

新世代生活污水處理系統 污水變淨水，永續水再生

雖然年均雨量是世界平均值的2.6倍，
但台灣還是個缺水國家，
原因在於水的利用方式是「用一次即丟」：
用過的污水大多是進行簡單的沈澱之後，
即放流至河川或海洋，
至於剩下的污泥，則送至掩埋場。
這樣的處理方式，
放流的水仍有相當程度的污染，
污泥更形成環境沉重的負擔。
在政府傾力提高污水下水道佈建比率之際，
未來待處理的污水量只會不斷增加，
如何讓污水及污泥能更妥善處理，
甚至讓污水能變清水回收再利用，
減緩過去一旦久旱不雨就產生的缺水問題，
工研院提出了一套新科技解決方案。

文張彥文 攝影高國展 鄒福生





新世代生活污水處理技術透過「薄膜生物反應器」進行處理，出來的水較原來的處理方式更乾淨。

2000年《財星雜誌》(Fortune)曾經預測：「21世紀的水資源，將如同20世紀的石油。」

現在看來極為方便而又廉價的自來水，對人類來說，其實是異常珍貴的資源：雖然地球上大部分的面積都是水，但是除去海洋之外，淡水的比例只有2.5%，若再扣除淡水中將近七成凍結在南北極冰山及冰川的部分，我們能用到的淡水資源，其實不到1%！

人類唯一能慶幸的，就是大自然設計了一套水的循環系統，雨水降落後進入河川，滲流到地下水，或是蒸發回到大氣中；至於我們生活、工業或農業使用後的水，經過處理後又回到河川或海洋。或許就是因為有了這套循環系統，才讓事實上比石油更稀少的淡水，顯得那麼的平凡。

水少，乾淨的水更少

生活富裕的人大概難以想像，全世界有11億人無法享用安全飲用水，26億人沒有基本的生活污水衛生處理設施。而水的問題，對於工業發展及

人口迅速集中的開發中國家尤其嚴重。以中國為例，根據歐盟的調查指出，90%的地表水受到污染；42%的河川受到嚴重污染；更有七成以上的湖泊屬於嚴重污染；而都會區的地下水，也有五成受到污染。

中國的水污染問題，可由另一項數據看出端倪：2006年時，排放到水體的化學需氧量（chemical oxygen demand；COD）為731億噸／年，較2000年的111億噸／年，增加了六倍多，COD大部分應用在測定表面水（如湖水和河水）中有機污染物的含量，可藉此得知水質的好壞。2007年5月發生的太湖污染事件，即因為工業廢水與生活污水的大量排放，造成太湖水域藍藻大爆發，讓無錫地區230萬居民整整六天無水可用，後續的整治花費估計高達140億美元。

至於在已開發國家方面，近年來則是針對一些「新興污染物」（emerging contaminants）提高水污染的測量標準。所謂的新興污染物並非新發現的污染物，而是過去或許因為對這類化合物的劑量、毒理研究等資料有限，因此未能訂定相關的規範；但隨著醫學研究與分析技術的進展，專家發現這些有害人體的化學物質不僅存在多時，而且已經造成水污染的情況。因此有些國家已開始進行立法管制，甚至列入國際公約。

至於台灣，許多人都早已了解，我們是一個缺水國家。雖然台灣的年均雨量是世界平均值的2.6倍，但事實上台灣每年降雨量中，超過一半都迅速流入海中。依據經濟部水利署的研究，台灣每年的平均供水量約為175至180億噸，但至2021年時，需求量會上升至200億噸，到時台灣將會出現嚴重缺水的情況。

沈重的污泥負擔

隨著工業的發展及生活品質的提升，台灣地區用水量愈來愈大，因而產生的廢水也愈來愈多，在珍惜水資源，以及降低水污染的趨勢下，污水處理的技術也就愈發重要。

依據內政部營建署的規劃，台灣的污水下水道建設，是以每年3%的進度在推動，目前相關計畫已進入第四期，期望在2020年時，能達到接管率55%的目標（目前約為20%）。污水下水道的接管率，可說是一個國家進步的指標，先進國家目前多可達到80%，甚至我們的東南亞鄰國馬來西亞目前也已達到八成。

有了污水下水道，還必須要有足夠的污水處理廠。台灣現在營運中的廢水處理廠有49座，到2014年前預計還要再蓋98座，除開已在建設中的案子，規劃中政府自辦的有59座，促進民間參與的有28座。這其中的意義，在於未來我們待處理的生活污水將會大量增加，而大量增加的污水，就代表待處置的

小辭典

水中新興污染物（emerging contaminants）包含以下三種：

- 持久性有機污染物（persistent organic pollutants, POPs）——會長久存在於環境中，並累積於食物鏈，對人類與環境有長久性的危害。
- 藥品污染物（pharmaceuticals and personal care products, PPCPs）——從藥品與消費產品使用而釋放至環境。
- 內分泌干擾物質（endocrine disruption chemicals, EDCs）——又稱為環境荷爾蒙，是干擾生物體內分泌的化學物質。

資料來源／工研院能源與環境研究所
整理／張彥文



新世代生活污水處理技術改善了好氧生物處理系統需要龐大土地面積、耗時及污泥量大等缺點。

污泥會大量增加。工研院能源與環境研究所水科技與環境分析技術組組長周珊珊博士解釋，因為現在的生活污水多以生物處理，需靠微生物去分解污水中的有機物，因而會造成微生物的增長，產生大量的生物污泥。

目前這些污泥大多以掩埋的方式處理，但是當污泥量愈來愈大，對環境的負擔也就愈形沈重，台灣現在每年因廢水處理產生的污泥量約為7.3萬噸，但依據現行針對污水下水道的規劃，至2020年時，污泥量將會成長三倍，達到23萬噸之多。污泥的處理問題不只在台灣，在中國、印度、越南等國家，未來也都是十分棘手的環保議題。

工研院能環所水科技與環境分析技術組研究員張冠甫博士分析，依據國內的環保法規，廢水污泥被歸類為事業廢棄物，必須掩埋於專屬的掩埋廠，以避免二次污染；在台灣地小人稠的環境中，尋找掩埋地點本身就不容易，也因此讓廢水處理的成本不斷上升。而且因為污泥中仍有80%是水份，用焚燒的方式也極為浪費能源。

此外，廢水處理的過程中會產生沼氣，這些沼氣如果能夠善加利用做為發電之用，還可以進一步增加污水處理的環保及經濟效益。

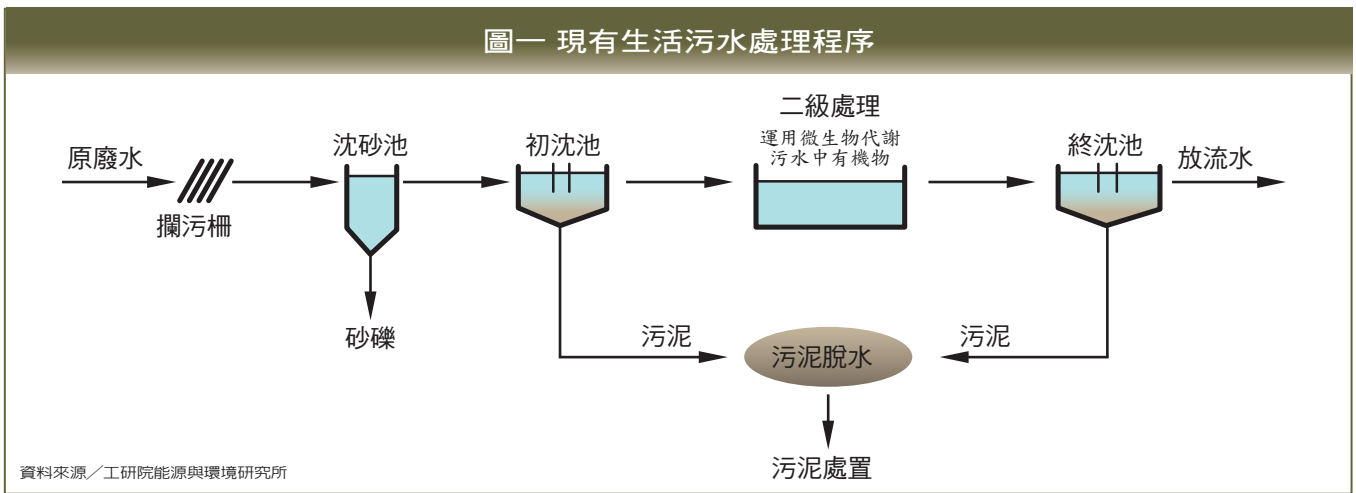
現行處理法污染仍偏高

台灣現在的污水處理廠可分為初級及二級（含以上）處理廠，例如位於台北縣十三行博物館旁的八里污水處理廠，即為初級污水處理廠，其處理方式是先以攔污柵攔下垃圾等大型物體，再進入沈砂池沈澱砂礫，之後進入初沈池將懸浮的有機或無機物加以沈澱，最後加氯消毒後排放至海中。但這樣的初級處理，水中的溶解性有機物與氮類物質都偏高。

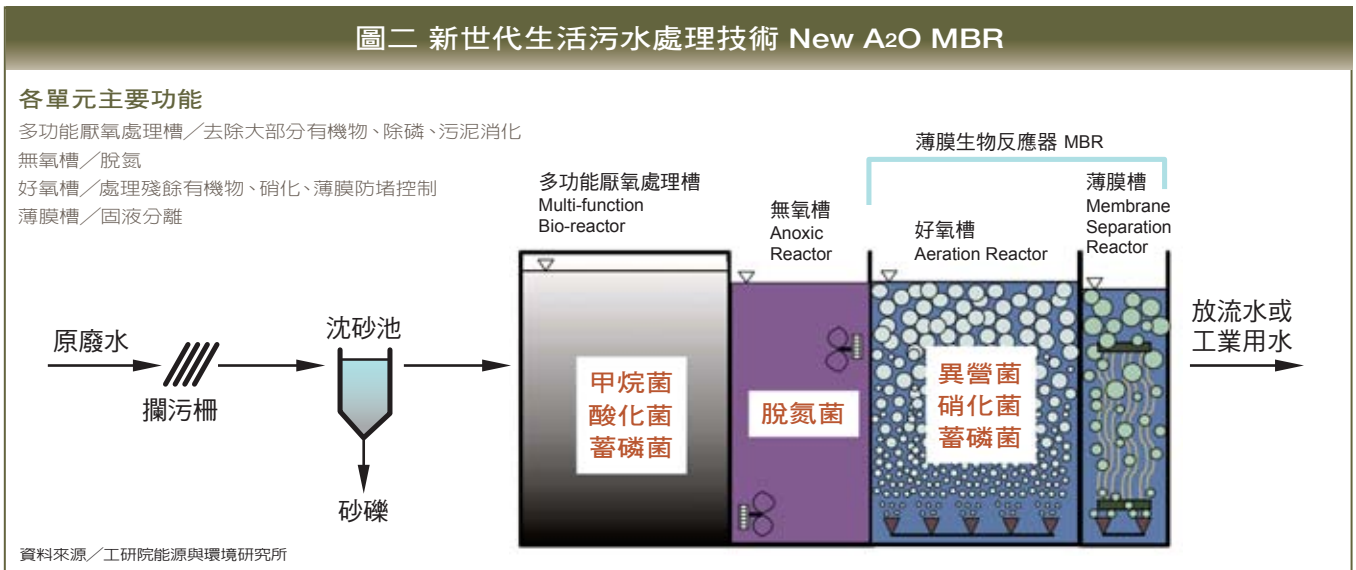
至於二級都市污水處理廠，則在初沈池之後，再進入二級處理的程序，也就是利用微生物將水中的有機物進行代謝作用，但也因此產生了大量的微生物、懸浮固體與有機物經交互作用形成聚集體顆粒（一般稱為膠羽Sludge Flocs），這也是污泥的主要來源，而經過二級處理後的污水，會再進入終沈池，將污泥沈澱後，再排放至河川或海洋中。不論是初級或二級污水處理廠，產生的污泥仍有近95%的水份，必須再經過污泥脫水後，再送至事業廢棄物掩埋廠進行掩埋（圖一）。

周珊珊指出，目前全台灣的一日生活污水處理量約為350萬噸，但只有80萬噸，也就是約四分之一的污水是經過二級處理，其他的污水幾乎就是初級處理後就排入海中了，也就是因為現在做得不夠，所以還有很大的改進空間。即使是二級處理廠，也還是有一些缺點：第一，採用好氧處理，占地空間大；第二，污泥量大，操作成本高；第三，現有系統對氨氮無去除效果，對承受水體（河川或海洋）仍造成負荷；第四，處理後水質仍有待改善。

圖一 現有生活污水處理程序



圖二 新世代生活污水處理技術 New A2O MBR



張冠甫則強調，目前環保署對氨氮並沒有管制標準，所以目前污水處理對氨氮也並沒有進行處理，但氨氮過高不但會促進藻類生長，甚至會產生毒性，未來環保署也計畫將氨氮的標準納入放流水標準。

新世代生活污水處理技術

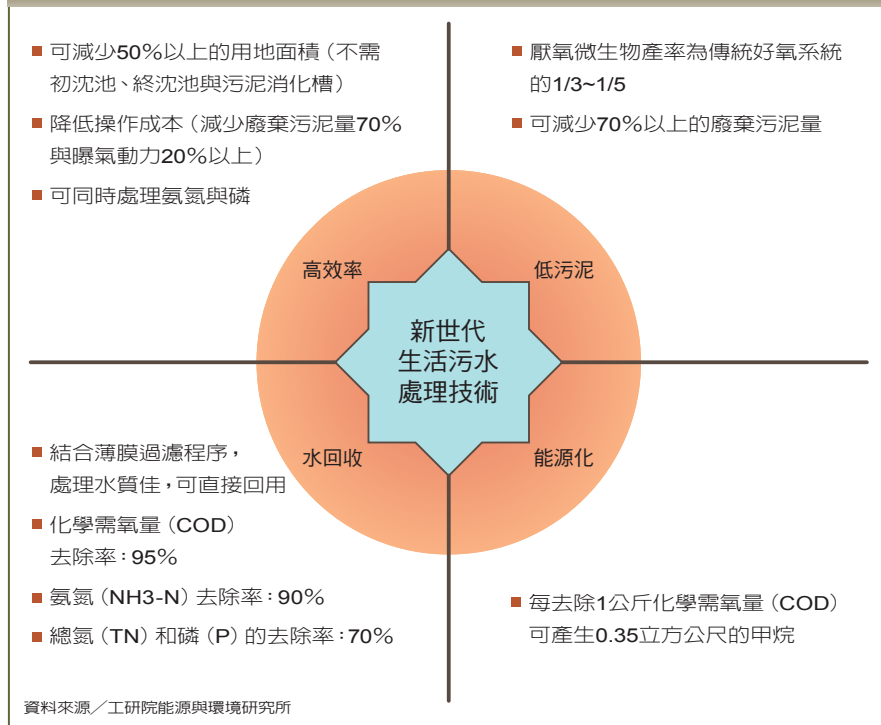
為了改善上述污水處理的缺失，工研院能環所特別發展出一套「新世代生活污水處理技術」（New A2O MBR System，如圖二），這項技術的特點，是污水在通過攔污柵及沈砂池的前處理，即可進入此一系統，而以此一系統取代原本污水處理方式的優點，包含了高效率、低污泥、水回收及能源化等好處（圖三）。

張冠甫表示，過去在二級處理的時候，是採用好氧微生物，所以需要巨大的反應槽，但新技術在前處理之後，將污水送入工研院專利發明的「多功能厭氧處理槽」（Multi-function Bio-reactor），這個厭氧處理過程的最



由於化學需氧量 (COD) 去除率可達95%，氨氮去除率可達90%，總氮和磷去除率均為70%，透過新技術處理後的污水可以再利用。

圖三 新世代生活污水處理技術的優勢



大特點，一方面是可以取代初沈池及污泥消化槽，二方面經過處理後的有機物也變得比較少；之後進入無氧槽進行脫氮，最後再到「薄膜生物反應器」(Membrane Bioreactor; MBR) 中進行最後的處理，毋需再經過依賴重力的終沈池。整體來說，大約可以減少50%左右的用地面積。

此外，這項技術可以同時處理氨氮與磷，再結合薄膜過濾程序後，出來的水較原來的處理方式更乾淨，可以做為工業用水，進一步做到節能環保。

整體來說，工研院能環所這一套生活污水處理技術，化學需氧量 (COD) 的去除率可達95%，氨氮的去除率可達90%，總氮和磷的去除率均為70%，已可達到工業用冷卻水塔用水水質標準。

除了可產生工業用水外，每去除一公斤的COD，還可產生0.35立方公尺的甲烷 (沼氣) 用來發電。以目前台灣每年的廢水處理量來說，大約可產生840萬立方公尺的甲烷，若換算成發電量，約為2,520萬度的發電量，以台灣每戶年平均用電量4,000度來估算，將可提供6,300戶家庭一整年的電力，可說是廢物利用的良好示範。

環保之外的龐大商機

工研院所研發的這項新世代生活污水處理技術，除了環境保護的效益外，也帶有扶植產業的重大使命。



以台灣本地市場來說，目前下水道普及率只有20%，若依據內政部營建署的規劃要在2020年達到55%，是將近目前的三倍，光是國內市場商機就相當驚人；此外像中國、越南、印度等國家，因為環保意識逐漸萌芽，未來亦亟需興建下世代都市污水處理系統。尤其是中國市場，依據歐盟的推估，光是2006至2010年，都市污水處理系統的市場即高達人民幣3,300億元。周珊珊強調，站在輔導產業的立場，未來十年內，若是台灣廠商能夠在中國搶到5%的市占率，就可以有新台幣825億元以上的商機。

因為中國661個城市中，400個都有缺水問題，所以對中國政府來說，光是符合排放的標準是不夠的，他們需要更多的回用水，也因此他們的法規是比較嚴格的，希望能藉由水的回收再利用，節省更多的水資源，也因此形成了龐大的市場利益。

事實上，這項污水處理技術一開始本來是針對工業廢水，因為光是新竹科學園區一天的廢水量就高達14萬噸，而TFT-LCD廠就產出近2萬噸的廢水，廢水處理變成光電產業相當頭痛的問題。部分工廠採用日本研發的蒸發

台灣地區用水量愈來愈大，產生的廢水也愈來愈多，污水處理的技術愈發重要。

新技術讓廢水處理不需要巨大的反應槽，將原來需要的體積縮減至三分之一至五分之一。



濃縮技術，不過蓋一座廢水處理廠要耗費新台幣上億元的資金，因此多數廠商採用的是「好氧生物處理系統」，但是這套系統不但需要龐大的土地面積裝置曝氣反應槽，還有耗時及污泥量大等缺點。

為了降低成本，同時符合法令要求，光電業便向工研院尋求協助，「我們接到的第一個案子是友達光電龍科廠，重點是這是一個全新世代的廠，而且是他們邊建廠，我們得同時進行研發，」當時還是副組長的周珊珊，帶著同仁沒日沒夜地埋頭苦幹，因為若是不能趕上建廠進度，這個廠即使建好了，也無法通過環境評估。「壓力真的好大！」雖然已經過了四、五年，周珊珊回想起來，還是不禁歎了口氣。

所幸最後的成果是皆大歡喜，工研院獨家研發的「厭氧薄膜生物處理系統」（「新世代生活污水處理技術」的前身），趕上了建廠的時程，讓廢水處理不需要巨大的反應槽，將原來需要的體積縮減至三分之一至五分之一，也及時讓友達通過環評。後來這套系統還提供給華映、奇美、統寶和力特等光電廠商使用，除了為廠商省下新台幣1.5億元的投資成本，每年更可節省6,000萬元的操作成本。

工研院的廢水處理團隊，除了幫助國內廠商，更早已跨入國際市場，包括印尼的寶成工業、馬來西亞可口可樂古晉廠、新加坡Glowtec公司及越南的法商Safviet，都採用了工研院的廢水處理技術。

好馬兒也需要吃草

除了相關的技術移轉成果外，工研院能環所廢水處理團隊於2006年更獲得中華民國環境工程學會的優秀論文獎，因為該團隊設計的「多功能厭氧處理槽」，可同時存在甲烷菌及蓄磷菌，意即處理污水時，可以同時除磷及產生甲烷（沼氣）；過去這二項功能是无法同時並存的。

為了不斷精進技術內涵，能環所團隊在台北內湖污水處理廠內，設置了一個每日可處理10噸污水的模廠，除了技術的改良外，同時希望獲得操作成本與初設成本的明確估算依據，以及薄膜操作狀況與處理水回收可行性的分析。

下一步，工研院能環所將對外界舉辦技術說明會，以獲得專家學者的認同；並與廠商組成策略聯盟及進行相關授權工作，協助建立示範廠；當然更希望能以國內經驗為基礎，協助廠商拓展中國與東南亞市場。

至於技術部分，下階段的另一項計畫，是希望在處理程序中，再加上一個「超音波水解單元」。張冠甫解釋，這項技術是利用超音波，把微生物的細胞壁打破，可以進一步再將污泥減量。「原來我們的技術已經可以減少70%的污泥量，若是未來加入超音波水解技術，污泥可以變得更少。」雖然目前還在測試階段，但能環所也是全力以赴，希望早日促成這項技術問世。

此外，增加厭氧消化反應速率、提高沼氣產量，也都是團隊努力的目標。不過周珊珊也表示，由於台灣管「水」的單位很多，自來水歸水利署，放流水歸環保署，而生活污水的主管機關又變成營建署，所以廢水處理研究難以持續取得科專經費，目前是依靠工研院成果運用基金支持。同仁埋首研究之餘，也希望能多得到一些關愛的眼神，讓他們能為台灣的環境，做出更好的研究成果。



工研院的廢水處理技術，已經跨入國際市場，「外銷」到包括印尼、馬來西亞、新加坡、越南等國家。

先進國家廢污水回收使用類型

第一類

都市污水處理廠放流水再生回收，做為灌溉、生活雜用水、工業製程用水、地下水補助、飲用水水源等，又可區分為以下兩種模式。

- ◎ 對放流水簡易處理，做為生活次級用途或灌溉用水，其處理單價較低，一般約為每立方公尺新台幣5至10元。
- ◎ 對放流水做高級處理，做為製程用水、水庫補充用水與地下水補注，如美國加州橘郡GWR計畫與新加坡NEWater計畫；處理成本約為每立方公尺新台幣20至30元。

第二類

工業廢水回收，即廠內循環使用。然而工業製程廢水的回收量，端視現場實際需求與處理難度而定，一般回收量為每日數百至數千立方公尺，回收使用範圍則多半限於廠區內。

資料來源：經濟部水利署水利規劃試驗所——廢污水廠放流水再利用潛勢及推動策略