



# 科學園區 污水處理之展望

- ◎ 關鍵詞：科學園區、污水處理、水資源再生、污泥處理
- 1 國立中央大學／榮譽教授／歐陽燦輝
  - 2 朝陽科技大學／環境工程與管理系／副教授／莊順興
  - 3 台灣世曦工程顧問股份有限公司／水環部／技術經理／曾淳錚

## 摘要 SUMMARY

科學園區向來為我國高科技產業發展之標竿，其污水處理成效屢獲肯定，處理績效亦達世界水準，各項放流水水質均遠低於國家所訂之放流水標準。而隨著近年來全球對資源永續之要求、社會民眾對環境保護之重視及國際上污水處理技術之發展，科學園區之污水處理如何能順應世界潮流，展現台灣高科技產業園區之頂尖環保形象，符合社會期待與國際環保趨勢，為本文探討之重點。



## 壹、前言

科學園區向來為我國高科技產業發展之標竿，其於經濟上之表現一向亮眼，國科會統計資料顯示，96年科學園區整體營運成績斐然，三個園區營業額接近新台幣2兆元，再創歷史新高。除經濟上燦爛之表現外，科學園區於環境保護水污染防治上亦展現創新積極之作為而獲得肯定，竹科與南科園區之下水道系統於近三年內曾多次榮獲環保署「工業區專用下水道系統水污染防治查核評比」優等獎，足勘全國工業區之表率。

而隨著近年來全球對電子產品綠色生產之環保要求、社會民眾對環境保護之重視及國際上污水處理技術之發展，科學園區之污水處理

如何能順應世界潮流，展現台灣高科技產業園區之頂尖環保國際形象，則為後續發展值得探討之議題。

## 貳、科學園區污水處理之現況

隸屬於行政院國科會之「新竹科學工業園區」、「南部科學工業園區」及「中部科學工業園區」分別於民國67年12月、84年5月及92年7月開始設置，扮演著建立高科技產業發展基地，促進台灣產業升級及經濟發展之角色。為落實環境保護及永續發展，各園區於設置之初即同時規劃設置雨、污水分流下水道系統，避免雨水與污水混合造成環境污染，污水經集中至污水處理廠妥善處理後，符合水污染防治法



規定之放流水標準，再予以放流至承受水體。科學園區下水道系統由於規劃、操作與營運良好，已成為目前國內專用下水道系統之典範。

### 一、科學園區污水處理現況

科學園區由於開發時間、引進目標產業與開發方式之不同，污水處理廠之建置與操作營運狀況亦有所差異，表1為目前運轉中之污水處理廠設計規模與操作成效彙整表。各園區污水處理廠歷經多次增建後，所設計之最大污水處理量均能滿足目前所產生之污水量，且有充分餘裕量，足供後續擴廠所需。

污水水質部分，進流水各項水質濃度均低於原規劃之污水水質，顯示科學園區對廠商之污水前處理設施管制良好，大幅降低污水處理之負荷量。放流水水質資料顯示，各園區之污水目前均已穩定達到妥善處理之目標，放流水水質均遠低於水污染防治法所訂定之放流水標準，BOD<sub>5</sub>均可低於10 mg/L，COD低於37.5 mg/L，且大部分放流水之SS亦可達到10 mg/L以下之水準，顯示現階段之污水處理廠操作成效良好，達到善盡污染防治之責任。

### 二、科學園區污水處理廠之處理流程

目前園區污水處理廠所採用之污水處理方法主要為生物處理(活性污泥或接觸曝氣)搭配化學處理之二級處理程序，且為提昇放流水品質，處理水於放流前皆經過濾單元處理，確保懸浮固體物能被有效去除，園區污水處理流程如圖1所示。

由園區污水處理廠長期穩定操作之數據資料顯示，生物處理為最主要之核心處理單元，不論活性污泥法或接觸曝氣法均能有效去除園區污水中之有機污染物。化學處理單元接續於生物處理單元後，可達到進一步降低污染物濃度之功能，且可減少化學藥品之使用量。污泥則經由濃縮脫水方式處理，污泥餅乃委託廢棄物清除業者加以清運，最終處

置則以掩埋為主。另水回收再利用之觀念亦於污水處理規劃時被考慮於處理程序中。園區污水處理廠之處理流程經實證確認為一適當之程序。

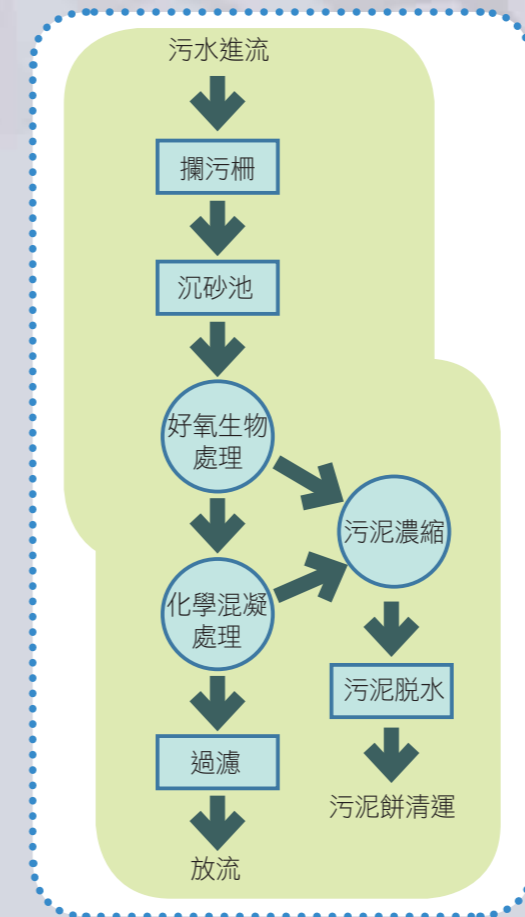


圖1 科學園區污水處理廠處理流程示意圖

科學園區之成功發展為台灣聞名國際之特色，園區污水處理成效亦達世界水準，因此，如何進一步展現環保作為，增進園區環保形象之競爭力，實為一值得深思之議題。由全球環境保護趨勢展望科學園區之污水處理，污水處理除提昇處理水質，達成水污染防治及水域水質改善之目標外，更可逐步提昇水資源之回收利用，成為符合永續發展理念之污水處理系統。污水處理廠之高科技化、水資源再生利用及污泥之減量、能源化與資源化，將是符合高科技產業園區形象與社會期待之方向。

### 一、高科技污水處理系統

科學園區為我國高科技產業之重鎮，在社會期望及國際形象上，亦應是具有前瞻性之高科技污水處理系統，近年園區所逐步建立之全區廠商及專用下水道系統資料庫，即已具備此發展之基礎。而於污水處理設施上，高科技污水處理系統之作為可包括(一)高級處理技術之應用(二)污水系統最佳化與節能及(三)水質特性資料之建立。

#### (一)高級處理技術之應用

高級處理技術之應用在於加強主要污染物之去除及特殊污染物之掌控。目前園區污水處理廠已將有機污染物及懸浮物質進行良好之處理，放流水BOD<sub>5</sub>及SS均可達到10 mg/L以下之水準，已將污水二級處理技術發揮至極致。高級處理技術應用之目的在於更進一步提高放流水質，焦點應關注於放流水中潛在影響水域環境之成份與社會關心之物質。表2為常見之水質項目與相對應之高級處理技術。

表1 科學園區污水處理廠設計規模與操作成效彙整表

項目 園區	設計最大處理量 (CMD)	目前營運處理量 (CMD)	平均進流水質 (mg/L)	平均放流水質 (mg/L)	放流水標準 (mg/L)
竹科 新竹園區	185,000	106,883	BOD <sub>5</sub> =50.6 COD=169.0 SS=131.0	BOD <sub>5</sub> =6.4 COD=21.4 SS=4.6	BOD <sub>5</sub> <30 COD<100 SS<30
竹科 竹南園區	20,000	11,654	BOD <sub>5</sub> =25.9 COD=97.9 SS=11.1	BOD <sub>5</sub> =9.0 COD=37.5 SS=ND	
竹科 龍潭園區	6,500	228	BOD <sub>5</sub> =21.6 COD=54.0 SS=30.0	BOD <sub>5</sub> =4.4 COD=14.7 SS=4.5	
中科 台中園區	64,000	31,388	BOD <sub>5</sub> =61.0 COD=109.9 SS=92.5	BOD <sub>5</sub> =7.6 COD=22.7 SS=14.5	
南科 台南園區	90,000	66,512	BOD <sub>5</sub> =116 COD=202.0 SS=88.0	BOD <sub>5</sub> =2.4 COD=36.6 SS=4.0	
南科 高雄園區	45,000	1,382	BOD <sub>5</sub> =17.2 COD=21.3 SS=16.9	BOD <sub>5</sub> =3.2 COD=11.4 SS=2.0	
備註	1.資料來源為環保署水污染源管制資料管理系統(統計時間:96年1-6月)。 2.中科台中園區設計最大處理量為二期擴建完成之規模。				

### 參、科學園區污水處理之展望

由全球環境保護歷程觀之，強調永續發展與能源資源再利用已成為21世紀必然之環保趨勢，且其影響亦將日益顯著。以產業界而言，在激烈競爭之市場中，各產業如何提出與環保契合之綠色生產製程，產品如何符合國際環保規範及提昇產業之環保形象，已成為以全球為市場之台灣產業面對嚴峻之國際競爭所必須深刻考量之問題。



表2 常見之水質項目與相對應之高級處理技術

去除對象/污染物	水質項目	處理技術
微細懸浮物質	SS	快速過濾、微篩、混凝沉澱、特殊濾材過濾、薄膜過濾
溶解性有機物	BOD <sub>5</sub> COD	活性碳吸附、混凝沉澱、臭氧化、好氧性過濾、接觸氧化、超過濾、薄膜生物反應槽
氮	TN、TKN NH <sub>3</sub> -N NO <sub>2</sub> -N、NO <sub>3</sub> -N	生物硝化脫硝、氨氣提法、折點加氯
磷	TP PO <sub>4</sub> -P	生物脫氮除磷法、混凝沉澱、添加混凝劑之活性污泥法、厭氧好氧活性污泥法、結晶除磷法
無機鹽類	TDS、電導度、Na、Ca、Cl離子等	逆滲透、電透析、蒸發、離子交換
微生物	細菌、病毒	滅菌、消毒(氯氣、次氯酸鈉、臭氧、紫外線)、薄膜

### 1. 氮磷處理之最佳可行技術

就園區污水處理可能面對之問題而言，氮、磷營養鹽之去除已成為園區污水處理所需考量之重點，環保署亦於民國96年著手針對各產業排放水之氮氮管制標準加以研議，因此，氮磷處理將成為園區污水高級處理技術應用之首要對象。

園區污水中之氮、磷成份主要來自半導體業及光電產業之清洗製程程序，故其經常伴隨大量污水產生，而成為處理上棘手之問題。由製程上進行原料替代與回收再利用當然是污染物處理之上策，其次，可於污水處理系統管理上進行進流濃度管制，限制排入污水下水道系統之氮、磷濃度，最後，則必須考量污水處理廠氮磷處理之對策。

考量氮磷營養鹽之去除，最普遍被採用之高級處理技術為生物硝化脫硝法、生物脫氮除磷法、混凝沉澱除磷或結晶除磷法。生物硝化脫硝法與生物脫氮除磷法均需依賴污水中之有機物作為脫硝與除磷反應之碳源，惟園區污水之有機物與氮磷濃度之比值(C/N, C/P ratios)

偏低，適當之有機物來源與碳源添加之成效將成為生物脫氮除磷技術應用之關鍵。

此外，降低化學混凝沉澱處理之污泥產生量與擴大結晶除磷資源化之用途與效益，將是化學除磷應用之關鍵。綜合而言，對於園區污水氮磷高級處理之應用，應評估其最佳可行技術(Best Available Control Technologies)並納入含磷污泥處理與回收潛力之考量，做為推動之參考。

### 2. 氮磷對水域環境之影響分析

另一方面，氮磷為環境中之營養鹽成份，其將造成封閉型承受水體優養化問題，而氮磷對於一般河川水體之生態與環境影響情形，目前並未有長期深入之研究，且隨河川地域屬性之差異，其影響亦將有所不同，考量高科技產業排放水含氮磷成份，放流水氮磷對各園區承受水域之影響應加以探討。

#### (二) 污水系統最佳化與節能

園區污水系統收集區內各家廠商之排放水，隨著各產業之發展，製程改變，使用之藥劑隨之改變，排放水之成

份必然複雜與多變，變化之水質對污水處理系統之穩定具一定程度之影響。污水系統之最佳化包括生物處理之穩定、加藥控制最佳效率、污泥餅之最低含水率等，藉由水質資料與操作條件之系統性分析，當能掌握處理系統之穩定性。此外，對於處理系統能源效率之提昇，如曝氣溶氧之控制等，亦為重點。

#### (三) 水質特性資料之建立

污水系統水質特性資料之建立可提供水質長期對周遭水域生態影響之分析基礎，如廠商排放水之特殊重金屬、特定有機溶劑等微量環境敏感性成份之分析，雖部分未列於目前之管制項目中，就環境管理角度而言，若其具潛在污染可能，則加以長期檢測與追蹤，將有助於污染之預防與釐清環境問題。

## 二、水資源再生利用系統

水資源之有效運用一直是台灣地區近年來所面臨之問題，尤其於旱季缺水時期更形嚴重。園區污水處理近年來之努力已使放流水達到相當良好之品質，就水資源規劃之角度而言，已具有成為第二水資源之潛力。如何務實考量放流水之再生利用，逐步提昇整體水資源利用之效益，亦為園區污水處理之課題。

#### (一) 水再生利用於都市雜用

放流水之再生利用必須考量再利用之用途、被接受度與處理技術之可行。就水回收再利用之類別而言，依使用屬性可分為灌溉再利用，都市雜用(包括沖廁、景觀、澆灌、灑水抑塵、洗車、清洗地板)及工業冷卻與製程再利用等三大類。就再利用水質與屬性加以分析，目前園區放流水之水質已可符合再利用於都市雜用之要求，且被接受程度高，所

需額外考量者為消毒處理單元之成效，此部分之再利用應為現階段園區污水再生利用系統之主要方向。

#### (二) 水再生利用於工業製程之挑戰

就放流水再生利用之潛在對象分析，再利用於工業冷卻及製程使用為再利用潛力最高者，將放流水回收再利用於工業冷卻及製程使用時，水質被接受度常是必須面對之關鍵問題，尤其以高科技為主之園區產業，由於對用水水質要求高，更是關心此一問題，而其核心關鍵則為水質之控制，亦即工業污水再生技術之穩定度。

以再利用於冷卻使用為例，一般水質須符合TDS < 500 mg/L、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> < 200 mg/L、Cl<sup>-</sup> < 500 mg/L，及其他如SiO<sub>2</sub>、Ca、Mn、Fe、Al等項目之要求。而園區污水處理廠放流水之TDS > 1500-2000 mg/L，電導度 > 2000-3000 μs/cm，因此，如何有效控制水中溶解性離子成分為此應用之關鍵點。就降低污水中之離子成分而言，薄膜技術之應用將扮演水再生處理之重要角色，逆滲透、電透析及離子交換等技術單元比較如表3所示。

然而，園區污水水質複雜成份多變，對於大型工業污水處理廠以薄膜進行再生回收利用，於技術應用上仍為一重大挑戰。以模型試驗進行現場長期之研究與可行性評估，以掌握技術應用設計及操作特性，同時建立產業界對工業污水回收再利用之認同與信心，為推動水再生之必要作為。就園區污水處理之發展而言，扮演領先推動之角色，逐步建立成為國內工業污水再利用之標竿，應為一值得發展之方向。



表3 逆滲透、電透析與離子交換應用之比較

單元	應用對象	限制特性	操作
逆滲透(RO)	溶解性有機物質與無機物質之去除	Salt precipitation, scaling, fouling	TDS > 2000 - 3000 mg/L 7-12 kWh/1000 gal R=0.75-0.9
電透析(ED)	溶解性無機物質之去除	Concentration polarization, Scaling, Fouling	TDS < 2,000 - 3000 mg/L 5-7 kWh/1000 gal R=0.85-0.9
離子交換(IE)	溶解性無機物質之去除	Low capacity	TDS < 700-2500 mg/L 0.2-0.4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .min

表4 常用之污泥減量、能源化與資源化技術

污泥處理目的	對象	常用技術
污泥減量	有機污泥 無機污泥	厭氧消化、高溫好氧消化、脫水、乾燥、焚化、熔融
污泥能源化	有機污泥	厭氧消化產甲烷、厭氧消化產氫
污泥資源化	無機污泥	熔融、燒結

### 三、科學園區污水處理系統污泥減量、能源化與資源化

污水處理系統將污水中污染物加以去除後，必然產生污泥，污泥亦必須經妥善處理，才能達成污染防治之目的。95年度竹科、南科與中科污水處理廠所產生之污泥量分別達23,811公噸、11,823公噸與382公噸(96年中科因水量增加污泥產量亦已大幅增加)，因此，如何降低污泥產生量，增加污泥能源化與資源化，應為園區污水處理所需考量之問題。

#### (一)污泥減量化

常見之污泥減量技術包括消化、脫水、乾燥、焚化及高溫熔融等。污泥脫水技術之改善，可藉由藥劑與操作條件之改變或脫水機具之選用，以降低污泥餅之含水率，為污泥減量最直接之改善方法。其次，污泥厭氧消化或高溫好氧消化，亦可有效降低污泥產量，污泥消化搭配預先加鹼、超音波或臭氣處理，常能有效提高消化效率。

此外，藉由高溫乾燥、焚化或熔融方法可明顯降低污泥量，於技術上均屬成熟，所需考量點則為操作衍生之空氣臭味污染問題，必須加以完善克服。

#### (二)有機污泥能源化

將污水處理所產生之有機污泥加以轉化為能源，並將能源再利用於污水處理廠或周遭生活設施，為有機污泥之最理想利用方式，常見之污泥能源化技術為污泥厭氧消化生成甲烷，此技術已成熟應用於都市污水處理廠，另近年被國內外列為發展重點之一的污泥厭氧產氫技術，目前尚未達到經濟利用之規模。

就園區污水處理現況而言，園區內進流污水下水道系統之水均經廠商前處理設施處理，進流之顆粒性有機物質較少，污泥來源主要為生物處理系統所排出之剩餘活性污泥，其厭氧消化之成效應加以探討。綜合而言，考量園區污泥處理之能源化，以前導型模型研究探討其可行性，應為可鼓勵之方向。

#### (三)無機污泥資源化

將無機污泥資源化，作為建築工程材料，為工業污水處理無機污泥理想之處置方法。以污泥再利用之屬性而言，工業污水處理所產生之污泥利用於農林地之應用將造成較大之疑慮，利用熔融、燒結技術將污泥穩定以形成建材成為有效資源，將是符合資源永續利用之方向，表4為各項常用之污泥減量、能源化與資源化技術。

目前園區污水處理所產生之污泥均委託廢棄物代處理業者加以清運處理，最主要為掩埋方式。而園區污泥產生量大，長期以掩埋方式進行，並不符環保永續之理念，整合各園區污水處理廠，建立污泥聯合利用體系，將污泥委託資源再利用處理業者，以資源化技術將污泥再製成資源化材料，此應為一值得推動之課題。

### 肆、結論

科學園區污水處理系統於近年來積極努力下，成效顯著，污水處理系統之管理與操作已成為國內工業區之標竿，處理績效亦達世界水準，放流水水質均遠低於國家所訂之放流水標準，達成清水放流河川之目標。展望21世紀科學園區之污水處理，為順應全球環境保護趨勢與達到善用水資源之社會責任，污水處理除提昇處理水質，達成水污染防治及水域水質改善之目標外，更可逐步提昇水資源之回收利用，成為符合永續發展理念之污水處理系統。污水處理廠之高科技化、最佳化與提昇能源效率、建立水質特性資料庫、水資源再生利用及污泥之減量、能源化與資源化，將是符合高科技產業園區形象、社會期待與國際環保趨勢之方向。

### 參考文獻

- 1.國科會，國科會所屬科學工業園區96年業務成果及重要施政說明，民國97年1月30日。
- 2.環保署，工業區專用下水道系統查核評比，民國96年3月6日。
- 3.科學工業園區管理局官方網站，網址<http://www.sipa.gov.tw>
- 4.中部科學工業園區官方網站，網址 <http://www.ctsp.gov.tw>
- 5.南部科學工業園區官方網站，網址 <http://www.stsipa.gov.tw>
- 6.環保署，水污染源管制資料管理系統，民國96年1-6月。
- 7.歐陽嶠暉，下水道工程學，民國94年8月。
- 8.環保署，高科技產業廢水水質特性分析及管制標準探討計畫期末報告，民國97年1月9日。
- 9.朝陽科技大學，污水下水道系統營運操作效能評估暨收費率制度檢討計畫期末報告，中部科學工業園區開發籌備處，民國95年12月20日。
- 10.台灣世曦工程顧問股份有限公司，科學工業園區相關產業廢水氮磷特性及其對污水處理廠性能影響探討，財團法人中華顧問工程司，民國96年12月26日。
- 11.莊順興，台灣水資源回收利用之機會與技術建議，產業升級與永續發展研討會(IV)，民國96年10月25日。
- 12.莊順興、曾淳錚，光電及半導體業廢水氮磷處理技術評估，中部科學工業園區台中園區污水下水道系統暨事業前處理操作維護與經驗分享研討會，民國96年12月27日。