

生物處理上曝氣方式新觀念的介紹

嵇本賢* 呂仲凱**

一、前　　言

生物處理法為有機廢水最主要之處理方式，而在生物處理法中又以喜氣處理佔大部分，為了供應廢水中有機物被好氧性微生物氧化分解過程中所需消耗之氧量，因此曝氣系統即成為生物處理之心臟。曝氣方式雖然種類繁多，基本上可歸類為散氣式曝氣 (diffused aeration) 及機械式曝氣 (mechanical aeration) 兩大類。本文將針對兩種曝氣方式加以比較並介紹機械式曝氣方式之新觀念，以供環境工程師之參考。

二、散氣式曝氣與機械式曝氣之比較

2.1 散氣式曝氣與機械式曝氣之比較

散氣裝置按氣泡大小一般可分為兩類，一為經多孔介質所產生的細氣泡者，一為經較大散氣孔產生之粗氣泡者。

細氣泡直徑一般在 $2.0\sim2.5\text{mm}$ 之間，散氣管沿著曝氣槽的一邊裝設，藉以使水體產生翻滾，兩個散氣器間的距離不能過小，以免上昇的氣泡合併成較大的氣泡。經常，為了得到較佳的攪拌效果，曝氣槽的寬度與深度比值不應大於 2。不管是何種散氣裝置，曝氣槽底部和頂部均應做成斜角狀，以促進攪拌水流的翻滾並減少能量的損失，底部的斜角亦可以減少污泥的沉積。

*翰鴻環保企業股份有限公司執行副總經理

**翰鴻環保企業股份有限公司執行經理

粗氣泡式由於氣泡總表面積小於細泡式散氣裝置，故粗氣泡式散氣器的傳氧效率較低，但在鼓風機的入口則不需裝置精細的空氣過濾器，而且以空氣流量來講，也有較長的操作壽命。

和機械式曝氣法比較起來，散氣式曝氣法的主要缺點為效率低和衍生的操作費用偏高。散氣式曝氣系統氧的傳輸效率約為 $0.5\sim 2.0 \text{ lbs O}_2 / \text{HP} \cdot \text{HR}$ ，而在同樣的情況下機械式曝氣將有 $1.0\sim 3.2 \text{ lbs/HP} \cdot \text{HR}$ 的效率。在較小的廠（使用鼓風機10至20匹馬力的曝氣系統）及某些規格制式化的處理廠，散氣式曝氣確有其優點，即使加上備用鼓風機，其費用通常較機械式曝氣少，但大於10或20匹馬力者，在初設費加上操作費用的比較上，機械式曝氣法則較佔優勢。

以活性污泥法而言，散氣式曝氣較機械式曝氣提供了更佳的控制方式，在廢水流量減低的時候，空氣量可以減至混合廢水所需之最少量，而機械式曝氣則不可能如此簡單有效做到，雖然某些廠商提供了效果有限的控制方法，如可調整堰及空氣導入穴蝕法 (air induction cavitation)，可調整堰是用在固定式曝氣機，如果曝氣機裝置雙速馬達，則其控制效果則較近於散氣式曝氣，軸流式曝氣機之空氣導入穴蝕裝置降低了馬力之消耗，但是由於三相馬達在低負荷時功率因子及效率皆會降低，所以每磅之傳氧費用將提高，混合效果亦隨之減少。控制氧的傳輸最有效的方法是在一個槽內安置數組輪流交替運轉的曝氣機，每個單位在一定的時間內定期關閉 5~10分鐘，例如開10分鐘關 5分鐘，將減少 $1/3$ 電力的消耗而無損於混合效果。

2.2 機械式曝氣機

1. 渦輪 (turbine) 式曝氣機

這類曝氣機包括馬達、減速機、聯軸器、軸及一較大的槳葉輪 (4~8英吋)，轉速在 $30\sim 50\text{RPM}$ 。這類曝氣機的應用經常被限制在大於75匹馬力的場合，因其初設費用需包括混凝土平台，故其費用大於浮筒式軸流曝氣機。一般來說，應用在較小馬力的時候是較不經濟的。與軸流式曝氣機比較起來，75匹馬力以上之渦輪式曝氣機效率較高，因此在費用上的考慮常更佔優勢。

所用馬達轉速常為 1800 或 1200 RPM ，輸出轉速則為 $30\sim 50 \text{ RPM}$ ，而在減速機的選擇上則必須非常小心，以應付24小時的連續運轉，以及尖峰時段的重負荷，直角式驅動裝置較螺旋式齒輪更具耐久性，但其缺點則為效率較差。

在設計平台時，由於低轉速，高扭力將可能因此對支柱產生離心負荷，而槳葉的掉落或附著異物則可能引起不正常的振動而損害機械，因此，最理想的狀況是要求製造廠商供平台或其設計。也有將曝氣機安裝在浮式平台上，如此可省去步道、平台及液位控制，也算是一可行的設計。

2. 軸流式曝氣機

這類曝氣機的主要特點是其圈餅式的浮筒，其機件包括馬達、浮筒、螺旋槳葉及一進水導管，廢水經由馬達下方的柱狀導管往上送，經一60°C到90°C的轉折，然後以徑向方式噴成傘狀水柱，此類曝氣機常應用在 5~60匹馬力方面，且可整件或分成二件運轉，驅動裝置為直接驅動式（沒有減速機），轉速依馬力或製造商之不同可分為1800, 1200或900RPM，由於其為高轉速，所以產生的扭力會很小，相對的機械可移動部份較渦輪式少，故在保養上通常只須做一年兩次的馬達黃油清除換新。

由於馬達為此類曝氣機的心臟，且較易接觸到噴濺的廢污水，因此有必要作較安全的保護裝置，一般來說，馬達須為全密閉風扇冷卻式且耐水中化學物質腐蝕，非吸溼性線圈，F 級絕緣，接線盒須為工廠安裝，電源線為不易磨損式，馬達須有1.15的安全因子以因應雜物通過時所增加的額外馬力。

一般來說，軸流式曝氣機為一較經濟有效的曝氣方式，且只需簡單的維護，對於小型污水處理廠及工業廢水處理廠非常具有實用性。

三、機械式曝氣機與攪拌機之組合應用 — 應用於生物曝氣系統之新觀念

傳統上，曝氣系統必須具備兩個主要功能：

1. 供給氧氣以供微生物分解有機物之用。
2. 提供充份的攪拌以使氧、有機物與微生物充份混合。

就一處理單元而言，通常攪拌所需之能量大於傳輸氧所需之能量，因而導致過剩的溶氧。有時甚至高達7~8mg/l，圖1 說明了因水中溶氧的不同而導致單位馬力氧傳輸率的鉅大差異，在生物處理曝氣系統中最佳溶氧範圍約在0.5~2.0mg/l之間，如果水中溶氧低於0.5mg/l，真菌類與絲狀菌則可能和所欲培養的細菌競爭，因此增加了污泥鬆化的機會，如果水中溶氧高於2.0mg/l，在缺乏所需營養份的情況下，同樣又增加了真菌類及絲狀菌控制整個生態環境的機會，因而導致污泥鬆化。生物基質(biomass) 的過度曝氣同樣的也可能導致污泥沉降性的降低，在某些例子裏，過高的溶氧是導因於過當的設計容量，在這些例子裏，由於曝氣槽幾何形狀上的限制，關掉或改變曝氣機的位置並不是很確實可行的。

以下將討論直接驅動式攪拌機和曝氣機組合應用於攪拌，以作為控制因素的實際例子。攪拌機和曝氣機的組合（相對於只用曝氣機）可顯示出較佳的沉降性及較好的放流水質，且可減少了能源的消耗。此種觀念並且可運用於散氣式曝氣系統，但這裏只討論機械式曝氣的實際應用。

對於任何機械式曝氣機，一般而言只有40~50%的軸能量可傳到攪拌液體上。在設計上，曝氣機的軸能量是用在打破廢水的質體以達到良好的輸氧效果，但能量是以速度水頭的方式損耗掉，因此並非所有的能量皆可用於攪拌上。相反的，本文所欲討論的攪

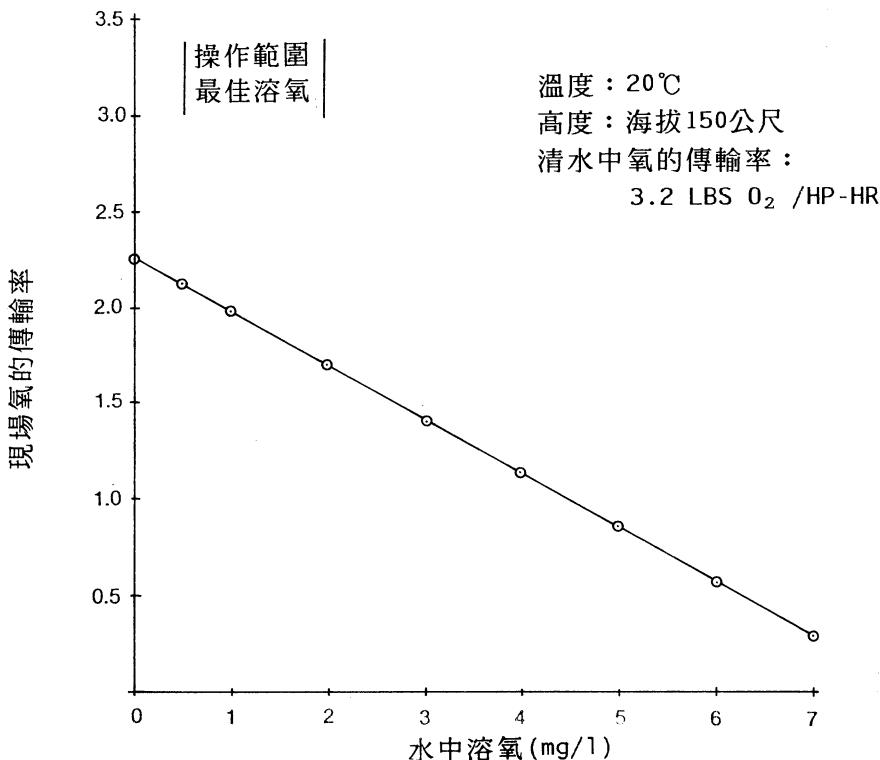


圖1 水中溶氧量與氧氣傳輸率之關係

拌機能將所有的軸能應用於攪拌上，根據所收集到的資料顯示，我們所採用的攪拌機的攪拌能力是一般曝氣機攪拌能力的二至三倍。

在實際應用上，當攪拌因素大於輸送氧的因素時，採用曝氣機和攪拌機的組合預估將可節省50%的電力，根據我們從南加州污水處理廠所收集的資料顯示支持了這種看法。該處理廠有一體積7500立方公尺 ($52.8\text{m} \times 52.8\text{m} \times 3.0\text{m}$, 池邊水深) 的活性污泥曝氣槽，並且採用5部40匹馬力的低轉速曝氣機（合計200匹馬力），曝氣槽內的溶氧和MLSS各分別為 $6.9 \sim 10.0\text{mg/l}$ 及 $1,100 \sim 1,300\text{mg/l}$ 。因高溶氧而影響最終沉澱池的沉降性，放流水呈雲霧狀，且不符合放流水標準，並且迴流污泥濃度只有 3110mg/l ，為了節省能源與改進放流水質，經過了廠方連續的努力與檢討之後，決定以一40匹馬力之高速攪拌機取代一原有的低轉速曝氣機，其他四部原有的曝氣機並不改變，以保持最佳的溶氧量。

1983年 4月21日，廠方在池中央安裝了一部40匹馬力的攪拌機以取代一原有的40匹馬力低轉速曝氣機，攪拌機每天24小時持續運轉，而曝氣機輪流交替運轉，每次只運轉一台，時間30分鐘（總馬力80馬），4月23日，溶氧降至 1.4mg/l ，4月25日，溶氧降至

0.9mg/l，且曝氣槽內的MLSS濃度為2,100mg/l，在四天內MLSS的濃度提高了700mg/l。

5月5日曝氣槽內MLSS濃度為3400mg/l，在減少了60%使用馬力且在14天內，MLSS的濃度增加了2,100mg/l，而後，溶氧降至0.1~0.4mg/l的水平，並改以對角上之兩台曝氣機和另一對角上之兩台曝氣機交替運轉30分鐘（總馬力數 120馬）。在此情況下，溶氧維持在0.9~1.4mg/l的水平，曝氣槽內MLSS為4800mg/l，迴流污泥MLSS濃度為10,600mg/l，最終沉澱池的流水轉變為澄清，且迴流污泥濃度三倍於以往，顯示出污泥之沉降性已大大的改善，放流水質也符合標準。

二月及三月整廠之平均電費為2273.19美元，而估計曝氣槽之電費約為1250.25美元，佔55%，而在5月及6月整廠之平均電費為1805.66美元，每月平均節省了467.53元，因為節省之電費為曝氣槽電費之減少，可表為

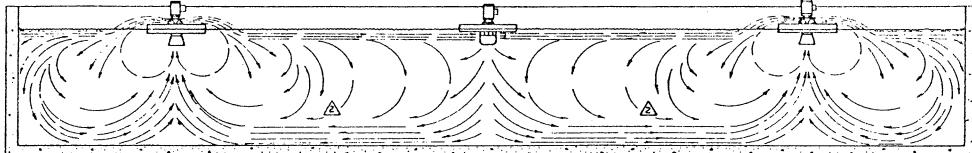
$$\frac{467.53}{1250.25} \times 100 = 37\%$$

另外，該廠的操作員更認為要是能廢棄多餘的污泥，降低MLSS濃度至1,500~1,800mg/l的水平，則採用攪拌機將可進一步降低電費並增加處理廠的效率。

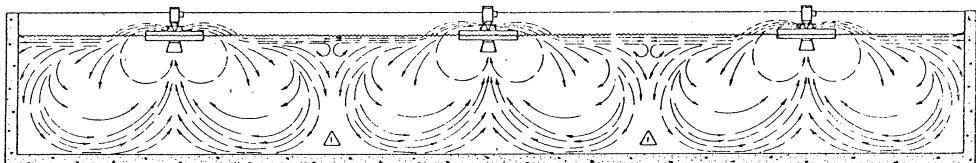
雖然攪拌機並不傳輸較多的氧，但和曝氣機一起組合時，可以增加整個系統的傳輸能力。最近我們在一直徑18公尺，5.2 公尺池邊水深的清水池內作一不穩流氧的傳輸試驗，以測試加上攪拌機的效果，三台表面曝氣機加上安裝於池中央的一台25馬力的表面攪拌機，結果只用表面曝氣機時氧的傳輸係數(KLa) 是2.33HR⁻¹，加上25馬力的攪拌機時氧的傳輸係數增為2.74HR⁻¹（增加了18%），若於實際應用上，由於表面曝氣機與攪拌機間距離較大，將可促進氧的傳輸，此結果可歸因於：

1. 當多台表面曝氣機安裝在一起運轉，由於互相靠近，各台所產生的表面速度向量將因而損失部份能量而無法作用於氧的傳輸，此將因表面曝氣機間的間距，池的幾何形狀，曝氣機的容量大小等而有所不同，而當攪拌機為向下流式，如和向上流式的表面曝氣機一起操作時，速度向量是相加的（請參見圖2），結果含高溶氧及氣泡的表面擾流可以更短的時間流至更深的流底。
2. 因為表面攪拌機較表面曝氣機有更佳的攪拌能力，增設後將使池表面的液體與池內的液體有較佳的攪拌更替效果。

其他優點包括因攪拌機為一向下流式的攪拌，並不噴濺廢水於空氣中，在寒冷的月份裏，以攪拌機替換表面曝氣機將可減少熱能的損失，BOD、COD的去除率將因較高的水溫而提高。



在只用曝氣機的情況下，於聚合點(\triangle)附近由於水平流速的相互抵消，很可能產生固體物沉積的現象



加入攪拌機之後，增加了攪拌效果，聚合點附近固體物沉積的現象將消失且很均勻的散佈在整個氣槽內。

圖 2 曝氣槽中單獨裝置表面曝氣機與併同裝置攪拌機之流況比較

四、結語

曝氣型式之選擇因廢水種類、處理流程及要求的處理效果的不同、曝氣槽的幾何形狀、處理廠的規模、經濟因素的考量及工程師個人的喜愛而有不同的取捨，其型式也因廠商不斷的研究發展而日新月異，本文可為工程師在規劃設計上選擇的參考。