

為產業注入活水泉源

化學機械研磨 廢水回收技術之發展



工研院能環所/金光祖、黃盟舜、陳文藏

國內半導體與平面顯示器產業製程元件尺寸逐漸趨向奈米化，不斷朝著高速率、高功能、細線化及高積集度方向發展，不論晶圓或是玻璃基板都必需利用奈米研磨顆粒來達到表面平坦化的目的，當微影製程圖案尺寸小於 0.25 μ m 時，其表面粗糙度需小於 2000，到了深次微米，即 0.35 微米以下線路時，必須使用化學機械研磨 (Chemical Mechanical Polishing, CMP) 技術來解決晶圓表面平整性、光學上聚焦深度及全面平坦化等需求；以半導體 12 吋晶圓製造廠而言，CMP 製程已成為製程中不可或缺的生產步驟，目前國內有 88% 以上的半導體廠會因 CMP 製程而產生大量的奈米顆粒廢水，且隨著製程由 0.18 μ m 逐年提升至 0.065 μ m，CMP 製程所採用的研磨顆粒也將隨之大幅減小至 50nm 左右，目前對此類廢水尚無有效的處理方法，預計至 2006 年，國內此類廢水的排放量將達到 26,000 噸 / 天。

化學機械研磨製程

CMP 製程的原理是利用矽晶片與研磨頭之間的相對運動，同時利用研磨液 (Slurry) 和研磨墊 (Pad) 配合機械研磨的動作，並施加壓力將積體電路晶圓 (Wafer) 上的介電層 (Oxide Layer) 與金屬層 (Metal Layer) 磨平，由於可以精確且均勻的把矽晶片研磨至需要的厚度與平坦度，可使表面完全平坦化技術以提升半導體製程整體良率，如圖 1 所示，為化學機械研磨機台簡圖。

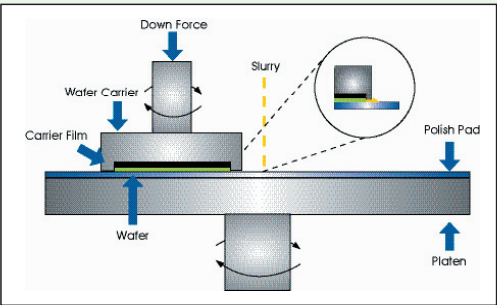


圖1 化學機械研磨機台簡圖

化學機械研磨研磨液

CMP製程所使用研磨液中所含的化學藥劑會與介電層、金屬層與金屬阻障層發生作用而在表面生成反應物，再經由研磨液中所含5~10%的30~100 nm的微細研磨顆粒(Abrasive Particles)，又稱做砥粒，將這層生成物磨除，種類有SiO₂、Al₂O₃、CeO₂、ZrO₂等；研磨液一般又區分為氧化層研磨液(Oxide Slurry)及金屬層研磨液(Metal Slurry)兩種，氧化層研磨液成分為含矽膠顆粒的鹼性氫氧化鉀或氫氧化胺溶液，主要用於二氧化矽層間絕緣膜之研磨；而金屬膜研磨液是以氧化鋁粉末或矽膠作為研磨顆粒，但現今較常使用的研磨顆粒為過氧化氫、矽膠或氧化鋁的混和物，同時開發粒尺寸十分均勻的氧化鈾研磨液，以因應不同矽晶片的需求，主要用於金屬膜研磨。

研磨劑都會添加多種有機成分的化學添加劑，使奈米顆粒形成有機聚合化並穩定分散，以避免研磨過程中刮傷晶圓表面，這一些化學添加劑包括界面活性劑、pH 緩衝劑 (KOH、NH₄OH、HNO₃ 或有機酸)、黏度調整劑、螯合劑、氧化劑 (雙氧水、硝酸鐵、碘酸鉀)、穩定劑和分散劑等；目前國內半導體業一般採用 Cabot 公司出產之 SS-25 型，與水以適當比例混合後，作為介電層研磨液，另外採用 Cobat 公司出產之 SS-W-2000 型，加入 H₂O₂ 混合後，作為金屬層研磨液，將化學機械研磨劑分類如表 1 所示，這使得該廢水的處理困難度更高。

研磨對象	研磨液	
	研磨顆粒	添加劑
SiO ₂	SiO ₂	KOH、NH ₄ OH (有機分散劑)
	ZrO ₂	
	CeO ₂	
	Al ₂ O ₃	
	Mn ₂ O ₃	
Metal	Al ₂ O ₃	H ₂ O ₂ 、Fe(NO ₃) ₃ 、KIO ₃
	Mn ₂ O ₃	H ₂ O ₂
	SiO ₂	
	Cu	H ₂ O ₂ 、Fe(NO ₃) ₃ 、KIO ₃
	Al	H ₂ O ₂ 、Fe(NO ₃) ₃ 、KIO ₃

表1 化學機械研磨液分類

化學機械研磨研磨廢水

研磨製程中所產生的廢水，主要含有大量的非金屬微粒及少量的金屬粒子，CMP 製程所產生的廢水主要可分兩部分，包括研磨後漿液 (Spent Slurry) 以及 CMP 研磨後清洗所產生的廢水 (Post CMP Cleaning Wastewater)，此兩股廢液成份大致相似，如表 2 所示，含有原研磨液成份、研磨下來之晶片材料顆粒及研磨墊材料顆粒，但是研磨後漿液之廢水量雖少但其濃度高，處理上較不容易，研磨後經過清洗所產生廢水的量相當龐大而濃度較低，除含有研磨後漿液的成份外，還含有清洗時所加入的化學藥劑，由於廢水排放量較大，是回用處理的主要部分。

化學機械研磨廢水處理

以目前國內現況來看，約有 91% 的奈米顆粒廢水沒有經過妥善的處理回收就被排放，如圖 2 所示，因此，基於環境保護及產業永續發展的觀點，奈米顆粒廢水回收系統的開發，對於環境與產業均具有迫切的需求性，根據美國及歐洲等國家之研究報告，證實奈米顆粒可透過水及空氣的傳播媒介，進入血管及腦神經結中引起多重器官發生病變，再加上奈米級顆粒具有相當高的比表面積且具有高度活性，可提供許多吸附位置吸附大量重金屬或有毒物質，且具高度催化的效果，對人體的危害程度實在不容忽視。

Materials in CMP Wastewater
Inorganic Materials Interconnect : Cu ²⁺ , complexed Cu ²⁺ , Cu ₂ O, CuO, Cu(OH) ₂ , WO ₃ , Al ₂ O ₃ , Al(OH) ₃ , Fe ²⁺ /Fe ³⁺ Barrier/liner : Tantalum and titanium oxides and oxynitrides Abrasives : SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MnO ₂ , CeO ₂ Oxidizers : Hydroxylamine, KMnO ₄ , KIO ₄ , H ₂ O ₂ , NO ₃ Strong acids and weak buffering acids : HF, HNO ₃ , H ₃ BO ₃ , NH ₄ ⁺ , citric acid Strong bases : NH ₃ , OH ⁻
Organic Materials Dispersants/surfactants : poly(acrylic acid), alkyl sulfates, EDTA quatamary ammonium salts Corrosion inhibitors : benzotriazole, alkyl amines Metal complexing agents : EDTA, ethanol amines, oxalic and citric acid Acids : poly(acrylic), oxalic, citric, acetic, peroxy acetic

表2 化學機械研磨廢水所含之物質成分

預估 CMP 製程所產生廢水的排放量於 2001 年至 2010 年將由 3000CMD 增加至 45000CMD，且研磨廢液中所含顆粒尺寸由 0.18 μm 逐年降至 0.045 μm ，到了 2010 年所佔製程用水比例將由 5 ~15% 提升至 45%，如圖 3 所示。

奈米顆粒廢水的處理技術包括薄膜過濾、電過濾、電透析、化學混凝沉澱或電混凝等處理技術，其中薄膜過濾是使用微濾 (MF)、超濾 (UF) 或陶瓷過濾 (Ceramic Filtration) 等具有細小孔隙的薄膜來分離處理，在施加壓力下將水體中之顆粒濾除，電過濾或電透析是以電場為驅動力使水透過更微細之薄膜 如 RO 膜、半透膜等而獲致更潔淨的回收水；化學混凝沉澱法則是利用混凝劑、助凝劑，常見之無機性混凝劑為硫酸鋁、氯化鐵、硫酸鐵等，而有機性混凝劑則為有機聚合物，如聚氯乙烯等化學藥品，藉由混凝過程所形成絮狀膠羽捕集水中顆粒再加以沉澱去除，至於電混凝法，則是利用電場吸引的作用將微小顆粒吸引至電極表面後，由電極釋出之金屬離子形成氫氧化金屬膠羽所產生之混凝作用來將顆粒捕集去除。

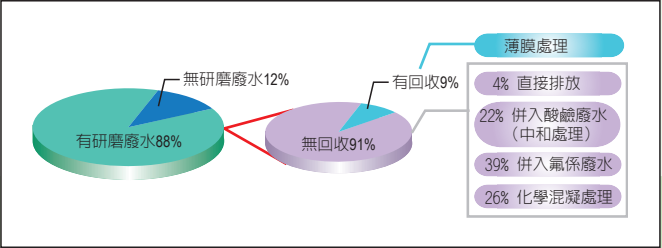


圖2 國內奈米顆粒廢水現況

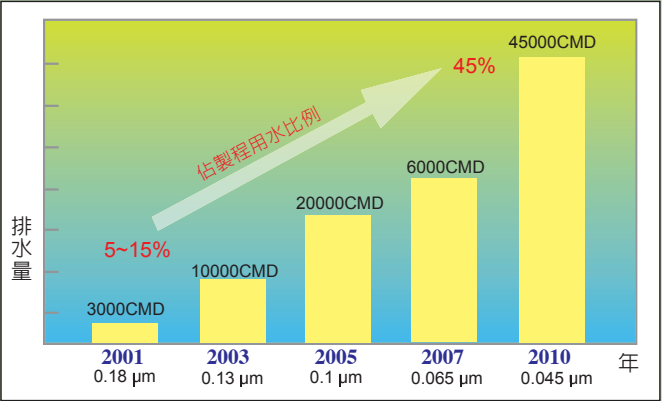


圖3 化學機械研磨廢水排放量

化學機械研磨廢水處理瓶頸

利用化學機制的化學混凝，由於廢水的固體粒子粒徑極小，且廢水 pH 值變化範圍大，因此以化學混凝沈澱處理時，無法得到良好的固液分離的效果，且需要建造大面積的沈澱槽，並需要較長的過濾時間來分離；蒸餾法則耗費能量過大，而薄膜過濾法在處理深次微米顆粒時，往往面臨薄膜阻塞及單位時間產水量過低的問題，同時使用蒸餾或薄膜過濾的方法，在水中奈米顆粒之去除時，必需加入大量混凝劑及助凝劑，並相對造成大量污泥，而回收水量亦只能達到 60% 左右；目前，半導體廠商針對較低濃度 CMP 廢水處理方式，多利用混凝藥劑進行混凝，促使水中奈米級粒子凝集進而粒徑變大，再以砂濾或 MF 加以濾除，並將薄膜分離處理後的放流水加以回收，作為冷卻水塔的補充水、洗滌塔清洗水或一般清洗用途等次級用水；有部分廠商利用薄膜技術處理化學機械研磨廢水，但以薄膜處理奈米顆粒廢水會產生薄膜阻塞、產水率偏低、回收水有機污染、金屬離子污染及溶解態矽污染等問題，而使處理水無法回收至製程使用。

CMP 製程廢水處理的技術趨勢分析如圖 4 所示，整體技術價值上的考量點包括設備佔地面積、初設及

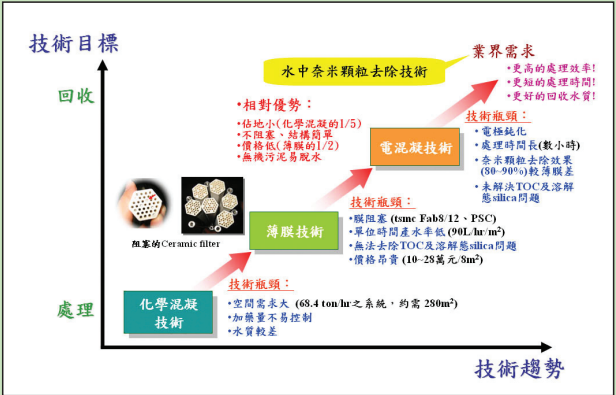


圖4 化學機械研磨廢水處理技術趨勢

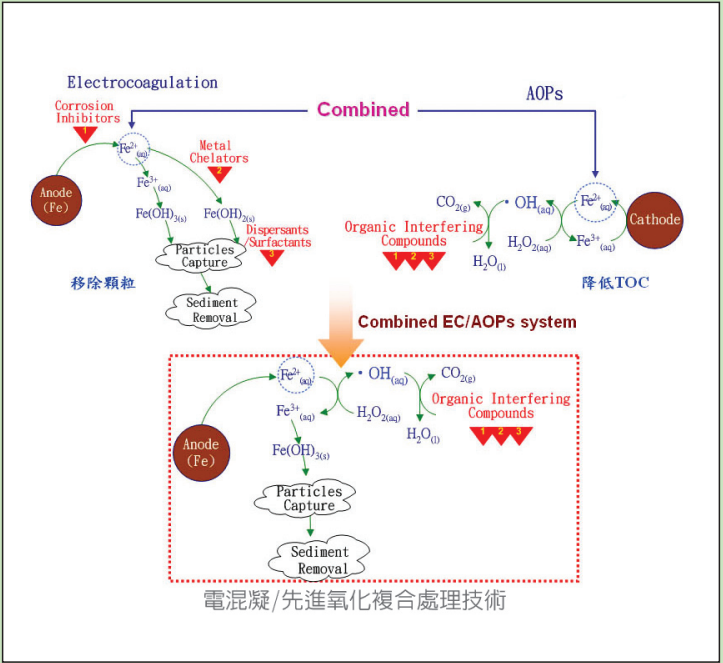


圖5 電混凝/氧化複合技術原理

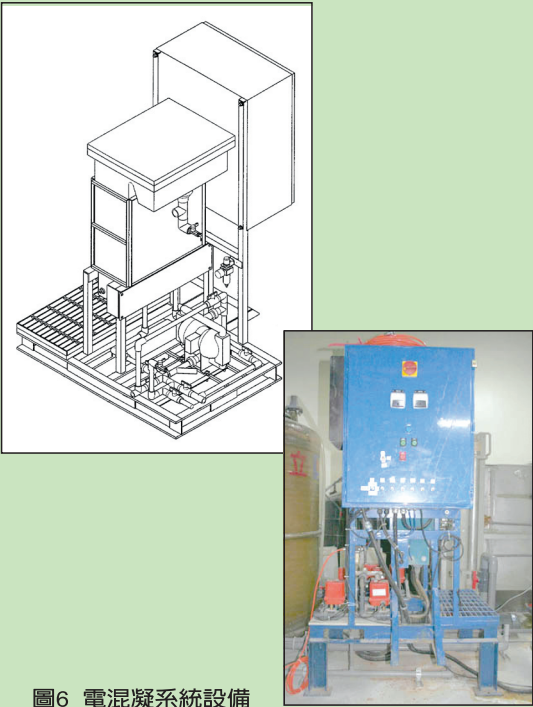


圖6 電混凝系統設備

運轉成本、處理及回收速率、水質要求以及污泥處理成本，處理技術由傳統的化學混凝演進到薄膜處理，再進一步衍生出較符合業界需求的電混凝技術，為了達到最佳的處理效率、處理時間及回收水質，研發新技術是必須的。

電混凝/氧化複合技術

本技術與系統是結合電混凝及先進氧化程序的奈米顆粒廢水回收設備，主要特點在於具有先氧化再混凝的效果，可藉由氧化反應的進行以去除水中的有機物質，同時也有助於提高後續電混凝反應去除水中奈米顆粒之效率，可解決因有機成分與顆粒表面鍵結所形成之顆粒穩定，進而提升電混凝之處理效果、縮短處理時間與成本，技術原理如圖 5 所示：首先將犧牲性電極經由電解氧化釋出混凝劑物質，再將污染物去穩定化，原理為電極釋出離子會壓縮帶電顆粒電雙層之擴散層，使得顆粒間靜電力減小，經由凡德瓦力主導微粒吸附導致混凝作用，混凝後之毯狀物則藉由

吸附及架橋作用凝聚膠體顆粒，使不穩定相的聚集體形成膠羽；本技術的優點包括對奈米顆粒的去除效率高，並同時具有去除 TOC、溶解矽及銅離子的能力，使回收水能回收至製程使用，且處理成本只需薄膜處理的 1/5，加上處理之時間較短，只需傳統電混凝反應時間的 1/6~1/12，最重要的是反應後污泥較化學混凝污泥容易脫水，且佔地需求小。

電混凝/氧化複合技術驗證

根據上述電混凝 / 氧化複合技術對化學機械研磨廢液處理的理論基礎，使用美國 POWELL WATER SYSTEMS, INC. 公司所設計的電混凝處理設備進行 CMP 製程廢水處理，系統設備如圖 6 所示，以新竹科學園區某半導體廠的 CMP 製程研磨廢液進行電混凝 / 氧化複合處理，取得水樣的基本水質分析如表 3 所示，主要的目的為降低研磨廢液的濁度 (Turbidity)、溶解矽 (Dissolve silicon) 及總有機碳 (TOC) 等，以達成回收標準。

先將研磨 Oxide Layer 及 Metal Layer 所產生的廢液以 Oxide : Metal = 3 : 1 先行混合並攪拌均勻，此比例約略為半導體廠兩股廢水的產量比例，再將廢液導入電混凝處理設備中進行三小時連續式電混凝 / 氧化複合處理，所溢流出來的混凝液導入調勻槽中，經調控 pH 值後進行沉降，取上層液進行水質分析，結果如表三所示，可將濁度降至 3 NTU 以下，溶解矽含量降至 32 mg/L 以下，總有機碳則降至 0.7 ppm 以下，同時發現顆粒大小由原本約 150 nm 增加到約 3700 nm，顯示本技術不僅可有效降低濁度，更可以同時解決有機碳及溶解矽等問題，圖 7 至圖 9 為電混凝 / 氧化複合處理後的沉降狀態與 1.5 及 3 小時的上層液。

Kinds of water qualities	Oxide	Metal	1.5 h.	3 h.
pH	9.60	3.85	6.38	6.49
Turbidity (NTU)	368	22.4	2.21	1.26
Conductivity (μ S/cm)	150	33	314	337
Dissolve silicon (mg/L as SiO ₂)	131	114	31.7	26.5
Z-Average size (nm)	143.8	152.9	2230	3730
Zeta Potential (mV)	-39.2	-9.8	-13.1	-21.2
TOC (ppb)	4095	6010	620	649

表3 電混凝 / 氧化複合處理前後水質分析



圖7 電混凝/氧化複合處理前後比較



圖9 電混凝/氧化複合處理沉降池狀態

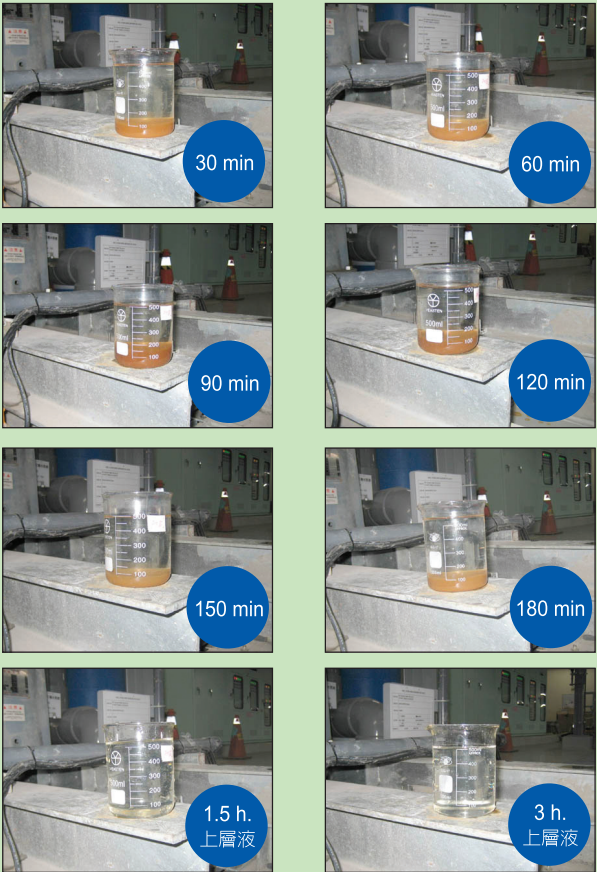


圖8 電混凝/氧化複合處理沉降狀態

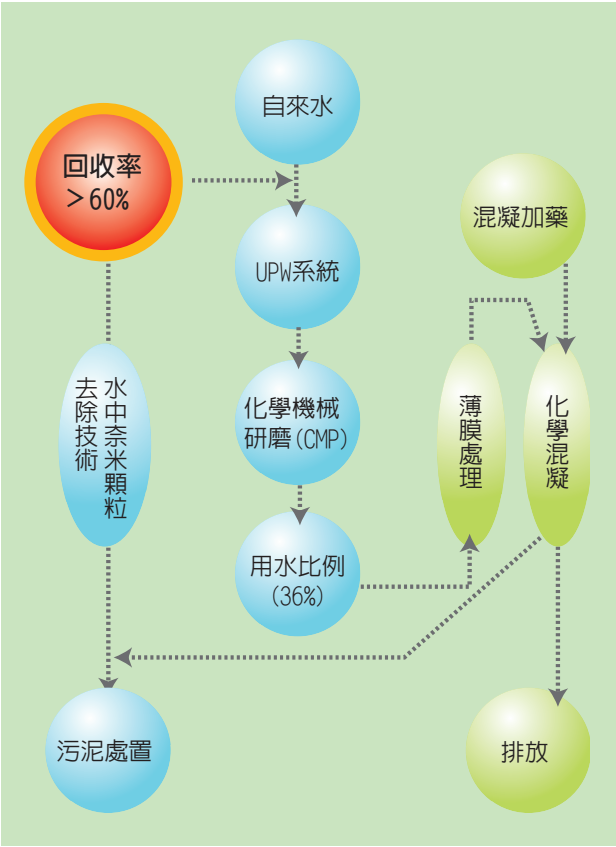


圖10 電混凝產業應用效益

電混凝/氧化複合技術效益

根據 2002 年環保設備與半導體產業交流聯誼會的會議結論，其中首要重點就是國內半導體晶圓廠的 CMP 研磨液廢水目前尚缺有效之處理方法，環保業者可朝此方向進一步研究，並針對研磨廢水中不同粒徑之顆粒作一系列有關其處理方式的探討，由此可知奈米顆粒廢水處理回收再利用上之技術開發，是未來國內在水處理回收研究上之重要方向；如圖 10 所示，化學機械研磨所產生的廢水可以分別經由電混凝 / 氧化複合技術、薄膜過濾及化學混凝進行處理，其中電混凝 / 氧化複合法可以達到約 60% 的回收率，處理成本約 40 元 / 噸，而傳統的化學混凝除了需加藥外，且因為溶解矽及總有機碳等問題導致無法回收利用，只能進行排放，處理成本約 160 元 / 噸，電混凝 / 氧化複合法較化學混凝省約 1/4 成本。

結語

產業奈米化雖可替業界注入無窮的發展潛力，然而隨著奈米材料的研發與應用也帶來令人擔憂的奈米顆粒排放的問題，此一問題將對環境與人體健康產生無法想像的衝擊，電混凝 / 氧化複合技術可提升國內環保設備業、廢水處理業之技術層次，有效解決未來國內奈米製程產業在面臨廢水顆粒奈米化所產生之環保問題及廢水處理回收問題；對於國內深次微米 IC 及奈米電子產業中研磨及切割製程所產生之奈米顆粒廢水可有效處理並回用，提高製程水回用率，預計至 2006 年奈米顆粒廢水量將達 26,000 噸 / 天，採用本技術製造之回收水量約可提供 4 座十二吋晶圓廠產能需求，預計每年可創造產值 15 億元，未來針對奈米顆粒廢水處理回收再利用，計畫開發國產奈米顆粒廢水處理設備，以解決奈米顆粒廢水排放及回用問題；電混凝 / 氧化複合技術可應用範圍除奈米顆粒廢水的處理與回收外，也可運用於有機廢水處理回收、重金屬廢水回收及高濁度地下水處理等相關產業之排廢水處理回收領域。

參考文獻

1. M. Quirk et al., "Semiconductor Manufacturing Technology", Publishing House of Electronics Industry, Beijing, p482-p483 (2004).
2. 徐毓蘭，化學機械研磨廢液處理與資源化技術簡介，臺灣環保產業雙月刊，第34期，第11~12頁，民國94年12月。
3. Malvern Instruments Ltd., "Nanosizer nano series user manual", UK (2004).
4. 劉奕宏，以電混凝法處理化學機械研磨廢液與研磨液中顆粒凝聚行為之特性研究，碩士論文，化學工程學研究所，國立台灣大學，第3~21頁，民國93年6月。
5. 陳富政，利用同步電混凝/電過濾技術處理化學機械研磨廢水，碩士論文，環境工程研究所，國立中山大學，第9~12頁，民國92年12月。
6. 王建榮、林必寬、林慶福，半導體平坦化CMP技術，全華科技圖書股份有限公司，第3-47頁，民國89年6月

師法大自然的淨水原理

一種與環境親和的淨水技術

人工濕地



嘉南藥理科技大學休閒保健系助理教授／歐文生

綠色建築思潮的出現，肇因於人類對於環境的破壞規模，已經擴大到地球尺度，人類生存面臨嚴重威脅而產生的環保省思。所謂「有建築就有污水排放！」，人類基於生存所需，不得不建造居住空間的同時，如何儘量利用自然條件、消耗最少資源、減少廢棄物排放，才是與環境永續共存之道。一個忽視環境的建築政策或建築設計，已經注定了使用階段的能源消耗量大及廢棄物排放多的宿命。

台灣目前的綠建築評估的指標有九項，依序為「生物多樣化」、「基地綠化」、「基地保水」、「日常節能」、「二氧化碳減量」、「廢棄物減量」、「室內環境」、「水資源」、「污水垃圾改善」等九大指標。其中，水資源與污水淨化的再利用，即是重要的一環。過去人們以為處理生活污水是政府單方面的責任，任何人將生活

污水往戶外排放，就不管它是否造成二次污染的問題？甚至以為只有大型化、集中化的污水廠才是唯一處理生活污水的方式，殊不知善加應用自然界淨化原理的「生態工法」，就可以達到污水淨化、污水源頭就地減量的目標。這些生態工法不僅可以減輕都市污水廠負荷，而且是提升環境品質的具體作法。因此，本文針對校園建築污水的生態處理與回收再利用，介紹一種對於環境較為親和的具體作法，那就是「處理型人工濕地（Treatment Constructed Wetland）」。

一、人工濕地的背景

首先，我們要了解人工濕地技術，是學習大自然濕地淨化污染物的原理，也是一種利用科學方法控制設計參數，以增進生物去污效率的技術。其實人工濕地

淨化機制之技術發展在先進國家至少有三十年以上之發展史，其處理效率與技術已達成熟階段，並且廣泛應用於處理生活污水、社區污水、農牧業污水、垃圾掩埋場滲出水及重金屬污染等多樣屬性之污染源，甚至得以處理都市污水層級之規模。人工濕地所發展出來的系統主要有兩種類型，一種為稱為「自由水層系統 (FWS, free water surface system)」，它是在 1970 年代，由北美洲發展出來的濕地技術。另一種稱為「表層下流動系統 (SSF, subsurface flow system)」，它大約在 1960-1980 年代，由德國發展出來的技術，並且推展至全歐、澳洲、非洲及亞洲（印度及中國）。其中德國發展的是利用植物根系處理系統（根系區間法，reed-zone method, RZM），而英國在 1985 年特別研發出蘆葦床處理系統 (reed bed treatment system, RBTS)。這兩大淨化技術經過 30 餘年之推展應用，目前在歐洲及北美洲已分別有超過 500 及 600 個人工濕地系統成功地使用於水污染防治（國際水資源協會，IWA, 2000）。而從上述技術相關的研究結果顯示，人工濕地對於廢（污）水中的主要或微量污染物，例如：懸浮固體、有機物質、氮磷營養物、重金屬及微生物，人工濕地均可提供良好的去除效能。美國環保署（USEPA）也在 2000 年前後，整合美國境內有關人工溼地的成果，陸續完成了有關於人工溼地設計準則與手冊。同時 USEPA 也公佈了十七個自 1970 年代開始的實際應用於污水防治的實例，這十七個實例均以社區污水為主要目標，除了較大土地的需求外，整個系統的建造與操作，相較於傳統污水處理廠顯得十分經濟。由此可知，我國下水道系統無法到達之處（例如鄉村地區、偏遠地區）或是採用傳統化糞池處理污水的舊有學校，事實上具有利用擁有附屬空地的優勢條件，以開闢人工濕地來協助淨化污水。以下我們以成功大學建築系處理生活污水的案例，介紹人工濕地的具體效益。

二、成功大學建築系人工濕地

根據環保法令，校園污水已列為事業廢水之一，必須經過處理，達到放流水標準後始得排放。我國新建設的學校多建有集中型污水處理設施，然而仍有廣大

的舊有學校尚以分散型化糞池或複合式污水處理槽來處理生活污水，其淨化污水能力大多不符環保法規。例如，根據成功大學建築系傳統化糞池排放水質檢測發現（圖 1），生化需氧量（Biochemical Oxygen Demand, BOD₅）、化學需氧量（Chemical Oxygen Demand, COD）、總懸浮固體（Total Suspended Solids, TSS）等多高於放流水標準（表 1）。這些未經淨化完全之污水，逕行排入都市雨水道，沿路極易形成水媒致病菌溫床，危害居民健康。因此，由成功大學建築系林憲德教授及本人發起所謂「污水零排放」的構想，號召建築系師生一起構思，如何利用校園角隅荒地建造人工濕地 (Constructed wetland, CW) 來承接原有化糞池排放水，作為污水之二級處理設施，以提升污水淨化品質，讓污水符合放流水標準才排放或再利用。關於淨化之後的水質標準，以「水污染防治法」所訂國家「放流水標準」、「地面水體分類及水質標準」及行政院農委會所訂「灌溉用水水質標準」等三項法令來探討。同時為了確保環境衛生安全，特別針對水中微生物的大腸菌類 (Coliform bacteria) 做監測，探討人工濕地水域之公共衛生議題。

適用範圍	水質項目（單位）	法定限值	實際檢測值
流量低於 50m³/天	生化需氧量（mg/L）	80	168
	化學需氧量（mg/L）	250	221
	懸浮固體（mg/L）	80	111

表1 建築系化糞池及污水處理設施水質檢測值

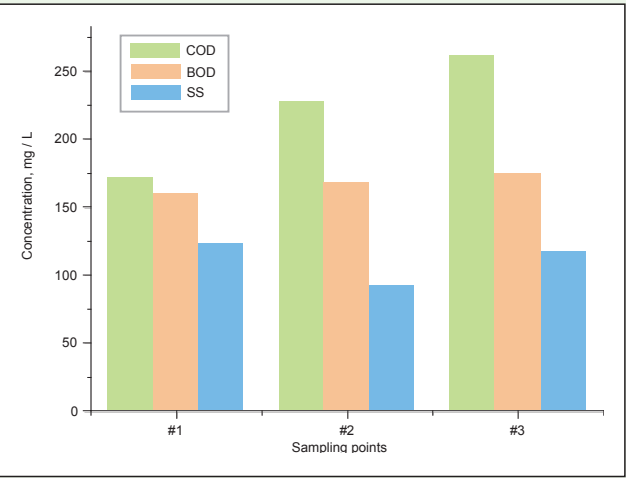


圖1 建築系化糞池及污水處理設施水質紀錄圖(#1及#3採樣點為舊有化糞池，#2採樣點為合併式污水處理槽)

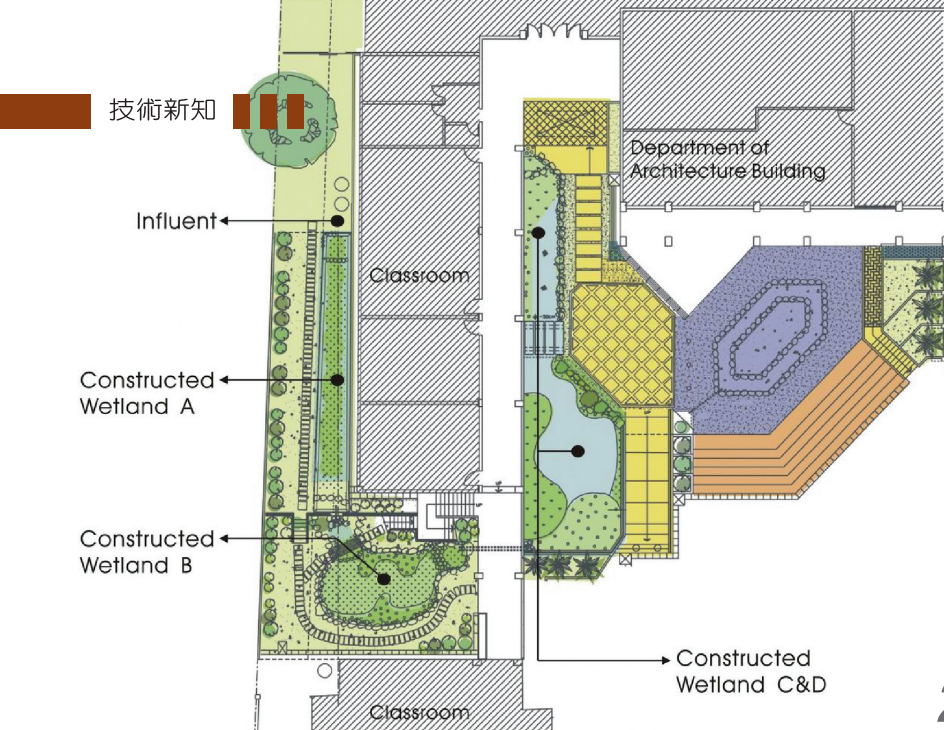


圖2 成功大學建築系人工濕地實驗場

圖3 建築系人工濕地全景俯視圖

圖4 建築系人工濕地A池一隅

圖5 建築系人工濕地B池俯視圖

圖6 建築系人工濕地B池一隅

圖7 建築系人工濕地C池一隅

圖8 蜻蜓

圖12 椎實螺與黑框蟾蜍

圖9 蝴蝶蛹期

圖13 澤蛙

圖10 毛蟹

圖14 台灣蓋斑鬥魚

圖11 蜜蜂

本研究計畫的環境生態意義與污水減量觀念獲得內政部建築研究所的青睞，藉由2003年「綠色廳舍暨學校改善計畫」之經費，設置人工濕地試驗場（圖2），處理規模以建築系師生三百人之系館污水量為目標。為了確保人工濕地環境衛生與淨化性能，一方面凝聚建築系各種專業教授知識（生態設計、規劃、結構、環控、構造、材料等），也借重嘉南科技大學荊樹人、林瑩峰教授在濕地功能估算及水質檢測的專長，加上高雄醫學大學洪玉珠教授及成大生物系侯平君教授協助公共衛生及濕地生物監測，讓這個實驗計畫順利推展。

(一) 實驗系統建立

1. 人工濕地系統設計

這個人工濕地系統承接建築系三棟大樓化糞池排放水作二級處理。濕地設置規模，以日處理最大量10m³設計；並以生化需氧量降到30mg/L以下（環保署，2003）為目標，採用下列公式（Campbell, 1999）：

$$A_s = \frac{Q \times (\ell_n C_o - \ell_n C_e)}{K_1 \times d \times n} \quad (\text{式 1})$$

$$HLR = Q / A_s \quad (\text{式 2})$$

$$HRT = \text{volume} / Q = (A_s \times d \times n) / Q \quad (\text{式 3})$$

A_s = 濕地面積 (m²)

Q = 流量 (m³/day)

C_o = 進流 BOD 濃度 (mg/L)

C_e = 排放 BOD 濃度 (mg/L)

K_1 = 去除速率常數 (Removal Rate Constant)

volume = 容量 (m³)

d = 水深 (m)

n = 孔隙比（濕地水體扣除植物，以0.9計算）

HLR = 水力負荷率（hydraulic loading rate）

HRT = 水力停留時間（hydraulic residence time）

由於建築系戶外空間零星侷促，因此分為四個水池串聯。前兩個水池（Cell 1 & Cell 2）設計較為粗獷，是人工濕地主要淨化段，全屬表面自由流動式（free water surface, FWS）溼地。第一池（Cell 1）為直線渠道形。設計上純粹以淨化性能考量，為一長20 m、寬2.5 m、水深0.4 m、底部覆土30 cm，面積50 m²的水池。第二池（Cell 2）為橢圓迂迴形。設計上採性能與美觀兼顧設計，為一長10 m、寬5 m、水深0.2~0.6 m、底部覆土30 cm，面積50 m²的水池。兩段濕地現地高程變動，設計成石磨落水串聯，避免水流飛濺。

淨化段的排放水引入景觀段的人工濕地作為補充水源。第三及第四個水池（Cell 3 & Cell 4），設計上朝景觀化、精緻化及園藝化設計，是人工濕地主要景觀段。它是兩個大小不一的長方形水池串聯而成。設計上主要以創造多樣水生植物的視覺景觀為考量，兩池總長度30 m、寬6~2.2 m、水深0.2~0.7 m、底

部局部範圍覆土30 cm（覆土面積約為50 m²，讓挺水植物生長，其餘不覆土，留設開放水域），面積合計120 m²，種有二十餘種水生植物的景觀水池（Scenic pond）。景觀水池中水生植物亦需仰賴水中之營養鹽作為生長的依據，因此水質具有持續淨化的效果。

2. 水生植物之選擇

本研究人工濕地淨化段種植水生植物，以淨化能力、枝葉長青、環境適應等因素為主要考量（圖3~6）。人工濕地第一池種植香蒲（*Typha orientalis* Presl.）、布袋蓮（*Eichhornia crassipes*）、水芙蓉（*Pistia stratiotes*）；第二池以布袋蓮、粉綠狐尾藻（*Myriophyllum aquaticum*）、風車草（*Cyperus alternifolius* subsp. *flabelliformis*）為主；第三及四池種植種類包括上述植物外，增加二十餘種本土性水生植物，以豐富水域植生景觀，並能吸引多樣生物棲息（圖8~14）。

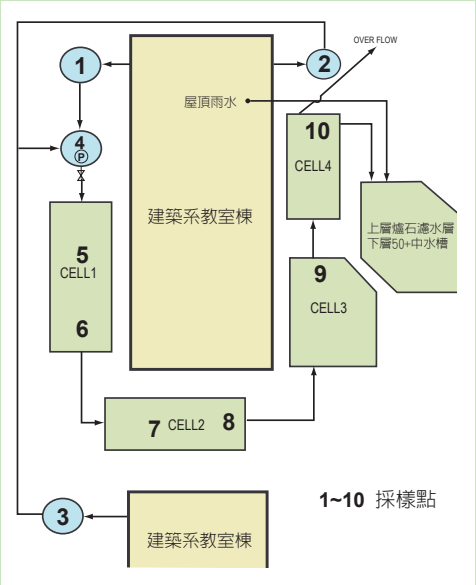


圖15 人工濕地水質採樣點位置圖

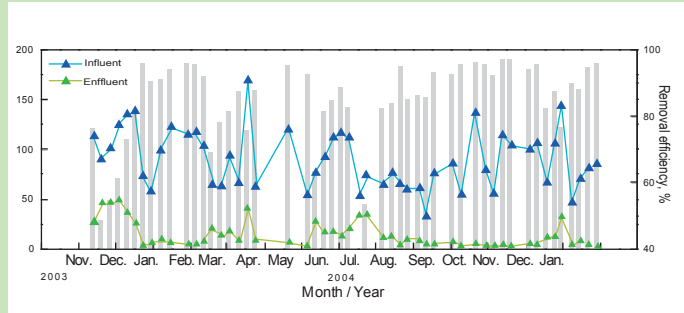


圖16 建築系生活污水BOD₅進流與排放濃度變化圖

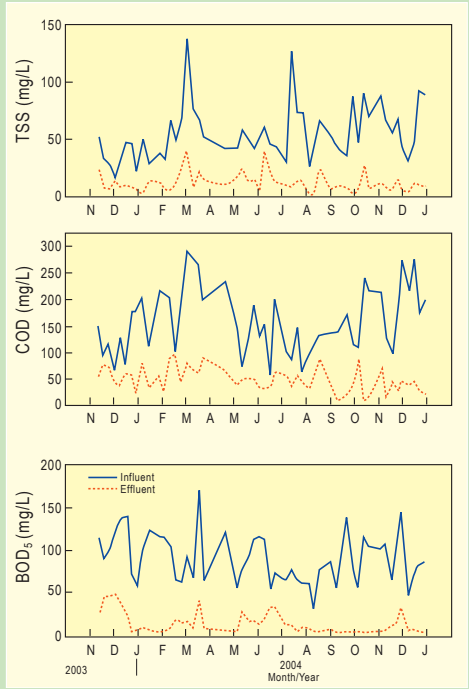


圖17 BOD₅、COD、TSS進流與排放平均濃度變化圖

3. 系統操作條件

人工濕地系統於 2003 年 9 月底完成淨化段之整地、挖地、鋪設不透水層及土壤礫石工作，在完成種植水生植物後，同年 10 月初開始引進建築系污水，起初不定期進流主要提供溼地植物培育。景觀段則以建築系原有水池作局部調整後，與淨化段串聯。同年 11 月起流量控制一直定量在 3m³/d，HLR = 0.03 m³/ m²/d。

4. 採樣計畫

人工濕地系統完工後，經過一個月的植物培植、微生物自然生成，2003 年 11 月開始進行各項採樣、監測及分析工作（採樣期間 2003 年 11 月至 2004 年 12 月，累計樣本數 51 個）。採樣點位置如圖 15 所示。

其中 1 號及 3 號測點為老舊化糞池，2 號為新設合併式污水處理槽，4 號為污水混合井，5~8 號為淨化段人工濕地（HRT 分別是 2.4 天、4.8 天、6.7 天、8.5 天），9 及 10 號為景觀段人工濕地測點（HRT 分別是 23.5 天、28.5 天）。

(二) 污 染 物 去 除 效 率

1. 人工濕地淨化性能

本研究在歷經 14 個月持續監測下，得到各項污染物在淨化段之進出流濃度及平均去除效率（removal efficiency），如表 2 所示。

監測記錄顯示，生活污水進流濃度變化很大（圖 16），BOD₅ 進流水濃度介於 32~170mg/L 之間，平均濃度為 90.0 ± 29.7mg/L，放流水平均濃度為 14.2 ± 13.2mg/L，平均去除效率為 84.2%。

COD 進流水濃度介於 53~290mg/L 之間，平均濃度為 171.8 ± 67.7mg/L，放流水平均濃度為 60.1 ± 22.9mg/L，去除效率為 63.4%。TSS 進流水濃度介於 16~92mg/L 之間，平均濃度為 56.1 ± 24.6 mg/L，放流水平均濃度為 11.1 ± 9.6mg/L，去除效率為 77.2%（表 2，圖 17）。

NH₄-N 進流水濃度介於 4.1~135.3mg/L 之間，平均濃度為 60.6 ± 32.8mg/L，放流水平均濃度為 9.4 ± 10.8mg/L，去除效率為 76.9%。

TKN 進流水濃度介於 9.6~153.6mg/L 之間，平均濃度為 89.8 ± 38.4mg/L，放流水平均濃度為 23.4 ± 10.4mg/L，去除效率為 71.8%。

2. 景觀水池淨化性能

各項污染物自人工濕地處理後排放進入景觀水池（以 9 號測點作為景觀水池之平均水質），其淨化效率如表 3 所示。

關於BOD₅淨化效率，進流水平均濃度為14.2mg/L，景觀水池平均濃度為3.4mg/L，去除效率為40.1%。進流水COD平均濃度為48.2mg/L，景觀水池平均濃度為32.8mg/L，去除效率為19.3%。

NH₄-N 的去除效率是人工濕地重視項目之一，在淨化段已大幅削減濃度，排放進入景觀水池時平均濃度為 9.6mg/L，隨著 HRT 延長，景觀水池平均濃度降為 1.4mg/L，去除效率為 67.6%。

項目	進流mg/L Mean±S.D. (n=51)	排放mg/L Mean±S.D. (n=51)	去除效率 (%)
BOD ₅	90.0±29.7	14.2±13.2	84.2±13.8
COD	171.8±67.7	60.1±22.9	63.4±23.7
NH ₄ -N	60.6±32.8	9.4±10.8	76.9±26.5
TN	90.9±41.0	33.1±12.4	57.6±24.6
TKN	89.8±38.4	23.4±10.4	71.8±13.6
NOx-N	0.7±2.1	6.6±7.1	-
TP	15.3±6.8	4.9±1.9	62.7±19.4
TSS	56.1±24.6	11.1±9.6	77.2±18.0

表2 各項污染物在淨化段之去除效率

項目	濕地排放mg/L Mean±S.D. (n=51)	景觀水池 mg/L Mean±S.D. (n=51)	去除效率 (%)
BOD ₅	14.2±13.2	3.4±3.4	40.1±33.6
COD	48.2±23.2	32.8±22.3	19.3±56.6
NH ₄ -N	9.6±10.7	1.4±1.8	67.6±45.2
TN	33.1±12.4	3.1±3.7	86.4±27.8
TKN	23.4±10.4	2.6±1.6	84.1±19.2
NOx-N	6.6±7.1	0.3±0.5	-
TP	4.9±1.9	1.2±1.6	71.9±41.9
TSS	11.1±9.6	8.9±9.7	27.6±56.9

表3 各項污染物自淨化段排入景觀水池後之去除率

(三) 公共衛生課題

人工濕地的水源來自生活污水，同樣承受水媒致病菌風險，其中大腸菌類 (Coliform bacteria) 是公認評估致病風險指標項目之一。大腸桿菌群 (Total coliform group, TC) 包括：糞便型大腸菌 (fecal coliform group, FC)、大腸桿菌 (Escherichia coli，簡稱 E. coli)、腸桿菌屬 (Entrobacter aerogenes)、克雷伯桿菌屬 (Klebsiella)、沙雷氏桿菌屬 (Serratia) 等腸道菌屬。然而大腸桿菌群也存在於環境中（土壤、水體及植物），並非完全來自污水，因此美國環保署提出 E. coli 檢測指標，以進一步保障水質安全。E. coli 相較於大腸桿菌群及糞便型大腸菌，具有彰顯污水遭受糞便污染之特性 (USEPA, 1986)。本研究同時對於大腸桿菌群及 E. coli 一併作檢測探討（目前我國法令僅對大腸桿菌群作規範）。

項目	Total Coliform(cfu/100ml) Mean±S.D.(n=51)	去除率(%)	Fecal Coliform(cfu/100ml) Mean±S.D.(n=51)	去除率(%)
Influent	$8.7 \times 10^5 \pm 13.2 \times 10^5$	-	$8.1 \times 10^4 \pm 1.6 \times 10^5$	-
Cell Mid.	$2.2 \times 10^5 \pm 4.4 \times 10^5$	-	$3,6 \times 10^3 \pm 1.4 \times 10^4$	90.4
Effluent	$7.3 \times 10^4 \pm 2.5 \times 10^5$	88.1	$6.0 \times 10^2 \pm 3.1 \times 10^3$	98.3
Pond	$7.4 \times 10^3 \pm 2.5 \times 10^4$	95.5	-	100

表4 大腸菌類在人工濕地、景觀水池中變化關係

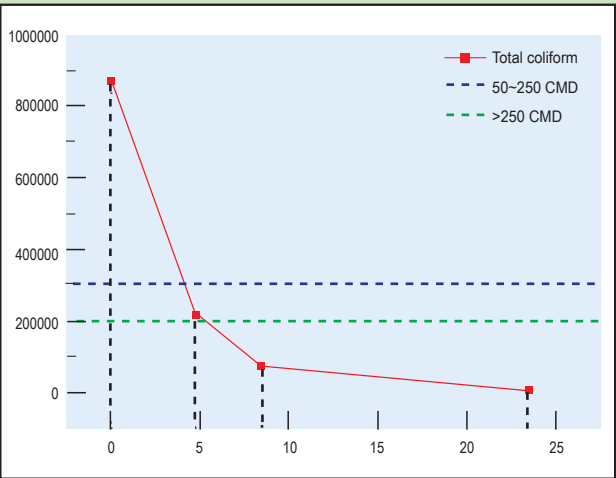


圖18 總大腸桿菌群平均數量在濕地中變化關係圖

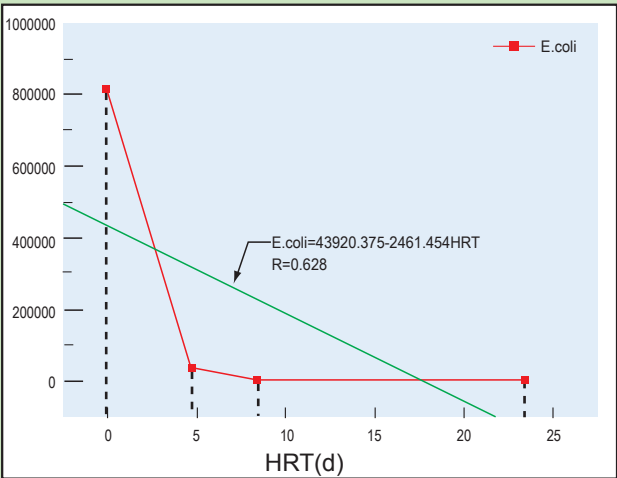


圖19 E. coli平均數量在濕地中變化關係圖

三、結論

本研究經由實場操作得知人工濕地淨化校園生活污水之效益。在淨化段部分，BOD₅ 去除效率為 84.2%、COD 去除效率為 63.4%、TSS 去除效率為 77.2%、總大腸桿菌群去除效率為 88.1%、E. coli 去除效率達到 98.3%，符合行政院環境保護署公告「放流水標準」。

在景觀水池部分，水質持續淨化結果，在BOD₅、COD及TSS去除效率分別為71.2、44.5及16.0%；NH₄-N去除效率為79.5%、TN去除效率為90.0%；總大腸桿菌群累計去除效率為97.1%、E. coli累計去除效率則趨近100%。符合行政院環境保護署公告「地面水體分類及水質標準」之「丙類」水體水質及農委會「灌溉水標準」。

本研究水質數據顯示，人工濕地輔助校園化糞池作為生活污水二級處理，其淨化效率確實可行。從公共衛生觀點而言，將人們漠視管理維護的化糞池，經由人工濕地自然淨化系統處理後，可以提升水域公共衛生品質上的要求。然而，人工濕地系統如同污水處理設施，必須落實正確的操作維護管理工作，才能確保公共衛生安全。人工濕地除了具有淨化水質之性能，在人文意義上，尚可進一步結合社區參與、凝聚居民意識朝城鄉永續發展邁進；在生態意

義上，可結合景觀資源、生態復育、教育學習、等促進生物多樣性（Biodiversity）之功能發展。



參考文獻

1. 歐文生，2005，生活污水應用人工濕地處理及再利用之研究，成大93級博士論文。
2. 林憲德、歐文生等，2004，綠建築設計技術彙編，內政部建築研究所。
3. 環保署，2003，放流水標準，行政院環境保護署（九二）環署水字第0084786號。
4. 環保署，1998，地面水體分類及水質標準（陸域部分），行政院環境保護署（八七）環署水字第 0039159 號。
5. 農委會，2003，灌溉用水水質標準，行政院農委會（九二）農林字第0031524號。
6. Campbell, Craig S. & Ogden, Michael H., 1999, Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape, pp. 101, John Wiley & Sons, Inc. published, Canada.
7. IWA, 2000, “Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control,” Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation, pp. 103 & pp. 55-65, IWA published, London, England.
8. U.S. Environmental Protection Agency, 1986. Design Manual. Bacteriological water quality criteria for marine and fresh recreational waters. EPA-440/5-84-002, Cincinnati, OH.



研發新技術 再生水資源

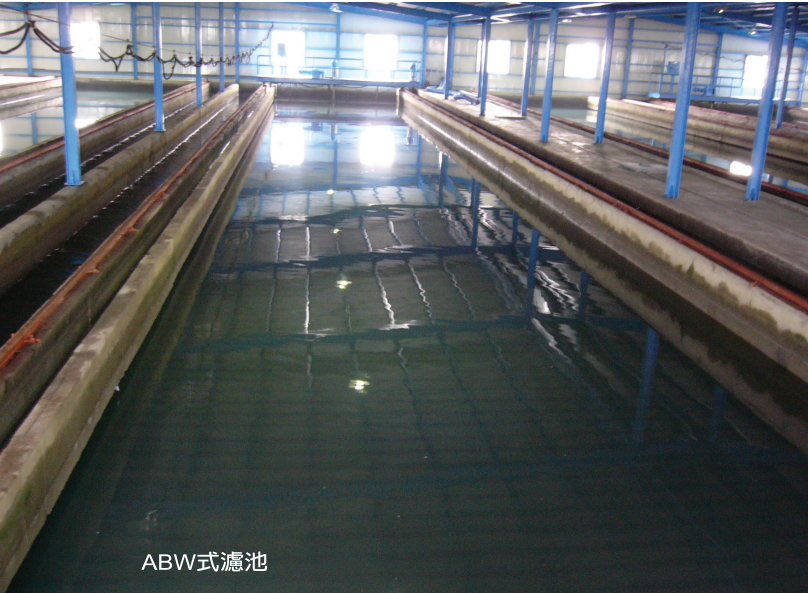
淨水場砂濾

反沖洗水回收再利用

交通大學環境工程研究所教授/黃志彬
交通大學環境工程研究所碩士班/吳政倫



濾池反沖洗程序



ABW式濾池



傳統綠葉式單閘門濾池

反沖洗水的來源

在傳統淨水場的淨水程序中，砂濾池為一種最為普遍固液分離單元，其主要的目的便是利用濾池中濾料顆粒將水流中的一些微粒，例如微生物、黏土等加以捕集、吸附、阻隔以達成淨水之目的。當這些捕集到的微粒累積到一定程度，影響到砂濾池的正常操作

時，為確保出流水質水量之穩定，便需進行反沖洗程序。反沖洗程序主要利用淨水場處理後的清水，以反向沖洗的方式，來將這些累積的微粒物質從濾料中沖洗出來。這股包含這些累積微粒的廢水便稱為反沖洗水。根據國外統計資料，反沖洗水的水量約佔淨水場總產生清水的 2-10% (Environmental Engineering and Technology,1999)。

反沖洗水的水質與特性

由上段敘述可知，砂濾池具有累積污染物的特性，因此反沖洗水水質通常較差。過去 AWWARF (American Water Works Association Research Foundation) 曾針對美國境內 25 座淨水場之進流原水和未處理之反沖洗水進行調查 (如表 1)，報告中指出在反沖洗水中梨形鞭毛蟲 (Giardia) 和隱孢子蟲 (Cryptosporidium) 的濃度分別較原水高出 16 倍及 21 倍，在溶解性有機碳 (DOC) 和鋅的濃度則較原水高出 3 倍，而在總三鹵甲烷 (TTHMs) 的濃度甚至高出原水有 92 倍 (US EPA, 2002)。

在國內方面，曾對長興淨水場及雙溪淨水場之反沖洗水水質進行研究，研究中指出長興淨水場之反沖洗水 pH 約介於 6.8-7.37，鹼度約為 30 mg/L CaCO₃，溶

解性化學需氧量為 1-32 mg/L，溶解性有機碳為 0.5-3.3 mg/L，而濁度和總懸浮固體物的變動則較大，分別為 550-1,250 NTU 及 281-1,430 mg/L。在雙溪水場部分，除了濁度和總懸浮性固體物和長興水場有較大的差異外，在酸鹼值、鹼度和總溶解性有機碳等性質變動不大，其反沖洗水濁度約在 55-57 NTU 之間，總懸浮固體物平均約為 137-193 mg/L，均比長興水場之反沖洗水來的低 (楊,2005)。另外，黃 (2005) 曾對新竹第一淨水場之反沖洗水進行長期調查 (如表 2 所示)，報告中指出新竹一場之反沖洗水濁度約 620-2,600 NTU 左右，較國外來的高，但在溶解性有機物部分約 1.01-1.31 mg/L，普遍較國外低，顯示出國內反沖洗水質和國外水質仍有一些差異，特別是有機物種類部分，因為國內原水中含有有機物多屬小分子，其在過濾池中被濾除累積之機會較少之故。

水質參數	原水		反沖洗水		增加倍數
	範圍	平均	範圍	平均	
溶解性有機物 DOC (mg/L)	0.7-5.4	2.4	0.8-191	8.0	3.3
總三鹵甲烷 TTHM (µg/L)	ND-21.8	0.6	ND-198	55.0	91.7
鹵化乙酸 HAA6 (µg/L)	ND-21.5	1.9	ND-211	46.1	24.3
溴Br (mg/L)	ND-0.68	0.038	ND-0.46	0.033	-0.1
鋁Al (mg/L)	ND-30	0.72	ND-145.8	14.7	20.4
鐵Fe (mg/L)	ND-56.6	1.2	ND-132	8.7	7.3
錳Mn (mg/L)	0.01-5.5	0.11	0.01-17.9	1.4	12.7
鋅Zn (mg/L)	ND-0.5	0.03	ND-1.0	0.1	3.3

表1 美國境內25座淨水場進流原水與未處理反沖洗水之水質比較 (US EPA,2002)

水質參數	範圍
原水濁度 (NTU)	23.4-44.0
沈澱池出流濁度 (NTU)	6.5-7.4
反沖洗水濁度 (NTU)	620-2,600
pH	7.7-8.0
懸浮固體SS (mg/L)	432-1,407
總固體物TS (mg/L)	846-1,616
溶解性有機碳DOC (mg/L)	1.01-1.31
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	0.0120-0.0234

表2 新竹第一淨水場反沖洗水水質 (黃, 2005)

反冲洗水之處理現況

從上述可得知，反冲洗水為一股量大且水質較差的廢水，以我國目前放流水標準規定自來水場放流水之懸浮固體不得大於 50 mg/L，超過濃度之廢水將無法直接排放，而需經過適當的處理或回收。

在國內處理現況，中華民國自來水協會曾針對台灣地區 23 座出水量大於 40,000 CMD 的淨水場之濃縮池上澄液、污泥脫水廢水、砂濾反冲洗廢水等三股廢水處理現況進行調查，報告中指出有 21 座淨水場將反冲洗水進行回流處理，其餘兩座則直接排至污泥塘（如表 3）^{（黃，2005）}。

在國外方面，相較於我國對反冲洗水管制較不明確，美國環保署於 1996 年之安全飲用水法修正案規定淨水場必須回流反冲洗水至上游處理單元，而根據美國自來水協會（AWWA）於 1998 年曾對美國境內 335 個淨水場進行反冲洗水回流普查，發現有 83% 的淨水場回流反冲洗水至進水口，11% 至預沈池，4% 至沈澱池，另有 2% 至過濾單元前^{（Arora et al., 2001）}。

回流廢水種類	有回流之狀況		無回流之狀況	
反冲洗水	分水井	2	污泥塘	2
	原水端	8		
	混凝池	7		
	膠凝池	2		
	沈澱池	1		
	廢水池	1		

表3 台灣地區淨水場反冲洗水處理狀況^{（黃，2005）}

調查對象為台灣地區23座供水量大於40,000 CMD之淨水廠
資料來源：中華民國自來水協會

然而，回流反冲洗水至淨水場上游單元，卻會面臨潛在負面的衝擊，例如：

1. 前加氯及混凝劑加藥量之控制問題。
2. 對後續處理單元所造成的水力衝擊，特別是颱風及暴雨期間。
3. 原蟲、微生物及化學物質累積問題，其濃度可能超出既有的污染物去除限制。

有鑑於回流反冲洗水對水廠操作之影響，美國環保署於 2001 年進一步制訂了規範淨水場反冲洗水回流之法規（Filter Backwash Recycling Rule）。其目的主要在減低反冲洗水回流處理時對原本水廠之處理效能之影響，另外，也將加強控制反冲洗水回流時所產生原蟲累積問題（註 1），以確保供水之安全。

故從未來趨勢來看，對於反冲洗水之管制將會越來越嚴格，主要在於反冲洗水中所含之高濃度污染物和高濃度微生物，特別是隱孢子蟲（Cryptosporidium）和梨形鞭毛蟲（Giardia）。因此如何在不影響供水安全之前提下，能夠有效回收利用此股水，已成為重要之課題，特別是對於水資源匱乏之國家而言。

註1：飲用水致病微生物中以梨形鞭毛蟲 (Giardia) 與隱孢子蟲 (Cryptosporidium)最受關注，兩者均為人畜共通之致病性原生動物，寄在人類腸道內，過去在美國曾引發大規模傳染疾病。一般加氯方式對其去除效果不佳，主要仍需藉由沈澱和過濾單元來去除，因此濾池中往往會累積過多的原蟲。故若反冲洗水回流到上游淨水單元後無法有效去除這些微生物，將可能造成嚴重感染。

反冲洗水處理技術發展

反冲洗水之處理程序和一般淨水場處理原水的過程是類似的，處理過程主要包含了固體物的分離和微生物的去除。目前有多種方法已被廣泛的使用在反冲洗水之回收處理上：薄膜處理、空氣浮除、重力濃縮 / 氧化塘和混凝沈澱等^{（Bourgeois et al., 2004）}；每種方法各有其優劣，如果就回收再利用的觀點來看，薄膜法無疑是最佳的選擇。

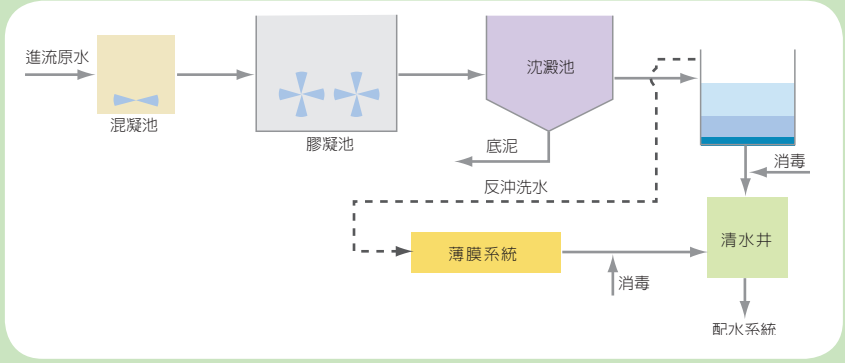


圖1 薄膜程序回收反冲洗水之流程

薄膜技術

利用薄膜程序進行水及廢水處理，目前已成為世界各國積極研究之課題，主要的原因在於薄膜程序相較於傳統分離法具有所需土地面積小、化學藥劑使用量少、污泥產量少、極佳的固體分離效率且流出水質良好、穩定等優點，目前已廣泛使用在硬水軟化、海水淡化及廢水回收等方面。

此外，薄膜程序亦被使用在處理反冲洗水上（圖 1），主要原因在於薄膜能夠提供一極佳的屏障來將微粒物質阻隔在薄膜表面，且處理後的水質再利用可行性高。一般反冲洗水處理上常用的薄膜操作方式有掃流式（cross-flow）和截流式（dead-end），一般來講，掃流式操作具有不易阻塞之優點，但耗能高且會產生廢水，而截流式操作雖然通量較低，但可減少能量消耗，且不會產生廢水，而是產生高固含量之污泥餅，後續處理將較為方便，因此若就回收再利用的觀點來看，截流式操作將會是較好的選擇。根據國外模場和實場的操作資料顯示，反冲洗水經薄膜處理後可有效去除濁度、總懸浮固體物和微生物等物質，處理後水

水質參數	薄膜處理前		薄膜處理後		歐盟飲用水水質標準 (第80/778/EEC號)
	平均	範圍	平均	範圍	
濁度 (NTU)	-	-	0.12	0.1-0.48	4
pH	8	7.6-8.2	7.6	7.2-8.1	6.5-8.5
鹼度 (CaCO ₃ mg/L)	85	72-99.4	76	57-87	>25
氨NH ₄ (mg/L)	0.11	0.03-0.3	0.04	0.001-0.1	0.5
總有機碳 TOC (mg/L)	2.3	1.8-2.8	1.6	1.2-2.9	-
化學需氧量 COD _{Mn} (mg/L)	2.3	1.2-4.3	0.9	0.3-1.6	5
UV ₂₅₄ (m ⁻¹)	3	2.5-4	2.1	1.4-3.0	-
總鋁 (μg/L)	524	145-1,700	78	28-137	200
總鐵 (μg/L)	376	25-1,220	25	10-79	200
總菌落數 (cfu/mL)	31,000	4,150-120,000	1.25	0-4	10
大腸桿菌 (cfu/100mL)	44	10-180	0	0	0

表4 薄膜處理前後反冲洗水水質^{（H.Song et al., 2001）}

水質參數	反沖洗水	過濾水 (1.0 μm)	過濾水 (0.5 μm)	飲用水標準
總懸浮固體物 (mg/L)	2,120	-	-	-
濁度 (NTU)	1,320	0.4	0.4	2 *
pH	8	8	8	-
溶解性有機碳 DOC (mg/L)	1.051	0.8905	0.5665	-
總菌落數 (cfu/mL)	19,550	85	40	100
大腸桿菌 (cfu/100 mL)	155	ND	ND	6

表5 MF薄膜處理前後反沖洗水水質 (黃，2005)

水樣來源：新竹第一淨水場所有數據為三次不同日期取樣之平均值

*飲用水水源濁度低於200 NTU之標準

綜合以上薄膜處理反沖洗水將具有以下優點 (Vos et al.,

1997)：

1. 廢水可直接進行處理。
2. 獲得近似飲用水之水質。
3. 水回收率高達 93%以上。
4. 設置方便、用地成本小，且能降低化學藥品用量和能源消耗。
5. 操作進行時為密閉系統，不易受外物污染。

雖然薄膜程序在水資源回收再利用方面是一個很好的選擇，但卻非最經濟的選擇，主要在於薄膜設備成本太高，對於供水量較小的水廠並不划算，反沖洗水回收價值並不高，但隨著水廠規模增大，薄膜設備之成本也會跟著減少，故就現階段而言，薄膜系統能多使用於出水量較大之水廠。另外，目前薄膜的技術多掌握在國外大廠手中，亦是造成薄膜設備造價偏高之原因之一，因此若能發展本土化薄膜技術，將使薄膜系統更具競爭力。

結語

以國內目前自來水日產量而言，93 年台灣省自來水公司所屬淨水場每天供水約 820 萬噸，若以總產生清水量 5%來估算反沖洗水量，則淨水場每天將產生 41 萬噸的反沖洗水，若能以薄膜程序來處理這些反沖洗廢水，以回收率 90%來估算，將可多增加 37 萬噸的飲用水，相當於一座澄清湖淨水場之日產水量，相當可觀。對於水資源缺乏的台灣地區，利用薄膜處理反沖洗水將是一項值得開發之技術。



參考文獻

1. Arora, H., Giovanni, G. D. and Lechevallier, M (2001) "Spent filter backwash water contaminants and treatment strategies ", Journal of American Water Works Association, 93, 5:100-112.
2. AWWA (1999), Background Papers on Potential Recycle Streams in Drinking Water Treatment Plants. Environmental and Engineering Technology.
3. EPA (2002) Filter Backwash Recycling Rule Technical Guidance Manual.
4. Ger Vos, Yvette Brekvoort, Paul Buys (1997) "Full-scale treatment of filter backwash water in one step tp drinking water"Desalination, 113:283-284.
5. H. Song, X. Fan, Y. Zhang, T. Wang, Y. Feng (2001) "Application of microfiltration for reuse of backwash water in a conventional water treatment plant-a case study" Water Supply, 1:5/6:199-206.
6. Jacangelo, J. G., and C. A. Buckley (1996) "Microfiltration" Water Treatment Membrane Processes, AWWARF, Lyonnaise des Eaux, and Water Research Commission of South Africa. McGraw-Hill, Inc., NEW YORK, NY.
7. J. C. Bourgeois, M. E. Walsh, G. A. Gagnon (2004) "Comparision of process options for treatment of water treatment residual streams" Journal of Environmental Engineering and Science, 3: 477-484.
8. 黃志彬 (2005)，「提升淨水場廢水處理污泥脫水效能及加藥策略研究」，中華民國自來水協會。
9. 黃志彬、林志麟、吳政倫、李志行(2005)，「以MF薄膜回收淨水場砂濾反沖洗水」，第22屆自來水研究發表會論文集。
10. 楊正邦 (2005)，「反沖洗廢水處理技術之研究」，台灣科技大學化學工程學系碩士論文。

趨勢

舊雨新知 共創新水源

臺北自來水事業處 雨、中水回收及示範教育模組介紹

臺北自來水事業處 / 林永隆企劃司、沈政南幫工程司
工研院能環所 / 李士畦、陳伯榕、顏士閔

國內外雨、中水回收歷程與展望

雨水貯留系統在台灣地區的發展趨勢已經由過去的大小型農塘，擴大成為農業、工業與民生用途的多目標系統，尤其是在區域性農業用水之替代（如丘陵地區）與其他供水系統之聯合供應（如中水系統）方面。如澎湖的馬公機場藉由現有跑道之排水渠道設置抽水機抽取暴雨逕流至成功水庫，估計每年收集進入水庫利用之雨水量達到 25~50 萬噸。

在都市地區的雨水發展策略方面，由於用水人口與用水量集中，雨水結合其他水源共同供應近年來更為人所重視，尤其是與再生水系統的聯合供應概念上。這些替代水源的多重系統在成功設置後，可有效替代部分的自來水使用量，並進而節省了可觀的水量。

以學校或大用水戶為主的雨水或雨、中水貯留系統，也在近年間不斷的擴散，更結合一些大型的公共場所（如臺北市立動物園）、學校（臺北縣三芝國小、中央大學、臺南縣致遠管理學院、高雄第一科技大學等）及慈善團體（慈濟功德會）共同推廣並設置完成。⁽¹⁾

北自來水事業處的理念與介紹

臺北自來水事業處（以下簡稱為北水處）是目前北臺灣最大公共給水機構，負責提供質優量足的民生用水。近年來北水處在節水政策、節水設備改善及管理、推廣方面成效卓著。94 年度獲經濟部水利署評定為節約用水績優機關。⁽²⁾

自 2003 年起，在提昇水資源利用方面，北水處訂有「供水管網改善計畫」，包括管線汰換、漏水檢測、

水壓管理、加壓設施改善及小區計量等。至於推動節水部分，則每年訂定「推動節約用水實施計畫」，灌輸民衆節約用水觀念與建立節約用水共識。

臺北自來水園區原址為臺北市水源地—公館淨水場，園區內共規劃為八大主題區，水霧花園、水源地花園、觀音山步道、管材雕塑區、輸配水器材展示區、自來水博物館、公館淨水場暨水鄉庭園等。另為增加園區對節約用水之整體宣傳，92 年於園區內裝設省水器材模組展示、93 年增設省水體驗車（區）展示、94 年再規劃建置雨、中水貯留及教育示範模組。⁽³⁾

自來水園區內雨中水貯留暨教育示範系統介紹

臺北自來水園區座落地點的臺北市公館地區，年平均降雨量為 2,132 公釐，豐水期（每年的四月至十月）月平均降雨深度為 226 公釐，平均連續不降雨天數僅 4.23 天。由於每次降雨總有許多雨水落在水庫集水區以外的地方，因此留住並妥善處理每次所降下的雨水，將可有效降低自來水的需求量，舒緩大型水庫水位下滑的速度。

臺灣地區的水資源問題，除降雨、地形等自然環境之限制外，部分原因可歸結於都市化所造成水文循環之改變。另外依工研院歷年的統計，國內各用水戶之用水結構主要以衛浴（含洗手、沐浴及沖廁）之比例最高，普遍達 50% 以上，而沖廁所占的比例也達 30% 以上。因此，蒐集雨、中水回收作為沖廁用水，不失一個簡單又具效益的手段。

經考量適當設置場址及後續水再生利用之方便性，北水處於臺北自來水園區水資源教育館與水鄉庭園旁設置「雨、中水貯留暨示範教育模組」。