有 3 分鐘，顯示進流水進入調和池及離開調和池的時間，間隔遠低於設計停留時間，此數據代表了一種可能性，即部分進流水 (即表面水) 由出流渠道以重力溢流方式流出調和池，這種短流的現象會縮短進流水的停留與調和時間，此時的調和池並不具有良好的水質調節能力。若進流水 SS 濃度增加且變化幅度更大時，有可能影響後續處理效果時，建議適時減少重力溢流的做法。

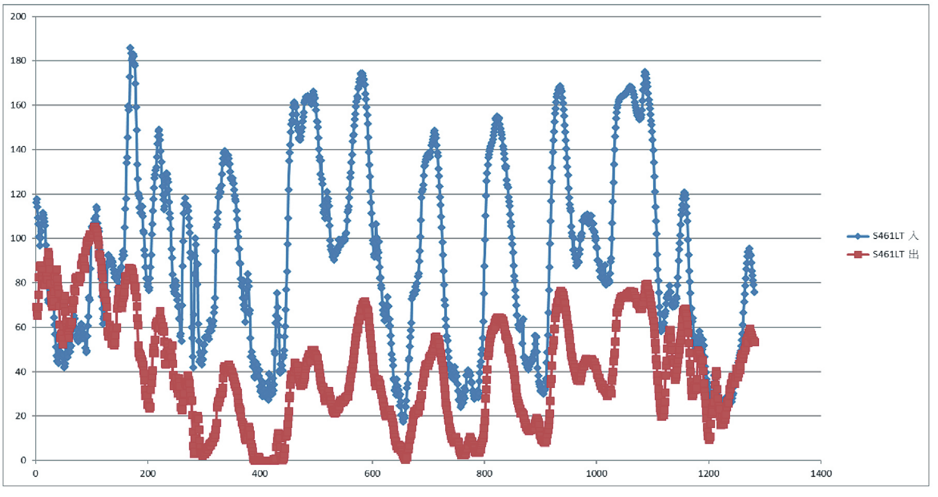


圖 11　第二次測試調和池進 / 出水 SS 濃度對時間變化圖

註：原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

表 1　第二次測試調和池進 / 出水 SS 濃度高、低點之時間差距

進流水SS(mg/L)		出流水SS(mg/L)		時間差距
時間	濃度	時間	濃度	(min)
12:22	117.6	12:29	88	00:07
12:59	44.5	13:08	52.2	00:09
16:05	148.9	16:07	67.2	00:02
16:45	53.7	16:45	22.7	00:00
20:30	164.3	20:40	49.9	00:10
21:14	91.6	21:18	21.3	00:04
22:05	174.3	22:12	71.6	00:07
23:20	17.5	23:24	0.45	00:04
00:16	148.5	00:19	55.8	00:03
01:03	24	01:07	2.38	00:04
02:08	155	02:12	64.3	00:04
03:30	30	03:33	8.13	00:03
04:00	168.7	04:01	76.5	00:01
05:19	80.2	05:24	29.1	00:05
06:31	175.1	06:35	79.5	00:04
07:00	58.3	07:00	19.9	00:00
07:41	120.7	07:43	68.3	00:02
08:44	23.6	08:46	16	00:02
09:37	95.5	09:38	59.3	00:01
			平均延遲時間	00:03

接著檢視儀器量測的能力與結果。第二次測試所有進流水 SS 濃度數據的總平均值為 91.6 mg/L，出流水 SS 濃度數據的總平均值則為 41.8mg/L，仍然並未平衡，推測其原因，應該是流入調和池的較高 SS 濃度的進流水在與滯留於調和池中的污水混合後，其混合水再流出調和池成為出流水，而因滯留於調和池中的污水本身的 SS 濃度較低，使得出流水被稀釋，因而造成這種進出不平衡的結果。但由於該處理廠考量既有抽水機的抽水量太少，不足以應付目前的進流污水量，且既有抽水機及其管線閥類太過老舊，無法勝任太大的負荷，加上原設計剛好將調和池的水位抬得很高，故採用溢流方式可大為節省全靠抽水機操作所花的能源，對於此調和池一向都採取這種滿水溢流的方式操作，出流水的濃度與進流水的濃度平均值將持續處於不平衡的狀況，

且由於這種操作模式會持續下去，故認為測試時間已反映此情況而具有代表性。

至於污水廠於同日取樣，並以標準方法量測的進出流水 SS 濃度數據分別為 467mg/L 及 155mg/L，雖然採樣是單次的數據，但第一天以標準方法量測的數據仍大幅高於以儀器量測的數據。然而本次數據無異常跳動的情況，且儀器已經使用污水廠污水進行校正，在測試程序上應該是正確的。經檢討上述各項數據及現場情況，得到以下的推論：

1. 儀器雖經校正，但使用於任何量測點時，仍需再做 1 次檢量線比對，調整儀器的參數。
2. 使用光學式的 SS 儀器，比較適合使用於污水處理廠的某一定點，較長期接觸光學性質類似的污水，才可以得到適當的檢量線，使得儀器數據接近標準方法的分析數據，而每次更換使用點，並不容易得到準確的結果。
3. 本次試驗使用此 SS 儀器，較適合用於了解調和池進、出流水質 SS 數據的變化趨勢與相對關係，而非直接使用其絕對數據。

若以數據的變化趨勢來看，得到的結果是該調和池進出流水可能發生短流。進流水流經進流渠道的 2 處閘門進入調和池，閘門的位置與調和池溢流到出流渠道的位置相當接近，容易有短流的情況；且調和池目前並未採取全部壓力流出流，出流渠道持續有污水溢流流出，使得調和池出流的水質水量調整功能也難免受到影響。

四、結論與改善建議

本次試驗的結論與改善建議如下：

1. 調和池因持續維持滿水操作，使大部分進流水由出流渠道以重力溢流方式流出調和池，而不是經抽水站以壓力方式泵出調和池，這種短流現象會縮短進流水在調和池內之停留與調和時間，在此情況之下，調和池並不具有良好的水質調節能力。建議衡量這種滿水溢流操作模式的優、缺點，適時調整較佳的操作方式。
2. 光學式 SS 儀器建議使用於定點，或先經校正，而在使用於任何量測點時再就現場水質做一次檢量線比對，調整儀器參數後再使用，否則建議只用於了解水質 SS 數據的變化趨勢與相對關係，而非將其偵測到的數據直接作為絕對數據使用。
3. 線上即時監測用以分析污水處理廠各單元處理效果的技術，在國外已行之有年，但在國內仍尚不多見，期望藉由此次測試所獲得的經驗，在未來能落實以下措施：
   (1) 與儀器廠商密切的合作；
   (2) 嚴選合適的儀器設備產品；
   (3) 進行精準的儀器校正；
   (4) 徹底了解測試池槽中的處理設備對偵測儀器可能帶來的影響；
   (5) 掌握人為因素及天候狀況等對測試結果的影響；
   (6) 建立更周詳的 SOP。

參考文獻

陳伯珍等 (1996)，污水處理廠操作評估新技術，環境工程會刊，第七卷第二期，p.39-44。

CH2M HILL(1991), Plant Analysis Technologies Reference Manual

Daniel Nolasco et al.(1991), Evaluation and Optimization Technologies for Existing Wastewater Treatment Plants, CH2M HILL

Glen Daigger et al.(1992), Upgrading Wastewater Treatment Plants, Water Quality Management Library, Vol. 2, Technomic Publishing Company, Inc., PP.13-48.

廢 (污) 水處理類

污水處理廠二沉池水流型態分析

王進崇 *、蕭宇展 **、蔣守銘 ***、劉雅文 ****、陳伯珍 *****
薛富仁 ******、陳建彰 ******、游展豪 ******

摘　　要

污水處理廠二沉池的水流型態分析，傳統利用「克勞斯比技術」(Crosby Technique) 進行分析，需利用螢光光度計偵測螢光劑染料的作法以分析二沉池的水流型態，該試驗作法既昂貴且程序繁瑣，現改用命名為「PC 陳技術」(PC Chen Technique) 的新型水流型態分析試驗法，該改良法係合併使用 1 或 2 台經事先調整不同懸浮固體濃度偵測幅度的 SS 感測器，對二沉池每隔一定間隔及深度的懸浮固體濃度進行偵測，再利用偵測結果利用 Surfer 統計製圖軟體予以重新演算繪製二沉池縱剖面的懸浮固體等濃度圖，用以分析二沉池的水流型態。分析結果顯示污泥密度流離開注水井往下及往外流時，碰到池牆後確有往上流的現象，印證以往學理分析二沉池內的水流型態形勢，但本文試驗的對象，其池內的密度流並沒有繼續往出水渠道流出，故高濃度的懸浮固體並沒有被出流水挾帶出去，因此出水的 SS 水質符合池槽設計標準。

【關鍵字】二沉池、處理廠功能分析技術(PAT)、SS偵測計、SS傳感器

* 王進崇環境工程技師事務所 環工技師 (博特水業有限公司特約)
** 東禾工程顧問有限公司 環保部經理 (博特水業有限公司特約)
*** 銘泰環境顧問有限公司 環工技師 (博特水業有限公司特約)
**** 綠逸環境工程技師事務所 環工技師 (博特水業有限公司特約)
***** 淡江大學水環系 兼任副教授 (退休)
****** 濬創科技有限公司 工程師

一、前言

本「污水處理廠二沉池水流型態分析」是「處理廠功能分析技術」(Plant Analysis Technologies, PAT) (Daigger, 1992) 之線上監測 (on-line monitoring) 應用項目之一，以下係本團隊於國內某工業區污水處理廠二沉池所進行的線上監測測試，此案例可闡述處理廠功能分析技術如何應用於既有污水處理廠。

二、測試過程與方法

2.1 測試單元背景說明

測試的污水處理廠有分西區及東區 2 個廠區，本文測試係於其西區廠區的二沉池進行測試，西區廠區 4 座二沉池的平面配置如圖 1，其平面及剖面圖分示於圖 2 及圖 3，該圓形二沉池直徑為 16 m，周邊水深為 4.0 m，完工後已使用將近 30 年。該二沉池係採標準型中央注水方式，驅動設備設置於中央，半橋式走道設計，而污泥排除方式係採百葉式刮泥機，其出水渠道設於牆外。

圖 1　西區污水廠二沉池平面配置圖

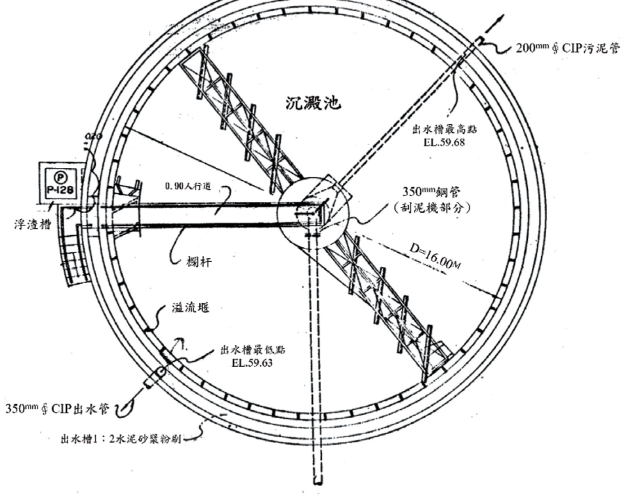


圖 2　二沉池平面圖

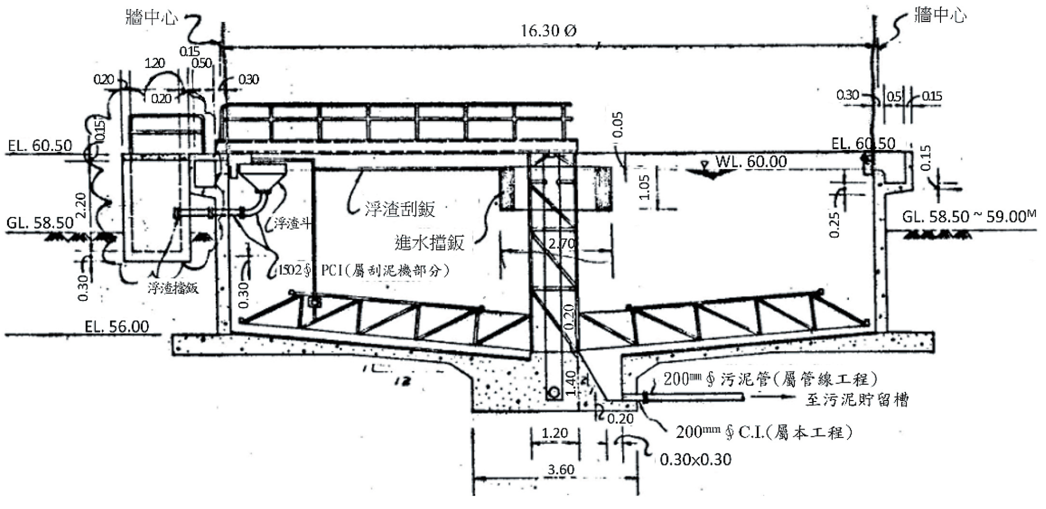


圖 3　二沉池剖面圖

2.2 測試緣由及傳統測試方法

沉澱池水力分析 (水流型態分析) 的結果可協助鑑定短流、死角及污泥毯挾帶的問題，該試驗常用於量測各種整流板技術的有效性。沉澱池水流型態分析的步驟係由 Crosby 首先所發展出來的，稱為「克勞斯比技術」(Crosby Technique)，該步驟是將 1

股微量的薔薇紅 (Rhodamine WT) 染料注入到沉澱池的進流水中，然後，沿著水流方向在沉澱池不同深度處採樣分析，如此可得到沉澱池水流狀況的瞬間影像，經由取得一系列的瞬間影像後，則流經沉澱池的水流型態即可被描繪出橫斷面圖。

「克勞斯比技術」沉澱池水流型態分析步驟包含 2 種試驗:「多點擴散試驗」及「水流型態及固體物分布試驗」。進行「多點擴散試驗」的目的為：

- 決定染料的流動速度，以作為「水流型態及固體物分布試驗」之預備工作。
- 建立沉澱池各處水流型態變化的資料。

水流型態及固體物分布試驗係探討染料及懸浮固體物在沉澱池中的分布情形，染料在沉澱池中的每一個剖面的分布狀況可以用一系列的瞬間影像來表示，此外，固體物在沉澱池中的分布狀態也可加以量化。這些瞬間影像可提供評估者對沉澱池內部的作用與反應一目了然。一般而言，無論是設計者或是操作者都不希望固體物顆粒出現在出水堰，則上述的示意圖可提供必要的訊息，以便經由適當設備的改善，而有更好的固體物捕捉效果。

圖 4 為沉澱池染料試驗設備圖，「克勞斯比技術」水流型態及固體物分布試驗的步驟如下：

- 薔薇紅染料持續加入沉澱池進流水的完全混合之處，沉澱池的進流水量控制在 (或接近) 設計流量，且進流水量在試驗期間 (約 1~2 小時) 需儘可能維持穩定。
- 染料添加後，利用 1 組 5 個取樣泵同時在沉澱池不同深度處取樣，取樣點在沉澱池水面與污泥毯介面間的深度中，均勻設置 5 個取樣點。當染料剛抵達沉澱池的出水堰時即開始取樣 (可由多點擴散試驗中估計而得)。一般以 BOD 瓶做為水樣瓶，必要時也可以另外準備水樣瓶以做固體物分析。進行本試驗通常需要 3 個人。
- 5 個取樣泵的取樣組沿著圓形沉澱池的半徑方向或沿著矩形沉澱池的水流方向的不同的 5 至 6 處分別取樣，取樣位置需在沉澱池的進流端與出水堰間均勻

的配置。取樣速度應儘量快 (一般共約 6 分鐘)，唯有快速的取樣方能得到染料濃度分布的瞬間影像圖，經數分鐘後，該瞬間影像圖得再重複做 1 次。

- 水樣的染料濃度以螢光光度計分析，所得的數據立即繪於圖上，並用以決定該受測沉澱池的水流特性。除此之外，亦同時分析懸浮固體物濃度，以了解沉澱池中固體物的分布情形。

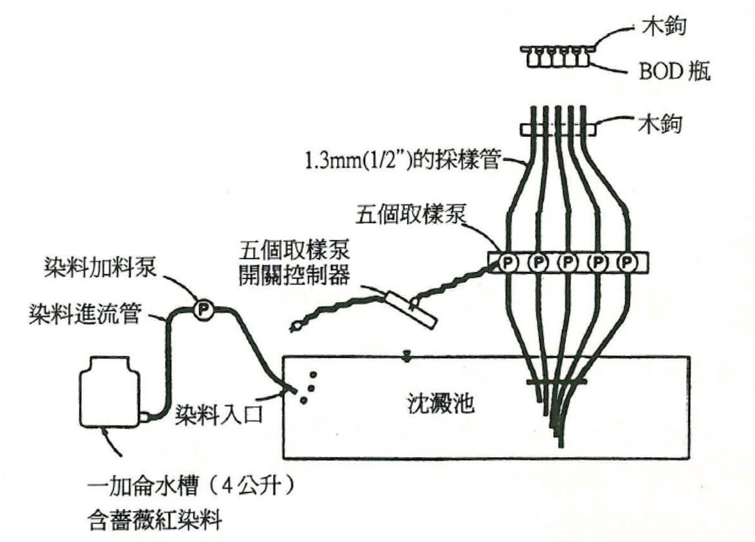


圖 4　沉澱池染料試驗設備圖

「克勞斯比技術」沉澱池水流型態分析所需要之材料與設備及價格如下：

- 染料試驗取樣泵共 3 台，85,000 元 (未稅)/ 台
- 螢光光度計 (委託費用 2,200 元 / 件)
- 化學加藥泵 1 台 (1,500 元)
- 染料儲槽 (可無償自污水處理廠洽借)
- 管線—13 mm 內徑、19 mm 外徑的透明塑膠管 (500 元)
- 薔薇紅染料 (11,500 元 /kg)
- 約 65 個 BOD 試驗瓶，瓶數依不同的取樣數而定 (可無償自污水處理廠洽借)

- 懸浮固體濃度自動偵測設備 (可無償自污水處理廠洽借)
- 約 5 個 1 公升的水樣瓶，以便化驗懸浮固體物 (可無償自污水處理廠洽借)
- 污泥毯量測儀器 (可無償自污水處理廠洽借)

上述「克勞斯比技術」實驗步驟繁複，且儀器、設備及藥品所費不貲，因此為了較容易取得沉澱池水流型態剖面圖，改用獨創的「PC 陳技術」(PC Chen Technique) 的水流型態分析試驗，即以懸浮固體濃度自動偵測設備直接量測各測試點及各水深的 SS 濃度，該方法在進行速度上比「克勞斯比技術」還要快，因此可在較短時間內完成沉澱池 SS 的測試，且該方法的測試點密度比「克勞斯比技術」還要大，因此更能容易的繪出沉澱池水流型態的剖面圖。

2.3 新法所需測試儀器設備

「PC 陳技術」係使用污泥界面計與懸浮固體濃度自動偵測設備直接量測各測試點及各水深的 SS，該法所需儀器及設備如下：

2.3.1 污泥界面計

手動攜帶式污泥界面計的管徑為 1 英吋，材質為透明 PVC 管，管身每 20 cm 距離設有 1 個標示，污泥界面計底部設置有 1 個 PVC 底閥，見圖 5。

圖 5　手動攜帶式污泥界面計

2.3.2 懸浮固體濃度自動偵測設備

本計畫共測試 2 次，均在 NO.3 二沉池進行。第一次測試使用之懸浮固體濃度自動偵測設備，包括 SS 偵測傳訊計 (meter)1 台、SS 感測器 (sensor)1 支及記錄器 (recorder)1 台。SS 偵測傳訊計及記錄器如圖 6，感測器如圖 7 所示。SS 偵測傳訊計之廠牌為 Chemitec，型號為 50 series-2；紀錄器廠牌為 Simex，型號為 Multilog，SS 感測器之廠牌為 Chemitec，型號為 S461 T，該型號屬於高濃度感測器，設定 SS 濃度偵測範圍為 0~1,000 NTU，記錄頻率為每分鐘紀錄 1 筆數據。依據廠商提供的資料，感測器的形式為紅外線濁度感測器，量測方法係採用 90° 分散光源 (90° scattered light)，量測範圍為 0-1,000 NTU，準確度為 ±2%，重複性為 98%。(一般紅外線懸浮固體感測器的量測範圍為 0-10,000 mg/L，準確度為 ±300 mg/L，解析度為 100 mg/L，重複性為 500 mg/L，對本測試而言濃度過高)。

第二次測試時，同樣使用懸浮固體偵測傳訊器 1 台，但搭配感測器 2 支進行測試，其中 1 支為上述之高濃度感測器，另 1 支為低濃度感測器。懸浮固體偵測傳訊器及感測器之廠牌為 Chemitec，偵測傳訊器型號為 50 series-2，低濃度感測器型號為 S461 LT，設定的 SS 濃度偵測範圍為 0~100 NTU，儀器記錄頻率均設為每分鐘紀錄 1 筆數據。感測器的量測方法係採用 90° 分散光源 (90° scattered light)，量測範

圍為 0-10/0-100 NTU，準確度為 ±2%(0-10 NTU)/±5%(0-100 NTU)，重複性為 ±0.05 NTU(0-10 NTU)/ ±0.5 NTU(0-100 NTU)，反應時間 T90 < 60 s。

圖 6　SS 偵測傳訊計 (左圖) 及紀錄器 (右圖)

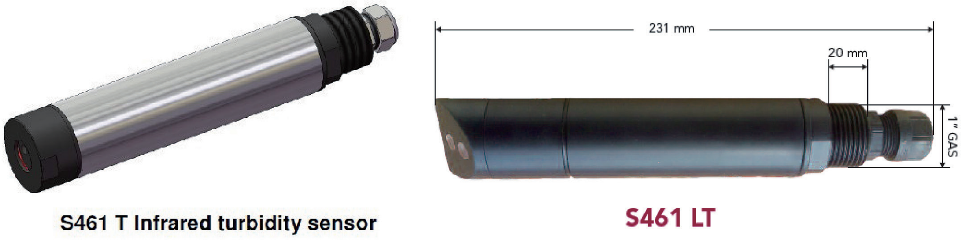


圖 7　感測器 (左圖 : 高濃度　右圖 : 低濃度)

SS 偵測傳訊計與 SS 感測器，除了已在出廠前於原廠進行校正外，並在試驗前以試驗場所現場不同 SS 濃度的標準品進行檢量線製作，標定該廠特殊的水樣，於 SS 偵測傳訊計與 SS 感測器內建立光學測定數值與 SS 標準方法數值間的檢量線，使其能正確測定該廢水之 SS。

現場檢量線或多點校正使用的水樣為取樣自迴流污泥抽送站之迴流污泥，現場檢量線或多點校正使用的水樣為取樣自迴流污泥抽送站之迴流污泥，經試驗場所人員協助取樣，並由該場所之實驗室人員以標準方法分析後，直接提供數據，並無證明文件。水樣之 SS 濃度為 8,000 mg/L，分析後將水樣冷藏於 4˚ C 冰箱內備用，並於取樣日後的第二天分析及校正。

由於水樣的 SS 濃度超過 SS 計的偵測範圍，故將水樣稀釋為 800 mg/L 及 1,600 mg/L 的 2 個水樣，並使用蒸餾水做為零點校正的水樣，使用此 3 個水樣進行多點校正。每次校正均將標準水樣倒入不透光的塑膠校正瓶，並將 SS 感測器置入此校正瓶內進行校正。各項校正完成後，均再以標準水樣 (800 mg/L 及 1,600 mg/L) 測定，確認其偏差值均維持在儀器本身誤差值 (最大範圍值的 2%，即 80 mg/L) 的範圍內。校正的步驟如下：

1. 取樣及冷藏。
2. 化驗室分析。
3. 水樣稀釋。
4. 電腦與 SS 傳感器連線。
5. 零點校正。
6.SS 濃度 800 mg/L 之校正。
7.SS 濃度 1,600 mg/L 之校正。
8.SS 偵測傳訊計與 SS 傳感器連線。
9.SS 濃度 800 mg/L 之 span 校正。
10.SS 濃度 1,600 mg/L 之 span 校正。
11. 以 SS 偵測傳訊計與 SS 傳感器測定標準水樣，確認數值正確。
12. 完成校正。

本次試驗另於 2020.11.12 針對 SS 感應器進行檢量線製作，步驟如下：

1. 污水廠協助取樣並以標準方法測試水樣 SS，並準備純水。
2. 懸浮固體偵測傳訊器與感測器連線。
3. 將純水加入校正用容器。

4. 感測器接入校正用容器，標定零點 (Zero, 0 mg/L)。

5. 將標準水樣加入校正用容器。

6. 感測器接入校正用容器，標定跨度點 (Span, 100 mg/L)。

7. 校正另 1 支感測器。

2.3.3 Surfer 軟體

本測試在繪製二沉池懸浮固體等濃度曲線所用的 Surfer 軟體版本為 8.0 版，Surfer 是一套功能強大的三維空間科學繪圖軟體，有很專業的網格化 (Gridding) 設計，只須將三維空間的數據 XYZ 三個座標存成 Excel 檔，經過 Surfer 的網格化處理就可以開始繪圖。1 張圖內可畫無數條等高線，由於 Surfer 功能齊全、操作容易，對於需要將數據變成 XYZ 圖形 Surfer 都能完成。Surfer 可繪製等高線圖、三維網格圖、三維表面圖、三維張貼圖，還可做陰影圖、影像圖、向量圖。而且 Surfer 還能將圖形加工，可將影像圖與 3D 圖形結合，亦可選擇多種方格化功能，圖形輸出可選 DXF、GIF、EPS，資料輸入可用 Excel、ASCII，也可將圖形轉化輸出成 Grapher 之 XY 圖形，另外可與 Voxler、Didger、Strater、MapViewer 搭配。

2.3.4 「PC 陳技術」實驗設備的購置費用

「PC 陳技術」實驗設備的購置費用為：高及低濃度懸浮固體感測器各 1 台、偵測傳訊計及紀錄器，3 項合計共 120,000 元 (含稅)、手動攜帶式污泥界面計 (無償自污水處理廠洽借)、Surfer 軟體 (無償自工程顧問公司洽借)。故與「克勞斯比技術」比較，「PC 陳技術」不但實驗步驟簡單，且實驗設備的購置費用較低廉。

2.4 二沉池現場水流型態測試

第一次二沉池水流型態測試係於 2020.5.4 進行，當天污水廠所在地天氣晴朗。第二次二沉池水流型態測試係於 2020.12.16 進行，這天污水廠所在地是陰天，當天氣溫較低，天空偶降小雨，但不至於妨礙室外測試工作的進行。

2.4.1 預備工作

進行第一及第二次測試之前，首先在二沉池的走橋上，以靠近池牆端的浮渣擋板的正上方為起點，至於池心消能注水井四周整流板的正上方為終點，由外向內每 30 cm 間隔黏貼印有編號從 1 至 22 數字的黃色小標籤，作為二沉池各個測試點的標示，在該測試點，除了量測水底的污泥毯厚度外，亦量測各個固定間隔水深處的懸浮固體濃度。在用於測試懸浮固體濃度的感測器上，亦每隔 10 cm 黏貼印有編號從 1 至 70(大約值) 數字的黃色小標籤，以便註記二沉池各測點的水深對照感測器量測的濃度值。

進行第一次測試時，先量測二沉池相對曝氣池出水渠道的混合液懸浮固體濃度，再量測該二沉池的污泥毯厚度，最後再量測各位置及各水深的懸浮固體濃度。進行第二次測試時，則因已有第一次測試的經驗，故直接量測二沉池各個位置及各個水深的懸浮固體濃度。

2.4.2 曝氣池出水渠道的混合液懸浮固體濃度的量測

在進行第一次二沉池的測試時，先量測該二沉池相對曝氣池出水渠道 (亦即該二沉池進流水的來源) 的混合液懸浮固體濃度值，以作為後續二沉池各項量測值之參考。

2.4.3 二沉池污泥毯厚度的量測

在二沉池的走橋上，依照黃色小標籤數字的排列順序，從編號 1 的測試點開始，至編號 22 為止，將手動攜帶式污泥界面計緩緩沉浸在池水中，直到觸碰池底，此時該測試點的池水及污泥會經由界面計底部的底閥流入界面計中，接著緩緩將界面計移出水面，此時即可自界面計的透明管外觀察到管中污泥毯情況，界面計上有尺寸刻畫，故可讀出由底部起算的污泥毯厚度，依此方式從編號 1 至編號 22，逐點記錄編號及污泥毯厚度，直至完成全部測試點的污泥毯厚度的量測。

2.4.4 二沉池各位置及各水深的懸浮固體濃度量測

在以「PC 陳技術」測試二沉池水流型態期間，第一次測試係單獨使用 1 支高濃度 SS 感測器，其偵測範圍為 0~1,000 NTU。鑑於二沉池上層澄清液與下層污泥的 SS 值有很大的差異，因此第二次測試時多了 1 支低濃度 SS 感測器，其偵測濃度範圍為 0~100 NTU。在各測試點及各水深測試時，2 支 SS 感測器需固定在一起合併使用，其量得的讀數，上層澄清液採用低濃度的讀數，下層污泥採用高濃度的讀數，再據以繪製等濃度曲線。

第一次測試在進行二沉池水流型態分析時，先依照二沉池走橋上黃色小標籤數字的排列順序，從編號 1 的測試點開始，至編號 22 為止。每次都須將 2 支 SS 感測器緩緩沉浸在池水中，直到觸碰到池底後，此時可依照訊號線上已黏貼印有編號從 1 至 70(大約值) 數字的黃色小標籤，紀錄感測器在二沉池水中的高度位置。由於須符合感測器周圍 20 cm 內不得有障礙物的規定，故在每個測試點，當 SS 感測器觸碰池底後，須將感測器稍微抬高，始可自懸浮固體偵測傳訊器讀出第一筆 SS 濃度的數據並做紀錄，接著緩緩將感測器垂直升高 30 cm，然後讀出第二筆 SS 濃度的數據並做紀錄，依此步驟從池底往池面方向逐步進行各水深 SS 的量測，直至感測器離開水面才停止，完成一個測試點各水深 SS 的量測。編號 1 測試點完成後，接著移動到編號 2 的位置進行同樣的測試，直至編號 22 測試完成為止。

第二次測試在進行二沉池水流型態分析時，測試步驟稍與第一次測試不同，除同樣依照二沉池走橋上黃色小標籤數字的排列順序，自編號 1 的測試點開始至編號 22 為止，針對同深度不同編號位置的測點進行懸浮固體濃度的偵測。將 2 支 SS 感測器緩緩沉浸在池水中，直到觸碰到池底後，此時可依照訊號線上已黏貼印有編號從 1 至 70(大約值) 數字的黃色小標籤，紀錄感測器在二沉池水中的高度位置。由於須符合感測器周圍 20 cm 內不得有障礙物的規定，故在每個測試點，當 SS 感測器觸碰池底後，須將感測器稍微抬高，始可自懸浮固體偵測傳訊器讀出第一筆 SS 濃度的數據並做紀錄，接著緩緩將感測器平行移動至下一個編號的同水深位置，然後讀出第二筆 SS 濃度的數據並做紀錄，依此步驟從編號 1 往編號 22 逐步進行各水深 SS 的量測，直至感測器離開池面才停止，完成各位置各水深 SS 的量測。

2.4.5 繪製懸浮固體等濃度圖以分析水流型態

在取得二沉池在不同位置、不同深度的懸浮固體濃度數值後，再利用 Surfer 繪圖軟體繪製等濃度圖以作為水流型態分析之用。Surfer 繪圖軟體基本上是透過 3 個維度的資料來建立圖形資料，並且透過內建的統計學公式，可以重新演算「內插法」或其他統計學的著名演算法，以求出三維空間中第三維度資料的同一個特定值，系統內建功能可將其連接成一條線，即形成熟知的等高線圖，再利用系統的內建其他功能，可製作出類 3D 圖形，或是影像地圖與 3D 等高線圖的複合式套疊圖。等濃度圖與地形圖類似，只要定義出其 3 個維度的數值，就可模擬出其等濃度圖形，因此本次水流型態試驗，即將量測的 SS 濃度資訊賦予其 3 維空間的資訊，透過 Surfer 軟體重新演算後，求得定義範圍內的等濃度資料，進而製作出水流型態的等濃度圖。

三、測試結果

3.1 第一次測試

3.1.1 曝氣池出流渠道懸浮固體濃度測試

作為參考用的曝氣池出流渠道懸浮固體濃度的測試數據變化不大，介於 1,574~1,600 mg/L 之間，平均值為 1,587 mg/L，對於曝氣池的生物處理環境，MLSS 濃度保持固定是簡化操作程序及確保處理效果的要件。

3.1.2 二沉池各個測試點污泥毯厚度的量測

二沉池各個測試點污泥毯厚度的量測係在二沉池的走橋上進行，第一個測試點係從二沉池池牆邊的浮渣擋板開始，在其上方的走橋旁邊貼上編號為 1 的貼紙，接著往池心方向在相隔 30 cm 處的橋邊貼上另一張貼紙，編號為 2，其後繼續每隔 30 cm 再在橋邊貼上一張貼紙，直到貼到消能注水井整流板上方編號 22 的貼紙為止。由於二沉池自池牆內側至池心的半徑為 8.0 m，浮渣擋板距池牆邊約 0.15 m，故由池牆內側

至編號 22 貼紙的總長為 6.45 m，編號 22 至池心距離為 1.55 m，係為注水井整流板的所在位置，該處因為被注水井整流板所阻擋，其污泥毯厚度無法量測。

表 1 為二沉池各個測試點的污泥毯厚度，其中所測得的最大污泥毯厚度的位置是位於最靠近混合槽的 22 號位置，測得的厚度將近 71 cm，其次是 18 及 19 號位置約為 41 cm 厚，再其次是接近中間位置的 9 號位置，測得厚度約為 33 cm 厚，其餘測試位置之污泥毯高度皆低於 30 cm 以下。一般活性污泥處理廠的二沉池污泥毯最適宜的高度為 30 cm 至 60 cm，故由該量測值可知二沉池的污泥厚度偏低。前曾提及本曝氣池出流渠道的懸浮固體測試結果約在 1,574~1,600 mg/L，平均值為 1,587 mg/L，而一般傳統栓塞式活性污泥法曝氣池混合液的懸浮固體範圍約在 1,000 至 3,000 mg/L 之間，因此可知本曝氣池混合液的懸浮固體濃度較低，此可解釋為何二沉池污泥毯的厚度會偏低。

表 1 顯示池邊水深 (位置 1) 為 4.02 m，及注水井整流板 (位置 22) 處水深為 4.43 m，由於位置 1 至位置 22 距離為 6.3 m，而 2 點的水位差為 0.41 m，故池底坡度為 1:15，此與設計值 1:12 有些差異，估計應是量測水深時的誤差所致。

表 1　二沉池各個測試點污泥毯厚度

位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
水深 (m)	4.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
污泥毯厚度 (cm)	<15	<15	<15	<15	20	20	15	20	33	<15	<15
位置	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
水深 (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.43
污泥毯厚度 (cm)	<15	15	<15	<15	15	21.5	41	41	28	22	71

3.1.3 水流型態分析

本次試驗收集的懸浮固體濃度資料共有 187 筆，主要透過人工判讀的方式予以紀錄 (詳表 2)，前曾提及曝氣池出流渠道的懸浮固體測試結果約在 1,574~1,600 mg/L，平均值為 1,587 mg/L，變動不大，因此預判對於二沉池的懸浮固體濃度變動影響不大，故本次測試暫時忽略曝氣池的影響，僅以二沉池的懸浮固體濃度測試結果製圖。

表 2　NO.3 二沉池懸浮固體濃度紀錄 (單位 mg/L)

紀錄深度（m）	實際深度（m）	橫向位置編號																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2.0	0.07	276	135	103	254	263	162	200	345	192	−	171	−	168	−	220	−	182	−	−	−	−	−
2.3	0.37	179	208	229	209	208	193	206	192	189	−	186	−	174	−	183	−	166	−	−	−	−	−
2.6	0.67	157	147	197	211	190	200	200	188	187	−	180	−	159	−	194	−	183	−	−	−	−	−
2.9	0.97	180	154	196	216	210	200	209	193	218	−	199	−	177	−	246	−	201	−	−	−	−	−
3.2	1.27	176	180	175	202	208	195	197	198	214	−	198	−	183	−	208	−	194	−	−	−	−	−
3.5	1.57	178	201	190	202	217	198	215	196	228	−	189	−	175	−	196	−	220	−	−	−	−	−
3.8	1.87	145	207	194	197	231	222	200	197	258	−	211	−	178	−	202	−	239	−	−	−	−	−
4.1	2.17	441	198	199	222	269	189	204	195	309	−	218	−	179	−	161	−	252	−	−	−	−	−
4.4	2.47	>2,000	219	192	310	293	187	190	193	506	−	191	−	189	−	169	−	245	−	−	−	−	−
4.7	2.77	1,724	211	234	1,534	321	219	182	257	238	−	235	−	178	−	172	−	242	−	205	−	−	−
5.0	3.07	>2,000	221	336	>2,000	898	>2,000	1,519	235	390	−	1035	−	452	−	244	−	1,036	−	229	−	−	−
5.3	3.37	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,500	304	−	278	−	1,264	−	224	−	2,365	−	694	−	−	−
5.6	3.67	△	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,500	−	>2,500	−	>2,500	−	1,778	−	>2,500	−	>2,500	−	−	−
5.9	3.97	△	1,609	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	>2,500	−	>2,500	−	>2,500	−	>2,500	−	>2,500	−	>2,500	−	−	−
6.2	4.27	★	★	★	★	★	★	★	★	★	−	★	−	★	−	★	−	1,582	−	1,413	−	−	−

註：1.「−」符號表示未量測。
2.「★」符號表示池深不足，無法量測。
3.「△」符號表示量測有疑義，未量測。

考量 SS 感測器的讀值恐有不同，因此另外進行清水測試，將本次使用的 2 支 SS 感測器置入清水中進行 19 小時的清水測試，以界定每支感測器的基本讀值，測試結果採平均值作為二沉池所使用 SS 感測器的基本讀值。

依據表 2 的紀錄結果扣除清水試驗的基本讀值後，透過 Surfer 統計製圖軟體，將本次紀錄結果的數據以橫向距離、縱向深度及測得濃度作為 3 維空間的數值帶入製圖軟體，經克利金 (Kriging) 內插法求得二沉池縱剖面的等濃度分布圖，並經轉至 AutoCAD 製圖軟體加工後製後，可得圖 8 之量測成果，圖上各編號的間隔均為 30 cm。其中靠近注水井整流板處的測試數據有短缺，係因在測試時，伸入池底的偵測儀器被轉動的刮泥機所卡住了。

雖然缺少那塊拼圖，但仍然可依據其他既有的圖形來解釋此次測試的結果。量測結果顯示，二沉池的出流渠道處雖然懸浮固體濃度很低，但並非池中最低濃度處，位於池牆邊出流堰下方約 0.37~1.87 m 間的區塊及池中央距水面較近處才有較低的懸浮固體濃度。至於池底較高懸浮固體濃度多集中於中央近污泥斗處，顯示刮泥機確實有正常運作，可將污泥予以集中。

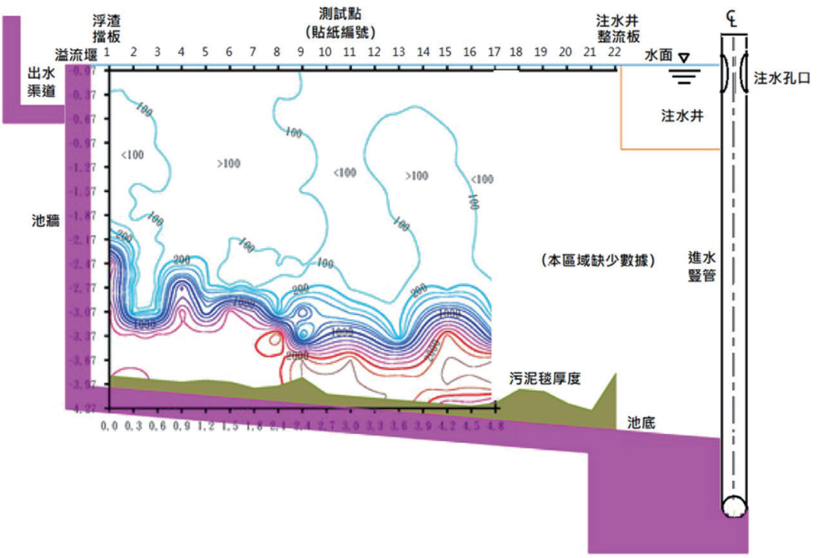


圖 8　二沉池水中懸浮固體等濃度分布圖 (第一次測試)

一般活性污泥法的二沉池中，進流混合液的密度會比池中澄清液的密度還要高，故混合液從注水孔口流至沉澱區後，會有形成瀑布的效應，如圖 9 所示。該股污泥密度流會沿著污泥毯表面徑向往外流動，碰到池牆後反彈往上，而將沖刷出來的污泥經由出水渠道帶出沉澱池，如圖 10 所示。

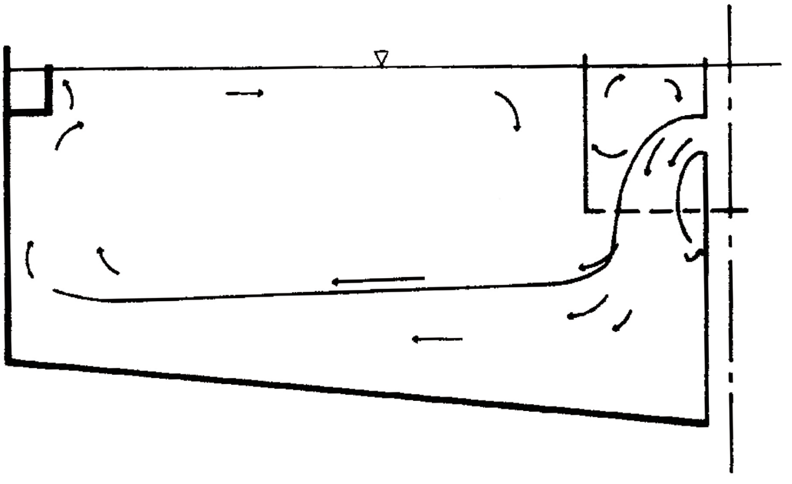


圖 9　沉澱池中活性污泥密度流引發瀑布現象

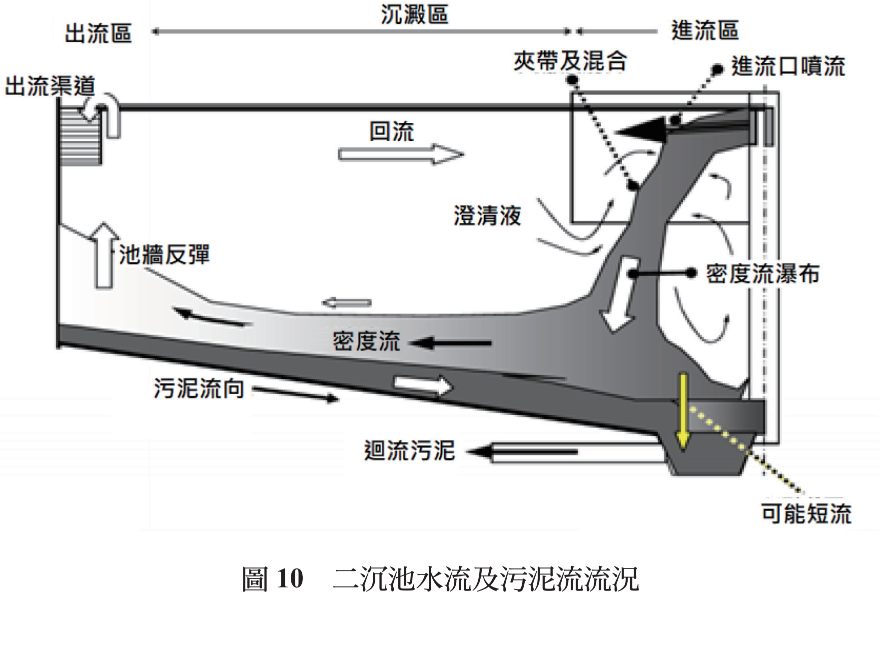


圖 10　二沉池水流及污泥流流況

同樣的，由圖 8 亦可看出 SS 濃度為 200 mg/L 及以上的污泥密度流離開注水井後，沿池底污泥毯上方由池心往池牆方向流動，碰到池牆後這股密度流即往上方流動，接著消散至整個沉澱區。由於進流的 MLSS 較稀薄，污泥毯厚度亦較低，所以挾帶至出流渠道的污泥量較少；反之，如進流的 MLSS 較濃稠，污泥毯厚度亦較高，則挾帶至出流渠道的污泥量會變多。

在未來如果經放流水挾帶出去的 SS 有較多的情況且頻繁發生，則建議在池牆內側設置史坦福擋板 (Stamford baffle) [5]，如圖 11 所示，以經由降低密度流的影響，來提升二沉池的處理性能。

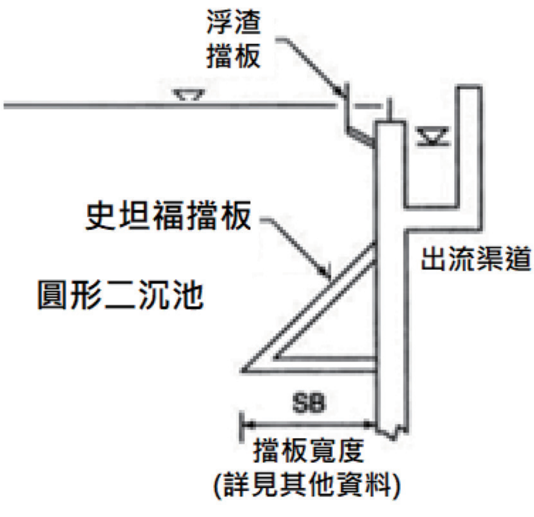


圖 11　池牆內側設置史坦福擋板示意圖

3.2 第二次測試

3.2.1 水流型態分析

本次試驗收集的懸浮固體濃度資料共有316筆，仍透過人工判讀的方式予以紀錄，前曾提及本次試驗所使用之感測器，有先利用標準試品予以校正，因此視讀值為標準數值，整理此次二沉池的懸浮固體濃度測試結果如表 3。

表 3　第二次測試二沉池懸浮固體濃度紀錄 單位　mg/L

紀錄深度 (m)	實際深度 (m)	橫向位置編號																						
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2.0	0.07	889	844	854	845	911	862	852	850	850	848	849	848	847	848	850	856	864	863	865	868	865	867	911
2.3	0.37	863	917	874	853	849	852	850	848	845	848	849	853	852	852	854	851	853	859	868	874	866	869	862
2.6	0.67	856	852	852	850	851	850	852	849	851	848	850	850	854	850	849	852	877	876	884	867	859	855	1,057
2.9	0.97	854	877	883	865	861	852	851	852	851	855	853	850	852	853	850	848	854	864	872	861	867	856	877
3.2	1.27	852	847	848	850	850	851	851	850	849	852	853	866	854	853	853	855	854	856	863	863	884	1092	1,174
3.5	1.57	852	857	864	872	859	860	866	856	853	854	857	859	868	857	857	859	869	860	864	865	1058	1066	1,255
3.8	1.87	850	865	858	855	887	871	857	852	871	860	858	865	868	871	869	864	855	854	854	855	856	855	1,191
4.1	2.17	860	887	874	855	853	883	944	1,011	918	879	863	862	859	861	858	860	862	864	869	868	864	866	936
4.4	2.47	894	1,054	1,100	1,095	1,130	920	1,050	1,002	1,150	933	981	1,030	990	928	885	874	889	876	867	870	872	895	1,125
4.7	2.77	—	1,175	1,140	1,165	1,170	1,168	1,157	1,148	1,142	1,068	1,064	1,054	1,040	1,104	1,113	1,054	1,010	1,126	955	963	1,133	1,254	1,256
5.0	3.07	—	1,207	1,237	1,226	1,160	1,232	1,234	1,223	1,174	1,197	1,198	1,265	1,254	1,245	1,212	1,234	1,175	1,276	1,115	1,127	1,125	1,286	1,298
5.3	3.37	—	1,189	1,229	1,211	1,212	1,225	1,295	1,263	1,243	1,276	1,239	1,250	1,247	1,315	1,309	1,341	1,301	1,275	1,300	1,274	1,308	1,346	1,262
5.6	3.67	—	1,017	1,023	1,010	1,002	1,006	1,008	1,015	1,002	994	1,020	1,024	1,016	1,027	1,032	1,042	1,048	1,067	1,078	1,088	1,080	1,073	1,057
5.9	3.97	—	938	959	970	963	951	953	975	952	942	962	951	954	954	968	951	954	946	955	954	959	964	△
6.2	4.27	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★

註：1.「—」符號表示未量測。
2.「★」符號表示池深不足，無法量測。
3.「△」符號表示量測有疑義，未量測。

依據表 3 的紀錄結果，透過 Surfer 統計製圖軟體，仍比照第一次測試的運算方式及計算結果；求得二沉池第二次測試的綜剖面等濃度分布圖，並經轉至 AutoCAD 製圖軟體加工後製後，可得圖 12 之量測成果，依據量測結果顯示，水深 2.17 m 以上的濃度約略介於 850~900 mg/L 讀值之間，水深 2.17 m 以下的濃度讀值則介於 900~1,300 mg/L 之間，而靠近注水井附近水深 2.17 m 以上的區域則有明顯濃度偏高的結果，讀值約略介於 900~1,200 mg/L 之間。

第二次測試因受到第一次測試時偵測儀器被刮泥機卡住的戒慎心理所影響，所以大部分時間的測試是在將刮泥機停止運轉的情況下執行，雖然改用橫向測法已較直向測法在時間上節省許多，但在現場發現水中懸浮固體大量湧現，因此將刮泥機恢復運轉。由第二次測試的二沉池懸浮固體濃度紀錄及等濃度分布圖可看出，水深 2.17 m 以上的測點讀值僅有高濃度感測器在運作，但其讀值無法低於 850 mg/L 以下。另外，低濃度感測器完全無法運作，故無法讀取較低濃度的數值。推測其原因可能與刮泥機停止運轉，導致污泥上浮有關；另外，該低濃度感測器前一天用於調和池水質測試，儀器長時間處於調和池低濃度但水質變化不大的環境中，隔天未經校正隨即用於變動環境較大的二沉池濃度測試，故無法確切反應其實際濃度值。另一種可能是儀器校正程序時所使用的標準試品，並未使高濃度感測器與低濃度感測器的讀值有重複區間，且使用的標準試品跨度點太少，導致校正儀器判讀的依據太少，致實際判讀時，無法判讀池中濃度並導致感測器讀值固定。故第二次測試的結果僅能當參考。

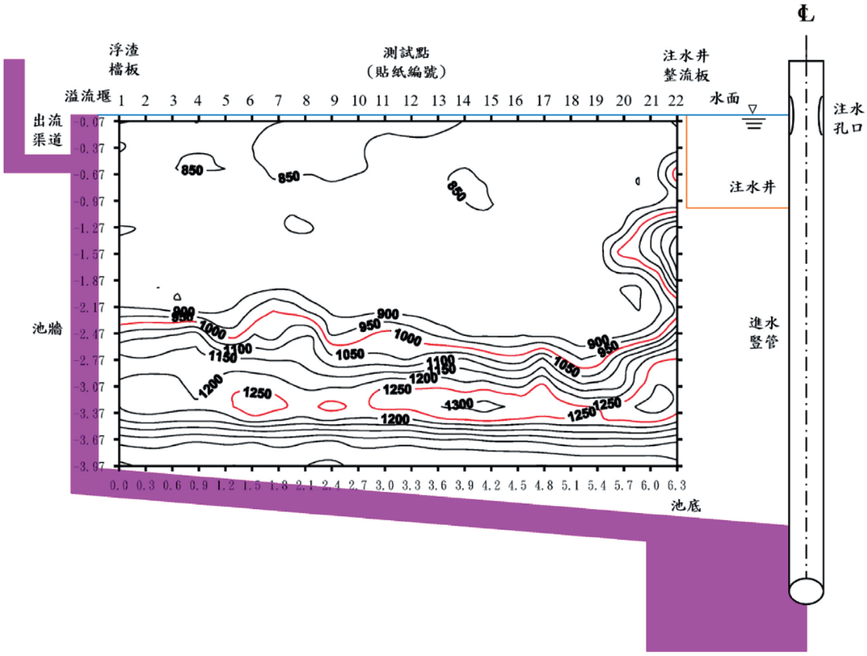


圖 12　二沉池水中懸浮固體等濃度分布圖 (第二次測試)

3. 3 本試驗之心得

1. 感測器的讀值作業顯有其操作時效範圍，長時間單一環境運作後 (一整天量測)，恐有精度偏差問題，須以標準試品測試其運作是否正常後，才可繼續使用，否則應予以校正後，才可繼續操作。
2. 檢視第二次測試結果，感測器的使用情境可能須予以分類，若感測器長時間使用於懸浮固體濃度變化較小的環境後，不宜立即使用於懸浮固體濃度變化較大的環境，同理，感測器長時間使用於懸浮固體濃度變化較大的環境後，不宜立即使用於懸浮固體濃度變化較小的環境，恐有發生讀值不真切的情境，惟後續的情境並未測試，其說詞仍屬臆測。
3. 感測器用以校正的標準試品，應準備較多試品，且高低濃度感測器於校正時，應有互相重疊的讀值空間，可加以驗證感測器是否做動正常。

四、結論與改善建議

4.1 結論

1. 以往的二沉池水流型態分析大都採用實驗步驟繁複，且儀器、設備及藥品所費不貲的「克勞斯比技術」，本測試所用的「PC 陳技術」改以懸浮固體濃度自動偵測器直接量測各測試點及各水深的 SS，不但可縮短測試時間，且測試密度比「克勞斯比技術」還要大，因此更能容易的繪出沉澱池水流型態的剖面圖。
2. 本二沉池水流型態第一次測試的分析結果顯示污泥密度流離開注水井往下及往外流時，碰到池牆後確有往上流的現象，但這股密度流並沒有繼續往出水渠道流出，故沒有被出流水挾帶出去的情形，出水的 SS 水質亦符合標準。
3. 本二沉池的出流渠道設在池牆外面，當污泥密度流沿著池底往四周流，在碰到池牆反彈後會往池面流去，因沒有阻隔物，故很容易將 SS 挾帶出去，造成放流水的 SS 偏多，特別是當進流混合液懸浮固體濃度高達 3,000 mg/L 以上時，密度流會更顯著，經放流水挾帶出去的 SS 也會更多。

4.2 建議

1. 由於出流渠道設於池牆外，對於沿著池牆向上流的污泥密度流沒有阻擋及改道性能，故建議於池牆內側裝設史坦福擋板，以改變污泥密度流的流向。
2. 在二沉池僅設置標準型中央進水豎管及注水孔口，建議在注水井的外圍加設混凝井，以增進污泥膠羽碰撞凝集的機會。
3. 如進流的 MLSS 較濃稠 (3,000 mg/L 以上)，使污泥毯大於 60 cm 以上時，應增加廢棄污泥量，以減少挾帶至出流渠道之放流水之懸浮固體量。

參考文獻

內政部營建署 (107 年 5 月)，污水處理廠設計及解說，P.5-97

陳伯珍等 (1996)，污水處理廠操作評估新技術，環境工程會刊，第七卷第二期，p.39-44。

CH2M HILL(May,1991), Plant Analysis Technologies Reference Manual

Daniel Nolasco et al.(June,1991), Evaluation and Optimization Technologies for Existing Wastewater Treatment Plants, CH2M HILL

Glen Daigger et al.(1992), Upgrading Wastewater Treatment Plants, PP.13-48

Metcalf & Eddy/Aecom (2014), Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery 5th Edi. Vol. 1 P.912

廢 (污) 水處理類

複合式固定膜活性污泥法 (IFAS) 在工業廢水處理之應用

王富民 *、王群輔 *、孫宏華 *、雷憶湘 **、許盈志 ***

摘　　要

複合式固定膜活性污泥法 (IFAS, integrated fixed film activated sludge process）不算是全新的處理方法而是將生物固定膜法與活性污泥法組合應用，以達到處理功能並減少用地 (尤其是需要擴廠而土地受限時) 及節省建設與操作費用的目的。一般來說，滴濾 / 活性污泥法可將曝氣槽水力停留時間減少到 1~3 小時；接觸曝氣 / 活性污泥法可將曝氣槽水力停留時間減少約 1/2；移動床生物膜反應器 (MBBR)/ 活性污泥法可將曝氣槽水力停留時間減少約 1/2~2/3，而且 IFAS 對生物難分解廢水與生物硝化 / 脫硝有特殊效果。但因為各類工業廢水性質不同，設計前應經模廠實驗以取得設計參數據以設計較為穩妥。

【關鍵字】複合式固定膜活性污泥法、生物固定膜法、活性污泥法、MBBR、IFAS

* 磐誠工程顧問股份有限公司　　協理
** 磐誠工程顧問股份有限公司　　副總工程師、環工技師
*** 磐誠工程顧問股份有限公司　　執行副總

一、前言

相較於生活污水，工業廢水通常污染濃度較高且生物可分解性較低，所以相對處理難度較高。而且工業廢水處理還存在用地受限及處理成本問題，所以陸續開發出一些處理方法以克服上述問題，其中複合式固定膜活性污泥法 IFAS 不算是全新的處理方法而是將生物固定膜 (fixed film) 法與活性污泥法組合應用，以達到對生物難分解廢水與生物硝化 / 脫硝處理及減少用地 (尤其是需要擴廠而土地受限時)、節省建設及操作費用的目的。

傳統廢水生物處理法概分為 2 大類：其一為懸浮性生長生物處理法，以活性污泥法 (activated sludge，簡稱 AS) 為代表；其二為附著性生長生物法或稱生物固定膜 (fixed film) 法，以滴濾法 (trickling filter，簡稱 TF) 及接觸曝氣法為代表。2 大類均歷史悠久，各有其優缺點。複合式固定膜活性污泥法 IFAS 是以活性污泥法為基礎搭配不同的生物固定膜法的處理系統，以將生物固定膜法與活性污泥法的優點組合應用。本文介紹不同類別的 IFAS 法及其優缺點。

二、IFAS 之類別

2.1 TF/AS 法

早期為了減少活性污泥法的能源消耗、解決滴濾法處理效率較差的問題、既有活性污泥處理廠功能提升、降低進入活性污泥污泥系統的負荷及節省用地面積，而發展出 TF/AS 法，也有人稱為 ABF 法 (activated biofilter)，其典型處理流程如圖 1 所示。係在滴濾塔後連接活性污泥法，由於滴濾法已削減約 50% 以上之 BOD，通常後續活性污泥法曝氣槽的水力停留時間 HRT 僅約需 1~3 小時，而因為滴濾塔占地面積及操作費均較低，故可減少用地及節省建設及操作費用。

國內也曾引進應用於工業廢水處理，例如已知有 2 家工業紙廠，採用木材為濾材，以格子狀架設；有 2 家染整廠則採用塑膠蜂巢管式濾材。而染整廢水一般因為溫度較高有散熱需求，滴濾塔則有散熱效果，所以 TF/AS 法應用在染整廢水有散熱的附加效

果。

由於工業廢水性質各家不同，在設計前最好經過模廠實驗以取得設計參數以減低風險。大約 30 年前，經濟部工業污染防治技術服務團就曾專案輔導某廠染整廢水的模廠實驗，實驗結果將一般染整廢水採用活性污泥法處理時曝氣槽水力停留時間需要 12 小時以上，成功縮減到 3 小時。並依實驗取得之設計參數協助其設計、發包。

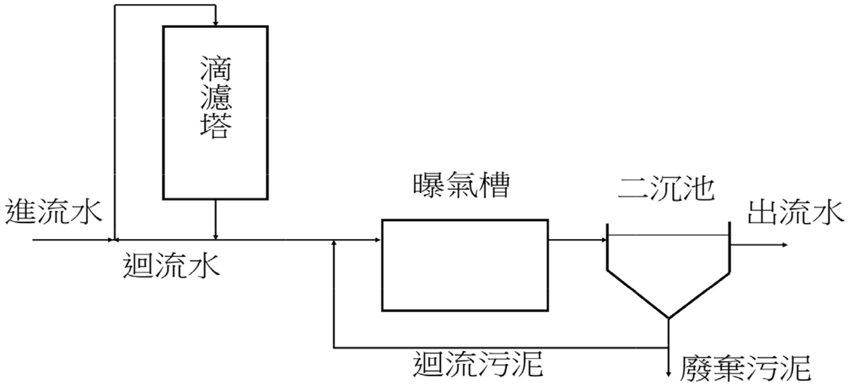


圖 1　TF/AS 流程圖

另外，若作為處理高強度廢水會設置中間沉澱池在 TF 及 AS 間，以減少活性污泥系統的固體物負荷並減少曝氣槽容積需求。典型處理流程如圖 2。

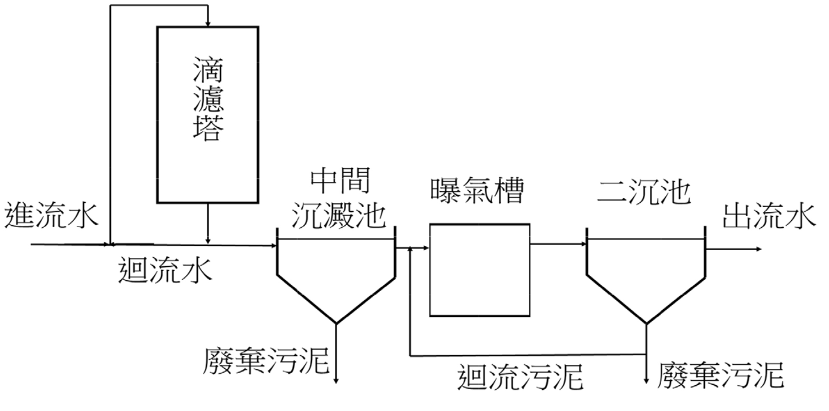


圖 2　兩段式 TF/AS 流程圖

2.2 接觸曝氣 /AS 法

接觸曝氣法 (contact aeration) 乃是將接觸材浸沒於曝氣槽之污水中，並在槽中充分曝氣，使污水充分攪拌循環流動，而與接觸材相接觸，接觸材表面開始生長附著生物性污泥 (微生物) 而形成生物膜，利用該生物膜在好氧狀態下吸附、氧化污水中有機污染物的方法。

接觸曝氣法之去除 BOD 及氮的模式，如圖 3 所示。

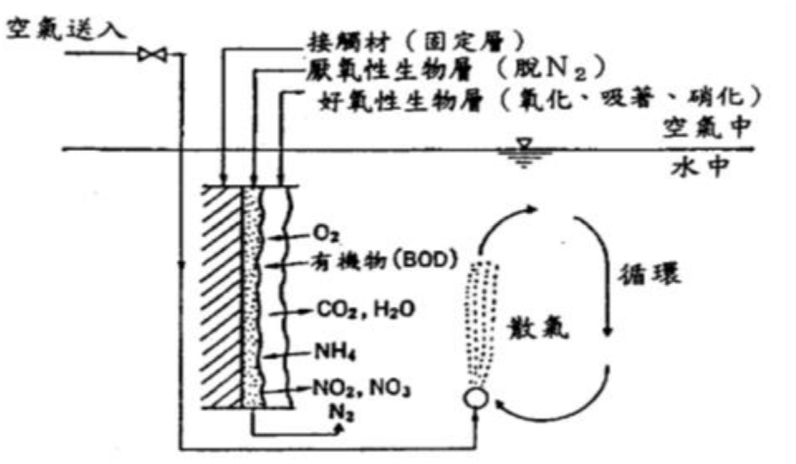


圖 3　接觸曝氣法之 BOD、氮去除特性，內政部營建署 (2018)

歐陽嶠暉 (2014) 彙整本法的優點包括：

1. 不需調整 MLSS(mixing liquid suspended solid) 濃度，也不需迴流污泥，操作管理容易。
2. 可承受 BOD 負荷的變動，獲穩定之處理水，並可達部分氮化物的去除。
3. 廢棄污泥量少，低負荷時甚至可不需要二級沉澱池及污泥處理單元。
4. 沒有污泥膨化問題。
5. 好氧生物層之底下，形成厭氧生物層，可達脫硝效果。

其缺點為：

1. 接觸材上附著之生物量為操作條件，無法改變。

2. 負荷過高時，有阻塞問題。

3. 接觸材為固定於曝氣槽，因此欲達接觸材內之均勻曝氣不易。

接觸曝氣法處理系統典型處理流程如圖 4，與活性污泥系統主要差異在不需迴流污泥，且二沉池進流水的 SS 濃度較低，約在 100 mg/L 左右。但是國內在工業廢水使用接觸曝氣法處理時經常是增加了迴流污泥而成為圖 5 的處理流程，所以事實上成為了接觸曝氣 /AS 法的複合式處理法。

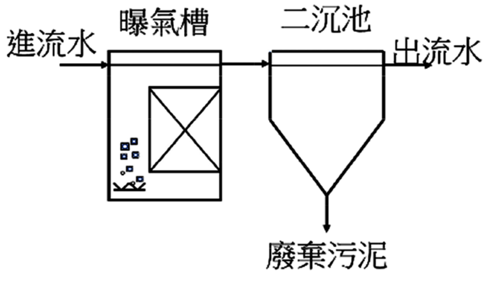


圖 4　接觸曝氣法處理系統

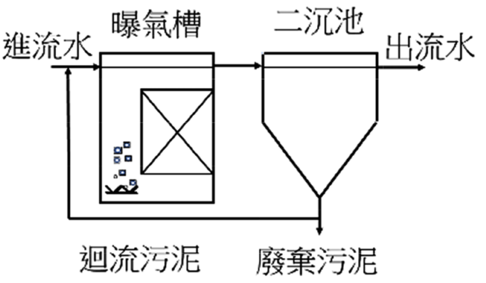


圖 5　接觸曝氣 /AS 法處理系統

接觸曝氣 /AS 法的複合式處理法特點是利用易分解有機污染物的微生物族群一般生長速率較快，也偏好懸浮性生長，而利用難分解有機污染物的微生物族群一般生長速率較慢需要較長污泥齡 (sludge retention time，簡稱 SRT)，也偏好附著性生長。所以在接觸曝氣 /AS 法系統中一方面靠提高當量 MLSS 而提高系統的 SRT，一方面利用難分解有機污染物的微生物族群偏好附著性生長而提高難分解物質的去除率。

國內一般固定式接觸材多採塑膠蜂巢管式或繩狀，國外亦有採用布質者，另國內也有陶瓷公司將多孔陶瓷擔體應用於 IFAS 系統。多孔陶瓷原本常以濾床型式應用於觀賞魚缸與養殖場水質硝化 / 脫氮處理，有良好效果。但因為陶瓷較重，為了應用在 IFAS 系統中，故採用約 20 cm 直徑的塑膠球將約 1cm 直徑圓柱狀多孔陶瓷擔體置於其中，再以不銹鋼索吊掛均勻分佈於曝氣槽中，如圖 6 所示。也已成功應用在染整、皮革、製藥等工業廢水處理。

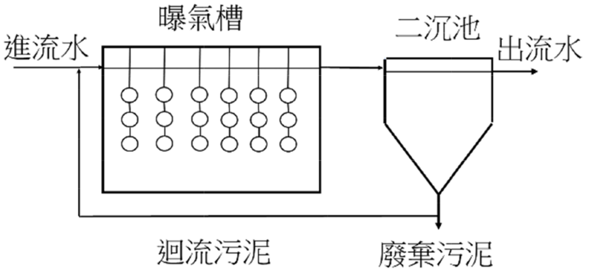


圖 6　多孔陶瓷擔體

2.3 MBBR/AS 法

MBBR(Moving Bed Biofilm Reactor) 係接觸曝氣法的一種，相對於常規接觸曝氣法是固定式濾材，MBBR 是採用浮動式濾材，而且因為沒有阻塞顧慮通常使用的比表面積是固定式濾材的數倍，有高達 1,200 m^2/m^3 者 (參見表 1)，名稱上則通常稱擔體或載體 (carrier) 而不稱濾材，據 Hallvard Ø degaard, Published(2014) 指出至 2014 年止全世界已經有超過 800 座實廠，國內也逐漸開始應用。

MBBR 典型的處理流程雷同如圖 4，只是用浮動式擔體替代了固定式接觸材，但在工業廢水處理應用通常是如圖 5 增加了迴流污泥而成為 IFAS 法。MBBR 擔體因為通常形狀較小，為防止擔體流失，在出流口要設計欄柵或篩網，並考慮槽內流速，Metcalf & Eddy(2014) 建議出流篩網可設計成平板狀或水平柱狀，柱狀篩網頂部位於水深 35~65% 處。典型柱狀體直徑 0.3~0.4 m，長度 1.5 m，3.0 m 及 3.65 m，如圖 7。過篩尖峰流速應在 50~60 m/h(含迴流量)。篩孔尺寸的選擇要將水頭損失控制在 50~150 mm，篩孔流速小於 0.5 m/s。沿著欄柵地板設置的粗氣泡散氣器提供空氣攪動以防止欄柵堆積雜物如空氣刀。

為了解決因為柵距或篩孔較小所衍生的水頭損失與清理問題，有廠商開發出以約 10cm 直徑球型外框將載體置於球內的產品，如圖 8，則可用較大的柵距或篩孔，也易於清理。

2.4 擔體種類

MBBR 受到特別的關注其實是有廠商開發出了高比表面積的商品且以 MBBR 的名稱在推銷，而且讓一些人誤以為是一種新發明的處理系統。MBBR 使用的浮動式擔體主要分為泡棉狀與塑膠 2 大類，常見用於 MBBR 的生物擔體如表 1，兩者差異頗大，分別介紹如下：

圖 7　出口柱狀篩 (Hallvard Ø degaard,Published 2014)

圖 8　污水處理廠 IFAS 應用例 (高雄市某污水處理廠)

表 1　MBBR 常用擔體資料 (Metcalf & Eddy,2014)

擔體型式	比重	一般尺寸例，mm	比表面積例，m2/m3
泡棉 a	0.95	15 x 15 x12 深	850
塑膠輪 (K1)b	0.96~0.98	7 x 10 直徑	500
塑膠輪 (K3)b	0.96~0.98	4 x 25 直徑	800
塑膠輪 (K5)b	0.96~0.98	9 x 25 直徑	500
片狀 (P)b	0.96~1.02	3 x 45 直徑	900
片狀 (M)b	0.96~1.02	2 x 48 直徑	1,200
塑膠方塊	0.96	15 x 15 x10 深	680
繩狀		45 直徑	2.85m2/m

* 備註：a From Linpor.See 參見圖 9
b From kaldoness. 參見圖 11
c From Ecologix.

1. 泡棉類擔體

泡棉類擔體主要採用 PU 材質，比重約在 0.95g/cm^3(見圖 9)，泡棉類載體一般在曝氣槽中填充率約 15~30%，當填充率 20% 時，比表面積 800m^2/m^3，反應槽單位容積生物膜表面積約為 160m^2/m^3。國內工研院也有開發泡棉式擔體商品名 BioNET，如圖 10 所示。塑膠泡棉類擔體性質上與一般接觸材或擔體不同，一般接觸材或擔體係系提供接觸面供微生物生長成生物膜，而泡棉類擔體係系提供孔穴供微生物生長，有點類似珊瑚礁、火山岩等多孔性擔體，生長成類似 UASB 粒狀化污泥的高密度微生物族群。因為其特性有利於培養生長速率較慢的微生物族群及可在反應槽中提高當量 MLSS 濃度，除應用在 MBBR 及 IFAS 系統外，也大量使用在曝氣生物濾池 BAF (Biological Aerated Filter)，使用在 BAF 時 BOD 容積負荷可達 AS 數倍。

日本廠商也有類似產品，如北部某面板廠由日本廠商設計的污水處理廠就是採用了泡棉類擔體，但略小是約 0.5 cm 的立方體。

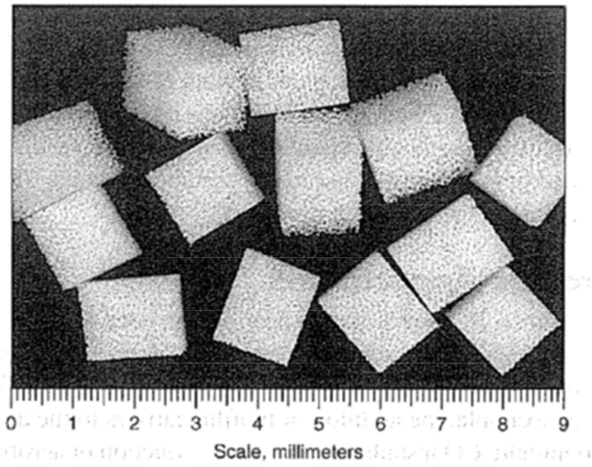


圖 9　塑膠泡棉擔體 (Metcalf & Eddy，2014)

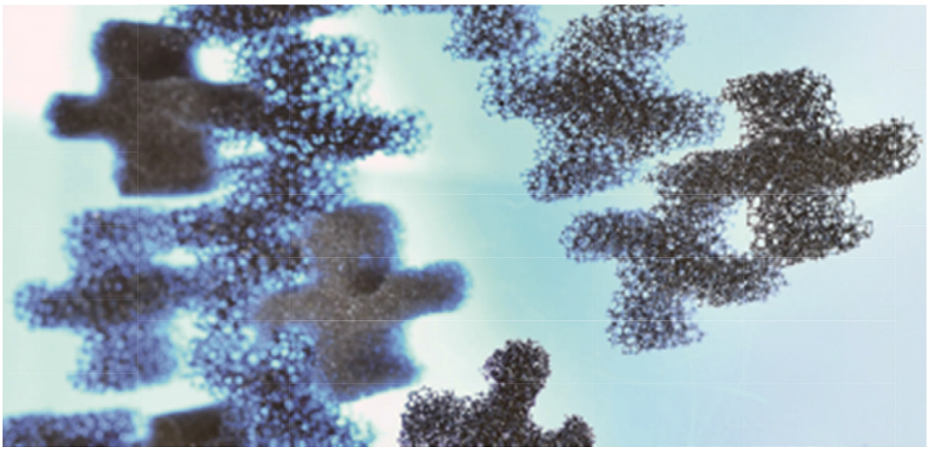


圖 10　工研院 BioNET 泡棉類擔體 (資料來源：工研院網站)

2. 塑膠載體

塑膠載體比重約在 0.96~0.98 g/cm3，原先是開發來用在 MBBR，後來成為美國第一個 IFAS 應用例。原先設計形狀是約 10 mm 直徑，7 mm 厚的馬車輪狀。但後來眾多廠商開發出多種大小與形狀，如圖 11 與 12。國內某工業紙造紙廠的廢水處理廠二期工程就是採用此類擔體，將曝氣槽原需要 HRT 由 12 小時減少到 3 小時。

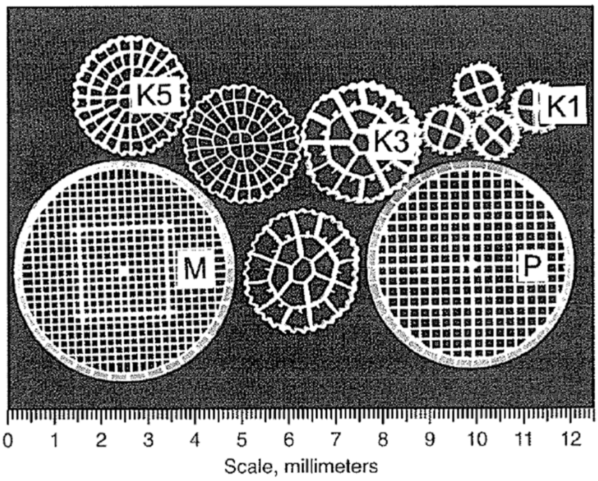


圖 11　塑膠擔體 -1(Metcalf & Eddy，2014)

圖 12　MBBR 塑膠擔體 -2(S K Al-Amshawee et al，2020)

三、IFAS 的應用範圍

IFAS 法在工業廢水的應用範圍很廣，除可以節省用地及節省費用外，也可應用於難分解廢水的二級或三級處理。在國內不乏 TF/AS 應用在造紙及染整廢水的應用例。接觸曝氣 /AS 則廣泛應用在染整、化工及 印刷電路板 (PCB) 業廢水處理。MBBR/AS 則在化工、石化、食品、造紙及液晶面板廠廢水處理都有應用實例。

此外還有一類特殊應用就是硝化 / 脫硝程序的應用，硝化係在好氧環境將氨氮氧

化成硝酸鹽氮，脫硝則是在缺氧環境下將硝酸鹽氮還原為氮氣而從水中去除。由於硝化菌與脫硝菌生長速率慢故較不易培養也易流失，但是 IFAS 系統內擔體，尤其是泡棉類擔體提供了硝化 / 脫硝菌良好的生活環境，使得 IFAS 應用在硝化 / 脫硝時有特殊的優點。

最常用的生物硝化 / 脫硝程序為 MLE 程序 (Modify Ludzack and Ettinger Process)，其處理流程圖如圖 13 所示。MLE 程序為將反應槽分割為 2 部份，於前段缺氧槽以進流水 BOD 為碳源進行脫硝反應，而於後段好氧槽進行硝化反應，需抽送好氧槽硝化液迴留至缺氧槽以進行脫硝作用。IFAS 應用在硝化 / 脫硝時，好氧槽可為一段或多段設計，在好氧槽需要維持較高的溶氧以克服生物膜物質擴散限制，使擔體表面生物能充分應用於硝化作用。可能的處理流程圖如圖 14 所示，如果能夠提供充足的溶氧，由於第一段中較高的氨氮濃度與去除率，兩段式設計可以得到較高的硝化效率。如圖 14(c) 僅在三段式設計中間段添加生物載體則有 2 個優點：第一，由於第一段懸浮性微生物能擁有已去除 BOD 為主菌群，使第二段生物載體能主要提供給硝化微生物生長；第二，由於第三段耗氧區可操作在較低溶氧，隨著硝化液迴流缺氧槽所增加的溶氧較少，也較不會影響缺氧槽需要的缺氧條件。

IFAS 法因為對硝化有特別優點故常應用在 MLE 法的好氧段，如圖 14 所示。為改善脫氮效率也有採 MLE 法的缺氧段亦添加載體的案例。流程圖如圖 15。

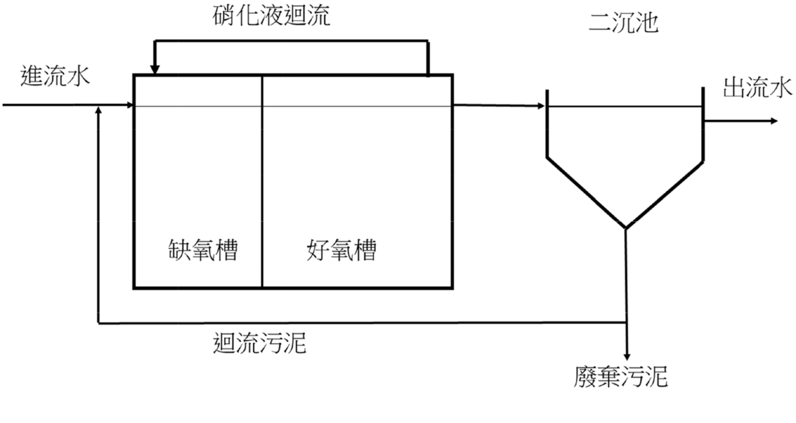


圖 13　MLE 程序

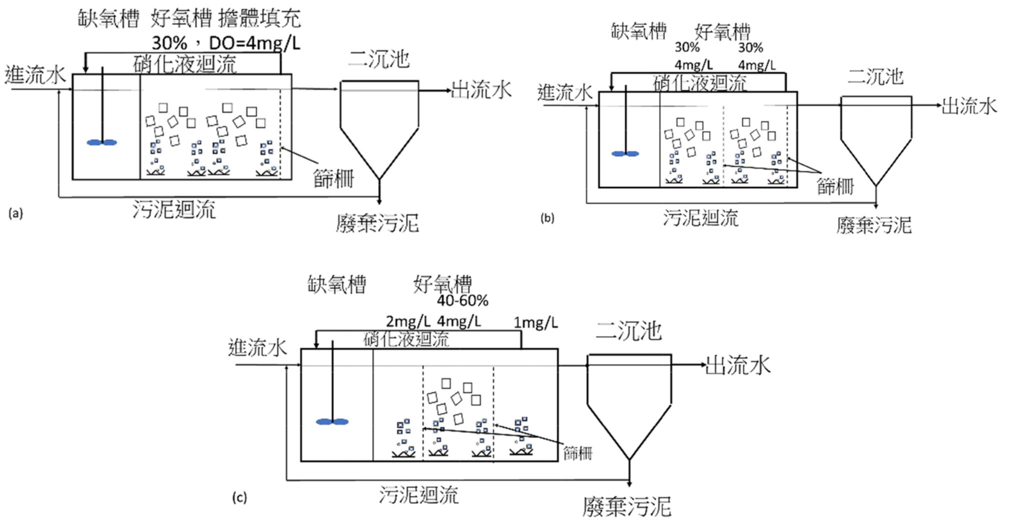


圖 14　生物擔體添加到 MLE 程序硝化段的應用例 (Metcalf & Eddy.2014)

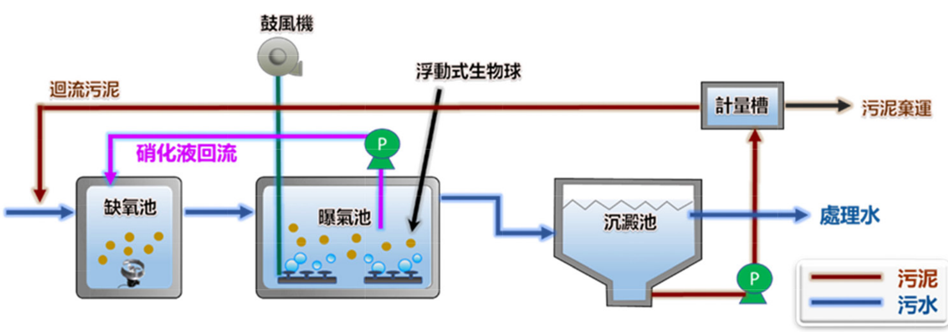


圖 15　IFAS/MLE 流程圖

另因為厭氧氨氧化菌 (Anammox) 有趨向附著生長的特性，中國西安某污水廠 (25 萬 CMD) 採用此流程，是溫帶大型污水廠厭氧氨氧化首例，如圖 16。而國內桃園北區 BOT 水資中心二期工程則是採用了 IFAS/MLE+MBR，是國內大型公共工程應用首例，其處理流程示意圖如圖 17。

資料來源 :Wang et al., 2010

圖 16　Anammox 菌體 (a. Anammox 附著生長；b. Anammox 顆粒群體)

IFAS 應用不同載體於硝化設計代表性參數整理如表 2。關鍵設計參數為：基質去除通量、載體比表面積 (m^2/m^3)、載體於反應槽填充量 (填充百分比)、好氧槽 DO 濃度及懸浮性生長 MLSS 或生物濃度。

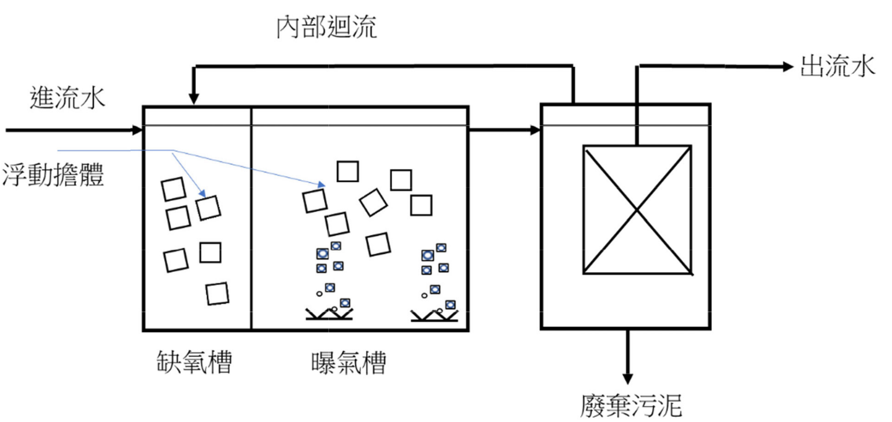


圖 17　IFAS/MLE+MBR 流程示意圖

表 2 IFAS 硝化設計代表性參數 (Metcalf & Eddy,2014)

擔體型式	填充比，%	應用比表面積，m2/m3 槽體積	MLSS 濃度，mg/L	曝氣水力停留時間，小時
繩狀或網狀	70~80	50~100	3,000	5.0
泡棉擔體	20~30	100~150	2,500	4.0
塑膠擔體	30~60	150~300	2,500	4.0

資料來源：擷取自 WEF(2011)

四、IFAS 的優缺點

IFAS 法主要優點如下：

1. 在較小的容積有較大處理能力，可節省用地。
2. 將當量 MLSS 增加，而不會明顯增加二沉池固體負荷。
3. 可藉添加接觸材逐步增加系統處理能力或改善處理效能。
4. 因為反應槽內存在較高的生物量，導致有效 SRT 增長而提高處理能力或提供硝化反應。
5. 生物膜提供了更穩定的難分解物質處理族群及硝化微生物族群。
6. 適當的控制負荷及溶氧，有可能達到同槽硝化及脫硝。
7. 較少的能源消耗 (TF/AS 法)

相較於活性污泥法，其缺點為：

1. 需要使用專門的接觸材。
2. 曝氣設備維護時擔體移出問題。
3. 需要改善進流廢水細篩機。
4. 因為擔體濾網增加的水頭損失及清潔濾網的維護工作。
5. 對於擔體的堆積與分佈不均問題要克服。
6. 因為擔體流失損失的費用。

五、結語

IFAS 法在工業廢水的應用範圍很廣也有很多優點，但是在設計上也必須充分考量，首先工業廢水各家廠商產生的廢水性質不同，事前最好先做模廠實驗以取得設計參數。另外 IFAS 使用的浮動性擔體操作上可能產生的流失、堆積與分布不均等問題，除參考常用的基本設計參數外，宜多參考實廠的操作狀況以做擔體及設計上的選擇。而且推銷 IFAS 擔體的廠商大多為材料商，不具系統設計能力，宜慎選具實績且信譽佳的廠商。

參考資料

工研院，BioNET 技術在水與廢水處理之應用現況，https://www.itriwater.org.tw/technology/More?id=58

污水處理廠設計及解說，內政部營建署，2018， P.5-79。

歐陽嶠暉 (1993)，生物接觸曝氣法，工業污染防治技術手冊，經濟部工業局，P.14-15。

Hallvard Ø degaard, Compact wastewater treatment with MBBR, Published 2014.

Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering 5th, Publish by McGraw-Hill Education,2014. P.997-1006

Sajjad KHUDHUR ABBAS Al-Amshawee, Mohd Yusri Mohd Yunus & A A Azoddein.A Novel Microbial Biofilm Carrier for Wastewater Remediation, S K Al-Amshawee et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 736 072006

Wang,C.C.,P.H.Lee,M.Kumar,Y.T.Huang,S.W.Sung and J.G.Lin (2010),Simultaneous partial nitrification, anaerobic ammonium oxidation and denitrification (SNAD) in a full-scale landfill-leachate treatment plant. Journal of Hazardous Materials, Vol. 175, No. 1-3.

空氣污染與噪音類

積灰對於脫硝觸媒 (SCR) 運轉效率的影響

蔡東昇 *、郭奇亮 **、張涴甄 ***

摘　　要

SCR 脫硝設備使用脫硝觸媒與氨氣進行催化反應以達到脫硝效果，亦即去除廢氣中的氮氧化物 (NOx)。而 SCR 煙氣中含有大量飛灰，通過反應器時會因為流速分佈不均和流速降低而無法有效通過觸媒層，因而在觸媒表面慢慢累積。觸媒積灰將使觸媒壓損增高，無法有效去除氮氧化物排放，降低脫硝效率，增加運轉成本。

音波管 (Sonic Horn) 是以低頻振動產生高分貝的音波衝擊粉塵粒子，使粉塵粒子產生共振防止粉塵產生堆積現象，達到將粉塵順利釋出或下料的目的。新型音波管 AC60 較舊型 DC75 的清灰範圍更大，增加約 35%，且空氣消耗量不變。本文分享研究於大型燃煤機組 SCR 新增 AC60 音波管來達到線上清灰的目的，並提出對於既有 SCR 脫硝設備安裝音波管卻無法有效達到清灰目的之原因。

【關鍵字】音波管(Sonic Horn)、SCR脫硝設備、積灰、氮氧化物(NOx)

* 台耘工業股份有限公司　　副總經理
** 台耘工業股份有限公司　　業務處經理兼資深工程師
*** 台耘工業股份有限公司　　資深業務專員兼執行秘書

一、前言

氮氧化物 (NOx) 為現今主要空氣污染物之一。除了對人體健康造成危害之外，氮氧化物亦會影響環境，帶來溫室效應、臭氧層破洞、酸雨與細微粒懸浮微粒 (PM2.5) 等問題。為解決這些危害，有很多除氮氧化物方法和設備產生，而目前最有效的是選擇性觸媒還原法 (Selective Catalyst Reduction, SCR)。燃煤機組使用 SCR 一般安裝在省煤器 (Economizer) 之後，集塵設備 (靜電除塵器或是濾袋除塵) 之前，屬於高溫高灰區段。其原理是將氮氧化物 (NOx) 化學還原成氮氣 (N2) 與水蒸氣 (H2O)，如此將大幅降低因氮氧化物排氣產生之亞硝酸 (HNO2) 或硝酸 (HNO3)，降低對於環境的污染。在煙道中均勻注入氨基反應物 (如氨氣)，使廢氣與反應物混合之後，進入反應器。藉由觸媒催化進行脫硝反應，生成氮氣和水，爾後再排出大氣 (圖 1)。觸媒活性可看成是氮氧化物去除的反應率。當觸媒活性降低，也就代表著氮氧化物去除率降低。此時為了維持 SCR 效率，便須提高注氨劑量。然而當注氨劑量已接近 SCR 初始設計的極限值，即需要更新觸媒來維持 SCR 的效率。

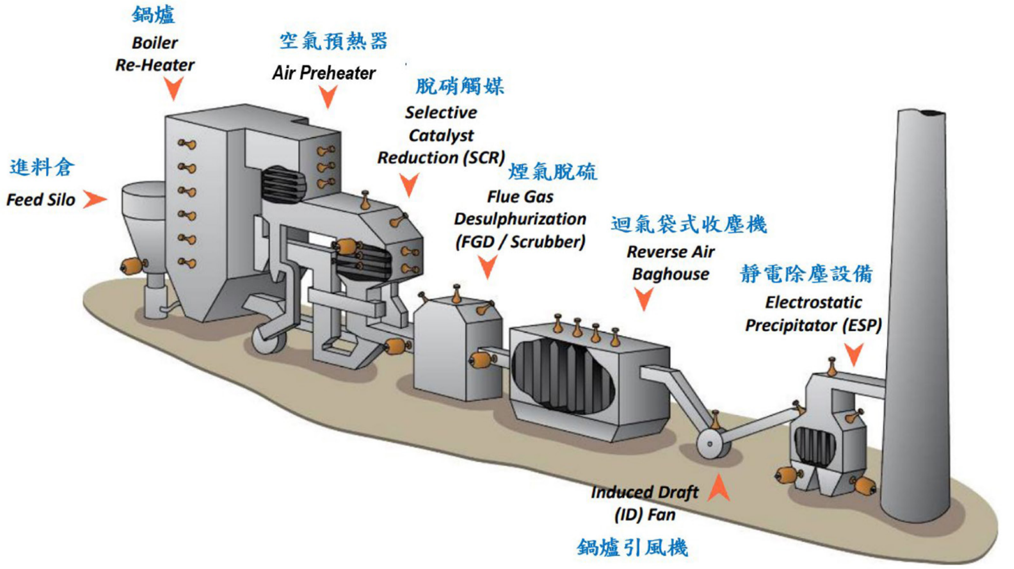


圖 1　脫硝觸媒於燃煤電廠中的位置

SCR 是目前絕大部分燃煤機組在空污防制上採用的最佳可行控制技術 (Best Available Control Technology，BACT) 之一，也是目前工程實際應用上最為廣泛與成熟的技術。然而 SCR 雖然處理氮氧化物的效率高且系統穩定，卻仍會因設備阻塞、磨蝕等因素而使脫硝成果不如預期。高溫環境下，含有大量灰份的煙氣在通過 SCR 反應器時會因為流速分佈不均和流速變慢等問題而無法順利通過觸媒層，導致飛灰在觸媒表面慢慢累積。此現象在支撐鋼樑處和正下方及殼體四周更為常見。積灰使觸媒壓損升高，增加了運轉中氮氧化物排放，進而造成脫硝效率下降。為了提高運轉效率，需增加氨氣用量，但此方式相對也提高了運轉成本，增加氨水或尿素消耗量。觸媒表面積灰也會造成觸媒結構破裂，亦會減少觸媒使用壽命，增加觸媒更換頻率、安裝與回收處理成本。此外，維修停機時也容易造成二次揚塵，進而影響人員健康及造成空氣污染。

本文研究對象，台灣某一 550MW 燃煤發電機組原積灰嚴重 (圖 2)，影響觸媒效率。為了改善積灰現象，研究對象於 SCR 的 3 層觸媒上，每層各新設 4 支 AC60 音波管 (Sonic Horn)，而每一支間隔為 2.5 公尺 (圖 3)。安裝商轉後，可見 SCR 效率提升。有鑒於此，另一部機組也已安裝 24 支 AC60 音波管。音波管安裝設計因廠而異，而線上清灰系統亦可針對機組積灰位置和反應器大小，客製化設計適當的清灰方案，減少觸媒表層積灰產生，提高 SCR 效率也降低電廠運轉及維護成本。

圖 2　SCR 內部積灰狀況

圖 2　SCR 內部積灰狀況

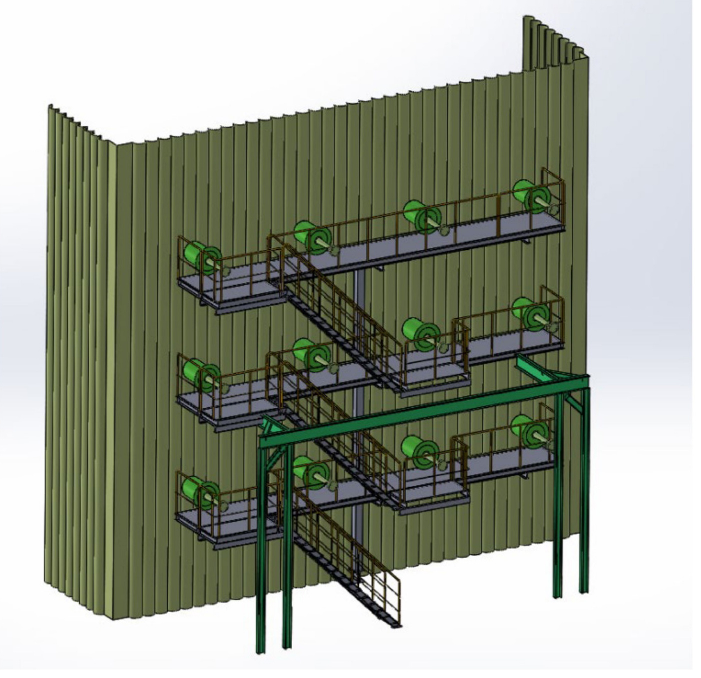


圖 3　每層各新設 4 支 AC60 音波管，每支間隔為 2.5 公尺

二、音波管的理論基礎

音波管是以低頻發音管發出音波衝擊粉塵粒子，使粉塵粒子產生共振並保持在鬆散狀態以防粉塵產生堆積現象，以達到將粉塵順利釋出或下料的目的。音波管與其他裝置比較的優點：

音波管利用音波來傳遞能量，解決清灰的問題優於空氣砲 (Air Cannon) 與高壓蒸氣吹灰器 (Sootblower)，且不會破壞本體的壁體結構。

1. 與高壓蒸汽吹灰器相比

(1) 音波管所產生的音波能量是直接施加於粉粒體之上，而高壓蒸汽吹灰器所產生的能量較強烈，但是很容易因為維修問題或是操作問題導致破壞觸媒結構 (圖 4)。若安裝距離太接近設備則會因為所吹出來的能量過大而造成設備損壞；若是太

遠，則會導致無法有效清除積灰。

圖 4　高壓蒸汽導致觸媒層破裂

(2) 高壓蒸汽吹灰器不像音波管，有延伸的零件安裝在 SCR 外，不僅保養不易，日後要移除或是維修也較為不便。

(3) 蒸汽使用量對比音波管使用一般廠用高壓空氣相較之下，在運轉成本上較高。根據研究，高壓蒸汽吹灰器 1 天的運轉成本約為台幣 1,200 元，而 8 支音波管加起來 1 天的運轉成本僅台幣 120 元。也就是說，若捨棄音波管，而安裝高壓蒸氣吹灰器，1 年下來的運轉成本將高出台幣 394,200 元。

2. 與空氣砲相比較

空氣砲是利用壓縮空氣產生瞬間的空氣振動與衝擊來清除積灰。對結構體之中的粉粒體而言，音波管所產生的音波是作用於一個「面」的範圍，而空氣砲所產生之空氣振動與衝擊是作用於一個「點」的範圍。若以一個架橋為例，音波管可作用於整個架橋藉以破壞之，但空氣砲則會是在此架橋上打個洞而無法破壞整個架橋。由於音波管的特性，只要在適當的位置安裝合適的音波管，且定期地使用音波管來振動一結構體之中的粉粒體，即可有效地避免此粉粒體積灰架橋等問題。有時候會將音波管搭配

一些特定流速緩慢位置的空氣砲清灰效率更優於純音波管。

音波管適用於含粉粒體的廢氣處理流程，或是粉粒體製造儲存輸送的流程之中，易於產生積灰架橋而不易或無法經常清除之處。主要是因為音波的特性可在一結構體之中的空間內，以空氣或粉粒體為媒介傳遞，而且音波撞擊粉體架橋結構體之後還會反彈。因此音波的能量可以充分地施加於此結構體之中的粉粒體，藉以消除粉粒體積灰架橋現象。

3. 音波管的物理特性

以運動的機制而言，音波就是藉由一振動源在一媒介之中所造成的壓力變化的傳遞。其傳遞的速度即是此媒介的音速。在 0°C 與 1 大氣壓的狀況下，以空氣為媒介，其音速是 330 公尺 / 秒。若以水為媒介，其音速是 1,400 公尺 / 秒。以能量的形態而言，音波的強度就是前述的壓力變化所造成之單位面積的能量，亦即是聲音的大小。一般說話的聲音大小約為 60 分貝，市街的交通噪音約為 75 分貝，而汽車喇叭可發出 100 分貝的聲音。

4. 音波管的頻率

音波的頻率可分成以下 3 個範圍：

(1) 低頻：20Hz 以下，人耳無法辨識。

(2) 中頻：20Hz~25KHz，人耳可以辨識的範圍。

(3) 高頻：25KHz 以上，人耳亦無法辨識。

以傳遞的距離而言，較高頻的音波之傳遞距離較短，較低頻的音波之傳遞距離較長。

5. 音波管的運作方式

音波管的結構可分為「發音室」與「喇叭本體」2 部份 (圖 5)。發音室通常包括一振動腔室與一振動膜片，利用注入壓縮空氣使振動膜片產生振動以發出聲音。此聲音具有一基本頻率；爾後聲音藉由喇叭本體向前傳遞，且藉由喇叭本體的外形與尺寸以產生一特定頻率的音波。發音室的大小與注入壓縮空氣的量與壓力，決定了其所能產生的音波強度。喇叭本體的尺寸除了產生一特定頻率的音波之外，亦與所產生的音

波品質有關。一般音波管具有指數曲線形喇叭本體或是直線錐形喇叭本體，前者製造成本昂貴但可以產生較佳的音波品質，後者製造成本便宜但產生的音波品質較差，且在消耗相同的壓縮空氣之時，指數曲線形喇叭本體所產生的音波比直線錐形喇叭本體所產生的音波具有更高的能量。

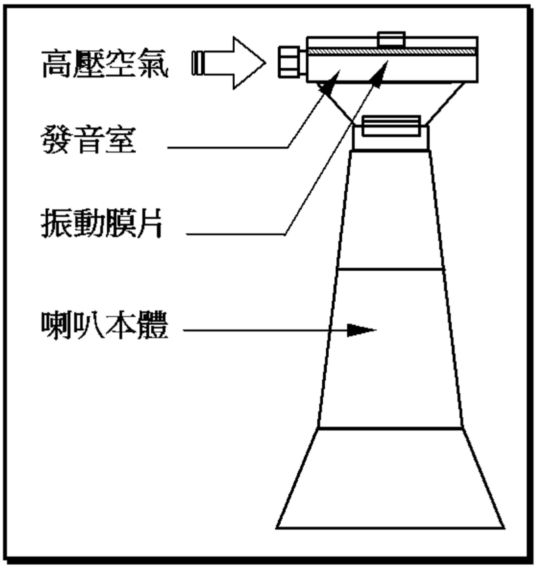


圖 5　音波管結構

此外，各式音波管發聲室所產生的音波頻率亦會影響其音波的特性及其應用範圍。若應用於較小空間內且快速累積大量積灰的狀況，則適合選用產生較高頻率 (約 200-300 Hz) 且短波長的發聲室，使音波的能量集中於一範圍較小的區域，達到使積灰呈現鬆散的狀態；反之，若應用於較大空間內且積灰量低但分佈寬廣的狀況，則適合選用產生較低頻率 (約 100-60 Hz) 且長波長的發聲室，使音波的能量以弧形擴散的型態傳遞，因此可將音波的能量分佈於一範圍較大的區域。本案例之 SCR 原使用 DC75 (75 Hz) 之音波管，其有效清灰範圍約可達寬 4.57 m、長 13.1 m 的面積。而新型 AC60 的音波管，其發聲頻率為 60 Hz，不僅因使用更低頻率而增長波長，使得有效清灰範圍增加至寬 5.79m、長 15.8m，較之 DC75 的範圍約提升 35%，且因為 AC60 的發聲室使用特殊構型設計，因此雖然與原 DC75 消耗相同氣源量，但可產生更高的音波能量，並不會因清灰範圍擴增而衰減。此外，DC75 與 AC60 的耗電功率

皆為 15W，相較於其他設備，用電量相對較少。以本研究對象為台灣某一燃煤發電機組為例，鍋爐燃燒廢氣夾帶的灰份會直接進到 SCR 裡，導致 SCR 積灰嚴重，新增 24 支 AC60，而另 1 部機組也從舊的音波管型號 DC75 升級為新型 AC60。以下詳述改善計畫。

三、燃煤發電機組改善計畫

以台灣某一 550MW 燃煤發電機組為例，鍋爐燃燒廢氣夾帶的灰份會直接進到脫硝觸媒 (SCR) 裡。其 SCR 分為北側 (A) 與南側 (B)，每一側觸媒總共 3 層，並於兩側各新增 12 支 AC60 音波管與 1 個壓力顯示。研究對象 SCR 整體積灰改善可分為儀電與機械 2 部分。在儀電部分新增一控制系統與控制盤箱。機械部分則為音波管、壓縮空氣管路安裝以及操作平台鋪設等。首先，在研究對象電子室安裝 PLC 系統、圖控 (如圖 6) 以及 MODBUS 程式嵌入。

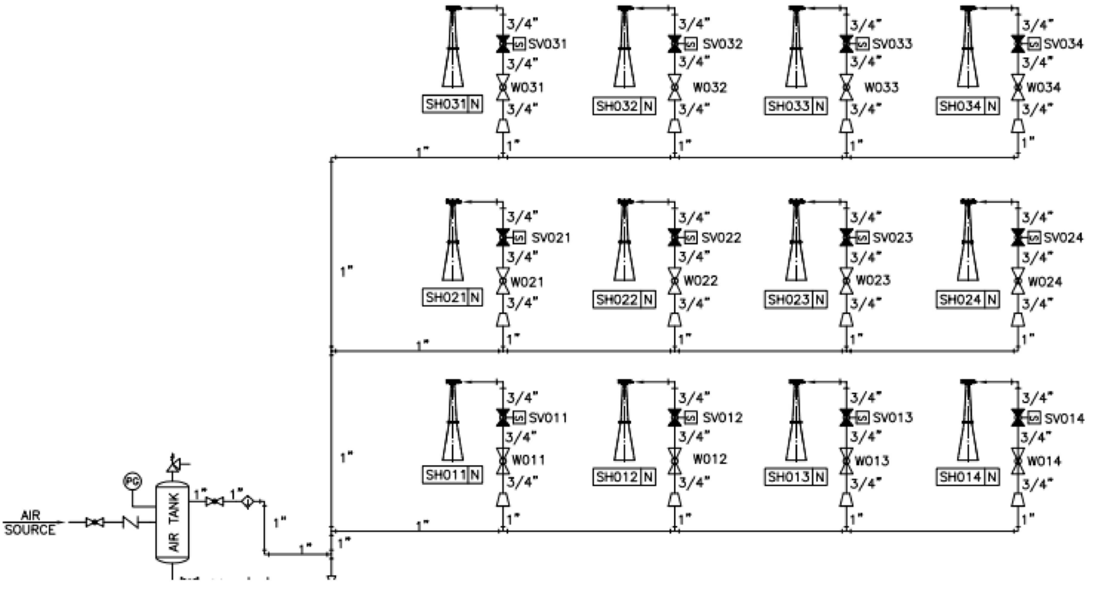


圖 6　PLC & 圖控系統

現場機械施工部分，則需將欲安裝 SCR 外殼與保溫棉拆除。爾後先將固定環裝上，再與本體焊接結合。待接合之後還須將原來的保溫復原，於音波管外安裝一保溫箱。音波管安裝結束之後，方可由 SCR 另一側空壓桶拉出 1 條壓縮空氣管路連結至音波管。為了方便未來現場人員做音波管的保養維護工程，亦有增設操作平台以利其作業 (如圖 7)。操作模式可分為半自動與全自動模式。在半自動模式時，只需要預先設定每一支音波管的運轉時間，在點選啟動按鈕之後，系統即會使音波管自行運轉 (從第一支音波管開始)。全自動模式則多了週期循環選項，方便操作者設定音波管運作的時間長短以及循環週期。

研究對象的觸媒總共 3 層。第一層由於灰份進去較多，因此在人工設定吹灰間隔時，間距時間較短。二、三層的灰份因被第一層過濾掉較多，因此吹灰間隔時間較長。實際的間格時間設定，則依據工程師判斷現場狀況而有所不同。

圖 7　利於維修音波管之操作平台

在安裝新型音波管 AC60 後，SCR 壓差下降，積灰狀況改善 (如圖 8) 證實音波管吹灰產生效果。此外，新安裝之音波管也可延緩壓差產生，藉此延長觸媒的使用時間。由於研究對象證實 AC60 音波管對於積灰改善的效果顯著，因此該廠的另一部機組也從舊音波管型號 DC75 全數升級為新型 AC60。

圖 8　安裝 AC60 後積灰現象立即改善

四、運轉效益改善建議

上述安裝音波管實例亦可提供其他電廠作為參考。另有台灣某一電廠脫硝設備大修時發現各層觸媒層都有程度不一的積灰，其中以 A 側第一層最為嚴重 (如圖 9)。而在積灰清除後發現該觸媒模組有一半以上的觸媒單元上側都有破損 (如圖 10)，甚至有 8 塊模組的觸媒單元已完全消失。因此氣流流速加快從破洞處向下吹蝕，造成周遭觸媒單元陸續破裂，也加速下層觸媒擔體之破裂速度。

圖 9　A 側第一層積灰最嚴重

圖 10　一半以上觸媒單元上側皆有破損

從清灰的粒徑發現，除飛灰之外，尚有許多如礫石般大小的積灰結塊 (如圖 11)，造成蜂巢式觸媒孔洞嚴重堵塞。積灰產生將影響脫硝效率，也會造成觸媒層壓損增加，影響觸媒活性，減少觸媒使用壽命。雖現場初始設計已有 DC75 音波管，檢查中依舊發現以下現象：

1. 空氣壓力來源不足，致使廠內無法同時提供穩定的空氣源。除了改善空氣源之外，亦可新增空氣壓力錶以隨時監測空氣壓力是否充足。
2. 部分空氣管路堵塞，導致音波管無法發聲。從停機檢修可發現音波管內部嚴重積灰。
3. 部分膜片破裂，導致無法發聲。可能原因為空氣源不穩定，或是空氣源含有水份。其他機組同樣設計，在大修時也都有發現音波管發聲室嚴重銹蝕。

圖 11　大顆粒飛灰 (LPA) 造成觸媒堵塞

以上所有問題的累積，嚴重影響音波管清灰效果，更導致觸媒嚴重積灰，壓差上升。建議除了改善空氣來源問題外，將舊有全數音波管升級為 AC60，提升效率。

建議現場除了將原有音波管更新為新型 AC60 之外，也可藉由每次停機檢修時間來掌握 SCR 內部狀況，評估是否也於其他設備 (如：ECO, APH 等) 新增 AC60 音波管以杜絕積灰現象產生，避免積灰架橋影響氣灰輸送。不積灰除了可使電廠設備運轉穩定，亦可增加設備效益，降低停機清灰成本，避免二次揚塵，使其能在每次歲修來臨前維持可靠穩定運轉與善盡企業環保責任。

參考文獻

Adnan Shaikh and Nilaj Deshmukh (2017), Simulation and Experimental Study of Acoustic Waves for Cleaning of Soot in Process Equipment, Atlantics Press.

David. T. Blackstock. (2000), Fundamentals of Physical Acoustics, John Wiley and Sons, p.4-18

EPA. (2003), FS: Selective Catalytic Reduction (SCR), US Environmental Protection Agency.

Jeff Shelton, Arthur Bosshart, and Clyde Strope. (2013), Improving SCR Efficiency by Eliminating Buildups with a Combination of Air Cannons and Sonic Horns, 2012 MEGA Symposium Paper #127: pp. 2-6

Power Magazine. (2003), SCR Catalyst Cleaning: Sootblowers vs. Acoustic Horns, Issue 5 and Volume 107.

廢棄物類

建構有機剩餘資材能資源化之循環經濟平台

吳俊毅 * 、王振興 **、鐘明吉 ***

摘　　要

在農業生產及農產品加工過程中，衍生許多有機剩餘資材，包括：禽畜糞、枯枝落葉、桔梗、粗糠、菇包木屑等。若擴大至事業有機剩餘資材，還包括：食品加工廠的下腳料、過期食品、咖啡渣、茶渣、有機污泥、蛋品廠的廢棄蛋殼、中央廚房與團膳公司的廚餘、醬油廠的豆粕、酒廠的酒糟、紙廠的漿紙污泥與清洗回收寶特瓶產生的有機污泥等。目前再利用途徑為回收處理後，經長時間醱酵為有機質肥料或飼料添加料，但礙於資源化技術門檻無法提升、處理成本相對高、經濟效益低以及後端去化市場狹隘等因素。本團隊建議解決之道在於建構循環經濟平台，以有機剩餘資材處理廠為主軸，系統化分類、分選、摻配、轉質與加值化開發多元產品與發展新商業模式，包括 (1) 固態再生燃料 (SRF) 轉換能源的收入，提供生質電廠蒸汽、綠電以及燃燒後飛灰供有機廢水做為沉降劑與底渣資源化土壤改良劑使用，(2) 透過快速製肥程序，以微生物作為催化劑，控制有機質、碳氮比 (C/N)、含水率、反應溫度、pH 與電導度 (EC) 等參數，於 6~8 小時內製成有機肥料供肥料廠回歸農地使用，(3) 調整有機質、粗纖維、粗蛋白與粗脂肪等成分與反應參數，製成飼料添加料供飼料廠給禽畜養殖，轉成飼料、食料、農業 (養殖) 剩餘資材等循環再利用，以及 (4) 科技化系統平台服務與管理，打通循環經濟的靜脈產業，整體規劃兼顧經濟 (Economy)、環境 (Environment)、

能源 (Energy)、生態 (Ecology) 等 4 個 E，完成循環產業，重拾蓬勃孕育的經濟平台。

【關鍵字】剩餘資材、生質電廠、固態再生燃料、有機肥料、飼料添加料

* 國立成功大學環境工程學系 博士後研究員
** 遠東科技大學機械工程系 特聘教授
*** 遠東科技大學 副校長講座教授

一、前言

循環經濟不同於線性經濟，線性經濟代表「開採 → 製造 → 消費 → 丟棄，從搖籃到墳墓」，是自工業革命以來歷經二百年多年的主要經濟體系特徵，無法永續運作，此種模式並未正確看待資源與廢棄物的價值。循環經濟則是永久續存且帶來正面影響的生產製造方式，從搖籃到搖籃，它並非只是單純的資源回收，或是向社會大眾所倡導的降低負面衝擊，而是儘可能全盤考量檢視。由於台灣無天然礦產，且超過 90 % 的能源、肥料、飼料以及部分原物料皆須仰賴進口，如此工業化的線性經濟模式，在資源供需與價格波動雙重影響下，除了浪費資源且易造成環境生態與市場經濟失衡。國內長期受限於「低價的在地資源」與「有限經濟規模的消費市場」的困境中，既無法掌控能源與原料端，也缺乏後端消費市場的支撐與規模，因此能源與資源耗竭，始終扮演著「結構性」的弱者。

農業有機剩餘資材種類繁多，如桔梗、豆粕、粗糠、蔬果渣、枯枝落葉、菇包木屑、禽畜糞等；此外，中央廚房與團膳的廚餘、食品加工廠衍生的過期食品與下腳料、茶渣、咖啡渣、豆渣、有機污泥與醬油廠、酒廠、紙廠、蛋品廠等事業有機剩餘資材，由於含水率高、成分複雜、容易腐敗與臭味逸散等難以處理問題。若經由傳統掩埋及焚燒處理，非但成本高且浪費資源，同時造成二次污染，因而有機剩餘資材處理成為各國重視議題。環保署雖致力補助推動各縣市設置堆肥場，藉以提高有機剩餘資材的利用率。但礙於傳統堆肥場帶來的惡臭、醱酵時間冗長等問題往往招來週遭居民抗爭，而使堆肥場難以持續營運，在新設堆肥場越來越不易許可設立下，亟需發展創新能資源化技術、固態再生燃料、有機肥料、食料與飼料添加料等多元產品應用以及建構循環經濟平台之重要性。團隊持續開發多項資源化技術 (陸續獲得國內外專利) 和衍生多元產物應用以及過去輔導多家廠商，所彙整之建構循環經濟架構圖，如圖 1 所示。

* 資料來源：本團隊自行開發規劃建構能資源循環經濟架構圖

圖 1　多元有機剩餘資材創造多元產品與循環經濟架構圖

二、文獻回顧

國內外有機廢棄物資源化處理技術，包含探討固態再生燃料的熱值、生質炭研究、有機肥料製作、飼料添加料摻配等以及多元應用，包含固態再生燃料、豆渣、肥料與飼料等應用。關於固態再生燃料文獻探討，羅時芳等人提出將製材廠邊角料、稻穀 (稈)、菇包木屑、棕櫚殼等農業廢棄物，經由造粒程序後作為固態生質燃料使用。生質能產值有逐年成長趨勢，據統計 2010 年產值達 68.42 億元，占整體產值 77%，2016 年則成長至 102.94 億元，占比高達 92%。經濟部已公告燃煤與燃油鍋爐可與固

態再生燃料 (木顆粒、棕櫚殼、菇類木屑等) 混燒，解決廢棄物去化管道。許育銘等將廢棄菇包透過熱裂解、焙燒、衍生燃料擠壓成型等製程，實驗分析不同溫度、持溫時間等參數，結果顯示廢棄菇包，具灰分、含硫量低且乾基熱值高等特性，熱裂解試驗結果，固定升溫速率 10 °C/min，於最終溫度 400°C 時視為最佳參數，熱值 6,473 kcal/Kg，綜合分析結果性質接近煤炭，降低煤炭開採與污染。

吳俊毅等人藉由脫氧改質專利技術，將有機污泥直接釋放水分，短暫過程中 (1) 高溫環境殺菌 (2) 藉由油炸調理改質，油滲入快速脫水，造成生物細胞脫水毛細孔被廢油填去，產生吸油效果 (3) 細菌與黴菌不易孳生，脫氧後油層會阻隔空氣不易產生臭味 (4) 改質後易成型、熱值高且能長期保存 (5) 燃燒後生質炭作為土壤改良劑或吸附劑。試燒驗證空氣排放 (硫氧化物、氮氧化物、含氯量) 皆符合歐盟標準，優於燃煤排放標準與熱值。洪駿耀等提出利用不同摻配比例之生質廢棄物、碳黑及廢食用油進行混合壓錠以研製人造煤，實驗結果摻配比例碳黑 50 wt%、廢木竹類 24 wt %、廢紙類 10 wt %、廢纖維布類 10 wt %、廢食用油 5 wt % 及碳酸鈣 1 wt % 人造煤較相似於天然煤，熱值為 6,941 kcal/kg、固定碳為 39.63 wt%、碳含量為 68.53 wt%，此配比人造煤與天然煤總相似度約達 62%。概算操作成本與固定成本約為 678 元 / 噸，相較於購置燃煤每噸約 2,000 元價格便宜。Gui-Qing Liu 等學者將製成固態衍生燃料 (RDF) 前添加氫氧化鈣，並與鹽酸反應形成氧化鈣，由 Ca/Cl 莫耳比改變 (0~13)，其含氯量 (由 0~ 近 70%)。針對 RDF 的 1~5 分級，其淨熱值 >5,900 (kcal/kg)、含氯量≦ 0.2%、含汞量≦ 0.02% 等規範，試燒後尾氣空氣污染物符合排放標準。Francisco D. 等學者針對中到大固體廢棄物，經由前處理 (破碎、粉碎、磁選、渦電流、滾動篩選與成型等多重程序) 製成 RDF 資源化為最佳解決途徑，探討 3 種不同樣品在流體化床燃燒行為以及灰渣分析，操作溫度 754~906℃，操作變因為進料率與進氣，燃燒過程中 2.6~4.3% 的氮氣衍生為氮氧化物 (NOx) 與探討燃燒過程的高位發熱量 (HHV) 與低位發熱量 (LHV) 以及灰渣含有氮、硫、氯與微量元素等。Antonio C. Caputo 等學者探討固態衍生燃料產線動態分析、最小到最大的處理規模、運輸成本、燃燒效率、低位發熱量 (LHV) 要求 >4,000kcal/kg 等技術層面與考量 (RDF、轉換為能源銷售、回收物質、生質炭做為肥料等) 多項產物的市場價格與衍生效益，整體經濟可行性評估，

總投資成本包含購買設備成本、設備安裝試車、分析設備、管線、電力、建築物與土地持有成本、人力操作成本、攤體折舊成本等。

關於有機肥料文獻中，陳暐楨等採用直立式堆肥槽，探討豆渣在堆肥過程中化學成份及微生物族群變化之研究。實驗結果將豆渣及稻殼分別以 1:1、1.5:1 及 2:1 比例混合時，可於 6、8 及 12 天內達到腐熟階段，產品符合 C/N、pH 及種子發芽率等指標。由傅氏轉換紅外線光譜 (FTIR) 分析發現，脂肪族、磷化物、氨化合物及碳氫化合物等有機物之官能基被破壞分解，芳香族官能基含量增加，產品具較高芳香族結構及穩定性。Marina Fernández-Delgado 等學者發現大量使用無機肥料會增加土壤鹽分，降低作物對養分的最佳吸收。有機碳是控制土壤養分水平和植物吸收養分的基礎。研究開發以混合城市垃圾中的堆肥為原料回收有機碳的技術。使用有機殘留物化肥可以替代礦物肥料，提出田口實驗設計，以選擇最適合從有機殘渣中回收有機碳的操作條件。實驗最佳提取條件：固液比 1:2.5，1M 氫氧化鉀 (KOH)，72h，粒徑 >1mm，提取物中總有機碳濃度為 6.9%w/w，其中腐植酸含量為 47.6%，並符合法規進行發芽試驗以分析有機提取物的植物毒性作用。

三、固態再生燃料 (SRF)

轉廢為能，近年來環保署積極推動固態再生燃料 (Solid Recovered Fuel，SRF)，廢料來源包含廢紙張、廢木材 (木屑)、廢塑料橡膠與纖維 (舊衣回收、廢標籤與廢輪胎) 等，具有低環境衝擊、低燃料成本與應用於高效能循環式流體化床、新式鍋爐與燃燒設施等優勢，減少石化原料和天然資源 (煤礦、天然氣) 開採、浪費以及燃燒後所產生的硫氧化物 (SOx) 超標等空污問題。本團隊曾將多種有機污泥 (食品污泥、漿紙污泥、清洗寶特瓶有機廢水衍生等)、咖啡渣、豆渣、棕梠渣等多元有機剩餘資材與添加少比例回收切削矽泥分選後的矽粉 2~5% 等，與廢食材 (下腳料、過期澱粉、廢食用油等) 適當比例調配、擠出成型、調理浸漬與脫氧改質等程序，客製化製成高熱值固態再生燃料棒，其處理流程如圖 2 以及實驗燃料成品與火箭爐試燒過程的照片彙整如表 1 所示，分析熱值範圍 4,500~ 6,800(kcal/kg)，高於一般木質顆粒燃料平均熱值 4,200(kcal/kg)，應用於鍋爐廠、有機溶劑處理廠、汽電共生廠、水泥窯廠等需要

大量能源場所，進行混燒與輔助燃料，達到能資源再利用目的。由於燃燒後產生飛灰與底渣具高鹼性，飛灰可轉質再利用供有機廢水或沼渣沼液做為快速沉降劑，取代傳統多元氯化鋁 (PAC) 與高分子凝集劑 (Polymer) 以及底渣資源化作為土壤改良劑使用，藉以改善酸化與鹽化土質。本團隊針對 5 組不同剩餘資材進行不同比例摻配前處理，利用火箭爐試燒分析灰燼之實驗結果彙整如表 2。表 2 中實驗燃料重量皆為 200 公克與燒水體積皆為 200 毫升，實驗結果分析第 1 組試燒後的灰燼比例最高接近 30%，推測原因含有 10% 高熱值矽粉 (回收太陽能切消矽泥，經浮選純化後的產物，燃燒熱 7,643 kcal.kg) 與 10% 小蘇打粉，增加燃燒效率與灰燼重量，灰燼後續可資源化應用。第 4 組燃燒時間最長，推估原因與廢料種類和比例有關 (有機污泥 90% 與棕梠渣 10%，含碳量相對高)。第 5 組透過微波除水前處理與脫氧改質等快速程序增加含油量 (高熱值，8,000~12,000 kcal/kg)，其燃燒效率最高且灰燼比例最低僅約 9.5%。歐盟 EN 15359：2011 針對固態再生燃料分類以淨熱值 (Net Calorific Value , NCV)、氯含量 (Cl)、汞含量 (Hg) 等 3 特徵含量做為分級標準說明如表 3，團隊所製作高熱值 SRF 明顯優於一級標準。團隊製成的高熱值固態再生燃料試燒時，進行尾氣排放採樣分析結果，對比環保署固定污染源排放項目，包括硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳、硫化氫、總懸浮物與重金屬鉛和鎘，其排放濃度皆符合標準，如表 4。

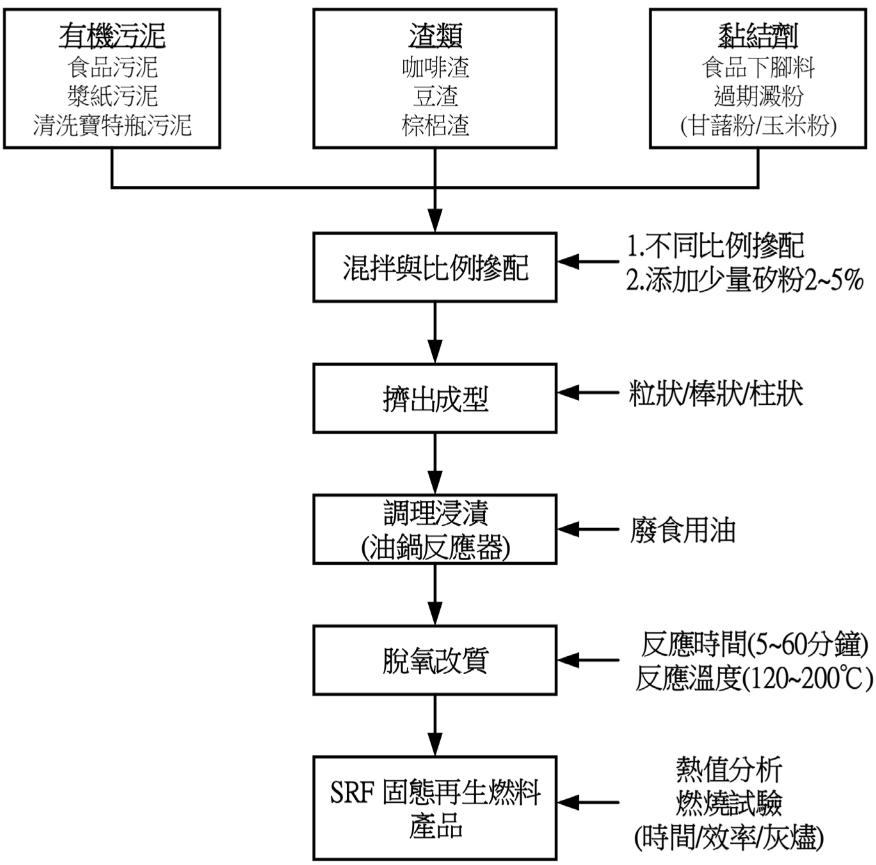


圖 2　高熱值固態再生燃料處理流程圖

表 1　高熱值固態燃料成品與火箭爐試燒過程之照片彙整

照片 **1** 高熱值固態再生燃料 **(** 棒狀 **)**

照片 **2** 高熱值固態再生燃料 **(** 圓柱狀 **)**

照片 **3** 高熱值固態再生燃料 **(** 圓柱狀 **)**

照片 **4** 高熱值固態再生燃料 **(** 重量 **1,000g)**

照片 **5** 火箭爐燃燒高熱值 **SRF** 情形

照片 **6** 高熱值 **SRF** 燃燒實驗後的灰燼

表 2　5 組不同條件的固態再生燃料 (SRF) 試燒數據分析彙整表

No.	名稱 (成份 / 重量比)(原因)	燃料重量	燒水體積	燃燒後灰燼 (g) 灰燼比例 (%)
1	有機污泥 70%+ 棕梠渣 10%+ 回收矽粉 10%+ 小蘇打粉 10%	200g	200ml	59.565 29.78(最高)
初水溫 (℃)	末水溫 (℃)	至沸騰燃燒時間		整體燃燒時間
33.2	100.0(沸騰)	6:33		32:05
2	棕梠渣經破碎 / 粉碎 / 過篩，擠出成型再脫氧改質 (製程最快，節能且成本最低)	200g	200ml	42.183 21.09
初水溫 (℃)	末水溫 (℃)	至沸騰燃燒時間		整體燃燒時間
31.5	100.0(沸騰)	8:31	25:17	
3	漿紙污泥 (100%)	200g	200ml	44.007 22.00
初水溫 (℃)	末水溫 (℃)	至沸騰燃燒時間		整體燃燒時間
33.4	100.0(沸騰)	7:47	22:48	
4	有機污泥 (90%)+ 棕梠渣 (10%)	200g	200ml	37.138 18.57
初水溫 (℃)	末水溫 (℃)	至沸騰燃燒時間		整體燃燒時間
32.7	100.0(沸騰)	8:24		36:31(時間最久)
5	咖啡渣 (10)+ 漿紙污泥 (3)+ 澱粉 (1) → 微波除水→脫氧改質 200g → 224g(油量約 12%)	200g	200ml	19.005 9.51
初水溫 (℃)	末水溫 (℃)	至沸騰燃燒時間		整體燃燒時間
32.8	100.0(沸騰)	5:51(效率最高)		28:41

表 3　固態再生燃料分級標準 (Solid Recovery Fuel, SRF)

項目	單位	1 級	2 級	3 級	4 級	5 級	市售 SRF	高熱值 SRF
淨熱值	MJ/kg	≧ 25	≧ 20	≧ 15	≧ 10	≧ 3	> 17	26.45
	Kcal/kg	≧ 5,981	≧ 4,785	≧ 3,589	≧ 2,392	≧ 781	> 4,200	6,350
氯含量	%	≦ 0.2	≦ 0.6	≦ 1.0	≦ 1.5	≦ 3	< 0.15	0.12
汞含量	mg/MJ	≦ 0.02	≦ 0.03	≦ 0.08	≦ 0.15	≦ 0.50	N.D.	N.D.

備註：1.EN 15359：2011 對 SRF 的分類以淨熱值 (Net Calorific Value , NCV)、氯含量 (Cl)、汞含量 (Hg) 等 3 特徵含量做為分級標準。

2. N.D.：小於儀器最小偵測極限。

3. 市售 SRF 約等同於 3 級標準。

4. 團隊的高熱值 SRF 優於 1 級標準。

表 4　固態再生燃料試燒時尾氣排放標準與分析比較表

項目 (單位)	固定污染源排放標準	市售 **SRF**	高熱值 **SRF***
硫氧化物 SOx(ppm)	300	19	2.5
氮氧化物 NOx(ppm)	350	83	8.9
一氧化碳 CO(ppm)	2,000	0	0
氯化氫 HCl(ppm)	80	2.3	0.2
總懸浮微粒 TSP(mg/Nm^3)	100	41	4.5
戴奧辛 (ng-TEQ/ Nm^3)	1	0.003	－
鉛 (mg/Nm^3)	1	N.D.	N.D.
鎘 (mg/Nm^3)	1	N.D.	N.D.

備註：1.N.D.：小於儀器最小偵測極限。2.*：採樣委託分析。3. －：無分析。

關於煤炭與木屑製成、有機污泥製成與團隊製成的 3 種固態再生燃料產品之成本分析，包含料源取得成本、製造成本、燃燒後灰燼處理成本、隱形成本等項目與售價，以及發電效益初步概算彙整說明如表 5，如何利用有機剩餘資材，透過創新資源化處理技術，創造高熱值固態再生燃料，減少天然資源開採與降低空氣污染，節省廢棄物委託清除處理費、實際解決多項廢棄物去化問題與食安疑慮 (廢食用油)，並且衍生發電效益。透過團隊能資源化處理技術，能將 1 噸的有機剩餘資材加值化創造約 5,400 度的電力，換算為 16,000 元的綠色能源經濟效益。

表 5 煤炭與固態再生燃料產品成本分析與發電效益彙整表

（單位：新台幣）

	煤炭	木屑製成 **SRF**	有機污泥製成 **SRF**	團隊高熱值 **SRF**
1. 資源型式	天然資源	再生資源	再生資源	再生資源
2. 採購成本或節省處理費 *1	-2	-0.5	5*2	20.4*2
3. 製造成本 *3	—	-1	-5	-1
4. 灰燼處理成本或再利用效益 *4	-0.5	0.6	0.6	0.6
5. 售價	—	2	2	2
合計 (2~5)	-2.5	1.1	2.6	22
6. 隱形成本	天然資源枯竭開採＋環境成本	—	—	—
7. 空污問題	嚴重空污	符合	符合	符合
8. 熱值 (kcal/kg)	6,000	4,200	4,000~4,500	4,500~6,800
9. 衍生問題 / 效益	國內無豐富煤礦資源	粉塵 / 料源 / 運輸 / 環保效益	乾燥 / 耗能 / 解決污泥去化	同時處理多元廢棄物
10. 發電效益 *5	15,700 元	10,988 元	5,500 元	16,220 元

計算說明：

*1：採購成本指台電或公民營企業向國外進口煤炭，平均採購成本 -2 元 /kg，節省處理費指有機污泥屬一般廢棄物清除處理費用 (5,000 元 / 噸→換算 +5 元 /kg)。

*2：有機污泥製成 SRF 需 (1) 乾燥有機污泥 (-1.7 元 /kg)+(2) 添加除臭劑 (-0.3 元 /kg)+(3) 擠出成型 (-0.5 元 /kg)=(-2.5 元 /kg)，乾燥後含水率降為 40~50% 約需要 2 倍重量 =(-5 元 /2kg)。本團隊製成 1kg 高熱值 SRF 需 4kg 有機剩餘資材 (如污泥、豆渣)×5 元 /kg =(+20 元)，含水率 80% 的有機污泥 4kg×20%=0.8kg，廢食用油 =0.2kg×+2 元 /kg=(+0.4 元)，合計 +20.4 元。

*3：木屑製成 RDF-5 擠出成型 (-0.5 元 /kg)= (-1 元 /kg)。有機污泥製成固態再生燃料需 (1) 乾燥有機污泥 (-1.7 元 /kg)+(2) 添加除臭劑 (-0.3 元 /kg)+(3) 擠出成型 (-0.5 元 /kg)= (-2.5 元 /kg), 乾燥後含水率 50% 需要 2 倍重量 =(-5 元 /kg)。本團隊經擠出成型 (-0.5 元 /kg)+ 脫氧改質過程中除水，水分迅速降低 (-0.5 元 /kg)，整個處理成本約花費 (-1/kg)

*4：灰燼處理成本指燃燒後重量約為原燃料 10%，處理費 (-5 元 /kg)，換算 (-0.5 元 /kg)，使用者付費 -2-0.5= -2.5 元 /kg，再利用效益指燃燒後重量約為原燃料 10%，再利用售價 (+6 元 /kg)，換算為生質炭 (+0.6 元 /kg)

*5：(1) 將煤炭作為燃料發電，1 噸 ×10^3(公斤 / 噸)× 熱值 6,000(大卡 / 公斤)× 燃煤鍋爐效率 75%/ 單位換算 860(大卡 / 度)× 電費 3(NT/ 度)= 約 5,233 度電力 = 約 15,700 元。(2) 將木屑作為生質燃料發電，1 噸 ×10^3(公斤 / 噸)× 熱值 4,200(大卡 / 公斤)× 燃煤鍋爐效率 75%/ 單位換算 860(大卡 / 度)× 電費 3(NT/ 度)= 約 3,662 度電力 = 約 10,988 元並降低空污防制費。(3) 將有機污泥作為生質燃料發電，1 噸 × 改質含水率轉換 (50%)×10^3(公斤 / 噸)× 熱值 4,200(大卡 / 公斤)× 燃煤鍋爐效率 75%/ 單位換算 860(大卡 / 度)× 電費 3(NT/ 度)= 約 1,831 度電力 = 約 5,500 元並降低空污防制費。(4) 團隊將有機剩餘資材作為生質燃料發電，1 噸 ×10^3(公斤 / 噸)× 熱值 6,200(大 / 公斤)× 鍋爐效率 75%/ 單位換算 860(大卡 / 度)× 電費 3(NT/ 度)= 約 5,407 度電力 = 約 16,220 元並降低空污防制費。

四、快速製作有機肥料

有機肥料是農用資材中用量最大且對土壤肥力增進最重要的資材，由於土壤中有機質含量為土壤肥重要指標之一。近年來石油價格高漲，化肥價格居高不下，且大量施用化學肥料導致土壤普遍酸化、劣化嚴重，因而增加改良土壤有機質肥料需求。近來環保意識高漲、生產者對農業生產覺醒、消費者對食品安全之關切與重視，皆強化市場對於有機質肥料需求。依據農委會統計資料，目前國內有超過 300 家的傳統堆肥場，對於農業或食品剩餘資材處理能力亟需提升，本團隊利用微生物作為催化劑，快速製肥技術可解決此一問題。本技術針對食品加工業所衍生數量龐大的豆渣為原料，添加菇包木屑、禽畜糞、粗糠與咖啡渣等輔助資材，調整有機質、碳氮比為 30:25 等，於 6 ～ 8 小時內快速醱酵為有機質肥料，可節省大量時間與土地面積，並有零污染、零廢棄、有機質品質穩定、無病菌蟲卵殘留等優點。本技術利用催化劑增加分解菌等各類菌種 (包含益生菌、溫泉嗜熱菌、芽孢桿菌與酵母菌等) 的數量，流程包括第一階段的升溫、除臭殺菌、抑制有害菌成長與減少醱酵過程中異味散發等；，接著第二階段的持溫、增加好氧菌種的醱酵過程，以及最後第三階段的持溫、好氧醱酵、除濕排氣與最終產物含水率需低於 35% 符合農委會有機肥料規範。本團隊自行開發「轉廢成金，衍生綠金」的快速製肥技術，包括天然菌種、醱酵溫度、產物分析驗證與輔導南部最大豆類食品加工廠所產生的豆渣進行快速製肥，處理流程如圖 3。

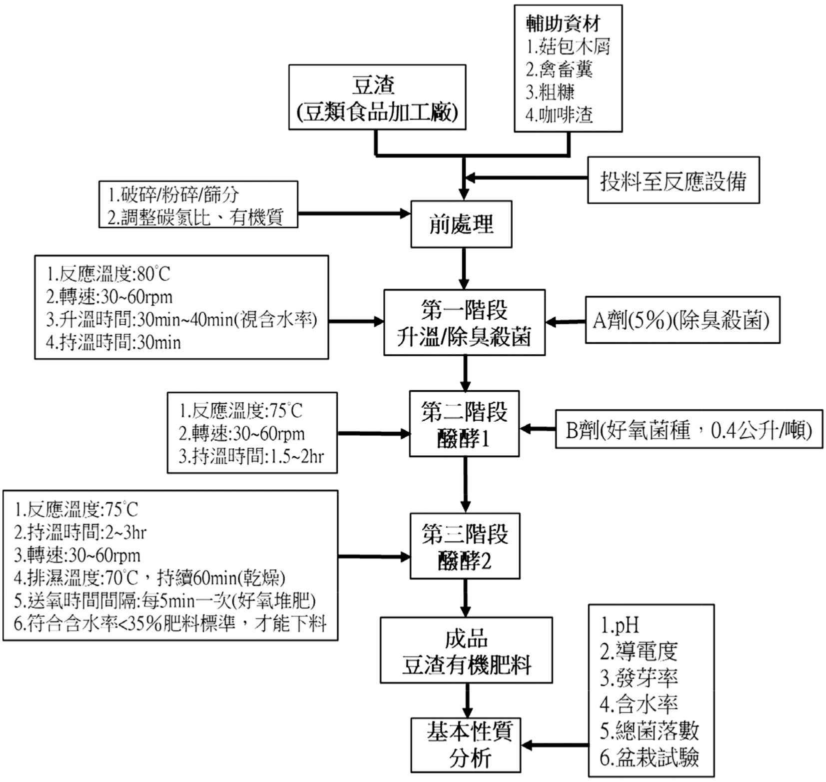


圖 3　豆渣快速製肥處理流程圖

資料來源：本團隊自行開發有機剩餘資材快速製肥技術

本技術針對南部最大某食品加工廠產生的豆渣，進行基本性質分析與參數計算，含水率、pH、電導度 (EC) 與催化劑量計算等，彙整如表 6。將豆渣製成有機肥料，若欲確認有機肥料是否腐熟指標與判斷是否含有抑制種子發芽的毒性物質，則可將豆渣製成有機肥料進行種子發芽率測試，4 天後的三重複測試結果皆為 100% 符合發芽率至少需大於 80% 規範要求如表 7。有機肥料腐熟程度能由外觀與種子發芽率測試判斷，一般有機堆肥外觀顏色為深黑色或黑褐色，膨鬆感覺，吸水能力強，味道為土香味，不能有臭味或濃厚的氨氣味，即是穩定化。醱酵不良品質不好堆肥，通常顏色為黃色或黃褐色。有機堆肥品質對於作物生長與環境衛生有很大影響，有機肥料品質可藉由種子發芽、pH、電導度、堆肥顆粒大小等幾種方法來判定，其中種子發芽最能精確直接地反應種子的活力。

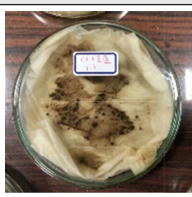
表 6　食品加工廠豆渣之基本性質分析

項目	豆渣
原料重量 (kg)	166
含水率 %	47.82
pH	5.8
電導度 (EC) (mS/cm)	3.8
A 催化劑 (L)	6.66
B 催化劑 (ml)	498

算法：A 催化劑 (L) ＝總重量 (原料 + 有機輔助添加物)× 5%，如：100kg+5kg
B 催化劑 (ml) ＝總重量 (原料 + 有機輔助添加物)× 4，如：10(噸)+4L

表 7　豆渣製成有機肥料之白菜種子發芽率測試

豆渣製成有機肥料之發芽率測試實驗的種子：白菜種子
(購買自農〇種苗科技股份有限公司)

天數	第一實驗組 (豆渣有機肥料)	第二實驗組 (豆渣有機肥料)	第三實驗組 (豆渣有機肥料)	對照組 (純蒸餾水)
第 1 天	 0%(0/25)	 0%(0/25)	 0%(0/25)	 0%(0/25)
第 2 天	 4%(1/25)	 4%(1/25)	 4%(1/25)	 96%(24/25)
第 3 天	 84%(21/25)	 88%(22/25)	 84%(21/25)	 96%(24/25)

天數	第一實驗組 (豆渣有機肥料)	第二實驗組 (豆渣有機肥料)	第三實驗組 (豆渣有機肥料)	對照組 (純蒸餾水)
第 4 天				
	100%(25/25)	100%(25/25)	100%(25/25)	100%(25/25)

註：原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

將豆渣製成的有機肥料與菇苞木屑 (對照組) 進行 5 週盆栽試驗結果比較如表 8。本研究同一時間從 2021 年 3 月 30 日豆渣有機肥料之盆栽試驗生長直到 2021 年 4 月 30 日採收，開始福山萵苣種植前長度每株高平均 3cm，生長期間試驗結果發現在第 4 週生長高度每株約為平均 15cm，而且相對比對照組的長得快，葉片也較茂盛，菇苞木屑盆栽試驗種植前每株高平均約 3cm，在 4 週後生長總高度平均約 9cm，由此看出有添加豆渣有機肥料生長速度較快、色澤也較亮，推測原因豆渣氮含量相對較高，轉化為氮肥可促進葉菜類的葉子變大，其他含鉀的農業廢棄物包含粗糠、麥稭、玉米稭、甘蔗渣、稻草、木屑、草木灰等，其中木屑、咖啡渣的碳氮比之碳含量相對較高。

表 **8**　豆渣快轉製肥之產物與對照組進行盆栽試驗比較彙整

肥料 / 種植時間	豆渣有機肥料 (cm) A	對照組 (菇包木屑) (cm) B	高度差異 (cm) A-B
種植前	3	3	0
第一週	5.7	5.7	0
第二週	6.7	6	0.7
第三週	8	6.7	1.3
第四週	11	9	2
經過四週後 生長高度差異	12	6	6

五、快速製造飼料添加料

將食品加工廠所衍生的豆渣，調整有機質、粗纖維、粗蛋白與粗脂肪等成分與反應參數，製成飼料添加料供給禽畜養殖，轉成飼料原料、食料、農業 (養殖) 剩餘資材等循環再利用。由於豆渣含有蛋白質與高含水率，容易腐敗孳生雜菌與造成環境惡臭，且生豆渣中含有抗胰蛋白酶，阻礙動物體內胰蛋白酶對豆類蛋白質的消化吸收，引起腹瀉、影響生長。需將豆渣高溫煮熟，破壞抗胰蛋白酶成份後才可用於餵食，透過改質技術能將原始豆渣含水率由 87% 迅速降至 <15%，改質過程中高溫破壞豆渣內抗胰蛋白酶，提高豆渣脂肪含量，增加畜類換肉率。豆渣製成飼料添加料之實驗流程如圖 4，經前處理粉碎在超過 100℃反應槽中摻配不同比例的玉米飼料 (1:1，3:1，5:1 與單純小雞飼料對照組) 等，進行 2~3 小時反應轉質後，分析飼料添加料的基本性質以及後續雞隻飼養紀錄情形。豆渣含有粗蛋白與高含水率，容易腐敗孳生雜菌與造成環境惡臭，且生豆渣中含有抗胰蛋白酶，阻礙動物體內胰蛋白酶對豆類蛋白質的消化吸收，造成腹瀉、影響生長，需將豆渣高溫醱酵以達到殺菌效果，破壞抗胰蛋白酶成份後才可用於餵食，透過脫氧改質前處理程序能將原始豆渣含水率由 87% 迅速降至 <15%，改質過程中高溫破壞豆渣內抗胰蛋白酶，提高豆渣粗脂肪含量，增加畜類換肉率。本研究將小雞飼料與豆渣進行摻配調整飼料比為 1:1、3:1 和 5:1 以及 1 組單純小雞飼料進行餵養試驗比較，每次餵養重量為 150g，餵養時間為 1 個月，每週紀錄體重變化及食用。

4 組飼料摻配比例結果顯示，飼料比 5:1 幼雞體重比其他 3 組平均體重還高，推測可能原因為 (1) 豆渣比例較多殘留的味道比較刺鼻造成飼料會有殘留的情況。(2) 豆渣本身含有抗胰蛋白酶，會阻礙動物體內胰蛋白酶對豆類蛋白質的吸收消化，造成腹瀉、影響生長，因此需將豆渣高溫煮熟，破壞抗胰蛋白酶成份後才可用於餵食。(3) 由於飼料比 5:1 重量較高，小雞純飼料佔的比例較高，因此建議將豆渣做為輔助添加料，在購買飼料成本上可以減少，將幼雞體重變化彙整如表 9。

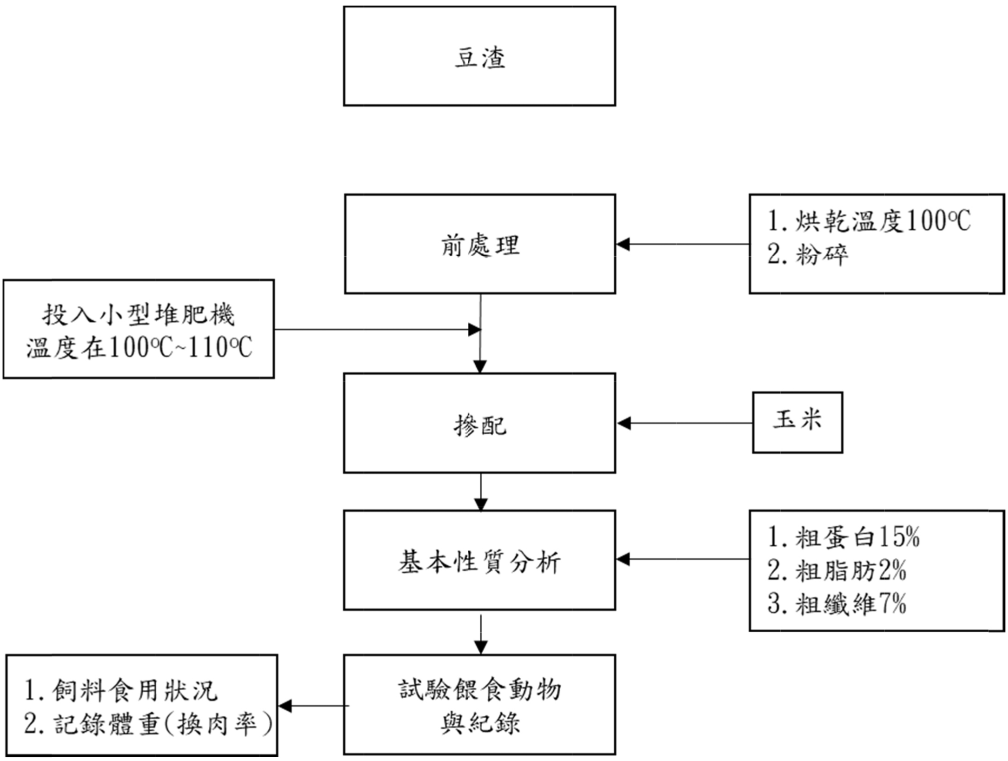


圖 4 豆渣製成飼料添加料實驗流程圖

表 9 小雞體重變化

飼料比 時間	豆渣比例 1:1 (g)	豆渣比例 3:1 (g)	豆渣比例 5:1 (g)	對照組 (g)
第一週	43.04	41.02	40.6	41.76
第二週	168.6	182.5	188.5	178
第三週	291.5	298.4	305.2	283
第四週	327.6	332.5	431.9	427.8
經過四週後增加的重量差異	284.56	291.48	391.3	380.04

六、結論

6.1 結論

1. 將農業有機剩餘資材能資源化，透過循環經濟平台，建構發展系統化分類、分選、轉質與加值化開發多元產品與新形態商業模式，包括 (1) 固態再生燃料 (SRF) 轉換能源，提供蒸氣、綠電使用，產生飛灰與底渣，飛灰可轉質再利用供有機廢水或沼渣沼液做為快速沉降劑以及底渣作為土壤改良劑使用。(2) 透過快速製肥程序，於 6~8 小時內製成有機肥料供肥料廠回歸農地使用，(3) 調整有機質等成分與反應參數，製成飼料添加料供禽畜養殖以及 (4) 科技系統平台服務與管理，藉以打通農業循環經濟的靜脈產業，建立多元有機剩餘資材再利用平台以及多元產品循環應用。
2. 針對有機污泥與渣類，摻配回收的矽粉藉以增加熱值與廢食材經由適當調配、微波除水前處理、擠出成型、調理浸漬與與脫氧改質等程序，製成固態再生燃料棒，分析熱值範圍 4,500~ 6,800(kcal/kg)，高於木質顆粒燃料平均熱值 4,200(kcal/kg)，團隊製作高熱值 SRF 明顯優於歐盟 EN 15359：2011 的固態再生燃料分類之一級標準 (淨熱值 >6,000 kcal/kg、氯含量≦ 0.2% 與汞含量≦ 0.02 mg/MJ)。團隊製成的高熱值固態再生燃料試燒時，進行尾氣排放採樣分析結果，對比環保署固定污染源排放項目，包括硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳、硫化氫、總懸浮物與重金屬鉛和鎘，其排放濃度皆符合標準。
3. 透過創新資源化處理技術，創造高熱值固態再生燃料，減少天然資源開採與降低空氣污染，節省廢棄物委託清除處理費、實際解決多項廢棄物去化問題與食安疑慮 (廢食用油)，並且衍生發電效益。透過團隊能資源化處理技術，能將 1 噸的有機剩餘資材加值化創造約 5,400 度的電力，換算為 16,000 元的綠色能源經濟效益，勝過煤炭熱值，且比每公噸木屑的發電效益超過 5,000 元。
4. 豆渣資源化有機肥料技術於 4~6 小時內製成，調整碳氮比為 30:25、有機質等，經檢驗分析驗證其肥力與有毒物質皆符合農委會有機肥料規範標準，進行盆栽試驗結果相對比對照組的長得快，葉片也較茂盛，菇苞木屑盆栽試驗種植前每株高平均約 3cm，在 4 週後生長總高度平均約 9cm，由此看出有添加豆渣有機肥料生長速度較快、色澤也較

亮，推測原因豆渣氮含量相對較高，轉化為氮肥可促進葉菜類的葉子變大。

5. 由豆渣快速製成飼料操作實驗，藉由雞隻飼養成長試驗結果得知，僅能做為飼料添加料，減少飼料購買成本。

6.2 建議

1. 將多元有機剩餘資材藉由分選、分類，如含鉀的農業廢棄物包含粗糠、麥稭、玉米稭、甘蔗渣、稻草、木屑、草木灰等，含磷的農業廢棄物包含雞糞、鳥糞等，木屑、咖啡渣的碳氮比之碳含量相對較高，經由快速製肥程序，製成特定用途的有機肥料，應用於含氮 (葉肥)、蛋白質含磷 (花肥) 與含鉀 (根肥) 等不同時期。
2. 持續開發不同種類的有機剩餘資材，包含廢棄蛋殼、咖啡渣、季節性蔬果加工廢料等，研發更低成本更優化的能資源處理技術、更加值化的產品與建構多元推廣應用平台。

參考文獻

吳俊毅等 6 人 (2017)，以有機廢水製造低鋁含量有機肥料之方法，中華民國發明專利，I601709，2017 年 10 月 11 日。

吳俊毅等 6 人 (2017)，以有機廢水製造天然富含鉀有機肥料之方法，中華民國發明專利，I574924，2017 年 3 月 21 日。

吳俊毅、林焜章、蔡翰陞、王泓傑 (2018)，食品廠衍生廢棄物能資源化高熱值固態生質燃料 / 中國鑛冶工程學會會刊，第 4 期，62 卷，p42-51。

吳俊毅等 3 人 (2016)，有機污泥與廢食用油整合性處理方法、衍生性燃料、飼料添加物，中華民國發明專利，I527770，2016 年 4 月 1 日。

吳俊毅等 6 人 (2018)，以有機污泥製備固態衍生性燃料之方法及其固態衍生性燃料，中華民國發明專利，I639693，2018 年 11 月 1 日。

吳俊毅等 6 人 (2019)，高熱值衍生性燃料製造方法，中華民國發明專利，I664282，2019 年 7 月 1 日。

洪駿耀 (2015)，人造煤製作及其特性之研究 / 國立臺北科技大學，環境工程與管理研究所，碩士論文。

黃育徵 (2017)，循環經濟，天下雜誌，ISBN 978-986-398-229-6。

莊作權 (1997)，土壤肥料，三民書局，ISBN 978-957-14-2550-4。

陳暐楨 (2006)，豆渣堆肥過程化學及微生物相變化，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所，碩士論文。

羅時芳、吳周燕 (2017)，臺灣生質燃料產業趨勢分析，中華經濟研究院綠色經濟研究中心，經濟前瞻，第 174 期，p112-117。

鐘明吉等 3 人 (2021)，有機質廢水快速沉澱裝置，中華民國新型專利，M606203，2021 年 1 月 1 日。

鐘明吉等 4 人 (2020)，多站式快速醱酵有機質的方法，中華民國發明專利，I702201，2020 年 8 月 21 日。

Andrea Monti et al.(2008),”Mineral composition and ash content of six major energy crops”, Biomass and Bioenergy 32, p. 216-223.

Anita Pettersson et al.(2008), Application of chemical fractionation methods for characterization of biofuels, waste derived fuels and CFB co-combustion fly ashes, Fuel 87, p.3183–p.3193.

Antonio C. Caputo.(2002), RDF production plants: II Economics and profitability, Applied Thermal Engineering 22, p.439-p.448.

Chien-Song Chyang et al.(2010), An investigation on pollutant emissions from co-firing of RDF and coal, Waste Management 30, p.1334-p.1340.

Francisco D. et al.(2007), Combustion of refuse-derived fuel in a fluidized bed, Chemical Engineering Science 62, p.627-p.635.

Gui-Qing Liu et al.(2001), Fundamental study of the behavior of chlorine during the combustion of single RDF, Waste Management 21, p.427-p.433.

Manara, A. Zabaniotou(2012),“Towards sewage sludge based biofuels via thermochemicl conversion-A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, p.2566-2582.

Marina Fernández-Delgado et al.(2020), Recovery of organic carbon from municipal mixed waste compost for the production of fertilizers, Volume 265, p.253-261.

Peregrina et al.(2008), Immersion frying for the thermal drying of sewage sludge: An economic assessment, Journal of Environmental Management 86, p.246–p.261.

Weng Chan, VongaShao-QuanLiuab(2016), Biovalorisation of okara (soybean residue) for food and nutrition, Volume 52, p.139-147.

環境規劃管理類

水質感測物聯網現地規劃與環境執法應用

彭書憶 *、陳范倫 **、米姿蓉 ***

摘　　要

有鑑於近幾年小型感測器技術日益成熟，以及資通訊技術突飛猛進，善用水質感測物聯網的優勢，可突破以往水質感測系統成本高、體積大限制條件，提供一高效化水網感測方案。依不同應用情境需求，本研究以應用於工業區、河川流域、農地灌渠、特定工廠放流口等水質時空數據，提供酸鹼值 (pH)、電導度 (EC)、溫度等感測數據，結合現地資料蒐集與布建規劃，可有效限縮污染熱區與可疑對象，配合後端稽查執法人員進廠採樣確認，驗證水質感測物聯網應用於輔助環境執法的成效。

【關鍵字】物聯網、水質感測、污染熱區、污染源頭追蹤、環境管理

* 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所　副研究員
** 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所　資深工程師
*** 行政院環境保護署環境監測及資訊處　技士

一、前言

本研究是基於環境保護署 106 年 ~110 年水聯網應用累積經驗整理 (環保署，2020、2021)，提出針對小型化感測器為主的具體作法供使用者參考運用。小型感測器原理簡易，長期浸泡於複雜的水質中容易隨時間與標準檢測方法產生誤差，故在數據應用及詮釋上需特別注意。然由於其具備價格便宜且感測頻率高優勢，可以提供高解析度時空數據，聚焦於水質數據變化趨勢，可有效掌握可能的污染熱區，對於微環境的污染徵兆的解析，具應用價值。

本研究基於善用水質感測物聯網的優勢，引導如何正確使用感測數據，提供給參與合辦水質感測物聯網工作及相關使用者參考運用。依據感測數據的應用目的，針對潛勢污染源鑑別、低溶氧熱區及教育使用等用途，提供感測器選址安裝、維運管理、數據品管等作業規則，在確保感測數據品質的同時，進而協助發展智慧化環境治理及推廣環境教育認知。

二、感測器與標準檢測方法的差異

小型感測器基於感測的原理與方式易受環境干擾，使得感測數據會與標準方法使用的設備產生誤差，使用者必須瞭解感測數據的運用限制，才能避免數據誤用。國內常見的水質資訊來源主要有人工採樣檢測、大型監測站、小型感測器（中央與地方應用），彼此間的差異詳如表 1 所示 (彭書憶等，2019)。

小型感測器相較於大型監測站，其具備高機動性可快速部署特性，可將整機浮於水面以電極接觸感測水質，以鋼纜或重錨固定位置，結合良好的維運及數據衰減判斷，與維持良好數據品質，由於占地面積小，通常具有更好的場域適性。以環保署主導開發機型為例，其具備酸鹼值 (pH)、電導度、溫度、溶氧 (DO) 感測項目，適用於易死魚河川、養殖埤塘、農田渠道及工業區排，可用於掌握水質變化並結合後續應變措施。

表 1　不同水質數據獲取方法之差異性

類型 項目	人工採樣檢測	大型監測站	小型感測器 （中央與地方應用）
圖片			
監測目的	法規監測	背景水質監測	污染熱區鑑定
數據應用	評估水體品質是否符合水質標準及政策訂定依據	確認關注水質污染程度，作為長期監測掌握背景水質	透過相對變化趨勢，鑑定小區域水質污染熱區及污染排放追蹤溯源以污染執法應用
感測形式	以標準採樣方法取樣後，現場以手持式設備量測酸鹼值及溫度，並將樣品保存送實驗室依標準方法檢測	為小型實驗站，透過抽水檢測，實現實驗室檢測流程自動化	透過抽水或接觸水方式感測，部分感測項為電極法，水中粒狀物則以光學法量測
數據準確度	高	中高	中
數據時間解析度	1 個月	1 小時	1 分鐘
使用限制	1. 能監測區域較少，且數據解析度較低，難以掌握水質污染情形。 2. 操作使用需專業訓練，且耗費成本高。	1. 占地面積大，且需供市電。 2. 初始購置及維護保養成本高，難以廣布。	1. 測值容易受干擾因子 (如生物膜等) 影響。 2. 維運校正耗費人力，且設備較易遭破壞。
應用場域	河川、工廠放流口、水庫	河川、工業區排水道、農田渠道	工廠放流口、工業區排水道、河川、農田渠道、埤塘
維護頻率	－	每季巡檢 1 次	每週、雙週巡檢 1 次
檢測成本（提供相同數據量）	高	高	低

三、水質感測器應用布建原則

水質污染物具備高度的時間與空間變異性，臺灣都市面積小，工業區造成的水污染很快就外溢到臨近住宅區。除持續精進感測器的精確性，提高感測器巡檢維護效率，結合感測器具備容易大量高密度布建與高頻率感測優點，規劃最適化布建場域及設置點位，可有效提升解析環境污染行為。

為有效運用小型感測器進行環境治理，應瞭解場域背景水質資訊、流系分布、潛勢污染源分布、現地需求，及同步取得中央、地方及現地居民協助，以發揮水質感測器布建具體效益。應用情境可包括：(1) 河川流域；(2) 灌溉渠道系統；(3) 工業區 / 工廠排水道；(4) 低溶氧易死魚河川；(5) 智慧稽查等不同應用目的及場域特性，設定具代表性、應用效益性及通訊、通電可行性的布點選址，歸納為 5 大感測類型，茲說明如下。

3.1 水質感測器應用類型

1. 河川流域

由於我國地狹人稠特性，住宅與工廠混雜，河川常同時納入生活污水及零星工廠排放廢水，亦有可能納入營建及畜牧廢水。主要布建目的是以監測各河段環境水質背景值為主，亦可透過各區段水質變化，篩選水質異常頻率較高區段，進一步鎖定污染源。由於河川長度通常較長，建議以能監控各區段重點污染源為主，或配合其他布建地點型態，提供背景水質感測資料，採以低布建密度。

2. 灌溉渠道系統

以高污染潛勢農地區域為布建範疇，包括取水口、灌溉渠道系統及出水口。布建目的為保護農地受體，瞭解灌溉用水品質，此區水域污染變化較低，布建以掌握重點分支流水質及搭排戶重點排放流域為主，如圖 1。

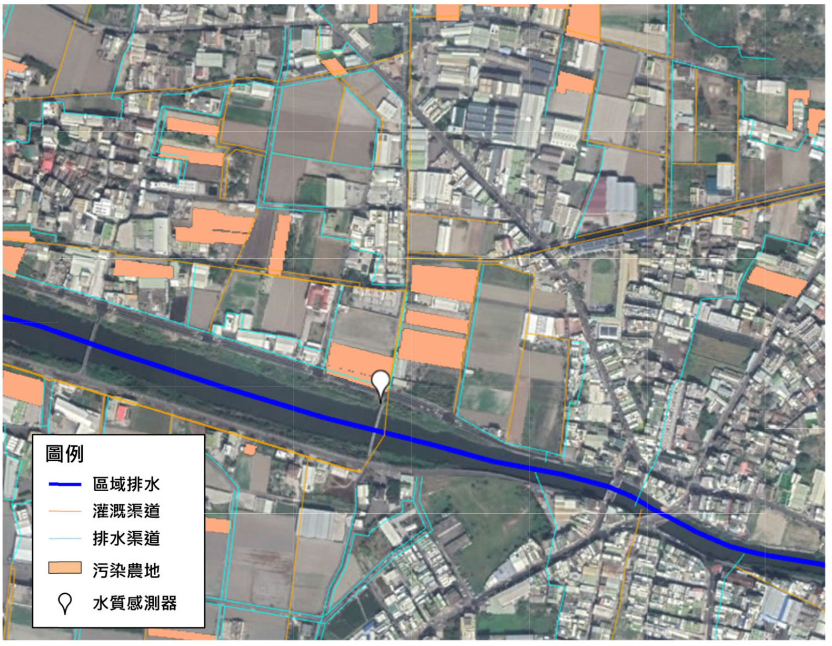


圖 1　布設原則 - 污染潛勢農地周遭水源

註：圖 1~3 原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

3. 工業區 / 工廠排水道

此類場域是以監測工廠污染廢水排放為主。工業區以雨、污水下水道系統節點、雨水下水道放流口及污水處理廠放流口布建為主，透過雨水下水道系統布建監控工廠偷排，以污水下水道系統布建監控工廠超排。此類布建環境較為惡劣，水體多位於人孔蓋下，需注意通訊傳輸及維運問題，且感測器需能確保長時間無水不致損壞；一般混雜在都市中的工廠排水道多為明渠，然需注意抽水揚程過高問題。由於上述水體為工廠或廢水處理廠處理之廢水，屬於高污染潛勢區，布建應能符合篩選污染源頭目的，布建密度應考量工廠數量、工廠產業別及工廠過去違法偷排紀錄等條件，如圖 2。

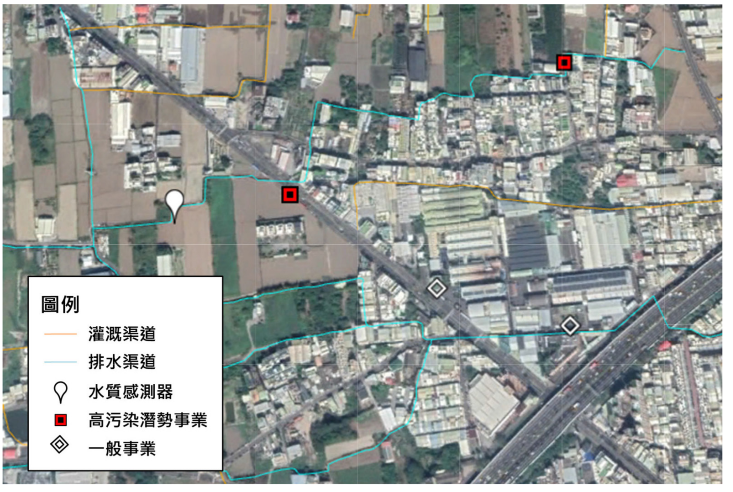


圖 2　布設原則 - 高污染潛勢事業

4. 低溶氧易死魚河川

經常發生民眾陳情死魚事件之河段，除受到污染排放外，溶氧濃度較低亦是主要原因，為了解死魚較常發生之水域及時段，可挑選其中重要匯流口、區段或具代表性之點位，進行監控溶氧及其他水質項目之變化情形，作為預防或提早執行死魚應變之參考依據，低溶氧易死魚河川布設，如圖 3。

圖 3　布設原則 - 低溶氧易死魚河川

5. 智慧稽查應用

此類場域通常透過歷史人工採樣、低頻率長時間水質感測等方式篩選，鎖定某處固定污染源，針對可能排放口施以高頻率感測，以利執法應用。

3.2 水質感測器點位選址原則

依照環保機關業務需求，以及水質感測器應用布建於污染源眾多的情形下，無法針對每個對象設置水質感測器，故水質感測器選址成功關鍵因素可包括：(1) 有效的感測設備；(2) 良好的數據品質；(3) 有目的性及完整的感測點布建；(4) 連續的資訊匯流及創新的分析應用等層面。以下針對執法應用情境進行說明。

1. 智慧稽查應用

(1) 監測背景水質：以低密度布建，掌握關注之水體長期水質資訊。配合上下游連續感測資料比對，篩選水質異常頻率較高區域。

(2) 監測高污染潛勢區：針對水質異常頻率高之區段布建，篩選污染源位置。可於該區多個疑似污染源排放口及匯流處布建小型水質感測設備，依據水質異常特性及位置，搭配上游污染源清單，分析行業別、過去稽查紀錄等資訊以利篩選污染源。

(3) 監測污染源：布建於特定潛勢污染源放流口，應加裝重金屬或 COD 等測項，分析水質異常時間熱區，作為後續環境執法應用參考依據。

(4) 重大水質污染事件：因應突發水質污染事件，或特殊季節監測需求，如夏季死魚頻發時期，可應用移動式水質感測設備，進行短期高頻率水質感測，確認水質概況及污染物可能擴散區域。

2. 連結智慧稽查布建維運體系 (Chen et al., 2020)

為有效利用投入資源，擴大布建具體效益。選址應以能解決實際迫切面臨之環境問題為優先，如重點污染潛勢區、民眾經常檢舉區域及環境污染事件頻發區域。本準則以解決實際環境問題為目的，訂定場域篩選準則為：(1) 依據過去水質、地下水、土壤或底泥感測背景資訊，挑選經常超標地區；(2) 篩選經常受到陳情或有重大環境污染議題事件地區；(3) 挑選周遭或場域下游有敏感受體地區；(4) 考量通訊傳輸良好

及布建維運較為容易地區。決定可能布建場域後，再針對場域特性選擇合適布建地點，應同時考量區別性、代表性、完整性及目的性，以利於後續資料加值應用，發揮實質效益，場域及裝機位置篩選準則如圖 4。

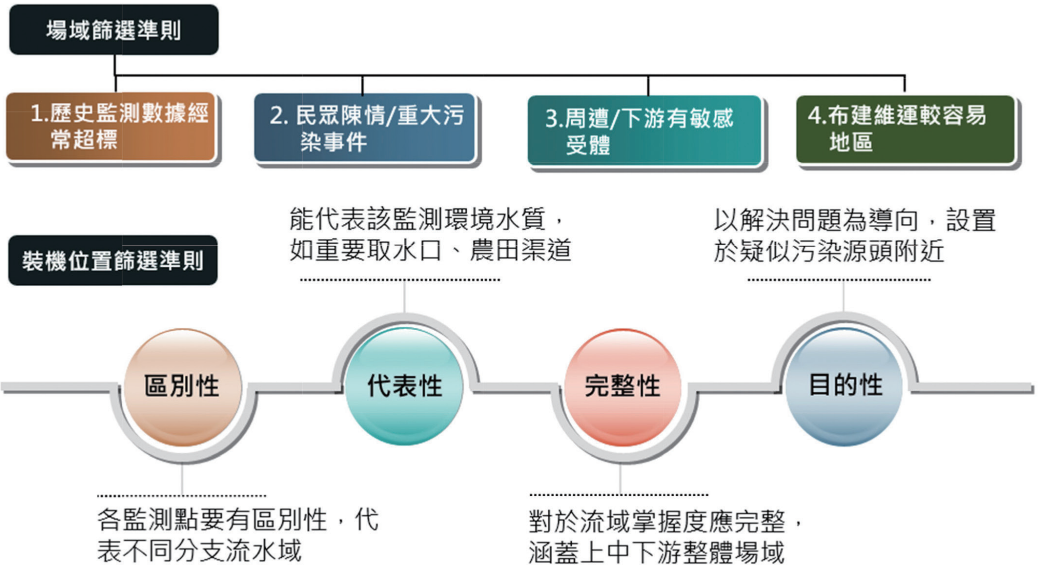


圖 4　場域及裝機位置篩選準則

3.3 最適化點位檢討

雖然河川流域感測點、灌溉渠道感測點、工業區 / 工廠排水道感測點、智慧稽查感測點及標準化測站平行比對感測點有布建的建議，但地區的污染特性會隨著時間而改變，為了提升感測器的使用效益，必須透過長期觀察感測器的數據行為，評估及分析既有感測器的應用目的與效益，因地制宜設置感測器在適宜的點位。

以污染熱區鑑別感測的最適化點位為例，可依據既有布建感測點位所發生污染事件頻率，分析點位的必要性與適用效益；透過數據分析經驗，輔以大數據分析、數據統計分析或其他方式解析感測數值，判斷感測器於各縣市環保局使用情形、在各應用場域數據分布、感測數據衰減情形、數據品質及環境應用效益。

四、水質物聯網數據分析管理

感測器若要發揮良好應用效益，需於選址規劃時即掌握良好布建目的，而高時空解析度的數據，透過在時間與空間維度上的數據變異特性，分析上下游感測器同測項連動關係、同一時間上不同測項的相關性，可有效解析污染發生的時空熱區 (Ramesh et al., 2017)。實務上，應用單位需定期透過平臺分析功能檢視數據，歸納有明顯源頭排放污染行為特性，並加入水質告警群組，可有效掌握關注區域即時狀況。當告警事件發生時，告警群組將即時推播訊息，相關人員獲知訊息後，可至現場視情形進行採樣比對分析、水色溯源追蹤或進廠稽查。以下簡要說明各產業別感測數據特性及從點源、線源至網狀感測，各情境建議應用分析的方法。

4.1 各類型場域感測數據特性

若要應用感測器改善環境，需先掌握各場域水質背景基線，以此基線設定告警條件會使推播通知更有效及精確。依據環保署推動水聯網執行經驗及，利用「水污染源管制資料管理系統」彙整列管事業之許可核准資料，近 3 年有放流水超標、繞流情形，及民眾陳情次數等，評估因子之異常條件可依照實際情形調整項目及比例，污染潛勢事業評估因子，整理各場域及產業別排出廢水特性如下表 2。由於實際應用上，感測位置及源頭工廠製程皆有不同，仍須因應現場水質特性調整告警條件；且需注意感測位置通常為處理後廢水及自然水體匯流後水樣，於數據判讀時亦應予以調整。

表 2　各類型場域感測數據特性

應用場域	產業別	酸鹼值 (pH)	電導度 (EC) (μS/cm)	溶氧 (DO) (mg/L)	化學需氧量 (COD) (mg/L)	應用建議
農田渠道	—	6.5 - 8.5	500 - 1,000	2 - 4	—	以 pH 判斷超標廢水、EC 及 DO 判斷排水時間
河川水體	—	6.5 - 8.5	300 - 2,000	4 - 9	20 - 100	以 pH 判斷超標廢水、EC 及 DO 判斷排水時間
稽查執法應用	畜牧業	6.5 - 8.5	1,500 - 5,000	< 2	100 - 600	以 COD 判斷超標廢水、EC 判斷排水時間
	印刷電路板製造業 / 金屬表面處理業 / 電鍍業	6.5 - 9	500 - 5,000	—	20 - 80	以 pH 及 COD 判斷超標廢水、EC 判斷排水時間
	印染整理業	6.5 - 8.5	300 - 1,000	—	50 - 150	以 COD 判斷超標廢水、EC 判斷排水時間
	食品製造業	6.5 - 8.5	1,000 - 10,000	—	20 - 80	以 pH 及 COD 判斷超標廢水、EC 判斷排水時間
	工業區大排	6.5 - 8.5	300 - 5,000	1.5 - 4	20 - 80	以 pH 及 COD 判斷超標廢水、EC、DO 判斷排水時間

4.2 應用感測器輔助環境治理

1. 污染源單點監控

布建目的最明確方式即為污染源單點監控，使用時機在於透過長期分析、採樣、列管資料及陳情資料綜合比對，確認有明確污染對象，可直接將感測器安裝於其放流口下游處，掌握污染發生的週期及時間特徵。依據團隊過去執行經驗建議：(1) 採用感測器需能對應污染業別排水項目；(2) 需注意隱蔽性，建議放置於污染源下游匯入點前；(3) 透過時間趨勢圖，統計水質異常時間，掌握排水特性。

(1) 污染源單點數據分析：感測器在設定告警值後，即可依據數據變動趨勢高峰值告警及標註 (如圖 5)，應關注於掌握污染發生的週期及時間，據此判定計畫性稽查應鎖定的時間。另可由感測項彼此的連動關係及感測值初步判斷排水特性，例如酸鹼值下降時常伴隨電導度上升，其可能是來自源頭酸洗過程未妥善處理廢水流出導致。

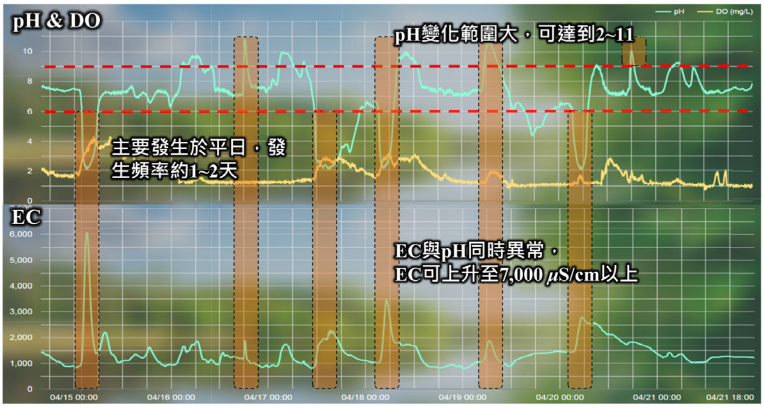


圖 5　污染源單點數據時間分析

(2) 污染特徵歸納：依據數週的異常事件觀察，可歸納出污染排放特徵，包括時間週期 (例如平日 / 假日、每 2 週 1 次、週幾、時間點等)、污染延時 (用以判斷稽查方式)、影響感測項目 (例如極鹼、極酸、化學需氧量超標等)。為確保稽查行動準確且有效，可於告警推播時，同步至現場採樣比對，確認感測數值準確度。

(3) 輔助環境執法：透過感測數據異常時間點可鎖定應稽查時間，而污染延時若在 2 小時內，建議應採取計畫性稽查，先篩選出最可能出現污染時間點，預先部署人力執行環境執法；若大於 2 小時，可考慮透過密集監控，在告警通知確認污染行為發生時再赴現場執法確認。

2. 單一流線監控

若僅掌握污染承受區域，但不確定污染源或有多個污染源頭可能，建議採取單一流系監控方式，沿流系上中下游布建，鑑定污染排放熱區。依據團隊過去執行經驗建議：(1) 鎖定場域應挑選工業區大排、沿途多零星工廠排水道、污染河川、農田給水；(2)

分區段布建，盡量挑選重要排放匯入點，且各點位若有水質異常情形皆有助於限縮污染源範圍；(3) 透過空間水質差異，鑑定污染排放介入點。

數據分析重點為需將空間上相關之感測數據一同分析，觀察同一流線之水質異常趨勢，例如同一感測項從上游至下游間變動情形，判斷異常測站及無異常測站，污染源可能即從兩類測站中介入。如圖 6 所示，可看出酸鹼值測項從 1 號測站流至 2 號測站時，有異常變化情形 (如紅色框線處)，即有可能污染源是從這之間介入，應盡可能再從此匯流節點安裝感測器，確認實際污染源頭位置。

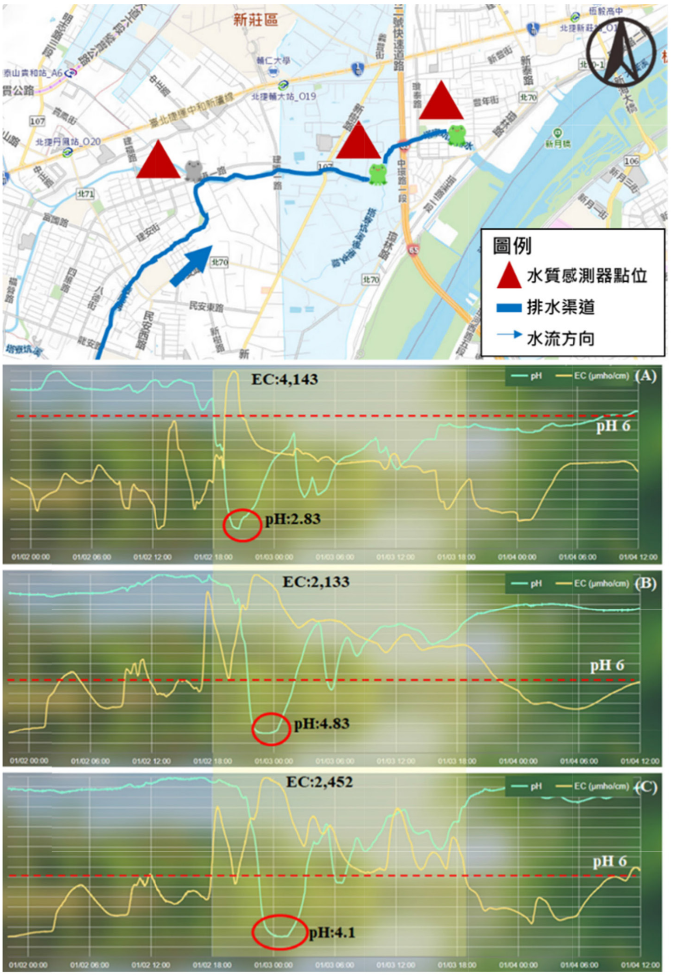


圖 6　單一流系數據分析方式

註：原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

3. 面狀網格監控

若想解決大範圍區域水質問題，如工業區、污染潛勢農地，其可能包含多個污染源共同污染，建議可採取面狀網格監控方式，於重要節點布建以釐清污染熱區分布情形 (Jothimani et al., 2017)。依據團隊過去執行經驗建議：(1) 同一區域需有足夠數量感測器，且需掌握各流系關係，才能發揮水聯網感測效益；(2) 建議需於區域入流口、出流口及區域內污染源及節點網狀布建；(3) 同時結合時間及空間分析，運用流系分布追蹤不法超排廠商 (如圖 7)。

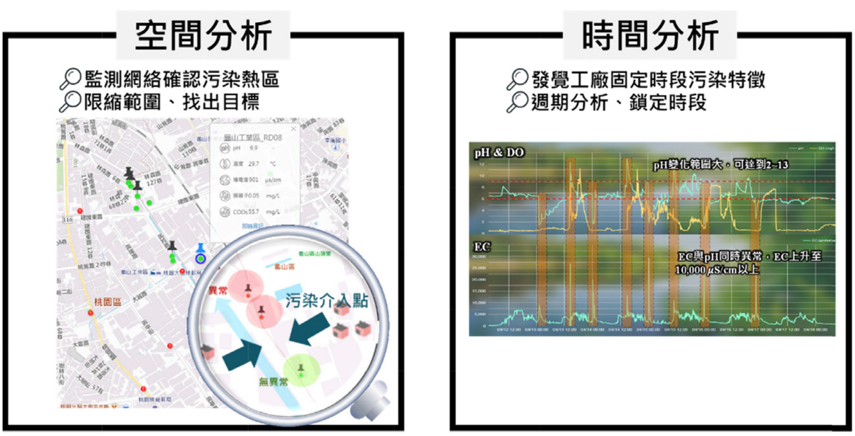


圖 7　面狀網格監控數據分析方式

若感測器應用於工業區，建議於從源頭境外節點、自排工廠放流口至工業區大排 (抓超排)、雨水道 (抓偷排) 及末端污水處理廠出流以網狀方式布建，即可掌握污染源頭位置 (Aziz et al., 2016)。累積一段時間數據後，可先透過空間分析，確認各區感測器彼此測項連動關係，及個別告警次數，以限縮污染熱區；再針對熱區輔以時間分析，掌握工廠固定偷排時段及週期性，可進一步分析各告警條件出現於各時

間區段的次數 (如圖 8)，以瞭解源頭偷排水質特性；而為進一步提供環境執法參考，可設定特定告警限值，然而「異常事件」主要由小區域變化為主，包含固定污染源、瞬間偷排 ... 等。判斷水質 IoT 感測點是否「異常」，可由「自我數值變異」與「週邊數值變異」來進行自動偵測。透過以上作法，由系統自動判斷感測點『相對異常』，

找出『時間、空間上的非單點異常事件』。最後，系統會自動產生時間、空間上的非單點異常事件，展開星期對應時段之告警熱力圖 (Heat Map) 分析 (如圖 9)。透過完整的空間時間交叉分析，可有效運用感測器數據，作為給環保稽查單位輔助智慧執法的科技工具。

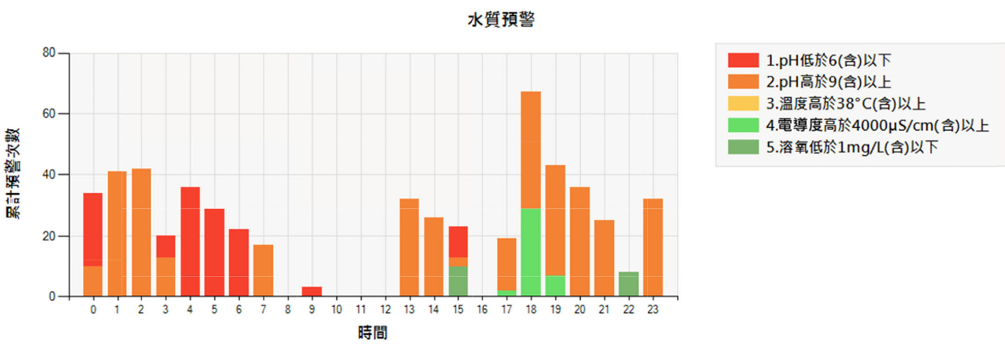


圖 8　水質異常告警條件於各時段累計次數分析

電導度大於900	一	二	三	四	五	六	日
00時	0	0	0	0	0	0	0
01時	0	0	0	0	0	0	0
02時	0	0	0	0	0	0	0
03時	0	0	0	0	0	0	0
04時	0	0	0	0	0	0	0
05時	0	0	0	0	9	0	0
06時	0	0	0	0	73	58	0
07時	0	0	0	0	49	41	0
08時	0	0	0	0	0	0	0
09時	0	0	0	0	0	0	0
10時	0	0	0	0	0	0	0
11時	0	0	0	0	0	0	0
12時	0	0	0	0	0	0	0
13時	0	0	0	0	0	0	0
14時	25	0	0	0	0	0	0
15時	0	0	0	0	6	0	0
16時	0	0	11	0	111	0	2
17時	0	0	60	0	120	0	27
18時	0	0	60	0	120	0	18
19時	43	1	60	0	120	0	60
20時	66	116	60	0	120	0	60
21時	31	60	47	0	25	0	25
22時	0	60	0	0	0	0	0
23時	0	30	0	0	0	0	0

圖 9　水質異常告警熱力圖分析

註：圖 8、圖 9 原彩圖請至產業綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

五、結論

本研究旨在於建立水質物聯網現地選點原則，並運用 24 小時不間斷之水質物聯設備感測數據，結合跨域資訊加值分析，應用於水質感測及管理。水質感測器於安裝前應確認應用目的，如掌握到數據及其變化趨勢能有效地發揮後續作為。依據不同應用情境，應放置的點位、密度及節點掌控亦有不同，以確保未來在感測數據應用分析上能發揮應有的效能。

搭配小型感測器布建感測網後，稽查人員可在接獲民眾陳情時，依民眾陳情的相關地點與時間，快速比對 IoT 感測數據變化，推估可疑污染源，協助到現場可以更快速前往可疑區域確認；透過數據分析流程，當感測數據有連續性異常高值，系統可自動偵測高異常事件，環保單位可以更快速的掌握事件對環境的影響，擴散的影響範圍、濃度、時間資料等；並提供給民眾影響狀況，例如提醒民眾隨著氣候條件影響範圍、時間持續等資訊。

另外，水質感測器由於感測原理及數據特性與稽查執法標準仍有不同，在應用於環境治理時需留意數據判讀方式，應注重於高低趨勢變化，找出污染熱區特徵，絕對測值僅作為是否可能有超標排放行為參考用途。善用高解析度大數據優勢，滾動式調整布建位置，以輔助角度切入環境治理輔助，即可發揮水聯網感測器高機動特性。

參考文獻

彭書憶、楊博傑、陳范倫、朱振華、王榮豪 (2019)，工業技術研究院 IEK 產業情報網，「水質物聯網於工業與民間應用發展」，https://ieknet.iek.org.tw/

環保署 (2020)，水質感測物聯網精進及數據分析應用計畫。

環保署 (2020)，發展及推廣水質感測器執法應用服務試驗計畫。

環保署 (2021)，高效化智慧水聯網應用設置計畫。

環保署水科技物聯網應用平台，https://wiot.epa.gov.tw

Aziz A, Ida JJ, Karthika K, et al. A smart environmental monitoring system using internet of things. Int J Sci Eng Appl Sci 2016; 2: 261–265.

Fan-Lun Chen , Bo-Chieh Yang , Shu-Yi Peng and Tzu-Chi Lin, International Journal of Distributed Sensor Networks(ISSN:1550-1477), (6): pp.1-15,2020061

Jothimani A, Edward AS, Gowthem KM, et al. Implementation of smart sensor interface network for water quality monitoring in industry using IoT. Indian J Sci Technol 2017; 10(6): 1–7.

Ramesh MV, Nibi KV, Mohan R, et al. Water quality monitoring and waste management using IoT. In: IEEE global humanitarian technology conference (GHTC), San Jose, CA, 19–22 October 2017. New York: IEEE.

環境化學與微生物類

加速推動土壤及地下水污染場址改善執行現況及策略

簡慧貞 *、王禎 **、王子欣 **、許位嘉 ***、黃敬堯 ****

摘　　要

為加速推動土壤及地下水污染場址 (以下簡稱污染場址) 改善，環保署持續辦理加速改善場址盤查及輔導改善作業，針對目前事業列管中 57 處未執行改善之場址，積極執行全面性盤查清點，瞭解改善所面臨困難，執行現勘輔導土地關係人、地方績效考評併行、補充調查以促成場址啟動改善作業，依據場址受污染介質、污染物類型、定期監測結果、土地使用現況、場址規模及土地價值等，綜合評估排序，擬定改善及管制方案，初步規劃推動策略與檢討精進之方式，包括污染場址公告及管制、改善實務遭遇困難、訂定場址改善監督一致性原則、信用保證策略研擬及強化債權保全制度等，以多元化管理推動方式，提升場址改善誘因，解決長期執行困難之問題，促成場址改善解列之成效。

【關鍵字】土壤及地下水污染場址、加速改善場址、信用保證制度

* 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會　執行秘書
** 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會　組長
*** 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會　特約管理師
**** 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會　助理環境技術師

一、前言

隨著國內社會經濟的變遷與發展，生活環境的污染負荷日益增加，依據土壤及地下水污染整治法之規定，當主管機關進行土壤及地下水污染查證作業時，如發現污染物濃度達管制標準，即會進行污染場址管制作業。

環保署績效考評制度，於每年 1 月下達加速改善場址名單，且納入地方績效考評作業，以加速推動場址現勘輔導及改善進度追蹤作業，近年經過相關作業推動成果以及施政重點核心業務之推動下，將規劃透過法律認定及行政程序相關責任之釐清，綜整未來土污基金評估調查及優先場址名單排序。明定整治場址具體化場次及需求目標、整治費用估算，以利後續相關場址改善及求償作業。

二、加速改善場址盤查結果及改善作為執行成果

2.1 場址列管現況及推動策略

歷年累計公告場址 8,941 處，截至 110 年 4 月底，累計改善解列場址 7,550 處（80%），列管中場址 1,391 處（20%）；依土地利用型態，分類為事業場址及農地場址；其中，農地場址 940 處（15%），事業場址 451 處（5%），如圖 1 所示，事業場址中已有 394 處進行污染改善作業，尚有 57 處加速改善場址需積極推動後續改善作業方針及管制作為建議。

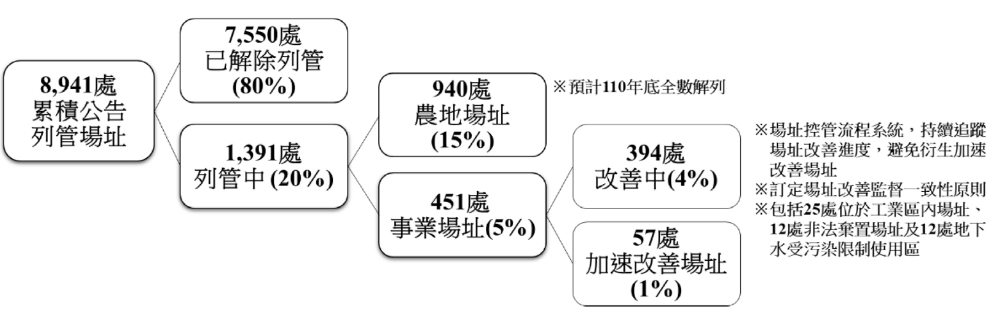


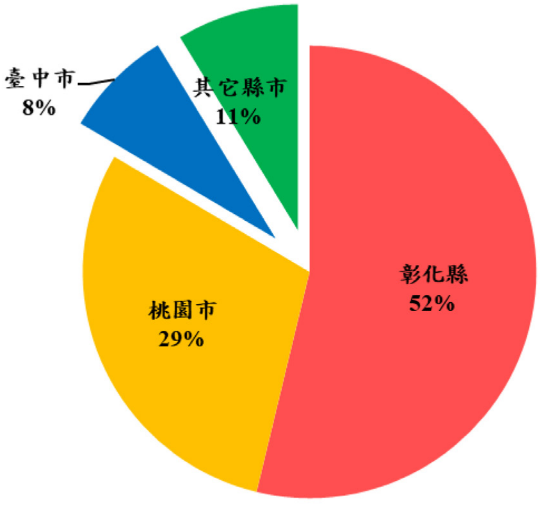
圖 1　歷年累計列管場址現況

2.2 農地污染場址調查及改善

環保署為落實推動行政院「食安五環」政策中的第一環「源頭控管」預防食安風險發生，自 99 年起即超前辦理全國 2.1 萬公頃高污染潛勢農地調查，逐年逐區域辦理污染查證，於發現土壤遭污染後隨即辦理工程改善，方式以耕犁工法搭配公共工程及掩埋場覆土資源再利用，減少離場處理費用，撙節公帑，加速於 110 年全數完成污染農地改善。

環保署於 99 年起以農試所 13 萬筆土壤調查資料為基礎，評估污染物介入灌溉渠道後，引灌至種植稻米之水田所造成的影響，並於 106 年完整掌握灌溉途徑系統性高污染潛勢農地分布，研提具污染潛勢農地監測及污染農地改善。

截至 109 年底，調查出全國污染列管之農地場址共計約 1 千 1 百餘公頃，分佈情形如圖 2 所示，前述重點管制區域，其中桃園市以桃園大圳 3 支線、桃園大圳 4 支線、南崁圳為引灌途徑之大園區及蘆竹區農地為主；臺中市以大突寮圳、詹厝園圳為引灌途徑之大里區農地為主；彰化縣則以東西二圳、東西三圳及洋仔厝溪為引灌途徑之彰化市、和美鎮及鹿港鎮農地為主。



註：統計數據截至 109 年 12 月 31 日。

圖 2　全國累計農地控制場址面積百分比

2.2.1 撙節費用離場再利用

目前持續執行農地污染場址改善工作，執行期間規劃綜合考量土壤資源特性、污染物種類及濃度、農業生產安全性、區域土地利用特性與污染來源特性等因素，選擇合宜改善工法，及通暢污染離場再利用管道，並因應各縣市污染改善能量，合理分配人力及物力，建立以風險管理為基礎之重金屬污染農地多元管理如圖 3，加速並妥善處置污染農地。

為強化污染土壤資源化利用方式以充分發揮天然資源效益，除避免採用非資源化（固化與掩埋處理）等不可回復土壤性質之整治技術，並積極溝通跨部會合作，通暢資源化處理及作為掩埋場覆土使用。經相關部會共同推動，近年來土壤離場採用資源化方式之比例逐漸上升，由 38%（107 年）增加至 50% 以上（108 年 9 月），並函釋說明農地土壤中重金屬污染濃度高於「食用作物農地土壤污染管制標準」，且低於「有害事業廢棄物毒性溶出試驗標準」者，得作為掩埋場每日或最終覆土使用。經統計於函釋後，合計完成 3.3 萬噸低污染土壤作為掩埋場覆土使用，節省公帑約 2 億元。

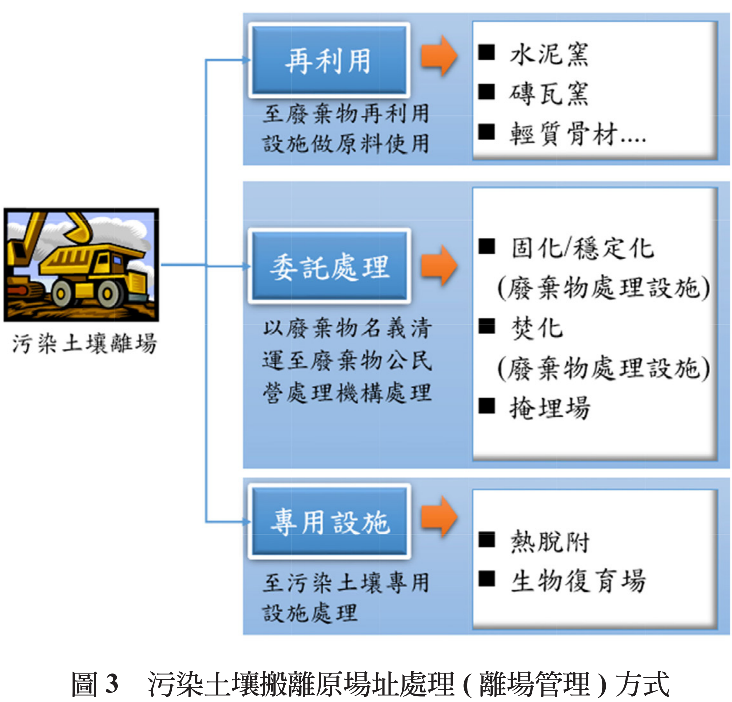


圖 3　污染土壤搬離原場址處理 (離場管理) 方式

2.2.2 加速污染農地於 110 年前解列

為加速完成全國污染農地改善作業，環保署已訂定年度執行績效指標，於 110 年底前全數完成並要求相關縣市政府提出專案農地改善計畫，按季追蹤，並列入年度績效考評，務於限期內完成改善，其中 107 年完成改善 116 公頃及 108 年完成改善約 110 公頃，達成率均超過 110%。除加速於 110 年全數完成污染農地改善外，農地土壤污染潛勢之評估及強化污染源預防管理工作，為未來持續需要關注及推動的主要重點工作，避免重覆發生農地污染。

由於受污染農地之污染來源及污染責任於短期內難以釐清，考量農民生計並減輕環境污染危害，環保署於 91 年起均以先行支應農地污染改善費用，再追查污染行為人以追償污染責任。歷年改善作業以彰化縣、臺中市及桃園市之污染改善面積最多；其中彰化縣之受污染農地多位於彰化市、和美鎮及鹿港鎮；臺中市則集中於大里區；桃園市則多位於蘆竹區及大園區。為使受污染農地儘速恢復農用，已加速污染農地改善作業，並規劃於 110 年底前全數完成，農地污染改善進度及規劃如表 1。

表 1　106 年至 109 年主要縣市污染農地預估解列及實際解列統計表

年	桃園		彰化		台中		小計	
	預估解列	實際解列	預估解列	實際解列	預估解列	實際解列	預估解列	實際解列
106	39.3	15.5	58.7	40.4	-	9.9	98.0	65.8
107	37.9	38.0	86	72.9	1.9	2.6	125.8	113.5
108	38.8	38.7	68	65.2	0.7	1.2	107.5	105.1
109	40.4	66.9	82	66.7	2.1	2.8	125.1	138
合計	**156.4**	**159.1**	**294.7**	**245.2**	**4.7**	**16.5**	**456.4**	**422.4**

2.3 事業污染場址調查及改善

然而事業場址管理現況，歷年累計公告事業場址 1,510 處，截至 110 年 4 月底止，完成改善場址 1,059 處，列管中事業場址尚有 451 處；個案依照其污染型態，提送改善、控制或整治計畫，並依所核定之整治計畫期程辦理改善。列管中場址亦可區分為改善

中場址及加速改善場址 2 大類型，並透過場址列管流程控管系統追蹤，場址自檢測污染發生至解除列管期間均設定相關的控管流程與時效性判定，以掌握事業污染場址改善進度，其中改善中場址 394 處，包括 25 處位於工業區內場址，目前責成目的事業主管機關辦理補充調查及污染來源確認作業；12 處非法棄置場址，建議先行將廢棄物清除後，再行確認土壤及地下水污染情形，並持續進行土壤及地下水環境監測之掌握，以避免污染擴散；12 處地下水受污染限制使用地區；而加速改善場址中共有 57 處未辦理改善作業之加速改善場址。

針對 57 處加速改善場址進行全面性盤查作業，瞭解改善所面臨困難，擬訂「事業污染場址管理制度」，包括優先整治評估規劃、土地活化或區域開發、依風險評估結果訂定、風險管理、長期監測式自然衰減、綠能補助及模場試驗等，並辦理現勘輔導作業、補充調查或監測井完備工作，以促成場址啟動改善作業。

為加速改善場址執行整治改善工作，本會於 109 年起陸續辦理 5 場次地方環保局場址管理推動會議及 4 場次專諮會議，研擬加速改善場址推動程序，依據釐清責任歸屬、污染行為人是否已確認、污染土地關係人責任與意願確認等，進行場址分級，評估基金投入代執行順序。

2.3.1 現況問題與對策

為了積極解決環境污染問題，促成污染場址加速執行改善，初步研擬推動策略如圖 4 所示，包括：確認污染行為人、提供修法建議及可行性、善管人注意義務認定等，確認場址目前可推行之法律作業 (如以土污法及爭訟角度補充場址事證資料、依序確認污染行為人及關係人法律責任狀態、發動證據 / 財產保全)，代履行意願及求償可行性。在確認相關污染責任主體無法進行改善後，除持續與污染土地關係人協商及運用行政手段提高污染土地關係人參與改善意願外，建議將場址納入土污基金支應進行管理或改善之對象，透過分年推動規劃，逐步將需要政府協助優先改善之場址進行全面性的盤查與規劃最適之改善管理方案。

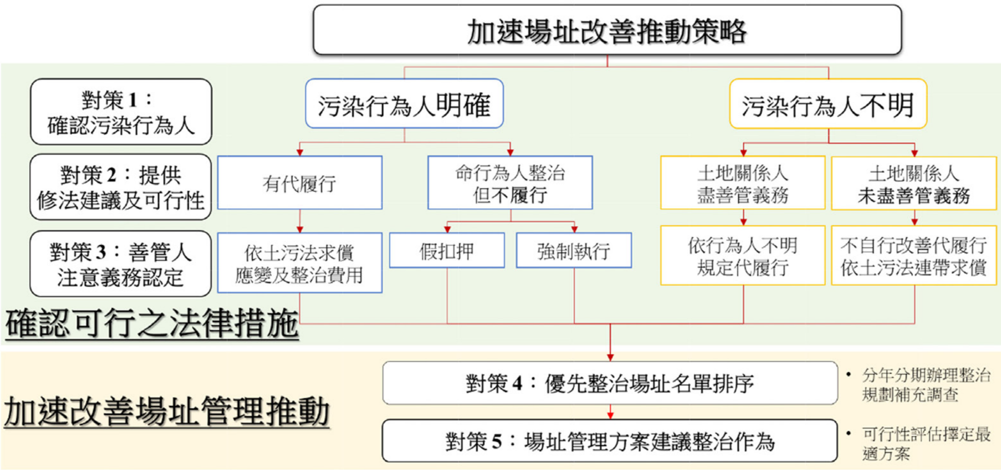


圖 4　加速改善場址改善推動策略

2.3.2 法律面之施行流程

綜整歷年場址管理推動困難與問題，除透過行政管理作業追蹤管制外，亦透過具土污法經驗之執業律師，以訴訟之角度，檢視 57 處場址現況資訊，釐清待補充之現場事證，法律推動場址管理施行流程如圖 5 所示，透過現況盤點掌握場址背景及事實資料，確認目前場址管制作業情形，依據相關彙整事證，釐清土地使用歷程、事業歷年營運紀錄與更迭情形，掌握地下水流布情形，及確認污染責任主體，進行現場事證之釐清，並藉由法律措施，提出可推行之法律作業事項，針對可補充之調查事項提出建議，提升場址改善誘因，並協助預估代履行相關費用，盤查污染責任主體財產登記與現況，以推動保全或執行程序措施，進而擬定場址法律建議書，協助環保局針對場址採取保全措施。

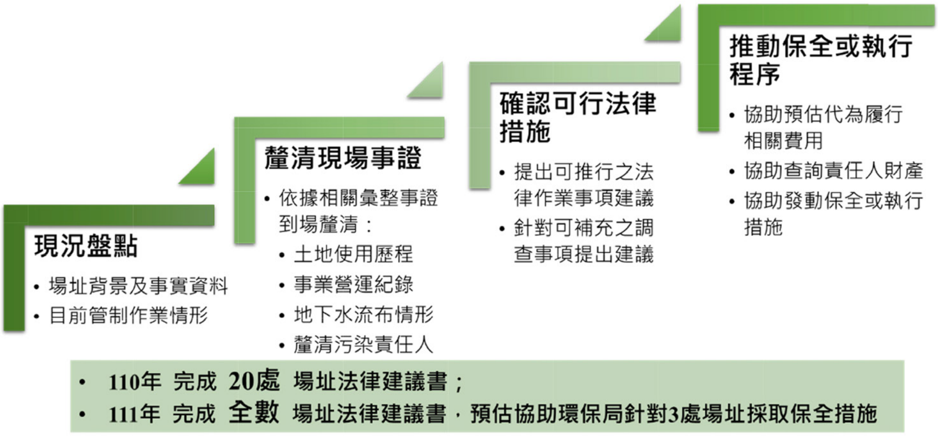


圖 5　法律推動場址管理施行流程

2.3.3 推動改善作業流程及篩選排序

針對加速改善場址進行場址現況盤點，彙整場址基礎資料包括場址基本資料、場址特性瞭解程度、場址現況及過去歷史調查紀錄及成果，進而判斷場址特性資訊完整度，初步評估場址是否需補調查，接續採取相關管制作為措施，並依據政府需求及目的性，滾動式調整場址名單排序，實質改善亦可評估風險管理方式，另針對整治期程需較長之場址，可擬定分期分階段改善目標，提供合宜之改善建議方案，以加速改善場址推動，其作業流程圖如圖 6 所示，詳細說明如后。

圖 6　加速改善場址推動流程

1. 現況盤點

考量場址土地使用與環境現況對於改善作業執行有很大的影響，在加速改善整治期程及提升資源投入成效之目的下，初步建議也納入作為考量因子之一；若為閒置中空地或廠房無人使用狀態，則較容易執行污染改善作業；若已有事業運作中或作為其他使用，則需考量場址整體改善作業之難易程度，故場址現況為閒置空地或廠房無人使用廠房者，優先納入補充調查名單。

2. 細密調查

場址污染細密調查作業主要是為了作為改善或整治作業規劃評估運用，因此，在土壤污染調查部分，調查方式會以釐清污染範圍與量體進行規劃，並運用適當快篩技術結合採樣分析結果，掌握污染範圍或量體。在地下水污染調查方面，則是以釐清污染擴散可能性、污染範圍或取得評估改善技術可行性之資訊 (例如評估是否具有自然衰減潛勢、生物處理可能性、地下水污染圍堵等)。

依據前述現勘評估結果及綜合評量後確認適合列為加速推動之示範候選場址，亦視實際狀況需求進行必要的補充調查，評估其建議整治工法、整治經費預估及改善期程，以提供後續整治決策之用。

3. 污染樣態分類

持續盤點加速改善場址，納入場址受污染介質、污染物類型、定期監測結果、土地使用現況、場址規模及土地價值等，綜合評估排序，以作為細密調查場址名單之參考依據，參考因子項目如圖 7 所示。

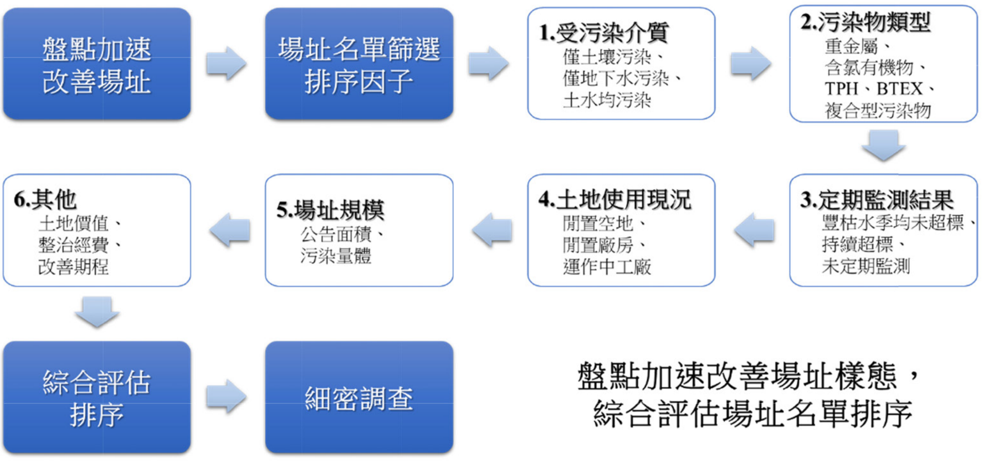


圖 7　場址細密調查名單綜合評估因子

4. 優先改善場址名單

配合政策需求及目的性，以滾動式調整名單排序，評估其直接污染改善或以風險評估為基礎評估、污染圍堵阻絕措施、行政管制措施及工程手段，避免污染暴露途徑，以及長期監測式自然衰減評估，綜整場址現況提供實質改善搭配風險管理措施，或依據整治期程較長的方案，擬定分期分階段改善目標，以加速場址改善作業。

2.3.4 場址名單篩選排序

建議我國優先改善場址之推動策略可納入風險概念，並考量場址特性、整治技術、人體暴露途徑與風險影響程度，訂定符合成本及風險降低效益之整治計畫 (包括風險控制手段) 及整治目標，並執行污染改善或整治工作。其中，場址危害影響的可能性將以補充調查所得結果試算更新場址污染影響潛勢評估 (TOL) 值進行優先改善場址名單排序，亦針對污染場址改善方案之經費需求、改善所需期程、場址影響程度等進行多面向之評估，以提供主管機關在決定該場址採用之改善方案時，可以就行政作業與其他考量因素決定採用之方案與該方案可能的效益及影響。

2.3.5 加速改善場址現況盤點

盤點 57 處加速改善場址土地所有權人區分，如圖 8 所示，包括 18 處公有地場址，將與國產署協商辦理國有場址推動合作改善機制；1 處含公有地及私有地場址，其污染行為人明確，持續責成污染行為人執行整治改善作業；38 處私有地場址，其中包括 25 處污染行為人明確，惟污染責任主體滅失、失蹤以及 13 處污染明行為人不明場址，惟土地關係人均無意願改善者。

進一步盤點場址使用現況、污染介質及污染物類型等，評估其污染改善之難易程度，以作為未來土污基金資源投入之參考。

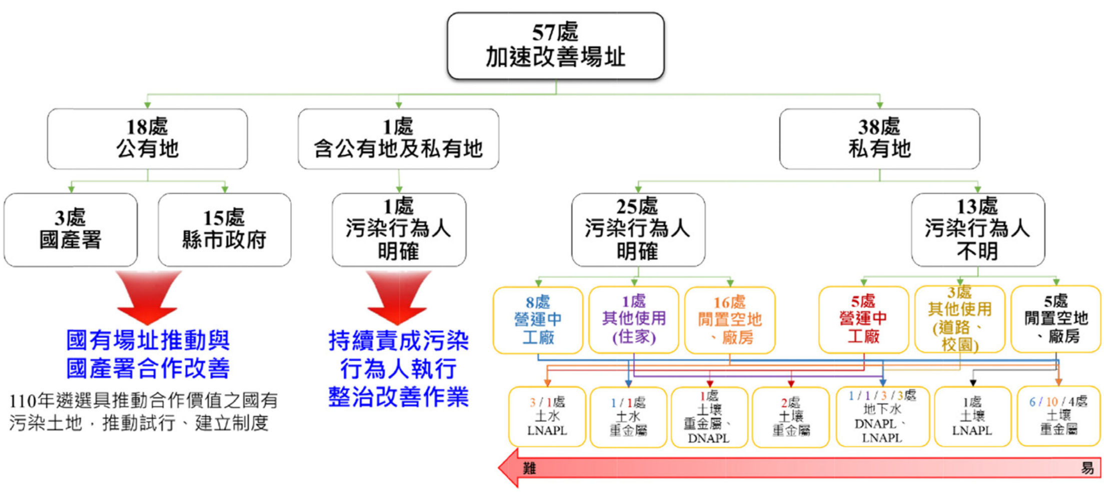


圖 8　加速改善場址現況盤點樣態圖

註：詳細場址現況盤點樣態原彩圖請至綠色技術資訊網站下載 https://proj.ftis.org.tw/eta/index.aspx

三、後續推動策略及檢討精進

3.1 污染場址公告及管制

為具體展現土水整治施政績效，持續盤點事業列管場址現況資訊，評析場址改善推行成效，並推動適切場址管理方案，俾達國土永續利用與維護民眾健康之目標。

環保署規劃研修審查及監督要點，規範改善計畫審查作業與改善完成驗證程序一致化，以降低場址改善期程延宕之可能性。使場址管理方案與管理策略更臻完備，藉由辦理專家諮詢會及全國場址分區聯合會報等，邀集專家學者及地方環保機關共同參與，作為方案與策略修正之參考。

另辦理土壤及地下水污染場址改善工作執行事項，訂定「土壤及地下水污染場址改善審查及監督作業要點」（下稱監督作業要點），俾利各級主管機關辦理相關業務時有所依循。然因事業場址個案差異大，且地方土壤及地下水污染場址改善推動小組（下稱土推小組）成員不同，加上地方自治法規不盡相同，使事業場址於推動改善過程中，其行政管理程序仍有一定差異存在。

3.2 實務遭遇問題

環保署透過相關研商會議，針對污染場址改善審查及監督作業規範原則與程序進行討論，彙整目前改善計畫實務遭遇問題，主要可區分為審查程序、監督執行原則及行政管制不一致等問題，各項問題詳述於后。

1. 審查程序

多數污染場址提送改善計畫書，常見問題包括同一場址經過歷次推動小組審查會議之出席委員不相同，造成審查意見分次提出無法收斂；計畫審查召開多次推動小組會議，影響審查行政效率；抑或已核定控制計畫書後，要求整治責任主體再提出土壤及地下水污染調查及評估計畫等問題。

2. 監督執行原則

改善計畫書應定期監督執行原則，主要以每半年定期審查控制、整治計畫執行進度報告，並搭配每 2 個月定期進行場址現場監督查核作業，惟污染場址改善工作執行進度仍出現落後之問題，且監督查核結果，整治期程中未達查核點目標，使得場址改善期程冗長且進度落後未即時掌握等情形。

3. 行政管制

有關行政管制作為，主要以各縣市作法不一居多，例如大型企業於各縣市均有相關場址污染問題，惟各縣市管制作業程序不同，執行應變必要措施或直接提出改善報告書等問題，如為控制場址時，卻要求應先行提出污染調查及評估計畫書之情況，容易造成不同縣市辦理方式不同之困擾。

3.3 訂定場址改善監督一致性原則

由於事業場址個案差異大，且地方土推小組成員不同，加上地方自治法規不盡相同，使事業場址於推動改善過程中，其行政管理程序仍有一定差異存在。爰此，茲彙整場址管理相關會議之專家意見及地方環保機關執行場址管理遭遇困難，藉此研擬監督作業要點修正方向，並研訂土壤及地下水污染場址改善推動小組一致性審查原則建議及注意樣態表，主要可區分計畫審查程序、計畫內容實質審查、定期監督執行原則、驗證查核執行方式及應變必要措施執行等程序，就個案場址所遇狀況提出相關建議，供地方環保局參酌辦理，以加速場址改善作業，如圖 9 所示。

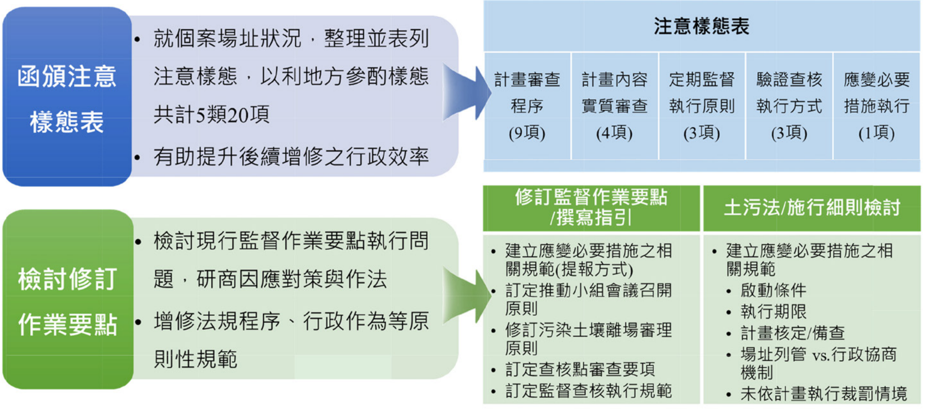


圖 9　訂定場址改善監督一致性原則

有鑑於改善計畫係由各地方環保局自行籌組之土推小組審查，對於同類型場址於不同縣市中可能存在差異性審查立場，故召開專家諮詢會議，針對土壤及地下水污染場址改善審查作業規範原則與流程進行討論，以優化審查原則並建立一致性作法，作為各地方環保局審查污染場址案件之參考，同時也利於要求計畫提出者據以提出適當之場址環境基礎調查與改善工法，俾利提升審查時效。

爰此，環保署初步規劃透過函頒注意樣態表方式，依據個案狀況常見問題，彙整表列注意樣態，提供地方環保機關參酌樣態，包括計畫審查程序、計畫內容實質審查、定期監督執行原則、驗證查核執行方式及應變必要措施之執行，彙整 5 類 20 項樣態建議處理方式，以提升場址改善之行政效率。另透過檢討修訂作業要點方式，檢討現行監督作業要點執行問題，研商因應對策及作法，透過增修法規程序、行政作為等原則性規範，加速場址改善進度。

3.4 信用保證策略研擬

有關場址改善問題，常見為污染土地關係人無力負擔整治成本問題，未來規劃透過環保署提供信用保證，強化事業融資能力，協助土地關係人取得貸款，提升事業之改善意願，初擬信用保證實施要點 (草案) 如表 2 所示，包括經濟誘因，評估其適用於土地價值大於整治經費之場址，規劃提供 1% 利息補貼；保證模式則由環保署與信

保基金共同出資，辦理相對信用保證；設計內容擬納入申貸對象、融資總額、申貸條件、違約條款、貸款額度、期限、利率、信保成數、申請問題及審查流程等；另評估申辦方式係由銀行收件，進行融資審查作業，由環保署及地方環保機關土推小組提供技術審查，以整理評估信用保證實施之方式，目前環保署已進行相關配套措施研擬，後續將依法制作業流程辦理，建立信用保證制度，期解決長期考量整治費用龐大，事業主體運作受限等問題。

表 2　信用保證實施要點 (草案)

經濟誘因	適用於土地價值大於整治經費之場址，規劃提供 1% 利息補貼
保證模式	由環保署與信保基金共同出資辦理相對信用保證
設計內容	包括申貸對象、融資總額、申貸條件、違約條款、貸款額度、期限、利率、信保成數、申請文件、審查流程等
申辦方式	由銀行收件，進行融資審查，由環保署及地方環保局土推小組提供技術審查

3.5 強化債權保全制度

另協助發動強化債強保全或執行措施，依據現行土污法第 43 條與第 44 條之金錢債權，自污染發現與確認責任人後，辦理相關債權保全制度，未來規劃修正草案，可納入土污法整治義務，確認有必要時，於處分前即以預估費用進行保全；另也將保全的標的，由待履行費用擴增到整治義務之擔保，以發動保全扣押機制，追繳不足或返還剩餘扣押款項，以啟動代履行整治作業，強化求償工具與證據保全，釐清污染行為人應盡責任。

四、結論

環保署透過場址管理推動制度，以專業性、改善技術及整治困難解決方式持續溝通，協助污染行為人及土地關係人解決改善實務困難外，另研擬推動策略，包括污染場址公告及管制、訂定場址改善監督一致性原則、信用保證策略研擬及強化債權保全制度等方式，經確認污染責任主體無法進行改善後，持續與污染土地關係人協商及運用行政手段提高污染土地關係人參與改善意願，除研擬信用保證策略，提升改善誘因外，亦規劃透過法規制度之研修，協助發動保全或執行措施，以強化債權保全制度提升污染改善誘因，期有效促成加速改善場址啟動整治工作。

搭配檢討現行監督作業要點執行問題，研商因應對策與作法，研修審查及監督要點，規範審查與驗證程序一致化減低場址期程延宕之可能性，並增修法規相關作業程序、行政管制作為等原則性規範，以完善監督作業要點一致性原則，另整注意樣態表區分 5 類 20 項樣態，以利地方參酌，避免改善期程冗長之場址，衍生為加速改善場址名單。

環保署將持續盤查場址進度延宕原因，強化法律工具，釐清污染行為人應盡責任，分階段推動場址細部調查，掌握改善期程與經費，擬定改善順序與方案，強化求償工具與證據保全，建立信用保證制度，協助土地關係人取得整治資金，建立個案審查作業基準，減少場址進度延宕情形。短期目標為將停滯場址相關法律程序予以完備及進行完整的評估，確立後續處理方案，中長期目標為推動改善作業執行，以解決停滯場址問題。

持續盤點加速改善場址之現況，就污染資訊尚有缺口之場址進行必要之補充調查，以評估改善方案與推動策略。規劃場址改善之各種可行技術與方案，依據決策需求評估技術、經濟、環境、社會等層面影響，提出最適執行方案建議。

參考文獻

土壤及地下水資訊管理系統，網址：https:// sgw.epa.gov.tw/SGM/Anonymous/SgmLogin.aspx。

行政院環境保護署 (2003)，土壤及地下水污染控制場址進行污染改善推動執行要點，環署土字第 0920095521A 號令訂定發布。

行政院環境保護署 (2010)，土壤及地下水污染整治法，華總一義字第 09900024211 號令修正。

行政院環境保護署 (2010)，土壤及地下水污染整治法施行細則，環署土字第 0990118529 號令修正發布。

行政院環境保護署 (2014)，土壤及地下水污染場址改善審查及監督作業要點，環署土字第 1030097321 號令修正發布。

行政院環境保護署 (2015)，行政院環境保護署補助地方環保機關辦理土壤及地下水污染調查查證與評估工作作業要點，環署土字第 1040024166 號令修正發布。

行政院環境保護署 (2012)，土壤及地下水污染場址調查、整治與管理發展趨勢探討 (EPA-101-GA103-02-A081) 結案報告。

行政院環境保護署 (2018)，土壤及地下水污染場址整治推動及業務專案管理工作計畫 (EPA-106-GA13-03-A041) 結案報告。

行政院環境保護署 (2019)，推動污染場址管理決策導向及行動計畫 (EPA-107-GA01-03-A197) 結案報告。

行政院環境保護署 (2020)，土壤及地下水污染整治業務策略管理計畫結案報告 (初稿)。

「工業污染防治刊物」自民國71年發刊至今，提供產業界各類工業污染防制之技術及管理工具，據以改善製程及提升管末處理設施效能，透過學術研究與實務技術發表，提供產、官、學、研技術交流之機會。本刊物竭誠歡迎**不限期徵稿**，惠請各界踴躍投稿。

本刊特點

1.為國內歷史最悠久之環保期刊之一，至110年已發行153期， 專業論著已逾1,810篇。

2.列入國內重要專業期刊，專業技師投稿將取得60分之積分。

3.納入國家圖書館期刊文獻資訊網，各期紙本刊物於國家圖書館永久保存。

徵稿範疇與方向

1.空氣污染與噪音類：空污減量、多污染與跨媒介之整治案例

2.廢(污)水處理類：節水廢水回收再利用、廢水氨氮及重金屬處理技術

3.廢棄物類：綠色材料與永續物料管理

4.環境化學及微生物：土壤與地下水整治、毒性化學物質管理

5.環境規劃與管理：再生能源發展與應用、永續發展策略、生命週期評估及淨零碳排

投稿辦法

1.投稿稿件，請以電子郵件寄至工業污染防治刊物編輯組；或透過計畫網站線上投稿https://proj.ftis.org.tw/oss/index.html#/

2.檔案下載：徵稿啟事、撰寫格式及範例、著作權讓渡同意書

3.稿件請勿一稿多投，來稿將依收件情況及範疇分期審查刊載

聯絡窗口

張工程師　專線電話：(02)7704-5176
E-mail：yingfang@ftis.org.tw

陳工程師　專線電話：(02)7704-5167
E-mail：sabinachen@ftis.org.tw

「工業污染防治」廣邀各界投稿

一、本刊特點

1. 為國內歷史最悠久之環保期刊之一，於 71 年 1 月創刊，至 110 年已發行 153 期，專業論著已逾 1,810 篇。
2. 列入國內重要專業期刊，專業技師投稿將取得 60 分之積分。
3. 本刊物納入國家圖書館期刊文獻資訊網，各期紙本刊物於國家圖書館中永久保存。

二、徵稿內容

1. 本刊闢有下列類型領域，凡有處理技術、工程規劃設計、操作維護、污染防治實例、清潔生產、污染預防、資源循環技術及法令規章等稿件均歡迎。
   (1) 空氣污染與噪音類
   (2) 廢(污)水處理類
   (3) 廢棄物類
   (4) 環境化學與環境微生物類
   (5) 環境規劃與管理類
2. 來稿限未在其他刊物發表過之文稿。稿件請勿一稿兩投，文稿篇幅盡量勿超過 25 頁(含圖表)，請附中文摘要(300 字以內)，並附關鍵字。一經採用酌酬稿費，其版權歸本刊所有，請檢附「著作權讓渡同意書」。
3. 來稿請附真實姓名、服務單位、地址及電話，以利聯絡並對讀者負責。
4. 本刊對來稿有刪改權，不採用恕不退稿，如需退稿或不願被刪改，請在來稿中註明。
5. 來稿請寄「工業污染防治編輯組」E-mail:sabinachen@ftis.org.tw；或透過計畫網站線上投稿 https://proj.ftis.org.tw/oss/index.html#/
6. 詢問本刊相關事宜，請電(02)2784-4188 轉 5167　「工業污染防治」編輯組。

三、刊物編寫格式(文稿格式範例請洽本刊編輯組)

1. 版面設定：文稿請以 A4 規格 21cm*29.7 cm 編排，本文版面規格則為上界 3.4cm、下界 6.4cm、左界 2.05cm、右界 5.34cm；內文段落則採固定行高 20 pt。
2. 字型設定：除標題(21 號粗體字，置中)、作者(12 號，靠右)、摘要、章標題(16 號粗體字，置中) 及節標題(12 號粗體字，靠左)採標楷體字型外，其餘內容請採用新細明體(內文為 10 號，左右對齊，首行首字須位移 2 字元；圖名及表名則採 10.5 號粗體字並置中)；英文及數字請用 Time News Roman。
3. 章節編序：一、1.、(1)、a 依序類推為原則，章節編寫系統範例如下：一、

→1.1→1.1.1→1.→(1)→a。

4. 圖表配置：文中之圖表請隨文插入，序號請依撰文順序依次編號，如表 1、表 2，圖 1，圖 2 等；圖表則須清晰可供辨識，另圖表中之說明文字請採用中文。
5. 文稿篇幅：請依上述格式編排並盡量控制於 25 頁以內(含圖表) 。
6. 外文引述：翻譯名詞應採易通易懂者，首次出現請附原文，如沉澱(sedimentation)；原文名詞為首字則不必大寫，如活性污泥法(activated sludge process)；一般通用之縮寫文字亦不必加點，如 BOD、SS 等(不必寫成 S.S)
7. 數據規範：文中數字請採用阿拉伯數字，年份則以西元紀年，可量化數字每超過 3 位數請以逗點區隔，如 1,250；文中所用數據單位應為公制單位，如 mg/L、m/d、kg/m^3、d、m、min、℃等。數字及英制單位之間請空半形 1 格，如 12mg/L，改為 12 mg/L。
8. 行文要求：文句簡明，用字通俗即可，請儘可能避免如〝的〞、〝之〞混用情形。
9. 文獻格式：文獻引用請隨文以文獻作者、年份註解於括號內，如陳國城等(1991)、(Gzara, 1991)；參考文獻以中文在前，英文在後之原則序列，中文請依第一作者姓名筆劃順序排列，英文則依作者姓氏字母順序羅列。

   期　　　刊：作者(出版年)。篇名。出處。卷期。頁數。
   書　　　籍：作者(出版年)。篇名。出處。頁數。
   機關出版品：編寫機構(出版年)。篇名。出版機構。頁數。
   研討會論文：作者(出版年)。篇名。會議論文冊名稱。主辦單位。頁數。
   報　　　告：作者(出版年)。報告名稱。○○○委託之專題研究報告(若是政府委託需填寫報告編號)。出版地點：出版商。
   網　　　頁：作者(網頁日期)。資料名稱。網站站名網域網址。

【參考文獻　格式範例】

王義基(2014)，製造業產品碳足跡輔導歷程與成果，永續產業發展季刊，第 66 期，p 3-9。

林靜宏翻譯(1999)，儀器分析，美亞書版股份有限公司。

林振誠(2012)，IBP 塑網，「丙烯市場展望」， http://goo.gl/ypB800。

楊正邦、劉志成(2004)，快濾地反沖洗廢水之處理技術及回收再利用，自來水會刊第 23 期，p81-86。

經濟部工業局(2011)，放流口線上光學 COD/SS 監測開發計畫，100 年度 CITD 專案計畫結案報告。

Gzara, L. and Dhahbi, M. (2001), Removal of chromate anions by micellar-enhanced ultrafiltration using cationic surfactants, Desalination, 137(1-3): p241-250.

附件

著作權讓渡同意書

作　　　者：________________________________

題　　　目：________________________________

作者通訊處：________________________________

一、保證本篇文章除本次投稿外，相同內容未投國內外其他有版權之期刊，或有抄襲之情事；如　有上述情形願抽回本文。

二、同意將本篇文章之著作權自接受刊登日起，讓渡給經濟部工業局，財團法人台灣產業服務基金會因承辦經濟部工業局計畫，有重新製作並將本篇文章置於該會所屬網站及刊物等刊載供外界查詢之權利，但須註明本文章作者。作者保留引用文章在自己著作之權利。如爾後有抄襲、版權、著作權等之法律紛爭，文責由作者自負。

此　　致

財團法人台灣產業服務基金會

作者：__________________簽章

年　　月　　日

ISSN 12042783　GPN 2007100008
工本費：250元

本期刊下載

發行所：經濟部工業局
106臺北市大安區信義路三段41之3號（信義大樓）
TEL：(02)2754-1255　FAX：(02)2704-3753
本期刊全文網址：https://proj.ftis.org.tw/eta/