

涓滴都珍貴

科技造水創永續

要解決水資源短缺問題，不僅要「節流」，更要「開源」，秘密就藏在每天排放的廢水裡。工研院投入水處理科技研發30多年，擁有半導體、面板、紡織等工業廢水處理實績，海內外成功案例超過100個。近期又協助規劃建造南科再生水廠，將回收廢水用於半導體製程，締造水處理重要里程碑。



工研院和自來水公司合作，將BioNET運用在東港溪原水的前處理上，是全世界第一個將生物擔體用在河水處理上的大型案例。

撰文／陳怡如

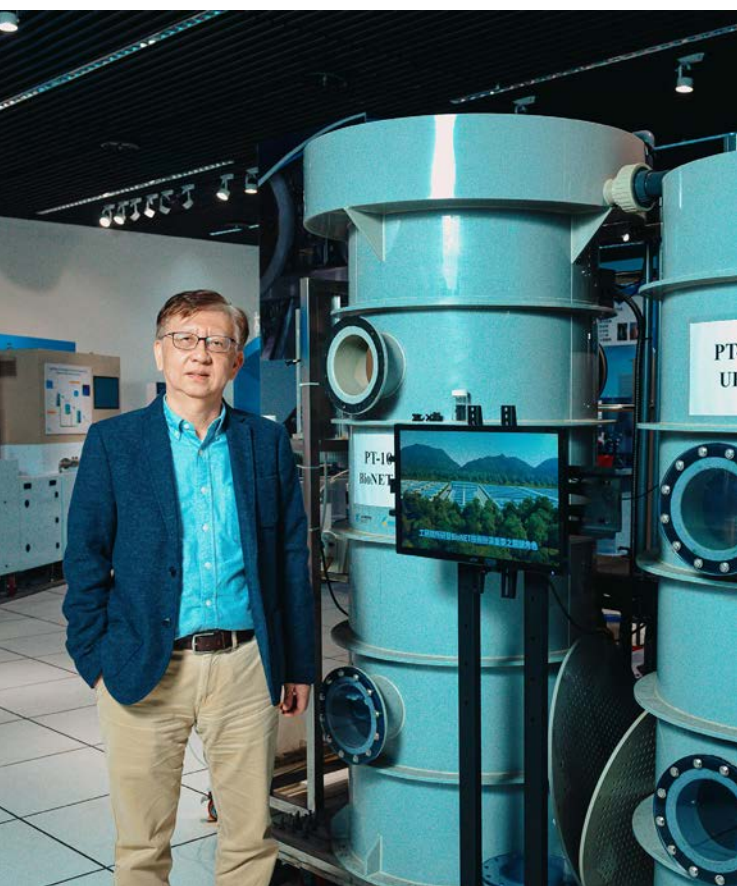
不管是工廠製程，還是生活用水，每天都有大量使用過的水排出。工研院材料與化工研究所副組長張王冠指出，這些排掉的水，在工業稱為「廢水」，民生則稱為「汙水」，若直接排放會造

成環境汙染，因而催生了水處理技術，去除水中汙染物，再排放到大自然中避免汙染，這也是水處理的初衷。

水處理技術大致分為三大類別：生物處理、

物理處理和化學處理。生物處理主要利用微生物分解水中有機物；化學處理則添加化學藥劑形成中和、氧化或離子交換等反應；物理處理有不同方式，常見的有重力分離法或薄膜過濾法等。

這三大項都是目前業界採用的主流技術，但廢水所包含的污染物非常複雜，同時具有有機污染和無機污染，「也因此廢水處理不會只用單一技術，而是多種技術串聯，各有各的任務。」



工研院材料與化工研究所副組長張王冠看好未來水處理市場將飛快成長，因為環保法規越趨嚴格，提升排放標準的門檻，再者是極端氣候造成缺水危機，許多企業為了降低營運風險，都會加大投資力道，盡早投入廢水再生應用。

隨著氣候變遷愈演愈烈，全球正面臨新的缺水危機，這些排放掉的廢水，若能拿來回收再利用，將有助減緩缺水問題，讓廢水變黃金。因此當前的水處理技術不再只是解決排放問題，「廢

水回收成了一個很重要的發展方向。」

張王冠表示，在評估導入水處理技術時，主要有四大考量。第一看水質，也就是原水的汙染狀況程度；第二看目的，是要排放還是要回收，以及回收使用的目的；第三看現場的限制，工廠空間會影響水處理設備的規劃設計；第四看成本，評估投資與效益之間的平衡。

創新技術 累積破百成功案例

早在30多年前，工研院便投入水處理技術的研究與開發，目標瞄準最複雜的工業廢水處理，多年來已建立了不少領先全球且已商業化的廢水處理與水回收技術，在國內外已有超過100個以上成功實廠案例，涵蓋電子業、面板業、石化業、化工業、食品業、紡織業、鋼鐵業等產業，這些輝煌業績中也用了不少創新技術。

像是在生物膜技術上，工研院獨家開發的BioNET專利技術，宛如風扇葉片的扇形擔體，加上類泡綿的多孔性材質，提供更廣大的表面積供微生物附著生長，有助累積大量及特定族群的微生物，同時降低質傳限制，在分解污染物上更有效率，適合處理低負荷、高流量的操作，以及難分解的有機物質。

2017年，工研院和自來水公司合作，將BioNET運用在東港溪原水的前處理上。原先溪水因氨氮含量高，僅作為工業用水，但當時高雄水情不佳，因而考慮支援民生使用，此時便需要透過前處理淨化水質。

只是溪水要處理的量體大，流速又快，處理技術的效率得夠高才能應付，這正是BioNET的強項，目前在高雄鳳山淨水廠一天最高可以處理30萬噸原水，亮眼成果不僅拿下經濟部公共工程優質獎，「也是全世界第一個將生物擔體用在河水處理上的大型案例！」

另一個流體化床結晶廢水處理技術（FBC），主要透過添加適當藥劑，讓廢水中原先溶解於水的無機離子，於擔體表面形成不溶於水的結晶體，就

能排出槽外，達到淨化水質的目的，結晶物也能回收再利用。

張王冠指出，以往國外都將FBC用在處理較乾淨的水源上，如自來水的軟化處理，工研院則將FBC擴充應用在難度更高的工業廢水上，包含結晶擔體的選擇、反應槽型式、添加藥劑、條件控制等，都要重新設計。

工研院將FBC用在不少半導體公司，由於半導體的蝕刻製程，需要使用氫氟酸，因而產生含氟廢水，透過FBC，就能結晶成氟化鈣。2014年，工研院與全球最大的水處理公司荷蘭DHV，共同競標美光新加坡廠的廢水處理，便是以這項技術成功贏得標案，為臺灣水處理技術揚名海外。

全球首創 廢水回收用於半導體製程

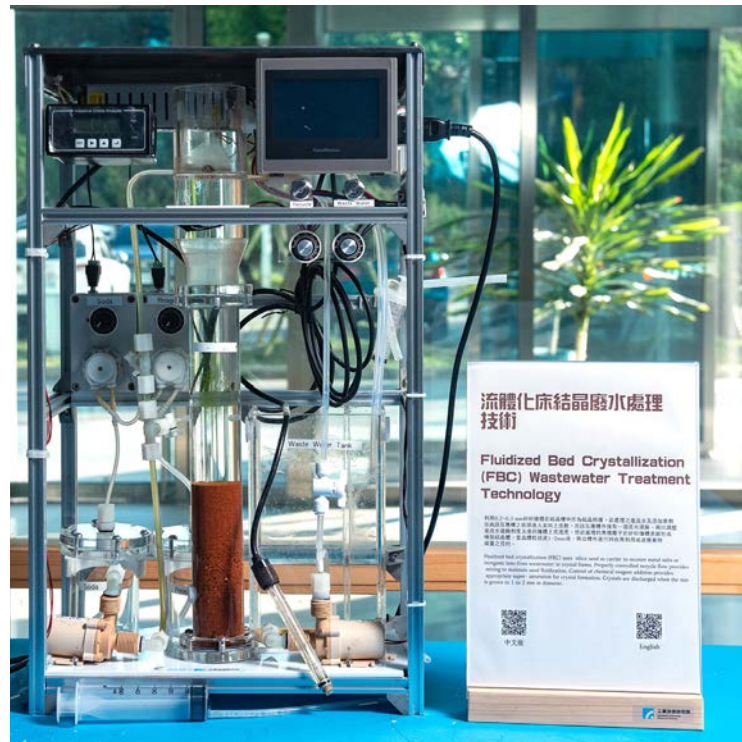
工研院最新的水處理指標案例，則是2022年9月正式通水的「南科再生水廠」，全球首創將工業再生水用於半導體製程生產，預計今年將達到日產2萬噸再生水的目標，為全球水資源循環寫下重大里程碑。

張王冠指出，過去工業廢水的再生應用，大多用於冷卻水塔的補充水，對水質的要求不會太高；但若拿到製程使用，尤其又是對水質極為要求的半導體業，兩者的技術難度完全是不同等級。

工研院首先運用BioNET和FBC兩大技術，去除廢水中極大部分的有機物和無機物，就連半導體製造嚴格要求的「尿素」，透過BioNET也能降到每公升只剩下5微克($\mu\text{g/L}$)，「這是難以想像的低。」接著再靠RO逆滲透技術去除水中的鹽類，就能得到非常純淨的再生水。

在RO逆滲透過程中產生的廢水，含有各種雜質和汙染物，稱為濃縮水，雖然無法再利用，但也要符合排放標準，此時再透過缺氧流體化床技術（AFB），以缺氧脫氮微生物去除濃縮水中的硝酸鹽就能排放，「在放流之前做最後的收尾」。

值得一提的是，這一連串過程中，除了RO逆滲透薄膜在國外已發展成熟，因而採用既有的薄



流體化床結晶廢水處理技術主要透過添加適當藥劑，讓廢水中原先溶解於水的無機離子，於擔體表面形成不溶於水的結晶體，就能排出槽外，達到淨水目的。

膜材料外，其他技術與主要材料都是由工研院自主研發，或將既有技術應用於複雜度更高的工業廢水上。

張王冠表示，水處理技術和其他技術不一樣的地方在於，比起原料性質不會變動的工廠製程，工業廢水成份複雜，汙染物會在一定範圍內變動，每天都不完全一樣，也因此設計方案時，必須容忍原水的變動，又要兼顧效果與成本；加上這個案子史無前例，需要嚴謹的數據統計，和大量測試、實驗，以及設想所有的處理情境，才能定案。雙方在2015年就開始洽談合作，整整花了7年時間，終於成功通水啟用。

全臺最大 打造EDR工業廢水系統

如果對工業廢水回收的水質要求，不需要這麼高的話，也可以採用成本較低的倒極式電透析脫鹽再生技術（EDR），透過陰陽離子交換膜的適

當排列，讓水中的離子分離，透過工研院的專利技術，有效提升EDR的脫鹽率和回收率。

全球最大ABS樹脂供應商便與工研院合作，在仁德廠區建置再生水系統「EDR水資源中心」，並於2020年正式啟用，不僅是臺灣石化業第一套，也是全臺最大規模的EDR工業廢水系統，每日可產出3,000噸再生水，用於冷卻水塔補充水。工研院也開始研發國產化的離子交換膜，並與臺灣相關廠商合作，透過技轉方式發展臺灣的EDR產業。

不只在國內有許多亮眼實績，工研院也積極在海外推廣水處理技術。過去在東南亞，尤其馬來西亞累積不少案例，BioNET甚至還應用於印尼的製鞋廠的廠區用水處理。近年配合政府政策，工研院積極往印度發展，主要集中在皮革和染整等汙染較為嚴重的行業所產生之廢水，目前已和當地廠商展開一些前期的合作測試。

三大方向 水處理技術飛快成長

未來水處理技術的創新發展，張王冠認為有三大方向，第一是上述提及的廢水再生利用；第二是節能，盡量降低水處理過程中的能源耗用，甚至達到創能的目的；第三是透過資源循環利用，減少廢棄物產生。針對這三大面向，工研院皆持續投入研發能量。

比如工研院目前正著手研發前瞻的正滲透技術（FO），基本原理是藉由高濃度的提取液和半透膜，水由低滲透壓液區流向高滲透壓液區，再從提取液進行水分離，比起需要額外施加壓力RO逆滲透技術，是能耗更低的脫鹽技術。

此外，針對高濃度的有機廢水或汙泥，若與微生物的厭氧消化結合後，就會產生沼氣（甲烷為主要成分），能用來發電或產熱，進一步達到創能。對於氨氮去除，則研發厭氧氨氧化技術（Anammox），可大幅減少能耗及化學品使用。

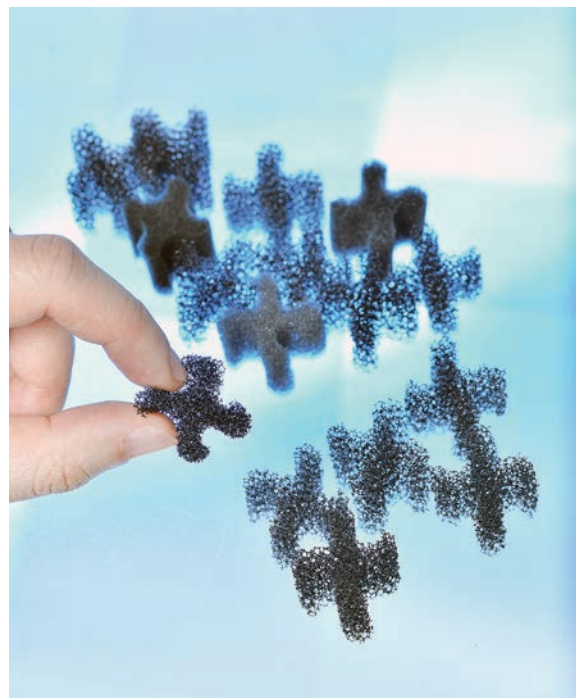
在廢棄物減量上，針對有機的汙泥，工研院透過超音波破裂汙泥細胞，再結合其他的生物處

理程序，達到汙泥減量。針對無機廢液，則研發酸鹼回收技術（R2A），藉由離子交換膜的排列，能將廢液含有的高濃度氯離子、鈉離子，轉為高純度可再利用的鹽酸和氫氧化鈉。

張王冠看好，未來水處理市場在三大趨勢影響下，也將飛快成長。首先是環保法規越趨嚴格，提升排放標準的門檻。第二是極端氣候造成的缺水危機，許多企業為了降低營運風險，都會加大投資力道，盡早投入廢水再生應用。

第三則是呼應近來的ESG風潮，對環境永續和公司治理更加看重，尤其臺灣很多產業以代工為主，為了符合國際大廠對供應商減碳、節水、節能的生產要求，代工廠也需及早準備。

「未來的水處理典範也會改變，不只是符合排放要求，還要兼顧更多目標，企業對水處理會有更多不一樣的考量。」不管是對環境永續提出解法，或是提升產業競爭力，水處理技術都將成為21世紀人類生存最重要的課題之一。■



工研院獨家開發的BioNET專利技術，宛如風扇葉片的扇形擔體，加上類泡綿的多孔性材質，在分解汙染物上更有效率，適合處理低負荷、高流量，及難分解的有機物質。