

115 年 5-6 月號			<雙月刊>
-----------------	---	--	-------

## 環境工程技師公會會訊

- ◎ 發行人：劉敏信
- ◎ 發行所：台灣省環境工程技師公會 (<https://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：王凱中
- ◎ 發行地址：台北市大同區長安西路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	4
■ 重要法令	5
■ 行政院公共工程委員會核備 115 年 5 至 6 月訓練積分課程表	7
■ 環保訊息	9
■ 論述園地	12
GCB 系統搭配 ISCO 整治 TPH 污染工法應用－林雍承專案工程師、楊世閔專案工程師	12
印刷電路板製造業含銅廢水處理技術(一)：法規趨勢、錯合化學機制與整合重金屬沉澱處理策略－傅崇德退休副教授、陳家彬處長	22
■ 徵稿啟事	49
■ 各公會理監事會會議紀錄	50

## 主編的話

各位技師先進大家好：

在全球邁向科技發展及先進製程同時，環境整治技術亦在逐年進步，其核心主軸包含整治效率提升及降低環境衝擊，現地整治工法逐步由傳統物理抽除與單一工法導向，轉型為「複合式」與「綠色整治」並重之整治策略，雖整治工法逐步發展，生產末端廢棄物分流、資源再利用及終端品質控管，亦愈發重要，本期會刊針對上述兩項議題，以實務上執行角度切入，分享實際執行過程之技術應用與成果。

首先，由捷博科技團隊投稿的〈GCB 系統搭配 ISCO 整治 TPH 污染工法應用〉，聚焦於碳氫化合物污染場址之現地處理。文中詳述以「加強式現地化學氧化 (ISCO)」進行土壤及地下水 TPH 污染整治的工程實務，其方式為透過 ISCO 反應牆、循環井網架構與多種化學藥劑搭配，增加整治影響半徑及藥劑反應停留時間，並以水力控制方式進行污染阻絕，系統啟動後污染物濃度逐步下降，污染範圍有效收斂，並依定期監測結果，針對局部污染熱區加強現地藥劑灌注量，使用現地化學工法於深層污染與高滲透性地層中之應用，其成果具整治效益，並有效降低整治行為對環境之影響。

第二篇文章，邀請萬能科技大學環境工程系傅崇德副教授(退休副教授)及佳宏環保股份有限公司陳家彬處長投稿之〈印刷電路板製造業含銅廢水處理技術(一)：法規趨勢、錯合化學機制與螯合重金屬沉澱處理策略〉，隨著環境法規愈發嚴謹，全球電子產業蓬勃發展同時，台灣 PCB 產業製程含有高濃度 EDTA 螯合劑與氨氮廢水處理難度亦在提升，PCB 廠於製程末端產出之廢水應落實「分流分治、資源回收、末端把關」三大策略，首要原則應將含 EDTA 的化學銅廢液、含氨蝕刻廢液與一般酸性銅廢水進行分流，接續處理方式針對氨銅及化學銅廢液導入電解回收高濃度銅，或利用鹼性氣提法回收氨氮轉化為肥料，實現資源再利用，最後針對含 EDTA 的化學銅廢液，則需透過化學氧化或自身催化等技術破螯合，再行沉澱處理，透過結合電化學回收與沉澱技術，PCB 產業能有效突破傳統氫氧化物沉澱的極限，將環境成本轉化為綠色競爭力。

本期兩篇文章於實務面切入，分別代表整治技術深化與資源再利用的進展；TPH 污染場址中現地化學氧化法搭配地下水循環系統，可靈活針對污染熱區進行重點整治，近期環保回收及資源轉化之趨勢，亦催生再利用技術之提升，上述兩篇文章皆強調依污染特性進行系統性規劃，在兼顧處理效率、經濟效益與低環境衝擊上，將會是產業與工程技術持續精進的重要課題。

## 會務報告

1. 115 年度常年會費繳費通知及記事本已於 114 年 11 月 21 日寄出，敬請尚未繳納 115 年度常年會費（金額 4,000 元）之會員儘速繳納。  
公會匯款資訊如下：
  - 戶名：台灣省環境工程技師公會
  - 銀行匯款資料：台灣企銀(050)營業部 帳號：01012241581
  - 郵局劃撥帳號：18091292
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，敬請告知公會以便及時修改檔案。
3. 會員得依下列規定申請婚喪喜慶與健康檢查補助，各項申領敬請自事實發生日起 6 個月內提供相關證明請領，逾期即不受理。
  - (1) 會員結婚致禮金新台幣 3,600 元，只得請領 1 次。
  - (2) 會員死亡致送慰問金新台幣 5,000 元。
  - (3) 會員之父母、配偶、子女死亡時致送慰問金新台幣 2,500 元或等值花籃。
  - (4) 會員繳費年資滿 20 年之會員，每 3 年得申請身體健康檢查補助金新台幣 2,000 元。
4. 公會網站廣告刊登：
  - (1) 費用：
    - 會員（即會員之執業機構、所營公司或受聘公司）：  
5,000 元/年；一次繳交 5 年 20,000 元；一次繳交 10 年 37,500 元。
    - 非會員  
6,000 元/年；一次繳交 5 年 24,000 元；一次繳交 10 年 45,000 元。
  - (2) 刊登辦法：  
請繳交費用後，將貴公司或事務所之 LOGO（尺寸：288 \*93）及網址 MAIL 至公會。
5. 會訊廣告刊登：
  - (1) 費用：8,000 元/期
  - (2) 刊登辦法：  
請繳交費用後，將投放廣告內容 PDF 檔（尺寸：A4 紙）MAIL 至公會。

## 重要法令

1. 環境部中華民國 115 年 3 月 2 日環部循字第 1156102665 號函公告，修正「物品回收清除處理費（機動車輛類）費率」，自即日生效。
2. 環境部中華民國 115 年 3 月 5 日環部水字第 1151009519C 號函公告，修正「違反水污染防治法義務所得利益核算及推估辦法」部分條文。
3. 環境部中華民國 115 年 3 月 5 日環部循字第 1156102323 號函公告，修正「限制塑膠類托盤及包裝盒使用」公告事項第 5 項，自即日生效。
4. 環境部中華民國 115 年 3 月 5 日環部空字第 1151012497 號函公告，「沙塵暴影響臺灣地區空氣品質期間之數值統計修正作業要點」自即日停止適用。
5. 環境部氣候變遷署中華民國 115 年 3 月 5 日環氣排字第 1159102416 號函公告，「溫室氣體排放量盤查登錄及查驗管理辦法」相關行政函釋計 1 件，自即日起停止適用。
6. 環境部中華民國 115 年 3 月 6 日環部授管字第 1157104850 號函公告，修正「地下水檢出揮發性有機物應變作業原則」第 1、4 點及第 2 點附圖，自即日生效。
7. 環境部環境管理署中華民國 115 年 3 月 6 日函公告，「土壤及地下水污染整治基金代為支應費用求償案件列管作業原則」自即日停止適用。
8. 環境部環境管理署中華民國 115 年 3 月 10 日環部授管字第 1157105436 號函公告，「土壤及地下水監測資訊整合作業要點」自即日停止適用。
9. 環境部中華民國 115 年 3 月 12 日環部循字第 1156104327 號函公告，修正「一次用塑膠吸管限制使用對象及實施方式」，自即日生效。
10. 環境部資源循環署中華民國 115 年 3 月 12 日環部授循字第 1156104622 號函公告，修正「應回收廢棄物品回收清除處理補貼費率（不含廢機動車輛類及廢照明光源類）」，自 115 年 7 月 1 日生效。
11. 環境部中華民國 115 年 3 月 13 日環部循字第 1156103917 號函公告，預告「限制乾電池製造、輸入及販賣」部分公告事項及第 2 項附表 1 修正草案。
12. 環境部中華民國 115 年 3 月 17 日環部循字第 1156104720 號函公告，預告「應設置資源回收設施之電子電器販賣業者範圍、設施設置、規格及其他應遵行事項」修正草案。
13. 環境部中華民國 115 年 3 月 18 日環部空字第 1151013525 號函公告，修正「空氣品質嚴重惡化警告發布及緊急防制辦法」第 16 條條文及第 5 條附件 2、附件 3。
14. 環境部中華民國 115 年 3 月 18 日環境部環部水字第 1151013187 號函公告，「廢（污）水以海洋放流管線排放於海洋之放流水污染物削減管理計畫審核作業要點」自即日停止適用。

15. 環境部中華民國 115 年 3 月 19 日環部空字第 1151014240 號函公告，修正「空氣污染防治法公民訴訟書面告知格式」，自即日生效。
16. 環境部中華民國 115 年 3 月 20 日環部研字第 1155102706 號函公告，修正「檢驗測定許可申請收費標準」。
17. 環境部中華民國 115 年 3 月 24 日環部水字第 1151015556 號函公告，修正「水污染防治措施計畫及許可申請審查管理辦法」部分條文及第 4 條附表 2。
18. 環境部中華民國 115 年 3 月 27 日環部水字第 1151015264D 號函公告，修正「地面水體分類及水質標準」。
19. 環境部中華民國 115 年 3 月 30 日環部水字第 1151012771 號函公告，修正「微生物製劑使用於處理供人飲用之水時，為飲用水管理條例第十三條規範之飲用水水質處理藥劑」公告事項第 4 項，自即日生效。
20. 環境部中華民國 115 年 3 月 30 日環部氣字第 1159102705 號函公告，廢止「一般廢棄物掩埋場降低溫室氣體排放獎勵辦法」。
21. 環境部中華民國 115 年 3 月 30 日 環部循字第 1156106064 號函公告，預告「共通性事業廢棄物再利用管理辦法」第 4 條附表修正草案。
22. 環境部中華民國 115 年 3 月 31 日環部管字第 1157105563 號函公告，修正「地下水水質監測井設置作業原則」第 1 點規定及第 6 點附錄 3，自即日生效。
23. 環境部環境管理署中華民國 115 年 3 月 31 日環部授管字第 1157107614 號函公告，「土壤及地下水污染研究與技術提昇補（捐）助計畫申請作業須知」自即日停止適用。
24. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 7 日環境部環部授管字第 1157107633 號函公告，「農業用地污染改善與太陽光電設施設置併行計畫補助要點」自即日停止適用。
25. 環境部中華民國 115 年 4 月 9 日環部循字第 1156106226 號函公告，修正「應設置資源回收設施之容器或乾電池販賣業者範圍、設施設置、規格及其他應遵行事項」公告事項第 5 項附件 2、第 8 項附件 3，自即日生效。
26. 環境部中華民國 115 年 4 月 10 日 環部循字第 1156106091 號函公告，預告修正「物品回收清除處理費費率」公告事項第 1 項附表草案。
27. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 13 日環部授管字第 1157107634 號函公告，修正「土壤污染管制區內土地利用行為之申辦作業要點」，自即日生效。
28. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 13 日環部授管字第 1157107621 號函公告，修正「土壤及地下水污染控制計畫撰寫指引」第 8 點，自即日生效。

29. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 13 日環部授管字第 1157107605 號函公告，修正「土壤及地下水污染整治計畫撰寫指引」第 7 點，自即日生效。
30. 環境部中華民國 115 年 4 月 14 日環部水字第 1151020260 號函公告，廢止「水污染防治法修正公布施行後過渡期間執行原則」，自即日生效。
31. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 15 日環部授管字第 1157108028 號函公告，修正「土壤、地下水污染整治場址依風險評估結果研訂整治目標作業指引」，自即日生效。
32. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 15 日環部授管字第 1157107992 號函公告，修正「土壤及地下水污染場址環境影響與健康風險評估小組初審會議作業要點」第 2、4 點，自即日生效。
33. 環境部中華民國 115 年 4 月 20 日環部水字第 1151015013 號函公告，修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」部分條文。
34. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 20 日環部授管字第 1157109101 號函公告，「場置性地下水監測井設置及後續處理處置原則」自即日停止適用。
35. 環境部中華民國 115 年 4 月 20 日環部授研字第 1155103367 號函公告，修正「模範環境保護專責及技術人員遴選要點」，自即日生效。
36. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 23 日環部授管字第 1157109260 號函公告，修正「農地土壤污染控制場址停耕補償補助原則」，自即日生效。
37. 環境部環境管理署中華民國 115 年 4 月 23 日環部授管字第 1157109462 號函公告，修正「處理農地污染事件標準作業原則」，自即日生效。
38. 環境部中華民國 115 年 4 月 27 日環部化字第 1158106187 號函公告，修正「列管毒性化學物質及其運作管理事項」公告事項第 1 項附表 1、第 2 項附表 2、第 3 項附表 3、第 4 項附表 4，自 115 年 7 月 1 日生效。
39. 環境部中華民國 115 年 4 月 28 日環部綠字第 1151024372 號函公告，修正「環境部辦理加強投資綠色成長淨零產業實施方案作業要點」第 7 點、第 8 點、第 10 點規定，自即日生效。
40. 環境部中華民國 115 年 4 月 30 日環部研字第 1155104486 號函公告，修正「環境檢驗測定機構違反環保法規罰鍰額度裁罰準則」第 1 條、第 2 條、第 4 條條文。
41. 環境部中華民國 115 年 4 月 30 日環部研字第 1155104492 號函公告，修正「環境檢驗測定機構違反環保法規罰鍰額度裁罰基準」第 4 點、第 5 點規定及第 3 點附表 1 至附表 3，自即日生效。

行政院公共工程委員會核備 115 年 5 至 6 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	聯絡資訊
1	2026 年花蓮縣土壤液化調查與風險評估成果說明會	115/05/14	台灣世曦工程顧問股份有限公司	聯絡人：鄭斯元 電話：(02) 87973567#1032 信箱：szuyuancheng@ceci.com.tw
2	2026 年花蓮縣土壤液化調查與風險評估成果說明會	115/05/14	台灣世曦工程顧問股份有限公司	聯絡人：鄭斯元 電話：(02) 87973567#1032 信箱：szuyuancheng@ceci.com.tw
3	115「公共工程經費電腦估價系統」PCCES 4.3 課程	115/05/14 至 115/05/15	滕嘉企業社	聯絡人：梁韶芸 電話：0227088090 信箱：yilinp@ms44.url.com.tw
4	經濟部水利署 115 年用水回收率查驗教育訓練初訓	115/05/16	財團法人環境與發展基金會	聯絡人：曹書涵 電話：03-5730675#24 信箱：shuhan@edf.org.tw
5	【林家祺教授主講】2026 採購法關鍵變革與工程契約實務系列講座--單元二：公共工程契約變更的必要注意事項「本課程有採用視訊或網路教學」	115/05/16	財團法人台灣法學基金會	聯絡人：劉文珍 電話：02 25170137 信箱：service@twlawfdn.org
6	115「公共工程經費電腦估價系統」PCCES 4.3 課程	115/05/18 至 115/05/19	滕嘉企業社	聯絡人：梁韶芸 電話：0227088090 信箱：yilinp@ms44.url.com.tw
7	工程法務系列-透視土方之亂相關法律爭議解析	115/05/18	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：胡小姐 電話：02-89195094 信箱：vicky@tcric.org.tw
8	工程法務系列-統包工程法規及爭議實務	115/05/21	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：胡小姐 電話：02-89195094 信箱：vicky@tcric.org.tw
9	GRMC 系列 9-特殊混凝土與摻料技術	115/05/22	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@tcric.org.tw
10	經濟部水利署 115 年用水回收率查驗教育訓練複訓	115/05/23	財團法人環境與發展基金會	聯絡人：黃致筌 電話：02-27087321#13 信箱：yoyo@edf.org.tw
11	鋼結構產業升級「本課程有採用視訊或網路教學」	115/05/23	臺灣省土木技師公會	聯絡人：翁禎鎂 電話：02-8961-3968#124 信箱：boa52038@gmail.com
12	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	115/05/26	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：胡小姐 電話：02-89195094 信箱：vicky@tcric.org.tw

序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡資訊
13	115 年 5 月 28 日技師技術服務專業訓練講習(視訊課程)「本課程有採用視訊或網路教學」	115/05/28	行政院公共工程委員會	聯絡人：黃心怡 電話：02-87897615 信箱：wert24@mail.pcc.gov.tw
14	GRMC 系列 7-混凝土產製機電技術專業	115/05/28	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：胡小姐 電話：02-89195094 信箱：vicky@tcri.org.tw
15	2026 工程履約爭議研討會	115/05/28	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：楊先生 電話：02-89195097 信箱：hsueh@tcri.org.tw
16	「工程管理導入 AI 的系統化實踐」課程綱要與內容簡介	115/05/29	財團法人中興工程顧問社	聯絡人：褚琴琴 電話：02-87919198*453 信箱：cherry@sinotech.org.tw
17	【林家祺教授主講】2026 採購法關鍵變革與工程契約實務系列講座—單元一：政府採購法最新修正草案評析及因應策略 「本課程有採用視訊或網路教學」	115/05/30	財團法人台灣法學基金會	聯絡人：劉文珍 電話：02 25170137 信箱：service@twlawfdn.org
18	115 年 6 月 26 日技師技術服務專業訓練講習(實體課程台中場)	115/06/26	行政院公共工程委員會	聯絡人：黃心怡 電話：02-87897615 信箱：wert24@mail.pcc.gov.tw

## 環保訊息 (資料來源：環境部)

- 115/03/06 【**環境部依自主減量計畫管理辦法規定落實資訊公開**】  
為落實碳費制度資訊公開原則，環境部依據「自主減量計畫管理辦法」第 7 條規定，自 3 月起於該部氣候變遷署網站「碳費專區」(網址：<https://gov.tw/cZC>)，公開經該部審查核定之自主減量計畫，各界關心碳費制度的朋友，可上網查詢。
- 115/03/12 【**行政院核定六大部門「第三期溫室氣體減量行動方案」以五年具體減碳行動達成我國 2030 年階段管制目標**】  
行政院於今(2026)年 2 月 26 日核定第三期能源、製造、住商、運輸、農業及環境等六大部門溫室氣體減量行動方案，執行期自 2026 年至 2030 年止，中央有關機關將依據三期減量行動方案落實執行六大部門減量策略及 20 項減碳旗艦行動計畫，搭配定期管考、資訊公開及公眾參與，共同承擔達成我國 2030 年第三期階段管制目標。
- 115/03/12 【**環境部推動災害廢棄物「韌性管理」：暫置場地因地制宜**】  
面對極端氣候帶來的挑戰，環境部與內政部消防署於 11 日共同舉辦「面對極端氣候：廢棄物堆置場火災預防與緊急應變」研討會，並正式發布「災害廢棄物管理指引」。針對外界關注災後廢棄物是否將優先暫置於公園或學校操場，環境部環境管理署特別澄清，目前管理指引並未明列學校為盤點場地，未來地方暫置場選址仍採「因地制宜」選擇適當地點。同時，為強化防救災量能，環境部環境管理署已協同地方政府啟動全國暫置場盤點。
- 115/03/12 【**環境部預告修正「應設置資源回收設施之電子電器販賣業者範圍、設施設置、規格及其他應遵行事項」條文草案**】  
環境部資源循環署預告修正「應設置資源回收設施之電子電器販賣業者範圍、設施設置、規格及其他應遵行事項」草案，預計自 116 年 1 月 1 日起正式實施。本次修正核心為廢除「廢四機回收聯單」之填寫與留存規範，以簡化行政流程並降低管理成本。

- 115/03/19 【土石方填海造陸環評依法依程序辦理】

營建剩餘土石方填海造陸之去化方式，在環境影響評估方面，依據現行「環評認定標準」第 42 條規定，在海域築堤填土造成陸地的開發行為，原則上都必須實施環評（除非是在既有港區防波堤範圍內）。倘填海面積達到 50 公頃以上，依法則必須進行第 2 階段環評。
- 115/03/20 【確保檢測品質並反映行政成本 環境部發布修正「檢驗測定許可申請收費標準」】

環境部為落實使用者付費原則並反映實際行政作業成本，於今（20）日發布修正「檢驗測定許可申請收費標準」。本次修正除配合「氣候變遷因應法」增列法源依據外，並依據成本分析結果，適度調整各項審查及證書費額，以維持檢驗測定服務品質並落實財政健全目標。
- 115/03/24 【環境部修正水污許可審查辦法 重大違規將縮減許可效期與排放量】

為強化水污染防治許可證（文件）管理，環境部於 115 年 3 月 24 日修正發布「水污染防治措施計畫及許可申請審查管理辦法」，本次修正針對情節重大的違規者，其許可審查有 2 個修正重點，包括增列縮短許可證（文件）展延效期，以及限縮廢水量及生產或服務規模等規定，以守護水體品質。
- 115/03/30 【環境部預告修正「共通性事業廢棄物再利用管理辦法」第 4 條附表】

環境部為強化固體再生燃料(Solid Recovered Fuel, SRF)精進管理作為，前已發布「共通性事業廢棄物作為固體再生燃料原料再利用管理辦法」，明定廢塑膠作為 SRF 原料之再利用管理方式，爰本次配合修正「共通性事業廢棄物再利用管理辦法」第 4 條附表，避免重複規範，俾符再利用管理實務需求。
- 115/04/10 【環境部預告修正「物品回收清除處理費費率」草案，加速引導業者使用循環物料產製循環電子產品】

環境部預告修正「物品回收清除處理費費率」草案，預計自 116 年 1 月 1 日起生效實施。本次修正重點包括提高電子電器物品類及資訊物品類合規塑膠再生料物品的綠色費率優惠折數，及調整顯示器、可攜式電腦、主機類及 27 吋以下液晶電視機的徵收費率。

➤ 115/04/20【修正發布水污染防治措施及檢測申報管理辦法 啟動廢污水數位轉型】

為響應國家「數位轉型」與「綠色轉型」之雙軸轉型政策，環境部於 115 年 4 月 20 日修正發布「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」。考量數位治理機制已逐步成熟，本次修正重點聚焦於擴大自動監測設施設置範圍，建立監測服務機構管理機制，並透過技術規範防止數據造假，確保水污染防治基礎資料之完整及正確。。

➤ 115/04/30【環境部發布修正「環境檢驗測定機構違反環保法規罰鍰額度裁罰準則」及「環境檢驗測定機構違反環保法規罰鍰額度裁罰基準」】

環境部為配合近期環境檢驗測定機構相關管理辦法的修正，並落實裁罰比例原則，於今(30)日發布修正「環境檢驗測定機構違反環保法規罰鍰額度裁罰準則」第 1 條、第 2 條、第 4 條及「環境檢驗測定機構違反環保法規罰鍰額度裁罰基準」第 4 點、第 5 點、第 3 點附表 1 至附表 3。本次修正除配合「氣候變遷因應法」增列法源依據外，並調整裁罰計算公式，確保罰鍰額度與違規情節相當，以提升執法公信力。

## 論述園地

# GCB 系統搭配 ISCO 整治 TPH 污染工法應用

捷博科技股份有限公司專案工程師 林雍承  
捷博科技股份有限公司專案工程師 楊世閔

## 一、摘要

本場址針對受總石油碳氫化合物 (TPH) 污染之土壤及地下水，採取現地化學氧化法 (ISCO) 結合地下水循環系統 (GCB) 進行整治。考量 TPH 具有輕質非水相液體 (LNAPL) 特性，易累積於水位面並緩慢釋出，且場址地質以中細砂為主，滲透係數高，有利於化學藥劑之傳輸，故排除生物復育與土壤氣體抽除法，選定反應性強且效率高的化學氧化工法。整治藥劑選用穩定性高、影響半徑大且具長效性的過硫酸鈉，並以硫酸亞鐵為催化劑、檸檬酸為 pH 調整與螯合劑，透過活化反應產生自由基，將有機污染物降解為無害的二氧化碳與水。

在系統建構方面，場址配置 24 小時連續式抽注循環系統，於污染邊界建立水力控制反應牆以阻絕污染擴散，其中井網採棋盤式分布，水平間距 10 m，深度涵蓋 8 m 深井與 3 m 淺層加強井，藉由下游抽水、上游灌注的機制，使藥劑在地下環境中均勻分布，延長藥劑與污染物的接觸與反應時間。根據定期監測結果顯示，整治初期於藥劑灌注過程，使原本吸附於土壤中或飽和層的污染物析出，導致 TPH 濃度出現暫時性升高的波動現象；經定期監測結果，針對污染熱區增設灌注井，並增加藥劑灌注量，土壤檢測 TPH 由初期最高 6,760 mg/kg 逐月改善，地下水亦於加強灌注後恢復至地下水管制標準內。

最終場址於 111 年 12 月達成全區土壤及地下水符合管制標準之目標。實務經驗證實，GCB 系統能以水力控制方式有效增加整治影響半徑，克服單一井重力流灌注，藥劑擴散範圍低的限制，大幅提升過硫酸鈉的整治效益。未來處理高濃度 TPH 污染場址時，應先評估水文地質條件與 K 值，並視情況搭配浮油回收系統先行降低污染物整治負荷，再輔以化學氧化工法，方能精確控制整治期程並達到最佳化成本效益。本案例成功展示了水力控制與化學氧化協同作業於複雜污染場址的實務可行性與優勢。

【關鍵字】 1. 循環灌注系統 2. LNAPL 3. 水力控制

## 二、前言

總石油碳氫化合物屬輕質非水相液體(Light Non-Aqueous Phase Liquid, LNAPL)，因其比重小於水，污染團容易聚集於地下水位上(經濟部工業局，2007)，並可能沿著地下水位面作橫向擴散，而在地下環境中亦較難溶於水，故殘留相污染物具有緩慢釋出的情況；而苯、甲苯、乙苯及二甲苯則普遍具有較高的水溶性，惟整治時需格外留意其隨地下水流遷移之情況，避免污染團持續往下游處移動。

常見之油品類污染整治技術包含土壤氣體抽除/空氣曝氣、界面活性劑沖排、加強式生物復育、雙相抽除法及現地化學氧化法等，針對本場址之整治方式，土壤氣體抽除/空氣曝氣法適用於通氣性大致良好之土壤，且污染物須具較高揮發性(亨利常數 $>100$  atm)，惟本場址之油品污染種類繁多，故排除此法；界面活性劑沖排則會促使原本土壤中或溶解於水中之污染物移動性上升，考量此方法易造成污染物易往改善區域外擴散之問題，以及後續衍生之廢水不易處置，故排除此法；加強式生物復育具有可在現地進行、對場址擾動較小且維護成本低，然而為營造適合分解污染物菌種所適合之現地環境，以及污染物分解等兩項程序一般較其他方法耗時，亦不採用此法；雙向抽除法則適用於未飽和層，因本場址主要污染皆集中於飽和層中，此法亦不適用；現地化學氧化法(In-Situ Chemical Oxidation, ISCO)主要係將氧化劑注入地下環境中，藉由氧化劑產生之自由基使土壤或地下水中的污染物被氧化破壞，將污染物礦化(Mineralization)降解成較不具危害性的物質，因本場址依據地質調查結果多屬砂質地層，對於氧化劑之傳輸有正面幫助，以化學氧化方式整治時程短且效果較快，故以該方式進行本場址之污染改善方式。

本場址之需整治土壤粒徑部分以中細砂為為主(地下水滲透係數  $K$  值高)，選用之化學氧化試劑為過硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ )，其優點包含：適用污染物質範圍廣、受土壤質地影響小、可有效減少藥劑使用量、反應亦較臭氧及過氧化氫和緩、有效距離長、現場操作使用較為容易且安全。另考量較低之 pH 值環境以及亞鐵離子可有效促進污染物氧化反應，故以硫酸亞鐵為催化劑，另加入檸檬酸除調整 pH 外，亦可於過程中有效螯合金屬離子(A. J. Francis and C. J. Dodge, 1998；J. S. Yang and C. J. Lin, 1998)，活化過硫酸鈉之反應過程。

### 三、現地生物整治工法實例探討

#### 3.1 整治架構

##### 3.1.1 整治系統設置

本場址為改善土壤及地下水中碳氫化合物，於場址內設置 500 m 長之 24 小時連續式灌注系統，於設井區域建構化學氧化反應牆，反應牆設置規格為水平間距 10 m（棋盤式排列）且垂直井深 8 m 之抽水井及灌注井，每口灌注井之有效半徑約為 5 m，另外加強設置未飽和層污染區域垂直井深 3 m 之灌注井，使其抽注循環，並於過程中加入氧化劑以消除土壤及地下水中碳氫化合物。

現場之反應牆並排設置於場址邊界以改善現場土壤及地下水中碳氫化合物並攔阻上游污染物，以防止污染擴散。設置示意如圖 3.1.1-1。

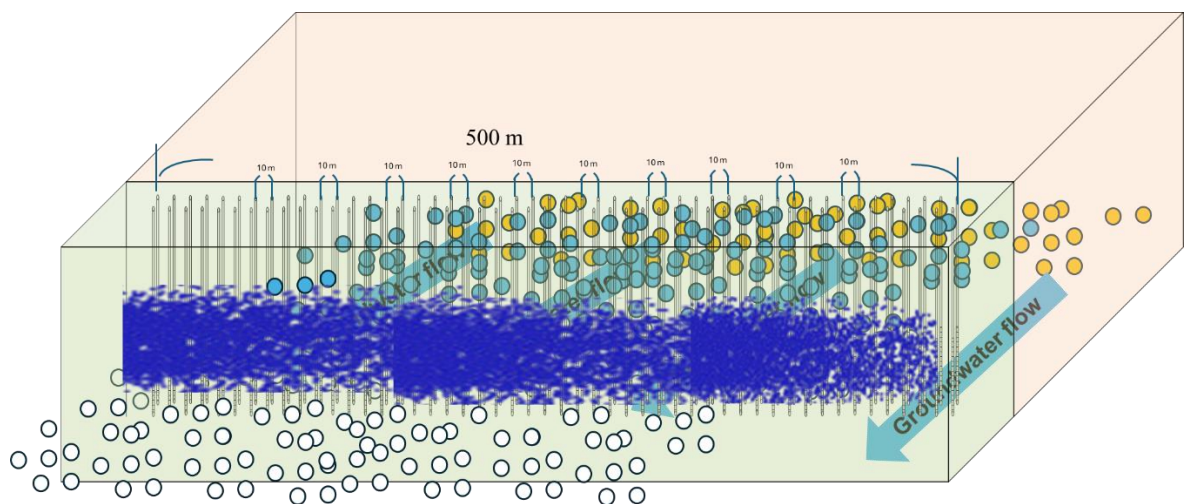


圖 3.1.1-1 現地整治系統配置圖

### 3.1.2 系統介紹

本場址使用 GCB 系統 (Groundwater Circulation Bioremediation System,) 屬於半自動注藥系統，其原理是利用下游抽水井及上游灌注井，24 小時連續抽水及灌注，使化學藥劑於飽和層均勻分布，延長藥劑反應與停留時間之循環機制，針對不同污染深度及污染型態之碳氫化合物進行分解破壞。

因本場址污染物涵蓋土壤及地下水，針對污染區域設置涵蓋污染區域之整治系統，設置規格以水平間距 10 m (棋盤式排列) 之抽水井及灌注井為主，每口井垂直井深為 8 m，每口灌注井之有效半徑約為 5 m，另外針對局部熱區設置未飽和層污染區域垂直井深 3 m 之灌注井，使藥劑循環抽灌，廠區內井網設置示意圖如圖 3.1.2-1 及圖 3.1.2-2，現場整治系統包含可程式控制系統、流量控制單元、加藥泵及藥劑桶，利用可程式控制系統控制抽水井內沉水泵運作，將污染之地下水體抽至流量控制單元，再使用加藥泵將藥劑及催化劑注入灌注井中，可依現場需求調整抽注時間、藥劑加入時間或調整藥劑類別及濃度，整治系統單元配置示意圖如圖 3.1.2-3。

GCB 系統不僅可用於土壤及地下水污染整治，亦能成為阻絕污染擴散的水力控制牆，作為阻絕或過濾污染物的防線。因油品類污染物易藉由地下水流動傳輸，故污染之地下水通過此透水性反應牆時，可藉由反應牆內氧化藥劑與污染物接觸，產生氧化反應使油品類污染物降解或移除。

氧化藥劑採用過硫酸鈉 ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ )，兼具在土壤中存續時間較長、增加影響半徑、pH 適用範圍較大，因本身氧化性強之特性，可增加對有機污染物的選擇性及快速降解特定有機污染物。另考量較低之 pH 值環境以及亞鐵離子可有效促進污染物氧化反應，將以硫酸亞鐵為催化劑，另以檸檬酸為調整 pH 之添加劑。

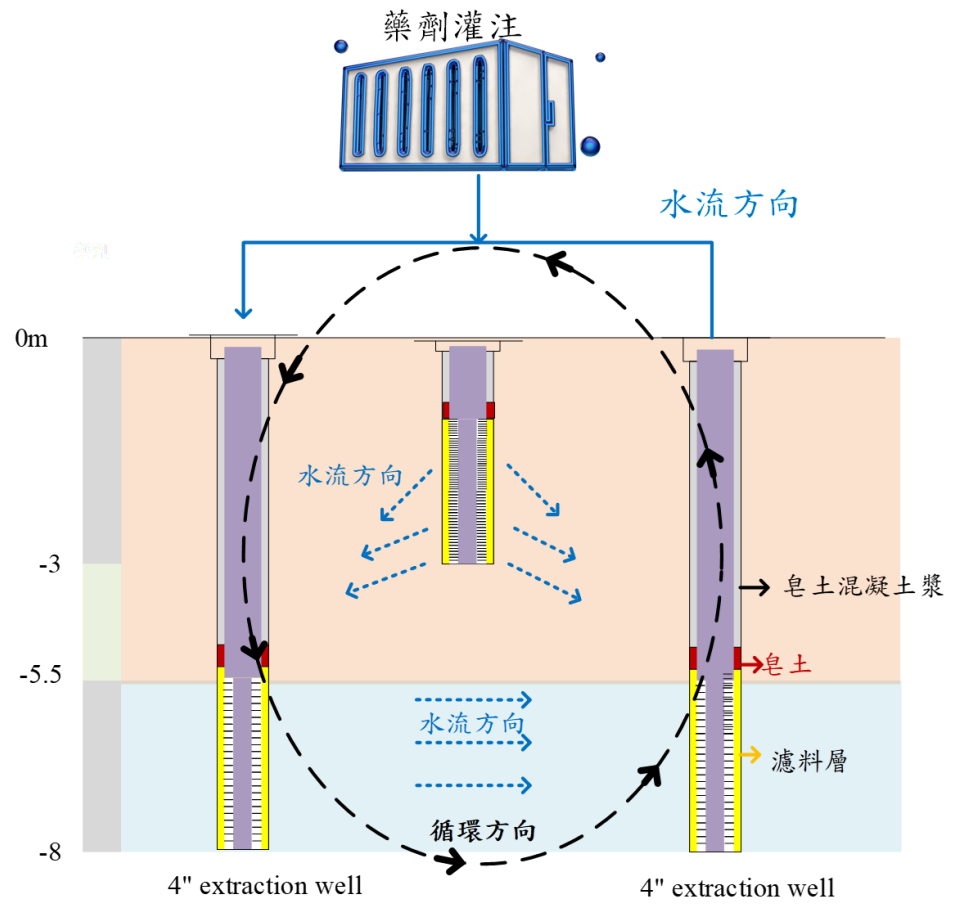


圖 3. 1. 2-1 井網循環水平示意圖

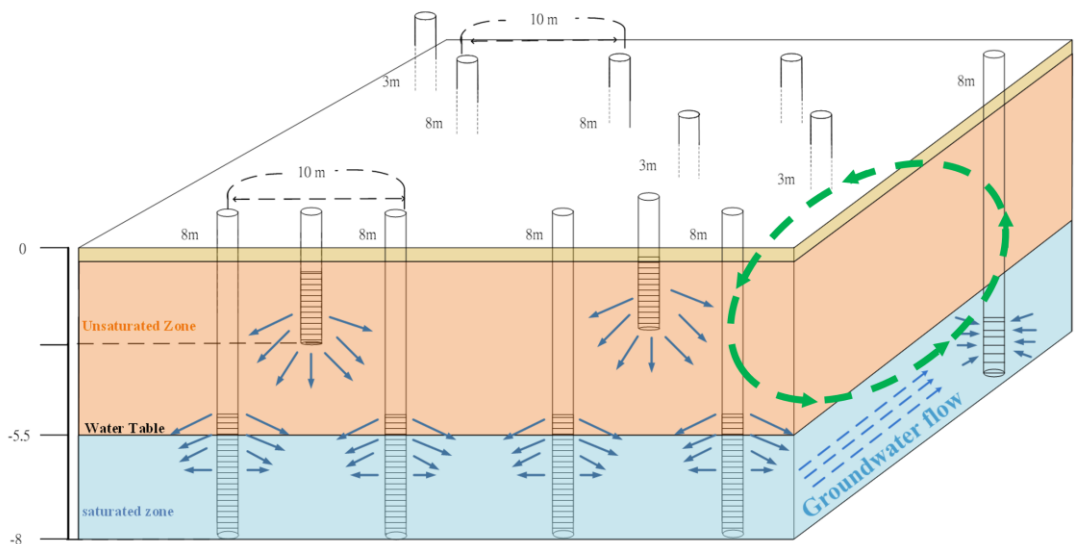


圖 3. 1. 2-2 井網設置立體示意圖

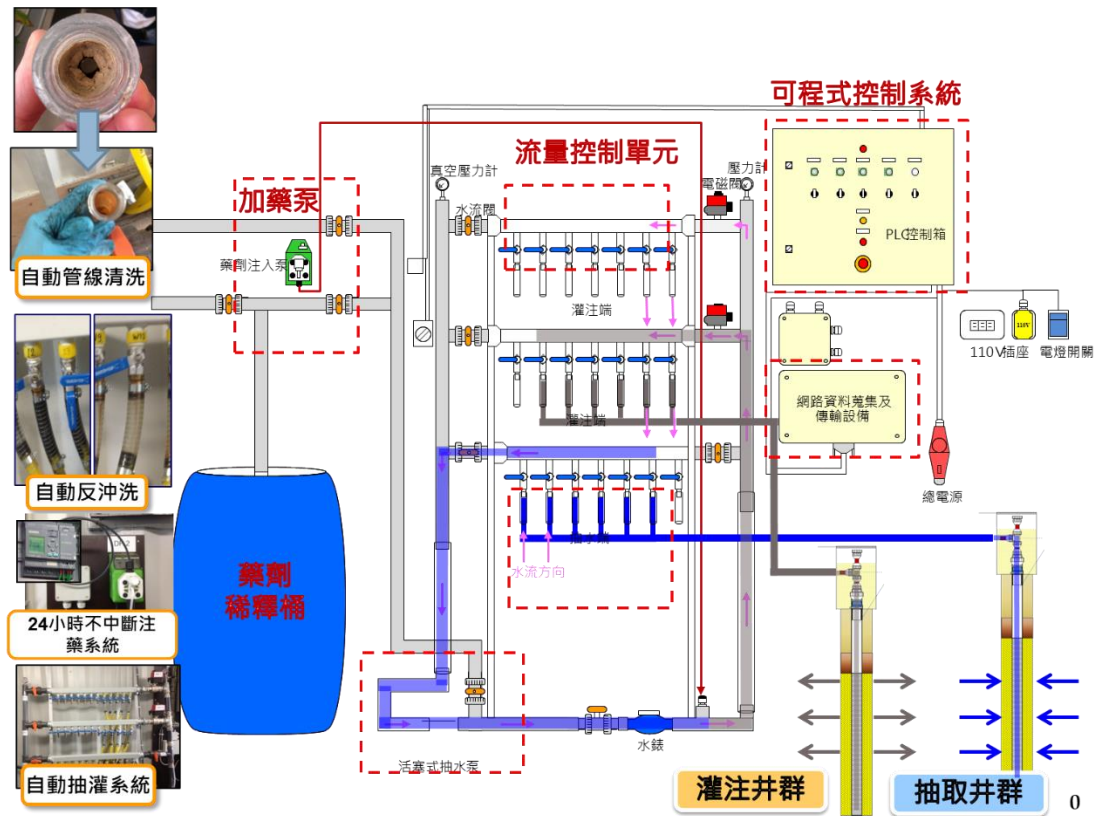
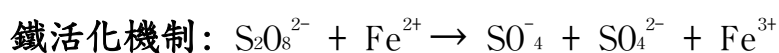
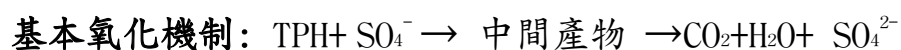


圖 3. 1. 2-3 整治系統單元

### 3. 1. 3 污染物降解機制

過硫酸鹽氧化反應對有機物的降解機制可以分為自由基降解反應與非自由基降解反應。本場址屬自由基降解反應，係利用硫酸鹽本身強氧化劑特性氧化或破壞土壤及地下水中揮發性有機物質，並以催化劑(硫酸亞鐵)活化方式提高過硫酸鹽的反應效率。其機制是將過硫酸鹽分子結構中的過氧鍵斷裂，轉變成氧化性較高的硫酸根自由基，硫酸根自由基可與水或氫氧基反應產生氫氧自由基，硫酸根自由基或氫氧自由基再將水中的有機物污染物氧化成無機物或無害物質。



## 3.2 地下水整治執行成果

### 3.2.1 採樣方法

本場址土壤成效監測原則上於操作期間每月進行 1 次採樣監測，針對調查區域 25 m×25 m 網格採集 4 點土壤樣品進行成效評估，採樣方式以貫入式連續採樣，土壤採樣深度至地下 7 m，每 50 cm 樣品以 PID/FID 篩測，每網格取最高值及次高值共 2 組樣品以標準方法檢測 TPH。

地下水採樣則為，設置 7 口監測井於整治區域內 (MW01、MW02、MW03、MW04、MW05、MW06、M5)，每月針對地下水水位及總石油碳氫化合物濃度進行監測。

### 3.2.2 土壤成效

111 年 3 月土壤檢測結果顯示，整治區域內有部分土壤樣品 TPH (總石油碳氫化合物) 污染濃度高於土壤管制標準，其中 TPH 檢測點數共計 36 點次，1 點次超標，濃度為 1,210 mg/kg，其餘點位皆符合管制標準；111 年 4 月 TPH 檢測點數共計 36 點次，6 點次超標，TPH 最高濃度為 5,490 mg/kg，其餘點位皆符合管制標準；111 年 5 月 TPH 檢測點數共計 36 點次，1 點次超標，TPH 最高濃度為 2,470 mg/kg，其餘點位皆符合管制標準；111 年 6 月 TPH 檢測點數共計 36 點次，1 點次超標，TPH 最高濃度為 1,540 mg/kg，其餘點位皆符合管制標準；111 年 7 月 TPH 檢測點數共計 36 點次，4 點次超標，TPH 最高濃度為 6,760 mg/kg，其餘點位皆符合管制標準；111 年 8 月~111 年 11 月 TPH 檢測點數每月皆為 36 點次，亦皆為 2 點次超標，其超標點位皆位於同土壤採樣點，故於該段期間針對該兩點次加強現地灌注作業 (加強藥劑灌注量)，111 年 12 月本場址內土壤全區符合土管制標準，後續觀察亦未發現有污染情形，本場址土壤成效監測結果如圖 3.2.2-1 所示。

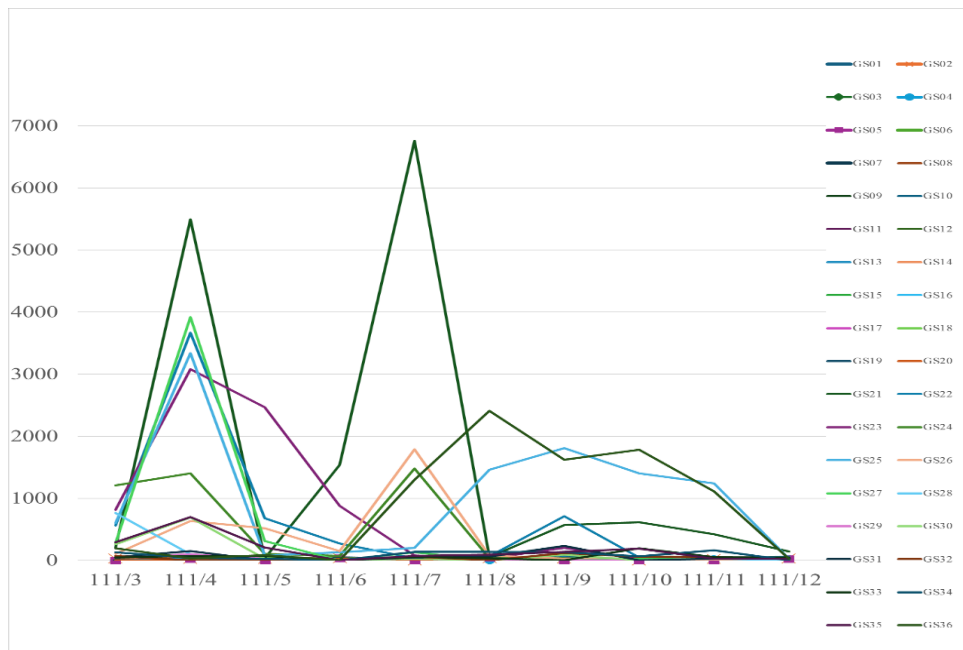


圖 3. 2. 2-1 本場址土壤 TPH 成效監測結果

### 3. 2. 3 地下水成效

地下水成效監測於整治區域內平均分布設置 7 口標準監測井，並於每月採樣檢測 TPH，103 年 3 月及 4 月地下水成效監測結果顯示，本場址地下水中雖含有 TPH，但皆符合地下水管制標準，直至 111 年 5 月及 6 月檢測發現，地下水 7 口標準監測井中，僅 1 口次 TPH 污染超過地下水管制標準，最高濃度為 11.4 mg/L，其成因推測為現場加強灌注而增設之淺層井於灌注過程中使污染物析出，釋出後與地下水中原有 TPH 累加後影響地下水 TPH 污染濃度，後續亦有針對該井周圍區域加強灌注作業，並於 111 年 7 月後之成效監測過程無發現超標情形，本場址地下水成效監測結果如圖 3. 2. 3-1 所示。

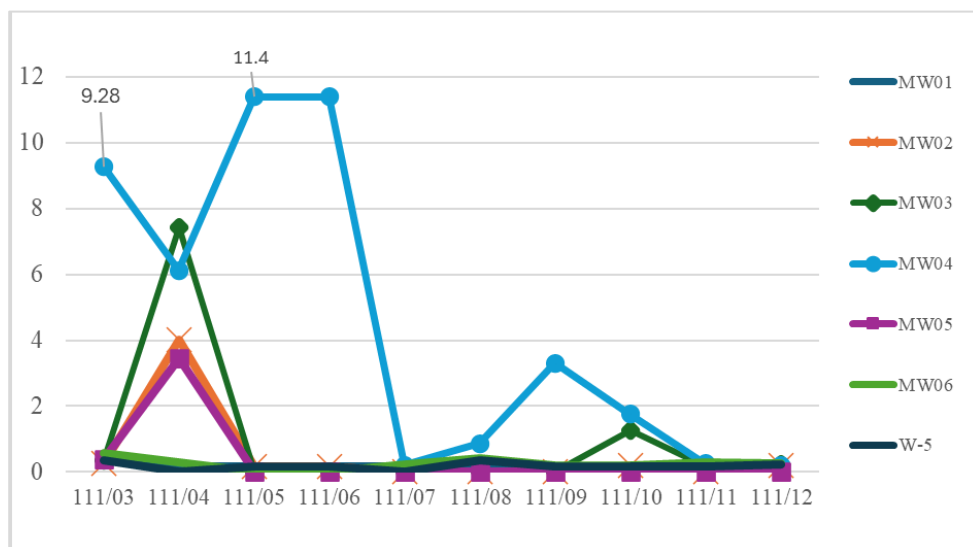


圖 3. 2. 2-1 本場址土壤 TPH 成效監測結果

## 四、結論與建議

以現地化學氧化法 (In-Situ Chemical Oxidation, ISCO) 技術搭配 GCB 系統，針對受碳氫化合物污染之土壤及地下水進行整治，於技術可行性、成本效益、對整治期程的控制及阻絕污染擴散，皆展現出顯著優勢。GCB 系統具高度可調性，可依據污染深度、濃度、位置及污染物性質進行調整並局部加強整治，以較佳效益完成污染整治。

整治初期，於污染邊界進行 GCB 系統建置，以水力控制方式進行阻絕污染擴散，達成污染圍堵之初步控制目標。隨後，依污染熱區的分布及濃度變化，逐步添加藥劑(過硫酸鈉)，利用其反應時間長之優勢，使其隨地下水流動至較遠區域，盡可能擴大化學反應之區域，再以催化劑(硫酸亞鐵)及檸檬酸活化過硫酸鈉，產生自由基以分解破壞污染物。

整治系統啟用後，因碳氫化合物其易隨地下水流動，故於定期監測結果中發現，不僅土壤污染範圍及濃度擴大，地下水中 TPH 濃度更提升至超過管制標準，為完整覆蓋污染範圍，依定期監測之檢測結果於污染熱區增設灌注井並增加藥劑灌注量及其灌注頻率，最終於 111 年 12 月全場區皆改善完成，後續觀察亦無發現污染情形。

經現場多期施作與成效評估後，歸納出以下幾項整治建議與經驗，供後續類似場址整治作業參考：

### 4.1 地下水文條件

初期規劃需謹慎評估水文地質條件與污染擴散趨勢，包含 K 值、地下水流向及水位，以先行針對污染邊界進行污染攔阻，並明確界定污染圍範圍及深度，確保井網配置區域及密度，後續依定期監測結果進行局部加強。

### 4.2 加強式現地化學氧化法缺點

該整治工法亦有其侷限性，如 TPH 濃度偏高，化學氧化整治可能無法達到預期目標，需搭配浮油回收系統降低區域內污染濃度，再進行化學氧化整治，方可縮短整治期程，另本工法易因土壤不均質性、土壤固體吸附及氧化劑與污染物之接觸不完全而影響整治成效，如整治過程中發現污染物因土壤不均質性較高且流動性較差，需增加整治井密度或灌注藥劑量，增加化學氧化藥劑與污染物接觸機會。

### 4.3 現地整治循環系統

現地整治通常以單一井重力流灌注，其藥劑使用量較大，且無法控制其藥劑流向及分布，如以循環系統進行整治，將有效控制水力條件，利於反應時間較長之氧化劑（過硫酸鈉）流布，以增加氧化劑及灌注井影響半徑，並加強藥劑停留與反應時間。

### 參考文獻

- [1] 經濟部工業局 (2007)。石油碳氫化合物土壤及地下水污染預防與整治技術手冊。
- [2] Francis, A. J., & Dodge, C. J. (1998). Remediation of soils and wastes contaminated with uranium and toxic metals. *Environmental Science & Technology*, 32(24), 3993-3998.
- [3] Yang, J. S., & Lin, C. J. (1998). Extraction of metals from a contaminated sandy soil using citric acid. *Environmental Progress*, 17(4), 275-282.
- [4] 卓儀秦、林逸彬 (2018)。應用過硫酸鹽於整治土壤及地下水有機污染物之發展與挑戰。中國工程師學會會刊，45(4)，22-34。

# 印刷電路板製造業含銅廢水處理技術(一)： 法規趨勢、錯合化學機制與螯合重金屬沉澱處理策略

傅崇德<sup>1</sup>、陳家彬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>萬能科技大學環境工程系 (退休副教授)

<sup>2</sup>佳宏環保股份有限公司 (處長)

## 一、前言

隨著全球電子產業向高效能運算 (HPC)、人工智慧 (AI) 伺服器及 5G 通訊邁進，台灣作為世界印刷電路板 (PCB) 製造重鎮，其製程技術正經歷從傳統的減成法 (Subtractive Method) 向高密度互連 (HDI) 及改良型半加成法 (mSAP) 的關鍵轉型。此一技術升級大幅提升了線路密度與產品效能，卻也根本性地改變了廢水排放的化學特性，特別是強錯合劑 (如 EDTA) 與氮系統的大量使用，使得傳統以氫氧化物沉澱為主的末端處理設施面臨嚴峻挑戰。

全球工業廢水處理市場正經歷一場由嚴格環保法規、產業技術升級以及循環經濟 (Circular Economy) 原則共同驅動的深刻變革。截至 2025 年底，全球重金屬廢水處理市場規模已正式突破 650 億美元，並預計在 2026 年至 2030 年間，將以超過 7.5% 的年均複合增長率持續擴張。在此全球宏觀預測中，台灣身居世界半導體產業鏈舉足輕重的角色，面對此一快速成長所衍生而來的環境負荷，特別是難處理工業廢水的問題，必須謹慎面對。此一領域的快速增長，技術層次的要求也隨之提高。且處理技術市場占比也逐漸由傳統的化學沉澱處理的 40% (2025 年)，推估至 2030 年時以資源回收為主要考量的先進綠色技術將占比達到 50%<sup>1</sup>。面對此處理技術難度提升及循環經濟趨勢的逐漸抬頭，不論是產業界或是環保服務業者亟應提前因應。

依據最新的官方預告，銅的排放限值將針對特定對象加嚴至 1.0 mg/L，且首度將 PCB 製造業納入氮氮管制 (分階段降至 45 mg/L)。這意味著 PCB 業者必須同時解決重金屬深度去除與氮營養鹽削減的「雙重挑戰」。因此本文旨在針對台灣 PCB 產業面臨的製程廢水複雜化與環境部事業放流水標準修正草案的加嚴趨勢，探討業者可能面對的問題，並嘗試從中提供一份初步的技術分析，以利業者在未來進行製程或廢水處理流程時有參酌的依據。

冀望透過整合學術文獻與實廠案例數據，分析錯合銅廢水 (Complexed Copper Wastewater) 的熱力學穩定性，並評估了金屬捕集劑沈澱法、高級氧化程序、電化學法及以整合性技術為導向的處理和資源化技術，提出具備經濟效益與合規性的處理策略。關於 PCB 產業廢水之處理策略探討分成兩的面

向，本文為以化學沉澱為主要的重金屬捕集劑原理及使用注意事項，另為文討論高級氧化及電化學為主的綠色資源技術。

## 二、產業背景與環境法規加嚴

### 2.1 台灣 PCB 產業的技術升級與環境足跡

隨著 AI 科技的快速進步，市場對高效能運算的需求不斷激增，該項應用主導了當前臺灣 PCB 技術發展趨勢，這也成為推動 PCB 技術持續精進與創新的重要動力來源。隨著終端產品對輕薄化與訊號傳輸速度的要求提升，製程技術已由傳統的鑽孔與蝕刻，演進為利用雷射鑽孔與填孔電鍍技術的 HDI 製程<sup>2</sup>。

目前應用於 PCB 線路製程的主要技術包括三種：Tenting（或稱 subtractive 減成法）、mSAP（Modified Semi-Additive Process 改良式半加成法）及 SAP（Semi-Additive Process 半加成法）。這些技術各有其特點和應用領域，根據產品的設計需求及成本考量，選擇適合的製程以滿足不同應用的需求。從 PCB 產品來看，載板已普遍採用了 mSAP 與 SAP 技術。軟板也逐漸向 mSAP 靠攏。相較之下，大部分 HDI（高密度連接板）仍以 Tenting 製程為主，但針對高階手機等對線路精細度要求較高的產品，也逐步改用 mSAP 製作。而 HLC（高多層板）產品尚未有細線需求，目前仍以 Tenting 製程為主<sup>3</sup>。

在 AI 伺服器對高性能需求的驅動下，載板、HLC（高多層板）和 HDI 的層數設計持續增加。以載板為例，其層數已突破 20 層，而 HLC 的層數則達到 50 至 60 層。這些高層數設計結合小孔徑的要求，導致孔的 AR（Aspect ratio，指孔徑與板厚之間的比例）值不斷升高，從而對製程帶來了諸多挑戰。包括作業環境無塵室之要求、鑽孔排屑以及電鍍的難度大幅增加。這些先進製程的核心特徵在於頻繁的金屬沈積與蝕刻循環。為了確保銅離子在鹼性化學銅浴（Electroless Copper Bath）與微蝕液中的穩定性，必須添加高濃度的螯合劑（Chelating Agents）與緩衝劑。這導致終端廢水中不僅含有高濃度的銅，還伴隨著不易生物降解的有機配位基（ligands）與高濃度氨氮，形成所謂的「頑固性重金屬廢水」<sup>4</sup>。

## 2.2 2024 年放流水標準修正草案之衝擊評估

環境部於 2024 年 8 月 27 日預告的「放流水標準」修正草案，標誌著我國工業廢水管制進入了「精準治理」與「總量削減」的新階段。此次修法對 PCB 產業的衝擊主要體現在以下三個維度<sup>5</sup>：

### 2.2.1 銅 (Copper) 管制限值的深度加嚴

考量到部分流域（如桃園南崁溪、台南三爺宮溪）的銅水質標準達成率偏低，以及累積性重金屬對底泥與水生生物的長期毒性，新草案針對金屬相關產業及特定工業區（如科學園區）實施差別化管制，大水量業者（及特定工業區）的放流水銅限值從原有的 3.0 mg/L 大幅下修至 116 年的 1.0 mg/L。小水量業者限值則設定為 2.0 mg/L<sup>6</sup>。地方環保機關（如桃園市環保局）為盡速改善河川水質，同步推動重金屬銅自主削減方案，針對特定河川流域的大型 PCB 業者進行宣導，短期目標為優先確保水質 100% 符合灌溉水質基準，長期則為 100% 符合 護人體健康相關基準。在此一目標下，水量  $\geq 1,000$  CMD 的印刷電路板業於 115 年 3 月 31 日前提出放流水銅自主管理計畫書，報經環保局核備。提出放流水銅污染自主削減計畫者，應照改善期程辦理實施，期能於 118 年 1 月 1 日前穩定符合 0.5 mg/L 的管制目標<sup>7</sup>。這一標準的實施對 PCB 板業者的衝擊不可忽視，1.0 mg/L 的標準逼近了氫氧化銅沈澱的熱力學極限，迫使業者必須導入更高效的處理技術。除了現有處理設備必須進行有效提升才能符合要求，隨之而來的資本支出及營運成本的提升也將成為業者不可忽略的議題。

然而此一標準的施行也非憑空想像，科學基礎來自於對河川涵容能力的重新評估。學者針對台灣某特定受重金屬污染流域進行污染源解析。該區域包含電鍍、金屬表面處理及多家 PCB 製造廠，研究團隊採集河川水樣與沈積物，利用正矩陣因子分析 (Positive Matrix Factorization, PMF) 模型，將環境中檢測到的金屬指紋 (Fingerprint) 與各類工業廢水的特徵進行比對。發現該流域的銅污染貢獻源中，裸板印刷電路板 (Bare PCB, BPCB) 製造業是該流域銅污染的絕對主導者。在高污染事件期間，BPCB 產業貢獻了該流域 92% 的銅負荷及 55% 的總金屬濃度。此一結果顯示儘管調查期間個別工廠的放流水檢測數據大多數均符合當時的放流水標準 (3.0 mg/L)，但 PMF 模型證實了「總量累積」的環境風險<sup>8</sup>。此研究為環境部 2024 年將大水量業者銅限值加嚴至 1.0 mg/L 提供了一定程度的科學證據。即現行標準不足以保護河川生態，即便單一工廠排放符合 3.0 mg/L，高密度的產業聚落仍會導致河川水體水質的總銅濃度超標。

### 2.2.2 氨氮 (Ammonia Nitrogen) 管制的導入

過去 PCB 業並非氨氮管制的重點對象，但 mSAP 製程中鹼性蝕刻與水洗段產生的大量氨氮已成為河川氨氮負荷的主要來源之一。修正草案明確將「印刷電路板製造業」納入管制，並採兩階段緩衝實施，第一階段限值为 75 mg/L。第二階段則加嚴至 45 mg/L。

此規定對傳統的「破螯合」技術構成了挑戰。許多業者過去利用調酸或加鹼來破壞氨銅錯合物，導致銅沉澱後，游離氨 (Free Ammonia) 直接排放。新法規要求業者在去除銅的同時，必須同步考慮氨氮的生物脫除或氣提回收。

### 2.2.3 總磷與其他新興污染物

針對半導體與光電業增訂的總磷管制 (100/50/25 mg/L 三階段)，雖然主要針對晶圓製造，但對於部分使用含磷清洗劑或阻燃劑的 PCB 製程亦有潛在影響。此外，醫院與公共污水廠新增的餘氯管制 (2.0 mg/L) 也反映了環境部對消毒副產物的關注，這對使用次氯酸鈉進行氧化破壞的 PCB 廠是一個必須應對的課題<sup>5</sup>。

## 2.3 緩衝期與合規路徑

根據環境部規劃，新標準在公告後將給予一定的緩衝期 (預計至民國 116 年或更晚，視項目而定)，讓業者有時間進行工程改善。然而，傳統氫氧化物沉澱法並無法保證放流水之銅離子濃度符合標準，製程中產生的螯合廢水更具挑戰，勢必需導入新世代或是整合性的技術來因應。對於設備折舊年限長且廠房空間有限的 PCB 廠而言，提早佈局低佔地、高效率的處理技術已是當務之急。

因此了解本身製程廢水之特性，以及可供採行技術的完整評估，是業者必須首先探討的方向，同時考量用地需求與現有設施單元之競合關聯，期望於緩衝期內完成相關規劃及設計施作，才能如期完成合規的目標。

### 三、建議事項 mSAP 與 HDI 製程廢水來源與特性解析

理解廢水的源頭是設計處理系統的前提。mSAP 製程相較於傳統減去法，其廢水特性具有顯著的差異性。傳統減成法 (Subtractive Process) 是「蝕刻掉大部分銅箔」，mSAP 則是「在需要的地方長出銅線」。mSAP 製程核心是為了應對極細線路 (通常指線寬/線距： $L/S < 30/30 \mu\text{m}$ ) 需求而發展的技術。傳統蝕刻法在蝕刻過程中會產生側蝕 (Side Etch)，導致細線路地基被掏空而倒塌。mSAP 改用加法思維，利用電鍍將銅線路「堆疊」起來，僅需最後快速蝕刻掉極薄的種子層 (seed layer)，因此能保持線路的方正與完整<sup>3</sup>。

#### 3.1 關鍵單元製程與廢水特性

關於 mSAP 的製造程序，也就是廢水產生的實際源頭<sup>9</sup>，各步驟的化學特性對應於其產生廢水的特性概敘如後：

##### A. 雷射鑽孔 (Laser Drilling)

在極薄的銅箔 (通常為 2-5  $\mu\text{m}$  的超薄銅皮) 基板上，利用雷射燒蝕出導通孔 (Blind Via)，製程特性以物理燒蝕為主，但也伴隨後續的清潔需求。

##### B. 除膠渣 (Desmear)

這是產生高濃度有機廢水與重金屬錳的主要來源，雷射鑽孔會產生樹脂殘渣 (smear)，必須清除以確保電性導通。其中主要分成三個階段，分別使用不同的化學藥劑。

(A). 膨鬆 (Sweller)：使用有機溶劑 (如乙二醇醚類) 軟化樹脂。

(B). 氧化 (Oxidation)：使用高濃度過錳酸鉀 ( $\text{KMnO}_4$ ) 與氫氧化鈉，將孔內樹脂殘渣氧化咬除。這會產生含錳廢水。

(C). 中和 (Neutralization)：使用酸性還原劑去除殘留的錳。

##### C. 化學銅 / 種子層沉積 (Electroless Copper / Seed Layer)

為了使雷射鑽孔後的孔壁 (絕緣樹脂) 具備導電性，並強化整體的種子層，必須進行化學銅沉積。其製程特性是利用鈰 (Pd) 作為催化劑，在還原劑 (通常為甲醛或次磷酸鹽) 作用下沉積銅。產生廢水的關鍵在於此製程會使用螯合劑 (Chelating agents) (如 EDTA、酒石酸等) 來穩定銅離子。這些「螯合銅廢水」是廢水處理中最棘手的部分之一，因為螯合劑會阻止銅離子在一般混凝沉澱中被去除。

#### D. 乾膜壓合與曝光顯影 (Dry Film Lamination, Exposure & Development)

此製程目的為貼上感光乾膜，透過曝光將不要鍍銅的地方硬化保護起來，顯影後留下線路溝槽。通常使用碳酸鈉或碳酸鉀作為顯影液，所以顯影廢水通常呈鹼性且含有大量的感光膜有機樹脂，COD 濃度極高。

#### E. 二次銅電鍍 (Pattern Plating / Graphic Plating)

這是 mSAP 的主要步驟之一，利用電化學反應，在顯影露出的溝槽與孔內進行填孔與線路增厚。因為製程使用酸性硫酸銅電解液，含高濃度銅離子與硫酸。此段產生的清洗水含有較單純的酸性銅離子，通常較易處理（可透過電解回收或樹脂吸附）。

#### F. 剝膜 (Strip Resist)

電鍍完成後，將其餘的乾膜去除。使用強鹼（如 NaOH 或有機胺類）當作剝膜液。廢水中含有高濃度的有機廢液，以及剝落的乾膜碎片（懸浮固體 SS 高）與溶解的樹脂，屬於高 COD 濃度的廢水。

#### G. 快速蝕刻 / 閃蝕 (Flash Etching)

最後，將線路之間原本墊底的超薄銅箔與化學銅層（兩者合稱種子層）蝕刻掉，使線路獨立。由於只需要蝕刻極薄的厚度（約 1.5-3  $\mu\text{m}$ ），時間極短。通常使用硫酸/雙氧水系或特殊的選擇性蝕刻液。與傳統減去法的大量蝕刻廢液不同，此處的銅負載量相對較低，但蝕刻液成分可能較為複雜。

mSAP 之製程單元描述、使用藥劑、廢水組成及特性整理如表-1；不同 PCB 製程各步驟單元及產生廢水特性如圖-1 所示。

表-1 mSAP 製程各階段單元使用藥劑與產生廢水的特性

製程單元	化學藥劑組成	廢水特性 / 主要污染物	處理難度
鑽孔與除膠渣 <sup>c</sup>	KMnO <sub>4</sub> , NaOH, 有機溶脹劑	高 COD、錳離子 (Mn <sup>2+</sup> , Mn <sup>7+</sup> )、樹脂微粒	中(需還原錳)
化學銅沉積 <sup>c</sup>	CuSO <sub>4</sub> , EDTA/酒石酸, HCHO, NaOH	Cu-EDTA 錯合銅、高 COD、強鹼性 (pH 12+)	極高(需破銅機/強錯合)
二次電鍍銅 <sup>c</sup>	CuSO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Cl <sup>-</sup> , 有機添加劑	高濃度 Cu <sup>2+</sup> 、酸性、有機添加劑 (TOC)	低(易回收/電解)
鍍錫與褪錫 <sup>t</sup>	硫酸亞錫、硝酸 (HNO <sub>3</sub> )、保銅劑	高濃度硝酸鹽氮 (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )、游離錫、極易產生膠狀錫泥	高(污泥難脫水、需生物脫氮)
剝膜 <sup>c</sup>	NaOH 或 有機胺類剝膜液 (如 MEA)	剝落的乾膜碎片 (高 SS)、溶解樹脂、高 COD、強鹼性	中(高 COD、易黏附)
鹼性蝕刻 <sup>c</sup>	CuCl <sub>2</sub> , 氨水 (NH <sub>4</sub> OH), NH <sub>4</sub> Cl	含錯合物 (Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup> )、高濃度氨氮、高銅	高(氨銅錯合物、需特殊沉澱法)
酸性蝕刻 <sup>t</sup>	CuCl <sub>2</sub> , HCl, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	高濃度 Cu <sup>2+</sup> 、高氯離子 (Cl <sup>-</sup> )、強酸性	低(適合封閉電解回收)
閃蝕 / 微蝕 <sup>m</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 或 專利有機酸	單純微量 Cu <sup>2+</sup> 、微酸性	低(易與電鍍廢水合併處理)

註：T：傳統製程、m：mSAP 製程專用、C：共通製程

## 3.2 錯合銅廢水的化學本質

### 3.2.1 EDTA-銅螯合物的熱力學穩定性

化學銅製程是廢水處理中最棘手的議題，為了防止銅離子在 pH 12-13 的化學銅槽液中生成氫氧化銅沈澱，配方中必須添加強螯合劑使金屬銅濃度維持穩定。重金屬錯合物的結構穩定性，取決於中心金屬原子的固有電子特性、配位基的種類，以及兩者結合後形成的配位幾何構型。具有高電荷密度或特定 d 軌域電子組態的過渡金屬(如 Cu<sup>2+</sup>、Ni<sup>2+</sup>、Cr<sup>3+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup>)，對具有提供孤對電子能力的配位原子 (Donor atoms，主要為氮、氧、硫) 展現出極強的共價鍵結親和力。

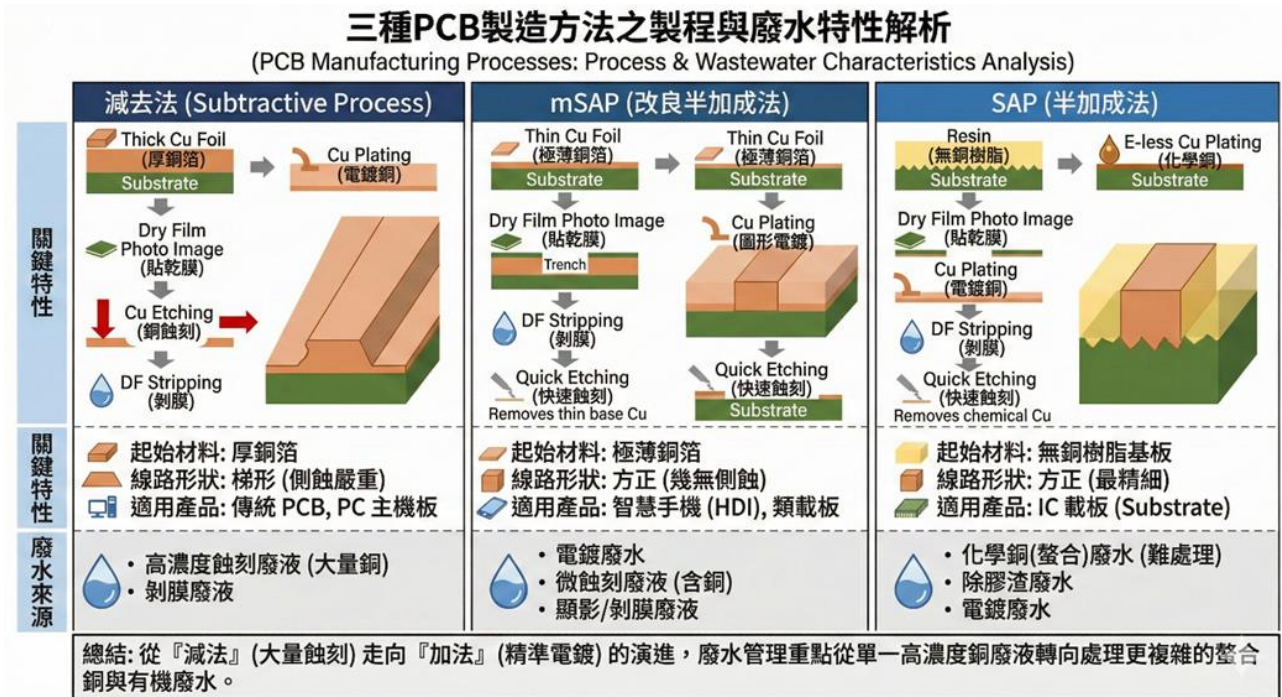
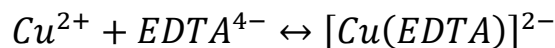


圖-1 傳統減去法、mSAP 及 SAP 等三種 PCB 製程概述及產生廢水特性

在電路板與半導體製程中，低分子量有機配位基被大量使用，其中以乙二胺四乙酸 (EDTA)、次氮基三乙酸 (NTA)、檸檬酸 (Citrate) 與酒石酸 (Tartaric acid) 最為常見。EDTA 作為一種極具代表性的強效六齒配位基 (Hexadentate ligand)，其分子結構中包含了多個氨基 (Amino groups) 與羧基 (Carboxyl groups)。當 EDTA 與重金屬離子結合時，這些氨基的氮原子與羧基的氧原子會同時作為配位原子，將中心金屬陽離子完全包裹，形成多個高度穩定的五元螯合環 (Five-membered chelate rings)。其反應如下：



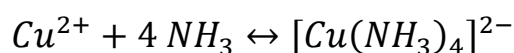
$$k_f = \frac{[Cu(EDTA)]^{2-}}{[Cu^{2+}][EDTA^{4-}]}$$

這種錯合結構的形成，在熱力學上受到螯合效應 (Chelate effect) 的強烈驅動。單一個多齒配位基能夠從金屬離子的水合層中置換出多個水分子，導致系統的熵 (Entropy) 大幅增加。這種熵增效應為錯合物的解離建立了一道極難跨越的熱力學屏障。Cu(II)-EDTA 錯合物的形成常數 (Formation constants, log K) 高達  $19.19^{10}$ 。這意味著該反應極度偏向右側，銅離子被 EDTA 緊緊嵌鎖在螯狀結構中。相比之下，氫氧化銅的溶度積常數  $K_{sp}$  雖也低到  $2.2 \times 10^{-20}$  左右<sup>11</sup>。但在化學計量上，EDTA 奪取銅離子的能力強於氫氧根離子，致使難以有可游離的  $Cu^{2+}$  與氫氧根產生

氫氧化銅的沉澱物。這就是為什麼單純的加鹼沈澱法對化學銅廢水完全無效的原因。

### 3.2.2 氨 (Ammonia) 等無機配位基的干擾機制

除了多齒有機螯合劑外，無機配位基如氨 ( $\text{NH}_3$ ) 與氰化物 ( $\text{CN}^-$ ) 在半導體與電鍍廢水中同樣扮演著穩定重金屬的關鍵角色。在半導體晶圓清洗製程中，常使用標準清洗液 ( $\text{NH}_4\text{OH}$  與  $\text{H}_2\text{O}_2$  的混合物)；以及在 PCB 製程中的鹼性蝕刻 (Alkaline Etching) 段的蝕刻液 (由氯化銅、氨水與氯化銨組成)，這導致廢水中含有高濃度的氨。氨分子利用其氮原子上的孤對電子，極易與過渡金屬形成穩定的氨錯合物，例如銅的四氨合銅錯離子 ( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ )，其反應如下。



其累積形成常數  $\log \beta_4$  約為 13.0<sup>11</sup>，且在高濃度氨氮 (常見於蝕刻水洗水) 背景下，氨分子的大量存在會依據勒沙特列原理 (Le Chatelier's principle) 使反應更向錯合物生成方向移動。氨錯合物的形成會屏蔽中心金屬，阻止其與氫氧根離子發生反應，使得重金屬在強鹼性環境下依然保持極高的溶解度與流動性。此外，施以傳統的氫氧化物沉澱法直接加鹼，氨水不僅不提供沈澱所需的游離氫氧根，反而造成以氣態氨作為配位基，與銅而形成更穩定的錯合物，導致放流水銅濃度難以符合放流水標準<sup>10</sup>。

## 四、沉澱處理技術概論

針對上述錯合特性，單純之混凝沉澱單元已不足以應對，必須依據廢水特性選擇專門的技術。此部份的技術介紹已有許多先進專文介紹<sup>13 14</sup>。本文針對目前技術上已有研究佐證且實務上使用具有實績，且以能符合現有廠商以加藥反應製程為主的技術加以探討，包含無機硫化物沉澱及有機重金屬捕集劑。

重金屬捕集劑能與大部分重金屬離子產生螯合反應，因此對重金屬離子有良好的去除效果。除了傳統的無機重金屬捕集劑，如硫化物外，更衍生出許多應用技術。從典型的無機藥劑硫化亞鐵，到更強錯合能力的有機重金屬捕集劑，如含有更強螯合官能基的二硫代氨基甲酸鹽 (DTC)、三巰基三嗪

(Trimercapto-s-triazine, TMT) 及其為基礎所衍生出不同型態之聚合物。

傳統的重金屬處理藥劑包括 pH 調節劑、硫化物、硫氫化物等各有其使用限制。使用 pH 調節劑的氫氧化物沉澱法於沉澱後，需要調整至適當之 pH 後才可能排放；當廢水中有多種重金屬共存特別是含有兩性金屬時，在 pH 偏高的情況下沉澱物會再溶解；廢水中存在錯合物時，鹼性沉澱法難以去除；沉澱顆粒小不易沉澱，需要添加助凝劑。硫化物沉澱法則因為硫化物沉澱顆粒小，不利於沉澱處理；若加藥控制不當易殘留在水中，當 pH 值降低時可能生成有毒的硫化氫氣體。

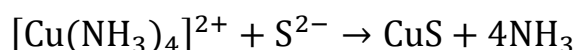
近年來，越來越多的改質有機物被用於螯合重金屬離子廢水處理，主要朝增大分子錯合容量，即增加分子上螯合基團的數量發展。合成的捕集劑可以分為低分子化合物及高分子聚合物兩種，即螯合劑和螯合樹脂兩種。螯合劑為線性結構，易溶于水；螯合樹脂為空間立體架橋結構，難溶于水。在實際應用中，螯合劑對於成分複雜的重金屬廢水具有極好的去除效率；而螯合樹脂則更多用於不易分離的汞和液相中的貴重金屬。

重金屬捕集劑的最大好處就是透過加藥種類的調整和反應槽簡易之改裝，便能改進現有之處理效率，使得螯合銅廢水達到更低放流水濃度之可行性大增。

#### 4.1 硫化物沈澱法 (Sulfide Precipitation)

當放流水標準要求銅  $< 1.0 \text{ mg/L}$  時，氫氧化物沈澱法便可能因錯合物之效應難以達標，此時應用硫化物沈澱法提供了更低的溶解度極限保障。

硫化物沉澱法的先天優勢為硫化銅 (CuS) 的溶度積常數  $K_{sp}$  極低 (約  $10^{-36}$ )，遠低於氫氧化銅 ( $10^{-20}$ )，在水中之金屬硫化物溶解度遠低於金屬氫氧化物，如表-2 所示。此代表著硫離子 ( $S^{2-}$ ) 對銅的親和力極強，因此能將銅從氨錯合物中「搶奪」過來<sup>15</sup>，其反應如下：



研究顯示，在氨氮共存下，硫化物沈澱法可將銅濃度穩定降至  $0.01 - 0.5 \text{ mg/L}$ ，而同條件下的氫氧化物沈澱往往殘留大於  $2.0 \text{ mg/L}$ <sup>16</sup>。硫化物在工程使用上必須特別注意 pH 與安全性的掌控，必須嚴格控制反應  $\text{pH} > 8.0$ 。若 pH 過低，硫離子會結合  $\text{H}^+$  生成劇毒的硫化氫氣體。此外由於過

量的硫離子會導致放流水 COD 升高及具有毒性，必須使用氧化還原電位 (ORP) 偵測器進行精準加藥控制，通常設定 ORP 終點在  $-100\text{ mV}$  至  $-200\text{ mV}$  之間<sup>16</sup>。

硫化物沉澱法在使用上另一個缺點便是生成的  $\text{CuS}$  沉澱物顆粒為膠體狀，沈降性不佳，實務上常需添加混凝劑（如 PAC/PAM）協助沉澱。Chen 等人針對不同重金屬沉澱物之粒徑進行量測，發現沉澱產生的超細硫化銅顆粒粒徑僅約  $55\text{ nm}$ ，由於顆粒間的同性靜電斥力，自由靜置狀態 12 小時內完全無法沉澱，顯示硫化物沉澱法的後續處理需要更進一步的規劃<sup>17</sup>。

緣此，直接加入硫化鈉雖即能提供  $\text{S}^{2-}$  進行沉澱，但在工程應用上，使用硫化亞鐵 ( $\text{FeS}$ ) 有一些獨特優勢<sup>18</sup>。首先是避免硫化氫逸散， $\text{FeS}$  是固體藥劑，其釋放  $\text{S}^{2-}$  的速度受限於其自身的溶解速率（緩釋效果）。 $\text{FeS}$  雖然是難溶物，但仍會釋放出微量的硫離子，因為  $\text{FeS}$  的溶解度 ( $k_{sp} \cong 6.3 \times 10^{-18}$ ) 較  $\text{CuS}$  ( $k_{sp} \cong 6.3 \times 10^{-36}$ ) 高<sup>19</sup>，當水中產生游離銅離子時，因為  $\text{CuS}$  極難溶， $\text{FeS}$  釋出的硫離子會立刻結合  $\text{Cu}^{2+}$  產生沉澱。此時的硫化亞鐵具有類似緩衝庫之作用，使水中硫化物濃度維持在極低且穩定的濃度。這能避免像  $\text{Na}_2\text{S}$  一樣瞬間產生高濃度  $\text{S}^{2-}$ ，在酸性波動時造成劇毒的  $\text{H}_2\text{S}$  氣體溢出。

表-2 金屬氫氧化物與金屬硫化物在水中之溶解度 ( $\text{mg/L}$ )<sup>15</sup>

金屬離子	金屬氫氧化物溶解度 ( $\text{mg/L}$ )	金屬硫化物溶解度 ( $\text{mg/L}$ )
鎘 ( $\text{Cd}^{2+}$ )	$2.3 \cdot 10^{-5}$	$6.7 \cdot 10^{-10}$
三價鉻 ( $\text{Cr}^{3+}$ )	$8.4 \cdot 10^{-4}$	無沉澱物
鈷 ( $\text{Co}^{2+}$ )	$2.2 \cdot 10^{-1}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$
銅 ( $\text{Cu}^{2+}$ )	$2.2 \cdot 10^{-2}$	$5.8 \cdot 10^{-13}$
亞鐵 ( $\text{Fe}^{2+}$ )	$8.9 \cdot 10^{-1}$	$3.4 \cdot 10^{-5}$
鉛 ( $\text{Pb}^{2+}$ )	2.1	$3.8 \cdot 10^{-9}$
錳 ( $\text{Mn}^{2+}$ )	1.2	$2.1 \cdot 10^{-3}$
汞 ( $\text{Hg}^{2+}$ )	$3.9 \cdot 10^{-4}$	$9.0 \cdot 10^{-2}$
鎳 ( $\text{Ni}^{2+}$ )	$6.9 \cdot 10^{-3}$	$6.9 \cdot 10^{-8}$
銀 ( $\text{Ag}^+$ )	13.3	$7.4 \cdot 10^{-12}$
錫 ( $\text{Sn}^{2+}$ )	$1.1 \cdot 10^{-4}$	$3.8 \cdot 10^{-9}$
鋅 ( $\text{Zn}^{2+}$ )	1.1	$2.3 \cdot 10^{-7}$

其次是產生之污泥沉降性較佳，FeS 顆粒可以作為晶種 (Seed)，生成的 CuS 往往會附著在未反應的 FeS 表面，形成的膠羽比單純化學沉澱產生的細小膠體更重，沉降性能較好。最後是溶解出的  $Fe^{2+}$  在後續單元可以透過曝氣氧化成  $Fe^{3+}$ ，形成氫氧化鐵膠體，其具有混凝劑的作用能進一步捕捉殘留的懸浮物<sup>15</sup>。硫化鈉與硫化亞鐵之比較如表-3 所示。

表-3 硫化鈉與硫化亞鐵處理整合銅廢水之比較表 (研究彙整)

比較項目	硫化鈉 (Na <sub>2</sub> S)	硫化亞鐵 (FeS)
反應機制	離子反應，直接解離出大量 $S^{2-}$ ，瞬間反應。	轉化反應，固體表面轉化，依靠溶解度積(Ksp)之差異驅動。
去錯合速度	極快，屬於「強烈破螯合」，瞬間拉走銅離子。	較慢，受限於 FeS 的溶解速率與固體表面積。
安全風險	高風險，若 pH 波動或加酸，產生致命 H <sub>2</sub> S 氣體。	高安全性， $S^{2-}$ 濃度低，即使 pH 降低，硫化氫逸散量較少。
藥劑投加控制	困難，需精準控制。投加過量會導致放流水硫化物超標；投加不足除銅不徹底。	容易，具自我調節功能。過量的 FeS 仍為固體，不會導致水中 $S^{2-}$ 暴增。
污泥特性	難沉降，生成的 CuS 顆粒極細小 (膠體狀)，需配合混凝劑。	相對較易沉降，FeS 可做為晶核，使生成的 CuS 能附著，絮體較重。
二次污染	可能造成出水硫化物( $S^{2-}$ )超標，導致水質發臭、COD 升高。	可能造成出水亞鐵離子 ( $Fe^{2+}$ ) 升高，需後續曝氣沉澱去除。
成本	單價較低，但需投入較多安全設備與混凝劑成本。	單價較高，或需現場配製 (In-situ)，但綜合處理成本可控。

## 4.2 二硫代氨基甲酸鹽 (Dithiocarbamate, DTC)

### 4.2.1 二硫代氨基甲酸鹽 (Dithiocarbamate, DTC) 處理原理

二硫代氨基甲酸鹽的核心構造為二硫代氨基甲酸基團，是一類含氮有機硫化合物，是氨基甲酸酯的兩個氧都被硫替代的產物，通常形式為  $R_1R_2NC(=S)S^-$ ，其中 R 可為氫或烷基。DTC 與銅離子 ( $Cu^{2+}$ ) 會形成極為穩定之雙(二硫代氨基甲酸)銅錯合物  $[Cu(S_2CNR_2)_2]$  的化學現象，早在 20 世紀初就由 Delépine 首次記錄與發表，當時這份研究確立了 DTC 作為強力銅螯合劑的熱力學基礎，並在隨後的數十年間被廣泛應用於分析化學中。在 1970 年代末至 1980 年代初，隨著美國 EPA 開始嚴格規範重金屬排放，傳統氫氧化物沉澱法無法處理電鍍廢水中的強錯合態金屬。Wing 與 Rayford 發表了液態二甲基二硫代氨基甲酸鈉 (Sodium dimethyldithiocarbamate, SDTC)，能在廣泛的 pH 值下，有效打破廢

水中的錯合物，將銅、鎳、鎘等重金屬沉澱並降至極低濃度，這項研究造就 DTC 成為現代表面處理與電鍍工業化學沉澱程序的先驅<sup>20</sup>。

DTC 分子中的硫原子具有高度的可極化性，且根據軟硬酸鹼理論，銅離子屬於交界酸，而硫原子則屬於軟鹼，兩者具有極強的親和力。硫能提供孤對電子與銅離子形成強共價鍵，使其與原先的配位基（如 EDTA 或  $\text{NH}_3$ ）分離，並與銅形成鍵結力更強的配位化合物。這個新生成的  $\text{Cu}(\text{II})$ -DTC 錯合物在水中的溶解度極低，會立刻形成不溶性的金屬錯合物沉澱，將水溶液中的游離銅濃度瞬間降至極低。綜合來說，DTC 與銅錯合物反應打破原有配位鍵而形成更穩定的新配位化合物，生成物則因為具有極低的溶解度積而析出，兩者協力完成除銅反應。

但是工業上常用的二硫代氨基甲酸鹽沉澱劑包括二乙基二硫代氨基甲酸鹽 (diethyldithiocarbamate, DDTC) 或 二甲基二硫代氨基甲酸鈉 (SDTC) 只有單一種配位官能基，沉澱過程屬於小分子反應。DTC 與銅形成的新沉澱物往往極為細小，成為不易沉澱的微細膠體，必須額外添加混凝劑和助凝劑後才能從水中完全去除<sup>15</sup>。

除了典型的 SDTC 類的小分子型外，可被歸納於 DTC 類的去錯合藥劑通常分為兩大類，多以分子量大小作為區分。小分子型屬於以 DTC 為基礎所衍生之化合物，其目的在促進單一個分子能提供更多的 DTC 配位官能基，以增加更好的螯合性或是對金屬離子的捕集效率。第二種屬於大分子型的聚合物，透過人工接枝 DTC 官能基在天然聚合物（如不溶性澱粉、纖維素、幾丁聚醣），或是合成樹脂上，使其具有更高之捕集效率，並可以固相交換的方式進行置換去錯合的程序<sup>21</sup>。

#### 4.2.2 小分子型 DTC 重金屬捕集劑

典型小分子型捕集劑如 SDTC 的生成產物有膠羽細小不易沉澱的問題，Fu 等人首先提出了一種帶有「雙螯合基團」的新型試劑：N,N-雙（二硫代羧基）哌嗪 (N,N-bis-(dithiocarboxy)piperazine，簡稱 BDP 或  $\text{Na}_2\text{BDP}$ )<sup>21</sup>。首次將高分子聚合的概念引入沉澱過程中。它不只是讓藥劑與單一金屬結合，而是利用 BDP 兩端皆有二硫代氨基活性基團 ( $=\text{NCS}_2^-$ ) 的特性，在廢水中引發類似聚合的交聯反應。當 BDP 加入含有  $\text{Cu}^{2+}$  的廢水中時，藥劑的 DTC 官能基透過架橋 (bridging) 的方式捕捉銅離子。被捕捉的  $\text{Cu}^{2+}$  會作為連接點，將一個個 BDP 分子串聯起來，最終生成一種高度不溶的線狀螯合聚合物 (linear chelating polymer)。

由於 BDP 具有雙重配位基及架橋的功能，使得其具有極強的去錯合能力，BDP 能將初始濃度 50.0 mg/L 的四氨合銅廢水，大幅削減至遠低於 0.5 mg/L 的水準（在最佳劑量下甚至可低至達 0.04 mg/L）。且該反應在極寬廣的 pH 值範圍（4.0 - 11.0）內皆能維持高效能。而 BDP 透過配位聚合形成的高分子產物結構密實，具備極佳的沉降特性，能大幅縮短固液分離的時間。此由高分子聚合鏈結構成的銅聚合物沉澱，其化學性質遠比傳統的 Cu(II)-DDTC 沉澱物更加穩定，極不易發生二次溶出，大幅降低了廢水處理污泥中有害重金屬再次釋放回環境的風險<sup>21</sup>。

Fu 等人後續在類似的基礎下發展出不同類型的聚合配位化合物，新型的 DTC 類型藥劑 1,3,5-六氫三嗪三硫代胺基甲酸鈉（sodium 1,3,5-hexahydrotriazinedithiocarbamate, HTDC），在單一分子上集成了三個配位點，能顯著提高捕集效率。HTDC 與銅反應後，不僅形成簡單的分子螯合物，還會透過架橋作用形成三維網狀的超分子配位聚合物（Coordination Supramolecular Compound）。針對合成及實際螯合廢水之處理結果顯示在 pH 3~9 的寬廣範圍內，處理水的銅濃度均小於 0.5 mg/L。同時這種結構使得沉澱物顆粒大、密度高，且在寬廣的 pH 範圍內都不會再溶解<sup>22</sup>。

Zhen 等人以含有二硫代氨基甲酸酯基團的四硫代氨基甲酸（DTC-TBA），針對模擬及實際廢水的處理結果顯示，最佳化條件為 pH 3~5，DTC-TBA/Cu 莫耳比 1.2:1，反應時間 3 min，PAM 投加量 2~6 mg/L。初始濃度為 100~1000 mg/L 時，Cu<sup>2+</sup> 去除率大於 99%，DTC-TBA 對 Cu<sup>2+</sup> 的最大吸附量為 287.05 mg/g。實際 EDTA-Cu 廢水處理實驗表明，DTC-TBA 具有良好的處理效果，處理後廢水中 Cu<sup>2+</sup> 的平均濃度為 0.372 mg/L<sup>23</sup>。

### 4.2.3 大分子型 DTC

除了上述幾種小分子型的 DTC 及其改質物之外，DTC 類大分子型化合物是另一類，其中最常被研究或評估的化學沉澱技術是黃原酸鹽（Xanthate, ROCS<sub>2</sub>M<sup>+</sup>）。某些研究中將黃原酸鹽廣義地歸類在二硫代氨基甲酸鹽類（DTC-type, R<sub>2</sub>N-CS<sub>2</sub><sup>-</sup>）沉澱劑的範疇中。在嚴格的有機化學定義上，這兩者其實是不同的官能基，但在環境工程與廢水處理的實務文獻中，經常基於工程應用與反應機制的分類，而非嚴格的化學名詞分類。黃原酸鹽被認定為 DTC 類別的主要原因是具有相同二硫代羧基（-CS<sub>2</sub><sup>-</sup>）的核心反應基團；其次是重金屬螯合機制完全一致。在處理含重金屬廢水時，這兩類藥劑的作用原理都是利用 -CS<sub>2</sub><sup>-</sup> 基團上的硫原子作為電子供體，與

重金屬離子形成極穩定的配位鍵，進而生成不溶於水的網狀金屬螯合物並沉澱<sup>24</sup>。

黃原酸處理技術經歷了從基礎水溶性試劑、不溶性高分子改質，到專門針對強錯合態廢水的演進過程。在早期，水溶性的黃原酸雖然能沉澱重金屬，但容易殘留於水中，在分解後產生二硫化碳等惡臭與毒性物質造成二次污染。為了解決這個困擾，美國農業部 (USDA) 的研究團隊開發了不溶性澱粉黃原酸 (Insoluble Starch Xanthate, ISX)，這是黃原酸應用於實際工業廢水處理的重要里程碑。技術關鍵是將黃原酸基接枝在天然高分子上，因為天然高分子屬自然可再生資源，價格低廉，且高分子骨架具備良好的生物降解性，在進入水體或環境後不會造成持久性污染。其次形成的金屬-澱粉沉澱物體積大且緻密，沉降速度非常快，且產生的污泥通常較容易脫水<sup>25</sup>。

澱粉黃原酸雖然便宜，但在特定極端酸鹼值下容易膨潤甚至降解。學界開始將黃原酸官能基接枝到物理結構更強韌的載體上，例如纖維素。纖維素黃原酸酯 (Cellulose Xanthate, CX) 則是利用農業廢棄物 (如甘蔗渣、鋸末、稻桿) 進行化學改性製備。其特點在於利用纖維素的天然多孔結構加上黃原酸基團的化學吸附能力，且機械強度比澱粉基材的更高，更適合應用於管柱。這讓黃原酸從單純的投藥沉澱劑，進化為可以連續操作的離子交換/螯合吸附床，適合用於廢水排放前的微量重金屬最終拋光 (Polishing) 程序。

現代研究聚焦採用單醣、幾丁聚醣 (Chitosan) 甚至礦物廢料為骨架，進行黃原酸表面改質。這些新一代的黃原酸材料在微觀下呈現多孔或網狀結構，對 Cu(II)、Cd(II) 等離子具有龐大的靜態吸附容量，且吸附動力學極快。Braskara 等人透過在殼聚醣骨架上引入羧乙基 (-CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>COOH)，成功賦予其成為具兩性 (Amphoteric) 特質的物質。其能在極寬廣的 pH 值範圍 (特別是中性與微鹼性水溶液中) 保持良好的溶解與長鏈伸展狀態，克服了原生殼聚醣在 pH > 6 時即自我沉澱失效的問題。針對重金屬的絮凝與去除效率與重金屬羥基錯合物的穩定性高度相關，處理效率排序為 Cu<sup>2+</sup> > Zn<sup>2+</sup> > Ni<sup>2+</sup>。在最適 pH 值與低絮凝劑投加量下，能將廢水中的殘留重金屬濃度大幅極限壓縮至 0.1~0.5 mg/L<sup>26</sup>。

pH 值是此項技術的關鍵操作參數，雖然黃原酸鹽在廣泛 pH 下有效，但研究發現酸性至中性條件 (pH 3~6) 通常對處理螯合銅最有利。其原因在於低 pH 有助於將原有的螯合劑 (如 EDTA) 質子化 (Protonation)，

使其與銅的結合力變弱，從而讓黃原酸鹽更容易置換出銅。但是 pH 過低 (<3) 會導致黃原酸鹽分解產生  $CS_2$  氣體，同時會造成載體膨潤和受損。

黃原酸鹽在學術研究中效果很好，但在實際的廢水處理商業市場中卻相較受限。首先在酸性條件下極易發生水解反應，可能釋放出有毒且具易燃性的二硫化碳 ( $CS_2$ ) 氣體。這不僅會導致藥劑失效，更會引發嚴重的工安風險。而這些以天然碳水化合物為骨架的改質藥劑，若為了追求重金屬極限去除率而過量投加，未反應的藥劑會直接進入放流水中。澱粉與纖維素等生質材料被水中微生物分解後，會直接導致放流水的化學需氧量 (COD) 大幅增加。而藥劑保存壽命短，容易隨時間自然降解，無法長期存放，造成廠務管理的困難。最後則是去錯合能力較弱，相較於 DTC 內含氮原子的推電子能力比氧強，使得 DTC 的硫原子對銅的捕捉能力更強，面對 PCB 廢水中極穩定的 EDTA-Cu 等錯合物時，其搶奪銅離子的能力不如 DTC，處理達標的難度較高。

#### 4.2.4 新世代的 DTC

為因應現代環境工程中對於資源循環、極端水質與複合污染協同處理之趨勢，學術界與實務界已逐步將焦點從小分子 DTC 沉澱劑，轉向開發具備多功能性的新型 DTC 衍生物。以下針對四類近年具備高度學術重要性與工程實用性之 DTC 衍生物，探討其於 PCB 廢水處理中之應用機制與技術優勢。

第一類是金屬置換型 DTC (Metal-Substituted DTCs)，傳統 DTC 技術多以沉澱為導向，而金屬置換型 DTC (如二甲基二硫代氨基甲酸鋅， $Zn(DMDC)_2$ ) 則將處理邏輯轉向選擇性資源回收。此技術之機制源於熱力學之親和力差異，因為銅離子與 DTC 結構中硫原子的配位鍵結能力大於鋅離子。因此，當  $Zn(DMDC)_2$  投加於含多重金屬之強酸性廢水時，會自發性引發金屬置換反應，使  $Cu^{2+}$  將  $Zn^{2+}$  置換並析出高純度之  $Cu(DMDC)_2$  沉澱，其銅去除率可穩定達 99% 以上。後續透過高溫煅燒程序，可將該沉澱物轉化為具高經濟價值之氧化銅 ( $CuO$ )，為零廢棄 (Zero Waste) 與綠色循環經濟提供了具體可行方向<sup>27</sup>。

第二類是磁性奈米複合 DTC (Magnetic Nanocomposite DTCs)，於複合污染廢水之快速分離 PCB 綜合廢水中常同時存在光阻劑殘留、介面活性劑等有機污染物與重金屬離子，形成處理難度極高的複合污染。磁性奈米複合 DTC (如磁性聚多巴胺接枝 DTC， $Fe_3O_4@PDA-CS_2$ ) 的開發，有效

克服了此一瓶頸。該材料以具磁性之氧化鐵 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 為核心，外層包覆聚多巴胺 (Polydopamine, PDA) 作為過渡層，並於表層高密度接枝 DTC 活性官能基。在實務應用上，此材料展現了優異的多重協同處理能力。其 DTC 官能基可強效螯合水相中的  $\text{Cu}^{2+}$ ，而材料表面的其他活性位點（如 PDA 結構）則可同步物理吸附有機污染物。反應完成後，藉由外加磁場即可在數秒內完成固液分離，徹底解決了傳統 DTC 沉澱物易形成膠體而分離困難的困擾，並可大幅縮減傳統沉澱池與過濾單元之設備佔地<sup>28</sup>。

第三類是多孔性固態載體改質 DTC (Porous Carrier-Modified DTCs)，針對管末排放端水質的把關工作，多孔性固態載體改質 DTC（如 DTC 改質粉末活性炭 PAC-SDDC，或改質天然殼聚糖 DTC-CTS）展現了極佳的應用潛力。此類材料的設計核心在於將液相的化學沉澱反應，轉化為固態表面吸附機制。透過將小分子 SDTC 的活性基團鍵結至具高比表面積之多孔載體上，大幅提升了重金屬捕集的接觸機率與穩定性。在工程配置上，這類改質吸附劑極適合應用於廢水處理系統的最終拋光 (Polishing) 程序。當主處理單元已去除 95% 以上或是絕大多數的銅負荷後，針對殘留的微量且極難處理的錯合態銅離子，此固態吸附劑能在中性或偏鹼性條件下進行精準捕集，確保廠區最終放流水穩定符合極度嚴格之重金屬排放法規<sup>29 30</sup>。

最後一類是芳香族與高密度含氮雜環 DTC (Aromatic & N-Heterocyclic DTCs)，處理高濃度重金屬廢水後所衍生之有害事業廢棄物（污泥）處置，為 PCB 產業面臨的重大挑戰。為提升金屬錯合物之環境穩定性，學界引入芳香族或高密度含氮雜環之新型 DTC 藥劑（如二苯基二硫代氨基甲酸鹽 Diphenyldithiocarbamate，或三聚氰胺-甲醛改質 DTC MF-DTC）。從分子空間構型與化學機制探討，此類物質骨架中之苯環提供了強大的空間位阻 (Steric hindrance) 效應與高度疏水性；而三聚氰胺環則提供了極高密度的氮原子交聯網路。當此類配位基與  $\text{Cu}^{2+}$  結合後，所形成之金屬錯合結構極為緻密，水分子與自然環境中的酸性溶液難以滲透破壞其配位鍵。在後續針對該污泥進行之毒性特徵溶出程序 (TCLP) 測試中，其重金屬二次溶出率幾乎趨近於零，大幅降低了後端有害事業廢棄物之處理風險與處置成本<sup>31</sup>。從小分子 DTC 至大分子 DTC 類重補劑之代表形式及用途，如圖-2 所示。

## DTC類重金屬錯合劑類別演進及應用示意圖

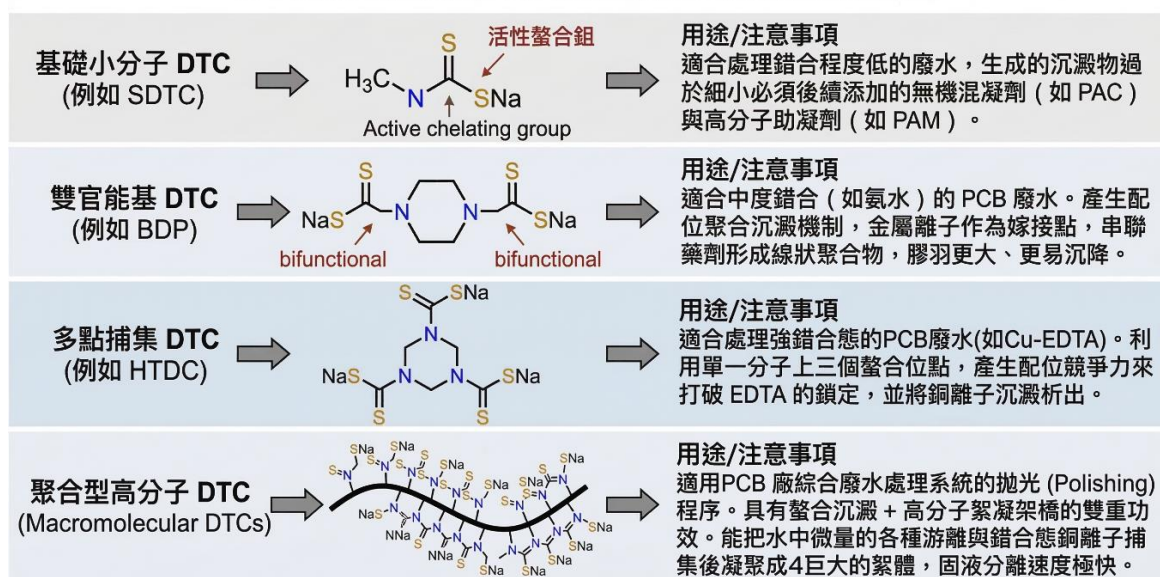


圖-2 DTC 類重金屬錯合劑類別演進及應用示意圖

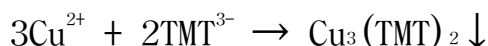
## 4.3 三巯基三嗪 (Trimercapto-s-triazine, TMT)

三巯基三嗪則是另一種處理高濃度氨錯合廢水的高效藥劑。其分子包含一個對稱的三嗪環，環上連接三個硫醇基 (-SH)。TMT 主要的水溶性鹽類代表物為  $\text{Na}_3\text{TMT} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ，最初由德國化工巨頭 Degussa 於 1989 年申請專利，隨後以 TMT-15 (含量 15%) 或 TMT-55 (含量 55%) 的商品名推向全球環保市場。銅與 TMT 反應生成的複合物 ( $\text{Cu}_3(\text{TMT})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 具有極低的溶度積常數 ( $2.11 \times 10^{-46}$ )，使其能輕易突破氨與銅的結合力。在 1980 年代以前，業界處理錯合廢水多半依賴傳統的硫化鈉，但硫化鈉在酸性下極易產生致命的硫化氫氣體。這份專利首次證明了 TMT 可以在不產生毒氣、且對水生生物極低毒性的前提下，成功將電鍍與化工廢水中的錯合態金屬（如銅、鎳、汞）沉澱出來。這宣告了「低毒性有機硫化物」取代「傳統無機硫化物」的歷史起點<sup>32</sup>。

Henke 等人最早對 TMT 基本化學性質、溶解性進行學術化研究，TMT 具有三個解離常數 ( $\text{p}K_{a1} = 5.72$ ,  $\text{p}K_{a2} = 8.78$ ,  $\text{p}K_{a3} = 11.46$ )，這意味著在接近 pH 9 的典型廢水環境中，TMT 主要以帶電的硫負離子形式存在，展現極強的配位活性。而 Liao 等人在光譜分析中發現，TMT 在與金屬結合時，會由硫酮形式 (Thione) 轉化為具芳香性的硫醇形式 (Thiol)，形成極穩定的金屬-硫鍵結，甚至能承受  $250^\circ\text{C}$  的高溫而不分解。三嗪環具有芳香族特性，電子雲高度離域，這賦予了分子極高的熱穩定性 (可耐受高溫達  $200^\circ\text{C}$  以上) 與化學抗性。這與 DTC 的直鏈或脂肪族骨架形成鮮明對比，後者容易發生水解。TMT 鈉鹽極易溶於水，能快速分散於廢水體系中；但一旦與重

金屬結合，即形成高度不溶的立體網狀聚合物<sup>32 33</sup>。

TMT 與二價銅離子的反應是形成複雜的多核配合物，生成的沉澱物通常為  $\text{Cu}_3(\text{TMT})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  形式。這意味著 2 個 TMT 分子可以捕捉 3 個銅離子，理論上的化學計量效率高於某些單齒配位體，其反應如下：



TMT 對銅的親和力遠大於氨分子，在含氨廢水中，TMT 能有效沉澱銅，且生成的沉澱物為紅棕色的，並未夾帶氨分子。這個關鍵優勢是氨被釋放回溶液中，而銅被轉移至固相，實現了銅與氨的有效分離，且不會產生如 DTC 分解時的胺類異味。

Liao 等在某項針對 PCB 工廠實際廢水的測試中，進水銅濃度高達 350.9 ppm，且含有大量的氨水複合劑。採用 TMT-15（三巰基三嗪三鈉鹽）進行直接沉澱，並針對氨濃度進行劑量補償。當氨濃度為 500 ppm 時，按化學計量比增加 5% 藥劑；當氨濃度升至 5000 ppm 時，則需增加 15% 藥劑以抵抗氨的競爭。殘餘銅濃度成功降至 0.10 mg/L，去除率 > 99.9%<sup>33</sup>。

Thomas 等人利用 TMT 處理六股不同的 PCB 產業實際廢水，在 pH 9.0 ~ 9.5 下，初始銅濃度 7 ~ 85 mg/L 的區間內，處理水  $\text{Cu}^{2+}$  濃度均低於 0.01 mg/L；在初始鎳濃度 0.031 ~ 0.76 mg/L 的區間內，處理水  $\text{Ni}^{2+}$  濃度位於 0.005 至 0.01 mg/L；在初始錫濃度 0.71 ~ 5.5 mg/L 的區間內，處理水  $\text{Sn}^{2+}$  濃度均小於 0.005 mg/L。顯示 TMT 對重金屬廢水的處理效率相當穩定可靠<sup>35</sup>。

關於 TMT 沉澱污泥在環境中的安全性及穩定性，Lejwoda 等針對不同沉澱劑所形成之污泥在長期測試及模擬酸雨/鹽水淋濾實驗中，顯示 TMT 污泥展現了極高的穩定性。NaOH 處理產生的污泥，在微酸性（pH < 6）的浸提液中，重金屬會出現大規模的重新溶出，無法通過嚴格的環保溶出標準。無機硫化物（ $\text{Na}_2\text{S}$ ）雖然產生的金屬硫化物比氫氧化物穩定，但在長期接觸空氣或極端酸性條件下，仍有溶出風險。使用有機硫代捕集劑 TMT-15 與 dimethyldithiocarbamate (DMDTC) 所形成的重金屬錯合沉澱物展現極高環境穩定性，即使在極端酸性（pH 低至 2-3）的浸提條件下，銅、鎳等重金屬的溶出量依然極低。TMT-15 相較於 DMDTC 的額外優勢是在處理過程中形成的絮體在固液分離與後續脫水表現上更為優異<sup>36</sup>。

TMT 相較於 DTC 最大的差異化優勢，也是其被稱為綠色藥劑的原因在於其低生態毒性。毒理學研究顯示，TMT 對水生生物（如魚類、水蚤、藻類）的毒性極低。相較於 DTC 的低 LC<sub>50</sub> 濃度，TMT 即使微量殘留於放流水中，也不易導致在生物急毒性（WET）測試不過的疑慮，對下游生態系統更為友善<sup>15 28</sup>。

依據 TMT 原廠技術手冊之建議資料，實廠應用於銅錯合廢水處理時之相關操作參數及環境如表-4。

表-4 TMT 實廠應用時之相關操作參數及環境

評估項目	實務參數 / 控制條件	機制說明與備註
化學反應式	$3\text{Cu}^{2+} + 2\text{TMT}^{3-} \rightarrow \text{Cu}_3(\text{TMT})_2\downarrow$	去除 1 mg 的 $\text{Cu}^{2+}$ ，理論上需消耗 2.55 mg 的純 $\text{Na}_3\text{TMT}$
實務加藥基準	0.015 mL / mg $\text{Cu}^{2+}$	基於 TMT-15 (15% 水溶液，密度 1.12 g/mL) 換算之原廠經驗值。
自動控制參數	ORP 設定點：-50 mV 至 -150 mV	利用 ORP 感測器回饋，設定值區間內代表含銅錯合物已耗盡且 TMT-15 略微過剩，藉此確保去除率 > 99.9%。
對抗氨水系統	pH 控制：7.0 – 9.0 (中至弱鹼性)	氨銅錯合物(如 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ )的穩定性較 EDTA 弱，TMT-15 具備極低溶度積常數，可直接錯合，原則無需劑量補償。
對抗強錯合劑 (EDTA、酒石酸等)	1. pH 預調：3.0 – 5.0 2. 增加 10% – 20% 補償量 3. 需添加混凝劑	EDTA 對銅錯合常數極高，需利用微酸性削弱其螯合力，增加 TMT-15 配位競爭力，並輔以高分子或鐵鹽共沉澱以加速反應與確保徹底分離。

#### 4.4 綜合考量及整合型處理策略

##### 4.4.1 操作條件及控制

使用重金屬捕集劑雖然具有簡易操作及不需大幅度變更反應單元及增設過多反應槽之優點，但是仍有許多關鍵考量因素，包含 pH 控制、動力學考量等若缺乏精確的過程控制，也無法保證穩定的出水水質。以及藥品對承受水體環境之影響和整體操作成本，都是必須完整考量在內。

重金屬捕集反應雖然對 pH 的依賴性較傳統方法低，但仍存在特定的最佳窗口。例如，硫化亞鐵在 pH 8.5 ~ 9.5 之間生成  $\text{CuS}$  的效率最高；DCT 在酸性條件 (pH < 3) 下較不穩定，容易分解產生  $\text{CS}_2$ 。因此安裝在線 pH 計與 PLC 連動，確保藥劑投加點的環境穩定是操作控制重點。而

在使用硫化亞鐵或涉及還原反應的場合，監測 ORP 值能有效反映水中還原劑是否充足。過低的 ORP 可能意味著藥劑過量(增加 COD 或產生硫臭)，而過高的 ORP 則代表去錯合不完全。

重金屬捕集劑與錯合物的配位基交換反應雖然快速，但仍需克服質傳阻力。一般建議反應池的停留時間 (HRT) 不低於 15~30 分鐘，且攪拌強度應分段控制：初期高強度快速攪拌 ( $G$  值約  $300 \sim 1000 \text{ S}^{-1}$ ) 促進接觸反應，後期低強度慢速攪拌 ( $G$  值約  $10 \sim 70 \text{ S}^{-1}$ ) 促進絮凝。在處理 Cu-EDTA 廢水時，適度回流部分處理後的污泥到反應池，可以作為晶種 (Seed) 加速新形成的螯合物沉澱析出，並增加膠體的密度，促進沉澱效率。依據動力學良好設計的分段式加藥控制，不但可以更精準的控制加藥量，增進處理效率，還能減少加藥量、污泥產生量，並反映處理成本的降低上。

#### 4.4.2 毒性及生態危害評估

有鑑於廢水處理藥劑之後續去向涉及承受水提及污泥最終處置，藥劑的毒性及生態危害評估更須列入關注。根據 SDS 數據，硫化鈉對大型水蚤 (*Daphnia magna*) 的  $EC_{50}$  僅為  $0.55 \text{ mg/L}$ 。其原因出自硫離子 ( $S^{2-}$ ) 在水中會消耗大量溶氧，並直接阻斷生物細胞的呼吸鏈 (類似氰化物的作用)。此亦為使用硫化鈉處理廢水的事業單位，其放流水 COD 可能不高，但魚類卻會死亡的原因。DTC 本身並未被列為一級致癌物，但其分解產物備受關注。特別是 DTC 在酸性環境下分解產生的二硫化碳 ( $CS_2$ ) 具神經毒性。若廢水中含有電路板蝕刻廢液常見的亞硝酸鹽，DTC 的胺基結構可能與其反應生成強致癌性的亞硝酸胺。在對生態毒性評估的結果顯示 DTC 對魚類的  $LC_{50}$  約在  $1 \sim 10 \text{ mg/L}$  之間。由於重金屬捕集劑通常需要過量添加才能確保金屬達標，這個過量殘餘 (Residual) 往往成為放流水毒性的來源。相較之下，TMT-15 對斑馬魚的  $LC_{50}$  (96h)  $> 1000 \text{ mg/L}$ ，Ames Test 亦顯示無致突變性。顯示其是可滿足重金屬極低濃度排放 ( $< 0.1 \text{ ppm}$ ) 且放流水生物毒性評估結果較佳的藥劑。DCT 在生態毒性評估上較 TMT 有較低的  $LD_{50}$  及較高的致癌疑慮，在長期使用時須特別謹慎，並應有完整的評估<sup>38</sup>。

最後是所有採行化學藥劑處理廢水共同的問題，藥劑成本和產生沉澱後污泥之處置費用，會大幅提升處理場的營運費用。使用分段加藥，精準性用藥等技術，可以適度降低處理成本。但長期而言，採行源頭管理及後端資源回收技術，勢必是未來發展的趨勢。

表-5 硫化鈉、硫化亞鐵、DCT 和 TMT 的急毒性和生態毒性評估比較表

藥劑種類	大鼠口服急毒性 (LD50, mg/kg)	魚類生態毒性, (96h LC50, mg/L)	致癌/致突變性測試 (Ames Test / IARC)	關鍵物質
硫化鈉	208 (毒)	0.55 – 30 (極毒, 對水蚤僅需 0.55)	無數據, 但具腐蝕性	硫化氫, 遇酸產生劇毒氣體
硫化亞鐵	> 2,000 (低毒)	無顯著毒性數據	無數據	遇強酸仍可能釋放 H <sub>2</sub> S
DTC	~1,000 - 4,500	0.7 - 7.0 mg/L (高毒)	代謝物 (如 ETU) 疑似致癌 (Group 2B)	二硫化碳 亞硝酸胺 (潛在副產物)
TMT	> 6,000 (極安全)	> 100 - 1000 mg/L (無毒)	陰性 (Negative)	無危險分解物

#### 4.4.3 重金屬捕集劑之使用

綜觀含硫類重金屬螯合劑的技術演進, 從早期的基礎小分子 (如 SDTC) 發展至具備雙官能基與多點捕集能力的結構 (如 BDP、HTDC), 再進一步跨越至結合天然載體的大分子型態 (如黃原酸接枝纖維素或聚合型高分子 DTC), 展現了化學設計上對提升配位競爭力與優化固液分離效率的持續追求。

在工程實用性上, 這類藥劑克服了傳統氫氧化物沉澱法無法處理強錯合態重金屬 (如高濃度銅氨錯合物或 Cu-EDTA) 的技術瓶頸, 能將水中的微量游離及錯合態金屬穩定降至嚴格的排放標準。然而, 其應用仍存在顯著的物理與化學限制: 小分子藥劑易產生難以沉降的膠體污泥, 且部分物質在酸性條件下極易分解並釋放有毒與惡臭氣體 (如二硫化碳); 而大分子或生質基黃原酸類衍生物, 則面臨對 pH 值高度敏感、保存穩定性差, 以及若投加過量恐導致放流水化學需氧量 (COD) 異常升高的工程挑戰。

使用單獨的化學藥劑沉澱法必須面對眾多的操作參數環境控制, 更佳的策略是使用整合性的處理系統, 利用不同單元的搭配及針對性的處理方式, 可以具有更佳的處理效率及經濟性。例如可以氫氧化物沉澱法搭配重金屬捕集劑, 分階段、分目的分別處理游離性及螯合性的含銅廢水; 或是採行金屬置換法串聯重捕劑的系統處理銅錯合廢水皆是可行之方式。一項整合置換及重捕劑的研究在 [DDTC]/[Cu] 莫耳比 = 3.0、[Fe]/[EDTA] 莫耳比 = 1.5、pH = 2.0 的條件下, 初始濃度為 64 mg/L 的 Cu(II) 經處理後濃度降至 0.008 mg/L, 顯示整合技術的優越性<sup>39</sup>。

針對成分日益複雜的高科技工業廢水，含硫重金屬捕集劑的未來發展趨向將聚焦於三個核心領域：首先是「材料複合化」，例如結合磁性奈米材料或多孔無機載體，實現重金屬與有機污染物的協同去除及快速固液分離；其次是「污泥極致穩定化」，持續開發在極端環境與淋溶測試下抗溶出能力更強的新型配位基，徹底消除二次污染風險；最後則是從末端破壞處理轉型為資源選擇性回收，透過具備高特異性的金屬置換型螯合劑，將銅等具經濟價值的金屬精準分離並提煉為純化產物，全面契合綠色化學與循環經濟的永續發展目標。

## 五、處理策略及建議

面對法規的加嚴管理，PCB 廠應採取「分流分治、資源回收、末端把關」的整合策略<sup>40 41</sup>。

最核心的原則是絕對避免將化學銅廢液(含 EDTA)、氨蝕刻廢液(含  $\text{NH}_3$ )與一般酸性銅廢水混合。EDTA 廢液需獨立收集，避免 EDTA 進入混合池螯合其他重金屬，使得受影響的廢水量增加。同理，氨系廢液如實務狀況可行，宜獨立進行脫氨處理，避免氨氮進入綜合廢水導致須處理的氨銅廢水增量。

針對氨銅廢液及化學銅廢液應考量建立專線處理，可以採行電解回收(Electrolysis)先行回收高濃度銅，降低後續負荷；或是使用鹼性氣提法(Air Stripping)將 pH 調至 11 以上，利用氣提塔將游離氨吹出，經硫酸吸收塔回收為硫酸銨肥料，以前述預處理大幅降低氨銅廢水的濃度及水量。最後殘餘的含氨銅廢水可以採用折點加氯或硫化物沉澱法去除，殘留銅則以硫化物沈澱把關。針對化學銅廢液專線 (Cu-EDTA Line)，則可透過化學氧化法搭配電解、自身催化等方式破螯合後，利用氫氧化物沉澱法去除。

針對 1.0 mg/L 或是更嚴苛的放流水標準，建議在最終放流口前使用重金屬捕集劑進行拋光處理。可以使用勻相沉澱法，或是增設螯合樹脂塔。選用具備重金屬捕集官能基的捕集劑，能專一性吸附殘留的銅離子(即使有微量氨存在)，確保出流水銅濃度符合標準，作為最終把關單元。

單靠傳統氫氧化物沈澱法已無法應對含 EDTA 與氨銅的複雜廢水。業者必須導入整合性思維的系統以解決螯合廢水的問題，採用硫化物沈澱或螯合樹脂突破溶解度極限，並結合電化學或其他新興科技實現資源回收與氨氮削減。透過實施上述整合策略，PCB 產業不僅能達成法規要求，更能透過銅資源的回收與水回用，轉化環境成本為綠色競爭力，在永續供應鏈中維持台灣的關鍵地位。

## AI 輔助使用聲明

本文中的圖形製作 (圖-1、圖-2) 使用 AI 輔助，採多段提示詞分別生成多重圖形後合併。繪圖輔助工具為 Google nano banana，多重圖形合併時使用 Microsoft Power point.

## 參考文獻

- [1] 全球及中國重金屬廢水市場發展深度分析報告 (2026 GEP7B2F7)，全球環保研究網，2026/2/17。https://m.gepresearch.com/80/view-980859-1.html
- [2] 張淵菘，2025 臺灣高階 PCB 技術發展趨勢，科技新知。accessed on : 2026/02/03。https://www.moea.gov.tw/MNS/doit/industrytech/IndustryTech.aspx?menu\_id=13545&it\_id=592。
- [3] PCB 科技 - PCB 製造方法和 mSAP 的優勢，accessed on : 2026/02/04，https://www.ipcb.com/tw/
- [4] Li, M. et al., Mechanism and efficiency of Cu-EDTA wastewater treatment and Cu recovery by cation exchange membrane electrolysis reactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2025, 13(3).
- [5] 環境部預告修正「放流水標準」草案，環境部新聞專區，accessed on : 2026/2/5。https://enews.moenv.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/1e82416c-8f86-4a22-b261-bd7081d96b0d
- [6] 預告放流水標準修正 4 大重點，環境部 PowerPoint 簡報，accessed on 2026/2/8。https://enews.moenv.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=679A9D8756A615DD
- [7] 桃園市印刷電路板業廢(污)水重金屬銅自主削減研商會簡報，桃園市政府環境保護局，2025/9/22。Accessed on 2026/2/8。https://water-division.tydep.com.tw/Upload/202510031005570e44ef0.pdf
- [8] Hsieh P.S. et al., Hazard ranking of wastewater sources in a highly polluted river in northern Taiwan by using positive matrix factorization with metal elements, *Sustainable Environment Research* (2022) 32:33
- [9] 林定皓；藍國興，電路板濕製程技術與應用，全華圖書，2018，ISBN13：9789864639007
- [10] Baumann, E. W. Investigation of copper (II) chelates of EDTA and DTPA with cupric-selective electrodes. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* (1974), 36(8), 1827-1832.
- [11] Patnaik, P. *Handbook of Inorganic Chemicals*. McGraw-Hill, 2002, ISBN 0-07-049439-8.
- [12] Libre Texts Chem, accessed on 2026/3/12.

[https://chem.libretexts.org/Courses/University\\_of\\_California\\_Davis/Chem\\_124A%3A\\_Fundamentals\\_of\\_Inorganic\\_Chemistry/08%3A\\_Coordination\\_Chemistry/8.04%3A\\_Complex\\_Ion\\_Equilibria/8.4.02%3A\\_Complex-Ion\\_Equilibria](https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_California_Davis/Chem_124A%3A_Fundamentals_of_Inorganic_Chemistry/08%3A_Coordination_Chemistry/8.04%3A_Complex_Ion_Equilibria/8.4.02%3A_Complex-Ion_Equilibria)

- [13] Liu, Y.M. et al. Removal of copper ions from wastewater: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. 2023, 20(5), 3885
- [14] 李中光, 淺談螯合重金屬廢水之處理, 台灣省環境工程技師公會會訊, 2020, 9-12 月刊, P15-50.
- [15] Pohl, A., Removal of heavy metal ions from water and wastewaters by sulfur-containing precipitation agents. *Water Air Soil Pollut.* 2020, 231: 503
- [16] Siefert K.S. and Lampert, K.E. ORP For Chemical Dosage Control in Metal Precipitation, P2 InfoHouse, accessed on 2026/2/15. <https://p2infohouse.org/ref/23/22372.pdf>
- [17] Cheng, Q. et al., Comparison of heavy metal removals from aqueous solutions by chemical precipitation and characteristics of precipitates. *Journal of Water Process Engineering*. 2018, 26, 289-300.
- [18] Prokkola, H.; Nurmesniemi, E.-T.; Lassi, U. Removal of metals by sulphide precipitation using Na<sub>2</sub>S and HS<sup>-</sup>-solution. *Chem Engineering*. 2020, 4 (3), 51-57
- [19] CRC Handbook of Chemistry and Physics.
- [20] Wing, R. E. & Rayford, W. E. Heavy metal removal using dithiocarbamates. *Plating and Surface Finishing*, 1982, 69(1), 67-71
- [21] Fu, F. et al., Application of a novel strategy – coordination polymerization precipitation to the treatment of Cu<sup>2+</sup>-containing wastewaters. *Separation and Purification Technology*, 2006, 52, 388-393.
- [22] Fu, F. et al., Effective removal of coordinated copper from wastewater using a new dithiocarbamate-type supramolecular heavy metal precipitant. *Chemosphere*, 2007, 69, 1783-1789.
- [23] Zhen, H.B. et al., Characteristics of heavy metals capturing agent dithiocarbamate (DTC) for treatment of ethylene diamine tetraacetic acid-Cu (EDTA-Cu) contaminated wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 2012, 209: 547-557
- [24] de Miranda, D. B. et al., Applications of xanthate metal compounds in the last ten years: A Review. *Revista Virtual de Química*. 2022, 4(6)
- [25] Wing, R. E., et al. (1974). "Heavy metal removal with starch xanthate-cationic polymer complex." *Journal of Water Pollution Control Federation*, 46(8), 2043-2047.
- [26] Bratskaya, S., et al. Heavy metals removal by flocculation / precipitation

- using N-(2-carboxyethyl) chitosans. *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects*. 2009, 339(1), 140-144
- [27] Yang, X. et al., Selective recovery of Cu(II) from strongly acidic wastewater by zinc dimethyldithiocarbamate: Affecting factors, efficiency and mechanism. *Journal of Environmental Sciences*. 2023, 129, 115-117.
- [28] Chen, Z. et al., Interface regulation of magnetic polydopamine with dithiocarbamate achieved simultaneous removal of ciprofloxacin, chromium (VI), copper (II) from complex wastewater: Insights into interaction patterns and underlying mechanisms. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2025, 13(6), 120511
- [29] He, C. et al., Preparation of dithiocarbamate and carboxyl co-modified chitosan and its adsorption of heavy metal copper from copper-ammonia Wastewater. *Chemistry*, 2026, 8(2), 16.
- [30] Kim, et al., Removal of heavy metals in electroplating wastewater by powdered activated carbon (PAC) and sodium diethyldithiocarbamate-modified PAC. *Environmental Engineering Research*, 2018, 23(3), 301-308.
- [31] Zhang. S. et al., Preparation of a new heavy metal chelating agent and its removal of copper ions in wastewater. *International Journal of Materials Science and Technology Studies*. 2024, 1(3), 22-31
- [32] Henke, K.R. et al., Chemistry of 2,4,6-Trimercapto-1,3,5-triazine (TMT): Acid dissociation constants and group 2 complexes. *Inorg. Chem*. 2001, 40, 4443-4447.
- [33] Liao, D.M. et al., Chemistry of copper trimercaptotriazine (TMT) compounds and removal of copper from copper-ammine species by TMT. *Appl. Organometal. Chem*. 2006, 20: 246-253
- [34] Henke, K.R. et al., Chemistry and stability of precipitates from aqueous solutions of 2,4,6-trimercaptotriazine, trisodium salt, nonahydrate (TMT-55) and mercury (II) chloride. *Water Research*, 2000, 34(11):3005-3013
- [35] Thomas, M. et al., Using sodium trithiocarbonate to precipitate heavy metals from industrial wastewater. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018, 27(4), 1753-1763
- [36] Lejwoda, P. et al., Evaluation of the stability of heavy metal-containing sediments obtained in the wastewater treatment processes with the use of various precipitating agents. *Environ Monit Assess*. 2023, 195, 442
- [37] Evonik Industries, "TMT 15®: Heavy metal precipitating agent for wastewater treatment," Evonik Resource Efficiency GmbH, Essen, Germany, Tech. Bull., 2020.
- [38] Toxnet, PubChem, The National Library of Medicine. Accessed on 3/13/2026 , <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/docs/toxnet>

- [39] Han, M., et al., Deep purification of copper from Cu(II)-EDTA acidic wastewater by Fe(III) replacement/diethyldithiocarbamate precipitation. *Chemosphere*. 2022, 300, 134546
- [40] Fu, F., & Wang, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. " *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(3), 407-418.
- [41] Hamid, N.H. Ab et al. The current state-of-art of copper removal from wastewater: A Review. *Water*, 2022, 14(19), 3086

## 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

### 第 11 屆第 12 次理監事聯席會議紀錄

壹、時 間：中華民國 115 年 4 月 18 日上午 11 時 00 分

貳、地 點：本會會議室（台北市大同區長安西路 342 號 4 樓之 1）

參、出席人員：理事—林威安、黃啓明、張天益、劉敏信、張耿榕、  
范綱智、黃福全、黃義雄、徐永郎、王朝民、  
許甫豪

監事—楊基振、高信福、曾寶山、林清洲、范振國

肆、缺席人員：(無)

伍、請假人員：理事—周奮興、林永欽、蕭友琳

陸、列席人員：(無)

柒、主 持 人：林理事長威安

捌、記 錄：洪忻妍

玖、報告事項：

#### 一、第 11 屆第 11 理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	114 年度收支決算表提請理事會審議、監事會監察。
決議	修正後後通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 2	
案由	114 年度資產負債表提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	修正後後通過。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。

提案 3	
案由	114 年度現金出納表提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 4	
案由	114 年度基金收支表提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。
提案 5	
案由	115 年度會員代表大會相關事項提請審議。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見。
工程會意見	涉及技師法部分同意備查。

## 二、工作報告：

1. 水污核章件數：115 年共 75 件（截至 3 月 31 日）。
2. 第 12 屆第 1 次理監事會議時間暫定於 115 年 7 月 25 日（六）召開。

### 壹拾、討論提案

提案 1· 提案人：理事長

案由：115 年 1-3 月收支決算表、資產負債表、現金出納表（如附件一）提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 2· 提案人：理事長

案由：115 年度會員代表大會名冊（如附件二）提請審議。

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：理事長

案由：115 年度會員代表大會相關事項提請審議

說明：

1. 115 年度會員代表大會訂於 115 年 7 月 18 日（星期六）舉行。
2. 會議地點：台大醫院國際會議中心（台北市中正區徐州路 2 號）。
3. 餐敘地點：庭園會館 4 樓 402 廳。
4. 依本會第 10 屆第 9 次理監事會議決議，由本會支付會員代表之交通補助。為利活動進行，交通補助款項於大會當日將由台灣省環境工程技師公會先行墊付，並於事後併同相關款項辦理核算撥付。
5. 會員代表親自出席者發放出席費 700 元。

決議：照說明通過。

提案 4· 提案人：理事長

案由：有關本會與環境部環境管理署合辦技師講習會課程事宜，提請討論。

說明：

1. 環境部環境管理署邀約本會與台灣省環境工程技師公會合辦技師教育講習會。
2. 為配合講習會辦理需求，擬由本會分攤中午餐費及中場休息點心費用，3 場次合計 10 萬元整。

決議：照案通過。

提案 5· 提案人：理事長（學術委員會）

案由：有關編撰技師簽證應注意之書件重點內容彙編，提請討論。

說明：

1. 為提升技師簽證文件品質，避免因內容疏漏致遭主管機關查核處分，擬辦理相關書件重點內容彙編。
2. 擬委任召集人，邀集水污染許可、固定污染源許可、土壤調查簽證等相關專長之技師，共同編撰試車、功能測試、土壤污染調查等相關簽證文件內容應注意重點事項及內容範例，以供簽證技師參考依循。

決議：請審查委員會針對本案研擬編撰計畫。

壹拾壹、臨時動議

壹拾貳、散會

## 台灣省環境工程技師公會

第 13 屆第 8 次理監事聯席會議紀錄

壹、時間：中華民國 115 年 4 月 18 日上午 10 時

貳、地點：本會會議室（台北市長安西路 342 號 4 樓之 1）

參、出席人員：理事長－劉敏信

理事－張天益、高信福、林清洲、王志遠、林玉青、

黃福全、陳俊明、林威安、黃啓明、曾寶山、

吳慶龍、范振國、許定華、黃振倉

監事－楊基振、范綱智、王凱中

肆、缺席人員：無

伍、請假人員：監事－周奮興、彭文良

陸、列席人員：(無)

柒、主持人：劉理事長敏信

捌、記錄：洪忻妍

玖、報告事項

## (一)第 13 屆第 7 次理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	114 年度收支決算表提請理事會審議、監事會監察。
決議	修正後通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 2	
案由	114 年度資產負債表提請理事會審議、監事會監察。
決議	修正後通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查

提案 3	
案由	114 年度現金出納表提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 4	
案由	114 年度基金收支表提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 5	
案由	114 年度財產目錄提請理事會審議、監事會監察。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 6	
案由	新入會會員名冊提請理事會審核。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 7	
案由	退會會員名冊提請理事會審核。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查
提案 8	
案由	115 年度會員大會相關籌辦事宜，提請討論。
決議	照案通過。
內政部備查	無意見
工程會意見	涉及技師法部分同意備查

(二)會員繳費紀錄：截至 115 年 3 月 31 日止，繳交 115 年度常年會費者 603 人。

## (三)工作報告：

## 1. 各委員會工作報告

	日期	委託/召開/來函 單位	事由	說明
審查	1150116	臺中市政府經濟 發展局	「臺中市潭子聚興產 業園區」服務中心及污 水處理廠工程第 2 次變 更設計審查會議	協審-曾理事 寶山
	1150119	臺南市政府水利 局	事業用戶排放事業廢 污水水質超標輔導改 善事宜	出席-黃義雄 技師
	1150203	內政部國家公園 署金門國家公園 管理處	「金門縣金城鎮珠山 村測段 247 地號住宅新 建工程」污水接管設計 案	協審-高常務 理事信福
	1150203	內政部國家公園 署金門國家公園 管理處	「金門縣金城鎮后豐 港段 805 地號農舍新建 工程」活水接管竣工申 請案	協審-高常務 理事信福
	1150209	臺南市政府環境 保護局	三洋光電股份有限公 司所提本市七股區看 坪段 0573-0000 地號土 地棄置場改善計畫一 份，協助書面審查	協審-高常務 理事信福
	1150224	臺中市政府經濟 發展局	皆豪實業股份有限公 司臺中市潭子聚興產 業園區園區服務中心 暨污水處理廠工程第 2 次變更設計回覆審查 意見資料，協助確認回 覆內容是否合宜。	協審-曾理事 寶山

	日期	委託/召開/來函 單位	事由	說明
審 查	1150224	臺南市政府水利局	「泓瑞建設股份有限公司一安南區海前段 1279 地號等 1 筆店舖、集合住宅新建工程」專用下水道審查作業	協審-黃義雄技師
	1150224	臺南市政府水利局	「麗欣建設股份有限公司一善化區北子店段一小段 705 地號等 1 筆集合住宅新建工程」專用下水道審查作業	協審-黃義雄技師
	1150304	內政部國家公園署金門國家公園管理處	「金門縣金沙鎮三山里山后 96 之 2 號(山后段 1552 地號)住宅新建工程」污水接管竣工申請案	協審-高常務理事信福
	1150306	內政部國家公園署金門國家公園管理處	「金門縣金城鎮后豐港段 805 地號等 1 筆」污水接管竣工案已依技師審查意見修正完畢，請貴公會協助審查	協審-高常務理事信福
	1150326	內政部國家公園署金門國家公園管理處	「金門縣金寧鄉古寧頭測段 986 地號住宅新建工程」污水接管竣工申請案	協審-高常務理事信福
	1150331	內政部國家公園署金門國家公園管理處	「金門縣金沙鎮山后段 1552 地號住宅新建工程」污水接管竣工案已依技師審查意見修正完畢，敬請貴公會協助審查	協審-高常務理事信福

	日期	委託/召開/來函 單位	事由	說明
審 查	1150331	臺南市政府環境 保護局	北門區保吉段 797、 797-3、798、799、 799-4、823、825 等 7 筆地號事業廢棄物處 置計畫管制及缺失改 善方案	出席-張名毅 技師
	1150331	臺南市政府環境 保護局	鹽水區義中段 1208、 1210 地號光電案場廢 棄物違法填埋強化管 制及缺失改善方案審 查會	出席-張名毅 技師
學 術	1150310	11503-04 會訊	污水處理廠備援需求的考量-陳伯珍 環工技師、副教授(退休)	
			揮發性有機物(VOCs)減量控制技術與 產業應用介紹-粘愷峻環工技師	

### 3. 會務

- (1) 有關安全帽第二批次訂製事宜，廠商已於 115 年 4 月 8 日完成製作，後續將由本會分裝寄發。
- (2) 第 13 屆第 9 次理監事會時間暫定於 115 年 7 月 25 日(星期六) 召開。

### 壹拾、提案討論

提案 1·提案人：理事長

案由：115 年度 1 月至 3 月經費收支提請理事會審議、監事會監察。

說明：如附件一(1 月至 3 月收支決算表、資產負債表及現金出納表)。

決議：照案通過。

提案 2·提案人：審查委員會

案由：新入會會員名冊提請理事會審核。

說明：營造業技師 5 名，共 5 名，名單如下（詳新入會會員名冊卷宗）

類別	技師姓名	會籍編號	執業機構／受聘公司
營造業技師	鍾明憲	0944	福鄉營造有限公司
	蔡啓昌	1183	浴長龍營造有限公司
	彭成熹	1471	佳宏環保股份有限公司
	賴彥佑	1472	富澄營造有限公司
	袁中新	1473	沅樞營造有限公司

決議：照案通過。

提案 3·提案人：理事長

案由：提報 115 年度會員大會名冊（如附件二），請審議。

決議：照案通過。

提案 4·提案人：理事長

案由：115 年度會員大會相關籌辦事宜，提請討論。

說明：1. 115 年度會員大會訂於 7 月 18 日（星期六）假臺大醫院國際會議中心舉行。

2. 出席費 700 元（親自出席者）。

3. 遠程會員車資補助：

(1) 以單程票價×2，四捨五入取至百位數。

(2) 自行開車以台鐵單程票價×2，四捨五入取至百位數。

(3) 車資補助以技師登記之通訊地址或執業地址為起訖地點；逾該範圍之票價，概不予補助。

4. 餐敘地點：庭園會館 4 樓 402 廳

5. 酌收餐敘報名費 500 元，當日出席者即全額退還

6. 臨時工作人員（簽到 4 位、委託書 1 位、會費繳交 1 位、出席及交通補助 4 位）

7. 研討會講師邀請及相關事宜

決議：照說明通過。

提案 5・提案人：理事長

案由：有關本會 115 年度會員旅遊相關事宜，提請討論。

決議：參考郵輪行程，由福利委員會籌辦後續事宜。

提案 6・提案人：理事長

案由：有關本會與環境部環境管理署合辦技師講習會課程事宜，提請討論。

說明：環境部環境管理署邀約本會與中華民國環境工程技師公會全國聯合會合辦技師教育講習會。

決議：照案通過，相關辦理細節後續再行討論。

壹拾壹、臨時動議

壹拾貳、散會