

110 年 01-02 月號			〈雙月刊〉
環境工程技師公會會訊			
◎ 發行人：范綱智 ◎ 發行所：台灣省環境工程技師公會 (http://www.tpeea.org.tw) ◎ 協助策劃：中華民國環境工程技師公會全國聯合會 ◎ 編輯：台灣省環境工程技師公會學術委員會 ◎ 主編：周奮興 ◎ 發行地址：台北市長安西路342號4樓之1 ◎ 電話：02-25550353 ◎ 傳真：02-25591853			
本期要目			
			頁次
■ 主編的話			2
■ 會務報告			3
■ 重要法令			4
■ 行政院公共工程委員會核備 110 年 01 至 02 月訓練積分課程表			6
■ 環保訊息			8
■ 論述園地			10
1. 污水廠操作評估新技術簡介-陳伯珍			10
2. 土壤重金屬污染清洗處理技術及實績介紹-謝揮文			26
■ 徵稿啟事			39
■ 各公會會員大會、理監事會會議紀錄			40

主編的話

本期會訊論述園地刊載兩篇專文，第一篇邀請污水處理專家陳伯珍技師撰文論述「污水廠操作評估新技術簡介」，詳細介紹由西圖工程顧問公司(CH2M HILL)的一群專家所研發出來的污水廠分析技術(Plant Analysis Technologies, PAT) 中的現場試驗(Field Test)技術，包括:傳氧效率分析、池負荷試驗、沉澱池水力分析、線上監測法、反應槽追蹤劑試驗等，以用於評估污水廠之確實情況、處理容量及操作狀態等。隨著工業 4.0 的快速發展，將 PAT 技術結合物聯網(IoT)及人工智慧(AI)，建立污(廢)水處理廠智慧化管理系統，達成智能控制以及降低操控成本的目標也是必然的趨勢。

第二篇邀請具多年土壤及地下水整治實務經驗的謝揮文技師以「土壤重金屬污染清洗處理技術及實績介紹」為題，分享其公司水洗系統搭配連續操作酸洗系統的清洗工法成功實績，提供一條除翻轉稀釋(耕犁工法)或離場排客土工法外，現場(On-Site)土壤重金屬污染整治的可行工法選項。

另借此處向技師先進們說明「技師執業執照換發辦法」第四條第一項第六款所訂「國內外專業期刊」之認定原則，於去年經公會向行政院公共工程委員會大力爭取後，公共工程委員會於 109 年 8 月 3 日工程技字第 1090200765 號的公告，已將公會發行的「環境工程技師公會會訊」(雙月刊)納入「國內外專業期刊」之認定，此後於公會會訊發表論述文章之技師，每篇論文將可提供 60 分的訓練積分(作者二人以上者，平均分配積分)，歡迎公會技師先進踴躍撰文投稿，除跟大家分享您的專業文章外，也能取得等同於參加主管機關及目的事業主管機關舉辦之專業訓練課程 6 小時的訓練積分。

值此農曆庚子年歲末，先向各位技師先進拜個早年，祝大家辛丑牛年鼠氣全消、牛轉乾坤、事業鴻圖大展、闔家平安!

會務報告

1. 110 度常年會費繳費通知已於 109 年 10 月 30 日 Email 寄出，敬請尚未繳納 110 年度常年會費(金額 4,000 元)的會員儘速繳納。公會帳戶(戶名：台灣省環境工程技師公會) 如下：
 - (1) 郵局劃撥帳號：18091292
 - (2) 銀行匯款資料：台灣企銀(050) 營業部 01012241581
2. 會員若有更動執業資料、受聘公司、地址、電話、Email…等相關資料，煩請告知公會以便及時修改檔案。

重要法令

行政規則公告

1. 行政院環境保護署中華民國 109 年 11 月 23 日環署廢字第 1090101075 號令，修正「行政院環境保護署再生資源回收再利用促進委員會組織規程」第四條、第六條。
2. 行政院環境保護署中華民國 109 年 11 月 27 日環署授檢字第 1091006635 號公告，預告訂定「水中嘉磷塞檢測方法—液相層析串聯式質譜儀法 (NIEA W548.50B)」草案。
3. 行政院環境保護署、交通部中華民國 109 年 12 月 1 日環署空字第 1091196395D 號、交路字第 10900309961 號令，修正「機動車輛噪音管制標準」。
4. 行政院環境保護署、交通部中華民國 109 年 12 月 1 日環署空字第 1091198296D 號、交路字第 10900309981 號令，修正「使用中機動車輛噪音管制辦法」。
5. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 4 日環署檢字第 1098000623A 號公告，預告修正「機動車輛排放空氣污染物及噪音檢驗測定機構管理辦法」部分條文草案。
6. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 10 日環署化字第 1098000635A 號公告，修正「環境用藥禁止含有之成分及檢驗方法」，並自即日生效。
7. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 11 日環署空字第 1091203153 號公告，預告訂定「應符合室內空氣品質管理法之公告場所」草案。
8. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 23 日環署空字第 1091198029E 號令，修正「煉鋼業電弧爐戴奧辛管制及排放標準」。
9. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 23 日環署廢字第 1091200970A 號公告，預告修正「應進行流向追蹤之事業廢棄物再利用產品」公告事項第二項附表草案。
10. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 28 日環署秘字第 1091217625 號函，修正「行政院環境保護署採購稽核小組設置要點」第九點，自即日生效。
11. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 29 日環署土字第 1091210318 號公告，修正「地下儲槽系統貯存之汽油、柴油為中央主管機關公告指定之物質」，名稱並修正為「水污染防治法第三十三條第一項公告指定之物質」，並自中華民國一百十年一月一日生效。
12. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 29 日環署土字第 1091210240 號令，修正「地下儲槽系統防止污染地下水體設施及監測設備設置管理

辦法」，名稱並修正為「防止貯存系統污染地下水體設施及監測設備設置管理辦法」。

13. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 29 日環署空字第 1091207094 號公告，修正「直轄市、縣（市）各級空氣污染防制區」，並自中華民國一百十年一月一日生效。
14. 行政院環境保護署中華民國 109 年 12 月 29 日環署廢字第 1091215071 號函，廢止「垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式」，自中華民國 110 年 1 月 1 日停止適用。
15. 行政院環境保護署中華民國 110 年 1 月 4 日環署基字第 1091208023 號公告，預告訂定「應設置紙餐具回收設施之販賣業者範圍、設施設置、規格及其他應遵行事項」草案。
16. 行政院環境保護署中華民國 110 年 1 月 5 日環署空字第 1091201113 號公告，廢止「柴油汽車排氣煙度試驗方法及程序」，並自即日生效。
17. 行政院環境保護署中華民國 110 年 1 月 7 日環署廢字第 1091216459 號令，修正「共通性事業廢棄物再利用管理辦法」部分條文及第二條附表。
18. 行政院環境保護署中華民國 110 年 1 月 8 日環署廢字第 1091215011 號令，修正「從事事業廢棄物廠（場）內自行再利用及自行處理認定原則」，並自即日生效。

行政院公共工程委員會核備 110 年 01 至 02 月訓練積分課程表***本項課程表係轉達工程會核備之積分課程資訊，細節請技師先進洽詢主辦單位**

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡電話
1	110「公共工程經費電腦估價系統」PCCES 4.3	2021/01/14 ~ 2021/01/15	聯宏資通股份有限公司	聯絡人：張貽茹 電話：02-2708-8589 轉 232 信箱：LuLu_Chang@archknowledge.com
2	TEASPA 4.0 技術講習會(臺北二場)	2021/01/15 ~ 2021/01/15	財團法人中興工程顧問社、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心	聯絡人：褚琴琴 電話：87919198#453 信箱：cherry@sinotech.org.tw
3	結構工程系列-建築物耐風設計-太陽能光電系統抗風與建築風環境	2021/01/15 ~ 2021/01/15	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱：cindy.yang@tciri.org.tw
4	110 年度 FIDIC 合約範本及工程仲裁實務案例研討會	2021/01/16 ~ 2021/01/16	社團法人中華工程仲裁協會	聯絡人：王曉蘭 電話：87123368 信箱：remi_wang@actionip.com
5	「混凝土結構設計規範」研討會(台北場)	2021/01/16 ~ 2021/01/16	中國土木水利工程學會	聯絡人：夏心甯 電話：2392-6325#22 信箱：service@ciche.org.tw
6	卵礫石地層深開挖擋土工法創新設計研討會(本課程有採用視訊及網路教學)	2021/01/23 ~ 2021/01/23	社團法人臺灣省土木技師公會	聯絡人：周思儀 電話：02-89613968#123 信箱：jacana@twce.org.tw
7	工程法務系列-公共工程辦理採購刑事責任分析及檢調約談實務解析	2021/01/25 ~ 2021/01/25	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：陳小姐 電話：02-89195032 信箱：chenmmnu@tciri.org.tw
8	調整型防砂壩新思維研討會	2021/01/26 ~ 2021/01/26	中興大學水土保持學系	聯絡人：邱渝方 電話：04-22840381#109 信箱：tracysht@gmail.com
9	纜索檢測機器人及密閉空間無人機巡檢	2021/01/26 ~ 2021/01/26	財團法人中華顧問工程司	聯絡人：劉崑玉 電話：87325567*1219 信箱：kunyu@ceci.org.tw
10	工程法務系列-工程辦理開工、停工、復工、竣工作業程序及爭議處理機制	2021/01/26 ~ 2021/01/26	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：陳小姐 電話：02-89195032 信箱：chenmmnu@tciri.org.tw
11	TEASPA 4.0 技術講習會(臺中場)	2021/01/26 ~ 2021/01/26	財團法人中興工程顧問社、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心	聯絡人：褚琴琴 電話：87919198#453 信箱：cherry@sinotech.org.tw
12	機電工程系列-建築與機電介面整合實務	2021/01/27 ~ 2021/01/27	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊小姐 電話：02-89195033 信箱：cindy.yang@tciri.org.tw
13	110 年度技師專業訓練講習-政府採購全生命週	2021/01/28 ~ 2021/01/28	中華民國大地工程技師公會	聯絡人：謝美玲 電話：02-2782-0022#21 信箱：pgea@pgea.org.tw

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡電話
	期概論、執業相關法令及工程倫理			
14	第十一屆第一次會員大會 暨《後疫情時代土壤及地下水整治技術發展—含氮有機物整治技術研發應用》研討會	2021/01/28 ~ 2021/01/28	社團法人台灣土壤及地下水環境保護協會	聯絡人：林小姐 電話：07-6051016 信箱：tasgep@gmail.com
15	第十五期薪傳講座-地工應用技術實務(三)	2021/01/29 ~ 2021/01/29	中華民國大地工程技師公會	聯絡人：謝美玲 電話：02-2782-0022#21 信箱：pgea@pgea.org.tw
16	公共/建築工程、技術服務及專案管理、統包作業實例解析	2021/01/29 ~ 2021/01/29	中華產業發展與品質管理協會	聯絡人：許專員 電話：07-5566909 信箱：service@iqma.org.tw
17	社區主委班	2021/01/30 ~ 2021/01/30	台北市公寓大廈暨社區服務協會	聯絡人：蔡豐慈 電話：2768-3955 信箱：service@tbca.org.tw
18	「混凝土結構設計規範」研討會(台北二場)	2021/01/30 ~ 2021/01/30	中國土木水利工程學會	聯絡人：黎婉青 電話：02-2392-6325#21 信箱：public@ciche.org.tw
19	出流管制之做法-以新北為例研討會「本課程有採用視訊或網路教學」	2021/01/30 ~ 2021/01/30	新北市土木技師公會	聯絡人：張晶姜 電話：02-29572300#12 信箱：ntcel2@gmail.com
20	Profis Engineering 錨栓設計軟體簡介	2021/02/22 ~ 2021/02/22	喜利得股份有限公司	聯絡人：蔡尚錡 電話：0939188530 信箱：anthony.tsai@hilti.com
21	Profis Engineering 錨栓設計軟體簡介	2021/02/24 ~ 2021/02/24	喜利得股份有限公司	聯絡人：蔡尚錡 電話：0939188530 信箱：anthony.tsai@hilti.com
22	塗裝業(製程)VOCs 減量經驗分享	2021/03/06 ~ 2021/03/06	高雄市環境工程技師公會	聯絡人：沈坤韻 電話：07-3118608 信箱：keea.guild@gmail.com

環保訊息(資料來源：行政院環境保護署)

➤ 109/11/22 【空氣品質已逐年好轉 環保署減煤更減污染】

環保署指出，對於民間團體呼籲要有好空氣的要求，統計至 109 年 10 月底止空氣品質監測狀況，全國各項空氣污染指標均呈現改善濃度趨勢。其中 AQI PM2.5 紅色不良次數，由 104 年的 997 次下降至 108 年 146 次，甚至 109 年截至 10 月底僅有 14 次。另空氣品質原本較差的中南部地區亦呈現大幅改善情形，108 年與 109 年 1 月至 10 月同一時間空氣品質細懸浮微粒 (PM2.5) 雲嘉南空品區從 108 年 21.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 109 年 18.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，改善率達 15.3%；高屏空品區從 108 年 17.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 109 年 14.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，改善率達 14.6%；顯示中南部地區 PM2.5 空氣污染也已獲得相當程度改善。

➤ 109/11/30 【環保署預告「違反廢棄物清理法罰鍰額度裁罰準則」第 2 條（第二次）修正草案】

為促使廢棄物產生者負起產源責任，環保署於 109 年 5 月 7 日預告修正「違反廢棄物清理法罰鍰額度裁罰準則」第 2 條草案，將違規受罰者的資力，納入計算罰鍰額度的審酌因素，經邀請各界召開研商會徵詢意見，因應社會對於廢棄物非法棄置違規行為處分之關切，經評估後調整預告草案內容，爰辦理第 2 次預告。

➤ 109/12/03 【2020 全民護土壤，讓土壤生生不息，呵護萬物生靈】

聯合國訂每年的 12 月 5 日為「世界土壤日」(World Soil Day, WSD)，這一天慶祝大地的母親土壤生日，環保署為感念土壤對糧食、水資源和能源安全的貢獻以及在保育生物多樣性和氣候變化中對人類的福祉。特別自 12 月 5 日起，展開保護土壤及地下水的系列活動，從教育、宣導、專家呼籲及人才培育等，播下珍貴的保育種子，讓土壤及地下水保護變成全民共識。

➤ 109/12/10 【因應汞公約 環保署修正公告「環境用藥禁止含有之成分及檢驗方法」】

環保署修正公告「環境用藥禁止含有之成分及檢驗方法」，本次修法主要係配合「汞水俣公約」(Minamata Convention on Mercury)（下稱汞公約）規範於西元 2020 年起禁止生產、進口或出口含汞殺蟲劑產品，爰於環境用藥管理法第 7 條授權訂定之「環境用藥禁止含有之成分及檢驗方法」增訂「汞」及「甲基汞」為環境用藥禁止含有之成分，並訂定其檢出含有限值為 10 MDL (Method Detection Limit, MDL)。

➤ 109/12/11【環保署預告訂定「應符合室內空氣品質管理法之公告場所」草案】

為改善室內空氣品質，維護國民健康，環保署滾動式檢討管制場所及規模，優先依敏感族群活動場所、大量公眾聚集及頻繁進出者、公立及大型場所，循序漸進管制原則，擬再次公告列管場所擴大管制對象，環保署採取逐批公告方式，分別於 103 年 7 月 1 日、106 年 1 月 11 日公告應符合室內空氣品質管理法之第一批及第二批公告場所，已納管 16 類公告場所合計 1,500 餘家列管場所，其中 8 成以上為大型場所。

➤ 109/12/29【環署修正發布「防止貯存系統污染地下水體設施及監測設備設置管理辦法」強化儲槽管理保護土壤及地下水】

因應「水污染防治法事業分類及定義」於 109 年 7 月 1 日修正，業別 64. (2) 貯油場納入同業別 (5) 貯存設施管理，將自 110 年 1 月 1 日生效，環保署強化地上儲槽保護土壤及地下水相關預防污染措施，爰修正「地下儲槽系統防止污染地下水體設施及監測設備設置管理辦法」，名稱並修正為「防止貯存系統污染地下水體設施及監測設備設置管理辦法」。另為防範國內土壤及地下水常見污染物質，修正「地下儲槽系統貯存之汽油、柴油為中央主管機關公告指定之物質」，名稱並修正為「水污染防治法第三十三條第一項公告指定之物質」，指定物質修正為汽油、柴油、燃料油等 25 項油品及符合土壤及地下水污染管制項目等 9 項有機物，儲存該 34 項物質之貯存設施須依前揭辦法完備相關防污措施。

➤ 110/01/04【環保署預告訂定「應設置紙餐具回收設施之販賣業者範圍、設施設置、規格及其他應遵行事項」草案】

為落實紙餐具回收，減少廢棄物產生，環保署於 110 年 1 月 4 日預告「應設置紙餐具回收設施之販賣業者範圍、設施設置、規格及其他應遵行事項」草案，優先針對內用使用紙餐具最為廣泛之自助餐店及便當店規範所應負之回收責任，引導業者改善用餐環境，便利並教育民眾分類回收，提高資源回收品質。

➤ 110/01/07【環保署發布修正「共通性事業廢棄物再利用管理辦法」部分條文及第 2 條附表】

為強化推動資源循環再利用，環保署修正「共通性事業廢棄物再利用管理辦法」部分條文及第 2 條附表，除配合行政程序修正部分條文外，另修正附表廢塑膠再利用用途及新增廢棄滅火器乾粉回收再利用，期提升廢棄物資源有效再利用。

論述園地

污水廠操作評估新技術簡介

環工技師 陳伯珍

一、前言

污水廠分析技術(Plant Analysis Technologies, PAT)係用來分析及診斷污水處理廠的操作狀況，以便能獲得一般傳統現場評鑑或考核方式所無法取得的污水廠實際的資訊，例如：池槽的短流或死角、曝氣池散氣系統的效率、處理單元最大處理容量及消化槽攪拌效率等，這些資訊能提供如何改善放流水水質、如何節省廠內用電量、如何延緩擴廠的時間，或是否能夠避免擴廠等效益。

國內的污水處理廠從興建完成到進行實際操作，設計顧問公司負責設計及施工監造，操作維護公司負責運轉，在運轉期間，如有儀器及設備壞了，就找各專業公司來修復，至於營運期間雖有政府機構的定期評鑑或考核，但都僅限於到污水廠查看設計圖、操作數據、訪問操作人員、查看現場的設備及設施等等，就開出改善建議書，這相當於中醫對診斷病人最常採用的望聞問切方法。

PAT 技術是 20 多年前由美商西圖工程顧問公司(CH2M HILL)的一群專家所研發出來的，該技術相當於採用西醫的 X 光照射、超音波或電腦斷層掃描，可以更深入了解各處理設施的毛病。PAT 技術係以須自行設計及製作的設備，配合市面上可取得的各種偵測儀器，組成一套完整的診斷設備，將以西醫的方式去診斷一個處理廠，找出病因，然後提出如何改善的藥方，以便徹底解決該廠不明的沉痾痼疾。

二、PAT 技術概說

依據美國環保署的一項調查，在美國約有 1/3 至 1/2 的污水處理廠在完工後並不能夠如當初設計時所預期的能處理其污水至符合放流水標準。另一項調查亦顯示約 50%至 90%的污水廠經常不符合放流水標準。放流水中 BOD 及 SS 超過標準最常見的原因不外乎曝氣池低溶氧、低混合液懸浮固體物濃度、進流污水量太高、以及污泥處理有問題。

活性污泥法常作為污水廠的處理程序，該法在設計時經常假設進流

水質及水量為穩定狀態而採用傳統設計準則，這種設計方式很難保證會有最佳之處理效果。另外污水廠通常以隨機採樣方式來收集有限的傳統操作數據，這些分散的資訊常不足以用於決定處理設施的動態操作特性及最大的處理容量。有時資訊的限制常減少操控之彈性，導致污水廠出毛病而無法符合放流水標準。

污水廠實際的情況、容量及操作狀態可用一些評估及最佳化技術來分析，這些技術統稱為污水廠分析技術 (PAT)，在很多情況下，採用 PAT 所得到的建議，經由更有效的程序及操控最適化，可帶來可觀的能源節約，以及延緩或減少擴廠需要。

PAT 技術可分成三種層級，每一種層級皆比前一種層級提供更好及更詳盡的資訊，該三種層級為：

(一) 案上書面資料分析 (Desk-Top Analysis)

利用操作數據設計準則及依據處理單元之能力分析各處理單元之容量及可靠度。

(二) 處理廠訪查 (Onsite Visits)

經由操作人員之意見及觀測實際之操作情況來指出處理廠之限制因素，從而找出改善之道。

(三) 現場試驗 (Field Test)

藉著各種試驗技術以協助尋求改善全廠操作、降低操作費及發揮現有設施處理能力之方式。

本文主要介紹上述技術層級的第 (三) 項「現場試驗」。

三、PAT 技術之現場試驗簡介

PAT 技術係利用各種不同的儀器設備到污水處理廠做現場測試，現將各技術簡述如下：

(一) 傳氧效率分析

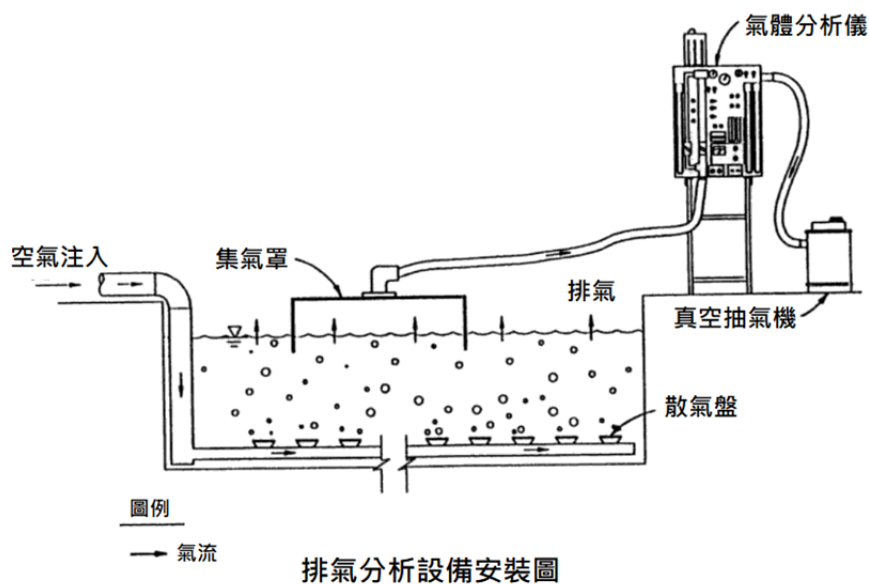
由 Redmon 在 1983 年所發展的排氣技術 (off-gas technique) (見圖一) 是最高度精準的污水傳氧效率 (Oxygen Transfer Efficiency, OTE) 量測技術，而且這是能即時 (real-time) 決定 OTE 的唯一技術。該技術

係量測離開曝氣池水面的空氣的氧含量，而 OTE 即為由周遭空氣 (20.95% 摩爾分數) 及排氣兩者之間氧氣質量平衡的計算值。該技術可用做幾種不同曝氣設施性能的比較，亦可用於了解曝氣器積垢阻塞對污水廠營運費的影響以及曝氣器清理的需求。

傳氧效率量測之用途有如下述：

- 曝氣系統之檢修
- 決定或確認曝氣系統的容量
- 不同的散氣器系統在處理條件下的比較
- 決定散氣器定期清理之時程
- 評估散氣器不同清理方法的有效性

曝氣系統中測量「污水」和「清水」的傳氧效率。污水試驗在散氣設備曝氣系統中係使用「排氣」的技術。而在機械設備曝氣系統中則係使用「過氧化氫」的技術，清水試驗通常使用硫化鈉。



圖一 排氣分析設備安裝圖

排氣分析技術的優點如下：

- 不會干擾流程，換言之，本法能在正常操作狀況下直接進行。
- 在正常處理程序中可對某一特定的定點進行分析量測，如此，可以對傳氧效率 (OTE) 的空間變異分佈加以定量分析。

- 可同時量測空氣流量，因此，溶氧在空間上的變異性可同時被偵測到，尤其是曝氣設備控制不當時。
- 隨機的量測分析成本相對較便宜，因此，可以進行較多次及較多點的分析，如此，則可得到曝氣效率在空間及時間上的變化。

其缺點如下：

- 排氣分析需要較特殊的分析儀器。
- 排氣分析法只適用於散氣式傳氧系統。
- 對高度紊亂的散氣系統而言，排氣的收集較困難，例如高率粗氣泡曝氣系統，使得數據收集困難也不正確。

排氣分析技術可應用於既有處理廠在節約能源上的可能潛力，亦可用來增加傳氧的容量以符合處理廠容量增加的需求，藉由增設溶氧自動控制系統以降低能源的消耗的可能性亦值得評估。

(二) 沉澱池負荷試驗

沉澱池的負荷試驗係藉由改變加諸於此處理單元的水力負荷，以對其反應加以量化。負荷試驗是可以量化的，而且可以用來決定沉澱池的實際容量。

沉澱池一般有兩種功能，澄清及污泥濃縮。就初沉池而言，一般只是試驗其對固體物的去除效率；然而對二沉池而言，其性能可能須由澄清或濃縮，或是兩者，來做判斷，所以二沉池的負荷試驗包括兩種功能的分析。

沉澱池係藉由水力負荷與固體物去除間的關係來做分析(初沉池)，或是藉由水力負荷與二沉出水水質間的關係來做分析(二沉池)。污泥濃縮係藉由固體物負荷與污泥毯深度及/或二沉出水水質間的關係來做分析。

沉澱池負荷試驗可採用下述三種方法：

1. 歷年操作數據之分析法——此項分析大都在案上書面資料分析階段時進行。既有的程序負荷與出流水水質數據同時畫出來，以便量化其程序關係。一般在進行這種分析時手邊只有綜合水樣的數據，所以分析的結果係該綜合水樣紀錄期間的平均關係代表式。

處理的瞬間反應並未量化，然而，該關係可用於決定在提高負荷時處理單元的平均反應。如果該處理單元係長期操作在超過其可靠的處理能力的負荷之情況，則該技術是非常有用的；然而，如果負荷一直很低，則採用歷年操作數據之分析法便無法量化其處理極限。

2. 每日污水流量變遷的隨機採樣負荷試驗法——這是最典型的現場負荷試驗法，藉著減少使用中處理單元的數量，單元的水力負荷會改變，將水流偏向受測的處理單元，並藉著每日的流量變遷使試驗單元產生水力負荷變化。單元的進流量做定期的監測，而要定期的收集出流水，通常的採樣時距是每 15 分鐘至 1 小時。進行本試驗必須正確的量測流進受測單元的流量。正確量測流量的這項限制亦影響到本法的使用彈性。本測試方法所得的結果可對沉澱池處理單元對負荷變化的瞬間反應予以量化。最重要的是本法在測試時可將加諸於受測單元的負荷提高到其原設計容許可靠處理容量之上，如此，可得到受測單元的最大容量極限。
3. 線上監測法——進流及出流水總懸浮固體物 (TSS) 的即時時間數據可使用連接到一個資料收集系統的永久或臨時裝設的儀器來收集，流進受測單元的流量藉著上述第 2 項測試方法來改變，以產生出流總懸浮固體物的改變。試驗需為期一段長時間，出流水總懸浮固體物及程序負荷的結果可同時畫出來，以便決定受測單元的處理極限(見圖二)。

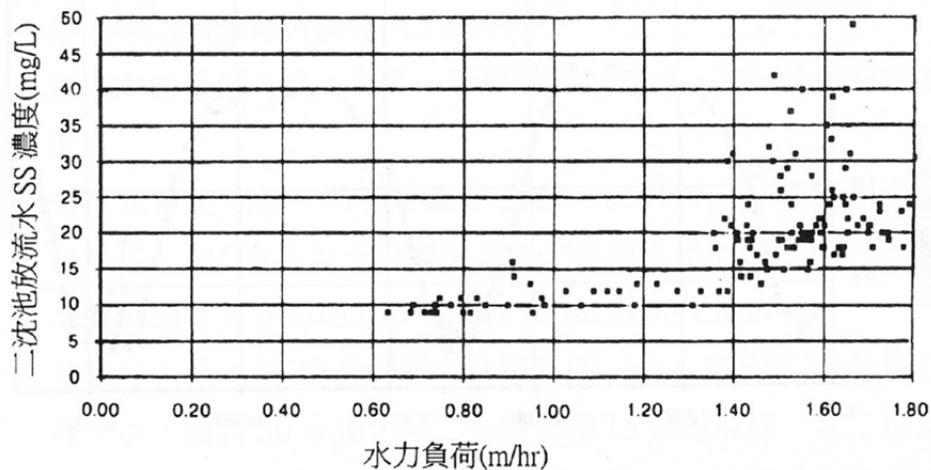
上述每一種技術都能提供有效的資訊：如果某處理單元係長期操作在超過其可靠的處理能力的負荷之情況，在該種情況下，因已有長期數據，所以可完全量化該處理單元的容量，則方法 1 之歷年操作數據之分析法是非常有用的；在另一些情況下，某些處理單元不曾被操作在高負荷直至出水不合格，則必須採用方法 2 及 3 來量化該些處理單元的容量。

方法 2 可獲取發生重大出水水質變差時水力負荷的一般定量值，然而，方法 1 及 3 可在寬廣的程序負荷及操作特性的範圍內獲取更精確的性能量化關係。

如前所述，沉澱池的沉澱及濃縮能力都須作分析。沉澱池容量通常以表面(水力)負荷率($\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ 或是 m/hr)與懸浮固體物去除率之間的

關係來做量化(初沉池)，或是以表面(水力)負荷率與二沉出水懸浮固體物濃度間的關係來做量化(二沉池)。

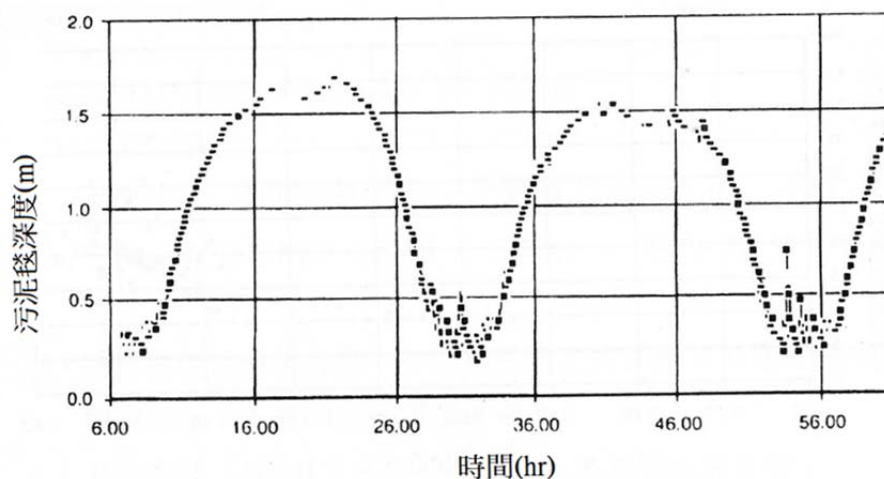
通常，初沉池在平均日流量下，其懸浮固體物的去除率時常假設為 65%，尖峰流量時，沉澱池必須繼續執行，而不使污泥毯流失，因此，可在性能曲線上找出兩點，一點是懸浮固體物去除率達到 65%(此為平均容量)，另一點是固體物去除急遽跌落，代表污泥毯流失(此為尖峰容量)。



圖二 二沉池負荷試驗結果

二沉池的性能通常連結到符合放流水排放標準，例如在尖峰流量下，總懸浮固體物的放流水標準為 30 mg/L，此標準用來定義受測試二沉池的尖峰容量。

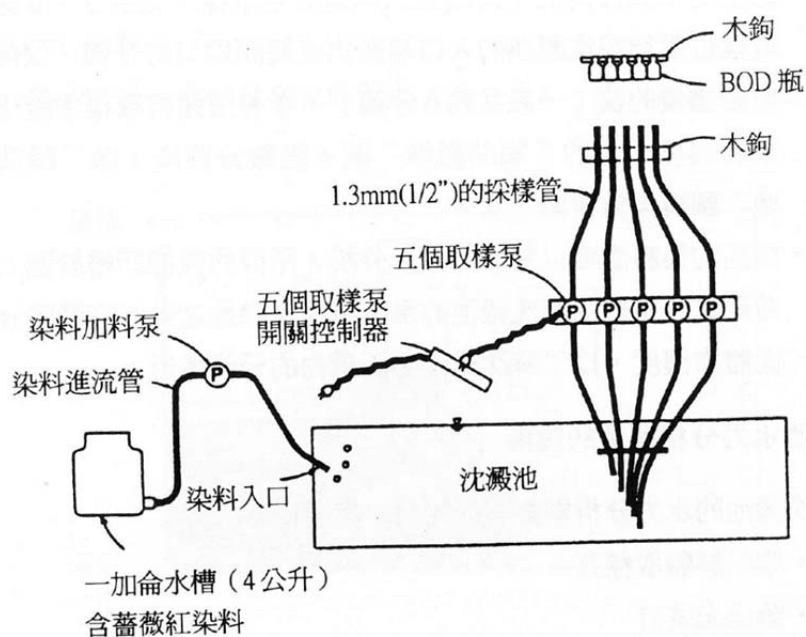
沉澱池的濃縮能力係藉由將沉澱池的固體負荷 (kg/day/m^2) 連結到二沉出水懸浮固體物來量化的，另外，污泥毯深度隨時間的變化亦以圖三表示。



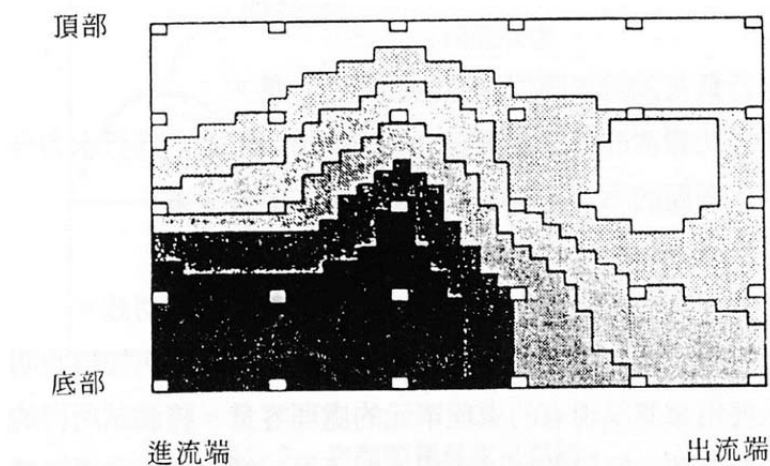
圖三 污泥毯深度趨勢圖

(三) 沉澱池水力分析

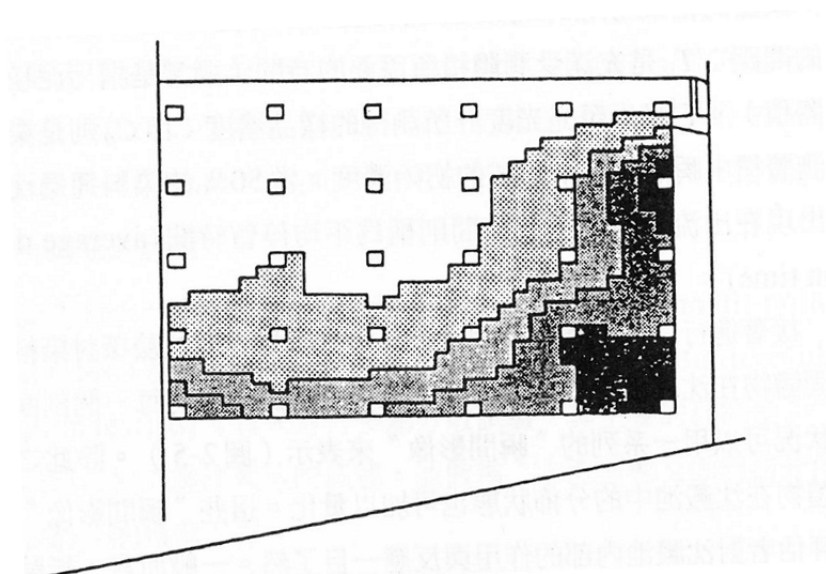
使用微量染料分析來決定沉澱池的水流型態和短流，「克勞斯比技術」(Crosby Technique)可用來造成沉澱池水流型態的橫斷面圖，據以分析沉澱池擋水板的作用。該技術之試驗設備示意圖見圖四，測試所得之初沉池及二沉池之瞬間影像見圖五及圖六。為了對水力分析的結果作適當的解讀，以及對可能的改善方案作確認，必須具備有沉澱池的實廠經驗。二沉池時常可加設整流板，以經由降低密度流的影響，來提升性能。對於初沉池進流及出流設施的改善，在某些案例中，亦可提升其性能。



圖四 沉澱池染料試驗設備圖



圖五 加州 Benicia 污水廠矩形初沉池的瞬間影像圖
(顏色深淺表示初沉池中染料濃度變化情形)

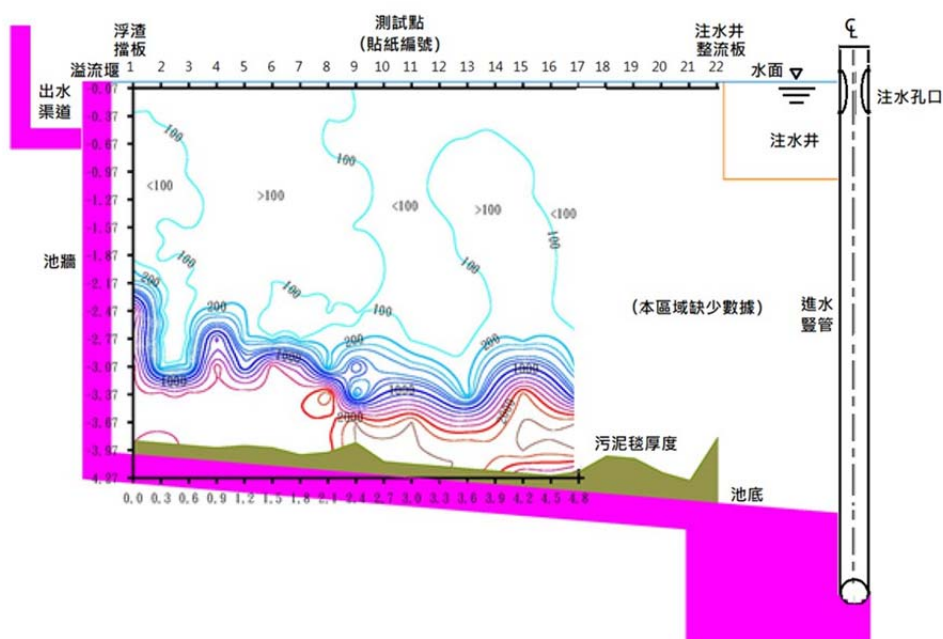


圖六 二沉池典型的瞬間影像圖-UOSA 污水處理廠
(顏色深淺表示染料在二沉池中的變化情形)

國內測試案例係在某一工業區污水處理廠進行的二沉池水流型態分析，該測試捨棄前述「克勞斯比技術」需利用昂貴又繁複的螢光光度計偵測螢光劑染料的作法，改用命名為「PC 陳技術」(PC Chen Technique)的新型水流型態分析試驗法(見圖七)，該改良法係使用懸浮固體濃度偵測器(SS meter)，測試時沿著二沉池的徑向，在不同位置與不同水深偵測懸浮固體濃度值，再透過 Surfer 統計製圖軟體予以重新演算後繪製出二沉池中的懸浮固體等濃度圖(見圖八)，藉以分析二沉池的水流型態。



圖七 以 PC 陳技術進行二沉池水流型態分析試驗



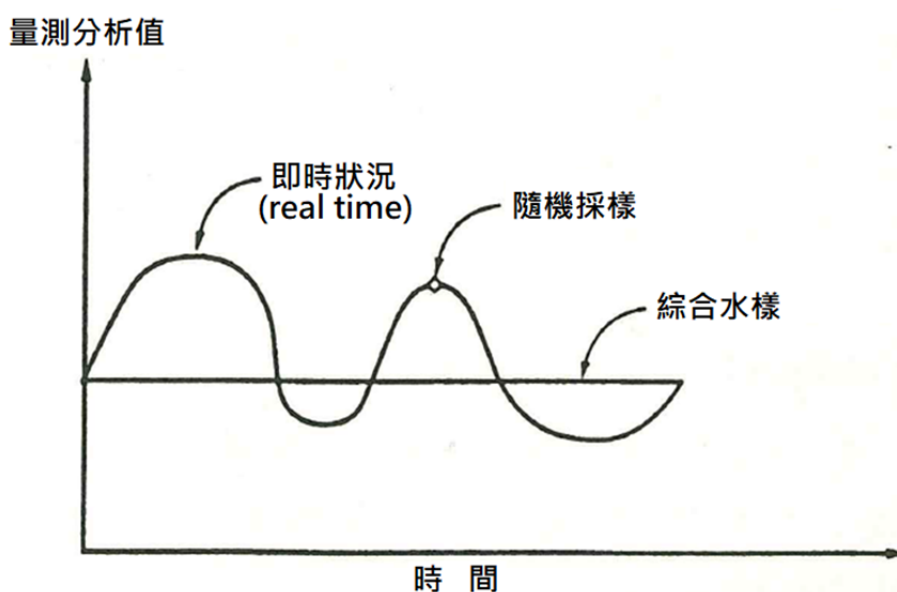
圖八 二沉池水中懸浮固體等濃度分布圖

(四) 線上監測法

線上監測系統係使用水質監測儀、水量測定儀、資料傳送器及資料處理分析系統等來連續記錄「即時時間」(Real Time)的數據，線上監測法可用來判斷不同處理變數的動態相互作用，例如：

- 1、生物污泥一天當中的變化
- 2、流量改變對沉澱池出水懸浮固體物的瞬時影響
- 3、一天當中有機物負荷的變化對生物處理系統效果的影響(包括有機物去除及硝化作用)。

典型污水廠的資料收集包括隨機水樣(grab sample)及綜合水樣(composite sample)的合併。隨機水樣代表時間上的一點數據，而綜合水樣代表一段時間的平均，不幸的是，這些方法都無法鑑定出發生在廠內的動態(即時)反應。線上監測法(on-line monitoring)則可用來蒐集即時數據(見圖九)。(改變速率較慢的處理流程，例如厭氧消化系統，則通常較不適合使用線上監測法)。



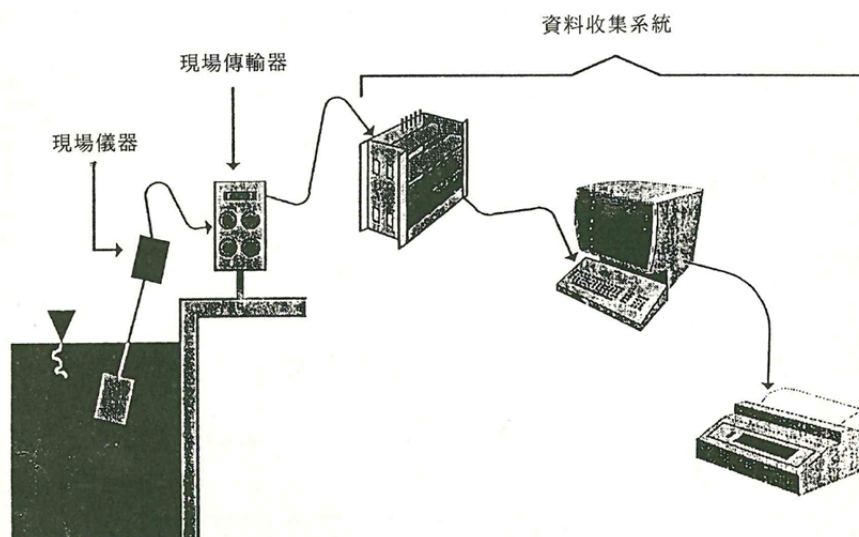
圖九 典型的水樣資料收集型態

線上監測系統(見圖十)主要的組成如下：

- 臨時裝設的現場偵測儀器(如懸浮固體物偵測器、溶氧偵測器及污泥毯深度偵測器等)。
- 傳輸器可將現場偵測儀器及操作所測得的訊號傳輸給資料收集系統。
- 現有處理廠的各種資訊傳送到資料收集系統(DAS)。
- 資料收集系統(DAS) 包括下列的組成：
 - 訊號處理機：負責傳輸轉換各種訊息並供作資料的臨時儲存處

- 個人電腦：用來儲存整理及展示各項資料
- 印表機：用以將每日的趨勢變化列印出。

線上監測法包括使用臨時或永久裝設的儀器來量測處理程序負荷及性能參數，以及一個數據擷取系統來收集即時程序數據，接著是分析收集到的數據。通常量測的程序變數包括程序流量(污水、程序空氣及污泥)、溶氧、懸浮固體物、動力及污泥毯深度。

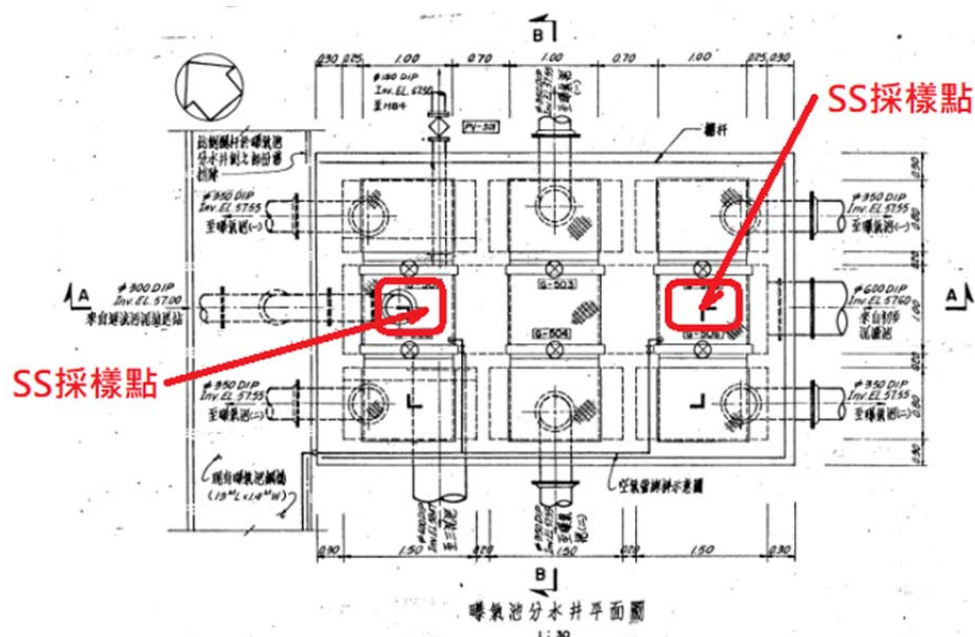


圖十 線上監測設備系統圖

線上監測系統係一種高費用且高耗時的檢測程序，然而，由線上監測所得到的結果顯示本法是個相當有效的評估技術。本法可同時收集處理系統的各項即時數據，因此可對處理程序各單元間的相互作用加以確認並予以定性化，這是其他評估方法所無法做到的。這種結果可應用於處理廠的最佳化操作，尤其是在動態操作的應用上。

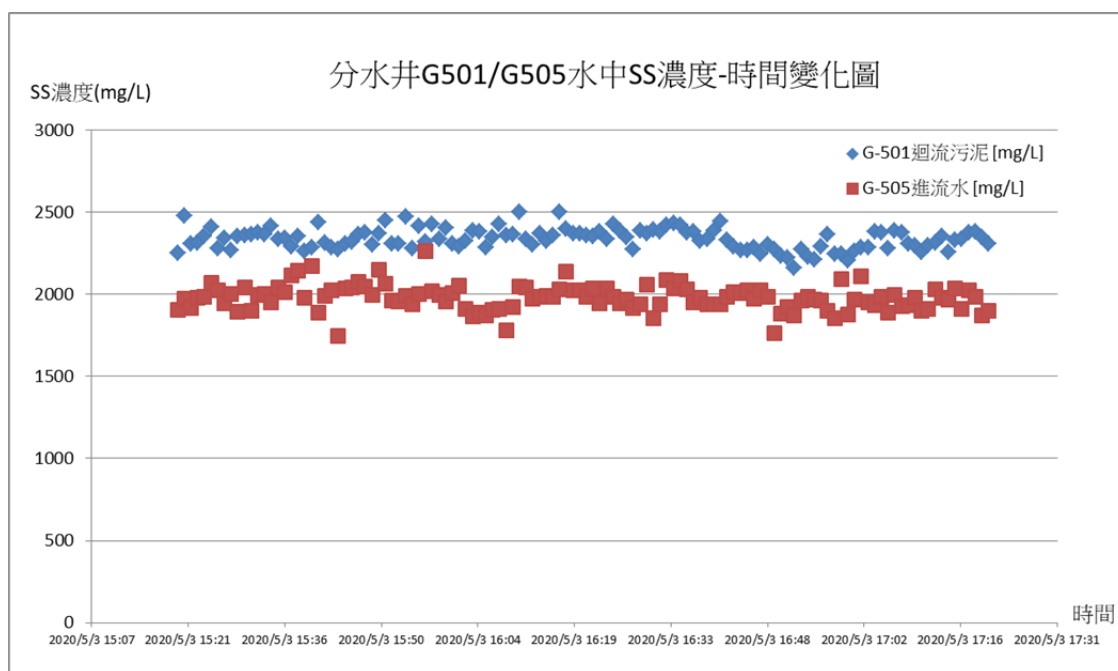
分水井係利用管渠的幾何對稱等方法來均勻分水，使得分水後的各個池槽之進流量穩定，有一致的處理參數，以簡化操作手續及提高處理效率。

國內測試案例係測試國內某一工業區污水處理廠曝氣池上游端分水井的功能，進流污水及迴流污泥係分別於矩形分水井狹長的兩端底部進入分水井，並從設置在分水井狹長邊的兩側，每側各有面對面的三個溢流堰，總共六個的溢流堰頂端出水(見圖十一)。測試組員在進流污水管及迴流污泥管正上方的兩個溢流堰跌落井設置懸浮固體(Suspended Solid, 簡稱 SS)濃度自動偵測設備，量測溢流混合液的 SS 濃度，以便得知分水井的分水效果。



圖十一 SS 傳感器安裝位置圖

由試驗結果可知，因為污水管及迴流污泥管的設置位置相隔太遠，以至於進流污水與迴流污泥等兩股水無法混合均勻，導致於在狹長的分水井兩端分別取樣，其混合液的 SS 濃度有 15~18% 的差距(見圖十二)。解決此問題可藉由將分水井底部的初沉污水及迴流污泥管進流管儘量靠近，以便提升污水與迴流污泥的混合效果，從而提升分水井的分水均勻度。



圖十二 分水井不同溢流渠道內混合液 SS 濃度與時間變化圖

(五) 反應槽追蹤劑試驗

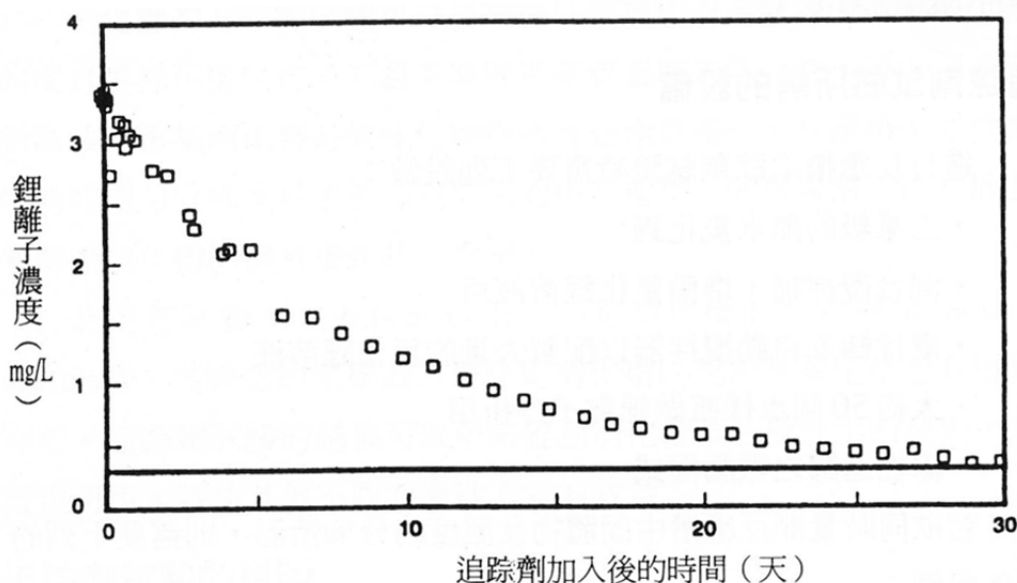
追蹤劑試驗提供了寶貴的診斷服務，可用於量測新的或重新設計的系統上，或需要更改流程設計參數的水力或混合度的性能。在可能已發生固體沉積的現有系統上，追蹤劑試驗可提供有關有效體積的重要信息。

反應槽追蹤劑試驗可以診斷出下列的問題：

- 短流
- 死角
- 劣質處理水
- 固體挾帶
- 化學藥劑添加量和混合不充分

氯化鋰 (LiCl) 追蹤劑試驗應至少在消化槽的 3-4 倍理論水力停留時間內進行。這確保了用氯化鋰濃度繪製的停留時間分布 (RTD) 曲線準確地表示了消化槽中的混合情況 (見圖十三)。在混合的早期，以較短的時間間隔取樣，以補償在初始階段對混合特性的影響非常明顯的事實。隨著停留時間的增加，混合性能逐漸變小。消化槽的追蹤劑試驗將確定：

- 混合時間或進料污泥分散時間
- 平均污泥停留時間和有效容量
- 短流行為
- 攪拌器性能是否符合規範



圖十三 消化槽追蹤劑洗出曲線圖

四、PAT 技術之效益

PAT 技術提供給業主的效益如下：

(一) 避免不必要的擴廠

污水廠在進行「案上書面資料分析」法時，結果可能顯示擴廠的需要，然而，大部分案上分析法使用標準設計準則，而「即時監測系統」則使工程師能推估污水廠的實際容量，並且記錄其操作成效。

事實上，一些(但非全部)污水廠的實際容量可能大過「案上書面資料分析」法所推估的容量。如果實際容量大些，擴廠即可避免。另一方面，在分析過程中鑑定出的一些改善措施，會比整廠擴建來的便宜。「即時監測系統」也能用來達到較高出水水質。曾有過這麼一個案例：某污水廠被要求達到硝化程度，勢必需要建造昂貴的新設施，但在該廠現有曝氣系統進行「即時監測」後，實際上僅要改善現有系統的控制，即可達到硝化的程度。

(二) 使放流水達到法規標準

藉著改善操作方式，原來不合格的污水廠能回復到合乎法規標準，改善之操作方式如下：

1. 鑑定出抽水站操作頻繁導致的水力紊亂，這些紊亂原先並未經操作人員察覺，經過即時監測後，發現到其會直接影響放流水水質，最後在經改變抽水站的控制後，即解決了此難題。

2. 藉著監測活性污泥處理廠中溶氧、迴流污泥、廢棄污泥及進流水與放流水水質的關係，提高了處理效果。

(三) 降低操作成本

一座活性污泥處理廠的操作成本中，一大部分係用於曝氣系統的能源使用，將溶氧監測及能源使用合併考慮，則可發揮鼓風機運轉的最大效益。

藉著配合溶氧高低而改變鼓風機的運轉，短期間即可獲致最大的能源節約。

即時監測亦可藉著監測加藥量和處理效果的關係而用來提高加藥效率。

(四) 獲得正確設計依據

如果擴廠屬必要，即時監測可得到操作方面正確的資料，從而可得到正確設計依據。

(五) 儀表及控制的改善

有時候，業主看到了即時監測能力帶來的好處，而想購置那些設備來永久使用。這種資訊的取得的確使他們操作的更有效率。然而，一些業主也深怕購買新的儀表及控制設備會帶來高科技維修的頭痛問題。即時監測系統的目的之一即在於不斷地找到低成本低維護費的設備，俾便業主能樂於採用。

五、未來展望

隨著技術不斷推陳出新，未來污水廠操作評估新技術可望擴及下述之領域：

1. 即時監測

監測項目擴大至磷、硝酸鹽、氨、氧化還原及總有機碳。

2. 動態模式之發展 (Dynamic Modelling)

採用電腦模式模擬 (Model Simulation) 污水處理程序，最大的好處是不需費時費力做實驗即能預測處理廠水質水量隨時改變之特性。

3. 專家系統

以有系統之方式將操作人員及研究人員之經驗納入電腦中以備當需要專門人員下判斷時能自動做出決定。動態模擬結合專家系統代表污水廠最佳化監控之嶄新途徑。

六、結語

前述污水廠操作評估技術用於評估污水廠之確實情況、處理容量及操作狀態等，已證明對鑑定水力及處理程序之瓶頸、了解污水廠確實處理容量、達成重大能源節約，及在某些情況下能延緩擴廠時間等，頗有助益。

一些新技術如新增之即時監測、動態模式及專家系統亦正引進，以增進評估技術之效率及範圍。

土壤重金屬污染清洗處理技術及實績介紹

台和工程顧問股份有限公司 環工技師 謝揮文

一、前言

本實績案例之土壤係受重金屬污染，國內受重金屬污染之土壤大都採取翻轉稀釋法+離場處理，低污染濃度之土壤以翻轉稀釋法處理；中、高污染濃度之土壤採離場處理。但翻轉稀釋工法往往受部分審查委員質疑於場址內之污染總量並未減少，而採用離場處理又因處理價格昂貴，且因土壤生成不易需保護土壤資源，及減少能源使用之考量下，又須思考如何減少離場處理土方量。為減少離場處理土方量，卻又可同時降低污染場址之重金屬污染總量，因此開始加入清洗工法，以符合減少離場土方量、珍惜土壤資源，又可降低污染總量之雙重目的。

土壤表面或孔隙常附著帶負電之有機質，而帶正電之重金屬離子便吸附於土壤之有機質上，完整之清洗工法包含了水洗+酸洗系統，受重金屬污染之土壤若以粒徑大小分離，會產生不同之污染濃度。小顆粒的土壤因比表面積較大顆粒土壤大，且重量較輕，分母小分子大，因此小顆粒之污染土壤其污染濃度較高，反之，大顆粒之污染土壤污染濃度會較低。

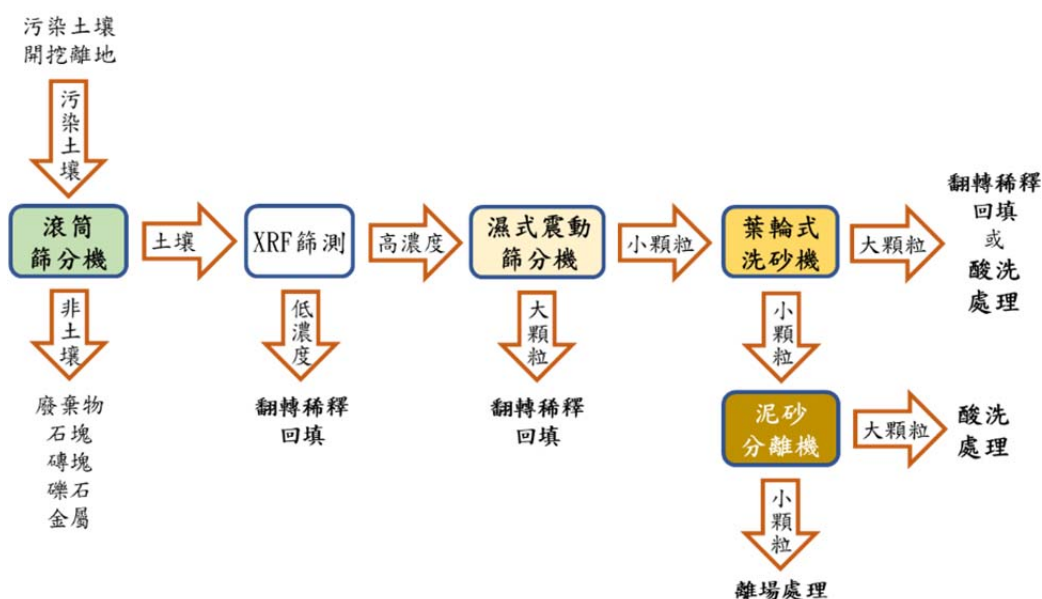
水洗系統係利用大、小顆粒粒徑不同之原理而做分離，分離後之大、小顆粒土壤因其重金屬濃度不同而再做分類處理。水洗系統先將低污染濃度之大顆粒土壤藉水洗分離出來，留在場址內採翻轉稀釋工法，以符合管制標準；高濃度之小顆粒土壤藉水洗分離出來，以離場處理；至於中濃度之污染土壤，則採用串聯式的酸洗系統將吸附於土壤表面之重金屬，以酸液萃取出來，使土壤符合管制標準。溶在酸液中之重金屬，藉由調高 pH 形成氫氧化合物而結晶出來，再以固液分離沉澱重金屬污泥，排出脫水濃縮成污泥餅，上澄液視水質再處理後，可回收供作水洗或酸洗系統使用。

本文介紹之重點除了酸洗技術及其成效外，因土壤遇水有時因土質而綿密、常因表面張力自行成一土團無法與水完全接觸，如何與酸液充分攪拌與分離、酸洗設備材質需耐酸液腐蝕又需有足夠之強度以承受厚重土壤之損害、通常污染場址需酸洗之土方數量龐大等等因素，須有一組解決上述問題之合適酸洗設備系統，且非理論設計、實驗室型、小型模場等無現場大型實績機組，以便可直接提供重金屬污染場址現場使用或列入整治計畫書合適工法。因此本文另一重點介紹是國內目前少有可連續操作之酸洗系統實績設備，包含：土壤連續進出料、土壤與酸液充分攪拌與連續式分離、土壤中和處理、酸液廢水處理、廢水回收再利用完全不排放、重金屬污泥脫水等功能之大型連續快速之酸洗設備系統，本實績酸洗土方量：8 ton/hr。

二、清洗處理介紹

本實績案例之清洗工法包含了水洗系統+酸洗系統，美國環保署研究發現，大部分重金屬污染附著於微小顆粒土壤上，如黏土、砂土之表面上，因此利用物理分離技術，如水洗方式，先將大顆粒土壤予以分離出來，可大大降低待處理污染土壤之體積。物理分離技術係依土壤物理性質，如粒徑、外觀、比重及磁性，予以分離之技術，其中包括利用不同粒徑作分離之水洗工法。受重金屬污染之土壤若以粒徑大小分離，會產生不同之污染濃度，小顆粒之污染土壤其污染濃度較高，反之，大顆粒之污染土壤污染濃度會較低。

因此，以物理方法分出不同粒徑土壤，即不同濃度之重金屬污染土壤，是本實績案例整治之第一步，而這粒徑分離程序，隨著土壤粒徑的更微小而需加入水作清洗，以強化微小粒徑顆粒的洗出，及不受物理分離過程中粉塵的危害。重金屬污染土壤經怪手開挖離地後，先送入滾筒篩分機篩分出廢棄物、石塊、磚塊、礫石甚至鐵件等金屬物質，留下來之土壤每單位數量土堆以 XRF 快速檢測，分出高、低污染濃度土壤，低污染濃度土壤經翻轉稀釋合於標準後回填，高污染濃度土壤進入下一粒徑分離設施濕式震動篩分機，正式進入水洗系統之第一道設施，以水清洗分離不同粒徑，以下再經葉輪式洗砂機與泥砂分離機(hydrocyclone)等二道粒徑水洗分離處理程序，每經一道大、小顆粒土壤粒徑分離，分離出來之大顆粒土壤重金屬污染濃度通常較低，達到污染土壤減量目的，小顆粒土壤繼續往下一道水洗程序進行粒徑分離處理，本實績案例之水洗程序共經 3 道不同粒徑分離處理，越往後水洗單元土壤粒徑可分離越細小，加上滾筒篩分機之處理流程簡述如下圖，各水洗單元進一步介紹，如後分項說明。



2.1 滾筒篩分機

重金屬污染土壤經怪手開挖離地後，先送入滾筒篩分機(trommoel)篩分，滾筒篩分機之篩分孔徑為 30mm，一般滾筒篩分機之設計篩分孔徑為 5~50mm，以小於篩分孔徑與否進行粒徑分離，粒徑小於篩分孔徑之土壤從篩分孔徑掉出至輸送帶送出收集成堆，大於篩分孔徑之廢棄物、石塊、磚塊、礫石、鐵件等非土壤之雜質，從篩分筒出口排出，進行後續分類與處理。

經過滾筒篩分機篩分後之土壤，重金屬污染濃度較為均勻，因此收集成堆，每 10m^3 為一堆，以 XRF 進行快速檢測，高於監測標準 3 倍之土壤，進行下一單元水洗處理，低於監測標準 3 倍之土壤，則以其他低於監測標準之土壤或客土進行翻轉稀釋，可以另一台滾筒篩分機或怪手進行翻轉稀釋，待以 XRF 分析低於監測標準後進行回填，上述以監測標準 3 倍作為進行翻轉稀釋或進入下一單元處理等是本實績案例的設定，每 10m^3 為一堆作 XRF 篩測，及翻轉稀釋後低於監測標準之土壤才進行回填等亦是本實績案例設定，每個場址可做不同的設定。滾筒篩分機外觀如下圖示：



滾筒篩分機

2.2 水洗目的

經過滾筒篩分機篩分後，高於監測標準 3 倍之土壤進行水洗處理，低於監測標準 3 倍之土壤，經翻轉稀釋至低於監測標準後回填。土壤水洗法係以水溶液為主的系統，沖洗的過程中會將較細的泥土、泥沙粒子與較粗的沙子及砂礫土壤粒子分開。本實績案例共設計三道水洗處理設施，一一分出不同粒徑土壤，土壤產物從低污染濃度之大粒徑土壤，至高污染濃度之微小粒徑土壤，共產生三種不同粒徑之土壤，即不同重金屬污染濃度之土壤，如此作為是為了將不同污染濃度之土壤分類，再以不同工法進行處理，如低污染濃度土壤採翻轉稀釋後留在場址內回填，中污染濃度土壤以酸洗處理後降為低污染濃度土壤，同樣採翻轉稀釋後回填場址內，經減量再減量之高污染濃度土壤及酸洗處理濃縮後之重金屬污泥，則採離場處理，以達到保留土壤資源及降低高額處置費用。

2.3 濕式震動篩分機

本實績案例第一道水洗處理設施為濕式震動篩分機，其篩分粒徑為 5mm。處理程序係以怪手將土壤填入土壤進料斗，業經輸送帶送入濕式震動篩分機內篩分，篩分孔徑為 5mm，大於 5mm 之土方為本單元之產物，通常重金屬污染濃度較低，當然仍需以 XRF 分析為準，確認重金屬污染濃度低於 3 倍監測標準後，以其他低於監測標準之土壤進行翻轉稀釋，待再以 XRF 分析低於監測標準後進行回填。小於篩分孔徑之土壤，其重金屬污染濃度較高，與清洗水一同流入下一道水洗單元葉輪式洗砂機，進行更細粒徑之分離處理。

為防止篩分微小粒徑土壤所產生之粉塵問題、增加篩分微小粒徑之功能、清洗掉附著於大顆粒之微小泥砂，且篩分避免在濕篩過程中有土壤粒子膠結成大粒子，因此採用水溶液作土壤清洗，本案例濕式震動篩分機以 3 道不同強度、水量之高壓噴水頭裝置水洗土壤，並配合震動篩網，將大、小粒徑土壤分離，3 道水洗幕之水壓強度與水量，可依實際狀況調整，以清洗分離出土壤大小不同粒徑。清洗後的水夾帶著相對較高重金屬污染濃度的小顆粒土壤，進入下一道再進行不同粒徑分離，清洗水曾經三道水洗處理設施使用後，才進入廢水處理系統處理後，回收作為清洗水使用，即清洗水係採循環回收處理使用。濕式震動篩分機外觀如下圖示：

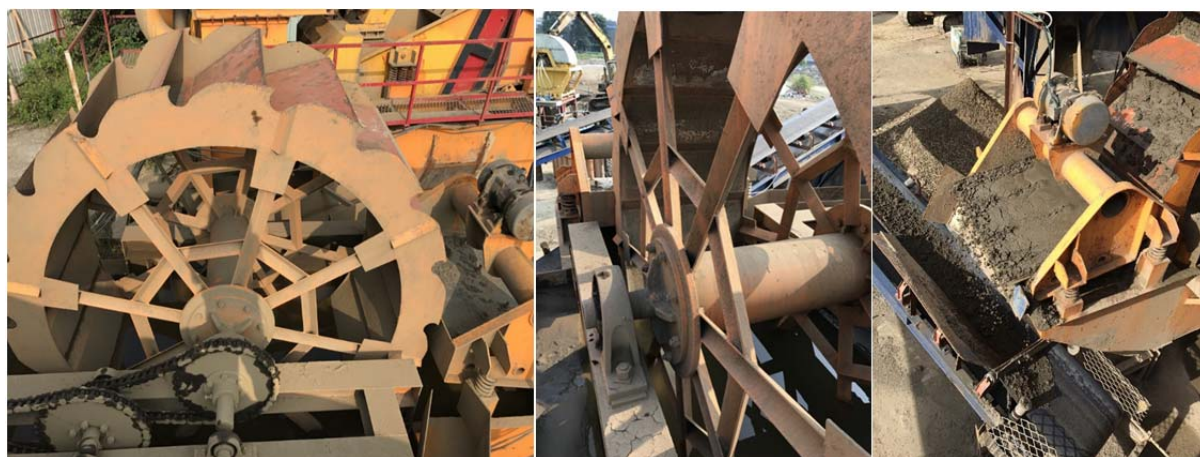


濕式震動篩分機

2.4 葉輪式洗砂機

葉輪式洗砂機是採用一葉輪盤上有十數個類似勺子的過濾勺一起轉動，葉輪下方浸泡在一座底盤內，底盤於最長有效距離二處設有進、出料口，裝著進料之泥砂水，葉輪轉動時其上之過濾勺將泥砂水從底盤撈出，粒徑小於過濾勺篩網之土壤部分隨泥水流出回到底盤，部分穿過篩網流下至底盤，留在過濾勺內之土方被收集至輸送帶產出，是此第二道水洗系統之產物，其粒徑以本實績案例測得約介於 2~5mm。另外未被撈出之泥砂水帶著更細小之粒徑土壤，即重金屬污染濃度更高之土壤，從出料口進入下一道水洗單元。

本實績案例此單元洗出之土方以 XRF 篩測，大部分結果都在 3 倍監測標準以下，所以仍採翻轉稀釋小於監標後回填場址內。一般土壤係指粒徑小於 2mm，因此至目前為止，前二道水洗之產物不以土壤稱謂，採以土方稱。小於 2mm 之土壤因粒徑小，清水又有表面張力，所以以清水清洗篩網方式分離，其效果不佳，篩網會因為太過微細而受清洗水膜覆蓋，而微細粒子常懸浮於清洗水中無法穿過篩網，無法與大顆粒子分離，因此第三道設施之分離原理不再是以篩網孔徑做分離。葉輪式洗砂機外觀如下圖示：



葉輪式洗砂機

2.5 泥砂分離機(hydrocyclone)

所有粒徑小於 2 mm 之固體粒子則進入泥砂分離機(hydrocyclone)中接受分離收集處理，收集之土壤為本單元產品，粒徑約介於 0.1mm~2mm，以 XRF 篩測，重金屬污染濃度幾乎皆大於監標 3 倍，因為前面二道水洗處理，已達到實質減量，以本案例此單元成品土壤數量，約占一開始進入水洗系統污染土壤體積量約 40%，而粒徑小於 0.1mm 之土壤，本單元仍無法收集而隨清洗泥水流出，流出之清洗泥水最後以化學處理方式將小於 0.1mm 之最高污染濃度土壤從清洗水中固液分離沉澱出來。同前面說明本單元之產品，即相對粒徑較大之土壤，粒徑約介於 0.1mm~2mm，污染濃度大於監標 3 倍(以

本案例 XRF 篩測值約介於監標 4~8 倍)，將進入酸洗系統進行處理，經酸洗系統處理後污染濃度已降回監標 3 倍內，可採用翻轉稀釋處理至小於監標後回填原場址，至於相對粒徑較小之土壤，粒徑小於 0.1mm，污染濃度大於監標 3 倍(以本案例 XRF 篩測值皆大於監標 8 倍以上)，直接採離場處理，在一固定數量下採樣進行 TCLP 分析，達有害認定標準之土壤，採 S02 代碼離場處理；未達有害認定標準之土壤，則採 S01 代碼離場處理。

泥砂分離機之處理原理類似於粒狀污染物空污處理設施之旋風集塵器，以高速離心泵浦加壓，將混合泥及砂之泥砂水導入旋流器中，經旋流器強力渦漩水流作用，即離心力之不同，使較重之砂自旋流器下方排出，較輕之泥水則自旋流器上方之脫水槽溢流而出，溢流出來之泥水回流至進料槽以保持液位，並提供高速離心泵浦加壓所需之最低水量，此股回流壓縮水量越大，在固定大小之旋流器下，除了產生更大的離心力使分離收集更細小顆粒外，由於較輕之泥水回流至進料槽後又再次受高速離心泵浦加壓再次進入旋流器再次分離收集微細顆粒，因此產生更長之停留時間、更高之微細顆粒收集效率。進料槽滿後溢流出來之泥水其土壤粒徑已小於 0.1mm，這時此粒徑土壤經一連串減量後體積比在本實績案例中約占初始水洗土壤進料量之 20%以下，即減量 80%，而減量下來之大顆粒土方現地回填，至於減量下來之中小顆粒土壤經酸洗處理後，亦達 3 倍監標以下，經翻轉稀釋後亦做現地回填，使得原生重金屬污染土壤可符合管制標準，大部分留存於原地保留土壤資源。泥砂分離機外觀如下圖示：

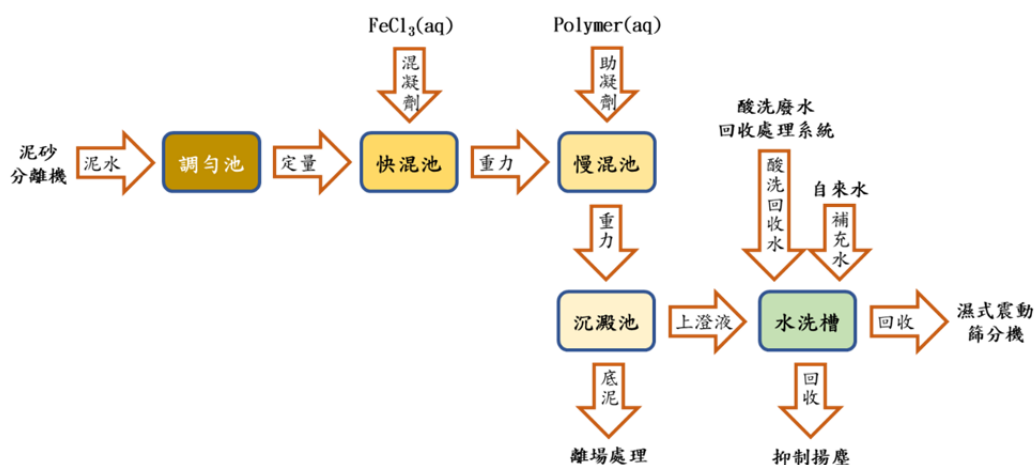


泥砂分離機

2.6 泥水回收處理

經泥砂分離機分離收集後，粒徑小於 0.1mm 之土壤隨著清洗泥水流出，本實績案例流出之清洗泥水先加入 FeCl_3 約 200~800ppm 破壞電雙層進行初步快混處理，再以 5~10ppm Polymer 進行混凝處理後，以溢流率小於 $60\text{m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ 之沉澱池進行沉澱，上澄液溢流至水洗槽作為水洗及現場抑制揚塵回收使用，此水洗槽的進流水亦有來自酸洗系統經回收處理後之高鹽度 (NaCl) 回收水，此股酸洗回收水經檢測符合放流水標準，其回收處理系統於後單元說明。由於循環於酸洗程序回收使用，鹽度會不斷上升，因此在控制設定的導電度下，排出至上述水洗槽稀釋鹽度後使用。沉澱池沉澱之

污泥土壤，因粒徑顆粒小於 0.1mm 比表面積大，污染濃度高，因此採離場處理，離場前在每固定單位量採樣，進行 TCLP 分析，超標者以 S02 代碼離場處理；反之，則以 S01 代碼離場處理。泥水回收處理流程簡述如下圖：



泥水回收處理流程圖

2.7 水洗系統成效整理

本實績案例採清水進行水洗處理，高於 3 倍監標即進行水洗，目的為分離不同粒徑，即分類出不同重金屬污染濃度。在各單元串聯下，及進第一道單元之土壤處理量為 30m³/hr、進第一道單元之用水量為 90m³/hr 下，相關規劃如下表：

水洗系統成效表						
進料 污染程度	處理單元	產物粒徑	產物濃度	後續 處理單元	產物/總土量 (體積比)	單元 總動力
大於3倍監標	濕式震動篩分機	>5mm	小於3倍監標	翻轉稀釋 +回填	20%	20Hp
	葉輪式洗砂機	2~5mm			20%	18Hp
	泥砂分離機	0.1~2mm			40%	80Hp
	泥水回收處理	<0.1mm	大於8倍監標	離場	20%	30Hp

三、酸洗技術介紹

3.1 酸洗技術說明

酸洗技術是利用酸液將重金屬從土壤表面或孔隙中萃取至酸液中，酸液經提高 pH 值成為中性甚至偏鹼性，使其中之重金屬離子形成氫氧化物結

晶出來，最後藉由廢水化學處理技術固液分離，將重金屬污泥產出，並脫水成污泥餅，達濃縮減量目的。

至於採用何種酸液，須視受何種重金屬或複合多種重金屬污染而定，這資料可由文獻查詢，再依文獻內容條件以待整治之現地土壤作實驗，業經相關調整後，可得到酸液種類、複合型酸液、濃度、反應時間、酸洗成效、酸液使用量、用水量等參數，據以設計該場址重金屬污染酸洗設施、控制與操作系統。

本實績案例之土壤，主要係受重金屬銅污染，該場址為控制場址，受污染土方量約 $10,000\text{m}^3$ ，控制計劃書為本公司撰寫，計劃書核定時為揮文技師事務所，現公司已轉成台和工程顧問公司，由於有簽屬保密協定，相關資訊與數據不便顯示出來，僅以大原則技術說明，供先進參酌。雖相關污染濃度等現地資料數據屬保密內容，惟本文所介紹之水洗系統+酸洗系統之工法為本公司設計，尤其酸洗系統之處理程序、處理能力與成效、處理設施、自動化等設計皆為本人設計並申請專利，專利號碼:M557645，專利權期間:自 2018 年 4 月 1 日至 2027 年 10 月 1 日止，介紹本部分技術並無侵權或違反保密問題，整套系統現地仍使用中，因此本技術應可作為先進之可行性參酌。

本實績案例係採用鹽酸做為單一酸液，以鹽酸將酸洗液控制在 pH 值 2~4，土壤因有鹼度，因此 pH 值須持續以鹽酸添加維持，酸洗反應後之土壤須經水洗，以確保已萃取至酸液中之重金屬得以清洗至液體中，水洗後之土壤因仍存有酸度，因此設計再經略偏鹼性液作鹼洗處理，即以氫氧化鈉將鹼洗液控制在 pH 值 8~9，使酸洗後之土壤回復至中性狀態後出料。

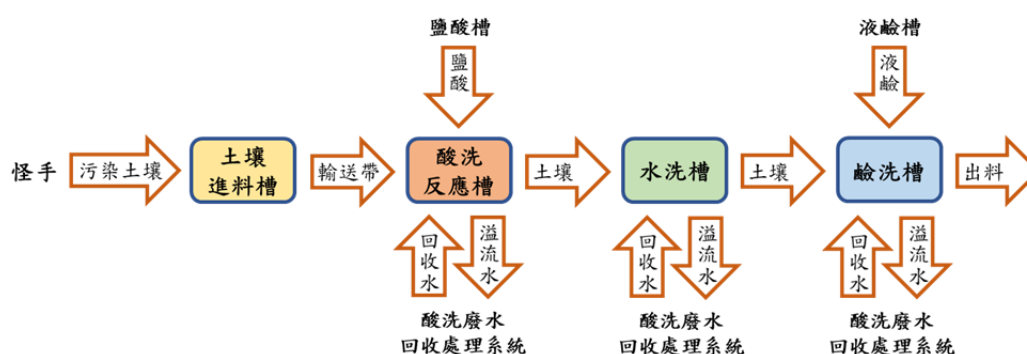
本實績案例酸洗設施土壤處理量為 $5\text{m}^3/\text{hr}$ ，即約 8 噸/hr，土壤銅污染在 800~2000ppm 濃度下之去除率為 70~90%，含酸洗廢水回收處理系統之總動力為 120Hp。酸洗系統主要是由酸洗反應槽、水洗槽與鹼洗槽所組成，其清洗液皆以補入回收水而被連續更換，回收水由各槽下進上出，溢流後至調勻槽，混和調勻水量與 pH 值，以定量進料至酸洗廢水回收處理系統，經調升 pH 值產生重金屬氫氧化物，再經添加混凝劑、金屬捕捉劑、助凝劑，進行混凝沉澱，沉澱後之污泥以版框式脫泥機脫泥成污泥餅後委外處理。固液分離後之上澄液再經陽離子交換樹脂槽處理後至回收槽，供酸洗反應槽、水洗槽與鹼洗槽補充水使用，此股回收補充水 pH 值為中性。

回收水因經酸鹼中和而產生 NaCl 鹽度，且隨著循環回收使用鹽度漸高。酸洗後之土壤雖經去水設計，連續去水出料，但出料之成品仍帶有多餘水分，因此回收槽液位會隨著開操而漸失，需以自來水補充液位，這補充使得鹽度得以控制，但為了再降低平衡後之鹽度，因此以導電度自動量測，高於設定值即排水至前述水洗系統之水洗槽，液位下降又以自動控制補入自來水保持液位，如此維持回收水之鹽度及連續更新補充，此設計使酸洗

系統不排放廢水至場址外(水洗系統之回收水亦因需供應灑水抑制揚塵，因此其回收水亦不排放至場址外)，二個系統補入之自來水一部分隨水洗出料、酸洗出料之土壤於場址暫置區待測 XRF 及進行曬乾，水分便蒸發至大氣中，而大部分是為抑制現地開挖、怪手、卡車等機具運作之揚塵作灑水用，灑水後同樣蒸發至大氣中，因此不論是水洗或酸洗系統，皆須以自來水補充損失之水量，無排放廢水至場址外之問題。

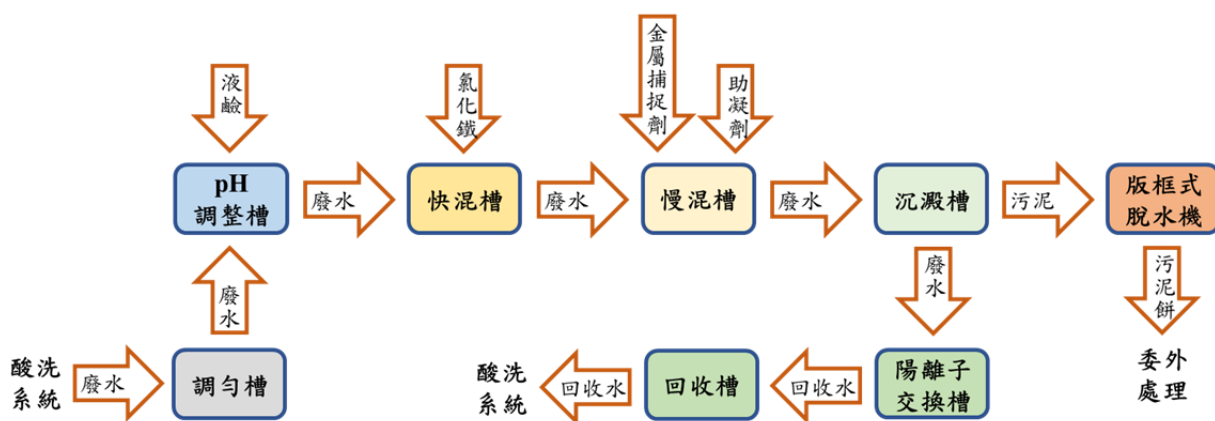
3.2 酸洗系統與酸洗廢水回收系統處理流程

酸洗系統係由酸洗反應槽+水洗槽+鹼洗槽所串連組成，業經酸洗、水洗、鹼洗處理程序後出料，其輸送過程中因將土壤由低往高輸送至下一道清洗設施，因為水往低處流下，因而產生去水功能。土壤以怪手填入進料槽，之後便是一連串連續進、出料清洗。首先輸送帶輸送土壤連續進料至酸洗反應槽，經酸洗反應及去酸水後出料，再進水洗槽及去水出料，最後進鹼洗槽及去鹼水出料等連續進出料。酸洗反應、水洗及鹼洗槽以連續補進回收水，其為中性除含鈉外之去金屬離子水，定量補入回收水後，會將各槽液位推高而溢流至酸洗廢水回收系統，廢水經處理後再回收回各槽作補充暨帶出重金屬氫氧化物，酸洗系統之處理流程如下圖：



酸洗系統處理流程圖

酸洗廢水回收系統係由廢水收集槽+pH 調整槽+快、慢混槽+沉澱槽+陽離子交換槽+回收槽+版框式脫水機所串連組成，業經調勻水質、調高 pH 值產生氫氧化物、混凝沉澱、去金屬離子(鈉除外)、回收儲存、重金屬污泥乾燥等回收處理。藥劑使用 NaOH、FeCl₃、Polymer、金屬捕捉劑等。經處理後銅離子可達放流水標準，酸洗廢水回收系統之處理流程如下圖：



酸洗廢水回收系統處理流程圖

四、酸洗試驗

本試驗之目的是藉由小型瓶杯實驗，測試及調整酸洗參數設定，以利後續放大規模規劃操作設定，試驗之大致流程為選定使用酸液、鹼液種類、設定 pH 值及反應時間等參數，條件選定後即開始模擬酸洗流程，並以 XRF 量測處理前後土壤銅濃度，調整及控制相關參數進行試驗，考量各組酸洗液及鹼洗液使用量、停留時間及土壤銅去除效率等，選擇出整體效果及經濟面上較佳的操作條件，以作為後續應用於大規模操作之參考依據。

也就是說，測試的酸、鹼用量或反應時間需實際現場放大可使用之實務參數，當然在這建造設備有限容量成本、使用動力成本、藥劑成本等考量下，去除效率就不能是唯一的考量因素，即須有良好 CP 值的實驗結果及設計，才能實用於實場中，以下為簡易試驗結果：

- 處理前土壤銅平均濃度：2,024 ppm
(共 20 組，正負標準差 88.96 ppm)
- 處理後土壤銅平均濃度：371 ppm
(共 20 組，正負標準差 15.25 ppm)
- 平均去除率：81.7%
- 酸液為鹽酸；鹼液為液鹼
- 酸洗反應時間約為 10 ~ 50 分鐘
- 酸洗液與土壤比約為 1 : 1 ~ 5 : 1
- 酸洗程序 pH 值約為 2 ~ 4；鹼洗程序 pH 值約為 8 ~ 9

五、酸洗設施介紹

5.1 酸洗系統設施介紹

酸洗系統係由酸洗反應槽+水洗槽+鹼洗槽所串連組成，各槽如下圖示：



酸洗反應槽



水洗槽、鹼洗槽

5.2 酸洗廢水回收系統設施介紹

酸洗廢水回收系統係由廢水收集槽+pH 調整槽+快、慢混槽+沉澱槽+陽離子交換槽+回收槽+版框式脫水機所串連組成，如下圖示：



酸洗廢水回收系統圖

六、酸洗成效

目前現地酸洗系統自啟用迄今，陸續已處理約 2,100 m³ 污染土壤，處理前之土壤銅污染濃度介於 800~2,000 ppm，並持續穩定操作中，其中土壤處理量約 5 m³/小時，去除率介於 70 ~ 90 %，下表酸洗系統實際去除率為現地操作之部份數據。因保密原則，數據業經調整，惟去除成效相當，平均去除率約 78.92 %。

酸洗系統實際去除率

處理體積	當日 運作時數	酸洗前 銅濃度 (ppm)	酸洗後 銅濃度 (ppm)	去除率
3 m ³ /小時	2 小時	1,630	423	74.04 %
4 m ³ /小時	3 小時	1,509	407	73.02 %
5 m ³ /小時	6 小時	1,713	342	80.03 %
4 m ³ /小時	7 小時	1,664	332	80.04 %
6 m ³ /小時	7 小時	1,805	341	81.10 %

七、結語

目前國內受重金屬污染之土壤大都採用翻轉稀釋+離場工法處理。翻轉稀釋法僅適合低污染濃度且非黏質土壤，又因場址內重金屬總量並未減少而為另一詬病原因。離場處理雖可減少場址內重金屬總量，但離場後之土壤已無法做正常使用，甚至以固化處理而損失極為珍貴之土壤資源，且因掩埋場空間有限價格昂貴，燒磚等再利用價格同樣昂貴，所以需要開發減量處理工法，以降低場址內重金屬總量、保留土壤資源及減少整治費用。

採用水洗工法分類不同粒徑暨不同污染濃度，及以酸洗工法將重金屬從土壤中萃取至液體中，再從液體中抓下，以濃縮成重金屬污泥，此減量處理工法國內外皆有文獻與實績，技術是成熟可行的，只是採連續進出料、自動化操作及回收廢水使用等設計及設施，在國內仍是少見。本文介紹之水洗、酸洗系統之處理流程、單元設施、自動化操作等設計，已為實際案例，本實績案例土壤水洗處理量 $30\text{m}^3/\text{hr}$ ；土壤酸洗處理量 $5\text{m}^3/\text{hr}$ ，水洗處理後土壤粒徑可分類至 $<0.1\text{mm}$ ，酸洗處理後土壤銅污染在 $800\sim 2000\text{ppm}$ 下之去除率為 $70\sim 90\%$ ，其處理成效與處理量穩定，可作為設計降低場址內重金屬總量、保留土壤資源及減少整治費用等整治工法之參考。

徵稿啟事

- 一、 本會會訊提供會員及專家學者發表環境領域新知、技術與專業經驗等。
- 二、 專題稿件以環境相關理論與實務、環境法規、環境保護理念之論述為原則，採技術報導或論文等撰寫形式皆可，文長以 8000 字以內為原則，所附圖表或照片應清晰，稿件禁止以公司集體智慧，有著作權、業主版權疑問或抄襲複製等情事，以免觸法。
- 三、 會訊以雙月刊週期出版，出版日期為奇數月 10 日，投稿稿件須於出版日之 15 日以前，以電子檔案寄(送)抵公會。
- 四、 專題稿件稿酬之文字單價為每字新台幣 2 元，原創照片與圖表單價為每幀新台幣 500 元，每篇稿酬以新台幣 12,000 元為上限；特殊專文之稿酬另案處理。
- 五、 本會負有以下權利與義務：(一) 專題稿件之審閱。(二) 提供審閱意見請撰稿者修改或回覆。(三) 決定專題稿件刊登與否。專題稿件之審閱及審閱意見之提供，必要時得請相關專長之專家學者擔任。
- 六、 會訊為專業交流之發佈管道。具名撰稿者刊登之稿件內容，不代表本會的意見或立場。具名撰稿者應遵守智慧財產權等相關法令，以及無條件負擔因其稿件內容刊登所衍生之責任。

各公會會員大會、理監事會會議紀錄

中華民國環境工程技師公會全國聯合會

無

台灣省環境工程技師公會

無