

<p>111 年 09-10 月號</p>			<p>&lt;雙月刊&gt;</p>
---------------------------	---	--	--------------------

## 環境工程技師公會會訊

- ◎ 發行人：楊基振
- ◎ 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：黃啟明
- ◎ 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 111 年 09 至 10 月訓練積分課程表	8
■ 環保訊息	10
■ 論述園地	13
淺談電鍍廢水處理-李中光教授	13
以化學法去除廢水中硼離子之研究與建議- 李中光教授、王悅慈碩士、李庭慧碩士、林正敏副理	25
■ 徵稿啟事	51
■ 各公會會員大會、理監事會會議紀錄	52

## 主編的話

有鑑於環保署於108年公告金屬基本工業、金屬表面處理業、電鍍業及印刷電路板製造業等放流水項目及其限值標準，其中的銅、鎘、鎳、鉛、鋅、總鉻、六價鉻、硼、氰化物、氨氮及硝酸鹽氮等有害健康物質，皆為電鍍廢水或其他金屬表面處理業中常見污染成份，已在今年起開始適用此加嚴新標準。

本期會刊有幸再次邀請桃園市大學校院產業環保技術服務團總編輯暨萬能科技大學環境工程系所 李中光教授撰寫文章，篇名為「淺談電鍍廢水處理」，針對電鍍製程所產生之氰系、鉻系及一般酸鹼系等不同特性廢水必須分流收集及處理，此篇文章詳細介紹各類電鍍廢水常見的處理方式及其原理，並精闢分析其廢水處理過程中常見的缺失，如能依建議妥善控制處理程序，不僅能避免工安意外，也能回收廢水中有價金屬降低污染，值得我們去思考及學習。

除此之外，在本次加嚴管制項目當中亦有我們常忽略的「硼」項目，第二篇文章篇名為「以化學法去除廢水中硼離子之研究與建議」，主要針對「硼」的來源、特性及處理方法介紹，探討以化學沉澱法除硼之實際效益及應用潛力，由研究結果可得知使用鈣鹽-鋁鹽沉澱法，於適當操作條件下去除率約可達 96 % (初始濃度約為100 mg/L)，實際操作時應特別留意pH控制等技巧。特別感謝李中光教授無私分享此難處理廢水之專業知識，使未來環工技師、業者或廠商選擇處理技術時能有更多豐富的資料可以參考。

今年本土新冠病毒疫情逐漸過了高峰期，但新變異株病毒仍然不斷的在世界各地擴散，短期內還是會持續影響我們的生活，為了經濟發展，國內採取與病毒共存及逐步開放管制似乎是目前不得不的做法，但無論如何，外出時記得做好防疫措施，保護自己也保護家人，祝大家平安健康。

## 會務報告

1. 本會與中華民國環境工程技師公會全國聯合會於 7 月 17 日辦理「淨零排放轉型商機與挑戰」研討會(視訊課程)，已圓滿結束。
2. 本會與明志科技大學於 111 年 7 月 20 日協辦「第十九屆環境保護與奈米科技研討會」，已圓滿結束。
3. 111 年度會員大會於 8 月 27 日圓滿結束。
4. 111 度常年會費繳費通知及記事本已於 110 年 11 月 25 日寄出，敬請尚未繳納 111 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
5. 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。
  6. 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。
  7. 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

### 行政規則公告

1. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 1 日環署授檢字第 1117103698 號公告，預告訂定「空氣中二氧化硫自動檢驗方法－紫外光螢光法（NIEA A416.14C）」草案。
2. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 7 日環署授檢字第 1117103999 號公告，預告訂定「空氣中乙酸正丁酯等揮發性有機化合物檢測方法－不鏽鋼採樣筒／氣相層析質譜儀法（NIEA A741.12B）」草案。
3. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 7 日環署授檢字第 1117104000 號公告，預告廢止「空氣中乙酸正丁酯等揮發性有機化合物檢測方法－不鏽鋼採樣筒／氣相層析質譜儀法（NIEA A741.11B）」。
4. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 12 日環署授檢字第 1117103885 號公告，預告訂定「水中凱氏氮檢測方法（NIEA W451.52A）」草案。
5. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 12 日環署授檢字第 1117103904 號公告，預告廢止「水中凱氏氮檢測方法（NIEA W451.51A）」。
6. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 18 日環署授檢字第 1117104396 號公告，預告訂定「排放管道氫氟酸、鹽酸、硝酸、磷酸及硫酸檢測方法－等速吸引法（NIEA A452.74B）」草案。
7. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 18 日環署授檢字第 1117104392 號公告，預告廢止「排放管道氫氟酸、鹽酸、硝酸、磷酸及硫酸檢測方法－等速吸引法（NIEA A452.73B）」。
8. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 18 日環署授檢字第 1117104336 號公告，預告訂定「空氣中氮氧化物自動檢驗方法－化學發光法（NIEA A417.13C）」草案。
9. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 18 日環署授檢字第 1117104333 號公告，預告廢止「空氣中氮氧化物自動檢驗方法－化學發光法（NIEA A417.12C）」。
10. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 20 日環署循字第 1111093079A 號令，修正「事業廢棄物處理設施餘裕處理容量許可管理辦法」。
11. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 21 日環署化字第 1118113337 號公告，預告修正「毒性及關注化學物質標示與安全資料表管理辦法」部分條文草案。
12. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 21 日環署授檢字第 1117104475 號公告，預告訂定「水中巴拉刈和二刈檢測方法－液相層析串聯式質譜儀法（NIEA W663.50B）」草案。
13. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 21 日環署授檢字第 1117104474 號公告，預告訂定「水中亞硝酸胺檢測方法－液相層析串聯式質譜儀法（NIEA W792.50B）」草案。

14. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 22 日環署土字第 1111095890 號公告，預告修正「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」第 15 條草案。
15. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 27 日環署督字第 1111094149 號公告，修正「一般廢棄物清除處理方式」公告事項附表一，並自即日生效。
16. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 28 日環署空字第 1111061430A 號公告，預告修正「第一批固定污染源有害空氣污染物種類及排放限值」草案，其名稱並修正為「固定污染源有害空氣污染物種類及排放限值」。
17. 行政院環境保護署中華民國 111 年 7 月 29 日環署化字第 1118113752 號公告，修正「環境用藥禁止含有之成分及檢驗方法」公告事項第一項，並自即日生效。
18. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 1 日環署土字第 1111097888 號公告，預告修正「土壤污染評估調查人員管理辦法」第 6 條、第 13 條草案。
19. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 2 日環署授檢字第 1117104805 號公告，預告廢止「事業廢棄物萃出液中元素檢測方法－微波輔助酸消化法 (NIEA R317.11C)」。
20. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 2 日環署授檢字第 1117104808 號公告，預告訂定「排放管道中氯丙烯等氣態有機化合物檢測方法－採樣袋採樣／氣相層析儀電子捕捉偵測器法 (NIEA A761.71B)」草案。
21. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 2 日環署授檢字第 1117104488 號公告，預告訂定「溶出程序萃出液中金屬及微量元素檢測方法－微波輔助酸消化法 (NIEA R317.12C)」草案。
22. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 3 日環署授檢字第 1117104803 號公告，預告廢止「排放管道中氯丙烯等氣態有機化合物檢測方法－採樣袋採樣／氣相層析儀電子捕捉偵測器法 (NIEA A761.70B)」。
23. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 3 日環署基字第 1111100152 號令，修正「應回收廢棄物稽核認證作業辦法」部分條文。
24. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 8 日環署氣字第 1111101059 號公告，修正「第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」，名稱並修正為「事業應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」，除公告事項一附表有關第二批事業應盤查溫室氣體排放量之排放源規定自中華民國一百十二年一月一日生效外，自即日生效。
25. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 9 日環署授檢字第 1117104837 號公告，預告訂定「再生粒料環境用途溶出程序 (NIEA R222.11C)」草案。
26. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 9 日環署授檢字第 1117104678 號公告，預告廢止「建築廢棄物中石綿含量檢測方法 (NIEA R411.20C)」。
27. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 9 日環署授檢字第 1117104651 號公告，預告訂定「廢棄製品中石綿檢測方法 (NIEA R411.21C)」草案。

28. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 11 日環署綜字第 1111105505 號公告，預告修正「行政院環境保護署環境影響評估審查委員會組織規程」第 4 條草案。
29. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 15 日環署授檢字第 1117104707 號公告，預告訂定「溶出程序萃出液中金屬及微量元素檢測方法－酸消化法 (NIEA R306.14B)」草案。
30. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 15 日環署授檢字第 1117104764 號公告，預告廢止「事業廢棄物萃出液中重金屬檢測方法－酸消化法 (NIEA R306.13C)」。
31. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 16 日環署授檢字第 1117105037 號公告，預告廢止「水中總氰化物與弱酸可解離氰化物檢測方法－流動注入分析比色法 (NIEA W441.51C)」。
32. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 17 日環署化字第 1118116406 號公告，預告修正「毒性化學物質災害潛勢資料公開辦法」草案，其名稱並修正為「毒性及關注化學物質災害潛勢資料公開辦法」。
33. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 17 日環署化字第 1118114128 號公告，預告修正「行政院環境保護署所主管災害緊急應變警報訊號之種類、內容、樣式、方法及其發布時機」公告事項第 1 項。
34. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 17 日環署化字第 1118116161 號公告，預告修正「毒性化學物質及懸浮微粒物質災害救助種類及標準」第 1 條、第 2 條草案，其名稱並修正為「毒性及關注化學物質與懸浮微粒物質災害救助種類及標準」。
35. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 17 日環署化字第 1118116553 號函，修正「行政院環境保護署支援毒性化學物質及懸浮微粒物質災害處理作業規定」，名稱並修正為「行政院環境保護署支援毒性及關注化學物質與懸浮微粒物質災害處理作業規定」，自即日起生效。
36. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 17 日環署管字第 1111103275 號函，訂定「行政院環境保護署淨零綠生活推動會設置要點」，自即日起生效。
37. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 19 日環署授檢字第 1117105160 號公告，預告訂定「加油站加油槍抽氣量與加油量比率檢測方法 (NIEA A211.72B)」草案。
38. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 19 日環署授檢字第 1117105158 號公告，預告廢止「加油站加油槍抽氣量與加油量比率檢測方法 (NIEA A211.71B)」。
39. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 19 日環署空字第 1111104268 號函，修正「中央空氣品質防制指揮中心設置及作業要點」，名稱並修正為「中央空氣污染防制指揮中心設置及作業要點」，自即日起生效。

40. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 23 日環署水字第 1111107759 號公告，預告修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 70 條之 3、第 70 條之 5、第 70 條之 8 草案。
41. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 24 日環署空字第 1111104142 號令，修正「大型柴油車汰舊換新補助辦法」部分條文。
42. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 24 日環署基字第 1111112905 號公告，修正「物品回收清除處理費費率」公告事項第一項附表。
43. 行政院環境保護署中華民國 111 年 8 月 29 日環署空字第 1111109948 號令，修正「大型柴油車調修燃油控制系統或加裝空氣污染防制設備補助辦法」。

**行政院公共工程委員會核備 111 年 09 至 10 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	鋼結構塗裝檢查員訓練班	2022/09/14 ~ 2022/09/16	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：江淑慈 電話：0918038267 信箱：anticorr@seed.net.tw
2	環境分析技術(第64期)講習會-桃園場	2022/09/16 ~ 2022/09/16	社團法人中華民國環境分析學會	聯絡人：施侑萱 電話：03-5207581 信箱：ceas@ms22.hinet.net
3	國土資訊系統工程地質探勘資料庫技師訓練活動課程	2022/09/20 ~ 2022/09/20	經濟部中央地質調查所	聯絡人：謝小姐 電話：02-23452177 信箱：geotech@ycgis.net
4	氮氣與硝酸鹽氮廢水處理技術與應用案例	2022/09/21 ~ 2022/09/21	萬能科技大學營建科技系	聯絡人：曾文妮 電話： 信箱：73667@cycu.org.tw
5	淨零排放環境永續研討會「本課程有採用視訊或網路教學」	2022/09/21 ~ 2022/09/21	社團法人中國工程師學會	聯絡人：林秀琴 電話：02-23925128 信箱：cie@cie.org.tw
6	工程法務系列-終止契約爭議與爭議解決機制	2022/09/22 ~ 2022/09/22	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@tcri.org.tw
7	LEED V4 GA 國際綠建築認證班	2022/09/22 ~ 2022/09/23	綠矩整合有限公司	聯絡人：吳依蓁 電話：04-2321-8867 信箱：jennywu@greenmatrixes.com
8	111 年度新工法、新技術演講	2022/09/23 ~ 2022/09/23	臺中市工程技術顧問商業同業公會	聯絡人：林佩樺 電話：04-22639747 信箱：tcc556677@gmail.com
9	111 年度臺南市公告事業法規宣導會	2022/09/23 ~ 2022/09/23	中環科技事業股份有限公司	聯絡人：賴英吉 電話：06-2686751#1716 信箱：yingchi@mail.tnepb.gov.tw
10	鋼結構塗裝檢查員訓練班操作複習與實作測驗	2022/09/23 ~ 2022/09/23	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：江淑慈 電話：0918038267 信箱：anticorr@seed.net.tw
11	環境分析技術(第64期)講習會-高雄場[視疫情狀況改為網路課程]	2022/09/23 ~ 2022/09/23	社團法人中華民國環境分析學會	聯絡人：施侑萱 電話：03-5207581 信箱：ceas@ms22.hinet.net
12	建築物耐風設計規範講習(1)	2022/09/23 ~ 2022/09/23	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



序號	課程名稱	課程時間	主辦單位	聯絡電話
13	Hilti 錨固及直接固定應用於輕型管架之解決方案	2022/09/27 ~ 2022/09/29	喜利得股份有限公司	聯絡人：王威捷 電話：02-6630-0323 信箱：andy.wang@hilti.com
14	鋼結構塗裝檢查員訓練班	2022/09/28 ~ 2022/09/30	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：江淑慈 電話：0918038267 信箱：anticorr@seed.net.tw
15	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	2022/09/29 ~ 2022/09/29	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@tcricri.org.tw
16	結構工程系列-建築物耐風設計規範(2)-特殊結構之設計風載重-太陽光電系統支撐架與大跨度屋蓋結構	2022/09/30 ~ 2022/09/30	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：胡小姐 電話：02-89195094 信箱：vicky@tcricri.org.tw
17	統包工程概論及招標階段之評估	2022/09/30 ~ 2022/09/30	中興工程顧問社	聯絡人：陳志倫 電話：(02) 87919198#456 信箱：chenbl@sinotech.org.tw
18	結構工程系列-建築風場與通風講習	2022/10/07 ~ 2022/10/07	財團法人台灣營建研究院	聯絡人：胡小姐 電話：02-89195094 信箱：vicky@tcricri.org.tw
19	鋼結構塗裝檢查員訓練班操作複習與實作測驗	2022/10/07 ~ 2022/10/07	中華民國防蝕工程學會	聯絡人：江淑慈 電話：0918038267 信箱：anticorr@seed.net.tw
20	永續水資源—再生水多元利用	2022/10/13 ~ 2022/10/13	台灣水環境再生協會	聯絡人：趙小姐 電話：27772675 信箱：ouyang@twea.org.tw
21	111 年臺中市建造執照地基調查報告審核及抽查教育訓練(實體跟線上並行)	2022/10/21 ~ 2022/10/21	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
22	土木技師公會聯合鑑定講習會(北區)	2022/10/22 ~ 2022/10/23	臺灣省、台北市、新北市、桃園市、臺中市、臺南市、高雄市土木技師公會	聯絡人：游玉如 電話：02-89613968-133 信箱：kuly@twce.org.tw
23	統包工程設計階段之常見契約爭議	2022/10/28 ~ 2022/10/28	中興工程顧問社	聯絡人：陳志倫 電話：(02) 87919198#456 信箱：chenbl@sinotech.org.tw

**環保訊息**(資料來源：行政院環境保護署)

- 111/07/19 【開啟廢水淨零碳排新世紀-環保署「2022 新興廢水處理技術研討會暨創新水科技展」邀您來參與】

環保署於 7 月 19 日(星期二)至 20 日(星期三)假張榮發基金會會議中心舉辦「新興廢水處理技術研討會暨創新水科技展」，以「淨零碳排，資源循環」為主軸，邀請國內外 21 位專家學者及產業代表交流分享，現場並有 17 個廠商、大專院校場展示技術及設備，期能激發各界創新思維，協助事業提升國內整體產業廢水處理技術，共創經濟與環保雙贏局面。

- 111/07/20 【環保署修正發布「事業廢棄物處理設施餘裕處理容量許可管理辦法」】

為有效擴充事業廢棄物處理量能，達到資源彈性運用，環保署修正發布「事業廢棄物處理設施餘裕處理容量許可管理辦法」規定，簡化餘裕處理申請程序。

環保署表示，本次修正重點為新增已取得自行或共同處理許可，且未超過原許可廢棄物種類者，得申請簡易許可文件，以及該許可應檢具之文件及許可證登載事項，簡化餘裕處理申請程序；新增試運轉天數、展延申請及廢止已核准試運轉計畫之處分規定；新增事業申請餘裕處理容量不得大於設置處理容量之百分之五十規定；簡化事業餘裕許可流程，新增除基本資料變更外之變更內容，得依變更程序辦理，無須重新提出許可申請；原修正許可期限屆滿應重新申請程序，改為展延申請。

- 111/07/26 【在地減碳、呼應淨零，環保署舉辦「低碳永續家園：在地減碳行動 邁向淨零生活」論壇】

環保署於本(111)年 7 月 25 日舉辦「低碳永續家園：在地減碳行動 邁向淨零生活」論壇，環保署表示，低碳永續家園是全民共同邁向淨零綠生活重要推動基礎，本次論壇邀集專家學者及各地環保局就村里減碳行動、低碳永續家園制度之推動及邁向淨零綠生活三個議題進行交流座談。

- 111/07/27 【環保署修正「一般廢棄物清除處理方式」公告事項附表一廚餘再利用管理方式】

環保署為持續推動資源永續循環再利用、轉廢為能之發展目標，衡酌依一般廢棄物回收清除處理辦法第三十四條第一項第三款核准之臺中市政府環境保護局及新北市政府環境保護局辦理廚餘能資源化之沼液沼渣試驗執行成果，並參考水污染防治

措施及檢測申報管理辦法第十章之一規定，爰修正「一般廢棄物清除處理方式」公告事項附表一廚餘再利用管理方式，廚餘或其混合畜牧糞尿經厭氧發酵處理產生沼渣、沼渣液、沼液之再利用，並就再利用於土壤肥分以施灌農地或非農地之運作管理予以規範。

- 111/07/29【**強化有害空氣污染物管制，嚇阻非法排放，環保署預告「第一批固定污染源有害空氣污染物種類及排放限值」修正草案**】  
鑑於有害空氣污染物對民眾健康影響大，甚有不良業者藉由繞流非法偷排規避環境責任，為強化有害空氣污染物管制，環保署今(29)日預告修正「第一批固定污染源有害空氣污染物種類及排放限值」草案，將增訂 18 項及加嚴 1 項有害空氣污染物排放限值，以及新增 23 項有害空氣污染物非法排放管道之排放限值，以落實有害空氣污染物所致健康風險之減量管制工作，嚇阻業者非法排放行為，以保護民眾健康。
- 111/08/08【**環保署公告修正「第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」**】  
為持續擴大與強化溫室氣體排放源排放量之管理，環保署公告修正「第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」，新增第二批應辦理盤查登錄溫室氣體排放量對象，並將法規名稱修正為「事業應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」。全廠(場)化石燃料燃燒之直接溫室氣體年排放量及使用電力之間接溫室氣體年排放量合計達 2.5 萬公噸二氧化碳當量以上之製造業，自明(112)年 1 月 1 日起適用，應於明年 8 月 31 日前完成 111 年度溫室氣體排放量盤查登錄。
- 111/08/10【**環境保護、淨零轉型、永續發展三箭齊發，邀您共享「2022 中央與地方淨零永續推動交流論壇」，共推臺灣 SDGs & ESG!**】  
環保署於本(111)年 8 月 12 日(五)於台北世貿中心舉辦「2022 中央與地方淨零永續推動交流論壇」，以「環境保護、淨零轉型、永續發展」為主軸，由環保署、教育部、臺南市環保局及高雄市政府環保局分享永續校園、永續發展、淨零轉型、永續城市及永續港灣，同時邀請政府代表、學者專家、民間團體及企業代表共同與談，從跨部門、串領域、享專業、共合作的角度，一起交流與分享中央地方淨零永續推動成果。

- 111/08/11 【離岸風電環評監督 環保署執法接軌國際】

全球全面發展綠能應用之際，臺灣為躋身迎頭趕上成為綠能大國，離岸風電開發是其中不可或缺的一塊拼圖，環保署為能有效把關開發單位落實環評承諾執行，持續滾動檢討相關環評監督管制作為，接軌國際，以維護環境品質。
- 111/08/12 【呼應聯合國永續發展「不遺漏任何人」，為臺灣創造友善與韌性兼具的生活環境，「2022 中央與地方淨零永續推動交流論壇」圓滿落幕！】

為呼應聯合國《2030 永續發展議程》的宣示「不遺漏任何人」(No one will be left behind)，同時實踐淨零綠生活，環保署於本(111)年 8 月 12 日(五)假台北世貿中心舉辦「2022 中央與地方淨零永續推動交流論壇」，以「環境保護、淨零轉型、永續發展」為主軸，邀請環保署、教育部、臺南市政府環保局及高雄市政府環保局分享永續校園、永續發展、淨零轉型、永續城市及永續港灣，活動線上線下參與人數達 200 人以上，論壇於當日順利圓滿落幕。
- 111/08/25 【精進事業廢棄物管理，有效解決處理問題】

為解決事業廢棄物處理問題，環保署已與經濟部、國科會、內政部、農委會等部會共同盤點廢棄物數量及流向，研析廢棄物棄置案件樣態及發生原因，分為處理量能不足面及加強管理面提出解決方式，預計 121 年完全去化暫存量，目的事業主管機關興設處理設施提供去化管道，在興設完成前短期因應措施，則由環保署協助彈性擴增貯存空間，地方環保局及經濟部提供土地協助暫存事業廢棄物；另加強再利用管理，並修正廢棄物相關規定加強刑責，以維護國土環境正義。
- 111/08/29 【環保署修正發布「大型柴油車調修燃油控制系統或加裝空氣污染防制設備補助辦法」】

為持續改善國內空氣品質，環保署考量補助措施執行成效及空污基金負荷，於 111 年 8 月 29 日修正發布「大型柴油車調修燃油控制系統或加裝空氣污染防制設備補助辦法」(下稱本辦法)，延長調修燃油控制系統補助期間至 112 年 12 月 31 日、補助金額上限由 10 萬元降為 8 萬元，並自 112 年起不再針對加裝空氣污染防制設備核予補助。

## 論述園地

# 淺談電鍍廢水處理

李中光教授

萬能科技大學 環境工程系

32051 桃園市中壢區水尾里萬能路 1 號

Tel: 03-4515811-55718, Fax: 03-4622232

E-mail: [anthony490411@gmail.com](mailto:anthony490411@gmail.com)

## 前言

依據行政院環境保護署公告，電鍍業之定義係指從事以化學、電化學等方法，將金屬鍍著於其他類金屬、塑膠或其他非金屬物等表面（不含電路板製造）之事業。電鍍工業是一項結合傳統與高科技之產業，更是人類提升生活品質不可或缺的科技工業，歷年來在國內經濟發展上均扮演著相當重要之角色，惟電鍍產業規模隨著國內經濟景氣而有很大之變化。據統計，國內電鍍廠總數量可能在 1500 至 2000 家之間，工廠集中在彰化、台中及北部等地區，工廠規模則以中小型企業為主，資本額多在 6000 萬元以下。

電鍍製程依鍍件種類及品質要求不同，可分為掛鍍與滾鍍二種，若依電鍍目的之不同則可分類為裝飾電鍍、工業電鍍、電子電鍍及塑膠電鍍四種。雖然各類電鍍廠鍍件種類繁多，材質、用途及功能需求各異，製造方法及作業程序差異亦頗大，但電鍍之基本製程單元大致相同，即前處理(脫脂、酸洗)、電鍍及後處理(皮膜處理、乾燥)等程序<sup>[1]</sup>。

## 一、電鍍廢水之來源及特性

### 1. 廢水污染來源

如前所述，電鍍之基本製程大致相同，即脫脂、酸洗、電鍍、後處理等程序，換句話說，可大約分類為鍍前表面預處理、電鍍及鍍後鍍層的裝飾。三個階段依據鍍層金屬種類及處理技術之不同，均能產生大量廢水。對鍍面的預處理而言，其主要目的是把鍍件表面的污染物(油和鏽等)清洗乾淨，使金屬表面整潔及光滑以便進行電鍍。表面預處理可分成機械處理和化學處理，其中機械處理包括噴砂、切削、磨光等，一般情況不直接產生廢水，而化學處理則是利用化學方法對金屬表面進行處理，如除油、浸蝕除鏽等，在此程序中，須使用多種化學原料，且因部分化

學原料屬於毒性化學物質及槽液易隨著溫度而蒸發，致使製程中產生不同類型之污染。另外，大多數的電鍍溶液，在用過一段時間後，均可過濾再生或加入不同的處方補充後再予以利用，但亦有許多電鍍液，因不可能再生或更新要比再生更經濟、方便而必需要廢棄之。電鍍完成後，要對鍍件表面的鍍液進行清除，這一過程產生的廢水為鍍件清洗廢液。清洗廢水是電鍍過程中，由一個程序到另一個程序之前將附在被鍍物表面的化學物質清洗乾淨，以免妨礙下一個處理步驟而產生的廢水，其廢水中污染物的含量較低。另外，電鍍後一般要對鍍件表面的鍍層進行精加工處理，例如鈍化、出光等，也會產生一定量的廢水。最後，值得注意的是來自於管線及槽體的滲漏所形成的電鍍液意外排放，此類廢水是電鍍廠的最大污染問題，此種廢水不僅造成處理的困難，而且會破壞再生系統的操作。

至於電鍍廢水之污染物則包括油脂、雜質、懸浮物、酸鹼、鉻酸鹽、氰化物及重金屬物質等，有關各類污染物之主要來源如表 1 所示。

表 1 電鍍廢水中各類污染物之來源<sup>[1]</sup>

污染物質	主要污染來源
油脂	脫脂廢液及清洗廢水
有機物	脫脂、酸洗、活化、電鍍及後處理之廢液及清洗廢水
懸浮固體	製程中各單元廢液及清洗廢水
酸及鹼	酸性脫脂、酸中和、鹼性脫脂、電鍍、活化及電鍍等程序之廢液及清洗廢水
氰化物	老化槽液及清洗廢水
鉻離子	鉻槽老化槽液及清洗廢水
重金屬離子	製程中各單元之廢液及清洗廢水

## 2. 廢水之性質

電鍍廢水中所含之化合物，因操作目的之不同而異，一般來自前處理剝離過程之廢水大都為酸性，被鍍洗淨過程則含有部分洗自金屬表面之機械油份，酸或鹼性洗劑，電鍍過程產生之廢水則因電鍍液不同而異，後處理過程廢水量多，常為酸性或鹼性，並含低濃度金屬離子。電鍍廢水的成分非常複雜，包含脫脂廢水、氰系廢水、鉻系廢水、酸鹼廢水及重金屬離子廢水，其中重金屬離子廢水中所含重金屬元素包含鉻、鎳、鎘、銅、鋅、金及銀等。

## 二、電鍍廢水之主要處理方法

電鍍製程由於鍍件材質、使用藥劑及產品的不同，致使製程廢水之污染特性差異頗大，然就各種處理方法(見表 2)而言，一般可將其分類為氰系、鉻系及一般酸鹼系廢水三種進行處理。比較麻煩的是隨著法規的加嚴及公部門稽查強度的增加，廠商尚須面對以往較不熟悉及較為忽視的硼，氨氮及硝酸鹽氮的處理。傳統上，電鍍廢水處理技術都採用氧化還原及化學混凝沉澱法處理；其中，氰化物採用鹼性氧化分解法，鉻酸採用酸性還原法，重金屬離子則應用重金屬捕集劑及鹼性重金屬氫氧化物沉澱法加以去除，分別說明如下。至於硼，氨氮及硝酸鹽氮的處理受限於篇幅，可能須另闢專文探討。

表 2 電鍍廢水之各種處理方法<sup>[2-13]</sup>

處理方法	原理或特性	優缺點
<b>化學法</b>		
化學沉澱法	經由添加氫氧化鈉、碳酸鹽、硫化物、鉍鹽、鹵化物、鐵鹽等沉澱劑，使其與廢水中欲去除的污染物形成難溶的固體物而分離去除的方法	具有投資少，處理成本低，操作容易等特點，抗衝擊負荷能力較好，可適用於各類電鍍廢水的處理，但也存在著自身發展的局限性，尤其是電鍍污泥的二次污染問題
化學氧化法	經由添加氧化劑，將電鍍廢水中有毒物質氧化為無毒或低毒物的處理方法。最常用的化學氧化劑有氧類和氯類。該法主要用於處理廢水中的 $\text{CN}^-$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 等離子及造成色度、臭味、BOD、COD 的有機物	本法應用時必須對 pH 進行嚴格的控制，否則易使少量殘留氰化物氧化不徹底，產生二次污染
化學還原法	經由添加還原劑，將電鍍廢水中之有毒物質還原為無毒或低毒物的處理方法，主要用於處理廢水中 $\text{Cr}^{6+}$ 和 $\text{Hg}^{2+}$ 等重金屬離子	此法優點是設備簡單，投資少，處理量大，但要防止污泥造成二次污染。
中和法	使電鍍廢水進行酸鹼中和反應，調節廢水的酸鹼度，使其呈中性或接近中性或適宜下步驟處理的酸鹼度範圍，主要用來處理電鍍廠的酸洗廢水	
<b>物化法</b>		
離子交換法	利用離子交換劑分離廢水中有害物質的方法。最常用的交換劑是離子交換樹脂，樹脂飽和後可用酸鹼再生後反復使用。離子交換是靠交換劑自身	具有管理方便，易於自動化，分離效率高，深度處理效果好，出水可以回用等優點，但其操作成本較高

處理方法	原理或特性	優缺點
	所帶能自由交換的離子與被處理的溶液中的離子經由離子交換機制來完成的。多數情況下離子是先被吸附，再被交換，具有吸附及交換雙重作用。	
膜分離法	包含微濾、超濾和逆滲透等技術	可以實現閉路循環，在運轉中產生一部分濃縮液可回用，上清液則可回用於漂洗，此外並無其他廢物產生。但也具有投資成本較高、膜元件易損壞、再生及更換膜片操作複雜，系統的長期穩定性不足等缺點
蒸發濃縮法	經由蒸發程序減少鍍液中的水分，進而達到濃縮鍍液的目的。此法一般不單獨使用，而是作為組合處理中的一個單元使用，主要是應用於高濃度廢液的回收再利用	具有技術成熟簡單，不須添加化學試劑，無二次污染，可實現水回用和有價值重金屬回收，但存在耗能大及操作費用高等問題
吸附法	利用吸附劑的表面物化特性及結構吸附去除廢水中難降解的有機物及重金屬離子，活性碳是處理電鍍廢水最常見的吸附劑之一	吸附裝備簡單，但吸附劑再生困難且處理效果差，處理後水質難於回用
<b>生物法</b>		
生物吸附法	生物體借助化學作用吸附金屬離子稱為生物吸附，凡具有從溶液中分離金屬能力的生物體製備的衍生物稱為生物吸附劑。生物吸附劑主要是菌體、藻類及一些提取物	此法處理效率高，操作費用低，無二次污染，可有效地回收一些貴重金屬。但是生物成長環境不容易控制，往往會因水質的變化而大量中毒死亡
生物絮凝法	利用微生物或微生物產生的代謝物進行絮凝沉澱的一種除污方法。微生物絮凝劑是由微生物自身產生的，其主要成分是醣蛋白、黏多醣、纖維素、蛋白質和核酸等。由於絮凝劑大分子表面具有較高電荷或較強的親水性和疏水性，能與顆粒通過離子鍵、氫鍵和凡得瓦爾力同時吸附多個膠體顆粒，在顆粒間產生架橋現象，形成一種網狀三維結構而沉澱下來，從而表現出絮凝能力	具有安全方便無毒，不產生二次污染，絮凝範圍廣，絮凝活性高，生長快，絮凝作用條件粗放，大多不受離子強度、pH 及溫度的影響



針對氰系廢水而言，氰化物具強烈毒性，尤其廢水在酸性時其毒性甚強(生成 HCN 毒性氣體)，因此氰系廢水之處理，首先須分類收集，再進行氧化處理使其分解成無毒氣體。常用之氧化方式有添加氧化劑( $\text{Cl}_2$ 、 $\text{ClO}^-$ 、 $\text{O}_3$ )、電解氧化及溼式氧化。除了使用氧化方式外，亦可使用陰離子交換方式來去除  $\text{CN}^-$ 。氰系廢水以氯氧化處理時於二個氧化槽中均先加入鹼液(如 NaOH)溶液後再通入液氯氧化，其目的在於防止廢水於酸性狀態下加氯時生成氯化氰( $\text{CNCl}$ )之有毒氣體，但如於鹼性下加氯，則形成之  $\text{CNCl}$  可變成毒性較低之氰酸鹽，再將氰酸鹽於鹼性溶液中進一步加氯氧化，生成無毒性之  $\text{CO}_2$  及  $\text{N}_2$  氣體。使用次氯酸鈉( $\text{NaOCl}$ ，俗稱漂白水)進行氧化之過程亦分成二階段進行，最初反應將氰化物生成氯化氰及氰酸鹽，最終則是生成  $\text{CO}_2$  及  $\text{N}_2$  氣體；其中第一階段之 pH 在 10 左右，ORP 在 350 mV，水力停留時間在 10 分鐘以上，第二階段之 pH 則在 8 左右，ORP 在 650 mV，水力停留時間在 30 分鐘以上。使用臭氧處理時， $\text{CNO}^-$  可由  $\text{CN}^-$  和  $\text{O}_3$  反應迅速產生，但  $\text{CNO}^-$  和  $\text{O}_3$  反應則變得很慢，若將  $\text{CNO}^-$  和  $\text{O}_3$  反應在強鹼性狀況下進行，則可得到較理想之結果。基本上，臭氧之氧化力極強，其為廢水處理之良好氧化劑，但其應用之主要關鍵仍在臭氧之價格。電解氧化法最大特點乃在使安定之氰化物錯離子完全分解(包括一般化學方法無法處理之鐵氰化物及亞鐵氰化物離子)及在陽極氧化時陰極會沉積金屬離子，可加以回收。由於本法處理時間不長且沉澱物不具毒性，因此使用此法處理含  $\text{CN}^-$  廢水已被廣泛採用。使用離子交換法處理含氰化物電鍍廢水時是採用含強酸性陽離子和弱鹼性陰離子樹脂的混合床，其中弱鹼性樹脂用來吸附氰化物，不過，某些氰化物仍可能會從此系統滲漏，所以後接一強鹼性樹脂。理論上，當氰化物的洗滌廢水是被分開單獨處理且所含之金屬為原電鍍槽中所需要之化學藥液時，則再生廢液的循環回收較為實用。

針對鉻系廢水之處理而言，主要使用之方法為化學還原法及離子交換樹脂法，其中化學還原法之重點為將六價鉻離子先還原成三價鉻離子，然後以鹼處理形成不溶性之氫氧化鉻  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  沉澱而去除，所使用之還原劑有  $\text{NaHSO}_3$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  等，其基本反應均為在水中先生成亞硫酸，再將六價鉻還原成三價鉻。亞硫酸之需要量可計算出來，但因實際上廢水中其他化合物或離子亦可能同時消耗酸，因此六價鉻之還原一般均是在酸性情況下進行( $\text{pH} < 3$ )。操作上，通常加入硫酸降低 pH 值，並一直維持在固定的 pH 值下處理，而硫酸的添加量則和廢水之鹼度有關。常用之鹼劑則有石灰、消石灰、氫氧化鈉等，所產生之污泥需予以妥善處理，以避免造成二次污染。至於離子交換樹脂法

則是將鍍鉻清洗水之  $CrO_4^{2-}$  利用樹脂將鉻酸回收至鍍槽中，惟  $Cr^{6+}$  無法單獨存在水溶液中，而是以  $CrO_4^{2-}$  之陰離子型式存在，故樹脂之選用需為陰離子樹脂而非陽離子樹脂。在樹脂選擇上需考慮樹脂對鉻酸根或重鉻酸根離子之交換能力及對氧化作用之耐久程度，為使操作順暢，離子交換系統應有備用交換塔。使用弱鹽基陰離子交換樹脂與重鉻酸根離子在低 pH 下交換後，可單獨使用苛性鈉再生，洗出的鉻酸鈉，再經陽離子交換樹脂處理，可回收  $H_2CrO_4$ <sup>[6]</sup>。

針對重金屬廢水之處理而言，通常採用鹼或酸調整廢水之 pH 值，使產生不溶性金屬氫氧化物後再以沉降分離方式去除(見表 3)。利用此種處理方式，可去除之金屬包括鉻、銅、鎳、鋅、鎘、鉛及鐵等金屬離子，為使處理水符合放流水標準，各種金屬離子沉澱之 pH 範圍不同。由於多種金屬離子共存關係，最適於沉澱之 pH 範圍略有變化，一般最適宜之 pH 範圍在 8~10 之間，實務上應依據各廠廢水性質進行杯瓶試驗，以確認真正之 pH 範圍。值得注意的是，在處理重金屬離子廢水時，由於電鍍藥劑中經常使用各種不同之螯合劑或錯化劑(含螯合劑或錯化劑之主要電鍍藥劑包括酸(鹼)洗淨液、電鍍液、化學電鍍液、電鍍剝離液、電解研磨液、化學研磨液)且這些化學藥劑大多數會混入廢水中，因重金屬錯化物或螯合物相當穩定，無法形成氫氧化物沉澱，此將導致處理水中仍殘留螯合化的重金屬離子，使得處理後排放水中重金屬離子濃度偏高。此時可採用氧化分解螯合劑法(含氰化物廢水處理，電解氧化法等)，添加  $Na_2S$  及有機硫化物形成不溶性金屬硫化物再分離法，螯合樹脂或活性碳吸附法，以及添加無機凝結劑之凝集沉澱法等進行處理。

表 3 各種重金屬離子最佳沉澱 pH 值

重金屬離子	最佳沉澱之 pH
$Ag^+, Mn^{2+}, Hg^+$	12
$Cd^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}$ (濃)	11
$Fe^{2+}$	10
$Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}, Be^{2+}$	9
$Fe^{3+}, Sn^{2+}, Al^{2+}$	7

至於對 COD 之處理而言，一般採用化學混凝沉澱法，若採行製程管理與減廢回收技術仍無法符合需求時，則需針對有機性廢水設置活性炭吸附系統或生物處理設施，以使廢水中之 COD 值降至容許濃度以下。

目前台灣地區的電鍍工廠大都採用化學混凝沈澱法，其處理原則是氰系廢水進行氧化分解，鉻系廢水則是進行六價鉻之還原處理，再與酸鹼系廢水混合，一併處理其中之重金屬。各單元有其適當之操作控制要點，廢水氧化、還原處理單元之控制要件乃是 pH 值及氧化還原電位 (ORP)，化學混凝沉澱單元之控制重點則是在於 pH 控制及凝集藥劑之添加。

### 三、電鍍廢水處理過程中常見問題

在電鍍廢水處理及回收方面，目前大都數之電鍍廠均是將廢水進行常規的化學處理，達到放流標準後就直接排放，未再回收利用。基本上，達到放流標準的廢水雖然重金屬離子幾乎完全去除，但水中的非重金屬離子和可溶解性鹽類的比例還是非常高，換句話說，其電導度仍偏高。這類水的性質和海水差不多，只能用於工廠的沖洗和有限的澆灌，甚至不能長期用於綠化。由於對中水回收再利用的要求越來越嚴格，電鍍廠要達到中水回用標準還需改進廢水處理技術，加入深度處理裝置(例如逆滲透法、離子交換法、奈濾、超濾等組合技術)，處理後水的電導度可大幅降低，可回收再利用於電鍍生產線前處理的部分粗洗程序。綜合而言，在實際的廢水處理及回收再利用過程中仍然存在許多問題，需要進一步提高處理技術。

一般常見之電鍍廢水處理缺失有下列幾點：

#### 1. 廢水分流不夠徹底

一般電鍍廠廢水在有效分類及收集方面常見之缺點為未依廢液特性設置單獨收集管路及貯存槽體，與一般清洗廢水混合後即直接排放廢水處理系統，或高濃度廢液未先進行預處理即逕行排放於處理系統，造成系統處理負荷之劇烈波動，此不但造成處理困難，亦可能造成危險，舉例來說，若氰系及鉻系廢水未分別收集進行前處理，而是逕行納入廢水貯存池一併以化學混凝方式處理，則由於氰化物在酸性 pH 值範圍易形成 HCN 有毒氣體，因此，將鹼性氰系廢水與酸性鉻系廢水及一般酸鹼廢水合併處理實具有產生 HCN 之潛在危險，不僅

未能充分發揮處理設施處理成效，對於員工之健康亦具有危害性。

另一方面，值得思考的問題為目前電鍍廠一般將廢水分為三類：氰系廢水、鉻系廢水和綜合廢水，分別進行處理後再綜合處理。從清潔生產的角度來看，此種分類並不合理，廢水中的重金屬並沒有回收，增加廢水處理負荷及處理費用；各類污染物特性不同，未根據污染物性質採取有效的處理措施，增加藥劑使用量及處理費用。

## 2.處理設備之相關問題

部份工廠當初在建置廢水處理設備時，由於考慮欠周詳，因此所建設備往往具有廢水貯存槽容量不足及各處理單元設計容量過小等問題，導致無法因應突增之水質及水量負荷。在製程方面，使用大量酸、鹼藥劑，由於其腐蝕能力較強，因此嚴重縮短設備使用年限，增加工廠污染防治費用。對污染防治設備而言，由於電鍍廠多屬中小型工廠，員工人數少，對於廢水處理設施之操作維護工作，大多由製程之生產員工兼任或委外操作，由於缺乏廢水處理專業知識及較無充裕之時間對設備進行維護保養工作，因此導致部分檢測設備常因保養不當致其精確性降低，其所顯示之數據不足以反應真正狀況，更嚴重的可能故障而不堪使用，影響處理成效。

## 3.操作欠缺自動化

提高廢水處理自動監測及控制是確保操作參數穩定，以使廢水處理達標排放的重要措施。對於廢水處理的加藥及控制系統，若採用自動化控制，可大大的節省勞動力，提高工作效率，並可減少人為的操作誤差，此將可避免加藥量不夠或者過多的問題，進而減少藥劑浪費或者反應不完全，污染物超標的情況。

## 4.鹼的使用量過大

電鍍廠採取化學沉澱法處理廢水時，鹼的投入量相當大，一部分用於酸中和，一部分用於重金屬沉澱，鹼的使用量會過多可能來自於下列原因：(1) 在用酸量較大的製程中，所產生之廢酸未單獨處理就直接排入廢水中，增加廢水處理費用。另外，在用鹼處理大量酸後，由於中和產生鹽類，整個水質的電導度將升高，此將增大後續中水回用的難度；(2) 廢水中重金屬未採取回收處理，就直接加鹼沉澱，導致鹼使用量增加，且污泥產生量亦過多；(3) 未採用自動化加藥系統，導致藥劑加入量過多或不足，為保證放流水水質，大部分都會投入過多藥劑，造成藥劑浪費，污水處理費用增加問題。

## 5. 重金屬未回收，損失量大，污泥產生量亦大

電鍍廢水中存在著金、銀、鎳等貴重金屬離子，而且有時廢水中其含量亦相當高，此時若未進行回收就直接進行沉澱處理，不僅造成經濟損失，而且增加了這些重金屬超標的可能性及增加污泥產生量<sup>[4,10]</sup>。另外，針對污泥之處理，除使用污泥脫水機外，部分工廠仍使用曬乾床，設施完善程度仍有待加強。另一方面，由於電鍍污泥屬於危害性廢棄物，其處置問題一直是困擾企業的一個大問題，雖然污泥可由相關單位進行回收處理，但委託清運處理之費用對業者是一項頗為沉重之負擔，而為解決或減少此項負擔，最好的辦法是從源頭減少其產生量，而不是加強其末端之處理。

## 6. 處理技術缺乏針對性，處理成本高

目前很多電鍍廠由於廢水處理技術不足，沒有針對廢水特點進行處理，導致廢水處理成本過高，舉例來說，傳統之化學混凝法僅能去除懸浮性 COD，對於溶解性 COD 無法有效去除，致使其放流水之 COD 無法符合放流水標準。

## 7. 欠缺污染預防之觀念

一般業者在解決污染問題時，較著重於將污染物處理至符合環保法令標準，但這僅是一種只求免於遭到環保單位取締的處理方式，若能積極從廠內管理及製程減廢中作到污染源減量及有價物質回收工作，則不僅能節省原物料及污染物的處理成本，更因污染強度的降低，將使管末處理趨於單純。

減廢的目的在於有效率地使用製程物料，減少污染物的排出，達到降低生產成本及節省污染防治費用的雙重目標，而工廠在執行減廢工作時又和廠內之管理有密切之關係。所謂的廠內管理即是有效率地利用原料及各項資源，控制生產程序充分回收再利用有價物質，以達到工業減廢，並降低污染負荷量，減少管末處理之預防措施。廠內管理之範圍相當廣泛，例如：(1)原物料庫存管理，(2)員工訓練，(3)客戶供應品(鍍件)管理，(4)掉落鍍件之清除，(5)洩漏預防，(6)廢水及廢液之分類收集，(7)避免槽液不當排放，(8)加強廢水回用，電鍍生產中可做到循環利用的是清洗水的閉路循環和有價值金屬的回收使用，要做到一水多用、分質使用和淨水複用。另一減廢方式則是從污染產生源執行污染減量的控制方式，換句話說，即是製程減廢，例如：(1)採用清潔生產技術，利用對環境無害或者少害的材料和技術，從而使

電鍍過程不產生或者少產生有害廢物，(2)藉由對原料之純化與替代，以儘量減少污染量之排出或對管末處理造成不良影響，(3)改善設備，以提高生產效率並減少污染之產生，(4)改善清洗方式，以節約用水量及降低廢水量，(5)降低槽液之蒸發<sup>[1]</sup>。

## 8.對硼、氨氮及硝酸鹽氮欠缺處理流程

硼、氨氮及硝酸鹽氮目前均為管制項目，但相對應之處理技術其實用性仍有待驗證，而如何在不大幅變更處理流程及增加操作費用下使得上述污染物獲得有效處理以符合放流標準，將是廠商未來須面對的環保課題之一。

## 四、電鍍廢水之回用再利用

### 1.廢水分流收集及分類處理

業者在廢水處理技術的改進過程中，應做到廢水“分流收集、分類處理”。不同電鍍廠廢水之水質不同，重金屬種類也不同，因此每個電鍍廠應根據水質特點進行廢水分類。對於廢水中貴重金屬如金、銀、鎳採用單獨處理，回收再利用；在回收貴重金屬的同時，也降低了最終排放水中，這些重金屬超標的可能性。

### 2.廢酸單獨回收處理

對於電鍍廠產生的廢酸，可進行單獨處理後再回收利用。在廢酸中按照一定的比例添加酸活化劑，將廢酸中的重金屬和油污形成絮凝物，然後再經過過濾系統，將廢酸中的重金屬和油污去除，從而使廢酸能夠再利用。廢酸回收不但減少了廢酸在處理過程中需要投加的鹼量，節省了處理費用，也大大的節省了新酸的使用量。

### 3.蒸發回收

經由蒸發電鍍清洗液，可得濃縮鉻酸再利用。基本上，所有操作程序中之清洗液皆可蒸發回收，但由於濃縮之鉻酸可能含有其他雜質，再用時可能會影響電鍍之品質，為此一回收程序之最大缺點。

### 4.改進廢水處理及回收技術

為了滿足環保法規之要求，企業不得不投入高費用來處理廢水，使其達排放標準，但隨著中水回收再利用的要求日益嚴格，廢水的排放標準已經不能僅滿足環保法規之要求，更需投入更大的成本以提高中水回

用率。因此不管從法規還是企業永續經營之考量，企業都需對廢水處理廠進行改造，改進廢水處理技術，減少廢水處理費用，同時盡可能回收再利用以增加經濟效益才是長久之計。廢水處理及回收方法相當多，只有針對電鍍廠廢水水質特點採取有效的處理措施，才能在一定意義上達到環境效益與經濟效益的雙贏，因此如何組合各種深度處理技術以實現中水回收是目前相當重要的課題。

## 參考文獻

1. [http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1\\_file/moeaidb/012661/a03g021.pdf](http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moeaidb/012661/a03g021.pdf)，行業製程減廢及污染防治技術－電鍍業行業說明。
2. Kurniawan, T.A., Chan, G.Y.S., Lo, W.H., Babel, S. Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal* 118 (2006) 83–98.
3. Sharma, D., Chaudhari, P.K., Dubey, S., Prajapati, A.K. Electrocoagulation treatment of electroplating wastewater: A review. *Journal of Environmental Engineering* 146(10) (2020) 03120009.
4. Azmi, A.A., Jai, J., Zamanhuri, N.A., Yahya, A. Precious metals recovery from electroplating wastewater: A review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 358 (2018) 012024.
5. Scarazzato, T., Panossian, Z., Tenório, J., Pérez-Herranz, V., Espinosa, D.A. Review of cleaner production in electroplating industries using electro dialysis. *Journal of Cleaner Production* 168 (2017)1590-1602.
6. Owlad, M., Aroua, M.K., Daud, W.A.W., Baroutian, S. Removal of hexavalent chromium-contaminated water and wastewater: A review. *Water Air & Soil Pollution* 200 (2009) 59–77.
7. Mohd Noor, S.F., Ahmad, N., Khattak, M.A., Mukhtar, A., Badshah, S., Khan, R.U. Removal of heavy metal from wastewater: A review of current treatment processes. *Journal of Advanced Research in Materials Science* 58(1) (2019) 1-9.
8. Shrestha, R., Ban, S., Devkota, S., Sharma, S., Joshi, R., Tiwari, A.P., Kim, H.Y., Joshi, M.K. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9(4) (2021) 105688.
9. Zhao, M., Xu, Y., Zhang, C., Rong, H., Zeng, G. New trends in removing heavy

- metals from wastewater. *Applied Microbiology and Biotechnology* 100(15) (2016) 6509-6518.
10. Wang, J. Reuse of Heavy Metal from Industrial Effluent Water. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 199 (2018) 042002(1-6).
  11. 林忠誠，以磁種混凝處理鋅系電鍍廢水之研究，國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系 99 年碩士論文。
  12. 許藝騰，以奈米級零價鐵處理實廠含電鍍廢水之研究，國立暨南國際大學土木工程學系 99 年碩士論文。
  13. 陳淑娟，以六價鐵處理電鍍廢水之可行性研究，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系暨研究所 98 年碩士論文。



## 以化學法去除廢水中硼離子之研究與建議

李中光\*、王悅慈\*\*、李庭慧\*\*、林正敏\*\*\*

\*萬能科技大學環境工程系 教授

\*\*萬能科技大學環境工程所 碩士

\*\*\*展欣環保工程股份有限公司 副理

【關鍵詞】 硼、鈣鹽-磷酸鹽法、鈣鹽-鋁鹽法

### 摘要

本研究是在探討鈣鹽-磷酸鹽及鈣鹽-鋁鹽化學沉澱法在除硼方面之應用，研究過程除探討沉澱劑之莫耳比、反應時間及反應溫度等操作參數對除硼之影響外，亦探討了相關沉澱劑之除硼機制並對其在實際應用上之潛能及可能遭遇之困難作了一些討論，以供廠商未來在選擇相關處理技術時參考。

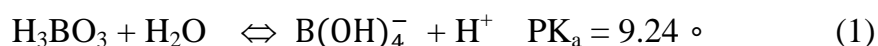
(本文轉載自 *工業污染防治*，第 145 期，2019(07 月)，31-62)

### 一、 硼之來源、特性及處理方法

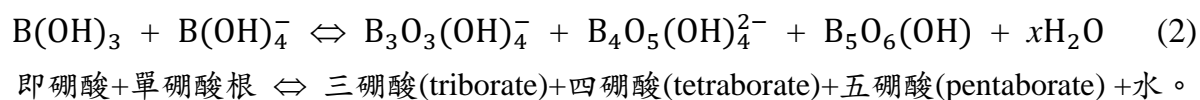
硼的應用極其廣泛，傳統工業上除了用於製造玻璃、鈷料、琺瑯、皮革、紙、黏合劑、炸藥及清潔劑外，亦可應用於消毒、殺蟲及防腐。另外，含硼化合物亦廣泛應用於電子產業及光電產業，例如作為晶圓半導體之摻雜物、作為偏光板製造廠中之清洗劑及用於製造印刷電路板及研磨觸控面板強化玻璃等。上述這些行業均會排放出濃度不等之含硼廢水。

要處理含硼廢水，首先須了解硼之特性，以下即針對硼之特性作一些簡述(Hilal et al., 2011)：(1) 硼之缺電子特性。硼的原子序是 5，為一種類金屬，其有兩種同素異形體，分別為黑色的晶體硼及棕色的無定型硼。硼原子的價電子組態為  $2s^2 2p^1$ ，激發後可提供 3 個成鍵電子，另外還有一個 p 軌域是空的，無法滿足八隅體結構，所以硼是缺電子原子，容易形成缺電子共價化合物，也由於缺電子，硼化合物有很強的接受電子的能力，容易與具有未鍵結電子對的分子或離子形成配位共價化合物。在自然界中，硼主要是以硼酸( $H_3BO_3$ )或硼酸鹽類，例如硼砂(borax,  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ )、硬硼鈣石(colemanite,  $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ )、硼鈉方解石(ulexite,  $Na_2B_4O_7 \cdot 8H_2O$ )的方式存在。(2) 硼酸之溶解度。硼酸為白色粉

末狀結晶，溶於水、酒精、甘油、醚類及香精油。硼酸晶體中，由於每個氧原子除了分別和一個硼原子及一個氫原子形成共價鍵外，還經由氫鍵與另一硼酸單元中的氫原子相結合而形成層片狀結構，層與層之間則以凡得瓦爾力相吸引，因此硼酸在冷水中的溶解度很小(273 K 時為 6.35 g/100 g H<sub>2</sub>O)，加熱時，由於晶體中的部分氫鍵被破壞，因此溶解度增大(373 K 時為 27.69 g/100 g H<sub>2</sub>O)且能隨水蒸氣揮發。(3) 硼酸之酸鹼性。硼酸是典型的 Lewis 酸，其可以利用空的 p 軌域以接受水分子中的氧原子所提供的未鍵結電子對，進而解離出氫離子，所以 H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 是單質子酸，也是一種無機弱酸(K<sub>a</sub> = 5.8 × 10<sup>-10</sup>)。由於硼酸為弱酸，因此其在水溶液中大部分都以未電離的 B(OH)<sub>3</sub> 單體存在，僅有一小部分 B(OH)<sub>3</sub> 與水溶液中的 OH<sup>-</sup> 結合生成 B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>，使溶液呈現微酸性，這兩種形式在不同的 pH 下可相互轉化，如下所示



(4) 硼酸之聚合特性。在稀薄的硼酸溶液中(例如當硼酸根離子之濃度小於 0.02 M 時)，水溶液中將只有單硼的硼酸及硼酸根離子存在，如方程式 (1) 所示。隨著硼物質濃度的增加，水溶液中之單硼物質間將會經由脫水形成 B-O-B 鍵結進而開始聚合產生多硼陰離子或高分子聚合物，如方程式 (2) 所示



這些單硼及多硼物質不但存在於水溶液中，其亦存在於結晶態及非晶態或玻璃材料中。目前已商業化之硼酸鹽化合物大部份是來自於硼砂(borax)、四水硼砂(kernite)、硬硼鈣石(colemanite)及鈉硼解石(ulexite)，當這些結晶材料被分散於水溶液中時，單硼酸鹽及多硼酸鹽間之各式硼酸鹽的分佈將會很快被建立起來，且此一分佈深受溫度、酸及鹼度、鹼金屬及鹼土金屬氧化物和硼氧化物之比值、整體混合物之成份所影響(Simon and Smith, 2000)。

含硼廢水之各種處理方法即是利用上述硼物質之各種特性來進行的，舉例來說，我們可利用硼的缺電子特性，容易和具多餘電子對的化合物產生鍵結來分離硼。硼選擇性離子交換樹脂法分離硼的原理，即是利用硼的缺電子特性，易於與鄰二羥基官能基螯合，先形成 1:1 的螯合物，之後再進一步螯合形成 1:2 的螯合物，而所形成的螯合物在酸的作用下又可以解離，得到原來的硼酸(Dydo and Turek, 2013)。此法可迅速高效

地去除水中的硼，但吸附飽和後的樹脂須經過再生才能再次使用，且再生液的處理也是其應用中必須面臨的問題，較好的處理方式應是將硼酸回收再利用。

除了利用硼的缺電子特性來分離硼外，我們亦可利用硼在水溶液中的酸鹼特性來沉澱分離硼。由上面之平衡式 (1) 可知，在酸性溶液中，硼大都以  $H_3BO_3$  的形式存在，但在鹼性溶液中，則以  $B(OH)_4^-$  的形式存在，因此可在水中加入無機酸或鹼，將硼轉化為難溶的硼酸或硼酸鹽進而達到分離硼的目的，此法頗適合用於含硼量較高的體系。在加酸沉澱法方面，主要是利用硼酸在無機酸中溶解度小的特點來去硼，例如加入鹽酸或硫酸可將硼酸根離子轉化為溶解度較小的硼酸，從而分離出硼，水中所含硼濃度達到 2~3% 時便可使用這種方法來分離去除部份硼。在加鹼沉澱法方面，在弱鹼性條件下，硼主要是以硼酸根離子存在，而硼酸根離子與金屬氧化物會反應生成難溶的硼酸鹽沉澱，利用此特性可將硼分離出來，例如以石灰乳沉澱硼時可得到硼酸鈣( $CaO \cdot B_2O_3 \cdot 6H_2O$ )的沉澱產物；值得注意的是，此類沉澱反應會受溫度、沉澱劑的品質及用量及 pH 值所影響。另一方面，由於沉澱的不完全或沉澱的吸附作用不完全，使用此法僅約可分離 50~60% 的硼，為了提高硼的回收率和較徹底地分離硼，通常僅將此法作為預處理，並與其他方法聯用來深度分離硼。

含硼廢水之處理方法除了上述之選擇性離子交換樹脂法及化學沉澱法外，還有逆滲透膜技術(reverse osmosis)、吸附法(adsorption)、電混凝法(electrocoagulation)、萃取法及上述各方法的組合技術等(Xu and Jiang, 2008; Kabay et al., 2010; Tua et al., 2010; Wolska and Bryjak, 2013; Theiss et al., 2013; Nasef et al., 2014)，其中逆滲透膜因具有硼分離效率高、無污染、節能、操作方便及可靠等諸多優點而成為海水分離硼的首選處理技術，而其缺點則是逆滲透膜壽命短且價格昂貴，因此應用的關鍵是進一步降低設備及操作費用。吸附法主要是利用硼的缺電子特性，易於被吸附劑吸附的特點來分離硼，或是利用陰離子交換機制來去除水中之硼酸根離子，常用的吸附劑有活性碳、金屬氧化物、黏土、纖維素、海藻和層狀複金屬氫氧化物(Layered double hydroxides)等(Theiss et al., 2013)。採用電混凝法除硼時，是以鋁或鐵作電極，而於陽極溶出  $Al^{3+}$  或  $Fe^{2+}$  等金屬陽離子，進而在水中水解而發生混凝或絮凝作用，一般來說，在最佳的操作條件下，電混凝法會較傳統之化學混凝法有較佳的除硼效果(Yilmaz et al., 2007; Isa et al., 2014; Kartikaningsih et al., 2016)。萃取法的

原理是利用含鄰二羥基且與水不相溶的有機試劑作為萃取劑與硼酸溶液混合，經由硼酸與有機試劑中的多羥基官能基反應形成螯合物被萃取到有機相，從而達到與水相中的其他離子分離的目的(Xu and Jiang, 2008)。聯合分離法就是綜合考慮各種處理方法的優缺點及廢水的組成，採用各種技術的組合處理水中的硼，以獲得更好的除硼效果，如吸附/微濾組合技術，吸附/共沉澱-逆滲透技術，化學混凝/離子交換樹脂等(Xu and Jiang, 2008)。最後，要注意的是，由於硼化合物本身是殺菌劑(常常作為防腐劑)，因此含硼廢水並不適合使用生物處理。

雖然硼是植物生長所必需的微量元素，亦可增加鈣質的吸收以預防或減緩骨質疏鬆，也能夠促進軟骨的接合及復原，但是硼的過量攝取或灌溉水中硼含量過高也會對人體和作物產生危害。人體若攝入過量的硼會引起噁心、頭痛、腹瀉、肝臟損害甚至會死亡(世界衛生組織(WHO)建議，成人每天攝入的硼不應超過 0.16  $\mu\text{g/g}$ )，而植物若硼中毒則會使葉片枯黃、脫落，最終會導致光合作用能力的降低和產量的下降，因此，為維護人體健康及作物之正常生長，從水源及廢水中去除硼是必要的工作。硼之放流管制標準目前是 1 ppm，雖然放流標準早已訂定，但由於之前環保單位並未嚴格執行稽查，因此一般排放含硼廢水之廠商往往低估原水中硼之濃度且並未進行積極之處理，導致放流水之硼含量往往遠大於放流標準。但隨著環保單位稽查強度之加嚴及環保署所公告硼將分三階段管制的實施(分別為 109.07.01, 12 ppm; 112.07.01, 10 ppm; 115.07.01, 5 ppm)，再加上目前對硼之去除並無真正有效及符合經濟效益之方法，因此發展有效之去硼方法已刻不容緩。另一方面，若由廠商所申報之水污染防治措施計畫中可知大部分廠商由於對硼之去除方法欠缺認知，因此大都便宜行事，仍以化學混凝方法作為去除硼之主要方法且對硼之去除率往往評估過高(甚至高達 60~70%)，顯有誇大不實之嫌。由於廠商現有之廢水處理設備大都具有化學混凝程序，因此在面臨如何讓硼濃度達到放流水標準之條件下，又要避免投資過大成本，則如何對現有之化學混凝設備或操作條件進行調整以達到上述目的已是相當重要之議題，在這方面，化學沉澱法除硼應是可考量之重點。本研究即是在探討鈣鹽-磷酸鹽及鈣鹽-鋁鹽化學沉澱法在除硼方面之應用及限制，研究過程除了探討沉澱劑之莫耳比、反應時間及反應溫度等操作參數對除硼之影響外，亦探討了相關沉澱劑之除硼機制並對其在實際應用上之潛能及可能遭遇之困難作了一些討論，以供廠商未來在選擇相關處理技術時參考。

## 二、各種化學沉澱法之回顧及測試結果

化學沉澱法是經由添加化學藥劑以形成低溶解度之硼鹽進而去除廢水中之硼，此法一般應用於含高濃度硼之廢水(例如大於 25 g/L)，早期常用之沉澱劑包含有  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ， $\text{MgO}$ ， $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  及  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  等(US Patent 3952085, 1975)，但隨著相關研究的進展，目前可選用之沉澱劑及其去硼效果已有大幅變化及進展，如下所述。

### 2.1 傳統化學混凝法

文獻中使用傳統化學混凝法來去除廢水中硼之研究並不多見。Yilmaz 等人(2007)曾使用氯化鋁作為混凝劑以探討 pH 值、硼初始濃度、鋁鹽添加量及反應溫度對於化學混凝去除硼之影響。研究發現在最適之操作條件下，其對硼之最高去除率約可達 25%。在國內之研究方面，林孟儒及張維欽(2010)曾使用硫酸鐵、PAC 及氯化鐵作為混凝劑，以探討混凝劑添加量及 pH 值對於去硼之影響。研究發現，PAC 在三種混凝劑中具有最高之去除率，但其所產生之污泥亦較多，另一方面，三種混凝劑均在 pH 8-9 時具有最高之去硼率，其中 PAC 具有最高去硼率 45%。在硼初始濃度效應方面，隨著混凝劑添加量的增加，三種混凝劑對硼之去除率亦增加，但仍以 PAC 對硼具有最高之去除率，且當硼初始濃度為 500 mg/L 時，其對硼之去除率甚至高達 80%。另外，許振峯等人(2012)亦曾以氯化鐵，硫酸鋁及氫氧化鈣作為化學沉澱劑以探討化學混凝法對硼之去除效果。研究發現，氯化鐵、硫酸鋁及氫氧化鈣對硼之去除率約分別為 10.5-17%、11.8-20% 及 5.6-15.5%。綜合來說，三種藥劑在一般加藥量下，對硼均未有明顯之去除效率，但當將氯化鐵添加量提高至 47 g/L 時，由於氯化鐵水解產生足量的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  可與硼吸附及產生共沉降鍵結，因此硼之去除率可提升至 85%。

### 2.2 添加氧化劑

成功大學化工系黃耀輝教授之研究團隊(藍韋盛及黃耀輝，2012；劉佳勳及黃耀輝，2013；林睿彥及黃耀輝，2015)曾探討氧化劑對化學沉澱處理高濃度含硼廢水之影響。研究結果指出由於過硼酸根離子  $\text{BO}_3^-$  會水合而形成含有兩個過氧鍵組成的環狀二聚體，而此一陰離子將具有較穩定之結構，因此先將含硼化合物氧化成過硼酸化合物將有利於添加鈣鹽化學沉澱對硼之去除。在以雙氧水作為氧化劑的情況下，實驗結果指出四種鹼土金屬離子對硼之去除效率依下列順序增加： $\text{Mg}^{2+}$ (37.6%) <  $\text{Ca}^{2+}$ (85.2%)  $\approx$   $\text{Sr}^{2+}$ (86.2%) <  $\text{Ba}^{2+}$ (98.5%)，且各種離子對硼之去除效率和

pH 值之關係並不一致：鎂離子是在 pH 10 才開始有明顯之去除效率，而鈣、鋇及鋇離子則是在 pH 7 時開始有明顯之去除效率，並在 pH 9 後趨於常數值。在以氯化鋇作為混凝劑及鋇/硼莫耳比為 1 及 pH 為 10 之情況下，硼之去除率將隨過氧化氫添加量之增加而明顯提升，當雙氧水/硼之莫耳比達到 1.5 時，硼之去除率將達到最大值 96%。在相關專利方面，黃國豪等人(2005)基於上述原理且為了盡量將硼濃度降低以利後續高階分離技術之處理，因此使用二階段式化學混凝處理，同時為了降低污泥量及避免浪費第二階段所添加而未參與反應之絮凝劑，特別將第二階段所產生之污泥部分迴流至原廢水，相關處理流程如圖 1 所示。值得注意的是，由於此一化學沉澱處理恐無法將硼直接處理至符合放流水標準(根據實際測試在添加鈣鹽及雙氧水的情況下，其對硼之去除效率最高約為 80%(李柏宏及李中光，2016)，因此為保險起見，特於後端加裝離子交換樹脂或逆滲透膜以避免硼之放流濃度超標。

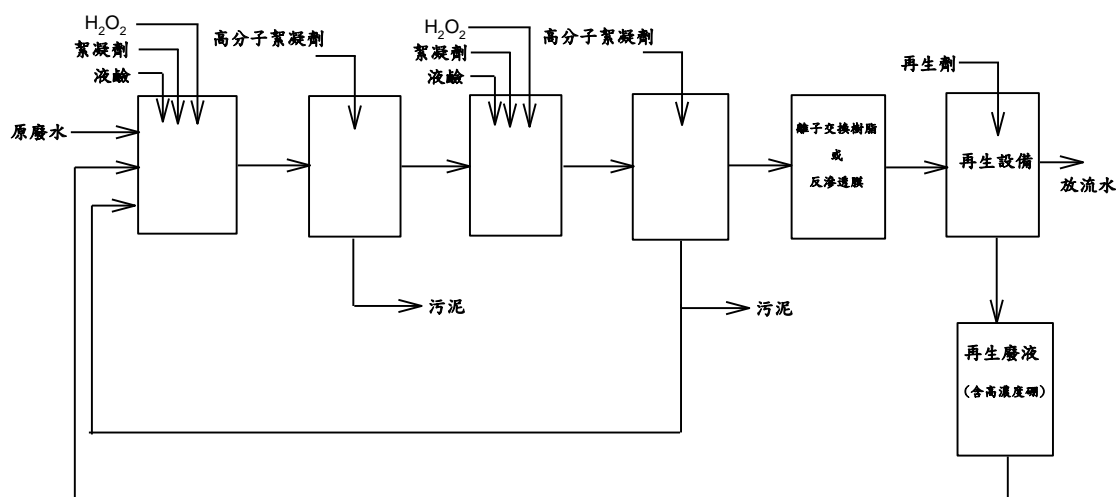


圖 1 黃國豪等人(2005)之“含硼廢水的處理方法”專利

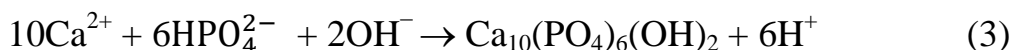
### 2.3 微波水熱礦化法(鈣鹽-磷酸鹽法)之回顧及測試結果

Itakura 等人(2005)參考硼酸鹽之形成過程而首先使用水熱礦化法以氫氧化鈣為礦化劑及以磷酸作為由鈣鹽和硼酸所產生之偏硼酸鈣(calcium metaborate,  $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )再溶解之抑制劑，將水中之硼酸沉澱成可回收再利用之偏硼酸鈣。研究結果指出在熱處理溫度  $130^\circ\text{C}$ ，反應時間 14 小時，經由添加 3 克氫氧化鈣及 1.5 克磷酸至硼初始濃度為  $500\text{ mg/L}$  (30 ml) 溶液中，經由形成偏硼酸鈣沉澱物，可使水中硼之去除率達 99 %。針對此法，他們亦提出相關之形成機制，如下所述：(1)

$\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5$  是經由  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  間之脫水反應而形成。(2) 由於和上一步驟進行水熱脫水反應， $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，將會轉換成  $\text{CaHPO}_4$ 。(3) 一部分  $\text{CaHPO}_4$  將會穩定的轉換成氫氧基磷灰石 (hydroxyapatite,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ )，而且其將會在  $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$  沉澱物表面形成，進而抑制  $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$  沉澱物之再溶解。

在國內之研究方面，劉兆歡與駱尚廉(2012)亦曾使用水熱法以氫氧化鈣為礦化劑，使其與水中之硼酸根離子結合形成偏硼酸鈣沉澱以去除水中之硼。實驗結果發現當只加入氫氧化鈣且合成廢水之硼濃度較低時(例如 50 mg/L)，其去除效率並不理想，但當同時添加氫氧化鈣及磷酸時，由於磷酸會與氫氧化鈣合成氫氧基磷灰石覆蓋在偏硼酸鈣上，以防止偏硼酸鈣再溶解，因而提高廢水中硼之去除效果。實驗結果也指出最佳操作參數為在 pH 9 之情況下以 130 °C 加熱 30 分鐘，除硼效率可高達 99%。Tsai 及 Lo(2011)則是探討利用微波水熱礦化作用以產生結晶沈澱來回收水中硼之可行性。研究結果發現在單純添加氫氧化鈣條件下，反應 10 分鐘後可達 90% 的回收效率且沈澱物經 XRD 分析可觀察到偏硼酸鈣結晶之衍射峰。當同時添加氫氧化鈣與磷酸時，可於 10 分鐘內達 99% 的去硼效率且經由對沈澱物進行 XRD 分析可知有數種磷酸鈣 ( $\text{CaHPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaHPO}_4$  及  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) 結晶物產生。另外，他們也分別測試三種預處理貝殼在此種硼回收方法中之應用潛能，實驗結果顯示，預處理牡蠣殼之硼處理效率最佳，其可於 10 分鐘內達到 95% 之硼去除效率，而預處理文蛤與蜆殼則與單純添加氫氧化鈣之結果類似，僅達到 90% 之硼去除效率(Tsai et al., 2011)。綜合來說，微波水熱法所需之反應時間要比傳統加熱法短得多，另外，此法無論於使用商用藥劑之添加條件下，抑或於預處理貝殼添加條件下，水中硼回收皆具有 90% 以上之回收效率，而於實際應用時，仍需考慮水體之酸鹼值、硼初始濃度以及其他干擾物質之量以作出適當調整，進而達到最佳硼回收效果。

水熱礦化法的缺點是需要在高溫下操作，因此如何利用上述之成果以發展低溫操作之除硼技術是相當值得探究的課題。Yoshikawa 等人(2012)曾探討於室溫下添加  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  及  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  在產生氫氧基磷灰石情況下硼之移除機制及氮對上述機制之影響。基本上，氫氧基磷灰石之形成反應可用下式表示：



為了使氫氧基磷灰石之結晶更完全，水溶液之 pH 值需維持在 9 以上。另一方面，由於  $B(OH)_3$  是弱酸，在 pH 大於 12 的情況下，大部分之  $B(OH)_3$  將會解離變成  $B(OH)_4^-$ ，而氫氧化鈣將會和  $B(OH)_4^-$  反應形成  $Ca_2B_2O_5 \cdot H_2O$  且此化合物將會和氫氧基磷灰石產生共沉澱，因此在使用氫氧化鈣及磷酸鹽以共沉澱法除硼時，溶液 pH 值亦需維持在高於 12 之高鹼性環境。綜合上述，可知經由產生氫氧基磷灰石之過程來除硼時，溶液之 pH 值需維持高於 12。於此情況下，使用氫氧化鈣及磷酸鹽類 ( $Ca(OH)_2 + K_2HPO_4$ ， $Ca(OH)_2 + K_2HPO_4 + NH_4Cl$ ， $Ca(OH)_2 + (NH_4)_2HPO_4$ ) 其去硼速率明顯高於傳統方法且經由計算亦可知前者之去硼效率亦高於後者。以下即討論本研究針對此法之測試結果。

### 2.3.1 人工合成廢水測試結果

圖 2 所示為硼去除率隨沉澱劑莫耳比之變化情形。由圖可知下列結果：(1) 隨著 P(磷)/B(硼) 莫耳比之增加硼去除率大約是隨之增加，且在 P/B 趨近 3/1-4/1 時達到最高值，但當 P/B 達 5 時，硼去除率反而下降，意謂過多的磷反而不利於硼之去除。(2) 在固定 P/B 的情況下，硼去除率隨 Ca/B 莫耳比之變化則和 P/B 之莫耳比有密切關係。在 P/B = 1 時，硼去除率隨 Ca/B 莫耳比之增加先上後下。在 P/B = 2 時，硼去除率隨 Ca/B 莫耳比之增加的變化並不明顯。當 P/B = 3/1-5/1 時，硼去除率隨 Ca/B 之增加而增加，且對 P/B = 3/1 而言，當 Ca/B 大於 6 時，硼去除率即趨於穩定(約達 98%)，對 P/B = 4/1 而言，則當 Ca/B 大於 8 時，硼去除率即趨於穩定(約達 98%)，對 P/B = 5/1 而言，則當 Ca/B 大於 12 時，硼去除率才接近達 90%。在這些情況下，硼去除率之所以會趨於穩定主要是由於磷酸鹽已反應完畢，因此添加更多之鈣鹽已無法進一步提高硼之去除率。(3) 另外，值得注意的是，在鈣鹽-磷酸鹽系統之去硼過程中，溶液之 pH 值一定要控制在 10 以上才有利於硼之沉澱去除。由於氫氧化鈣屬強鹼且由量測添加沉澱劑後溶液之 pH 值可發現其值均在 10 以上，因此實驗過程中並未添加液鹼以進行 pH 值之調整。

如前所述，鈣鹽-磷酸鹽之去硼機制主要是鈣鹽會和硼酸根離子產生偏硼酸鈣沉澱，而磷酸鹽則會和鈣鹽在偏硼酸鈣沉澱上產生會抑制偏硼酸鈣沉澱物再溶解之氫氧基磷灰石沉澱。依此機制可知鈣鹽之添加量一定要大於磷酸鹽之添加量才会有較高之硼去除率。此點也說明了為何隨著 P/B 莫耳比之增加(例如 3/1-5/1)，達到最高硼去除率之 Ca/B 之莫耳比亦會隨之增加。至於 P/B = 1/1-2/1 時，Ca/B 之莫耳比對硼之去除率幾乎無影響則是由於磷酸鹽之添加量不多，因此 Ca/B = 4 時鈣鹽已足以和



所添加之磷酸鹽反應完畢，再多添加鈣鹽已無磷酸鹽可供反應產生氫氧基磷灰石沉澱，純屬浪費而已。

圖 3(a) 所示為硼去除率隨反應溫度之變化情形。由圖可知硼去除率隨溫度之增高而增高，且在 40 °C 以上時趨於穩定。如前所述，在鈣鹽-磷酸鹽系統中要有高的硼去除率則往往需在高溫(130 °C)及長時間(14 小時)下才能達成，而由上面之實驗結果則可知經由添加適當之磷酸鹽的確可大幅降低反應所需之溫度。另一方面，實際應用時由於需在 40 °C 以上才有較高的硼去除率，因此應採用分流處理，於廢水剛排出還在較高溫度時即進行沉澱處理，必要時，仍需進行加熱以提高反應溫度及硼去除率。圖 3(b) 所示為硼去除率隨反應時間之變化情形。由圖可知反應時間 30 分鐘時即有相當不錯之硼去除率，此也意謂經由添加適當之磷酸鹽不但可降低反應溫度，亦可大幅降低反應時間。實際應用時，若硼濃度較高時則較保險的反應時間可採 60 分鐘以盡量降低硼濃度，減少後續處理單元之處理負荷，而 60 分鐘的化學沉澱處理對一般廢水廠之操作來說仍在可忍受之範圍內。

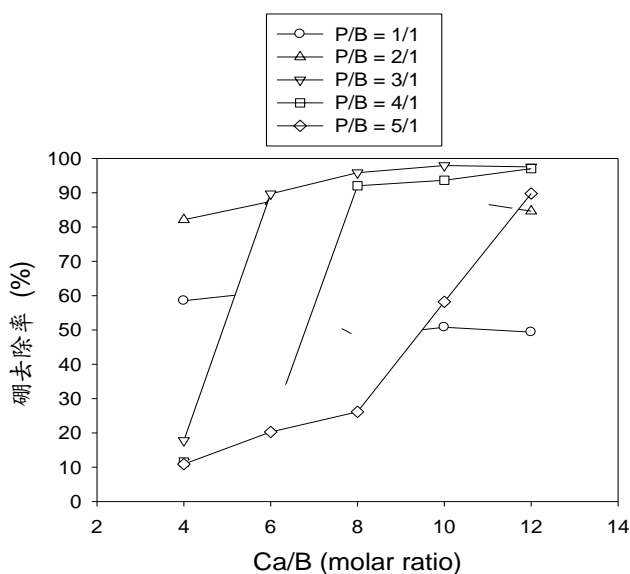


圖 2 氫氧化鈣-磷酸鹽系統中，硼去除率隨沉澱劑莫耳比之變化情形。  
硼初始濃度約 333-372 mg/L，反應時間 2 小時，反應溫度 40 °C

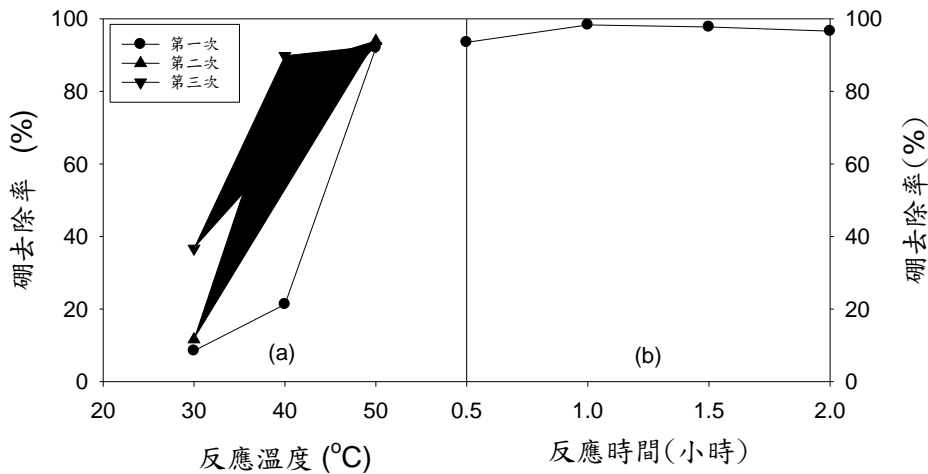


圖 3 氫氧化鈣-磷酸鹽系統中；(a) 硼去除率隨反應溫度之變化情形；硼初始濃度約 370 mg/L，Ca : P : B = 12 : 5 : 1，反應時間 2 小時。(b) 硼去除率隨反應時間之變化情形；硼初始濃度約 370 mg/L，Ca : P : B = 12 : 5 : 1，反應溫度 40 °C

使用化學沉澱法去除硼離子時相當困擾的一個問題即是除了去硼外，其對水中其它共存之陰離子污染物(例如磷酸根離子、硫酸根離子、氟離子、氯離子、硝酸根離子、亞硝酸根離子)可能亦會有沉澱去除效果，此不但會干擾硼之去除效果，亦會增加藥品使用量及污泥產生量，因此相當值得測試共存陰離子對硼去除率之干擾。表 1 所示即為鈣鹽-磷酸鹽共沉澱法在陰離子混合物中對各種陰離子之去除效果，由表可知各陰離子之去除率依下列順序遞減： $\text{PO}_4^{3-} > \text{F}^- > \text{SO}_4^{2-} \approx \text{B}(\text{OH})_4^- > \text{Cl}^- \approx \text{NO}_3^- \approx \text{NO}_2^-$ ，換句話說，去除率和陰離子所帶電荷大約成正比；在這其中，硼之去除率在氫氧化鈣-磷酸鹽系統中約可達 60.0%，而在氯化鈣-磷酸鹽系統中則可達 62.2%。針對上述之結果，有幾點事項需特別注意：

- (1) 雖然鈣鹽-磷酸鹽系統對硼之去除效果已較一般化學混凝法對硼之去除率(最高約 25%)要來得高，但若和上述僅有硼酸存在下硼之去除率相較，其對硼之去除率已大幅下降，由此可見共存陰離子干擾之嚴重性。針對此種結果，其主要原因是來自於某些陰離子很容易和鈣離子產生各種鈣酸鹽沉澱，因此各種陰離子之去除率將和其產生鈣酸鹽沉澱之難易有密切關係，換句話說，所產生之鈣酸鹽其溶解度越小者，則其對應之陰離子將有較高之去除率。依此觀之，由於磷酸鈣( $K_{sp} = 1 \times 10^{-27}$ )、硫酸鈣( $K_{sp} = 2 \times 10^{-5}$ )及氟化鈣( $K_{sp} = 3 \times 10^{-11}$ )之溶解度均較氯化鈣、硼酸鈣、硝酸鈣及亞硝酸鈣要來得低，因此其相對應之陰離子將具有較高之去除率。

- (2) 如表 1 所示，使用溶解度較高之氯化鈣作為沉澱劑時，由於其所解離之鈣離子除了可供較易產生鈣酸鹽沉澱之陰離子進行沉澱反應外，其尚有鈣離子之餘額可供硼離子進行沉澱反應，因此其將具有較高之硼離子去除效率，此在未來進行實際應用時可列入考慮。
- (3) 為了克服共存陰離子之干擾，可添加過量之鈣鹽，但此恐會增加污泥量，尤其對於溶解度較低之氫氧化鈣更是如此，因此溶解度較高之氯化鈣可能是較佳之選擇。

表 1 等莫耳( $9.25 \times 10^{-3}$ ) 陰離子混合物在  $\text{Ca} : \text{P} : \text{陰離子} = 12 : 5 : 1$ ，反應溫度 =  $40^\circ\text{C}$ ，反應時間 = 2 小時下各陰離子之去除率。其中括號外之值為使用  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，括號內為使用  $\text{CaCl}_2$

陰離子	初始濃度 (mg/L)	殘餘濃度 (mg/L)	去除率 (%)
$\text{B}(\text{OH})_4^-$	89.6	35.9(32.8)	60.0(62.2)
$\text{F}^-$	192	26.3(28.6)	86.3(85.1)
$\text{Cl}^-$	324	323(7836)	0.3(-)
$\text{NO}_2^-$	378	366(359)	3.2(3.0)
$\text{PO}_4^{3-}$	792	ND(ND)	100(100)
$\text{NO}_3^-$	531	522(505)	1.7(4.9)
$\text{SO}_4^{2-}$	827	386(346)	53.3(58.2)

### 2.3.2 實際廢水測試結果

本研究亦曾使用某電鍍廠之鎳槽水洗水進行測試，其水質數據為：pH 6.16， $\text{F}^-$  10.21 mg/L， $\text{Cl}^-$  1,080 mg/L， $\text{NO}_3^-$  4.77 mg/L， $\text{PO}_4^{3-}$  1.28 mg/L， $\text{SO}_4^{2-}$  7,520 mg/L 及硼 437 mg/L。由上列數據可知水中除含高濃度之硼離子外，其亦含有相對濃度較高之氯離子及硫酸根離子及濃度較低之氟離子。由於本研究所使用之鈣鹽-磷酸鹽中之鈣鹽會和硫酸根離子產生硫酸鈣沉澱及和氯離子產生氯化鈣沉澱，因此所添加之鈣鹽有部分會消耗於產生硫酸鈣及氯化鈣沉澱，而此一測試亦可了解實際廢水中所存在之陰離子是否會干擾鈣鹽-磷酸鹽對硼之去除效果。

相關之測試結果如表 2 所示。在第 1 次實驗中，首先將磷酸鹽和硼之莫耳比固定在 15 : 1 時，可發現隨著鈣鹽添加量之加倍，硼離子及硫酸根離子之去除率亦會增加。值得注意的是，在  $\text{Ca} : \text{P} : \text{B} = 12 : 15 : 1$

時，溶液中將殘留大量之磷酸根離子，此意謂所添加之磷酸鹽並未完全和鈣鹽反應生成氫氧基磷灰石，而這也同時反應出所添加之鈣鹽量可能不足。針對此點，由於所添加之鈣鹽共需進行三個反應：形成硫酸鈣、形成氫氧基磷灰石及形成偏硼酸鈣，因此此結果並不令人意外。當將 Ca : P : B 之莫耳比調整為 24 : 15 : 1 時可發現硼之去除率大幅升高且較硫酸根離子去除率之升高幅度為高，而伴隨此一結果的則是殘餘磷酸根離子的大幅減少，此一結果也暗示在沉澱去硼的過程中，氫氧基磷灰石的形成的確是扮演著關鍵的角色。接著，若將磷酸鹽和硼之莫耳比固定在 10 : 1 且將鈣鹽和硼之莫耳比由 12 : 1 提高至 20 : 1 時，則硼之去除率可由 46% 提升至 99%，而殘餘之磷酸根離子濃度則由 6,030 ppm 降至 0 ppm，再次指出若鈣鹽添加量不足，無法形成完整之氫氧基磷灰石沉澱，則不但降低硼之去除效果，亦會殘留大量之磷酸根離子。另外，值得注意的是，由於硼均較硫酸根離子有更大之去除率，且只有當硼幾乎去除完畢時硫酸根離子之去除率才會大幅升高，意謂在氫氧基磷灰石的存在下，偏硼酸鈣沉澱之穩定度較硫酸鈣沉澱來得高，換句話說，既使在硫酸根離子的存在下，硼仍將優先被沉澱去除。

在第 2 次實驗中，在固定 Ca : P : B = 20 : 10 : 1 下，測試反應溫度對硼去除率之影響。如表 2 所示，隨著溫度的升高，硼去除率及硫酸根之去除率均有明顯之提升且殘餘之磷酸根離子濃度亦大幅降低，此意謂較高的溫度可能更有利於氫氧基磷灰石的形成，進而導致較穩定的偏硼酸鈣及硫酸鈣沉澱的產生，而這也暗示氫氧基磷灰石的形成於不但有利於偏硼酸鈣的產生，亦有利於硫酸鈣沉澱的產生。另外，應注意的是，此一結果亦指出反應溫度應維持在 40 °C 以上才能有效去除硼。

第 3 次實驗則是在固定 Ca : P : B 莫耳比及反應溫度下，測試反應時間對硼及硫酸根離子之去除情形。由表 2 可知，在反應時間為 30~120 分鐘的情況下，硼及硫酸根離子之去除率變化並不大，但因在 30 分鐘時殘餘之磷酸根離子濃度仍高達 139 ppm，因此仍建議反應時間最少應在 60 分鐘，以策安全。

在第 4 次實驗中，再度將磷酸鹽之添加量降低，由表 2 可知在足夠之鈣鹽添加量下，硼及硫酸根離子之去除率仍可高達 99%，此一結果暗示只要在適當之鈣鹽及磷酸鹽莫耳比下，硼及硫酸根離子幾乎可完全去除，而在降低藥品添加費及污泥量的考量下，如何繼續降低鈣鹽及磷酸鹽之添加量將是未來必須繼續進行之工作。此一結果另一有趣的地方在於即使磷酸根離子已完全反應完畢(例如 Ca : P : B = 12 : 7 : 1 時)，但硼

及硫酸根離子並未完全去除，此暗示所添加之鈣鹽有可能是優先和磷酸根離子反應形成氫氧基磷灰石，接著再形成偏硼酸鈣沉澱，最後才是產生硫酸鈣沉澱。

**表2 使用鈣鹽-磷酸鹽化學沉澱除硼之測試結果。反應步驟：先將氫氧化鈣加入，恆溫震盪10分鐘，再加入磷酸鹽，反應過程未調pH**

第 1 次實驗 (40 °C 下進行 2 小時反應)			
Ca : P : B	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 殘餘濃度 (mg/L)
24 : 15 : 1	81.43	38.16	8.65
12 : 15 : 1	35.62	24.07	21,800
20 : 10 : 1	99.59	89.22	ND
18 : 10 : 1	92.52	56.02	ND
14 : 10 : 1	53.04	18.88	2,739
12 : 10 : 1	46.42	19.41	6,030
第 2 次實驗 (溫度效應, Ca : P : B = 20 : 10 : 1)			
溫度 (°C)	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 殘餘濃度 (mg/L)
30	26.96	13.30	18,510
40	98.35	87.33	ND
50	99.70	88.35	2.06
第 3 次實驗 (時間效應, Ca : P : B = 20 : 10 : 1, 反應溫度 40 °C)			
時間(min)	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 殘餘濃度 (mg/L)
30	96.49	85.57	138.8
60	97.17	86.33	ND
90	97.45	86.20	ND
120	97.65	87.41	ND
第 4 次實驗 (40 °C 下進行 2 小時反應, 反應過程未調 pH)			
Ca : P : B	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> 殘餘濃度 (mg/L)
18 : 7 : 1	99.38	99.09	1.11
16 : 7 : 1	99.09	98.11	ND
14 : 7 : 1	93.28	74.89	ND
12 : 7 : 1	79.79	27.65	ND

## 2.4 鈣鹽-鋁鹽共沉澱法之回顧及測試結果

鈣鹽及鋁鹽是廢水處理過程中化學混凝程序常用之混凝劑，由文獻可知當廢水中缺乏硫酸根離子時，則鈣鹽-鋁鹽系統所產生之沉澱物主要為水鋁鈣石(hydrocalumite,  $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}(-\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )，而當水中富含硫酸根離子時則其沉澱物主要將為鈣礬石(Ettringite,  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )(Zhang and Reardon, 2003; Hiraga and Shigemoto, 2010; Hiraga and Shigemoto, 2011)。此結果意謂添加鈣鹽及鋁鹽除可有效去除水中之硫酸根離子外，在產生水鋁鈣石或鈣礬石的過程中也會伴隨有陽離子及陰離子之去除效果；其中對陰離子之去除而言，水鋁鈣石是透過顆粒表面(帶正電)之表面吸附或陰離子對位於層間之氫氧根離子的直接取代效應來完成，而鈣礬石則主要是透過陰離子對位於柱間之硫酸根離子的直接取代效應來完成。基本上，水鋁鈣石具有類似層間複金屬氫氧化物之結構，其層間距離將可膨脹以嵌入較大之陰離子，但鈣礬石層間距離之膨脹則由於其結構為柱狀型而受到限制。由於結構及吸附機制的差異，水鋁鈣石和鈣礬石對各種陰離子之去除率也有很大之差異(Zhang and Reardon, 2003)。以下即針對產生水鋁鈣石及鈣礬石之鈣鹽-鋁鹽系統對除硼及其他陰離子之效果及差異性進行分析及討論。

### 2.4.1 人工合成廢水測試結果

圖 4(a) 所示為產生水鋁鈣石的鈣鹽-鋁鹽系統中，硼去除率隨沉澱劑莫耳比之變化情形。由圖可知下列結果：(1) 隨著 Al(鋁)/B(硼) 莫耳比之增加硼之去除率大約是隨之增加，且在 Al/B 趨近 6/1-8/1 時達到最高值，但當 Al/B 達 10 時，硼去除率反而下降，意謂過多的鋁反而不利於硼之去除。(2) 在固定 Al/B 的情況下，硼去除率隨 Ca/Al 莫耳比之變化則均是先隨 Ca/Al 莫耳比之增加而增加，且於 Ca/Al = 2 後其增加幅度即趨緩，針對 Al/B = 2、4、6、8 及 10 而言，硼之最高去除率分別約為 33、62、82、85 及 76%。在這些情況下，硼去除率之所以會趨於穩定主要是由於所添加之鋁鹽已反應完畢，因此添加更多之鈣鹽已無多餘之鋁離子可發生共沉澱，因此無法進一步提高硼之去除率。另一方面，此系統所產生之沉澱物主要為類似層狀複金屬氫氧化物之水鋁鈣石，而由其化學式可知在其分子結構中二價陽離子( $\text{Ca}^{2+}$ )和三價陽離子( $\text{Al}^{3+}$ )之莫耳比(即 Ca/Al) 約在 2~4 之間(例如鎂鋁水滑石之組成為  $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )，而由上述結果可知鈣、鋁、硼所形成之層狀複金屬氫氧化物中鈣及鋁之莫耳比約在 2 左右。(3) 另外，值得注意的是，在鈣鹽-鋁鹽系統之去硼過程中，溶液之 pH 值一定要控制在 10 以上才

有利於硼之沉澱去除。由於氫氧化鈣屬強鹼，且由量測添加沉澱劑後溶液之 pH 值均在 10 以上(當然，隨著氫氧化鈣添加量的增加溶液之 pH 值亦會隨之增加)，因此實驗過程中並未添加液鹼以進行 pH 值之調整。圖 4(b) 所示則為產生鈣礬石的鈣鹽-鋁鹽系統中，硼去除率隨沉澱劑莫耳比之變化情形。由圖可知，隨著 Al/B 莫耳比之增加硼之去除率大約是隨之增加，且在 Al/B 趨近 6/1-10/1 時達到最高值。另外，在固定 Al/B 的情況下，硼去除率隨 Ca/Al 莫耳比之變化則均是先隨 Ca/Al 莫耳比之增加而增加，對於 Al/B 為 2/1~4/1 時，此趨勢一直不變且於 Ca/Al 為 4 時趨近 100% 之去除率，而對 Al/B 為 6/1~10/1 時，其於 Ca/Al = 2 後其去除率即為常數 100%。因此若從實際應用的角度來看，可採 Ca/Al = 2 及 Al/B = 6 作為操作條件。

由上面的實驗結果可知，硼去除率和所添加之鋁源有很密切關係，換句話說，和其所產生之沉澱物型式有很密切關係。沉澱物為鈣礬石者其去硼效果將較沉澱物為水鋁鈣石者來得高很多，至於其原因則可分析如下。Zhang 及 Reardon (2003) 的研究指出由於結構的差異，水鋁鈣石之結構類似於層狀複金屬氫氧化物，其層間空間可膨脹以讓較大之陰離子進入，而鈣礬石則由於具層支撐結構，其在吸附較大之陰離子時所需之層間空間膨脹將會受到限制，也因此水鋁鈣石和鈣礬石對含氧陰離子之去除率有很明顯之不同。水鋁鈣石在有其它陰離子存在下對硼離子具有最低之去除率，但其仍然可將大部分陰離子之濃度降低至排放標準以下，相反的，鈣礬石對各種陰離子則具有較低之去除率，但對硼離子之去除則具有最高之選擇性，其對各種陰離子之去除率依下列順序遞減： $B(OH)_4^- > SeO_4^{2-} > CrO_4^{2-} > MoO_4^{2-}$ 。實驗結果亦指出不論是水鋁鈣石或鈣礬石均不存在有所謂的陰離子競爭效應，換句話說，對某一陰離子而言，不論是單成分陰離子或陰離子混合物，其去除率幾乎是一樣的。針對這些實驗結果，他們認為有兩個機制可用於描述陰離子之去除效率，一為來自表面吸附的貢獻，二為陰離子的直接取代效應，對水鋁鈣石來說被取代的對象為位於層間之氫氧根離子，而對鈣礬石來說，被取代的對象則為位於柱間之硫酸根離子。針對此點，Myneni 等人(1997)曾經由吸附及沉澱實驗來探討鈣礬石對五價砷之去除效果並發現砷之取代效應較吸附佔優勢。其實若從鈣礬石的結構來看，由於其鋁柱是帶正電荷需要陰離子來平衡電荷，因此陰離子的取代將較佔優勢。相反的，由於鈣礬石顆粒之表面是帶負電，因此將會排斥陰離子，進而降低吸附之重要性。上述兩種推論指出對鈣礬石而言，陰離子之去除機制可能主要還是來自於陰離子的直接取代。針對水鋁鈣石而言，由於其顆粒表面帶正電

荷，因此表面吸附陰離子是可能的，另一方面，陰離子直接取代層間之氫氧根離子亦曾被報導過。至於為何水鋁鈣石及鈣礬石對硼之去除效果有如此大之差異，他們認為硼在水鋁鈣石及鈣礬石內之配位是相當不一樣的；硼在水鋁鈣石內是以三面體配位而以  $\text{HBO}_3^{2-}$  的型式存在，但在鈣礬石內則為四面體配位而以  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  的型式存在。由於硼在  $\text{pH} > 9.2$  以上的溶液中是以  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  的型態存在，因此當其進入水鋁鈣石之層間而變為  $\text{HBO}_3^{2-}$  時必定伴隨有電荷之改變。另一方面，此一過程亦伴隨有硼之配位型態由四面體轉為三面體，而此一過程要能夠發生則必須克服能量障礙，這也說明了為何水鋁鈣石在四種陰離子中對硼之去除效果是最差的原因了。相反的，鈣礬石之晶格並不像水鋁鈣石那麼容易變動且似乎要取代柱間之硫酸根離子時，陰離子之幾何形狀並不須跟它完全一致，換句話說，陰離子之幾何形狀並不是決定取代難易之關鍵因子，陰離子和硫酸根離之大小差異可能才是決定因素。依此，硼之所以具有最高之去除率可能是因為其和硫酸根離子之分子大小相近之故。

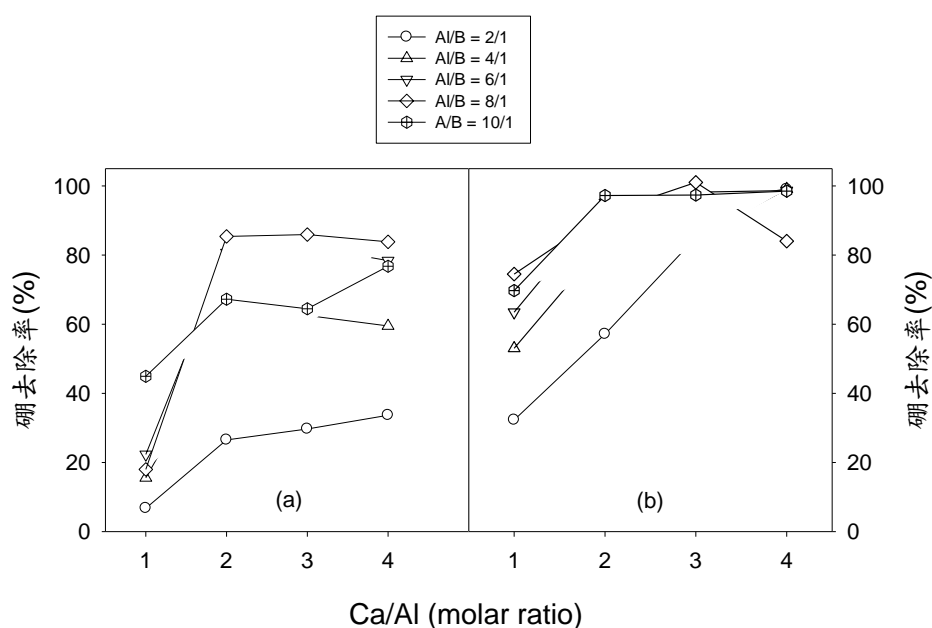


圖 4 硼去除率隨沉澱劑莫耳比之變化情形；(a) 產生水鋁鈣石的系統中，硼初始濃度約 76 ppm，反應時間 2 小時，反應溫度 30 °C。(b) 產生鈣礬石的系統中，反應前視氫氧化鈣之添加量決定是否調 pH。硼初始濃度約 380 ppm，反應時間 2 小時，反應溫度 30 °C

下面說明反應溫度及反應時間對水鋁鈣石及鈣礬石去除硼之影響。圖5 所示為在形成水鋁鈣石及鈣礬石的情況下，硼去除率隨反應溫度之變化情形。由圖可知當形成水鋁鈣石沉澱時，硼去除率隨溫度之增高先增高再降低，且在 30 °C 以上變化並不大，其中 25 °C 至 30 °C 間除硼效率



之大增則仍有待進一步之確認及解釋。圖5亦圖示對產生鈣礬石沉澱之系統，硼去除率隨反應溫度之變化情形。和上述產生水鋁鈣石的系統一樣，產生鈣礬石的系統對硼之去除率也是隨著隨溫度的提高而降低，從 30 °C 提高到 50 °C 時，硼去除率將由 99% 降至91%。若依此結果來看，實際應用時的確應將廢水之溫度降得越低越好，但值得注意的是，隨溫度升高硼去除率下降之幅度已大幅縮小，意謂對溫度之要求將較為寬鬆，而這也使得未來實際應用時將有較大之操作空間。圖 6 所示則為在形成水鋁鈣石及鈣礬石的情況下，硼去除率隨反應時間之變化情形。由圖可知對形成水鋁鈣石之鈣鹽-鋁鹽系統而言，反應時間60分鐘後硼之去除率才會較趨於平緩，此種結果可能和氫氧化鈣之溶解度較低有關係，由於溶解度較低，可能需較長的反應時間才能趨於穩定。實際應用時，若硼濃度較高時則較保險的反應時間可採90分鐘以盡量降低硼濃度，減少後續處理單元之處理負荷。另一方面，對產生鈣礬石之系統而言，由圖可知反應時間30分鐘時即有相當不錯之硼去除率，且在60~120分鐘內硼去除率之變動並不大；實際應用時，若硼濃度較高時則較保險的反應時間可採60分鐘以盡量降低硼濃度，減少後續處理單元之處理負荷。

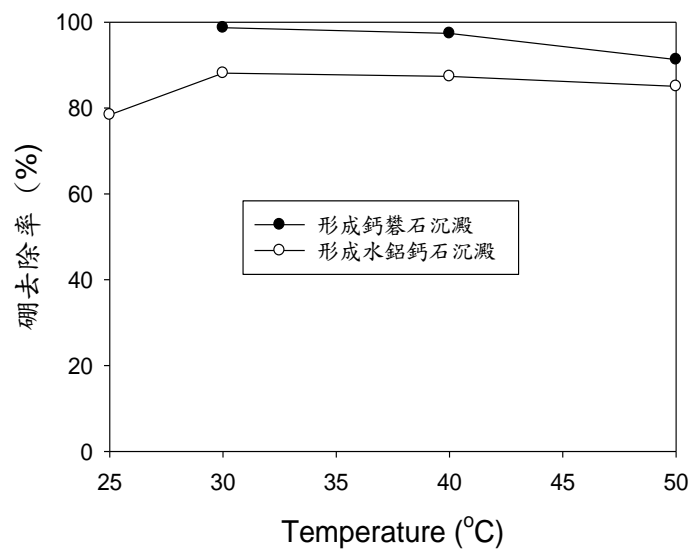


圖 5 硼去除率隨反應溫度之變化情形。產生水鋁鈣石的系統中，硼初始濃度約 376 mg/L，Ca : Al : B = 16:8:1，反應時間 2 小時。產生鈣礬石的系統中，硼初始濃度約 380 mg/L，Ca : Al : B = 12:6:1，反應時間 2 小時

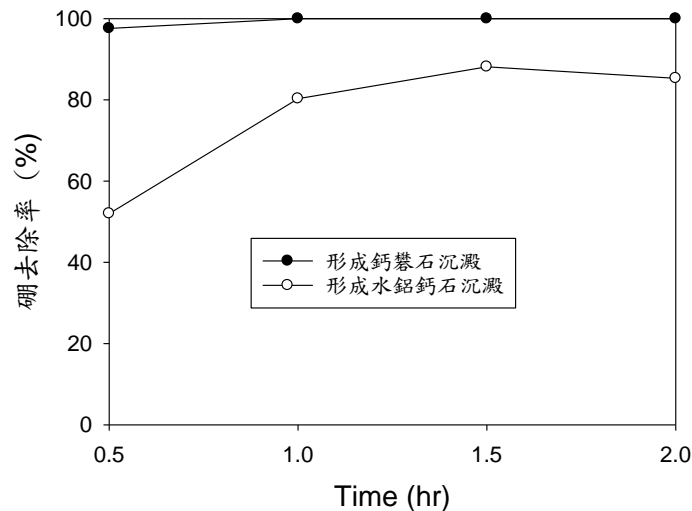


圖 6 硼去除率隨反應時間之變化情形。產生水鋁鈣石的系統中，硼初始濃度約 376 mg/L，Ca : Al : B = 16:8:1，反應溫度 30 °C。產生鈣礬石的系統中，硼初始濃度約 380mg/L，Ca : Al : B = 12:6:1，反應溫度 30 °C

如前所述，使用化學沉澱法去除硼離子時相當困擾的一個問題即是除了去硼外，其對水中其它共存陰離子污染物可能亦會有沉澱去除效果，此不但會干擾硼之去除效果，亦會增加藥品使用量及污泥產生量，因此相當值得測試。由表 3 可知，對產生水鋁鈣石沉澱物之鈣鹽-鋁鹽系統而言，各陰離子去除率由大到小之順序依序為： $\text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{B}(\text{OH})_4^- > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^-$ ，而對產生鈣礬石沉澱物之鈣鹽-鋁鹽系統而言，各陰離子去除率由大到小之順序則依序為： $\text{PO}_4^{3-} > \text{B}(\text{OH})_4^- > \text{F}^- > \text{NO}_3^- > \text{NO}_2^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 。

對沉澱物為水鋁鈣石而言，由實驗結果可知陰電荷較高之陰離子會被優先去除，因此磷酸根離子及硫酸根離子幾乎完全被去除，其中磷酸根離子除了會和水鋁鈣石進行陰離子交換及吸附作用外，其還可與鈣離子產生氫氧基磷灰石沉澱。另外，值得注意的是，由於人工廢水是上述陰離子之混合物，因此亦可能產生鈣礬石沉澱，而磷酸根離子則可能和鈣礬石中之硫酸根離子產生置換反應。至於硫酸根離子，除了會產生鈣礬石沉澱外，其亦可與鈣離子產生硫酸鈣沉澱，因此磷酸根離子及硫酸根離子會擁有最高去除率是可預期之事。而同為單價之陰離子中，氟離子由於除了會和水鋁鈣石(或鈣礬石)產生陰離子交換外，其亦會和鈣離子產生氟化鈣沉澱，因此去除效果最好。氯離子由於會和水鋁鈣石(或鈣礬石)產生弗氏鹽沉澱(Abate and Scheetz, 1993)，去除率位居第四，而硼之去除效果僅為 54% 排名第五，至於硝酸根離子及亞酸根離子之去除率則僅分別為 29.9% 及 9.7%。此一實驗結果意謂使用產生水鋁鈣石之鈣鹽-

鋁鹽系統進行化學沉澱除硼時，水中其他高價陰離子之干擾將會非常嚴重，即使同為單價之陰離子亦會產生相當程度之干擾，此點未來在實際應用時宜注意。

對產生鈣礬石之沉澱物而言，除了磷酸根離子、硼及氟離子擁有高去除率外，其他陰離子之去除率皆乏善可陳，此一結果顯示出鈣礬石對陰離子的高選擇性，而此一特性對於選用產生鈣礬石沉澱之鈣鹽-鋁鹽系統來去除硼將具有相當重要之應用潛能。

綜合言之，雖然均是使用鈣鹽-鋁鹽之化學沉澱系統，但所選用之藥品稍有不同所產生之沉澱物即有巨大差異，而反應在陰離子去除率上的差異則是選擇性的不同。對去除磷酸根離子而言，產生兩種沉澱物之鈣鹽-鋁鹽系統皆適合；對去除硫酸根離子而言，選用不含硫酸根離子之鋁鹽直接形成鈣礬石是較安全之選擇，較易操控，若要選擇含硫酸根離子之鋁鹽來去除硫酸根離子，則須精準控制鋁鹽之添加量，以使廢水中之硫酸根離子能完全進入鈣礬石之結構內而完全被去除。至於氟離子由於很容易和鈣離子產升氟化鈣沉澱，氟離子之去除有很大一部分是來自此沉澱之貢獻，但由於鈣礬石對氟離子之去除率仍大於水鋁鈣石沉澱物，因此仍以選用產生鈣礬石沉澱物之鈣鹽-鋁鹽系統為佳。對氯離子而言，很明顯的是水鋁鈣石之去除率要遠優於鈣礬石，因此當然以選用產生水鋁鈣石之鈣鹽及鋁鹽為佳。在這些測試的陰離子中，較受矚目的應是硼之去除。由表 3 之結果可知鈣礬石除了對硼有相當高之去除率外，同時對其他陰離子亦具有相當低之選擇性，因此若純粹考慮硼之有效去除則鈣礬石沉澱法應是可考慮之化學沉澱除硼法。

表 3 等莫耳( $9.25 \times 10^{-3}$ ) 陰離子混合物在  $\text{Ca} : \text{Al} : \text{陰離子} = 30 : 10 : 1(12 : 3 : 1)$ ，反應溫度  $25 (30)^\circ\text{C}$ ，反應時間 2(2)小時下各陰離子之去除率，所形成之沉澱物主要為水鋁鈣石(鈣礬石)

陰離子	初始濃度 (mg/L)	殘餘濃度 (mg/L)	去除率 (%)
$\text{B}(\text{OH})_4^-$	99(90.3)	45.6(2.8)	54.1(96.9)
$\text{F}^-$	125(154)	22(11.8)	82.4(92.3)
$\text{Cl}^-$	292(284.6)	103(290.1)	64.7(-1.9)
$\text{NO}_2^-$	395(383.7)	356.3(386.1)	9.7(-0.6)
$\text{PO}_4^{3-}$	750(1345)	0(0)	100(100)
$\text{NO}_3^-$	553(524.9)	442.9(501.9)	19.9(4.4)
$\text{SO}_4^{2-}$	831(948)	4.2(1097)	99.5(15.7)

#### 2.4.2 實際廢水測試結果

本研究亦曾使用某電鍍廠之鎳槽水洗水進行測試，其水質為： $\text{F}^-$  7.31 mg/L， $\text{Cl}^-$  987 mg/L， $\text{NO}_3^-$  2.76 mg/L， $\text{PO}_4^{3-}$  1.28 mg/L， $\text{SO}_4^{2-}$  11,220 mg/L及硼 538 mg/L。由上列數據可知鎳槽水洗水中除了含高濃度硼外，其亦含有高濃度氯離子及硫酸根離子。

表4所列為形成鈣礬石沉澱之鈣鹽-鋁鹽系統對實際廢水之測試結果。由表4可知，隨著Al : B莫耳比之增加，硼之去除率亦隨之升高，但此一升高趨勢亦會受到Ca : Al莫耳比之影響，當Ca : Al莫耳比大於3後，硼去除率將會快速大幅提升，此一結果和鈣礬石之組成是相吻合的，最後在Ca : Al : B = 12 : 3 : 1 時，硼去除率達最高值96.6%。在反應時間及反應溫度效應方面，由實驗結果可知反應時間最好在1.5小時以上，而反應溫度則是越低越好，最好不要超過 $30^\circ\text{C}$ 。使用氯化鈣取代氫氧化鈣仍有一樣高的硼去除率，唯一的差別在於需添加液鹼以調整pH值偏強鹼狀態。

表 4 使用鈣鹽-鋁鹽化學沉澱除硼之結果。反應步驟：先將氫氧化鈣加入，恆溫震盪10分鐘，再加入鋁鹽於30 °C下進行2小時反應，反應過程會調pH

第 1 次實驗		
Ca : Al : B	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)
4 : 4 : 1	67.5	-140.1
8 : 4 : 1	85.2	-78.1
12 : 4 : 1	95.5	4.5
16 : 4 : 1	95.4	51.9
第 2 次實驗		
Ca : Al : B	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)
6 : 2 : 1	79.2	-16.8
8 : 2 : 1	85.7	80.7
9 : 3 : 1	90.6	-34.3
12 : 3 : 1	96.6	85.2
第 3 次實驗		
Ca : Al : B	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)
3 : 1 : 1	49.8	2.0
4 : 1 : 1	58.1	42.9
5 : 1 : 1	65.6	57.9
6 : 1 : 1	75.2	60.2
第 4 次實驗 (Ca : Al : B = 12 : 3 : 1)		
反應時間(min)	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)
30	81.6	5.7
60	62.7	36.1
90	96.6	24.5
120	96.9	26.0
第 5 次實驗 (Ca : Al : B = 12 : 3 : 1)		
反應溫度(°C)	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)
30	96.9	26.0
40	91.1	23.4
50	56.6	34.0
第 6 次實驗		
Ca : Al : B	硼去除率 (%)	硫酸根去除率 (%)
9 : 3 : 1	64.0	-79.2
12 : 3 : 1	96.7	42.7

### 2.4.3 日本 NEC 除硼專利

在處理含硼廢水之相關專利方面，日本因含硼廢水處理的迫切性較高，NEC 很早就開始進行含硼廢水處理之研究，並且發佈了幾項有關硼去除之專利，包含新型螯合纖維法，NE-BF 法及 NE-B 法；其中新型螯合纖維法主要是利用 Chelest Corporation 所製造之 Chelest Fiber® 纖維狀吸附劑進行水中硼之吸附螯合，而被吸附濃縮於吸附劑上之硼則可經由對吸附劑進行再生程序後再進行硼酸之精製作業以回收再利用硼酸，此法之最大優勢是污泥量低。NE-BF 法主要是用於同時處理廢水中之氟及硼，在處理過程中，由於廢水中氟硼酸等四氟硼化合物  $BF_4$  中之硼分子和氟分子是相當穩固地結合在一起，為了能分別除硼及氟，在進到處理系統前需先於常溫下使用鋁藥劑將  $BF_4$  分解為硼分子和氟分子，由於不像傳統分解法需要加熱，因此可節省能源。至於 NE-B 法(見圖 7)則是以傳統混凝沉澱法為基礎並結合下列三種技術：消石灰二段添加、污泥回送及低溫預處理來處理含硼廢水，處理後廢水之硼濃度可小於 10 mg/L，符合日本放流水標準。在處理過程中，除了去硼以外，可同時去除重金屬類(砷)、懸浮物質、氟及磷(Gougar et al., 1996)。此法適合用於處理垃圾焚化廠水洗煤煙所產生之廢水及燃煤火力發電廠排煙脫硫設備所產生之廢水。其實 NE-B 法若從其所使用之原料，消石灰及鋁藥劑及所宣稱之適用廢水即可知其所採用之基本原理即為鈣礬石沉澱法，換句話說，應用所添加之消石灰及鋁藥劑，再配合廢水中已存在之硫酸根離子來產生鈣礬石沉澱。在產生鈣礬石沉澱的過程中，不但去除硼也同時去除廢水中之硫酸根離子，如上所述，所產生之鈣礬石亦可同時去除重金屬類物質、懸浮物質、氟及磷，達成多種污染物同時去除之目的。操作過程中的污泥迴流應是著眼於消石灰之溶解度不高，為使其利用率盡量達最大化及降低污泥量而採取的因應措施，至於廢水先經冷卻處理則意謂溫度越低越有利於反應之進行，另一原因則可能是為了降低添加消石灰時所導致的廢水溫度上升。

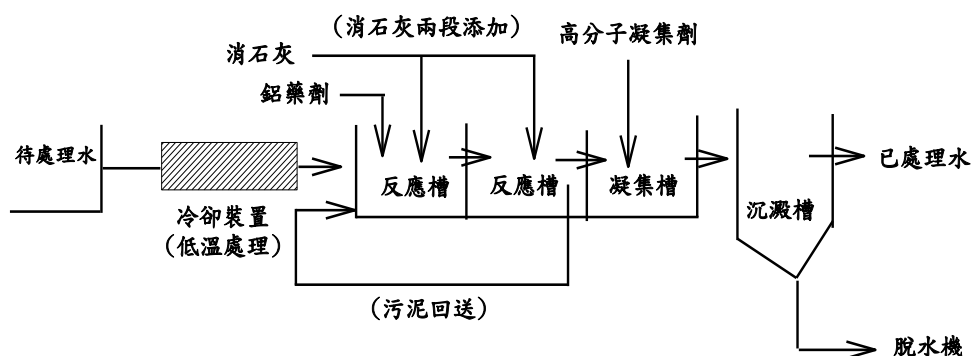


圖 7 NEC 所發佈之高效率含硼廢水處理技術(NE-B 法)之處理流程

### 三、討論

雖然使用鈣鹽-鋁鹽沉澱法來去除廢水中之有害陰離子是操作簡易且可能毋須再添加處理設備之可行方式，但仍須注意下列幾點：

1. 化學沉澱法的主要缺點就是藥品費用及污泥量的增加。針對藥品費用，由於合成水鋁鈣石及鈣礬石之主要原料有鈣、鋁、硫酸及鹼度，因此應仔細檢視廢水中已存有這些元素之量以調控降低須額外添加之量進而降低藥品費。搭配此作法的另一項工作就是一定要作沉澱實驗以獲得最適加藥量及最佳去除率之數據。針對污泥量之降低，若鈣鹽是使用氫氧化鈣，則由於其溶解度並不高(約 8%)，因此污泥中可能有部分是未溶解之氫氧化鈣所貢獻，因此除了需考慮調配消石灰溶液之濃度外，亦可考慮污泥迴流，除了可再利用未反應之氫氧化鈣外以降低藥品費外，亦可降低污泥量。
2. 沉澱反應需在偏鹼情況下才有利於水鋁鈣石及鈣礬石之生成且硼酸在 pH 為 9 以上時大部份是以  $B(OH)_4^-$  存在，此時才會有去除效果，因此若鈣鹽是使用溶解度較高且較安全之氯化鈣則尚需添加液鹼以保持 pH 值在 10 以上，此將增加藥品費用。
3. 有研究發現處於非晶態之鈣礬石具有更多可交換之硫酸根離子，進而有較高之陰離子去除率，因此可思考將反應條件設定於非晶態鈣礬石生成之條件以提高陰離子去除率(Hongo et al., 2011)。
4. 廢水處理過程中若為連續處理則加藥量相當難控制，因此處理硼時，建議盡量採分流處理及批次處理以提高加藥量控制之精確度及提高硼之處理效率。另一個常見的問題是廢水中之干擾陰離子濃度可能非常高(例如硫酸根離子濃度可能高達數萬 mg/L)而硼之濃度卻非常低(例如十幾 mg/L)，此時加藥量將非常難估算且所添加之藥品可能大部分用於和干擾陰離子產生沉澱物而非和硼產生沉澱，此不但使得硼之去除率下降，亦會大幅增加藥品費及污泥量。針對此種情況，或許可考慮先用硼選擇性離子交換樹脂將硼處理至符合放流標準，而離子交換樹脂再生所排之高濃度含硼廢液再使用化學沉澱法處理並將上澄液或濾液迴流至廢水處理廠進行後續之處理。

## 四、結論

化學沉澱法除硼可在現有之化學混凝程序中針對設備及加藥種類及加藥量作適度之修正即可達成，因此在實務上具有相當大之應用潛能。而在實際操作上則應注意 pH 值應偏鹼性(pH 值在此扮演兩個角色，一是穩定氫氧基磷灰石(鈣鹽-磷酸鹽法)或鈣礬石(鈣鹽-鋁鹽法)之形成，二是穩定欲去除之硼是以陰離子形態存在)，藥品費用及污泥量之降低，鈣鹽之選擇及加藥量之精準控制，而為獲得加藥量及硼去除率之正確資訊一定要先在實驗室進行測試，以使硼之去除效率及操作成本能獲得良好之控制及符合經濟效益。

## 參考文獻

1. 李柏宏、李中光(2016)，化學沉澱法去除廢水中陰離子污染物之研究，私立萬能科技大學環境工程系104學年度碩士論文。
2. 林孟儒、張維欽(2010)，以化學方法去除廢水中硼之研究，國立雲林科技大學環境與安全工程系 98 學年度碩士論文。
3. 林睿彥、黃耀輝(2015)，鋇系化學過氧沉澱程序回收高濃度含硼廢水中的硼，國立成功大學化學工程學系 103 學年度碩士論文。
4. 許振峯、游韋倫、張婉甄、黃文鑑(2012)，應用化學沉降及離子交換除硼技術之研究，中華民國環境工程學會 2012 廢水處理技術研討會論文集，p 1-1。
5. 黃國豪、黃耀輝、陳致君、彭淑惠(2005)，含硼廢水的處理方法，中國專利CN1211298C。
6. 劉兆歡、駱尚廉(2012)，利用沉澱法及逆滲透薄膜過濾法降低TFT-LCD廢水中硼及碘之濃度，國立臺灣大學環境工程學研究所100學年度碩士論文。
7. 劉佳勳、黃耀輝(2013)，以化學過氧沉澱(COP)技術回收含硼酸廢液研究，國立成功大學化學工程學系 101 學年度碩士論文。
8. 藍韋盛、黃耀輝(2012)，雙氧水對化學沉降處理高濃度含硼廢水影響之研究，國立成功大學化學工程學系 100 學年度碩士論文。
9. Abate C. and Scheetz B.E. (1993), Aqueous phase equilibria in the system  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ : the significance and stability of Friedels salt, *Journal of the American Ceramic Society*, 78(4): p 939-944.
10. Dydo P. and Turek M. (2013), Boron transport and removal using ion-exchange membranes: a critical review. *Desalination*, 310: p 2-8.



11. Gougar M.L.D, Scheetz B.E., Roy D.M. (1996), Ettringite and C-S-H portland cement phases for waste ion immobilization: a review, *Waste Management*, 16(4): p 295-303.
12. Hiraga Y., Shigemoto N. (2010), Boron uptake behavior during Ettringite synthesis in the presence of  $H_3BO_3$  and in a suspension of Ettringite in  $H_3BO_3$ , *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 43(10): p 865-871.
13. Hiraga Y., Shigemoto N. (2011), Performance of  $Ca(OH)_2-Al_2(SO_4)_3$  addition method in removing boron from wastewater discharged from flue-gas desulfurizer, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 44(4): p 286-293.
14. Hilal N., Kim G.J., Somerfield C. (2011), Boron removal from saline water: a comprehensive review, *Desalination*, 273(1): p 23-35.
15. Hongo T., Tsunashima Y., Sakai Y., Iizuka A., Yamasaki A. (2011), A comparative borate adsorption study of ettringite and metaettringite, *Chemistry Letters* 40(11): p 1269-1271.
16. Isa M.H., Ezechi E.H., Ahmed Z., Magram S.F., Kutty S.R.M. (2014), Boron removal by electrocoagulation and recovery, *Water Research* 51: p 113-123.
17. Itakura T., Sasai R., Itoh H. (2005), Precipitation recovery of boron from wastewater by hydrothermal mineralization, *Water Research*, 39: p 2543-2548.
18. Kabay N., Güler E., Bryjak M. (2010), Boron in seawater and methods for its separation-a review, *Desalination*, 261(3): p 212-217.
19. Kartikaningsih D., Shih Y.J., Huang Y.H. (2016), Boron removal from boric acid wastewater by electrocoagulation using aluminum as sacrificial anode, *Sustainable Environment Research*, 26(4): p 150-155.
20. Myneni S.C.B., Traina S.J., Logan T.J., Waychunas G.A. (1997), Oxyanion behavior in alkaline environments: sorption and desorption of arsenate in ettringite, *Environmental Science and Technology*, 31(6): p 1761-1768.
21. Nasef M.M., Nallappan M., Ujang Z. (2014), Polymer-based chelating adsorbents for the selective removal of boron from water and wastewater: a review, *Reactive & Functional Polymers*, 85: p 54-68.
22. Simon J.M. and Smith R.A. (2000), Borate raw materials. *Glass Technology—European Journal of Glass Science and Technology Part A*, 41(6): p 169-173.
23. Theiss F.L., Ayoko G.A., Frost R.L. (2013), Removal of boron species by layered double hydroxides: A review, *Journal of Colloid and Interface Science*, 402: p 114-121.
24. Tsai H.C. and Lo S.L. (2011), Boron removal and recovery from concentrated

- wastewater using a microwave hydrothermal method, *Journal of Hazardous Materials*, 186: p 1431-1437.
25. Tsai H.C., Lo S.L., Kuo J. (2011), Using pretreated waste oyster and clam shells and microwave hydrothermal treatment to recover boron from concentrated wastewater, *Bioresource Technology*, 102(17): p 7802-7806.
  26. Tua K.L., Nghiema L.D., Chivasb A.R. (2010), Boron removal by reverse osmosis membranes in seawater desalination applications, *Separation and Purification Technology*, 75(2): P 87-101.
  27. US Patent 3952085, C.A. 1975, V.85, 67352.
  28. Wolska J. and Bryjak M. (2013), Methods for boron removal from aqueous solutions-a review, *Desalination*, 310: p 18-24.
  29. Xu, Y. and Jiang J. (2008), Technologies for boron removal. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 47(1): p 16-24.
  30. Yilmaz A.E., Boncukcuoglu R., Kocakerim M.M. (2007), A quantitative comparison between electrocoagulation and chemical coagulation for boron removal from boron-containing solution, *Journal of Hazardous Materials* 149(2): p 475-481.
  31. Yoshikawa E., Sasaki A., Endo M. (2012), Removal of boron from wastewater by the hydroxyapatite formation reaction using acceleration effect of ammonia, *Journal of Hazardous Materials*, 237-238: p 277-282.
  32. Zhang M., Reardon E.J. (2003), Removal of B, Cr, Mo and Se from wastewater by incorporation into hydrocalumite and ettringite, *Environmental Science and Technology*, 37(13): p 2947-2952.

## 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

# 中華民國環境工程技師公會全國聯合會

## 第 10 屆第 8 次理監事聯席會議紀錄

- 壹、時間：中華民國 111 年 7 月 23 日上午 11 時
- 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— 楊基振、林玉青、高信福、姚宗岳、張天益、  
范綱智、黃啓明、林清洲、周奮興、徐永郎、  
王凱中、曾寶山、范振國、林永欽  
監事— 王朝民、劉劍輝、蕭友琳、黃義雄
- 肆、缺席人員：(無)
- 伍、請假人員：理事—許甫豪  
監事—林威安
- 陸、列席人員：(無)
- 柒、主持人：楊理事長基振
- 捌、記錄：歐諾宣
- 玖、報告事項：

### 一、第 10 屆第 7 次理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	111 年 1-3 月收支決算表提請理事會審議、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 2	
案由	111 度會員代表大會名冊提請審議
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

提案 3	
案由	111 年度會員代表大會延期提請討論。
決議	依說明辦理。
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. 會議（參閱下表）

日期	出席者	召開單位	會議名稱
111 年 5 月 13 日	楊理事長基振、 廖寶玫技師、 蔣本基教授	中華民國環境工程技師公會全國聯合會	ESG、碳排淨零課程規劃討論會議
111 年 6 月 6 日	林常務監事威安	行政院公共工程委員會	落實公共工程委託技師執行業務並簽證研商會議
111 年 6 月 28 日	楊理事長基振、 林常務理事玉青、 范理事振國、 吳昭宏技師、 許意旻技師、 謝玉玲技師	中華民國環境工程技師公會全國聯合會	「水污染許可簽證及受查核注意事項」討論會議
111 年 7 月 6 日	楊理事長基振 高常務理事信福、 范理事振國、 林常務監事威安、 陳冠霖技師、 陳義鴻技師	中華民國環境工程技師公會全國聯合會	「水污染防治許可簽證各階段檢核及受查注意事項」討論會議

### 2. 水污查核-會議（參閱下表）

日期	出席者	會議名稱
111 年 6 月 13 日	高召集人信福 全國聯合會、台灣省公會： 楊理事長基振 台北市公會：林理事長金德 高雄市公會：林理事長玉青 查核委員：劉委員敏信、游委員暉生	111 年上半年技師簽證查核缺失記點第一次審查會

日期	出席者	會議名稱
111 年 6 月 16 日	高召集人信福 全國聯合會、台灣省公會： 楊理事長基振 台北市公會：林理事長金德 高雄市公會：林理事長玉青 查核委員：劉委員敏信、謝委員文賓	111 年上半年技師簽證查核缺失記點第二次審查會
111 年 6 月 29 日	楊理事長基振、高召集人信福、 周委員裕晃、劉委員志仁	111 年上半年度環境工程技師執行水污染簽證業務查核複審(上半場)會議
111 年 6 月 29 日	楊理事長基振、高召集人信福、 周委員裕晃、劉委員志仁	111 年上半年度環境工程技師執行水污染簽證業務查核複審(下半場)會議

3. 水污核章件數：111 年共 213 件(截至 7 月 15 日止)

4. 與台灣省環境工程技師公會合辦視訊研討會：

- (1) 「111 年度企業永續研習課程」已於 111 年 6 月 25 日舉辦完成，  
參加人數共 135 位。
- (2) 「淨零排放轉型商機與挑戰研討會」已於 111 年 7 月 17 日舉辦完成，  
參加人數共 106 位。

5. 111 年 7 月 20 日與明志科技大學協辦「第十九屆環境保護與奈米科技研討會」

6. 111 年 8 月 16 日與中華民國環境工程學會辦理「2022『邁向碳排淨零之路』論壇」

### 壹拾、討論提案

提案 1· 提案人：理事長

案由：111 年 1-6 月收支決算表(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：高常務理事信福 連署人：楊理事長基振

案由：增訂「技師執行水污染簽證業務查核作業規範」執行辦法第二條第 3 項條文。

說明：因自 111 年度起環保署已不再提供本會查核水污染查核簽證案件名單，因此本會有必要增訂本執行辦法第二條第 3 項篩選查核案件辦法，做為日後選定查核案件依據。

辦法：經增列該條文如附件二，擬經本會理監事聯席會議同意後實施。

決議：修正後通過。

### 壹拾壹、散會

台灣省環境工程技師公會

## 台灣省環境工程技師公會

## 第 12 屆第 5 次理監事聯席會議記錄

壹、地點：本會會議室(台北市大同區長安西路 342 號 4 樓之 1)

貳、時間：中華民國 111 年 7 月 23 日上午 9 時 30 分

參、出席人員：理事—楊基振、張天益、高信福、劉劍輝、黃義雄、  
王志遠、范綱智、王凱中、陳俊明、徐永郎、  
黃啓明、周奮興、曾寶山

監事—姚宗岳、林清洲、吳慶龍

肆、缺席人員：(無)

伍、請假人員：理事—許甫豪、廖寶玫

監事—林威安、吳昭宏

陸、列席人員：(無)

柒、主持人：楊理事長基振

捌、記錄：朱冠穎

玖、報告事項

## (一) 第 12 屆第 4 次理監事會提案決議執行情形

提案 1	
案由	111 年度 1 月至 3 月經費收支提請審議。
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
提案 2	
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 3	
案由	提報 111 年度會員大會名冊，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

提案 4	
案由	修正本會「行政院公共工程委員會採購評選委員及財政部促參甄審委員專家學者推薦辦法」
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	111 年度會員大會延期提請討論。
決議	交由常務理事會決議，會員大會延至 111 年 8 月 27 日召開。
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 111 年 6 月 30 日止，繳交 111 年度常年會費者 577 人。

(三) 工作報告：

1. 專案計畫

(1) 「110 年度桃園市水污染防治專業技術審查計畫開口合約」

委託單位	桃園市政府環境保護局		
計畫主持人	黃啓明		
合約金額(含稅)	收入(未稅)	支出(未稅)	
2,585,000 元	809,952 元	787,595 元	
日期	內容		
1110406	檢送 3 月份工作月報		
1110506	檢送 4 月份工作月報		
1110519	檢送 5 月份工作月報		
1110607	檢送本次許可結案案件數量統計明細表 (書面審查：49 件/現勘審查：28 件)。		
1110620	召開第 4 期款驗收會議		



## (2) 「111 年度桃園市水污染防治許可管制計畫」

委託單位	台灣曼寧工程顧問股份有限公司
合約金額	2,000,000 元(含稅)
日期	內容
1110610	召開「111 年度桃園市水污染防治許可管制計畫」審查及現勘問題討論(視訊會議) 徐永郎、高信福、陳義鴻、林清洲、陳進財、林威安、廖寶玫、徐銘寬、陳冠霖、林永欽、呂旭晃、嵇達人、呂文奇、范綱智、謝文賓
截至 7/12 案件已登記 80 件。	

## (3) 「111 年桃園市固定源空氣污染管制計畫」

委託單位	台灣曼寧工程顧問股份有限公司
合約金額	1,000,000 元(含稅)

## 2. 委託案件

## (1) 「烏溪烏嘴潭人工湖工程」土壤及開挖廢棄物採樣鑑定案

委託單位	江豐營造股份有限公司	
執行人	林威安	
委託金額(含稅)	收入(未稅)	支出(未稅)
3,537,450 元	3,369,000 元	2,999,385 元
1110504	鑑定費出帳，本案結	

## (2) 「聚紡股份有限公司詐欺鑑定案」

委託單位	臺灣高等法院	
執行人	林永欽	
委託金額(含稅)	收入(未稅)	支出(未稅)
768,600 元	732,000 元	610,000 元
1110414	法院來函詢問鑑定結果	
1110420	鑑定報告書審查會(第 1 次)	
1110420	函復法院鑑定案進度	
1110506	鑑定報告書審查會(第 2 次)	
1110516	檢送鑑定報告書一式三份(含光碟)	
1110519	鑑定費出帳，本案結	

## (3) 「南投縣南投市水資源回收中心(第一期)新建統包工程」

委託單位	南投縣政府	
執行人	高信福	
委託金額(含稅)	收入(未稅)	支出(未稅)
21,000 元	20,000 元	18,500 元
1110411	驗收費出帳，本案結	

## (4) 「南投縣南投市水資源回收中心(第一期)新建統包工程」驗收複驗

委託單位	南投縣政府	
執行人	高信福	
委託金額(含稅)	收入(未稅)	支出(未稅)
13,860 元	13,200 元	12,000 元
1110607	來函委託驗收複驗	
1110608	檢送驗收複驗費用報價單乙份	
1110617	辦理複驗、檢附複驗請款發票乙紙	
1110621	驗收費入帳	
1110630	驗收費出帳，本案結	

## (5) 「污水處理場槽體更新為地上式污水系統工程」鑑定案

委託單位	衛生福利部南投啟智教養院	
執行人	范振國	
委託金額(含稅)	收入(未稅)	支出(未稅)
69,300 元	-	-
1110628	來函委託鑑定	
1110701	檢送鑑定計畫書乙份	

## (6) 固定污染源操作許可證委託審查

委託單位	南投縣環境保護局	
執行人	范振國	
	收入(未稅)	支出(未稅)
	130,708 元	111,708 元
1110425	第 4 期款及交通費入帳	
1110428	第 4 期款及交通費出帳	

## 3. 各委員會工作報告

	日期	委託/召開/ 來函單位	事由	說明
審查	1110420	臺南市政府 水利局	水質超標輔導改善事宜 (家新管理實業有限公司、永川醫院及富霖餐廳 企業有限公司)	黃理事義雄出席
	1110429	臺南市政府 水利局	「昕暉建設股份有限公司-永康區市政段 277、 2771 地號等 2 筆店鋪、 集合住宅新建工程」專用 下水道審查(書審)	黃理事義雄協審
	1110429	臺南市政府 水利局	「理銘開發股份有限公司-仁德區二空段 1064 地號等 1 筆店鋪、集合住 宅新建工程」專用下水道 審查作業(書審)	黃理事義雄協審
	1110516	嘉義縣民雄 鄉公所	「嘉 111 線周邊鄉有土地 規劃案委託技術服務」案 指派外審委員	吳監事昭宏擔任
	1110524	新北市政府 水利局	「111 年度新北市河川水 體底泥品質檢測」採樣計 畫書審查(視訊)	楊理事長基振出 席
	1110602	臺南市政府 水利局	「和都建設有限公司- 鹽水區鹽水段 1628-1 地 號等 1 筆集合住宅新建 工程」專用下水道審查 (書審)	黃理事義雄協審
	1110602	臺南市政府 水利局	「春田建設股份有限公 司-新營區金華段 909 地號等 1 筆集合住宅新 建工程」專用下水道審查 (書審)	黃理事義雄協審
法規	1110606	行政院公共 工程委員會	落實公共工程委託技師 執行業務並簽證研商會 議	林常務監事威安 出席
	1110708	環科工程顧 問股份有限 公司	「特定廢棄物或資源物 循環利用審核與填報訓 練說明會議」(視訊)	黃理事啓明出席

	日期	委託/召開/ 來函單位	事由	說明
紀 律	11110409	行政院公共 工程委員會	環境工程科技師○○○ 違失懲戒案	姚主任委員宗岳、 張委員天益、 林委員清洲、 吳委員昭宏、 吳委員慶龍、 楊理事長基振
	1110424	行政院公共 工程委員會	環境工程科技師○○○ 違失懲戒案	姚主任委員宗岳、 張委員天益、 林委員清洲、 吳委員昭宏、 楊理事長基振
	1110524	行政院公共 工程委員會	第十二屆技師懲戒委員會 及技師懲戒覆審委員會	指派張常務理事天 益、廖理事寶玫
	1110608	行政院公共 工程委員會	環境工程科技師○○○ 違失懲戒案	姚主任委員宗岳、 張委員天益、 林委員清洲、 吳委員慶龍、 楊理事長基振
學 術	1110510	11105-06 會訊	循環經濟為本之淨零排放-蔣本基	
			綠色及永續型整治概念應用與下階段發展 -王炳南、吳雅婷	
	1110708	11107-08 會訊	以都市代謝分析量化都市發展永續性 -李學姁、林子羿、黃湘瑜、闕蓓德	
傳統初沉污泥發酵作為加強生物去氮除磷之 配置-陳伯珍				

#### 4. 會務

- (1) 與中華民國環境工程技師公會全國聯合會合辦視訊研討會：  
「111 年度企業永續研習課程」已於 111 年 6 月 25 日舉辦完成，  
參加人數共 135 位。  
「淨零排放轉型商機與挑戰研討會」已於 111 年 7 月 17 日舉辦完成，  
參加人數共 106 位。
- (2) 111 年 7 月 20 日與明志科技大學協辦「第十九屆環境保護與奈米科技研討會」。

- (3) 111 年 8 月 16 日與中華民國環境工程學會協辦「2022『邁向碳排淨零之路』論壇」。
- (4) 與財團法人商業發展研究院簽訂臺中市政府經濟發展局「111 年度臺中市未登記工廠管理及輔導業務委託專業服務案」合作意向書，參與臺中市未登記工廠產學輔導團或專家諮詢服務等工作。

## 壹拾、提案討論

提案 1·

提案人：理事長

案由：110 年度收支決算表、資產負債表及基金收支表修正，提請審議。

說明：1. 如附件一。

2. 依內政部 111 年 2 月 18 日台內團字第 1110009429 號函財務書表之輔導意見「收支決算表『基金提撥』金額與基金收支表『本年度提撥』金額不一致」修正，110 年度收支決算提撥金 147,408 元應列入基金收支會務發展準備基金-本年度提撥。

決議：照案通過。

提案 2·

提案人：理事長

案由：111 年度 1 月至 6 月經費收支提請審議。

說明：如附件二(1 月至 6 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 3·

提案人：審查委員會

案由：新入會、退會會員名冊提請理事會審核。

說明：1. 新入會共 10 名，如新入會會員名冊卷宗檔。

2. 退會共 1 名，如退會會員名冊卷宗檔。

決議：照案通過。

提案 4·

提案人：審查委員會

案由：工程會專家學者推薦名冊提請理事會審核。

說明：推薦共 3 名(王志遠、林高州、范綱智)。

決議：照案通過。

提案 5·

提案人：理事長

案由：中華民國環境工程學會年會活動贊助之事宜，提請討論。

說明：如附件三。

決議：出席理事表決超過半數同意贊助 5 萬元。

提案 6 · 提案人：理事長

案由：111 年度會員大會相關籌辦事宜提請討論。

說明：

1. 111 年度會員大會訂於 8 月 27 日下午於臺大醫院國際會議中心(401)舉行。
2. 邀請中華民國環境工程學會林理事長正芳專題演講 1 小時。
3. 邀請中國工程師學會宣導講座 30 分鐘。
4. 親自出席者出席費 500 元。
5. 遠程會員車資補助：  
依執業或通訊地址搭乘高鐵及非搭乘高鐵金額計算給付，如附件四。  
(1) 搭乘高鐵：以票價 $\times 2 \times 93\%$  四捨五入取至百位數  
(2) 非搭乘高鐵：以台鐵票價 $\times 2 \times 93\%$  四捨五入取至百位數
6. 因疫情關係會後聚餐取消，改為簽退後發放餐費代金 500 元。

決議：照說明通過。

### 壹拾壹、臨時動議

提案 1 · 提案人：張常務理事天益 連署人：楊理事長基振

案由：本會大額提款方式提請討論。

- 說明：1. 本會零用金提領帳戶為台企銀活存及郵局劃撥，提款方式皆為公會章及理事長章並列提款。
2. 本會辦理鑑定案等費用以匯款至台企銀活存帳戶為主，因近期鑑定案委託數量及金額增加，建議加強控管大額提款。

辦法：1. 郵局劃撥帳戶提款增列常務監事章並列提款。

2. 金額達壹佰萬元以上之鑑定費匯款至郵局劃撥帳戶。

決議：依辦法辦理。

### 壹拾貳、散會