

113 年  
11-12 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 (<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：王志遠
- ◎ 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 113 年 11 至 12 月訓練積分課程表 | 8  |
| ■ 環保訊息                                | 10 |
| ■ 論述園地                                | 14 |
| 側流水捷徑除氮方法的努力與挑戰簡介-蔣守銘技師、陳伯珍技師         | 14 |
| 污水處理廠脫水濾液磷結晶效能提升之研究-中央大學秦維潔、莊順興教授     | 28 |
| ■ 徵稿啟事                                | 40 |
| ■ 各公會理監事會會議紀錄                         | 41 |

## 主編的話

污水處理的重點除去除生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)及懸浮固體物(SS)等污染物外,再來就是氮、磷的去除亦為重點。尤其污水中氮、磷為造成水體優養化的主要來源,常易引起關注。污水中氮、磷若僅藉傳統的二級生物處理,又較無法有效去除。因此目前多以AO(厭氧-好氧Anaerobic-Oxic)系統,或AAO(厭氧-缺氧-好氧Anaerobic-Anoxic-Oxic)系統等生物處理程序,較能有效去除。傳統上去除氮要先硝化,即氧化成硝酸鹽,然後再脫硝還原成氮氣始能去除,但氧化過程中往往需曝氣耗能,脫硝則需要額外增加碳源或加藥。而磷之去除需馴養出聚磷菌,使其先在厭氧段攝取有機碳之同時釋出磷,再於好氧段充分攝取磷,於固液分離後,再將含高濃度磷的污泥予以排出,達到磷之去除效果。而為研究出更有效,以及更經濟的污水中氮、磷處理方式,也是目前產學各界努力的目標。

因此本期會刊,第一篇特別分享淡江大學蔣守銘技師及陳伯珍技師編撰的「側流水捷徑除氮方法的努力與挑戰簡介」,說明污水處理程序中厭氧或好氧污泥消化產生的側流水,往往帶著高濃度的可溶性有機含氮化合物、氨和正磷酸鹽,並迴流到主要處理程序,這些來自消化污泥的迴流水稱為側流水,其中所含的營養鹽濃度,可能達水資源回收廠額外營養物負荷的30%。此時若採用傳統的硝化脫硝(NDN)方法,即先將氨氧化成硝酸鹽,再將硝酸鹽還原成氮氣去除,而亞硝酸鹽則是中間產物,此時池槽容積與設備需求都將因側流水而增加,此外還需要更多的曝氣量與能量消耗以滿足硝化的需求,有時還要增加脫硝所需的化學品及加藥系統。因此,減少曝氣和碳需求是開發先進側流水乃至主要處理程序營養鹽處理方法的目標之一,其中捷徑生物營養鹽去除法(shortcut biological nutrient removal)為最被看好能兼顧各種需求的處理方法,指經由亞硝酸鹽而非硝酸鹽將氨轉化為氮氣的程序。

第二篇為中央大學秦維潔碩士及莊順興教授分享「污水處理廠脫水濾液磷結晶效能提升之研究」,說明流體化床結晶(Fluidized Bed Crystallization, FBC)是目前從廢水中回收磷較具前瞻性的技術之一,相較於傳統的化學沉澱,其具有結晶的可分離性佳、純度高以及更快的沉降時間(Ye et al., 2016)。不過,FBC於污水處理廠實廠應用案例仍有限,實廠廢水之變動特性將對操作造成影響,因此需尋求最佳的操作條件,以提升磷資源再生之潛力。

上述文章,提供各位技師進一步探索可能的應用領域。立冬甫過,寒意漸濃,謹祝各位技師注意保暖,健康快樂,闔家平安。

## 會務報告

1. 113 年度常年會費繳費通知及記事本已於 112 年 11 月 20 日寄出，敬請尚未繳納 113 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，煩請告知公會以便及時修改檔案。
3. 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。
4. 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. 環境部中華民國 113 年 9 月 2 日環部主字第 1131057012 號令，廢止「行政院環境保護署環境品質諮詢委員會組織規程」。
2. 環境部中華民國 113 年 9 月 2 日環部循字第 1136116280 號公告，預告修正「應回收廢棄物責任業者管理辦法」部分條文草案。
3. 環境部中華民國 113 年 9 月 2 日環部空字第 1131052244B 號公告，預告修正「公私場所固定污染源違反空氣污染防制法應處罰鍰額度裁罰準則」第 3 條附表 1、附表 2 草案。
4. 環境部中華民國 113 年 9 月 5 日環部授管字第 1137125205 號函，修正「垃圾資源回收（焚化）廠營運階段提供回饋金要點」，名稱並修正為「垃圾能資源回收（熱處理）廠營運階段提供回饋金要點」，自即日生效。
5. 環境部中華訂定「溫室氣體減量效益核發及帳戶管理作業要點」，並自即日生效。
6. 環境部中華民國 113 年 9 月 10 日環部授氣字第 1139110124 號函，訂定「溫室氣體減量效益核發及帳戶管理作業要點」，並自即日生效。
7. 環境部中華民國 113 年 9 月 13 日環部授研字第 1135111589 號公告，預告訂定「水中新興污染物檢測方法－液相層析串聯式質譜儀法（NIEA W545.51B）」草案。
8. 環境部中華民國 113 年 9 月 13 日環部授研字第 1135111850 號公告，預告廢止「初級固體生質燃料中硫、氯含量檢測方法（NIEA A219.01B）」。
9. 環境部中華民國 113 年 9 月 13 日環部授研字第 1135111849 號公告，預告訂定「固態生質燃料中硫、氯含量檢測方法（NIEA A219.02B）」草案。
10. 環境部中華民國 113 年 9 月 19 日環部授研字第 1135112088 號公告，預告「固態生質燃料中水分測定方法（NIEA A217.01C）」草案。
11. 環境部中華民國 113 年 9 月 19 日環部授研字第 1135112079 號公告，預告廢止「初級固體生質燃料中水分測定方法（NIEA A217.00C）」。
12. 環境部中華民國 113 年 9 月 19 日環部授研字第 1135112002 號公告，預告訂定「固體再生燃料中硫、氯、氟及溴含量檢測方法（NIEA M217.01C）」草案。
13. 環境部中華民國 113 年 9 月 19 日環部授研字第 1135111953 號公告，預告訂定「固體再生燃料中水分檢測方法（NIEA M214.01C）」草案。
14. 環境部中華民國 113 年 9 月 23 日環部空字第 1131059084 號公告，預告修正「加油站油氣回收設施管理辦法」草案。
15. 環境部中華民國 113 年 9 月 24 日環部授研字第 1135112258 號公告，預告訂定「固態生質燃料中元素檢測方法（NIEA A311.01C）」草案。
16. 環境部中華民國 113 年 9 月 24 日環部授研字第 1135112280 號公告，預告訂定「固態生質燃料採樣方法（NIEA A104.01C）」草案。

17. 環境部中華民國 113 年 9 月 24 日環部授研字第 1135112301 號公告，預告訂定「固體再生燃料採樣方法 (NIEA M195.01C)」草案。
18. 環境部中華民國 113 年 9 月 24 日環部授研字第 1135112259 號公告，預告廢止「初級固體生質燃料中元素檢測方法 (NIEA A311.00C)」。
19. 環境部中華民國 113 年 9 月 24 日環部授研字第 1135112281 號公告，預告廢止「初級固體生質燃料採樣方法 (NIEA A104.00C)」草案。
20. 環境部中華民國 113 年 9 月 24 日環部綜字第 1131061408 號函，修正「行政院環境保護署政府資訊公開要點」，名稱並修正為「環境部政府資訊公開要點」，自即日生效。
21. 環境部中華民國 113 年 9 月 25 日環部授研字第 1135112514 號公告，預告訂定「固態生質燃料發熱量檢測方法—彈卡計法 (NIEA A218.02C)」草案。
22. 環境部中華民國 113 年 9 月 25 日環部授研字第 1135112513 號公告，預告廢止「級固體生質燃料發熱量檢測方法—彈卡計法 (NIEA A218.01C)」。
23. 環境部中華民國 113 年 9 月 26 日環部水字第 1131062607B 號公告，預告修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」，部分條文及第 60 條附表 1 修正草案。
24. 環境部中華民國 113 年 9 月 27 日環部授管字第 1137127108 號函，修正「環境部環境衛生用藥劑及防疫物資管理要點」第 4 點，自即日生效。
25. 環境部中華民國 113 年 9 月 30 日環部空字第 1131062467 號公告，修正「空氣品質標準」第 3 條、第 4 條條文。
26. 環境部中華民國 113 年 9 月 30 日環部授管字第 1137127317 號函，修正「辦理垃圾處理方案及鼓勵公民營機構興建營運垃圾焚化廠推動方案建設獎勵金執行要點」，自即日生效。
27. 環境部中華民國 113 年 10 月 1 日環部循字第 1136119673 號函，修正「辦理垃圾處理方案及鼓勵公民營機構興建營運垃圾焚化廠推動方案建設獎勵金執行要點」，自即日生效。
28. 環境部中華民國 113 年 10 月 1 日環部空字第 1131059931 號公告，修正「環境部審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」，自即日生效。
29. 環境部中華民國 113 年 10 月 1 日環部水字第 1131063245 號函公告，訂定「事業廢水處理綠色轉型專案貸款信用保證實施要點」，自 114 年 1 月 1 日生效。
30. 環境部中華民國 113 年 10 月 7 日環部授研字第 1135112591 號公告，預告訂定「燃料中灰分及可燃分檢測方法 (NIEA M215.01C)」草案。
31. 環境部中華民國 113 年 10 月 7 日環部授研字第 1135112591 號公告，預告訂定「固體再生燃料中金屬及微量元素檢測方法 (NIEA M360.02C)」草案。
32. 環境部中華民國 113 年 10 月 8 日環部授研字第 1135112790 號公告，預告訂定「水中全氟與多氟烷基物質檢測方法—液相層析串聯式質譜儀法 (NIEA W542.52B)」草案。



33. 環境部中華民國 113 年 10 月 8 日環部授研字第 1135112726 號公告，預告訂定「碳、氫、硫、氧、氮元素含量檢測方法—元素分析儀法(NIEA M403.03B)」草案。
34. 環境部中華民國 113 年 10 月 8 日環部授研字第 1135112790 號公告，預告訂定「固體再生燃料發熱量檢測方法—彈卡計法(NIEA M216.01C)」草案。
35. 環境部中華民國 113 年 10 月 8 日環部授研字第 1135112727 號公告，預告廢止「碳、氫、硫、氧、氮元素含量檢測方法—元素分析儀法(NIEA M403.02B)」。
36. 環境部中華民國 113 年 10 月 8 日環部授管字第 1137127209 號函公告，修正「行政院環境保護署處理垃圾焚化廠發生緊急事件通報及作業要點」，名稱並修正為「環境部處理垃圾焚化廠發生緊急事件通報及作業要點」，自即日生效。
37. 環境部中華民國 113 年 10 月 9 日環部保字第 1131062671 號公告，預告修正「環境影響評估法施行細則」第 53 條及第 12 條附表 1、第 19 條附表 2 修正草案。
38. 環境部中華民國 113 年 10 月 9 日環部空字第 1131064952 號公告，預告修正「老舊車輛汰舊換新空氣污染物減量補助辦法」修正草案。
39. 環境部中華民國 113 年 10 月 14 日環部授循字第 1136120737 號函，修正「應回收廢容器回收清除處理補貼費率」附表，生效日期詳如附表。
40. 環境部中華民國 113 年 10 月 16 日環部空字第 1131067168 號函，「機車排放空氣污染物檢驗站設置及管理辦法」之機車排氣檢驗站檢驗時間相關行政函釋計 2 件，自即日起停止適用。
41. 環境部中華民國 113 年 10 月 17 日環部化字第 1138120897 號函，修正「鼓勵公民營機構興建營運垃圾焚化廠作業辦法」。
42. 環境部中華民國 113 年 10 月 18 日環氣淨字第 1139006758 號函，訂定「環境部氣候變遷署對民間團體、傳播媒體及學校補(捐)助要點」，自即日起生效。
43. 環境部中華民國 113 年 10 月 21 日環部化字第 1138121141 號公告，預告修正「列管毒性化學物質及其運作管理事項」公告事項第一項及第二項附表二、第三項附表三、第四項附表四草案。
44. 環境部中華民國 113 年 10 月 21 日環部保字第 1130018798D 號令，修正「行政院環境保護署專業獎章頒給辦法」，名稱並修正為「環境部專業獎章頒給辦法」。
45. 環境部中華民國 113 年 10 月 21 日環部氣字第 1139111514 號函，訂定「碳費徵收費率」，自 114 年 1 月 1 日生效。
46. 環境部中華民國 113 年 10 月 21 日環循綜字第 1136121012 號函，修正「環境部資源循環署補助資源循環創新及研究發展計畫作業要點」，自即日生效。

47. 環境部中華民國 113 年 10 月 22 日環部氣字第 1139111493 號公告，預告修正「溫室氣體管理基金收支保管及運用辦法」修正草案。
48. 環境部中華民國 113 年 10 月 22 日環部空字第 1131065505 號函，修正「中央空氣污染防制指揮中心設置及作業要點」，自即日生效。
49. 環境部中華民國 113 年 10 月 25 日環部循字第 1136120557 號公告，預告修正「容器回收清除處理費費率」公告事項第一項附表草案。
50. 環境部中華民國 113 年 10 月 28 日環部空字第 1131068202 號公告，預告修正「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」部分條文及第 11 條附表 1 草案。
51. 環境部中華民國 113 年 10 月 28 日環部空字第 1131067097 號令，修正「移動污染源違反空氣污染防制法裁罰準則」。

**行政院公共工程委員會核備 113 年 11 至 12 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  | BIM 營造施工模型軟體實務班第 08 期       | 113/11/17-113/12/22 | 高雄市土木技師公會         | 聯絡人：涂芯榕<br>電話：07-5520279<br>信箱：kpcea2@gmail.com                   |
| 2  | 113「公共工程經費電腦估價系統」PCCES 4.3  | 113/11/18-113/11/19 | 滕嘉企業社             | 聯絡人：梁韶芸<br>電話：0227088090<br>信箱：yilinp@ms44.url.com.tw             |
| 3  | 近零碳建築標竿案例觀摩參訪活動-場次三         | 113/11/22           | 工業技術研究院產業學院       | 聯絡人：蔡素甄<br>電話：03-591-8213<br>信箱：itri537404@itri.org.tw            |
| 4  | 國土計畫專業教育訓練-第二輪進階課程-第2場      | 113/11/23-113/11/24 | 中華民國都市計畫技師公會全國聯合會 | 聯絡人：施孟亨<br>電話：0919111828<br>信箱：lahenry@gmail.com                  |
| 5  | 113 年臺灣港務公司橋梁檢測人員培訓         | 113/11/26-113/11/27 | 財團法人中華顧問工程司       | 聯絡人：林伯勳<br>電話：02-87325567#1216<br>信箱：stephane@ceci.org.tw         |
| 6  | 2024 國際論壇：工程技術顧問的新世代挑戰與因應經驗 | 113/11/29           | 社團法人台灣工程技術顧問企業協會  | 聯絡人：陳麗如<br>電話：02-27326899<br>信箱：ttca888@gmail.com                 |
| 7  | 定型化契約(II)-工程契約              | 113/11/29-113/11/30 | 中華民國仲裁協會          | 聯絡人：胡慧麗<br>電話：02-27078672 分機<br>信箱：<br>service@arbitration.org.tw |
| 8  | 環境分析技術(第 73 期)講習會-南部場       | 113/12/06           | 社團法人中華民國環境分析學會    | 聯絡人：施侑萱<br>電話：03-5207581<br>信箱：ceas@ms22.hinet.net                |
| 9  | 國土計畫專業教育訓練-第二輪進階課程-第3場      | 113/12/07-113/12/08 | 中華民國都市計畫技師公會全國聯合會 | 聯絡人：施孟亨<br>電話：0919111828<br>信箱：lahenry@gmail.com                  |
| 10 | 公路橋梁維護管理研討會                 | 113/12/10           | 交通部高速公路局、交通部公路局   | 聯絡人：邱冠彰<br>電話：0911219712<br>信箱：kcchiu@tcrl.org.tw                 |
| 11 | 監造常見刑事責任探討                  | 113/12/11           | 台灣世曦工程顧問股份有限公司    | 聯絡人：李濬易<br>電話：02-87973567-8883<br>信箱：chunyi@ceci.com.tw           |
| 12 | 環境分析技術(第 73 期)講習會-臺北場       | 113/12/13           | 社團法人中華民國環境分析學會    | 聯絡人：施侑萱<br>電話：03-5207581<br>信箱：ceas@ms22.hinet.net                |



## 環保訊息 (資料來源：環境部)

- 113/09/09 【**環境部與美國環保署合作邀約東南亞國家齊聚臺灣 空污管制跨國合作大躍進**】  
為強化臺灣及東南亞區域空氣品質保護合作，環境部與美國環保署合作，辦理南亞暨東南亞區域空氣改善計畫(SSEA-AIR)，邀請蒙古、印尼、菲律賓、泰國、越南等 5 個國家共 9 位政府官員及學者來臺參與空氣污染管制策略交流。
- 113/09/09 【**國家環境研究院與國家災害防救科技中心簽署合作備忘錄，聚焦氣候變遷調適**】  
因應日益嚴峻的氣候變遷挑戰，環境部國家環境研究院與國家災害防救科技中心於 113 年 9 月 9 日簽署合作備忘錄。此次合作旨在整合雙方科技與研究資源，專注於氣候變遷調適的研發與應用，並提升國家在面對氣候變遷帶來的極端天氣與災害風險的韌性。
- 113/09/12 【**環境部預告修法，以掌握裝潢修繕廢棄物清除處理流向**】  
環境部為掌握裝潢修繕廢棄物清除、處理流向，依屬一般及事業不同廢棄物，分別預告修正「一般廢棄物回收清除處理辦法」第六條之二草案，及「以網路傳輸方式申報廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出及輸入情形之申報格式、項目、內容及頻率」公告事項第八項草案。
- 113/09/23 【**環境部預告加油站油氣回收設施管理辦法修正草案，強化加油站揮發性有機物排放管制**】  
為持續改善空氣品質及保護民眾健康，環境部於 113 年 9 月 23 日預告「加油站油氣回收設施管理辦法」修正草案，增訂管制加油站真空壓力調節閥及回收系統監測儀表功能、明定氣油比檢測儀器種類及判定方式，並要求油氣回收功能失效之加油槍停止使用，對於管理優良者給予定期檢測彈性空間，促使加油站業者自主檢查及維護防制設施，降低揮發性有機物逸散機會。
- 113/09/26 【**環境部預告修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」部分條文草案**】  
環境部於 113 年 9 月 26 日預告修正「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」部分條文草案，修正重點包括鼓勵高有機廢(污)水處理評估採行能源化措施、強化廢水中抗生素藥物及全氟化物等新興關注項目管理，減少事業檢測申報負擔等。

- 113/09/27 【**環境部輔導 SRF 合法合規 研訂辦法提升管理位階**】  
環境部針對全臺 66 家固體再生燃料(Solid recovered fuel, SRF)廠商的體檢結果出爐！本次體檢就廢棄物管理、進廠管理、設備管理及產品管理等面向進行輔導。整體輔導結果，製造廠有 52~70%符合，30~48%待加強；使用廠有 9 成以上符合，僅 6%待加強。
- 113/09/30 【**接軌國際 環境部修正發布「空氣品質標準」並調整空氣品質指標 達亞洲最嚴**】  
環境部部長彭啓明表示，自 113 年 5 月 20 日上任以來，陸續收到各界期盼空氣品質標準再加嚴的訴求，該部隨即於 6 至 8 月間在北、中、南舉辦三場研商會，廣泛蒐集各界意見。修正草案中原已有 8 項標準加嚴，經綜合考量健康防護、管制技術可行性及各界對於良好空氣品質的期盼，決定進一步加嚴原預告修正草案中部分空氣污染物的標準。
- 113/10/01 【**優化環評開發案空污增量抵換制度 施工及營運淨增量皆須抵換 落實企業社會責任**】  
為利審查環境影響評估開發案空氣污染物排放量增量抵換方式有一致審查原則，並提供開發行為環境影響評估審查參考，環境部於 113 年 10 月 1 日修正發布「環境部審查開發行為空氣污染物排放量增量抵換處理原則」。
- 113/10/07 【**環境部召開第 6 次碳費費率審議會 碳費徵收費率（草案）出爐**】  
碳費費率審議會於今(7)日上午召開第 6 次會議，本次會議確認費率審議過程已綜合考量我國溫室氣體減量現況、排放源類型、溫室氣體排放種類、排放量規模、自主減量情形及減量效果及不同費率對總體經濟(GDP)、物價水準(CPI)及個別產業的衝擊影響等因素，並經充分討論後，多數委員建議我國碳費徵收費率(草案):一般費率為 300 元/公噸 CO<sub>2</sub>e，對應技術標竿指定目標之優惠費率 B 為 100 元/公噸 CO<sub>2</sub>e，若進一步選擇國際減碳最高標準之行業別指定目標，其則可適用更優惠的費率 A 50 元/公噸 CO<sub>2</sub>e。
- 113/10/09 【**預告修正老舊車輛汰舊換新空氣污染物減量補助辦法**】  
環境部為推動淘汰老舊車輛政策，改善高污染車輛之排放，以提升空氣品質並朝向淨零排放目標邁進，前於 112 年 1 月 11 日訂定「老舊車輛汰舊換新空氣污染物減量補助辦法」，主要規範各車種（包括機車、小客貨車及大客貨車）汰舊換電動或低污染車輛後，將其減量效益歸屬給環境部，可獲得補助資格，

本次修正將補助申請期限 113 年 12 月 31 日延長至 115 年 12 月 31 日。

- 113/10/12 **【飲用水水質標準增訂 PFAS 年底發布隨即實施檢測，同步配套源頭管制】**  
環境部預告修正飲用水水質標準，增訂飲用水全氟及多氟烷基物質 (Per- and Polyfluoroalkyl Substances, PFAS) 濃度限值及檢測管理規定，加速法制作業公告後，將迅即加強抽驗，並同步持續強化源頭管理及檢測調查等配套作為。
- 113/10/13 **【徵收碳費不會造成綠色通膨 環境部籲請各界不要以錯誤資訊引發恐慌】**  
有關媒體報導引述臺中市政府經發局宣稱特定單一電廠繳費高達 15 億，將造成綠色通膨等資訊，環境部鄭重澄清，這是錯誤的訊息。依據氣候變遷因應法第 28 條規定，發電廠應繳交的碳費可扣除提供電力消費的排放量，意即發電廠只繳交廠內自用及線損排碳的碳費。碳費徵收對象可提出自主減量適用優惠費率，高碳洩漏風險行業的收費排放量有過渡調整作法。徵收碳費不會造成綠色通膨，環境部已完整公布碳費制度各項資訊，請各界不要因對制度不瞭解，發表對於碳費徵收的錯誤推論，而衍生不必要的困擾。
- 113/10/18 **【接軌國際趨勢 環境部預告修正「列管毒性化學物質及其運作管理事項」部分條文草案】**  
環境部今日預告列管全氟辛烷磺酸及其鹽類與相關化合物、全氟辛酸及其鹽類與相關化合物共 357 種全氟及多氟烷基物質 (Per and polyfluoroalkyl substances, PFAS) 為毒性化學物質，並增列壬基酚及壬基酚聚乙氧基醇化學物質種類，修正其運作事項管制相關化學物質，接軌國際管理趨勢。
- 113/10/22 **【中火二期減少燃煤增加燃氣 審查過程公開透明】**  
環境部強調台中電廠第二期環評係新建 4 部燃氣複循環機組，既有 10 部燃煤機組將有 4 部除役拆除，6 部轉為緊急備用，經專案小組秉持專業、公正、客觀進行審查，審酌中火二期減少燃煤增加燃氣，空污減量達 41%、溫室氣體減量達 33%，經討論後專案小組建議審查通過。
- 113/10/23 **【中環境部公告「碳費徵收費率」】**  
環境部依據碳費費率審議會決議之費率建議，核定碳費費率並完成相關法制作業程序後，於 113 年 10 月 21 日公告「碳費徵收費率」，並訂於 114 年 1 月 1 日生效。

➤ 113/10/25 【環境部循環署預告修正「容器回收清除處理費費率」】

環境部於 112 年 5 月 19 日公告修正之「物品或其包裝容器及其應負回收清除處理責任之業者範圍」，將塑膠襯墊及泡殼公告為應回收廢棄物，並與已公告回收之塑膠平板容器合併統稱為「平板包材」。而所納管之製造、輸入塑膠平板包材或進口公告裝填物品中含塑膠平板包材的輸入業者，均應自 114 年 5 月起依法登記為責任業者，並主動申報營業量、輸入量及繳納回收清除處理費，經審酌各項塑膠材質平板包材之回收清除處理成本與收益，訂定回收清除處理費率，並自 114 年 5 月 1 日起適用。



## 論述園地

### 側流水捷徑除氮方法的努力與挑戰簡介

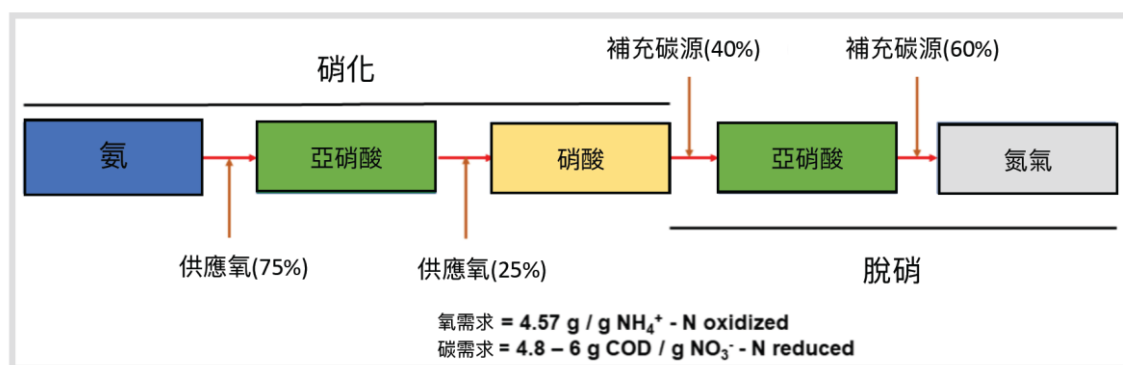
蔣守銘<sup>1</sup>、陳伯珍<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> 環境工程技師

<sup>2</sup> 淡江大學水環系兼任副教授退休

隨著水回收再利用越發重要，世界上許多地區都對水資源回收中心放流水中的營養物加嚴排放標準。水務部門在面對日益嚴峻的基礎設施老化、處理設施負荷滿載、資金和用地面積有限、以及越來越多對能源消耗、溫室氣體排放和實現循環經濟等要求下，要如何改善系統，達成去除水中營養鹽的目標呢？已經成功應用於側流 (Sidestream) 水處理，並朝向應用於主要處理程序 (Main Stream) 的捷徑除氮方法可能是一種選擇。

處理程序中厭氧或好氧污泥消化過程產生的側流水，帶著高濃度的可溶性有機含氮化合物、氨和正磷酸鹽，迴流到主要處理程序，這些來自消化污泥的迴流水稱為側流水，其中所含的營養鹽濃度，可能達水資源回收廠額外營養物負荷的 30%。主要處理程序若採用傳統的硝化脫硝 (NDN) 方法 (如圖 1)——氨氧化成硝酸鹽，硝酸鹽還原成氮氣，而亞硝酸鹽則是這兩個氧化和還原反應的中間產物——所需的池槽容積與設備需求都因側流水而增加，包括需要更多的曝氣量與能量消耗以滿足硝化的需求，有時還要增加脫硝所需的化學品及加藥系統。



資料來源：Shenoy, R., 2021

圖 1 傳統式硝化－脫硝流程示意圖

減少曝氣和碳需求是開發先進側流水乃至主要處理程序營養鹽處理方法的目標之一，其中捷徑生物營養鹽去除法 (shortcut biological nutrient removal) 為最被看好能兼顧各種需求的處理方法，指經由亞硝酸鹽而非硝酸鹽將氨轉化為氮氣的程序，包括亞硝酸鹽分流 (Nitrite shunt) 及部分亞硝酸化/厭氧氨氧化 (PNA/PdNA)。亞硝酸鹽分流是將銨鹽



直接經由亞硝酸鹽轉變為氮氣，此程序需要避免亞硝酸鹽氧化為硝酸鹽（如圖 2 上）；PNA/PdNA 方法是與 anammox 菌結合的應用，包括部分亞硝酸化-厭氧氨氧化 (Partial Nitritation-Anammox, PNA, 如圖 2 下) 及部分脫硝-厭氧氨氧化 (Partial deNitrification-Anammox, PdNA, 如圖 3) (Shenoy, R., 2021, Kirim, et al. 2022)，其反應途徑如圖 4 所示。

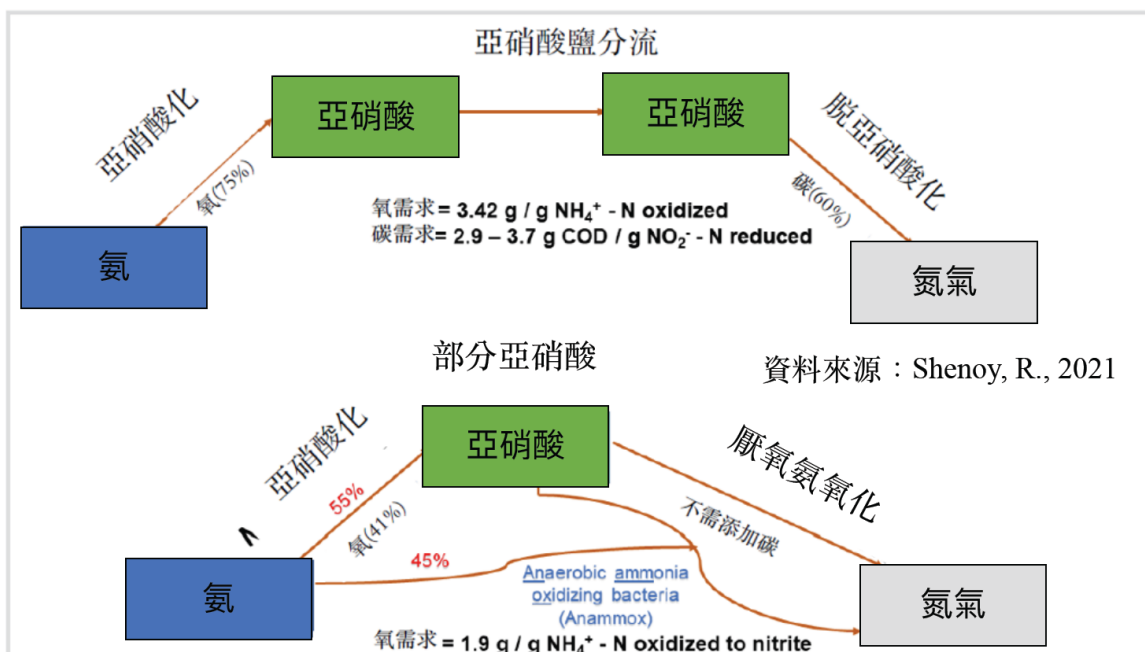


圖 2 亞硝酸鹽分流及部分亞硝酸化/厭氧氨氧化示意圖

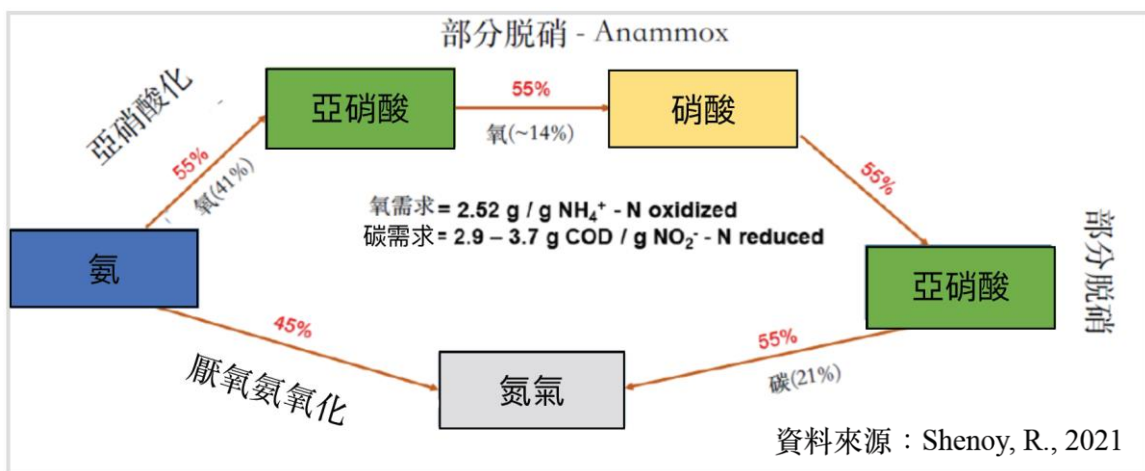


圖 3 部分脫硝 - 厭氧氨氧化程序流程示意圖

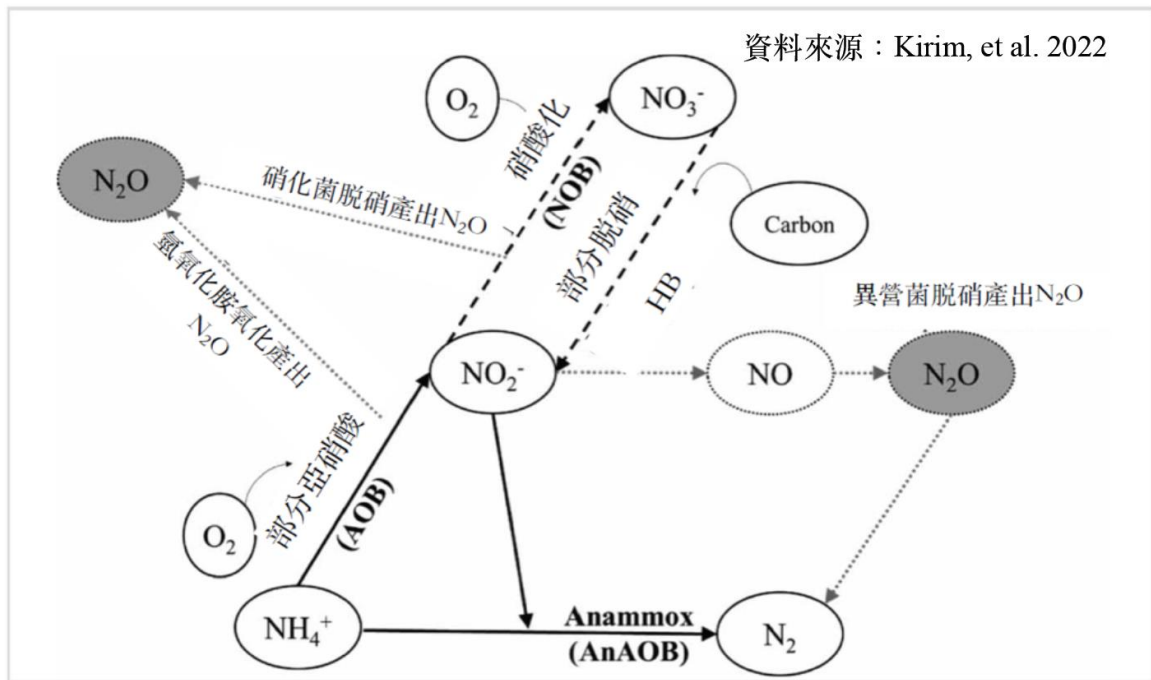


圖 4 部分亞硝酸/部分脫硝-厭氧氨氧化之氮過程與氧化亞氮排放路徑

陳伯珍(2024)說明了各種氮、磷營養源處理方法，包括各種硝化/脫硝方法，捷徑除氮的 Anammox® 法、部分硝化的 Sharon® 法，及二者組合的應用及實例等。林志高等(2021)也詳細說明了主要處理程序與側流水處理的水質概況、差異與處理方式，並列出氮轉換過程的各個計量方程式，以及捷徑除氮的亞硝化/反亞硝化(Nitritation/Denitritation)，部分亞硝化/厭氧氨氧化(PNA或Deammonification)等處理方式的設計參數、操作方式、問題與解決方法等，並介紹已發現的其他氮反應途徑，包括完全氨氧化(COMAMMOX)、厭氧甲烷氧化(N-damo)、硫酸鹽還原自營反硝化硝化一體化(SANI)等新興處理方法，對於未來營養鹽處理方式的趨勢，認為部分短程硝化/厭氧氨氧化(PNA)程序，可節能除氮並穩定處理污水，達成更嚴格的氮排放標準。除此之外已開發的技術還有在MBBR上結合Anammox法與AOB菌的ANITA® Mox法(Lemaire, R. and Christensson, M, 2021)等等，捷徑除氮仍在蓬勃的研發試驗及應用中。

上述方法中的亞硝酸鹽分流程序，對於氧的需求量降低，理論上系統可以在較低的溶氧(DO)濃度操作，而提高氧傳效率(OTE)並降低能源需求；且其脫硝需要的碳較少，即使進流水中沒有足夠的碳仍可以使用，並能降低補充碳源和生物質等相關的成本。PNA方法則只需要將部分氨亞硝化，從而將曝氣和鹼度要求降低到亞硝酸鹽分流法所需的近50%，且厭氧氨氧化菌不需碳，更可以降低化學品成本(Shenoy, R., 2021)。捷徑除氮程序已成功應用於全球100多個含高氮濃度的水資源回收廠的實廠側流處理，由於其具有能降低用地面積、能耗與溫室氣體排放的特

性，也被進行研發、測試與應用於主要處理程序上，然而在主要程序處理中應用捷徑除氮方法仍面臨許多挑戰，包括稀釋氮濃度、亞硝酸化 (nitritation) 的穩定性、亞硝酸鹽氧化細菌 (NOB) 的選擇性汰除、對季節變化的敏感性、需氧和 anammox 菌活性的平衡、曝氣控制等等。以下便簡單介紹技術進展的情況。

Huang et al (2022) 以模廠試驗發展一種部分脫硝結合厭氧氨氧化菌程序 (PdNA)，在缺氧/好氧附著生長式生物膜 (attached growth fixed biofilm) 的連續流反應槽中處理實際生活污水 (進流水質如表 1)。研究用的連續流 A/O 生物膜反應器有 9 個相同大小的隔間 (如圖 5)，前 4 室為缺氧區，接下來 4 室為好氧區，兩區的容積比為 1:1，最後 1 室則為出流水排放區。每一室內均投入 100 個 PE 材質的載體，填充率約為 33%，載體為 PE 材質，比表面積為  $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ；好氧區各室內溶氧濃度範圍為  $1.5 \sim 2.0 \text{ mg/L}$ ，植種污泥取自處理實際生活污水的實驗室規模內生呼吸期後脫硝及儲磷處理系統。

表 1 生活污水進流水質

| Concentration | COD (mg/L)   | $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/L) | $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg/L) | TN (mg/L)    | C/N            | Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|---------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|----------------|------------------------------------|
| Range         | 99-250       | 41-80                           | 0-1.1                           | 41-81        | 1.5-4.9        | 13.5-29.4                          |
| Mean value    | $148 \pm 37$ | $55 \pm 9.0$                    | $0.4 \pm 0.3$                   | $56 \pm 9.1$ | $2.68 \pm 0.7$ | 21.8                               |

資料來源：Huang et al, 2022

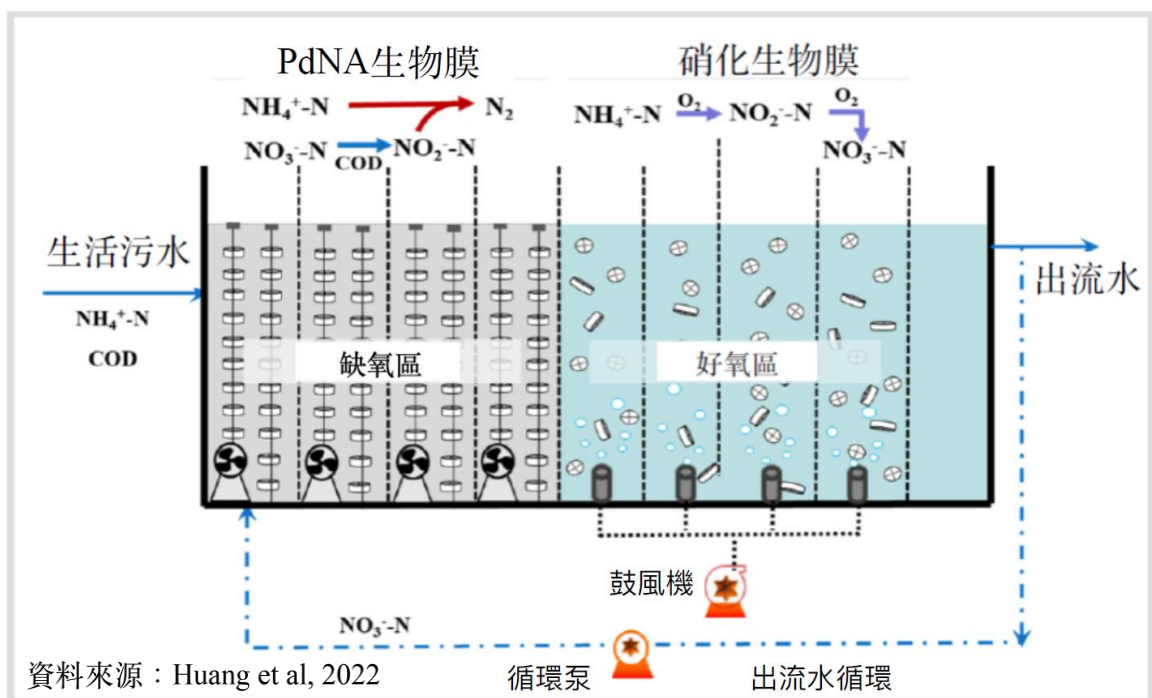


圖 5 PdNA 缺氧/好氧生物膜反應槽概要圖

整個操作程序共約 200 天，可分為 3 個階段，分別是生物膜形成(1~58 天)、脫硝過程的亞硝酸鹽累積(59~106 天)、及加入 anammox 污泥(107~199 天)，3 個階段的處理效果如表 2 及圖 6。操作 7 天後，COD 的去除率即從 68.7% 增加到 79.1%，這個階段出流水的 COD 濃度維持在 50 mg/L 以下，表示植種後異營菌恢復得比硝化菌快，硝化仍是系統啟動的限制步驟，且此時最終排放的出流水中的總氮濃度相對較高，大於 20 mg/L，原因是氮濃度偏高(如圖 6a, 6c)，而隨著硝化能力逐漸恢復，出流水中的氮濃度逐漸降低，此時其中的總氮濃度在第一階段維持在大約 15 mg/L，而出流水中硝酸鹽濃度最高達到 19 mg/L，表示由於原污水中有機碳不足，脫硝效果尚未建立起來。操作 50 天之後，銨鹽氧化效率從小於 1% 增加到超過 95%，且出流水中的銨濃度也低於 5 mg/L。操作 59 天後可以觀察到好氧區內的生物膜，銨鹽氧化的處理效率穩定維持在 95% 以上，顯示硝化作用完全恢復。

表 2 三個階段期間 A/O 生物膜系統的處理效果

| Phase | Time (day) | Influent Concentration (mg/L)   |                                 |          | Effluent Concentration (mg/L)   |                                 |                                 |          |
|-------|------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|
|       |            | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | COD      | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | COD      |
| I     | 1-58       | 61 ± 8.4                        | 0.25 ± 0.30                     | 184 ± 39 | 24 ± 19                         | 0.44 ± 0.25                     | 13 ± 5.8                        | 40 ± 9.3 |
| II    | 59-106     | 60 ± 11                         | 0.41 ± 0.39                     | 141 ± 29 | 2.3 ± 2.7                       | 0.41 ± 0.27                     | 16 ± 4.3                        | 35 ± 6.1 |
| III   | 107-199    | 50 ± 4.1                        | 0.48 ± 0.30                     | 128 ± 19 | 0.64 ± 0.6                      | 0.38 ± 0.24                     | 11 ± 2.0                        | 32 ± 8.2 |

資料來源：Huang et al, 2022



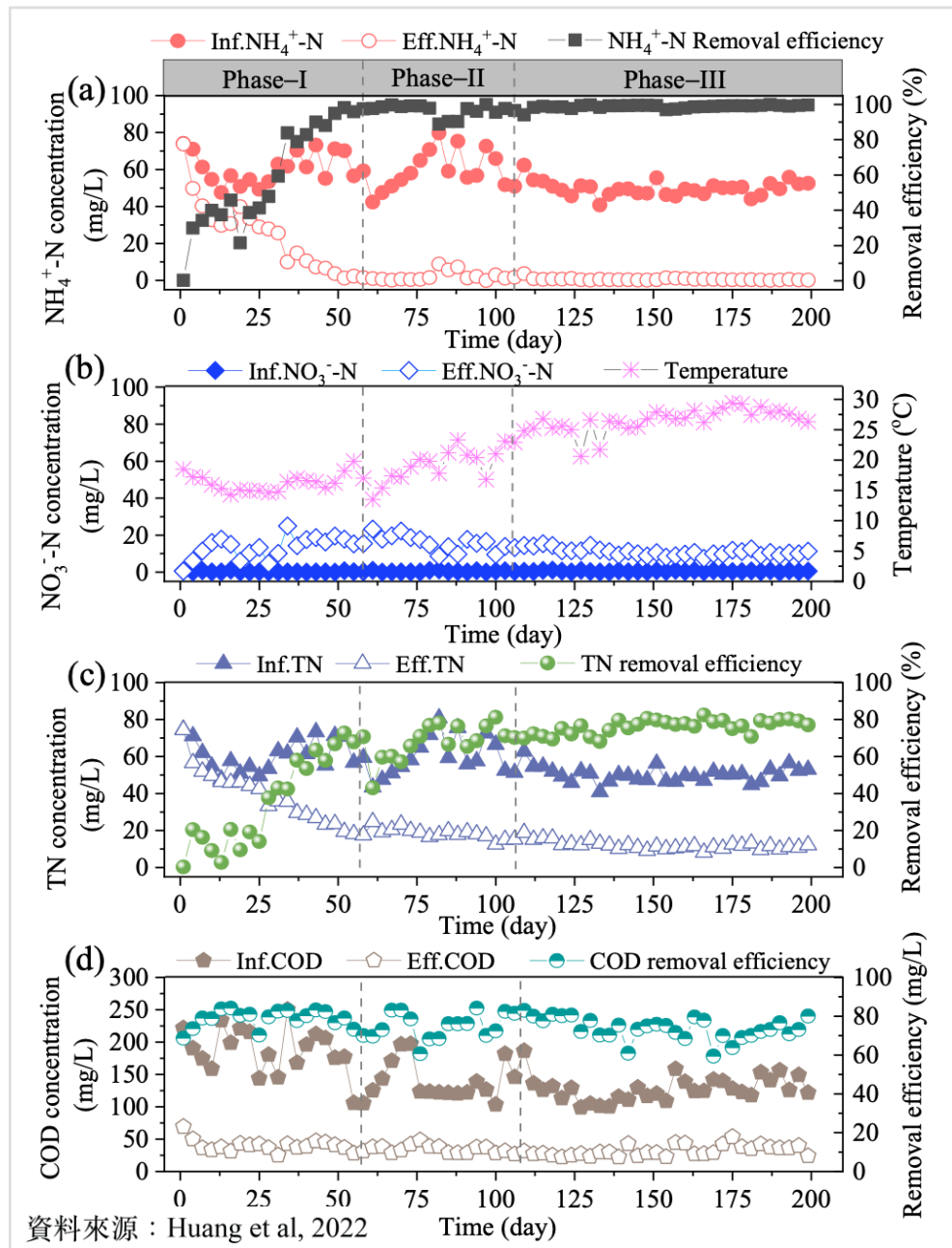


圖 6 連續流 A/O 生物膜中氮與 COD 去除的效果

- (a) 進、出流銨濃度及去除率
- (b) 硝酸鹽濃度與溫度
- (c) 進流與出流總氮濃度及去除率
- (d) 進流與出流 COD 濃度及去除率

67 天後在缺氧區內觀察到亞硝酸鹽累積，到 106 天時濃度已達到 6.0 mg/L，由硝酸鹽轉變為亞硝酸鹽的轉換比率 (nitrate-to-nitrite transformation ratio, NTRan) 為 64%，已經累積了相當高濃度的亞硝酸鹽，且從缺氧區的第一缺氧室到最後一個缺氧室都偵測到此現象。主要的原因是進流生活污水中缺乏充足的電子提供者讓硝酸鹽進行完整的還原作用，在此同時出流水中的硝酸鹽濃度降低，這種情況最可能的原



因是亞硝酸鹽的累積節省了還原硝酸鹽所需的電子提供者，結果是有機碳源增加，可以被用來還原剩餘的硝酸鹽，使得出流水中硝酸鹽濃度降低。因此該研究提供了一個在 A/O 生物膜系統中成功應用 Anammox 法的途徑，生活污水中的銨鹽相當豐富，如圖 6a 中到了缺氧區的尾端仍有充足的銨鹽濃度，故缺氧區中亞硝酸鹽的累積與銨鹽的餘量可以提供 anammox 菌有利的生長條件。

於缺氧區內植種富含 anammox 菌的污泥之後，總氮的去除率由 37.3% 增加為 78.0%，缺氧區中氮的濃度明顯的逐漸降低(如圖 6)，加入 anammox 菌之後，缺氧區末端的氮濃度由 19 mg/L 降低至 11 mg/L，且缺氧區的亞硝酸鹽累積的濃度由 6.0 mg/L 降低到操作結束時的 0.5 mg/L，表示 anammox 菌在此環境條件下藉由消耗氮和亞硝酸鹽以進行其活動。最終放流水中的硝酸鹽濃度也逐漸降低，從第 154 天到第 199 天的穩定操作，放流水中平均總氮濃度降為 11 mg/L，總氮的去除率增為 78%，比起第一階段時平均 37.3% 增加很多。這些數據顯示將 PdNA 用於 A/O 生物膜系統中處理實際生活污水以除氮是可行的。值得注意的是該生物膜系統中生物質量的生長很有限，操作結束時缺氧區中的平均 MLSS 大約是 1200 mg/L，好氧區則約是 700 mg/L，代表這一套 PdNA 生物膜系統可以達到大量去除氮的負荷率，卻只產生少量的污泥。試驗證實 anammox 菌能夠妥善有效保存在缺氧區的生物膜內，利用產生的亞硝酸鹽及原生活污水中的銨鹽維持生存，穩定操作下其含量達到 5.83%，經由 Anammox 路徑去除的總氮佔總去除量的 38%，其他去除量則為傳統脫硝途徑達成。

另一方面實驗也調查了關於高度亞硝酸鹽累積時程序內  $N_2O$  產生的情況，顯示由硝酸鹽還原成亞硝酸鹽的過程中， $N_2O$  的產生量很有限，這種情況可以用硝酸鹽只還原成亞硝酸鹽，而沒有進一步的還原來解釋。本研究也探討了在主要處理程序的 PdNA 中  $N_2O$  產生的情況，在 PdNA 程序中最大的  $N_2O$  累積只佔進流水中氮的 0.7%，遠低於傳統硝化—脫硝與一階段 PNA 報告的數據，且這麼小的  $N_2O$  數量在後續的反應中可能就會被耗盡而少有排放，故認為本處理程序可以緩解  $N_2O$  排放的溫室氣體問題。這主要應歸因於硝酸鹽轉向亞硝酸鹽的步驟，以及 anammox 菌氧化分解銨鹽時，微生物代謝作用產生的  $N_2O$  量很少。這種方法或許可以應用在主要污水處理流程中，以低能耗和低碳需求的條件進行除氮 (Huang, et al., 2022)。

已經成功應用於主要處理程序的捷徑除氮系統還很少，其中一個成功的案例是奧地利的 Strass 水資源回收中心。該中心採用的除氮程序是一套商業化的部分亞硝化/厭氧氨氧化捷徑除氮方法，名稱為 DEMON® 系統，DEMON 的名字來自 DE-amMONnification，採用懸浮式生長的活性污泥系統，其中混合著膠體與顆粒的活性污泥 (DEMON® Hybrid Granular and Flocculent Activated Sludge Process)。Strass 水資源回收中心分別使用了設置旋流分離器 (cyclone) 的 SBR 系統與搭配旋轉鼓式微細篩 (rotary drum micro-screening) 的連續流 (flow-through) 反應槽，並採用中段曝氣 (intermittent aeration)，兩者的設計氮負荷率約為 0.8 及 1.2kg TKN/m<sup>3</sup>-d，實際操作則 SBR 約為 0.7~1.0kg TKN/m<sup>3</sup>-d，連續流式反應槽則最高可達到 1.4kg TKN/m<sup>3</sup>-d (WRF, 2019)。

Strass 水資源中心的污水處理程序如圖 7，anammox 菌隨處理後的側流水流入並植種於主要處理程序 (A-B 程序，A 程序處理 BOD，B 程序則是捷徑除氮) 的 B 段，藉由旋流分離器或新的旋轉鼓式微細留在程序單元槽內，以延長其 SRT。該主要處理程序的總氮去除機制同時包含了傳統硝化—脫硝、亞硝酸鹽分流 (或稱為亞硝化/脫亞硝化)、以及厭氧氨氧化等 (WRF, 2019)。

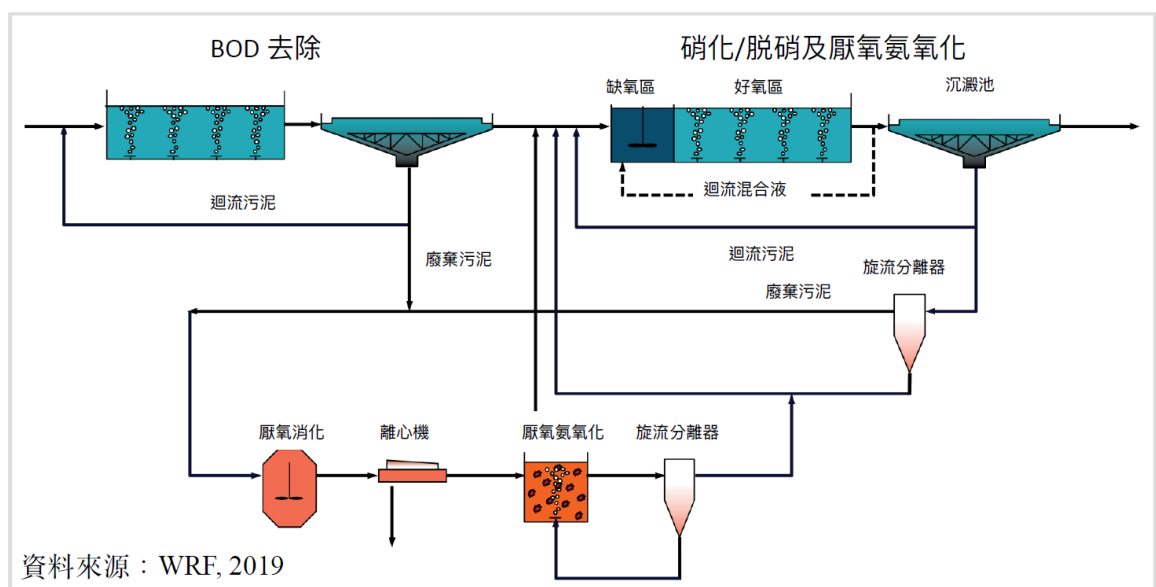


圖 7 Strass 污水處理及主要處理程序厭氧氨氧化系統流程圖

另一個在主要處理程序穩定操作的捷徑除氮—部分亞硝化及厭氧氨氧化系統，是新加坡的樟宜水資源中心，該中心採用懸浮生長式活性污泥，以分段配水法(step feeding)及好氧、缺氧條件交替式操作，來抑制 NOB 活動。由於位於熱帶地區，其污水水溫持續維持在大約 30°C，在此條件下該廠驗證在總氮去除量中 Anammox 途徑的作用佔約 37.5%，傳統脫硝則約佔 27.1%(Winklera and Straka, 2019)。Strass 和樟宜這兩座水資源中心，展示了捷徑除氮在主要處理程序中的能力，能夠減少進流污水中含碳有機物在傳統的脫硝處理時的使用，將其導向厭氧消化並進行能源回收，且可以減少曝氣所需的能源投入，裨益於導向能源自給自足的污水處理系統(WRF, 2019)。

目前捷徑除氮方法應用於主要處理程序仍還是少數案例，原因是還需要對捷徑除氮方法有更多的研究和瞭解。包括穩定運作需要妥善穩定的控制反應槽的進流量、pH 及溶氧，以平衡亞硝酸化及 Anammox 反應；以及另一項需要注意的操作重點，就是抑制與 anammox 菌競爭亞硝酸鹽的亞硝酸氧化菌(NO B)活動，或稱為 NOB 選擇性汰除(out-selection)，已知達成目標的操作策略包括以下各項(WRF, 2019)：

1. 控制好氧區的殘餘氮濃度(> 2 mg/L)：維持氮氧化菌(AOB)的活動，以增加 NOB 競爭溶氧的壓力並降低其 SRT，但若氮濃度的排放標準很低時，後續仍需要去除氮的單元。
2. 高溶氧濃度(> 1.5 mg/L)：主要目的是維持 AOB 的活動，有利於 NOB 汰除。這一點在不同處理廠或有不同的操作策略。
3. 充足的鹼度：維持 AOB 的活動。
4. 快速轉換至缺氧區並保留部分 COD：降低 NOB 取得溶氧的能力，並增加異營菌取得溶氧與降低亞硝酸鹽的活動。此外相較於 AOB，NOB 由好氧區轉換至缺氧區時，活動能力有延遲的現象，可能與其酵素的作用有關。
5. 限制好氧污泥停留時間：目的為維持 AOB 活動，同時限制 NOB 的生長，並希望將 NOB 洗出，故 SRT 操作在接近 AOB 的洗出(wash-out)SRT 附近。
6. 控制氮的氧化：不論主要處理程序或側流除氮處理，都需要控制氮氧化的程度，控制方法之一是 ABAC(ammonia-based aeration

control) 法，以線上量測氮濃度控制污水中的曝氣；另一個方法則是 AVN (ammonia versus NO<sub>x</sub>) 法，以線上 NH<sub>3</sub>-N 及 NO<sub>2</sub>-N 量測數據控制曝氣，目標為產生 1:1 的 NH<sub>3</sub>-N 及 NO<sub>2</sub>-N 比例，有益於 anammox 菌的生長及除氮。

7. 生物放大 (Bioaugmentation)：從側流水處理單元將 anammox 菌加入主要處理程序，植種並競爭亞硝酸鹽，也選擇性的分離留下 anammox 顆粒 (如前述 Strass 水資源中心的旋流分離器或旋轉鼓式微細篩)，區分其與膠體活性污泥的 SRT，讓 anammox 菌在主要處理程序中得到所需要的較高 SRT，以維繫其生長。同時也從側流水處理將已存在的 AOB 加入主要處理程序，可以降低其好氧污泥的 SRT，對 NOB 製造壓力。

個別處理廠使用的控制方式不盡相同，Strass 水資源中心採用的方法最主要是降低曝氣和缺氧混合操作的週期停留時間 (cycle time)，此外則是低溶氧與控制 pH，這可能是因為相較於氮氧化菌，NOB 的延遲作用時間比較長。整體來說，該廠在穩定操作的情況下，總氮的去除率可達到 80~85%，anammox 顆粒污泥也可以長時間停留在系統內。

對於需要考量多項設計或操作因素的側流水捷徑除氮方法，運用良好的數學模式相信會有很大的助益，目前開發者已經努力將各種捷徑除氮方法應用於主要處理程序除氮系統加以模式化 (Kirim, et al. 2022)，而各種方法在模式上的差異也是基於其途徑與機制的差異。例如亞硝酸分流 (nitrite-shunt) 的第一個步驟是銨鹽部分氧化為亞硝酸 (nitritation)，第二步驟為異營菌 (HB) 將亞硝酸鹽進行脫亞硝酸 (denitritation) 成為氮氣，若加入 anammox 菌 (PNA) 則將同時競爭銨鹽與亞硝酸鹽。銨鹽部分氧化為亞硝酸鹽需要氮氧化菌 (AOB)，異營菌則需要一些碳以進行脫亞硝酸，anammox 菌則在厭氧環境中，不需要碳，需要汰除亞硝酸鹽氧化菌 (NOB) 及減少脫亞硝酸鹽時使用的碳。亞硝酸分流程序已經成功被應用在側流水的處理 (如 SHARON 程序)，且希望以單一反應槽的方式將之應用於污水主要處理程序中，然而尚未被普遍應用，是因為對操作條件下 NOB 汰除的機制與脫亞硝酸時碳的可用性等，還缺乏完整的了解。

而部分脫硝 (PdNA) 過程中，進流水中部分銨鹽被氧化為硝酸鹽，接著由異營菌的脫硝酸鹽作用還原成亞硝酸鹽，得到混合的銨鹽與亞硝酸鹽，成為 anammox 菌的基質，這個過程不需要汰除 NOB，但是需要較 PNA 多一些的碳以進行部分脫硝。PdNA 比 PNA 路徑消耗的資源 (曝氣花費的能量和碳) 稍微多一點，然而相較於 NOB 汰除，此路徑亞硝酸鹽產生的過程已經瞭解清楚了。為了克服對外部碳源的需求，最近的研究指向利用污水中生物可緩慢分解的有機物，或是利用發酵產生可溶的微生物產物，另外以低碳及氧需求同時去除氮和磷可以藉由結合內生呼吸的部分脫硝與脫硝除磷法。

此外現行實驗室或模廠的程序方法包括了懸浮式、附著式或混合兩者的系統，也有一階段或二階段反應槽的方式。由於 anammox 菌生長速率緩慢，需要有足夠的固體物停留時間 (solid retention time, SRT) 才能在系統中保存。在一階段反應槽程序，所有生物動力反應都發生在一個初設和操作成本較低的反應槽中，如整合式固定膜活性污泥系統 (Integrated Fixed-film Activated Sludge system, IFAS) 被用於這些一階段系統以維持 anammox 菌，其中採用了生物膜程序或是混合了懸浮與附著生長的系統。而在二階段程序系統，部分亞硝酸化或全硝化 (好氧環境) 及脫硝或脫亞硝酸程序 (缺氧環境) 在不同的槽內進行，曝氣槽內可以用懸浮式或生物膜，Anammox 槽內則使用生物膜式的程序。

前述捷徑除氮方法應用在主要處理程序的模式化，對於理解處理方法及程序、決定最佳操作條件與控制策略，可以扮演重要的角色，但是對於實廠的程序模式和模式參數值目前尚未有共識，相關的議題包括 (Kirim, et al. 2022)：

1. NOB 汰除：NOB 汰除是主要處理程序應用的一大挑戰。在溫暖而富含氮的廢水中比較容易達成 NOB 汰除，然而溫度低或是主要處理程序進流水中所含的氮濃度較低，就不會有 FA 的抑制，NOB 汰除也不容易達成。前文中討論了 NOB 汰除的操作策略，其中控制溶氧以操控 AOB 和 NOB 是重要的控制策略，因為目前廣泛同意 AOB 的氧半飽和常數低於 NOB 的同一常數，使 NOB 在低氧濃度時不利於競爭氧。但是主導的 NOB 是 nitrobacter 或 nitrospira 等兩種主要 NOB 屬中的哪一種，也會影響溶氧控制篩除 NOB 的效果，若是 Nitrospira 佔優勢的系統有較高的氧親和性，其氧半飽和濃度小於 AOB，能適應低溶氧的環境，此方法的效果就不



佳。運用短暫缺氧法(transient anoxia)，提供 NOB 由兼氣轉換為好氧的延滯時間，或是限制亞硝酸鹽，則是另一種策略，藉由在兼氣條件下消耗亞硝酸鹽，異營菌侷限了 NOB 在好氧相中取得基質的可及性。故可知微生物群落的變遷和生物動力學的改變對於 NOB 汰除及模式化很重要，支持 AOB 存在的有利條件和經由不同控制系統使 NOB 較容易被汰除，只能在有限的現有模式中做到，但還有一些複雜的情況尚未納入模式化。

2. 部分亞硝化—脫硝：此程序可以用作二階段 PNA 程序的第一步，其受控制的好氧 SRT 讓亞硝酸分流(nitrite-shunt)變得較為容易；後續再使用厭氧氨氧化程序讓放流水質更佳。此方法被期待與硝化—脫硝同時在主要處理程序中操作，促進對進流水中有機物質的利用，可以在促進除氮的同時降低能耗，但難免因為脫硝利用進流水中的 COD，降低污水的碳前處理效率，而且要在部分亞硝化—脫硝同時做到可控制的硝化和脫硝，目前對於機制還不太清楚，另外也還不清楚應用亞硝酸分流於主要處理程序時穩定操作的策略。此方法的模式化需要考量與監控的範圍更大，但目前主流的研究與應用都朝向厭氧氨氧化而非此方法。
3. 部分亞硝化—厭氧氨氧化：異營菌廣泛存在於 Anammox 反應器中，且即使進流水中沒有有機物質，在生物膜反應槽中也占了 23% 的生物質量，因為 HB 可以用溶解性微生物產物或是自行分解的基質維生及生長，因此當要將 Anammox 法的化學計量方程式加以模式化的時候需要很小心。另外主要處理流程中 PNA 程序的模式輸出也強烈受到 anammox 菌的氧抑制係數(oxygen inhibition coefficient)影響，當質量傳送的阻抗大，AOB 的活動也會受到影響。目前模式模擬已經使用恆定態的模擬來評估 PNA 系統，但研究顯示在進流水條件變化的情況下，系統對溫度的波動具有較高敏感度，因此動態模擬(dynamic simulation)已被建議用來評估程序的可行性與長期的穩定性，但現在只有從事動態模擬的研究還不多。
4. 部分脫硝—厭氧氨氧化：早期 PdNA 程序用在二階段模廠規模的 PNA 系統，免除了 NOB 汰除讓 PdNA 程序成為很多研究的重點方向，然而 PdNA 模式化在面對不同程序配置(configuration)、基質濃度、氧化還原條件、及是否出現 anammox 菌情況下硝酸鹽如何還

原成亞硝酸鹽等多樣的情況時還有一些挑戰。PdNA 典型的應用是二階段系統，控制並使脫硝酸作用 (denitrataion) 與脫亞硝酸作用 (denitritation) 最大化是 PdNA 啟動與處理效果的關鍵，多重碳源如醋酸根、甘油、甲醇、醱酵的產物或內生呼吸所儲存的碳等已經被證明對部分脫硝是有效的，此外還有許多因素會影響部分脫硝的效率，如進流水的碳/氮比、pH、污泥停留時間與微生物族群的競合等。最近認為在主要處理程序中，影響部分脫硝效率的最主要是反應槽中的硝酸鹽濃度(硝酸鹽殘留量)，硝酸鹽殘留量已經被證明是在啟動階段控制 PdNA 與部分脫硝效率的有效方法，既然它和部分脫硝效率有很好的關聯性，也被成功的應用在程序控制上，故也在 PdNA 的模式建構上被當成一個關鍵的參數。

5. 捷徑除氮程序中的氧化亞氮排放：氧化亞氮主要由  $\text{NH}_2\text{OH}$  氧化、AOB 執行的硝化菌脫硝路徑、及由 HB 執行的異營性脫硝路徑等三種微生物途徑產生，如圖 4。氧化亞氮是溫室效應氣體，對水資源中心的碳足跡貢獻大，故準確的評估、模式化與減少氧化亞氮的排放相當重要。然而主要處理程序捷徑除氮系統的氧化亞氮排放模式化還有一些挑戰和不確定性，最大的不確定性來自缺少資料集 (datasets)，主要處理程序捷徑除氮系統實廠的氧化亞氮排放資料很少，從實驗室規模得到的資料顯示排放比例也可能會很高 (佔總無機氮去除量的  $5.2 \pm 4.5\%$ )，且很多捷徑除氮的評估缺乏氧化亞氮排放的資料。因此適當的氮物種資料與各種氮化合物的質量平衡很重要。另外氧化亞氮的程序模式很容易造成生物路徑的描述有過多的參數，從而影響氧化亞氮模式的校正。

以上雖然討論的是捷徑除氮方法應用於主要處理程序的模式化尚未做到的問題，卻也顯示出為何目前只有少數成功實廠案例的可能原因。數學模式最常被用來模擬不同操作劇本和成本效益情況下生物程序的行為，有助於對程序的理解與估算參數，快速進程序的最佳化與控制，評估是否需要後續處理單元與在實際條件下既有系統添加新技術的潛在效益等，可說模式化將有助於加速主要處理程序的實廠應用。目前的挑戰主要包括處理程序中微生物群落生長特性的偏移和適應，關鍵微生物群的模式並沒有考量重要的個別物種，及反映出其間的競爭並預測群落 (如 NOB) 的變遷，且不同形態的系統，如生物膜需要特定的次模式，還有液相與生物膜內微生物間的質量傳送等，加上由於高度亞硝酸鹽累積與

銨的轉換率，產出副產物的溫室氣體氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)等等。應用於主要處理程序的模式和參數值仍是眼前捷徑除氮方法模式化與實廠化的挑戰和努力方向，接下來還需要更進一步了解主要處理程序達成長期穩定操作的條件(例如負荷或溫度變化時)，進流廢水性質、基質的變化、微生物本身的動力學與其間的競爭等等。(Kirim, et al. 2022)。

各方的研究與可行的控制策略仍在發展當中，數學模式也同步在進行改善與調整，希望藉由模式模擬可以快速在不同的操作與環境條件中，找出適當的微生物競爭條件，成功最佳化模擬及操作捷徑除氮方法，將其妥善應用於主要處理程序中，讓未來的水資源回收中心更具有能源自給自足的潛力。

## 參考文獻

- [1] 林志高、黃靖修、劉穎川、胡振中、陳文興、黃良銘、黎德明、藍茜茹(2021)，廢(污)水生物處理氮轉化過程。工業污染防治第 152 期(Sep. 2021) p. 145~162。
- [2] 陳伯珍(2024)，生物去除營養源(Biological Nutrient Removal)(rev.1)，污水處理實務訓練班講義 WW-34。
- [3] Barnard, J.L. (1973), Biological Denitrification. *Water Pollution Control*, 72(6), p. 705~720.
- [4] Huang, Yu, Peng, Yongzhen, Huang, Donghui, Fan, Jiarui and Du, Rui. (2022) Enhanced Nitrogen Removal from Domestic Wastewater by Partial-Denitrification /Anammox in an Anoxic/Oxic Biofilm Reactor, Special Issue: Anammox-Based Processes for Wastewater Treatment. Edited by Dr. Albert Magrí and Dr. Tommaso Lotti. *Processes* 2022, 10, 109.  
<https://doi.org/10.3390/pr10010109>.
- [5] Kirim, Gamze et al. (2022) Mainstream short-cut N removal modelling: current status and perspectives. *Water Science & Technology* Vol 85 No 9, p. 2539.
- [6] Lemaire, Romain and Christensson, Magnus(2021), Lessons Learned from 10 Years of ANITA Mox for Sidestream Treatment, *Processes* 2021, 9, 863.  
<https://doi.org/10.3390/pr9050863>.
- [7] Shenoy, R. (2021), The Future of Wastewater Process Engineering.  
<https://www.linkedin.com/pulse/future-wastewater-process-engineering-ra-jesh-shenoy/>
- [8] Winklera, Mari K. H., Straka, Levi (2019), New directions in biological nitrogen removal and recovery from wastewater, *Current Opinion in Biotechnology*, Volume 57, June 2019, Pages 50-55.
- [9] WRF (The Water Research Foundation), (2019), Deammonification from the Nutrient Removal Challenge.

# 污水處理廠脫水濾液磷結晶效能提升之研究

秦維潔<sup>1</sup>、莊順興<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立中央大學環境工程研究所 碩士生

<sup>2</sup> 國立中央大學環境工程研究所 教授

## 一、前言

磷是人體及植物中不可或缺的重要營養素之一，因此常被利用於肥料、半導體以及火藥等工業製程上。隨著大環境的蓬勃發展，對於磷的需求也日益增加，由於磷礦作為不可再生資源，因此目前已有研究預測全球磷礦資源將在未來 100 年內耗竭 (Mew, 2016)。此外，現今環境中對於磷的再利用率低，導致大部分使用後的磷都隨著污水排至水體中，不僅造成資源的流失，更造成水體優養化等一系列環境問題。而面對大量的磷資源流失，如何有效地將其資源化及回收，並同時達到循環經濟，是現階段較受矚目的議題。

厭氧消化污泥脫水濾液是一種富含  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  以及少數正價離子 ( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ) 的廢水，而這些營養物質經過有機物水解後會被釋放 (Pastor et al., 2008)。目前研究指出，廢水中的磷可藉由鳥糞石或磷酸鈣等沉澱物的形成來進行回收 (Martín-Hernández et al., 2023)。鳥糞石為一種磷酸銨鎂鹽 ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )，其可作為緩釋肥料使用於農業上；而磷酸鈣 ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) 則可利用於工業石膏上。

此外，近年來流體化床結晶 (Fluidized Bed Crystallization, FBC) 技術越發成熟，也是目前從廢水中回收磷較具前瞻性的技術之一，相較於傳統的化學沉澱，其結晶的可分離性佳、純度高以及更快的沉降時間 (Ye et al., 2016)。不過，FBC 於污水處理廠實廠應用案例仍有限，實廠廢水之變動特性將對操作造成影響，因此需尋求最佳的流體化床操作條件，如濃度莫耳比及 pH 等影響因子，以提升磷資源再生之潛力。

## 二、磷資源及結晶技術

### 2.1 磷流佈概述

台灣於民國 111 年度所進口之磷化物，其總量 56.9 萬噸，總價值約為新台幣 190 億元，而目前台灣所進口各類別磷化物來自於四十九個國家，主要以俄羅斯、中國大陸、巴西以及約旦為主要進口國；分別為 14.1 萬噸、12.6 萬噸、12.5 萬噸以及 5.81 萬噸。而為了解台灣民國 111 年

度進口之總磷量，參考先前之計算方法(莊順興 等, 2022)，將進口 56.9 萬噸之磷化物，依進口及使用類別粗略分為三大部分，分別為磷酸肥及複合肥料、磷礦石粉以及磷化合物。在此統計化學磷肥及磷礦石粉之含磷量，並假設其他磷化合物於工業製程使用後排入工業廢水中。其結果如圖 1 所示，各項估算基準說明如下：

化學磷肥中的過磷酸肥，進口量依據農業部農糧署 2022 年統計報表，無過磷酸肥進口；含磷量計算則依據農業部農糧署統計報表以磷成分所佔比例 0.18 作為推估係數。複合肥料進口量依據農業部農糧署於 2022 年統計報表，進口量為 53,296 噸；含磷量計算則依據農業部農糧署統計報表以磷成分所佔比例 0.079 作為推估係數，因此化學磷肥之含磷量為 4,210 t-P/年。

磷礦石粉進口量依據農業部農糧署 2022 年統計報表，進口量約為 89,627 噸；含磷量計算則參考自然資源學報第 20 卷第三期，目前世界磷礦的品位在 5%~40% ( $P_2O_5$ ) 之間，大部分國家的磷礦品位都在 30% ( $P_2O_5$ ) 左右，故採平均值 30% ( $P_2O_5$ ) 估算其磷含量，因此磷礦石粉之含磷量為 11,740 t-P/年。

生活污水之估算，人口數依據 2022 年底內政部戶政司戶口統計資料，估算基準為 2,326 萬人；用水量依據水利署各項用水統計資料庫查詢，2022 年自來水生活用水量統計資料，每人每日污水量估算基準為 282 升；依國土管理署之「污水下水道設計指南」內容，每人每日污水量與生活污水量比值一般介於 0.8 至 0.9 之間，故每人每日污水量以 0.9 作為估算值；污水處理率依據民國 111 年度內政部國土管理署用戶接管普及率以及污水處理率統計資料，估算基準為 68.65%。生活污水產生量為每年 2,154,736,620 立方公尺，生活污水處理量為每年 1,479,226,690 立方公尺，直接排放量為每年 675,509,930 立方公尺。

若直接排放濃度以正磷酸鹽-磷濃度 5 mg/L 為估算基準，直接排放之磷量為 3,378 t-P/年。進流污水處理廠及建築物污水處理設施，進流水磷濃度以正磷酸鹽-磷濃度 5 mg/L 為估算基準，進流水之磷量為 7,396 t-P/年；放流水磷濃度以正磷酸鹽-磷濃度 2 mg/L 為估算基準，排放至承受水體之磷量為 2,925 t-P/年。



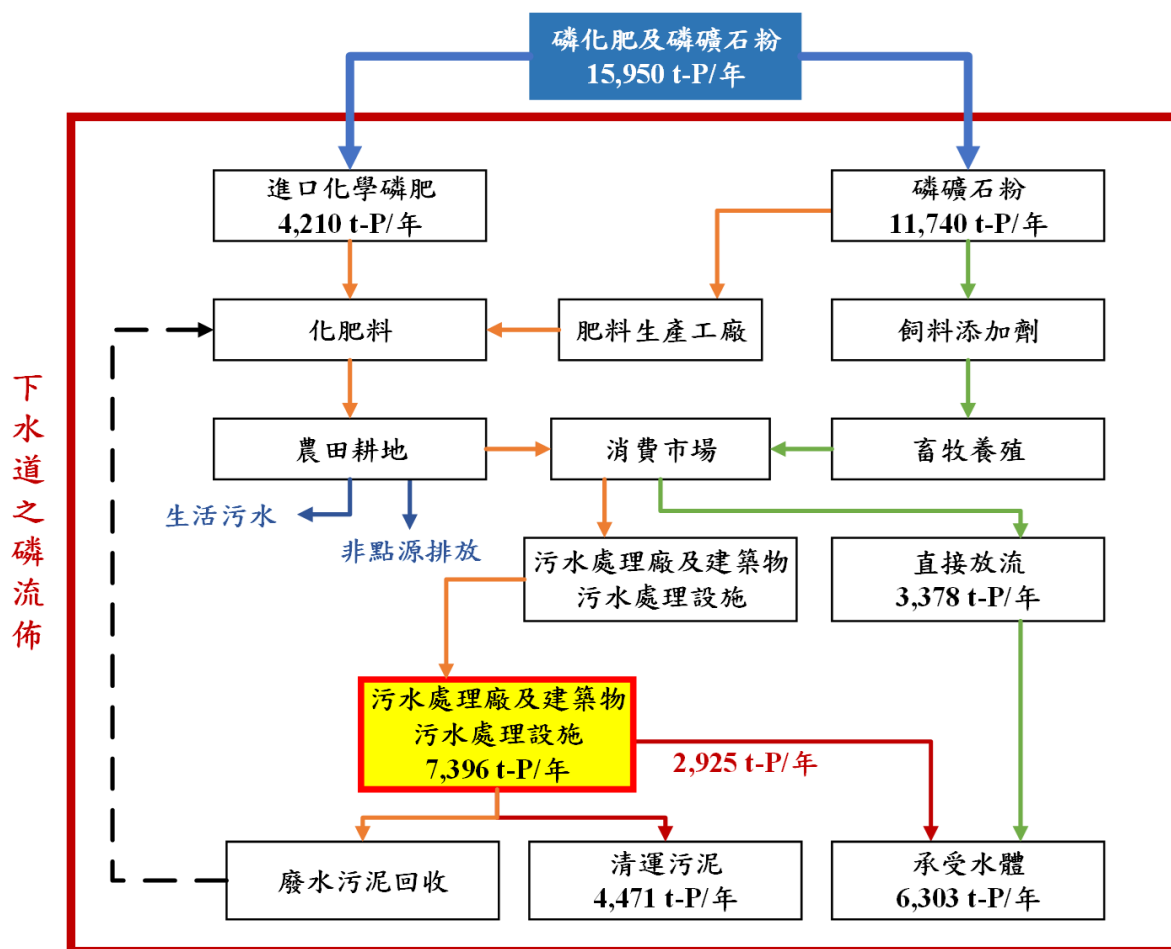


圖 1 國內磷之使用量與下水道系統之磷量 (莊順興, 2022)

## 2.2 磷資源再生技術現況

磷可透過物理、化學、生物處理等過程進行釋放，將廢(污)水(工業廢水、農業廢水)以及廢棄物(污水污泥、動物糞便)中的有機磷轉化為無機形式( $PO_4^{3-}$ )溶於水中，而磷回收通常分為以下步驟，分別為預處理、濃縮、回收以及後續處理，將磷以結晶型態進行回收，並做為肥料或工業原料再次使用，達到循環經濟之目的。各類磷資源再生技術其優缺點如表 1 所示。

表 1 不同磷資源回收技術優點 (Lin et al., 2024)

| 技術    | 優點                | 缺點                     |
|-------|-------------------|------------------------|
| 化學沉澱  | 磷回收效率佳<br>可作為肥料使用 | 對污水中磷濃度有要求<br>需要額外添加鎂源 |
| 吸附    | 無能源消耗<br>選擇性高     | 廢水需預處理<br>吸附劑能力不佳      |
| 薄膜過濾  | 濃縮磷酸鹽可回收<br>過濾性佳  | 膜污染問題<br>適用場景有限        |
| 生物處理  | 操作成本低<br>可同時去除有機物 | 環境要求高<br>除磷效率低         |
| 流體化床  | 能源消耗低<br>環境污染低    | 初設成本高<br>對特定污染物具有選擇性   |
| 污泥中回收 | 產品可直接利用<br>產品純度高  | 能源消耗高<br>操作複雜          |

## 2.3 磷資源流體化床結晶

### 2.3.1 流體化床技術

流體化床結晶 (Fluidized bed crystallization, FBC) 是一種新型的水處理技術。過程中無須沉澱等操作單元，其晶體顆粒含水率低、固液分離容易。而該設備不僅佔地面積小、加工效率高且處理後的廢水不易對於環境造成二次污染。此外，FBC 技術可有效回收碳酸鈣、氟化鈣以及磷酸鹽等水中的物質，因此該技術不僅解決了廢水處理以及廢水排放等問題，又因其回收晶體純度高、含水量低可做為工業原料使用 (Gui et al., 2022)。

液固流化是種固體顆粒與液體接觸的方法。當液體向上流過固體顆粒床，使固體顆粒具有流體特性。而流體化的過程與最小流化速度有關，在適當的介質顆粒中，當流體由下往上通過顆粒層時，若表面速度 (Superficial Velocity) 低，則顆粒間不會改變相對位置，這種情況被描述為通過過濾器的流量，壓降與表面速度成比例增加，且表面速度也對顆粒產生摩擦阻力 (Friction Resistance)。

當表面速度和壓降逐漸增加，直至顆粒所受之摩擦阻力與顆粒有效重達平衡時，速度的任何進一步增加都會導致顆粒移動，有時會出現輕微的顆粒床膨脹，但顆粒仍保持接觸，隨著速度的進一步增加，顆粒被充分分離在流體化床內移動，並開始真正的流體化 (Fluidization)。一

一旦顆粒床被流體化，顆粒床的壓降保持不變，但顆粒床的高度會隨著流速的增加而持續增加，在此過程中，最小流化速度 (Minimum Fluidization Velocity,  $U_{mf}$ ) 就是顆粒床開始膨脹時的最小表面速度。

若液體向上的速度大於顆粒的沉降速度，則顆粒會繼續向上運動被液體帶走，不再停留於流體化床中。洗出速度 ( $W_t$ ) 是顆粒被去除的臨界速度，也稱為最大流化速度 (Maximum Fluidization Velocity)，與最小流化速度相同，亦與固體顆粒和液體的性質有關，洗出速度是流化床中液體速度的上限，也是流體化床研究和設計的重要參數，其示意圖如圖 2 所示。

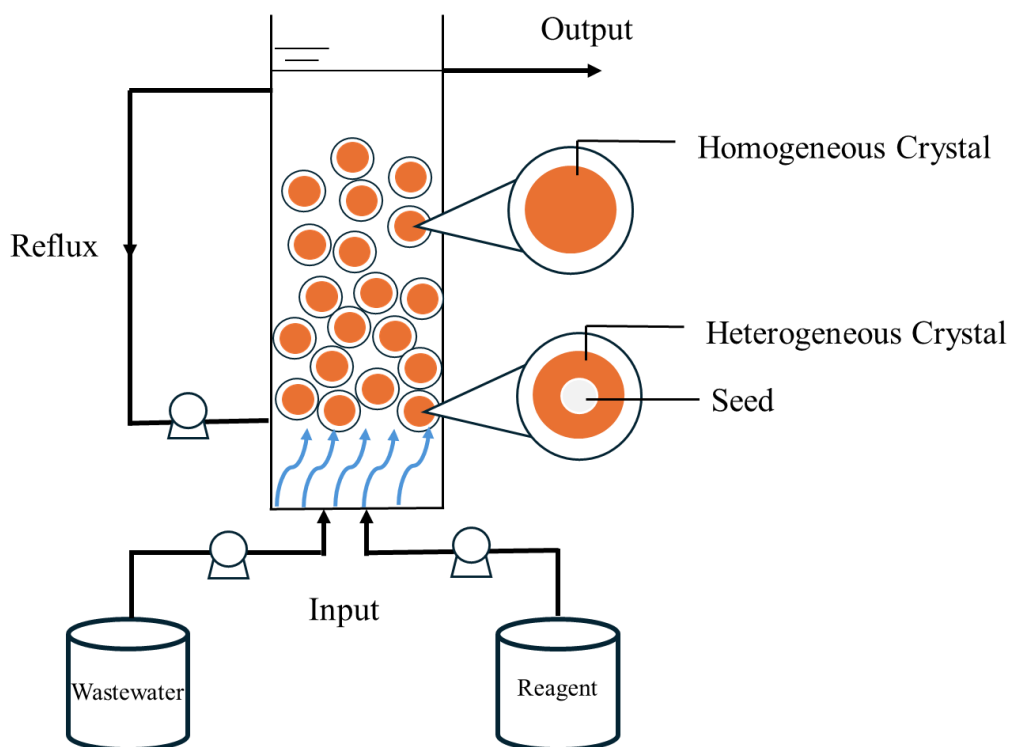


圖 2 流體化床結晶示意圖

在結晶過程中，晶體的發生和發展一般由三個化學步驟組成：過飽和、成核(晶體誕生)和晶體生長(Karapinar et al., 2006)。過飽和度依賴溶液的 pH 值和組成離子的濃度是晶胚形成的驅動力，而晶體的首次出現被定義為成核作用(Le Corre et al., 2009)。此外，目前已廣泛研究了三種不同的成核機制：(1) 僅在高度純化或過飽和溶液中自發發生的均相結晶，(2) 在含有不純顆粒或擔體的溶液中發生的非均相結晶以及(3) 基於初級成核晶體發生的自成核(或表面次級成核)結晶(Ferguson et al., 2014)。由表 2 可顯示兩種成核機制之晶體直徑、過飽和度以及懸浮密度的差異。

表 2 初級成核與次級成核比較

| Items              | Primary Nucleation | Secondary Nucleation |
|--------------------|--------------------|----------------------|
| Crystal diameter   | small              | large                |
| Supersaturation    | high               | low                  |
| Suspension density | low                | high                 |

而流體化床結晶可分為均相 (Heterogeneous) 以及異相 (Homogenous) 成核，均相成核是由傳統 FBC 技術發展而來，其最大的特點是結晶過程中無需添加額外的擔體，而是通過控制水力參數進而形成結晶 (Chang et al., 2023)；而異相成核的結晶過程中需添加晶種材料提供表面活性來催化異相結晶並增強碰撞，使結晶在早期階段能夠快速捕捉新形成的核 (Yang et al., 2019)。圖 3 為均相成核與異相成核結晶過程示意圖。

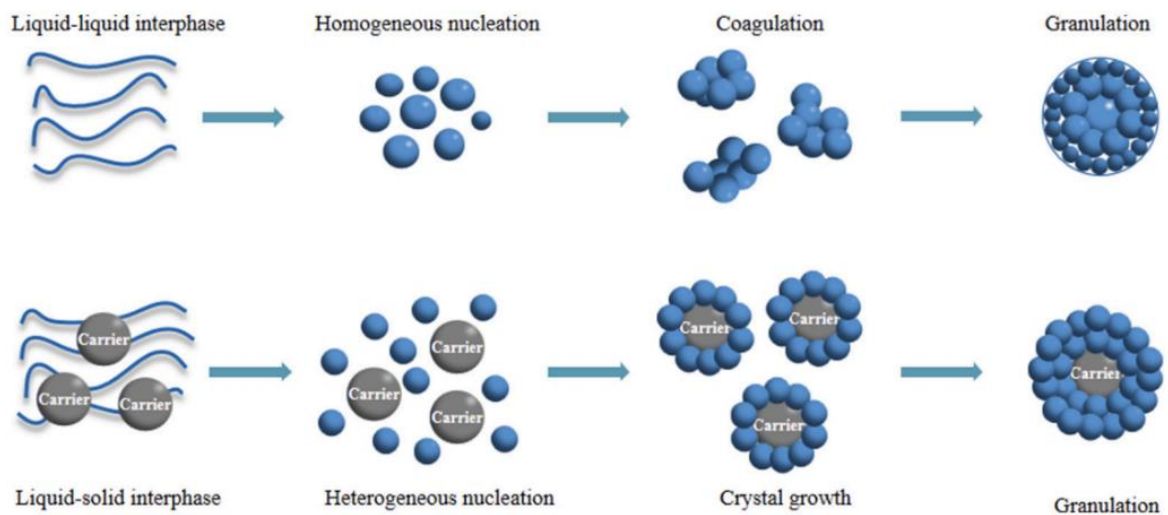
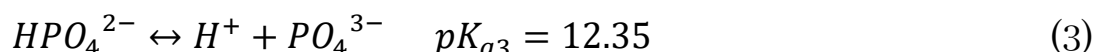
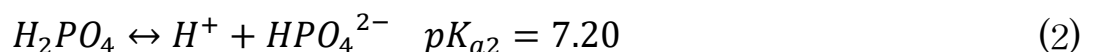
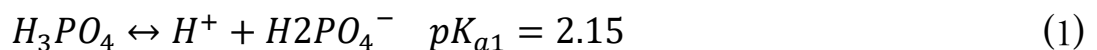


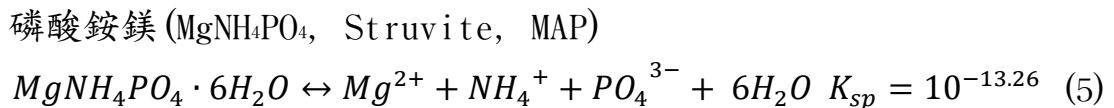
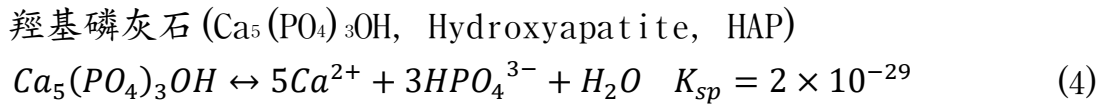
圖 3 均相成核與異相成核結晶過程示意圖 (Gui et al., 2022)

### 2.3.2 磷結晶

磷酸根離子在不同的 pH 下會以不同的形態存在，其反應如公式 (1) - (3) 所示。當 pH 小於 2.15 時，以  $H_3PO_4$  存在；當 pH 介於 2.15 至 7.20 時，以  $H_2PO_4^-$  存在；當 pH 介於 7.20 至 12.35 時，以  $HPO_4^{2-}$  存在以及當 pH 大於 12.35 時，則以  $PO_4^{3-}$  存在，其所示。(Caddarao et al., 2018)



而本研究所使用之實際厭氧消化污泥脫水濾液含有鈣以及鎂離子，會與磷酸根形成相關化合物，主要為羥基磷灰石 ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ , HAP) 以及磷酸銨鎂 ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Struvite)，其反應式如公式 (4) – (5)。



### 三、磷結晶實廠廢水研究案例

本實驗室針對磷結晶於實廠廢水之應用特性進行探討，以厭氧消化污泥脫水濾液作為流體化床實際廢水之來源，並藉由調整 pH 及金屬莫耳比從廢水中回收磷，評估磷去除率和結晶率，再探討於不同操作條件下之反應特性，已完成在不同 pH 階段以及添加鎂離子之特性研究。

#### 3.1 pH 影響分析

圖 4 為在不同階段磷去除率的變化圖，從圖中顯示在 pH 8 階段由於廢水中過飽和度不足，進而導致其去除率僅有 14.4%；而在 pH 9 階段，此時磷去除率有達到 46.9%，是由於水中的過飽和度增加，進而提升其效率；在 pH 9.5 階段，此時磷去除率約為 39.4%，係由於結晶反應中有其他副反應的產生，且反應也以氫氧化物為主要，因此原存在於結晶中的磷酸鹽再次解離，進而使得效率不佳。研究顯示於 pH 9 階段去除效果較佳之結果與 Ye et al. (2016) 研究結果相似，Shih et al. (2017) 研究認為影響流體化床之效率的關鍵因素則是過飽和度之控制。基於上述所得之結果，對於後續鎂離子之添加選擇於 pH 9 階段進行實驗。

圖 5 顯示於不同階段之粒徑分布，可得知於 pH 8 階段結晶粒徑皆以 0.3 mm 為主，而在 pH 9 階段，此時的結晶粒徑則以 0.6 mm 和 0.8 mm 為主要，而 pH 9.5 階段，則有粒徑大小為 1 mm 之結晶出現。從 Le Corre et al. (2007) 文獻中得知，當 pH 值的增加導致成核過程中過飽和度的增加，因此晶體的生長速率增加。根據 Rahman et al. (2014) 報導，高 pH 會促使較小的晶體生成以及較大的尺寸，這是由於高晶核密度所導致。



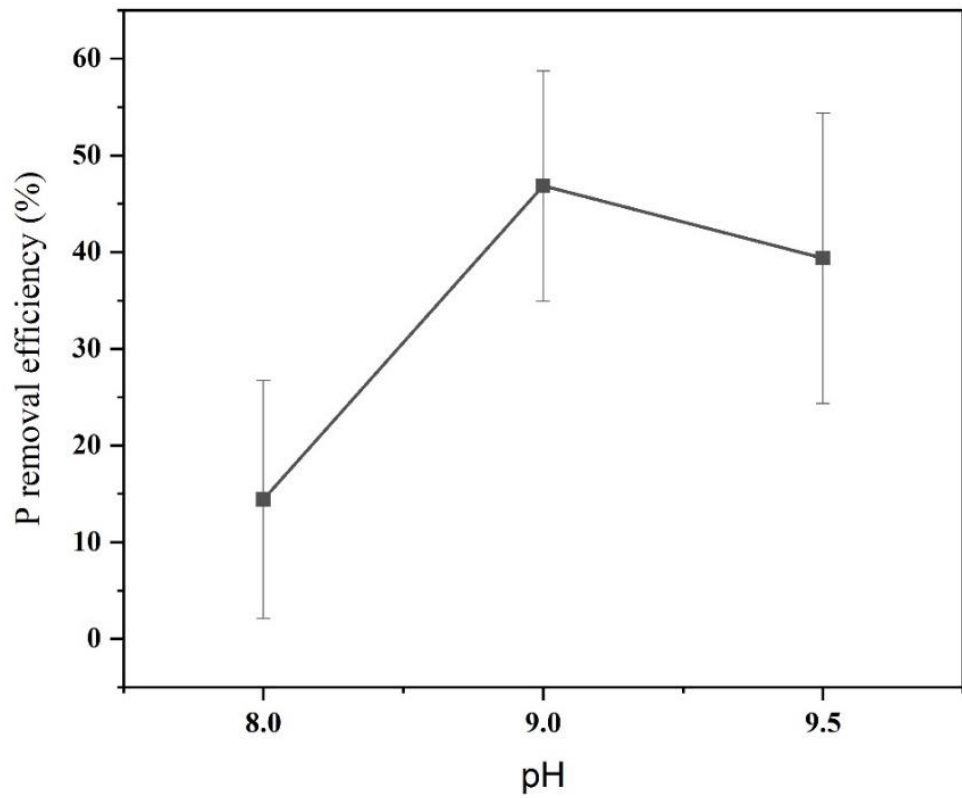


圖 4 不同 pH 階段對於磷去除率之變化

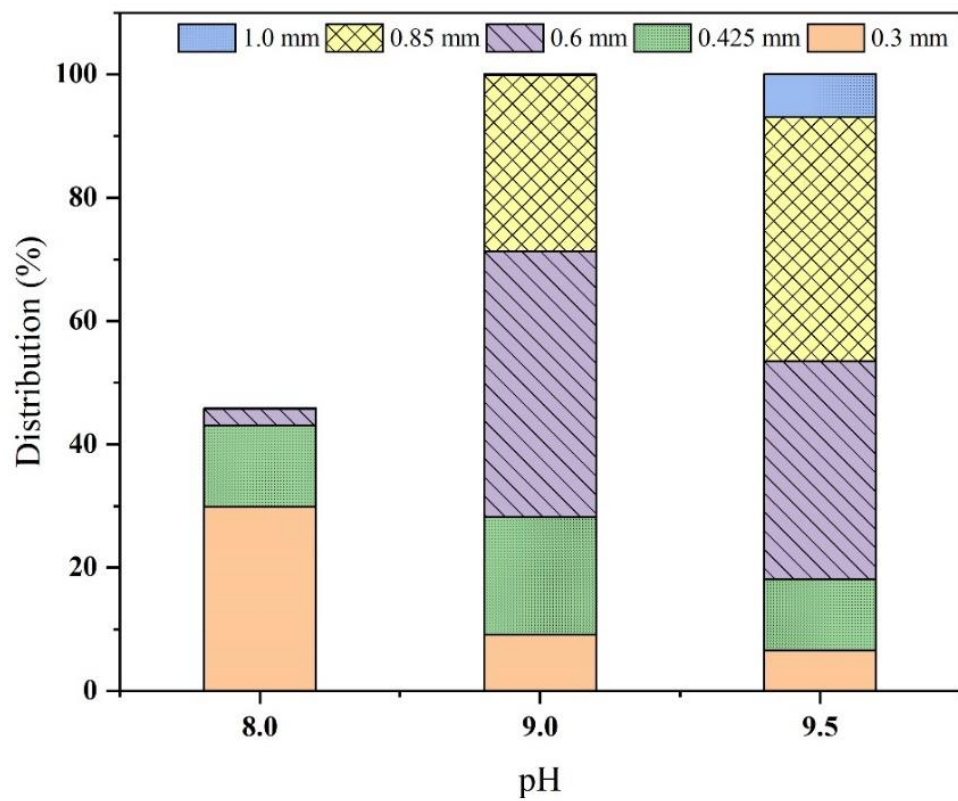


圖 5 不同 pH 階段之磷結晶粒徑分布

### 3.2 Mg/P 比影響分析

圖 6 顯示在添加鎂離子對於磷去除率及磷結晶率之變化，可以看到當未添加鎂離子時，其去除率及結晶率約為 45 - 50 %；而當添加鎂離子後，其去除率及結晶率皆有超過 70 %。然而，從廢水中回收鳥糞石時，其  $\text{PO}_4^{3-}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  的比例不相等，顯著影響晶體形成特性，特別是實際廢水中的鎂濃度較低，是一個限制因素 (Guadie et al., 2020)。為了控制廢水中鳥糞石的形成，至少需要相等莫耳比的  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{PO}_4^{3-}$ 。

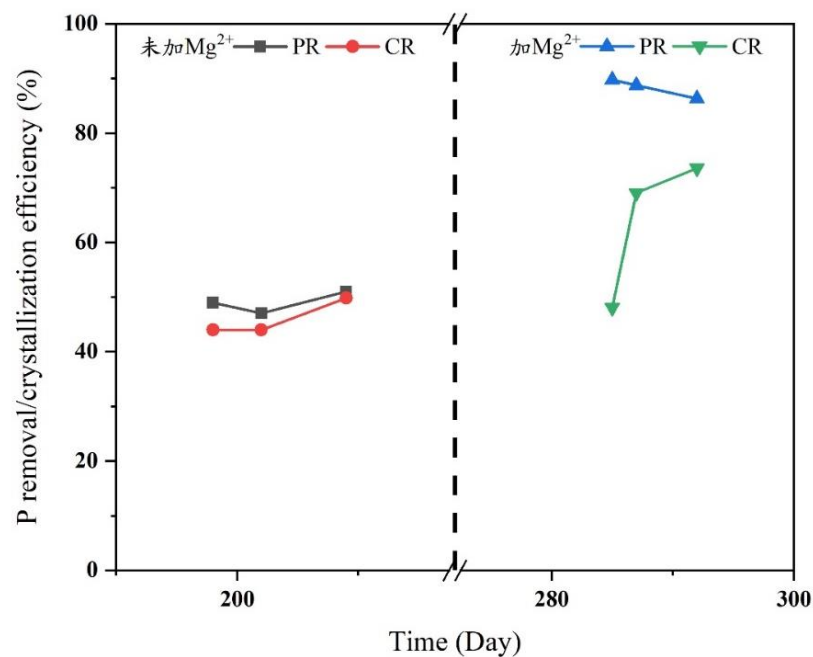


圖 6 添加鎂離子對於磷去除率及磷結晶率之變化

### 3.3 結晶特性分析

透過 SEM 分析了解其流體化床結晶產物之表面型態，圖 7 為 pH 9 結晶產物之外觀以及表面，其結晶表面較為粗糙，且可從圖中觀察到係由單個棒狀型態所形成之固體物，推論此階段結晶產物應含有為磷酸銨鎂成分。惟由 Normalized 原子比例 (at.%) 資訊，Magnesium : Nitrogen : Phosphorus : Calcium 之比約為 4.6 : 1.0 : 8.1 : 5.7，顯示磷比例高，且鈣原子比例亦高，推論磷酸鈣沉降或結晶之相關成分亦存在於此混和之晶體固體物中，晶體成分之組成後續研究將持續追蹤。

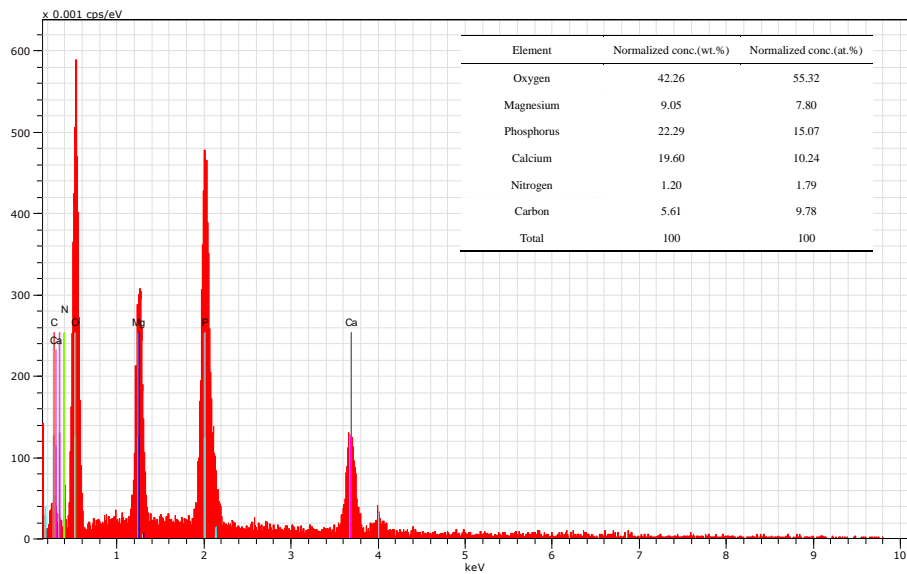
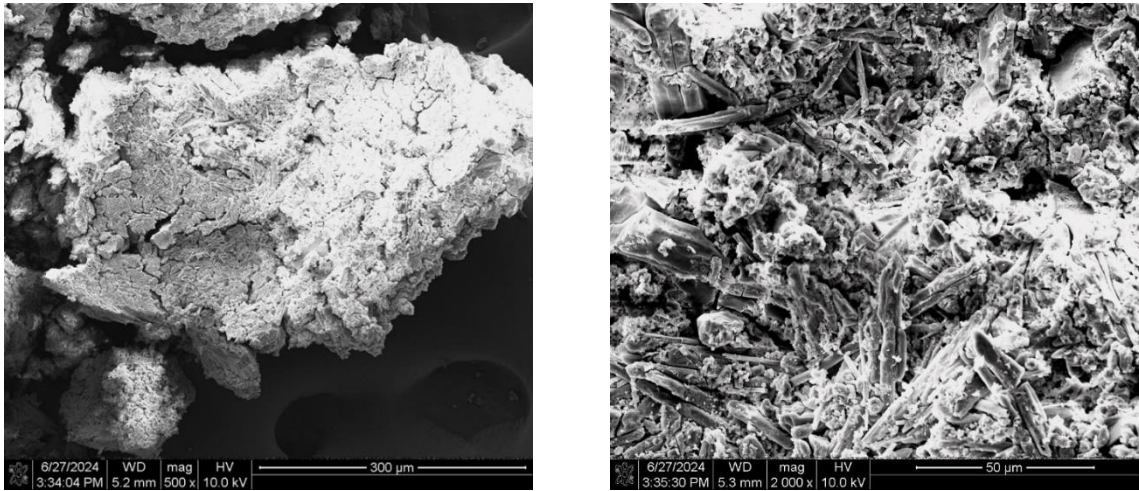


圖 7 pH9 階段之結晶型態(SEM、EDS)

#### 四、結論與建議

流體化床磷結晶技術與傳統化學沉澱相比，是一項具有許多優勢且具有經濟可行性之技術，目前研究於實驗室已有不錯之成果，但於實廠應用過程，需注意有機物干擾、實際廢水中化學藥劑(絮凝劑)之添加量影響等問題。如何將流體化床磷結晶技術與當前的污水處理廠或污水處理程序進行結合並實現全面應用，這將是未來值得進一步探討之議題。

## 參考文獻

- [1] Caddarao, P. S., Garcia-Segura, S., Ballesteros, F. C., Huang, Y.-H., & Lu, M.-C. (2018). Phosphorous recovery by means of fluidized bed homogeneous crystallization of calcium phosphate. Influence of operational variables and electrolytes on brushite homogeneous crystallization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 83, 124-132.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.12.009>
- [2] Chang, K.-Y., Mahasti, N. N. N., & Huang, Y.-H. (2023). Fluidized-bed homogeneous crystallization of  $\alpha$ -Al(OH)<sub>3</sub> for continuous aluminum removal from aqueous solution: Parameter optimization and crystallization mechanism. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103700.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103700>
- [3] Ferguson, S., Morris, G., Hao, H., Barrett, M., & Glennon, B. (2014). Automated self seeding of batch crystallizations via plug flow seed generation. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(11), 2534-2541.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.01.028>
- [4] Guadie, A., Belay, A., Liu, W., Yesigat, A., Hao, X., & Wang, A. (2020). Rift Valley Lake as a potential magnesium source to recover phosphorus from urine. *Environmental Research*, 184, 109363.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109363>
- [5] Gui, L., Yang, H., Huang, H., Hu, C., Feng, Y., & Wang, X. (2022). Liquid solid fluidized bed crystallization granulation technology: Development, applications, properties, and prospects. *Journal of Water Process Engineering*, 45, 102513.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102513G>
- [6] Karapinar, N., Hoffmann, E., & Hahn, H. H. (2006). P-recovery by secondary nucleation and growth of calcium phosphates on magnetite mineral. *Water Research*, 40(6), 1210-1216.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.041>
- [7] Le Corre, K. S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P., Jefferson, B., & Parsons, S. A. (2007). Struvite crystallisation and recovery using a stainless steel structure as a seed material. *Water Research*, 41(11), 2449-2456.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.002>
- [8] Le Corre, K. S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P., & Parsons, S. A. (2009). Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(6), 433-477.

- [9] Lin, H., Wang, Y., & Dong, Y. (2024). A review of methods, influencing factors and mechanisms for phosphorus recovery from sewage and sludge from municipal wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(1), 111657. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111657>
- [10] Martín-Hernández, E., Garcia Hernandez, J. A., Gangapersad, S., Zhao, T., Omelon, S., Brouwer, R., & Vaneckhaute, C. (2023). Multi-sectorial assessment of phosphorus in Ontario, Canada: Mapping flows and analysis of the potential for recovery and reuse. *Resources, Conservation and Recycling*, 197, 107108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107108>
- [11] Mew, M. C. (2016). Phosphate rock costs, prices and resources interaction. *Science of The Total Environment*, 542, 1008-1012. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.045>
- [12] Pastor, L., Marti, N., Bouzas, A., & Seco, A. (2008). Sewage sludge management for phosphorus recovery as struvite in EBPR wastewater treatment plants. *Bioresource Technology*, 99(11), 4817-4824. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.054>
- [13] Rahman, M. M., Salleh, M. A. M., Rashid, U., Ahsan, A., Hossain, M. M., & Ra, C. S. (2014). Production of slow release crystal fertilizer from wastewaters through struvite crystallization - A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(1), 139-155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.10.007>
- [14] Shih, Y.-J., Abarca, R. R. M., de Luna, M. D. G., Huang, Y.-H., & Lu, M.-C. (2017). Recovery of phosphorus from synthetic wastewaters by struvite crystallization in a fluidized-bed reactor: Effects of pH, phosphate concentration and coexisting ions. *Chemosphere*, 173, 466-473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.088>
- [15] Yang, M., Shi, J., Xu, Z., Zhu, S., & Cui, Y. (2019). Phosphorus removal and recovery from fosfomycin pharmaceutical wastewater by the induced crystallization process. *Journal of Environmental Management*, 231, 207-212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.036>
- [16] Ye, X., Ye, Z.-L., Lou, Y., Pan, S., Wang, X., Wang, M. K., & Chen, S. (2016). A comprehensive understanding of saturation index and upflow velocity in a pilot-scale fluidized bed reactor for struvite recovery from swine wastewater. *Powder Technology*, 295, 16-26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.03.022>
- [17] 莊順興、林聖諺、孫耀鴻 (2022)。公共污水處理廠磷資源回收再利用之潛力及技術介紹。下水道·水再生期刊, 1:2 2022.11[民 111.11] , 27-41。



## 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 11 屆第 6 次理監事聯席會議紀錄

- 壹、時 間：中華民國 113 年 10 月 19 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— 林威安、黃啓明、劉敏信、張耿榕、黃義雄、  
許甫豪、范綱智、黃福全、徐永郎、王朝民、  
林永欽  
監事— 楊基振、高信福、林清洲、曾寶山
- 肆、缺席人員：（無）
- 伍、請假人員：理事— 張天益、蕭友琳、周奮興  
監事— 范振國
- 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 5 次理監事會提案決議執行情形

| 提案 1  |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| 案由    | 113 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。                                |
| 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    | 113 年度資產負債表（如附件二）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 3  |   |
| 案由    | 第 11 屆第 2 次會員代表大會原提案人楊基振技師，連署人王朝民技師之提案「修正 113 年度收支預算表之雜項支出」，提請討論。 |
| 決議    | 照說明通過   |
| 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. 委託案件：

#### (1) 「110 年度重訴字第 414 號損害賠償事件案」

|             |          |        |  |
|-------------|----------|--------|--|
| 委託單位        | 臺灣士林地方法院 |        |  |
| 執行人         | 徐永郎      |        |  |
| 委託金額(含稅)    | 收入(未稅)   | 支出(未稅) |  |
| 1,040,907 元 | -        | -      |  |
| 1130903     | 來函委託鑑定   |        |  |
| 1131014     | 檢送鑑定計畫書  |        |  |

### 2. 會議：參閱下表

| 日期            | 出席者  | 召開單位                         | 會議名稱                       |
|---------------|--|------------------------------|----------------------------|
| 113 年 9 月 4 日 | 楊常務監事基振、<br>張常務理事天益、<br>黃理事福全、<br>林理事長金德、<br>姚宗岳技師 | 中華民國環境工程技師公會全國聯合會、行政院公共工程委員會 | 行政院公共工程委員會新任主管與本會之行政事務交流會議 |

### 3. 水污核章件數：113 年共 256 件（截至 10 月 11 日止）

### 4. 113 年度將辦理三場「技師技術服務專業訓練講習會」

| 場次 | 台北場                           | 台中場                     | 高雄場                      |
|----|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 日期 | 113 年 11 月 16 日<br>(星期六)      | 113 年 11 月 9 日<br>(星期六) | 113 年 11 月 23 日<br>(星期六) |
| 時間 | 13:00 - 17:20 (課程)、18:00 (餐敘) |                         |                          |
| 地點 | 淡江大學台北校區<br>D507 會議室          | 中國文化大學推廣教育部—台中分部        | 中國文化大學推廣教育部—高雄分部         |
| 餐敘 | 銀翼餐廳                          | RICH19 層峰會館             | 海寶軒高雄會館                  |

壹拾、 討論提案：

提案 1· 提案人：理事長

案由：113 年 1-9 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：理事長

案由：113 年度資產負債表（如附件二）提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：理事長

案由：114 年度預算表（如附件三）提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

提案 4· 提案人：理事長

案由：114 年度工作計畫（如附件四）提請理事會審議、監事會監察。

決議：照案通過。

壹拾壹、 散會

台灣省環境工程技師公會

第 13 屆第 2 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 113 年 10 月 19 日上午 10 時

參、出席人員：理事－劉敏信、高信福、林清洲、林玉青、黃福全、  
林威安、黃啓明、曾寶山、吳慶龍、許定華  
監事－楊基振、范綱智、王凱中、彭文良

肆、缺席人員：（無）

伍、請假人員：理事－張天益、王志遠、吳昭宏、陳俊明、范振國  
監事－周奮興

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 2 次理監事會提案決議執行情形

|       |                          |
|-------|--------------------------|
| 提案 1  |                          |
| 案由    | 113 年度 1 月至 9 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。             |



|        |  |
|--------|--|
| 臨時動議 1 |  |
| 案由     | 有關本會鑑定案之流程，提請討論。   |
| 決議     | 由評鑑委員會研擬，針對鑑定案承接流程之相關內容評估是否修訂評鑑委員會組織簡則。  |
| 內政部備查  | 無意見。   |
| 工程會意見  | 涉及技師法部分同意備查。   |
| 臨時動議 2 |  |
| 案由     | 有關本會推薦各機關採購評選委員會專家學者參考名單，提請討論。   |
| 決議     | 1. 經理事過半數同意，第 12 屆推薦之 12 名專家學者，將詢問意願後逕行推薦。<br>2. 第 13 屆專家學者由審查委員會研擬推薦辦法後，再行推薦。 |
| 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 113 年 10 月 11 日止，繳交 113 年度常年會費者 615 人。

(三) 工作報告：

#### 1. 委託案件

##### (1) 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) |
|         | 312,176 元 | -      |
| 1130802 | 第 2 期款請款  |        |
| 1130920 | 第 2 期款入帳  |        |

##### (2) 「高雄市岡山本洲產業園區中水系統管線施工爭議」鑑定案

|         |            |           |           |
|---------|------------|-----------|-----------|
| 委託單位    | 臺灣高等法院高雄分院 |           |           |
| 執行人     | 高信福        |           |           |
|         | 合約金額(含稅)   | 收入(未稅)    | 支出(未稅)    |
|         | 161,280 元  | 153,600 元 | 128,030 元 |
| 1130408 | 來函委託鑑定     |           |           |
| 1130612 | 檢送鑑定報告書    |           |           |
| 1130619 | 鑑定費出帳，本案結  |           |           |

- (3) 「永華機械工業股份有限公司八德廠廠區土壤污染整治現狀保存證據及整治進度與成效」鑑定案

|             |              |        |  |
|-------------|--------------|--------|--|
| 委託單位        | 永華機械工業股份有限公司 |        |  |
| 執行人         | 高信福          |        |  |
| 合約金額(含稅)    | 收入(未稅)       | 支出(未稅) |  |
| 1,092,935 元 | 1,040,890 元  | 未出帳    |  |
| 1130718     | 來函委託鑑定       |        |  |
| 1130819     | 鑑定費入帳        |        |  |
| 1130820     | 函委託單位告知現勘時間  |        |  |
| 1131014     | 鑑定報告書審查會     |        |  |

- (4) 「桃園市新屋區十五間段十五間小段 1599、294-4 等二筆地號土地廢棄物屬性調查及數量」鑑定案

|           |              |        |  |
|-----------|--------------|--------|--|
| 委託單位      | 臺灣桃園地方法院     |        |  |
| 執行人       | 高信福          |        |  |
| 合約金額(含稅)  | 收入(未稅)       | 支出(未稅) |  |
| 490,000 元 | 466,667 元    | 未出帳    |  |
| 1130611   | 來函委託鑑定       |        |  |
| 1130628   | 檢送鑑定計畫書      |        |  |
| 1130731   | 檢送修正鑑定計畫書    |        |  |
| 1130807   | 鑑定費入帳        |        |  |
| 1130830   | 函法院及兩造告知現勘時間 |        |  |
| 1131016   | 鑑定報告書審查會     |        |  |

## 2. 各委員會工作報告

|    | 日期      | 委託/召開/<br>來函單位 | 事由   | 說明      |
|----|---------|----------------|--|---------|
| 審查 | 1130722 | 臺南市政府<br>水利局   | 「臺億建築經理股份有限公司—東區新都心段 52-2、52-3、54 地號等 3 筆店舖、集合住宅新建工程」專用下水道變更設計審查作業 | 黃義雄技師協審 |

|    | 日期      | 委託/召開/<br>來函單位 | 事由   | 說明            |
|----|---------|----------------|--|---------------|
| 審查 | 1130730 | 臺南市政府<br>水利局   | 為協助事業用戶排放事業廢<br>污水水質超標輔導改善事<br>宜，本局預定於 113 年 7 月<br>30 日上午 11 點(聖禾大飯<br>店)辦理會勘，指派專業技師<br>會同參加。 | 黃義雄技師出席       |
|    | 1130801 | 臺南市政府<br>水利局   | 「上藝建設股份有限公司－<br>安南區佃西段 1267 地號等 1<br>筆店舖、集合住宅新建工程」<br>專用下水道審查作業案，薦<br>派環工技師一員擔任審查委<br>員(書審)。   | 黃義雄技師協審       |
|    | 1130821 | 新北市政府<br>消防局   | 「局本部、文化、橫科、五<br>股、八里分隊污水接管工程<br>委託規劃、設計及監造技術<br>服務」細部設計審查會議                                    | 曾理事寶山出席       |
|    | 1130912 | 高雄市政府<br>水利局   | 召開「本市污水下水道用戶<br>排水設備無紙化線上審查」<br>研商說明會議。  | 黃義雄技師出席       |
|    | 1130916 | 新北市政府<br>水利局   | 「新北市新店十四張(B單<br>元)區段徵收工程」雨水計<br>畫書及污水管線工程報告書<br>第 4 次聯合審查會。                                    | 徐永郎技師出席       |
|    | 1130919 | 桃園市政府<br>水務局   | 「桃園市龜山區桃園機場捷<br>運 A7 站地區水資源回收中<br>心第二期統包工程」，派員協<br>助初驗。  | 高常務理事信福<br>出席 |
|    | 1130930 | 台南市政府<br>水利局   | 「春園建設股份有限公司－<br>新營區金華段 0861 地號等 1<br>筆集合住宅新建工程」專用<br>下水道審查作業案，薦派環<br>工技師一員擔任審查委員<br>(書審)。      | 黃義雄技師協審       |
| 法規 | 1130912 | 環境部資源<br>循環署   | 固體再生燃料原料用事業廢<br>棄物共通性再利用管理法  | 黃理事啓明出席       |

|    | 日期      | 委託/召開/<br>來函單位      | 事由                                     | 說明  |
|----|---------|---------------------|--|---|
| 評鑑 | 1130822 | 台灣省環境<br>工程技師公<br>會 | 評鑑委員會組織簡則修正條<br>文會議                    | 曾委員寶山<br>陳委員俊明<br>吳委員昭宏(視訊)<br>楊委員基振<br>王委員凱中(視訊)<br>劉理事長敏信(視訊) |
| 學術 | 1130910 | 11309-10<br>會訊      | 污水處理程序的未來趨勢<br>－蔣守銘技師、陳伯珍技師            |   |
|    |         |                     | 水中金屬離子檢測新方案：電化學技術的應用突<br>破與案例分享－張漢予執行長 |   |

#### 4. 會務

- (1) 113 年度會員聯誼旅遊，已於 113 年 9 月 5 日至 7 日辦理完成，「2024 遇見湛藍澎湖灣 遇見湛藍澎湖灣 ~ 南海二島三日遊。」報名人數統計為：會員 29 人、眷屬 17 人，共 46 人；實際參與人數為：會員 28 人、眷屬 18 人，共 46 人。
- (2) 第 13 屆第 3 次理監事會時間暫定於 114 年 1 月 18 日（星期六）召開。

#### 壹拾、提案討論

提案 1· 提案人：理事長

案由：113 年度 1 月至 9 月經費收支提請審議。

說明：如附件一（1 月至 9 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：理事長

案由：114 年度預算提請審議。

說明：如附件二（114 年度預算表）。

決議：照案通過。

提案 3· 提案人：理事長

案由：114 年度工作計畫（含委員會，如附件三）提請理事會研議。

決議：學術委員會訂定之講習會講師費取消單次費用，改為 3,000 元/小時（車馬費另計），其他委員會工作計畫照案通過。

提案 4· 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：執業技師 2 名、營造業技師 3 名，共 5 名，名單如下。（詳新入會會員名冊卷宗）

| 類別    | 技師姓名 | 執業機構／受聘公司    |
|-------|------|--------------|
| 執業技師  | 朱順傑  | 業興環境科技股份有限公司 |
|       | 陳冠閔  | 冠閔環境工程技師事務所  |
| 營造業技師 | 吳春生  | 勇鴻工程有限公司     |
|       | 馬國平  | 首固營造有限公司     |
|       | 陳東廩  | 惠民實業股份有限公司   |

決議：照案通過。

提案 5· 提案人：評鑑委員會 高主委信福

案由：評鑑委員會組織簡則修正草案（如附件四）提本次理監事會審議。

說明：依本會第 13 屆第 1 次理監事會議臨時動議辦理評鑑委員會組織簡則修正，遂於 113 年 8 月 22 日召開評鑑委員會組織簡則修正條文會議，依會議記錄結論如下：

#### 結論一

有關鑑定案前期之初勘費用，如該案未承接，則鑑定人可向公會申請費用每人 5,000 元/日，並實報實銷差旅費，經初步討論應補充評鑑人差旅費如附件。如該鑑定案成案，則不另給付初勘費。

#### 結論二

依照第 13 屆第 1 次理監事會議臨時動議提案一，有關鑑定案成案後是否召集相關專業委員舉開行前會議，原提案人曾技師撤銷提案。

決議：

結論一：經出席理監事過半數投票表決，未通過修正草案。

結論二：因提案人撤銷提案，故不予討論。

壹拾壹、散會