

荷蘭開發厭氣生物廢水處理技術之動態

阮國棟* 張坦卿** 陳俊英***

一、前 言

長久以來，生物科技廣泛應用於污染防治，而荷蘭可稱為此一領域中之先驅者。荷蘭政府在原有水資源開發利用的基礎上，實施環境保護的課稅政策，加速了工業界在污染防治及資源化之努力，尤其在廢水處理與能源回收方面，在世界居於領先之地位。十年前，荷蘭 DSM 公司在歐洲設置了第二大規模的喜氣／厭氣工業廢水處理廠，特別設計用來處理含氮的化合物。另一個突破性的發展，就是上流式厭氣汙泥床 (UASB) 的開發成功，已被應用於世界各國近百座工廠的廢水處理上。對於新型反應槽的研究中，Gist-brocades 公司目前尚在發展流體化生物反應槽。

面對居住環境的挑戰，污染防治的研究開發工作將是永無止境、永不間歇的。荷蘭政府在這方面給予大幅的財政支援，目前有更多的人投入此一領域中。在大部份的研究計畫中，反應出他們利用大自然的特性，利用微生物去分解存在於廢水、固體廢棄物、土壤、甚或氣體中的頑強、厭惡之污染物。本文旨在介紹荷蘭目前各機構、學校、公司正在進行有關利用厭氣性微生物處理廢水的各項研究動態，提供讀者參考。

二、研究重點

荷蘭目前利用微生物分解環境污染物之研究工作有三大重點：

1. 微生物型式 (culture mode) 及反應槽型式 (reactor mode) 之研究：目前廢水生物處理研究工作的主流有二，其中之一為厭氣／喜氣廢水處理基本觀念的探討，以尋求最佳的程序及反應槽設計。另一為採用各種反應槽（如 UASB）處理特殊性質的廢水，如低濃度的家庭污水等。無論採用何種型式之反應槽，微生物之性質須完全了解，在分解複雜有機物時，才會充分顯露出其不同的特性，以及對環境變異所產生之壓力有高度之容忍力。

2. 對於一些頑強而令人厭惡之污染物，如含硫、磷、氮之各種化合物，處理之方法有二

工業技術研究院化學工業研究所

* 正工程師兼副組長

** 研究員兼主任

*** 副研究員

種，一是儘量預防或減少其在環境中產生，另一是尋求方法將其轉換去除且不產生新的二次污染問題。微生物脫硫、脫氮（硝化及脫硝）及磷的濃縮分離去除，在應用層面及經濟效益上均有很大潛力，荷蘭在這方面之研究將逐步邁向商業化之目標。

3. 水肥、農產廢棄物及家庭垃圾等污染問題，在荷蘭同樣受到廣泛的重視。施肥過量會造成土壤之污染，尤其是銅、磷、氮等元素。解決方法之一為儘量減少飼料中銅之含量，另一則為利用厭氣消化法以防止任意傾倒廢棄物所造成之污染。

三、研究活動

1. Amsterdam Univ.

研究焦點放在固定化微生物之聚合現象（aggregation），探討顯著之影響因子，包括吸着作用、微生物生理特性、環境之化學成分，水流性質等。

其他的研究活動，包括：利用藻類處理廢水之可行性；將家庭污水濃縮至相當程度後，用厭氣污泥床處理之可行性；以及厭氣污泥床之有機負荷能力、有效污泥滯留時間、穩定性等研究。

2. Wageningen Univ.

污泥顆粒化（granulation）之形成及保持。生物膜附着於擔體上產生良好的沉降性，形成愈密厚之生物膜其沉降性也愈佳，但太密厚之生物膜使得基質傳送速率受到限制，而使得單位反應槽體積之活性降低，因此在設計反應槽時，此一參數須小心予以評估，使其合理化。

以 *Acinetobacter* family 微生物除磷，在廢水中加入醋酸，可以提高脫磷效率至 97.5%。使部分活性污泥送至厭氣狀態，可造成磷自污泥中釋出。在脫磷程序之前，須先脫硝，因為硝酸鹽會抑制脂肪酸之形成，脂肪酸為 *Acinetobacter* family 之基質，同時會抑制厭氣狀態下磷之釋出。

在固體廢棄物方面，研究冷式（不加溫、或稱中溫）厭氣消化程序，此程序為自發性之消化作用，目前已將實驗室 5 公升消化槽放大到 600 公升模型廠實驗，相對之研究即為高溫（或稱嗜溫）厭氣消化程序對城鎮污水下水道污泥之消化，可提高第一階段酸化水解之速率，但對豬糞尿污泥則效率不大。

3. Delft Univ. of Technology

大部分廢水含有硫酸鹽及硝酸鹽，高濃度之硫酸鹽會產生硫化物，研究活動之一為探討甲烷菌與硫酸還原菌之間基質的競爭性，以減少硫化物之產生。研究工作同時發現在硫還原菌與氮還原菌（脫氮）之間的競爭性，而有所謂喜氣脫硝（aerobic denitrification）之現象。

利用數學模式描述或預測各種參數，以求得最佳反應槽設計，其數學模式可描述有機污染物之動力參數，微生物分佈、污泥特性及流力現象。

Dimethylsulphide (DMS) 常出現於造絨廠、煉油廠和污泥處理廠之廢水中，研究者

已找到一些細菌可以氧化 DMS, dimethylsulphide 和其他之有(無)機硫化合物，其中主要之細菌為 *Hyphomicrobium species*。在處理含硫酸鹽廢水研究中，有一重大發現，就是在絕對喜氣情況下，脫硝作用可以發生，並產生 N₂ 氣體，所以在實驗室裏，脫硝並伴隨硫氧化作用之現象正在研究當中。

另外 Delft 和 Wageningen 大學合作另一個研究重點，光合菌之脫硫程序，利用光合成菌將硫化物氧化至元素硫。

應用研究方面，針對製糖工業之固體廢棄物，尋求最佳反應槽之設計，研究參數包括前處理、攪拌、消化技術、質傳及反應槽型式、大小等。

4. Nijmegen Univ.

研究重點放在甲烷菌 (*methanogenis*) 之生理及生化特性之深入研究，包括基質利用、形態分類、生化反應機制、營養條件需求等。

5. Agricultural Univ.

以厭氣汚泥床法 (UASB) 創始者 Dr. G. Lettinga 教授為首之研究羣，多年來致力於 UASB 的工業推廣使用，不遺餘力。並結合 CSM 糖業公司及其他各所大學，針對 UASB 處理各種工業廢水的可行性，工程問題、顆粒化現象，起動條件，汚泥保存出售等均有一系列之活動。

6. Eindhoven Univ. of Technology

當下水或豬糞尿污泥以厭氣處理時，微生物水解速率變為速率限制步驟，因此研究以提高溫度及壓力，來加快水解速率。

7. Netherlands Organization for Aoolied Scientific Research (TNO) :

煤炭 (黃鐵礦) 之微生物脫硫程序研究，煤炭顆粒磨碎至 100 μm 以下，混合於廢水中 (20% W/V)，pH 在 1.8 以下 (防止磷酸銹鐵沉澱產生)，溫度為 30°C，如有需要加一些氮，磷供細菌生長，利用微生物 *Thiobacillus ferrooxidans* 優勢菌氧化黃鐵礦，產生硫酸與鐵離子溶解於水中，達到煤炭之脫硫作用，在反應時間 8 ~ 10 天，效率可達 90%，主要影響參數有細菌生長速率及氧化速率，此程序將應用於減少燃燒煤炭時產生之空氣污染物 SO_x。

另外同樣之原理，研究微生物 *Bacillus* 以萃取污染物中的重金屬。此項煤炭生物脫硫技術正與 Delft Univ. of Technology 合作研究中。

8. DSM 公司：

1978 年，在歐洲建造了第二大厭氣／喜氣工業廢水生物處理廠，轉資 112 百萬基爾德 (荷幣)，處理水量為 4500 m³/hr，廢水主要含硝酸鹽、氨離子、尿素、和複雜的有機氮化合物，在其 4 個處理步驟中，主要應用微生物之硝化／脫硝之特性。

最近 DSM 的廢水處理計畫中，利用一種逆流，多段式流體化床酵素反應槽 (a counter-current, multi-stage fluidized-bed enzyme reactor)，去除廢水中之尿素，反

應槽中以砂為擔體，附着生長微生物 *Bacillus pasteurii* 分泌尿素分解酶，此程序最大優點為不僅可去除一部分有機物，且完全利用酵素之活性。

9. Gist-brocades 公司

由於傳統的喜氣處理技術，佔地面積大，污泥處理及臭味等問題。Gist-brocades 研究發展厭氣流體化床，以砂為擔體，污泥顆粒具良好之沉降性（沉降速度約 50m/hr），單位反應槽體積含高濃度之污泥（15~440kg drymatter/m³ of reactor volume），僅需相當短之 HRT（約 1~1.5 hours），且反應槽形式呈細長圓柱形，因此所需反應槽體積，佔地面積皆相當小。

為了達到厭氣程序之穩定性，二段式程序系統通常是需要的，在 Delft 的流體化床每一個反應槽體積為 380m³，直徑 4.7m³，高 21m，COD 負荷為 20,000 kg/day，氣體產量 200 m³/hr。

另外厭氣流體化床之脫硝程序，也在研究發展中。

10. The Institute for Storage and Processing of Agricultural Product (IBVL) 及 Eegwaard 公司

研究二段式厭氣處理程序，第一段將有機固體廢棄物經厭氣酸化產生溶解性成分，再進入第二段 UASB 反應槽中處理，目前模型廠實驗，可以在14天內，將40%之有機固體廢棄物轉換成氣體。