

廢(污)水處理類

## 化工產業廢水以 SBR 和 BioNET 組合程序之實廠處理

陳致君\*、王鈞逸\*\*

### 摘 要

案例廠為一化工製品製造公司，由於製程中使用大量化學有機藥劑且含高濃度有機氮，造成廢水成份複雜處理不易，在現有處理系統以調勻池與化學混凝沉澱做為初級處理、批式活性污泥 (Sequencing Batch Reactor, SBR) 二級生物處理等程序，此程序處理後氨氮濃度最高約還有 160 mg/L 左右。工研院材料與化工研究所生物網膜活性污泥 (Biological New Environmental Technology, BioNET) 處理方法接續在批式活性污泥 (SBR) 二級生物處理之後，擬定 SBR 系統硝化脫硝反應操作策略參數，實場廢水量為 150 CMD，TKN 進流濃度 24~215 mg/L 之間、COD 進流濃度 130~390 mg/L，不足的碳源 (配合廠內每天產生的廢水中有機氮及 COD 濃度高低來進行調整) 則以場內的 IPA (異丙醇) 廢液補充，應用此方式為循環經濟最佳的範例。SBR、BioNET 槽體為 300 m<sup>3</sup>、100 m<sup>3</sup>，SBR 硝化反應時間 18 小時；脫硝反應時間 4 小時。BioNET 水力停留時間為 16 小時，在約 3 個月評估結果平均 TKN 濃度從 100 mg/L 降低至 20 mg/L 以下，TKN 去除率為 80% 以上；硝酸鹽氮出流水濃度小於 50 mg/L 以下。有機氮在處理過程中，必須先經水解產生氨氮，再進行硝化與脫硝反應，目前自行排放氨氮管制濃度標準為 20 mg/L，硝酸鹽氮濃度管制標準為 50 mg/L。故，在 SBR 生物處理系統後接 BioNET 喜氣生物處理系統，不但可做殘餘氨氮再硝化亦可同時具有攔截 SS 的功能。

【關鍵字】化工產業廢水、SBR、BioNET、硝化、脫硝

---

\* 工業技術研究院材料與化工研究所 研究員

\*\* 工業技術研究院材料與化工研究所 副研究員

## 一、前言

工研院材料與化工研究所(簡稱材化所)所開發的 BioNET (生物網膜)廢水高級處理技術乃針對產業廢水含有氨氮物質,將 BioNET 浮動床植入適當 PU 擔體與經馴養之生物污泥,並藉由輸入氧氣使擔體上微生物增殖以進行生物分解作用。在 BioNET 活性生物處理系統中,可藉由多孔性擔體的特性累積大量的硝化菌群繼續將 SBR 生物系統所殘餘的氨氮進行再硝化以及將所流出的 SS 攔截住。化工產業製程為生產紡織染整助劑與塑膠用滑劑,於製程中使用大量化學藥劑,廢水成份複雜,而製程中所產生之廢水乃間歇性排放,廢水濃度與水量變化極大,廢水的主要污染來源為製程中產生的高 COD、高有機氮之反應槽清洗水。目前現有的廢水處理場處理流程為由:調勻池、pH 調整槽與混凝沉澱、中間水槽及批式活性污泥池所組合,主要為處理 COD。然現有的法規之放流水排放標準,則新增加了氨氮以及硝酸鹽氮的濃度管制,於是將現有的批式活性污泥池由以降解 COD 濃度為目標,提升為不僅僅是降解 COD 濃度,又可同時進行水解、硝化脫硝處理之功能。從評估結果獲得 SBR 系統硝化脫硝最適的操作策略以及新增 BioNET 生物處理單元,讓有機氮於 SBR 系統中達到水解、硝化脫硝又可利用製程中廢棄之 IPA 廢液作為 COD 的碳源,於此同時大大減少了廢棄物處理費用,可謂循環經濟的典範案例。故,以新增 BioNET 喜氣生物系統接續在 SBR 生物處理單元的組合程序處理高有機氮廢水,達到了現行放流水標準又同時具經濟效益之生物處理技術。

## 二、廢水水質

### 2.1 廢水水質調查

案例廠廢水來自化工產業含氮製程反應槽清洗廢水,初級以化學混凝沉澱後流入中間水池,廢水水質調查的廢水來源為採集中間水池,以每天 24 小時連續自動採樣,設定每 2 小時採取 1 個水樣,每天樣品數總共有 12 個連續 6 次(天),將其每天 12 個樣品數水質結果取其平均值,由表 1 與圖 1 得知,廢水中的 pH 值、COD、氨氮與電導度及硫酸鹽等濃度, pH 值為 7.36~7.58; CODt(總 COD) 濃度為 222~246 mg/L;

CODs( 溶解性 COD) 濃度為 201~224 mg/L；氨氮濃度低於 20 mg/L 以下；電導度為 896~1,104  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；硫酸鹽濃度為 354~525 mg/L。

表 1 六次採樣 24 小時平均結果

次數	pH	CODt	CODs	NH <sub>4</sub> N	EC	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	7.43	246	211	10	1,074	525
2	7.39	222	201	10	1,104	523
3	7.36	230	210	12	996	466
4	7.41	223	214	16	896	354
5	7.58	234	224	17	990	417
6	7.58	230	222	18	1,029	416

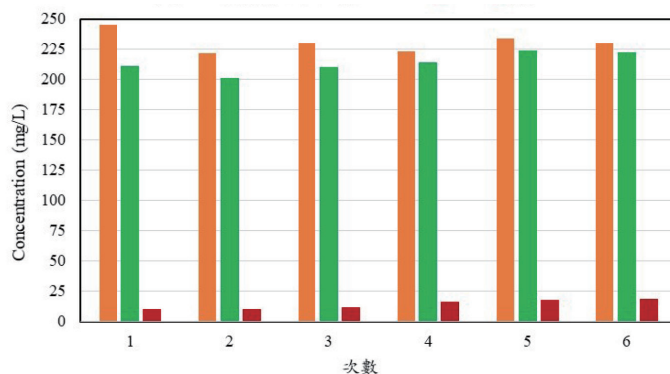


圖 1 6 次 24 小時連續採樣水質結果

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

## 2.2 實驗室連續式評估廢水水質

有機氮廢水以喜氣生物系統進行水解、硝化脫硝連續式之實驗室處理程序評估，採樣點以中間水池做為進流水的水源，案例廠依實驗室所需的水量，採批式的方式將採取的水樣寄送至工研院，實驗室評估以 24 小時連續式進行評估。批式所採廢水水質檢測結果如表 2 與圖 2 所顯示，pH 值在 7.0~7.7 之間；CODt( 總 COD) 濃度為 130~390 mg/L；水中所含鹼度濃度為 72~268 mg/L，由 24 小時連續採樣的水質結果中，氨氮的濃度不高，故推測廢水中所呈現的形態應該是有機氮，因此增加總凱氏氮檢測項目，濃度為 24~215 mg/L。

表 2 實驗室連續式評估水質結果

日期	CODt	TKN	鹼度	pH
7/2	386	79	--	7.54
7/10	290	103	103	7.38
7/17	222	88	72	7.14
7/23	157	101	109	7.09
7/30	200	93	114	7.17
8/5	214	130	180	7.18
8/13	297	24	130	7.60
8/19	133	27	112	7.23
8/26	209	107	123	7.14
9/1	258	142	141	7.00
9/8	250	124	162	7.28
9/16	298	151	168	7.35
9/26	307	152	268	7.16
10/14	292	99	264	7.71
10/20	325	214	118	7.49
平均值	256	109	147	7.30

單位：CODt(mg/L)；TKN(mg/L)

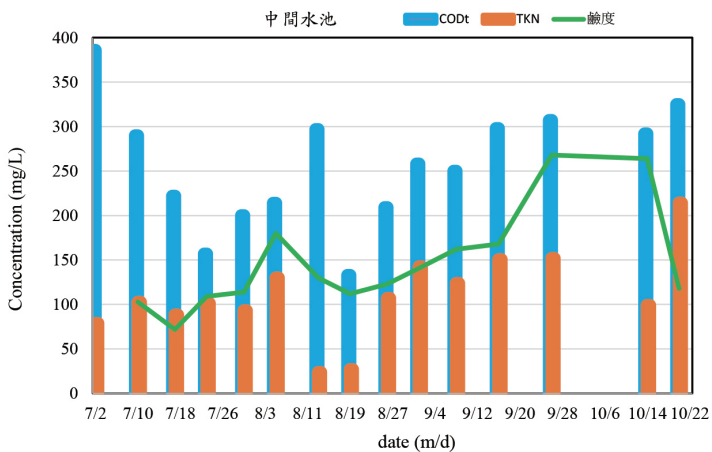


圖 2 實驗室連續式評估水質結果

### 三、現有廢水處理場性能提升規劃

由於化工產業製程所產生之廢水乃間歇性排放，廢水濃度與水量變化極大，在原有 SBR 處理系統的目的與操作參數只是將部份可生物分解的 COD 去除，並無法處理現行法規規定氨氮濃度之排放標準需求；即該廢水中有機氮物質必需具有水解、氨氮行硝化脫硝反應之能力，因此案例廠評估首要目的為有效降解有機氮，且可達到於舊廠自行排放標準或新廠符合園區納管排放標準，故以擬定 SBR 生物處理系統具水解、硝化脫硝之最佳操作策略方案與評估處理技術的組合，進而達到精進原有的 SBR 系統處理的程序，以提昇廢水處理場之整體處理效率與穩定性。

上述適用性及水質分析所得評估結果與因應廠商要求將現有生物處理池體做性能的提昇，提升工程包括批式活性污泥處理系統的操作策略擬定、新增中間水池與 BioNET 等 3 部份。

#### 3.1 批式活性污泥 (Sequencing Batch Reactor,SBR)

為提升現有 SBR 生物處理池的功能與效率，必須先調整有機氮廢水進入生物池的濃度及修正現有操作條件，讓池內微生物持續微量增殖的狀態下，使其有效地將廢水中有機氮進行水解、硝化脫硝反應在可容許的濃度，同時與 SBR 生物系統的操作策略息息相關。當有機氮於生物活性污泥（曝氣狀態）系統中可產生水解、硝化反應，另亦可在同 SBR 生物系統中於無氧（攪拌）狀態下進行脫硝，達到於同一個系統中，有機氮水解、硝化脫硝的三重反應功能，由評估實驗結果獲得 SBR 生物處理系統硝化脫硝最佳操作條件之策略擬定如表 3 所示，進水時間為 3.84 小時（同時進行攪拌），攪拌時間 4 小時，曝氣反應 18 小時，沉降為 1.5 小時，處理後廢水排放時間為 0.5 小時。

表 3 SBR 生物處理系統操作策略

項目狀態	時間	單位
進水	3.84	小時
攪拌	4	小時
曝氣	18	小時
沉降	1.5	小時
排水	0.5	小時

### 3.2 生物網膜活性污泥 (Biological New Environmental Technology, BioNET)

生物網膜活性污泥技術為工研院開發之專利技術，結合 PU 擔體與微生物的組合，具有優勢分解功效之廢水高級處理技術，其適用於工業廢水中難分解物質，有助於特殊選擇性優勢菌群生長之處理技術，於多孔性擔體中可附著大量微生物進而形成硝化菌微生物菌群，進行去除廢水中之氨氮與 COD，並同時俱有可攔截大量 SS 的功能，而且多孔性擔體毋需更換，僅須少量補充，操作簡單且費用低，亦無二次污染問題。

### 3.3 中間水池 II

中間水池 II 為 SBR 生物系統至連續式 BioNET 活性污泥處理系統，2 個系統的出流水與進流水之間連接緩衝貯槽。

## 四、實驗室處理程序評估結果與討論

含有機氮廢水的處理技術於實驗室評估時，採用案例廠現有的 SBR 處理技術與 BioNET 喜氣生物處理技術的組合程序，SBR 生物處理系統裝置有監測設備 1 組，監測 SBR 生物反應池中進行硝化脫硝反應時，pH 值、DO 與 ORP 值的變化趨勢紀錄，從變化趨勢的結果中獲取硝化脫硝處理的最佳操作條件及操作策略，系統設備如圖 3 所示。

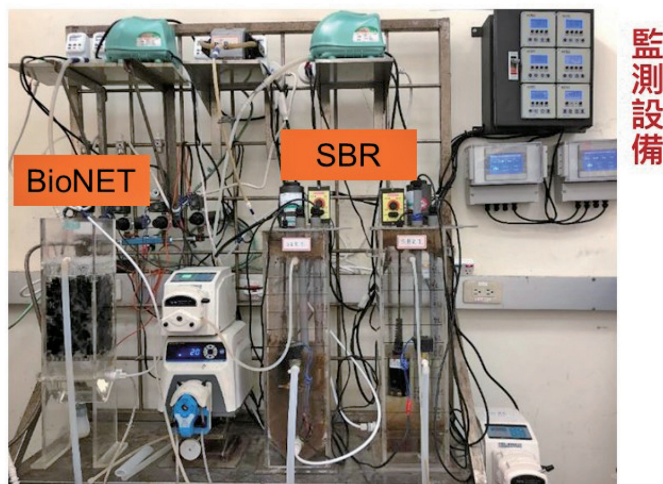


圖 3 實驗室硝化脫氮處理系統

案例廠化工產業製程之洗桶、洗槽水含高濃度有機氮，實驗室的評估裝置系統，應案例廠的委託要求以現有 SBR 生物處理技術進行有機氮硝化脫硝之實驗室評估，擬定最佳硝化脫硝之處理操作策略方案，在評估期間進行水質檢測，由於初期的水質調查結果，氨氮濃度不高所以在系統進行連續式評估實驗中，同時增加分析廢水中 TKN 濃度，結果由圖 4 與圖 5 得知，進流水 TKN 濃度為約 30 mg/L 至 160 mg/L 之間，經由 SBR 生物系統處理，以階段性逐步濃度提升的操作方式作為硝化脫硝處理之可行性評估，以其處理後的出流水再進入 BioNET 喜氣生物處理系統。SBR 生物系統在操作穩定時，於 35 天開始到 46 天之間，出流水 TKN 與氨氮濃度大都在 20 mg/L 以下，去除率為約 77~88%。但在第 47 天開始處理後出流水的 TKN 濃度為 35~147 mg/L，隨著進流水濃度的提高而升高，去除率下降至 51% 以下，然 BioNET 喜氣生物系統從第 52 天時，因 SBR 生物系統有機氮負荷太高，無法有效降解而使濃度累積，造成出流水 TKN 濃度高於 50 mg/L~71 mg/L 之間，但從結果顯示 TKN 濃度還能再降解 76 mg/L，氨氮濃度亦可再分解減少至 60 mg/L 以下，由此瞭解 BioNET 生物系統具有再次水解硝化的功能。於第 51 天將進流水 TKN 濃度降低至 100 mg/L 左右，生物系統出流水 TKN 濃度也有明顯的降低，故，接著調整 SBR 系統實驗進流水的 TKN 濃度將其控制維持著在 100 mg/L 左右，由 SBR 串聯 BioNET 生物處理單元，出流水的 TKN 與氨氮濃度逐漸降低在 20 mg/L 以下。



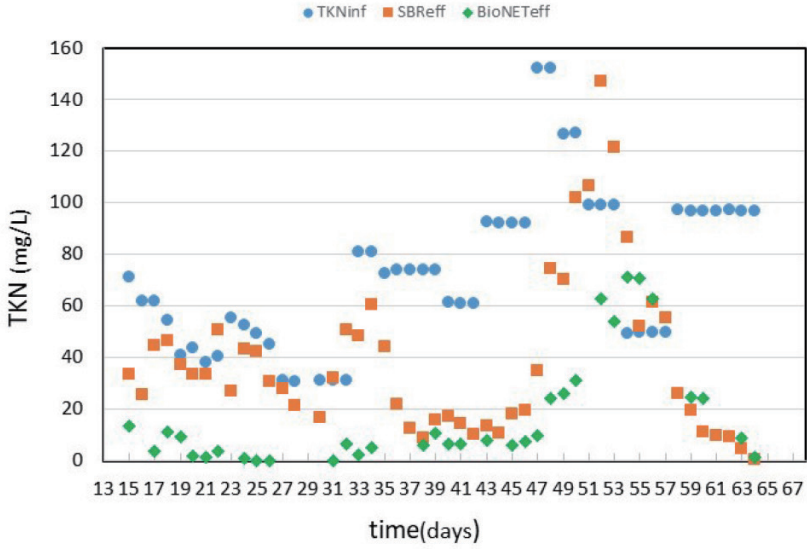


圖 4 進流水 TKN 經過生物系統處理結果

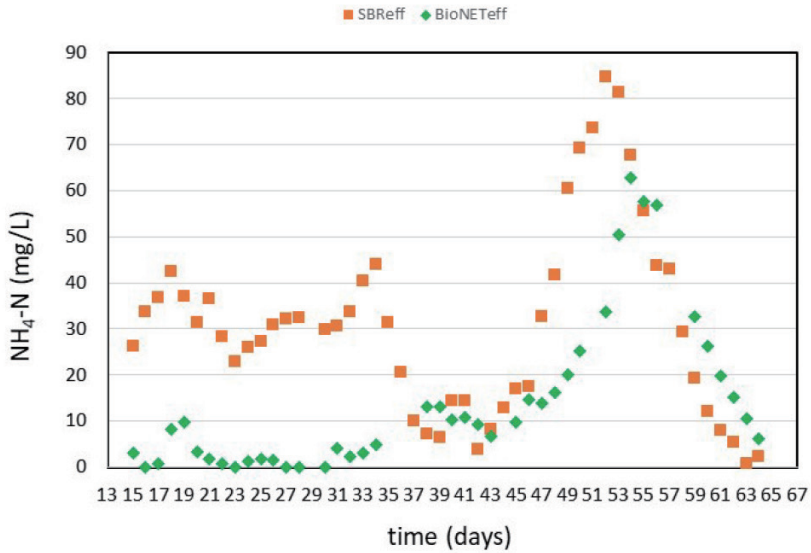


圖 5 進流水經過生物系統硝化之處理結果

SBR 生物系統進行水解、硝化脫硝反應完成後，雖然 TKN 與氨氮濃度高於 30 mg/L，但經由 BioNET 喜氣生物系統處理結果由圖 6 顯示，出流水的硝酸鹽氮濃度大都可以達到自行排放標準 50mg/L 以下，同時也符合新廠於桃科園區納管排放標準 50 mg/L 無須收費的標準，唯當進流水 TKN 濃度高於 120 mg/L 時，反應槽內的 TKN 與氨氮濃度無法有效分解而有累積的情況，造成後段經由 BioNET 喜氣生物系統再硝化後，在第 49 天到第 54 天之間的硝酸鹽氮濃度增加至最高 60 mg/L，雖不符合舊廠硝酸鹽氮自行排放標準 50 mg/L，但在新廠可符合納入桃科污水場的納排標準。然卻可從硝酸鹽氮濃度升高的結果明確知道，BioNET 喜氣生物處理技術可馴養及累積大量硝化菌群以及操作簡單的優勢、還無須進行污泥迴流，將 SBR 生物池中所殘餘的 TKN 與氨氮進行再水解、硝化反應，故出流水氨氮濃度又可再次被降解。從評估結果得知，若須達到硝酸鹽氮自行排放標準則須控制 SBR 生物處理系統進流水的 TKN 濃度在 100 mg/L 以下。

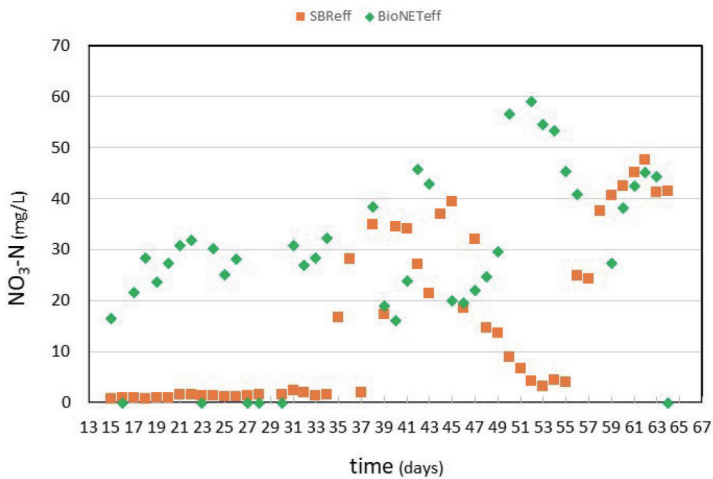


圖 6 生物系統脫硝處理結果

生物處理技術進行脫硝反應，反應中必須要有足夠的碳源才可以將硝酸鹽氮反應完成以氮氣排出，所以 SBR 生物系統的脫硝反應以 COD 碳源 4.3 比值進行生物脫硝反應，從圖 7 結果得知，進流水的 COD 濃度為 200 mg/L~1,200 mg/L 之間，SBR 生物系統操作策略以模擬實場現有的池體體積之下先應用廢水中的 COD，剩下不足的 COD 再添加 IPA 廢液當作碳源進行脫硝反應，滿足碳氮比值的需求降低後段 BioNET 生物系統的池體體積。SBR 生物系統出流水的 COD 濃度都在 200 mg/L 以下，SS 出流水濃度在 20 mg/L~150 mg/L 之間，再進入 BioNET 喜氣生物系統處理，出流水 SS 濃度都低於 6 mg/L 以下，大部分 SS 濃度都小於 2 mg/L 以下，可由圖 8 的結果得知。

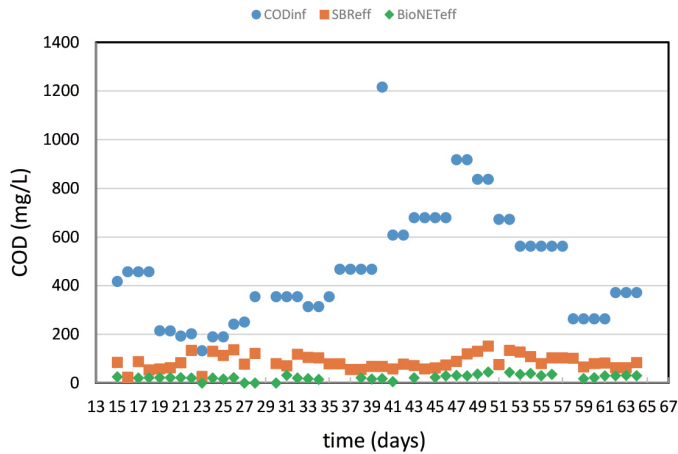


圖 7 生物系統脫硝與 COD 降解結果

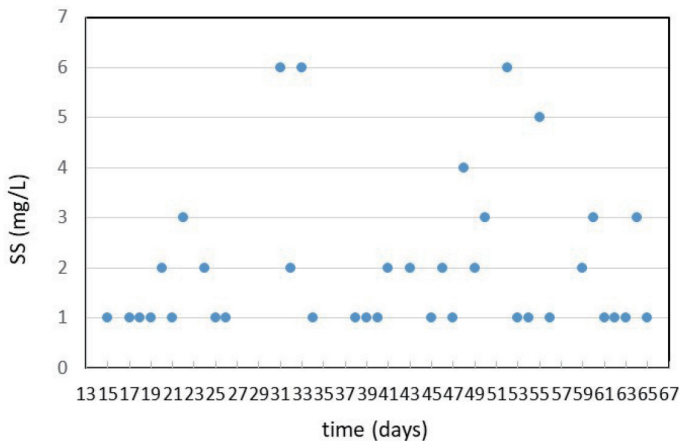


圖 8 BioNET 生物系統 SS 處理結果

## 五、廢水處理場設計與流程

### 5.1 廢水處理場設計

以原有 SBR 生物池修正為適合處理有機氮之操作策略方案，進水時即進行攪拌 4 小時，曝氣反應 18 小時，沉降時間 1.5 小時，排水為 0.5 小時，新增網膜式活性污泥系統 (BioNET) 處理池，體積為 100 m<sup>3</sup>，廢水量 150 CMD，水力停留時間 16 小時。

設計理念：

- 以生物處理為主，降低環境衝擊。
- 設置 SBR-BioNET 生物活性單元組合程序，提高有機氮生物分解效率。
- 增設中間水池連接 SBR-BioNET 生物處理系統，提升 SBR 出流水水質穩定性。

### 5.2 廢水處理場流程

有機氮廢水現有處理與新增之流程如圖 9，黑線為現有處理流程：暫存池、調勻池、pH 調整、快混池、慢混池、化學沉澱池、中間池、批式活性污泥生物處理池、中間池 II、生物網膜處理池、排入承受水體，化學與生物污泥進行脫水，脫水後濾液回到調勻池，藍色線為新增系統。

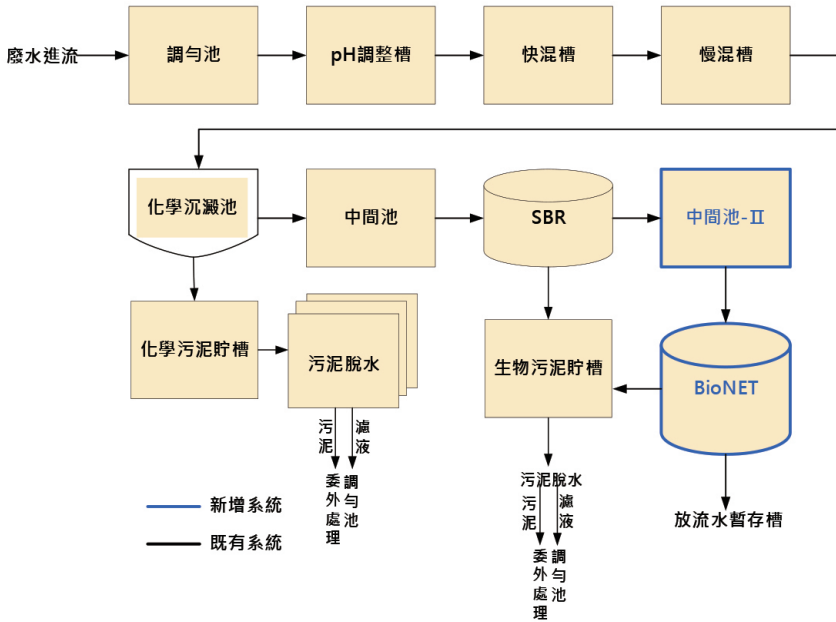


圖 9 現有與新增處理流程圖

## 六、結論

綜觀上述實驗評估結果，進流水 TKN 濃度需控制使其維持在 100 mg/L 左右，經由 SBR 與 BioNET 生物處理技術串聯組合程序，氨氮與硝酸鹽氮及 SS 的出流水濃度符合舊廠放流水自行排放標準 20 mg/L、50 mg/L 與 30 mg/L 以下，然於新建廠則為納入桃科污水下水道，出流水納排標準氨氮濃度為 30 mg/L、硝酸鹽氮為 50 mg/L 以上。雖然現有 SBR 生物系統負責擔任有機氮廢水之水解、硝化及脫硝處理技術，可以達到自行排放的氨氮及硝酸鹽氮濃度，同時可降低污泥的產生量，因此也相對地大幅減少污泥處理費用，然又因 BioNET 生物處理技術，可負責攔截及把關出流水 SS 以及 SBR 出流水氨氮濃度高於 20 mg/L 以上異常問題發生的困擾。

## 參考文獻

- 王少波、王淑瑩、彭永羣、李勇智 (2005)，常溫內源反硝化脫氮過程中 pH 和 ORP 變化規律。第 6 卷第 3 期，p 21-24。
- 莊順興、鄒文源等 (1999)，埤塘水質調查暨整治現地研究，經濟部委託研究計畫報告。
- 陳慶華等 (1998)，工業技術研究院，化學工業研究所，高性能整合性廢水處理技術開發，經濟部委託研究計畫報告。
- 陳致君、洪仁陽、姜榮煌、洪政偉、陳威全、廖啟鐘、鄒文源 (2015)，氨氮與正磷酸鹽廢水以 BioNET® 和化學混凝組合程序之實場處理，環保技術與工程實務研討會，p 67-82。
- 陳致君、洪仁陽、蔡松均、梁德明、黃志彬 (2020)，以 UF/EDR 回收 PCB 產業廢水：BioNET 前處理評估，環境工程學會廢水處理研討會。
- Wenjing Chen, Yiming Lu, Quan Jin, Miao Zhang, Jun Wu., (2020) "A novel feedforward control strategy for simultaneous nitrification and denitrification (SND) in aerobic granular sludge sequential batch reactor (AGS-SBR)", *Environ Manage*, 260(12): 110103
- Xinping Yang, Shimei Wang, Lixiang Zho., (2012) "Effect of carbon source, C/N ratio, nitrate and dissolved oxygen concentration on nitrite and ammonium production from denitrification process by *Pseudomonas stutzeri* D6", *Bioresour Technol*, 104: p 65–72.
- Ying-Chih Chiua, Li-Ling Leeb,1, Cheng-Nan Changb, Allen C. Chao., (2007)" Control of carbon and ammonium ratio for simultaneous nitrification and denitrification in a sequencing batch bioreactor", *Internation Biodeterioration & Biodegradation*, 59(1): p 1–7.