

現代科學方法應用於 廢水處理技術之潛力

Peter A. Wilderer, Hans-Joachim Bungartz, Hilde Lemmer, Michael Wanger, Jurg Keller, Stefan Wuertz, "Modern Scientific Methods and their Potential in Wastewater Science and Technology", Water Research, 36(2), 370-393, 2002.

近年來，許多新開發的生物分析及檢驗技術，可分別探討群聚生物集團 (microbial aggregate；如活性污泥或生物膜) 內之菌相分布、外形結構、及生化反應機制等問題；這些嶄新方法所得到的資訊，被應用於微生物團或生物反應器較先進之數學模式及數值模擬後，因此拓展許多新的知識領域，改寫教科書中部分的傳統知識。但科學家致力於微觀世界的探討，及努力提升檢驗技術的解析度時，對於工程實務的助益到底有多少？工程界如不了解這些新的知識，又如何改善傳統的廢水處理技術？這中間的鴻溝宜搭建一共通的工作平台作為橋樑，增進兩者間的互動關係，以加強工程界對微生物活動的掌控能力。故本文嘗試整理這些嶄新的分析方法，並特別介紹其相關聯的部分，提供工程實務上必要的資訊，作為實廠進一步研發或故障排除時之參考。

去除污染物的微生物團係由許多細菌、原生動物及後生動物所組成，

這些微生物可餵食溶解性或固體性的基質，可行好氧代謝或厭氧代謝，屬於有機異營菌或化學自營菌或光合自營菌，微生物可分泌體外複合物質，附著於絲狀物後形成生物膠羽或生物膜。微生物團的沉降性與去除污染物的效果有關，如環境條件有利於絲狀菌的生長，則微生物團的膠結性不佳，形成鬆化結構 (污泥膨化)，易被放流水帶出反應槽 (washout)，造成處理失敗的結果。微生物團的菌相變遷與進流水質、環境因素及操作狀況有關，需藉由工程人員適當的調整操作參數，方能掌控微生物團的菌相組成及整體生化活動；而現代的分子生物技術可察知菌相組成與操作參數間的相關性，提供實廠操作者得到較佳的微生物系統控制能力，進而選擇合適的操作控制策略。

由於廢水處理廠的微生物不是在標準基質中生長，故萃取其基因物質與先前建立的基因資料庫來比對，以鑑別不同培養基的微生物，萃取基因

◎執筆 / 廖育英

以16S及23S rRNA最常使用(16S rRNA已建立超過15,000筆的基因資料庫)。目前的技術雖可量化rRNA,但rRNA並不能轉換成細胞數量(因細胞所含rRNA數量介於1,000至100,000個),故此項技術不能量測細胞的生長速率。又因rRNA為細胞合成蛋白質所必需,故可用來測定微生物團的活性,其好處是不同的菌種可一併測定。此外,基因萃取雖可與基因片段資料庫比對及計算數量,但無法判斷各片段基因的排列順序,故不能用於菌種鑑定;不過對於整個微生物社會的變遷可提供相當的訊息。此外,具影像數位化功能的顯微鏡,可重疊不同深度的影像,透過影像處理技術,不但得到三度空間的立體影像圖,也可計算微生物的數量及微生物團的體積或孔隙度。如結合顯微掃描、影像處理及基因萃取(如FISH)等技術,不但可提供微生物的外觀結構訊息,亦可伴隨了解其代謝作用的過程;這些資訊對於數學模式或數值模擬非常有

價值,同時亦可了解需設定那些物理條件才可維持最佳的生化反應狀態。另於微小感知器(micro-sensors)的快速發展,電極的直徑小至2-10 μm ,可直接測定細胞內外的物質及電子傳遞及系統局部的濃度梯降,且不會影響微生物團的結構;因此亦可直接測定微生物團對基質的擴散係數。最後談到微生物團變遷的鑑別,主要的研究為利用傳統能量(熵)、孔隙度(areal porosity)、碎形維度(fractal dimension)、及最大分散距離(maximum diffusion distance)等四個方向,另有其他的研究分別在進行中。

由於電腦硬體及軟體的進步及計算能力大幅提升,使傳統的數學模式有很大的變化;現今的數學模式不但程式繁複且計算需求龐大,其面臨的困境為:(1)生物處理系統中物理、化學、及生物作用完全交互影響,形成大型的算式陣列,需龐大的計算能力;(2)時空的尺度差異很大,精度

不易掌握；(3) 不同的問題型態使用不同的數學運算方法，需有各方面的基本專業知識；故於面對問題時，常須在精度要求與簡化計算間掙扎。在工程實務方面，工程人員喜歡粗略而明確的結果，其間如何整合簡化或轉換，亦為數學模式一大挑戰；目前市面上使用先進演算法的商業軟體套件已被開發出來，使得模擬模式簡化許多手續，如何使用這些工具開發更精確的模式，目前仍在持續研究中。在數值模擬的領域中，到底要模擬整個生物處理系統或只需模擬生物膜的一小部分即可？三維度的影像分析及處理功能，如何運用在實際設計及操作上？模擬模式的廣度及深度到底要多少才夠實際使用？這些問題代表數值

模擬尚有很大的改善空間。大體而言，在解決問題的不同階段使用不同的演算法（混合演算模式，hybrid models），為公認較具效率的方法。最後談及電腦的繪圖及視覺功能，可直接觀察微生物團的外觀，或應用於模擬模式之成果展示，這些都值得再深入研究。

微生物學家的研發成果與工程實務上的經驗數據，應以一個資料庫作為共同的工作平台；這個資料庫需提供的訊息有：(1) 微生物生長的條件（包括水質、有機負荷、電子接受者是否存在，水力條件，停留時間等等）；(2) 微生物代謝活動的動力學及計量學參數值；(3) 系統偵測方法（包括整套採樣分析的標準步驟）。

作者簡介

廖育英—

現職：萬能技術學院環境工程系講師

學歷：國立中央大學環境工程研究所肄業

經歷：工研院化工所副工程師，中華顧問工程司水環部工程師(一)，康城工程顧問公司專案經理、環工部顧問

專長：廢棄物管理及處理技術、環境系統分析及管理