內埔工業區污水處理廠新設去氮除磷單元及功能改善工程

陳伯珍* 陳佩祥**

摘 要

配合民國87年新放流水標準之實施，內埔工業區污水處理廠正積極進行功能改善工程工作，由於其承受水體東港溪屬於水源水質水量保護區，放流水標準中特別規定排放水質亦須符合氮磷限值之標準，因此，經可行性分析後，本廠生物硝化處理單元將保留既有的旋轉生物圓盤(RBC)，另配合使用 Modified Ludzack-Ettinger Process(MLE)而設置一系列缺氧及曝氣生物反應池；本廠除磷單元則使用以多元氯化鋁做爲混凝劑之三次混凝沉澱池。內埔污水處理廠在原二沉池所改裝之缺氧池之後，設置一污水加壓站，將後續單元水位提升至地面，使得硝化循環液(NRCY)及迴流污泥(RAS)可以重力方式迴流至缺氧池，因此節省了工程費、用地、泵站之維護費；惟相對的，其操作電費則將增加。爲配合本功能改善工程之土地需求，既有效率不佳之三沉池、快濾池、及佔地較廣之貯水池與部份乾燥床等須加以拆除，以期有較佳之廠區配置方式。文中亦介紹了影響處理效果之操作控制因素。

【關鍵詞】

1.硝化循環液(NRCY) 2. 缺氧池

3. Modified Ludzack-Ettinger Process(MLE)

---

* 美商西圖工程顧問國際有限公司台灣分公司總工程師

**美商西圖工程顧問國際有限公司台灣分公司計畫經理

New Nutrient Removal Processes and Facilities Improvement for Neipu Industrial Park WWTP

Pochen Chen* Pei-hsiang Chen**

Abstract

To comply with the 1998 R.O.C. EPA's Effluent Standards, Neipu Industrial Park Wastewater Treatment Plant (WWTP) is actively undertaking facility improvement. Because its receiving water body, Tongkong River, is within the water resource, water quality and water quantity protection area, the treated effluent must meet the nitrogen and phosphate discharging limits according to the Effluent Standards. A feasibility study was performed to assess the technologies required to meet the Standards. The plant will keep its existing RBC units and add the Modified Ludzack-Ettinger Process (MLE) by adding anoxic and aerobic bioreactors for removing nitrogen in the wastewater. To remove phosphate, the plant will use poly-aluminum chloride in tertiary sedimentation tanks as coagulant. Neipu WWTP adds a booster pumping station downstream of the retrofitted anoxic tanks to raise the hydraulic profile of the succeeding treatment units, e.g., aeration tanks, secondary clarifiers, tertiary clarifiers, etc., thereby, the NRCY and RAS streams can discharge by gravity to the anoxic tanks. By doing this, construction cost, land use and maintenance cost of pumping stations are reduced, however, power consumption increases. For a better planning of the new treatment units, some existing poor-performance and large land area-occupying facilities, e.g., tertiary clarifiers, filtration tanks, polishing ponds and part of sludge drying beds are demolished. Some operating control factors that might affect the treatment performance are described in the article.

【KEYWORDS】

1.Nitrified Recycle (NRCY) 2. Anoxic Tanks 3. Modified Ludzack-Ettinger Process (MLE)

---

* Chief Engineer, CH2M Hill International, Ltd. Taiwan Branch

** Project Manager, CH2M Hill International, Ltd. Taiwan Branch

一、前　　言

配合民國 87 年新放流水標準之實施，經濟部工業局所屬之工業區污水處理廠正積極進行功能改善及擴建工程工作，其中內埔污水處理廠亦包括在內，其功能改善工程細部設計於 86 年 10 月完成，隨即辦理發包施工，預計民國 87 年底可施工完成加入運轉。

內埔工業區污水廠位於屏東縣內埔鄉，於民國 73 年開發完成，爲菸酒及綜合性工業區，總面積 99 公頃，其中工廠用地佔 72 公頃，住宅社區用地 7 公頃，公共設施用地 20 公頃。

工業區內下水道系統係採雨、污水分流制，工業區內工廠廢水由污水幹管收集，送到污水處理廠做適當處理後排入東港溪隘寮支線。

內埔工業區污水廠位於工業區西南側，廠區面積約 3 公頃，於民國 81 年完成污水處理廠近程改善工程，設計平均日處理量爲 5,600CMD。本污水廠原處理系統採用旋轉生物圓盤（RBC）做爲二級生物處理單元，於近程改善工程中增加三次混凝沉澱設施，再配合既有的快濾池做爲三級處理。

本功能改善工程中包括既有老舊設備、管線、電氣、儀控之檢修及汰舊換新，除此之外，由於東港溪屬於水源水質水量保護區，放流水標準中特別規定排放水質亦須符合氮磷限值之標準，而因既有污水廠並無除氮之功能，乃於本廠此次功能改善工程中，一併考量增設去氮除磷之處理單元，希望將來於本廠完工運轉後，對東港溪水污染之減輕能有所助益。

二、內埔污水廠現況簡介

內埔工業區污水處理廠原污水處理流程如圖 1，其平均進流污水水質及處理後水質詳表 1 所示。

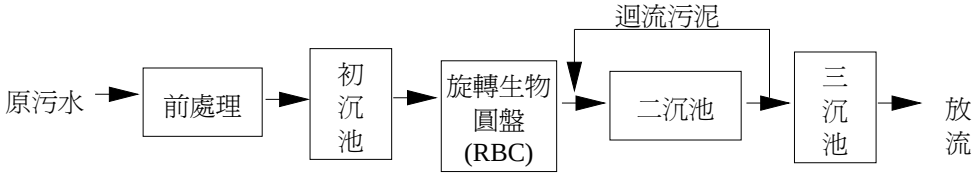

圖 1　內埔污水廠既設處理流程簡介

根據表 1 所示，原處理程序對於 N、P 二項無法有效去除；而本污水廠放流水之承受水體(東港溪)係屬水源水質水量保護區，依放流水標準之規定，除硝酸鹽氮須小於 50 mg/L 外，尚需對上述氮磷作有效去除，使其氨氮(NH_3-N)≦10 mg/L(as N)，三價磷酸鹽(PO_4^{-3})≦4 mg/L。

表 1　內埔污水廠進、出流水質

項　　目	進　　流(mg/L)	出　　流(mg/L)
BOD_5	150	15
COD	235	45
TSS	150	12
TKN	5.2～33.9	4.7～13.1
NH_3-N	6.16～42.05	1.75～20.75
T-P (as PO_4^{-3})	10.36～35.61	12.96～29.33
pH	7.4	7.5

調查期間：84 年 2 月至 85 年 12 月

三、氮磷處理方案選擇

依據前述進流污水水質調查，內埔污水廠設計進流水質氮磷部份建議爲總氮：50 mg/L 及總磷：35 mg/L。爲符合放流水標準，氮之去除率須爲 80%以上，而磷之去除率須爲 90%以上。就目前之處理技術，生物處理之硝化作用其去除效率可達 90%以上。而當污水之 BOD 與磷之比值大於 10 比 1 時，生物除磷法可使放流水中溶解性磷的含量小於 1mg/L；如採用化學除磷技術，則不論水質爲何，放流水中磷的含量皆可小於 1mg/L。

由於生物除磷法效率取決於污水之 BOD 與磷之比值，對於水質經常變化之工業廢水而言較不適合，因此乃選用化學除磷做爲處理方案。同時因內埔污水廠設有三次沉澱池，可利用該池做爲化學除磷之單元，操作技術可更有把握。

氨氮去除方式在規劃時提出兩個方案：第一方案爲除既有的生物旋轉盤(RBC)外再設置另一套旋轉生物圓盤，以做爲生物硝化處理單元，第二方案則除既有的旋轉生物圓盤外再設置另一套缺氧及曝氣生物反應池。第一方案之優點爲(1)控制及操作較簡單，(2)省能源，(3)工程費

用較低，其缺點則爲無法達到脫硝；第二方案之優點爲(1)可達到脫硝，使放流水符合更嚴格之水質要求，(2)可恢復水中鹼度，減少需氧量，(3)較符合設計新趨勢，其缺點則爲(1)控制及操作較複雜，(2)工程費較高。

基於第二方案對東港溪河川水質之改善程度較佳，以及內埔污水廠同仁能接受新的生物反應池的操作觀念，因此決定採用第二方案作爲內埔污水廠除氮之處理方案。

四、新設處理流程

針對內埔污水廠之去氮除磷，本改善工程之處理流程概要如圖 2 所示：

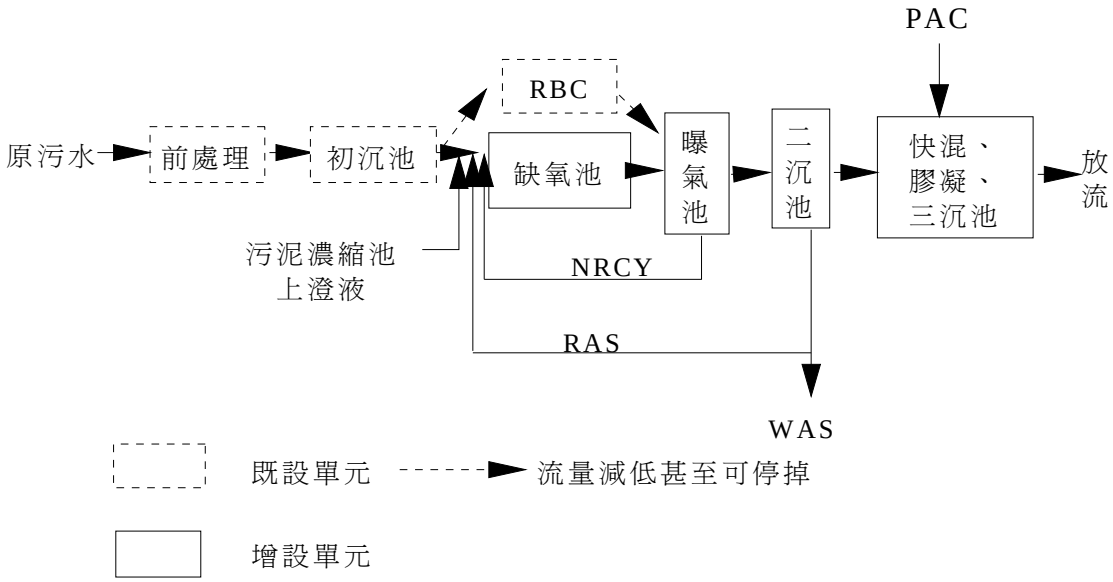

圖 2　本改善工程之處理流程概要

對於氨氮之去除，係採用 Modified Ludzack-Ettinger Process(MLE)，於曝氣池中將污水之氨氮轉換成硝酸氮後迴流至缺氧池，配合進流污水之 COD 及污泥濃縮池上澄液之 COD 進行脫硝，將硝酸氮還原成氮氣釋出；對於磷之去除，係採用化學沉降方式，以添加多元氯化鋁(PAC)經混凝沉澱後形成磷酸鋁污泥，再經脫水後隨同污泥餅運棄。

本改善工程之去氮除磷單元之設計、控制因素整理如表 2。

表 2　本處理程序去氮除磷單元之設計、控制因素

	單　元	池槽概述	設計及控制因素
氨氮去除單元	缺氧池	由原二沉池加以改裝，兩池串聯，加蓋並加攪拌機	1.硝酸鹽來源：自曝氣池後段迴流缺氧液(NRCY)，採 100%迴流。 2.碳源：原污水及濃縮池上澄液，COD：N 採 10：1。 3.氧化還原電位(ORP)控制於 50 以下(配合曝氣池之溶氧控制)。 4.水力停留時間(HRT)≒ 1.8hrs。
	曝氣池	四池並聯，每池分四槽串聯採漸減式曝氣方式，分配如下：40%、25%、25%、10%	1.DO 控制每池前三槽 2.0mg/L，第四槽 0.5mg/L。 2.HRT≒ 12hrs 3.pH 控制於 8 左右
磷去除單元	快混、膠凝沉澱池	快混池、膠凝池、三沉池	1.加藥量 Al/P：2 mg Al/mg-P 2.快混池 D.T=1min(平均日) 3.膠凝池 D.T=30min(平均日) 4.三沉池 HRT=3.4hrs(最大日，一池停用) 5.溢流率=24m^3/m^2.d(最大日，一池停用)

五、特殊設計項目考量

內埔污水廠廠區所在地由於地下水位高，若配合原廠既有處理單元如初沉池、RBC、二沉池等之水位而不設中繼加壓站時，新處理單元如曝氣池、二沉池、快混、膠凝、三沉池、放流口等將因水力坡降需求而使設施愈挖愈深，不但增加工程費，且最後仍需加設放流泵站以使處理水排入河川中。因此本廠在原二沉池所改裝之缺氧池之後，即設置一污水加壓站，以將後續單元水位提升至地面。本廠整廠水力剖面請見圖 3。

MLE 法中曝氣池後段之混合液(氨氮經硝化作用(nitrification)已氧化爲硝酸鹽)通常需以泵浦迴流至缺氧池(稱爲硝化循環液(NRCY)),以進行脫硝作用(denitrification),將硝酸鹽還原爲氮氣釋出至大氣中,本工程中因設有如上所述之污水加壓站,NRCY 因此可以重力方式自曝氣池迴流至缺氧池中。除此之外,二沉池之迴流污泥(RAS),亦可以重力方式迴流至缺氧池。因此可以說本廠係以一污水中繼加壓站代替了迴流污泥泵站、NRCY 泵站及放流泵站,節省了工程費、用地及泵站之維護費;惟相對的,其操作電費則將增加。

本廠廠區面積僅 3 公頃,原預留空地不多且皆係零亂不整,爲配合本改善工程之土地需求,經現場調查及評估後,忍痛將既有三沉池(使用傾斜管,維修困難、容量不足),快濾池(閒置多年,反沖洗機制有問題,無法有效修復),貯水池(佔地面積大,效果不彰,閒置多年),及部份乾燥床(因佔地面積大而位置適中,需徵收作爲新單元設施用地;污泥改用脫水機脫水)等拆除,以容許在舊有廠區窠臼上有較佳之廠區配置方式。本廠平面配置請見圖 4。

六、影響處理效果之操作控制因素

於操作除氮流程時,由於進流水質水量之變化或各項操作控制條件之不同,皆可能影響其處理效果。爲使出流水質隨時皆能符合預期之排放標準,如何藉由水質監測結果數據之分析,而針對某些操作控制條件作適當之調整,操作上應有所認識。茲將影響處理效果之操作控制因素敘述如下:

1.NRCY 迴流率

原則上,設計之 NRCY 迴流率爲進流水量之 100%,然實際之迴流率應視除氮效果而調整。由於除氮效果係由硝酸鹽轉換成氮氣後排除而達成,因此若能迴流愈多之硝酸鹽至缺氧池中,則除氮效果應愈佳,即 NRCY 迴流率宜操作在最大值。該值之決定,可逐漸將 NRCY 迴流率提高至除氮效果無法滿足需求(可由監測水質中得知)或缺氧池已超過負荷爲止。

2.曝氣池平均細胞停留時間

曝氣池平均細胞停留時間(aerobic MCRT)之長短關係著硝化作用之完全與否,爲確保硝化作用能順利發生並完成,應提供足夠之曝

氣池平均細胞停留時間，且採用安全係數（safety factor）爲 1.5～2.0。另外，溫度之高低將會影響曝氣池平均細胞停留時間之長短，溫度愈低，所需之平均細胞停留時間愈長。

3.廢棄污泥量

爲維持適當之曝氣池平均細胞停留時間，可藉由廢棄污泥量之多寡達成之。每日之廢棄污泥量應隨當日之操作條件而調整，惟每日調整之幅度不得超過 20%，否則將影響整個生物系統之正常操作。

4.迴流污泥率

原則上，設計之迴流污泥率最高可達 100%，平常則預期操作在 60%。迴流至缺氧池之 RAS 亦含有硝酸氮，因此過大之 RAS 迴流率將使缺氧池超載而降低脫硝效果，故 RAS 迴流率宜操作在最小值。該值可由二沉池之污泥毯厚度及 MLSS 濃度決定之。

5. 曝氣池之溶氧濃度

原則上，曝氣池之溶氧（DO）濃度應維持在 0.5～2.0mg/L 之間，並應儘可能避免 DO 濃度低於 0.3mg/L 或高於 3mg/L。本廠設計之曝氣池 DO 濃度爲 2.0mg/L。若 DO 濃度過低，則 BOD 之去除效率可能減少 30%～50%以上；DO 濃度過高，則可能導致污泥沉降性不佳且浪費能源。

6.二沉池之操作

操作二沉池時應注意之參數主要有三，即表面溢流率（SOR）、固體負荷率（SLR）及污泥毯厚度。SOR 與固體物之沉降效率直接相關，其值建議應介於 12～32m/day 之間。如 SOR 值過高，將導致二沉池之水力超載；如 SOR 值過低，將使二沉池水力停留時間過長而導致污泥上浮或鬆化。SLR 則直接影響到二沉池之固液分離效果及迴流污泥濃度，其值建議應介於 3～6kg/hr.m^2 之間。如果二沉池面臨 SLR 及污泥毯厚度過高之問題，則操作人員可由增加廢棄污泥率以降低曝氣池之 MLSS 濃度來調整。然 MLSS 濃度之降低速率不可過鉅，應緩慢調整之，可以每星期降低不超過 10%爲原則。若調降速率過鉅，可能導致污泥沉降性變差及降低硝化速率。另外，若污泥毯厚度隨時皆高於池側水深之 25%，則操作人員應進行原因探討並設法改善之。

7.鹼度(alkalinity)調整

由於硝化作用會消耗鹼度，因此若進流污水中鹼度不足時，則應添加適當之化學藥劑，以維持硝化作用之進行。一般而言，200mg/L(as

$CaCO_3$)之鹼度可供氧化 20mg/L 氨氮之所需。本廠鹼度調整採用之化學藥劑爲 NaOH。

七、結　　語

內埔工業區污水廠爲符合民國 87 年新放流水標準及東港溪水源水質水量保護區氮磷限值之標準，使用 Modified Ludzack-Ettinger Process(MLE)之缺氧及曝氣生物反應池做爲氨氮去除方式，並使用以多元氯化鋁做爲混凝劑之三次混凝沉澱除磷單元。MLE 法在操作上與一般活性污泥法並無太大之區別，只多了硝化循環液(NRCY)；而混凝沉澱除磷法對操作人員來說更是已行之多年。因此只要在操作時注意影響處理效果之操作控制因素，藉由水質監測結果數據之分析，而對某些操作控制因素作適當之調整，使處理水達到原設計目標應極容易。

圖 3　水力剖面圖

圖 4　內埔工業區污水處理廠平面配置圖