

## 超深層曝氣(Deep Shaft)廢水處理法

施 明 潔\*

### 一、前 言

活性污泥法的發展已近百年，其機構、原理、操作方法以及利弊大多已為人熟知，類似或改良的方法也一一被研究或發展，超深層曝氣亦屬其中之一。因此本文擬探討有關超深層曝氣法的原理，包括其結構及流程特性，並參考若干實際工廠經驗，俾對此種廢水處理方法有進一步的了解。

超深層曝氣法屬高效率的好氧性活性污泥法，主要在於處理廢水中可溶性有機物質。它是由ICI公司於1974年發明，最初原本應用於醣酵工業上，繁殖特殊菌種，生產微蛋白質的製程，後來才轉而運用於廢水處理方面。和傳統活性污泥法不同之處，在於它取代了傳統淺而面積大的曝氣池，將之構築於地下，除了節省土地面積的效益外，檢討其流程特性，亦可發現較之傳統方法有多項改良之處。

### 二、超深層曝氣法處理流程及原理

超深層曝氣法一般有兩種不同流程，其機構請參見圖1及圖2。且其處理方法說明如下：

#### 2.1 超深層曝氣 + 沉澱處理方法

1. 廢水經由初步篩除(screening)及沉砂(degritting)處理之後，和迴流污泥一起注入昇降井(shaft)中。
2. 空壓機將空氣注入下降管與上昇管中，以提供水流循環動力及廢水處理所需要的氧氣。
3. 由於氣提效應的作用，混合液和空氣在昇降井中不斷的循環，並且進行微生物分解作用。

---

\*台灣卜內門化學工業股份有限公司工程師

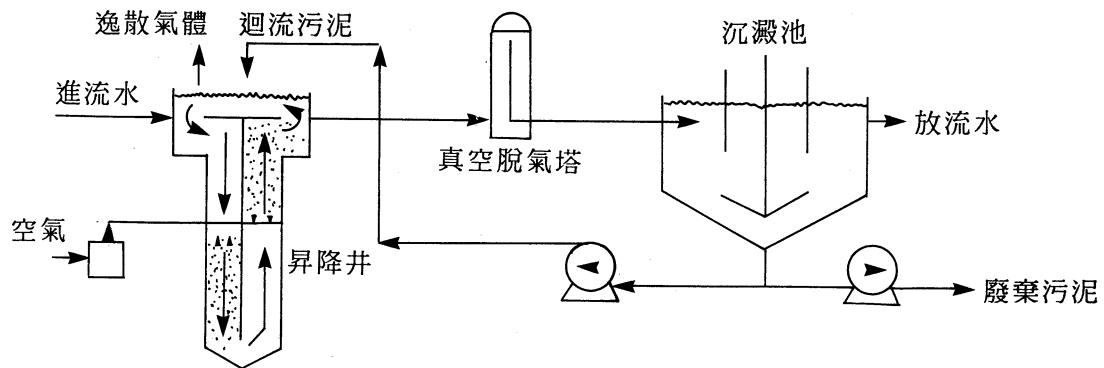


圖 1 超深層曝氣 + 沉澱處理

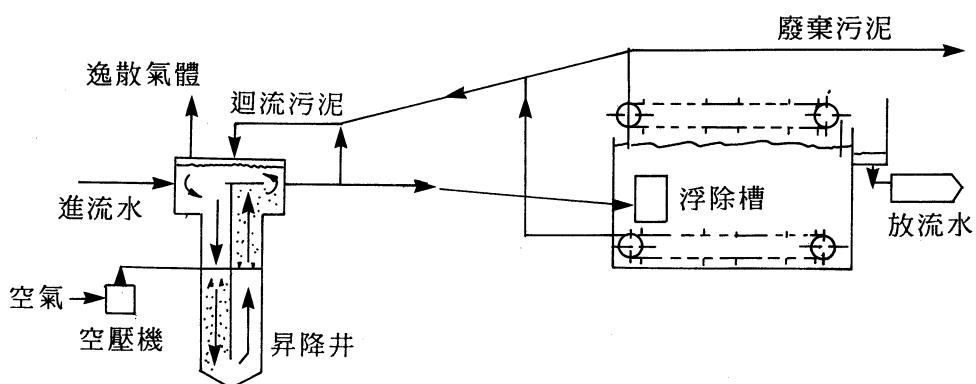


圖 2 超深層曝氣 + 浮除處理

4. 頂槽面積稍微擴大，以逸散空氣。一部份混合液溢流至脫氣塔以除氣。
5. 脫氣塔除去附著於微生物膠羽上的微細氣泡，以利於沉澱池固液分離之用。
6. 沉澱池利用重力作用，產生固液分離效果。
7. 迴流污泥經由泵浦抽回下降管中。
8. 廢棄污泥經由泵浦排除，排至污泥處理設施處理。
9. 經處理後沉澱池上層澄清液則放流至河川或下水道中。

## 2.2 超深層曝氣+浮除處理方法

1. 廢水經由初步的篩除及沉砂處理之後，和迴流污泥一起注入昇降井中。
2. 空壓機將空氣注入下降管與上昇管中，以提供水流循環動力及廢水處理所需要的氧氣。
3. 由於氣提效應的作用，混合液和空氣在昇降井中不斷的循環，並且進行微生物分解作用。
4. 頂槽面積稍微擴大，以逸散空氣。一部份混合液溢流至浮除槽行固液分離。
5. 固液分離作用於浮除槽中進行。
6. 迴流污泥藉重力方式注入下降管中。
7. 廢棄污泥由浮除槽頂部及底部排除。
8. 經處理後浮除槽澄清液，則放流至河川或下水道中。

昇降井(shaft)本身是由頂槽(head tank)、上昇管(riser)及下降管(downcomer)所構成。在上昇管和下降管中分別插入空氣管，所需空氣量的多寡及空氣管注入的深度，主要是由微生物本身特性、水流循環動力需求、微生物和污染物及溶氧間的質傳效率而設計出來。適當的設計可以使超深層曝氣法有很好的處理效果產生。昇降井直徑在0.7~6m，深度在50~150m間。尺寸的大小是由進流廢水的流量及水質、放流水水質要求、當地土質狀況和經濟因素的考量而決定的。

超深層曝氣法的啓動方式如下：

1. 首先將空氣注入上昇管中，上昇管上部充滿空氣後密度降低。下降管中由於尚未注入空氣，比重較大，藉由重力作用，混合液於是從下降管中經由底部流過上昇管，並且開始循環。這就是利用所謂的氣提效應(air lift effect)，或俗稱的氣昇泵浦。
2. 當循環構成以後，空氣開始注入下降管中，由於氣泡上浮速度( $0.3\text{m/sec}$ )小於水流循環速度( $1\sim 3\text{m/sec}$ )，水流於是將氣泡帶入昇降井中循環。
3. 混合液在頂槽逸散部份空氣，使得上昇管和下降管中恆保持一段氣體動力壓差，造成循環持續不絕(參見圖3)。部份處理過的混合液則溢流至固液分離設備。
4. 適當調整上昇管和下降管中空氣的比例，使水流循環及空氣利用率達到最佳狀況。

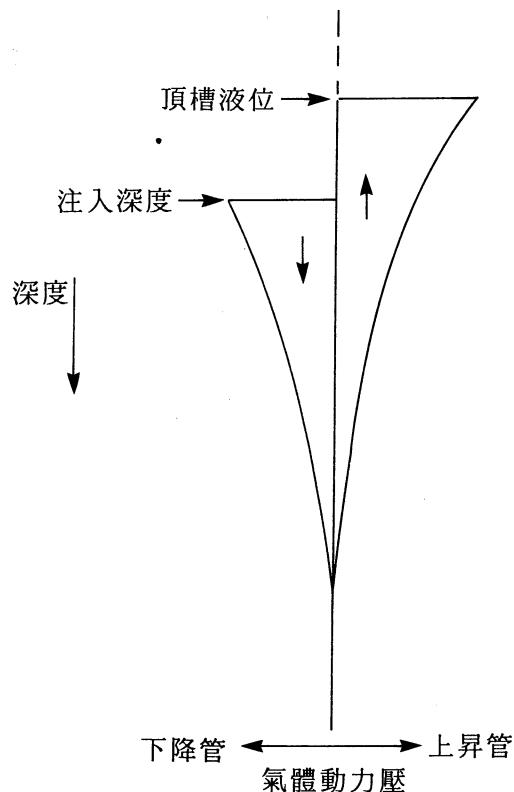


圖3 氣體動力壓差圖(上昇管及下降管氣體動力壓之比較)

經由超深層曝氣法處理過的混合液，其污泥的分離方法有兩種型式，一為重力分離，一為浮除法。採重力分離方式（即傳統沉澱池方式）時，須先將附著於微生物膠羽的細微氣泡脫除，一般採用脫氣塔，利用真空脫氣方式，設計在0.1~0.3bar，以除去細微空氣泡。機械脫氣方式亦屬可行。也有利用二次曝氣法，類似傳統曝氣池曝氣攪拌方式，在很少的停留時間內，利用曝氣攪拌產生的大氣泡帶走小氣泡，以利於沉澱池行固液分離處理。沉澱池的設計和傳統方式並無二致。主要由實驗求得相關數據，除了混合液MLSS之外，參考SVI關係而設計出來。

浮除法也是固液分離的另一種方法。選擇浮除法或沉澱法的分別，主要是基於空間的考量、土質資料、廢水性質及客戶的偏好等等。採浮除法時，為了獲得最大的溶解空

氣量，其昇降井深度通常大於120m以上，因此使用土地面積可更為節省。在北美洲有四個超深層曝氣實例皆是採用浮除固液分離法，其昇降井深度皆為150m。

雖然採浮除法所需面積更小，但考慮添加高分子助凝劑價格及放流水品質（通常沉澱池水質較浮除池為佳），絕大部份超深層曝氣法處理廠仍是採用沉澱池進行固液分離。

### 三、操作特性

#### 1. 溶氧高

昇降井深度在50～150m，水靜壓在  $5\text{kg/cm}^2\text{G} \sim 10\text{kg/cm}^2\text{G}$ ，由於此一靜壓關係，使得絕大部份空氣都溶解在水中，故溶氧特高。

#### 2. 溶氧接觸時間長

以100m昇降井為例，如果於下降管40m處注入空氣，每一顆氣泡行經距離為160m，接觸時間達3～4分鐘，相較於傳統3～6m淺而廣的曝氣池，溶氧和混合液接觸時間長。

#### 3. 攪拌動力高

昇降井內水流循環形成紊流狀態，雷諾數達100,000以上，其比攪拌能量 (specific mixing energy)為 $0.16\text{kw/m}^3$ ，較傳流方法僅約 $0.02\text{kw/m}^3$ 為高。

#### 4. 動力節省及氧氣質傳濃度高

由於上述三項因素的組合，故氧氣質傳效率高 ( $\sim 3\text{kgO}_2/\text{hr/m}^3$ )，且由於氧氣利用率高，所以動力較傳統方式節省，每耗小時曝氣動力約可去除3～4kg BOD<sub>5</sub>

#### 5. 節省土地面積

由於昇降井構築於地下，故非常節省面積。針對相同BOD<sub>5</sub>負荷，就超深層曝氣法而言（取F/M=1，MLSS=6,000mg/l，昇降井深100m），其表面積僅為傳統活性污泥池（取F/M=0.3，MLSS=3,000mg/l，深3m）的1/222。若考慮頂槽面積，超深層曝氣法所佔面積約為傳統的2～3%。由於表面積很小，實際處理廠多將頂槽密閉，以避免泡沫或臭味等所造成之二次污染。也有觀光飯店或辦公大樓將其構築於地下室筏基之上，不但節省土地，且不虞影響景觀或造成二次污染。

#### 6. 機構簡單

昇降井內混合液循環，除了空氣管外，並無其他相關設備，故構造簡單，操作簡易。

#### 7. 水流稀釋比高

混合液在昇降井中循環，除部份溢流外，絕大部份都迴流，其與進流水間稀釋比關係如下：

$$\frac{q_i}{q_r} = \frac{2h}{vt}$$

其中  $q_i$  = 進流廢水,  $m^3/hr$

$q_r$  = 昇降井內循環迴流混合液,  $m^3/hr$

$h$  = 昇降井深度,  $m$

$v$  = 昇降井內水流速度,  $m/hr$

$t$  = 昇降井內平均水力停留時間,  $hr$

所以，假設  $q_i = 1000m^3/hr$ ,  $h = 100m$ ,  $v = 1.5m/sec$ ,  $t = 1hr$ , 其稀釋比為  $1:27$  ,  $q_r$  為  $27000m^3/hr$ , 所以大量迴流的混合液可以有效的處理瞬間突增的負荷，使其對此法的影響降至最低。

## 8. 污泥特性

超深層曝氣法之生物污泥，和傳流式活性污泥並無太大分別。

## 9. 纖毛菌問題

纖毛菌問題困擾著一般好氧性活性污泥法。由於纖毛菌的產生，造成污泥鬆化上浮，使得放流水SS偏高，水質不良。根據研究，在昇降井內的污泥膠羽較傳統更為緻密且體積較大，纖毛菌很少或幾乎沒有被發現。推測超深層曝氣法能有效抑制纖毛菌產生的原因為：

- (1)溶氧很高。
- (2)F/M 偏高。
- (3)紊流狀態攪拌能量高。
- (4)溶氧及污染物基質(substrate)濃度快速的高低變化。
- (5)高壓（昇降井底部），低壓（昇降井頂部）快速循環變化，一小時內達20次以上。

## 四、實例介紹

### 4.1 Tilbury 廢水處理廠

Tilbury 廢水處理廠位於英國倫敦旁邊，其廢水來自生活廢水及各類不同工廠的廢水，包括食品加工業，清潔劑製造業及其他工業等等。經處理過的放流水直接排至泰晤士河。

廢水經收集，進入昇降井（ $5.8m$ 內徑  $\times 60m$ 深）處理後，經由二次曝氣脫氣，再進入沉澱池（ $30m$ 內徑  $\times 3m$ 深  $\times 4$ 組）即處理完成，表 1 為相關設計資料。

表1 Tilbury超深層曝氣法處理廠設計資料

設計參數	單位	設計值	實際值
<u>進流水</u>			
流量	CMD	30,000	40,000
BOD <sub>5</sub>	mg/L	600	1,000
F/M	DAY <sup>-1</sup>	1.4	—
人口當量	People	325,000	500,000
<u>放流水</u>			
BOD <sub>5</sub>	mg/L	<60	<40

Tilbury 曾於1978年完成一1.9m 內徑×130m 深的超深層曝氣法處理廠，每天處理8,800m<sup>3</sup>的廢水。此處理廠於1987年完工啓用，由於處理效果良好，目前於同一廠址正建造另一相同規模的處理廠（5.8m內徑×60m深），預計1992年完工。

#### 4.2 Numazu Deep Shaft 廢水處理廠

Numazu Deep Shaft 廢水處理廠位於日本，利用2組昇降井來處理魚產加工廢水。廢水進入昇降井之前，先經過除油池行前處理。第一組昇降井為 2.8m內徑×50m深，第二組為1.1m內徑×130m深，此工廠是採用浮除法分離污泥，處理過的澄清液經消毒後放流。

Numazu工廠於1984年開始運轉，由於魚產加工有季節性的產量變化，廢水處理設施對於負荷變動須能有效處理。根據操作結果顯示，BOD<sub>5</sub>去除率達99%以上，其中第一個昇降井去除率為75%。

有關Numazu Deep Shaft廢水處理相關設計資料，請參見表2。

表2 Numazu Deep Shaft廢水處理廠設計資料(Daly, 1988)

設計參數	單位	設計值	實際值
<u>進流水</u>			
流量	CMD	6,000	6,000
BOD <sub>5</sub>	mg/L	17,400	17,400
TSS	mg/L	3,000	3,000
n-Hexane	mg/L	3,000	3,000
F/M	DAY <sup>-1</sup>	1.5	1.5

表2 Numazu Deep Shaft廢水處理廠設計資料(Daly, 1988) (續)

設計參數	單位	設計值	實際值
<u>放流水</u>			
BOD <sub>5</sub>	mg/L	120	40-80
TSS	mg/L	150	40-80
n-Hexane	mg/L	30	0-10

#### 4.3 Ohtzu Deep Shaft 廢水處理廠

Ohtzu 紙廠位於日本，利用超深層曝氣法處理該廠廢水，於1980年運轉。廢水進入昇降井前，先經浮除槽(DAF)除去纖維質，昇降井為2.8m內徑×100m 深，昇降井內混合液MLSS保持在5000mg/l，水力停留時間1 小時。該廠採沉澱池分離污泥，所以混合液先經一3.75m 內徑×10m高的真空脫氣塔，再流過 2個25m內徑的沉澱池，處理完後澄清液則排至Biwa 湖，該湖為一風景優美的休憩中心。

表3為Ohtzu Deep Shaft廢水處理廠的相關資料。操作結果顯示，該昇降井在頂槽的DO保持在4mg/l 以上，試傳時，曾測得昇降井底部DO達25mg/l以上。該廠檢測水質以COD<sub>MN</sub>為主，經長期檢測後，BOD<sub>5</sub>及COD間關係為BOD<sub>5</sub>= COD -25。

表3 Ohtzu Deep Shaft 廢水處理廠若干設計資料(Daly, 1988)

設計參數	單位	設計值	實 際 值
<u>進流水</u>			
流量	CMD	20,000	18,000~23,100
BOD <sub>5</sub>	mg/L	160	100-215
COD <sub>MN</sub>	mg/L	200	120-260
F/M	DAY <sup>-1</sup>	0.7	0.5-1.0
TSS	mg/L	30	10-60
溫度	°C	22	10-29
PH	-	5.8-6.8	6-7
透視度	CM	<30	<30
<u>放流水</u>			
BOD <sub>5</sub>	mg/L	<10	<10
COD <sub>MN</sub>	mg/L	34	21-30
TSS	mg/L	20	10-18
透視度	CM	-	>50

## 五、結語

超深層曝氣廢水處理廠，由於其結構特性，對於節省土地面積，減少消耗能源，及機械構造簡單等方面有極佳的成效。由於它基本上屬活性污泥法改良，因此對於可生物分解(biodegradable) 的有機性物質可獲致良好的處理效果。參考其過去實例，此方法或有值得我們進一步探討研究之處。

註：Deep Shaft為ICC登記有案之服務標章

## 六、參考資料

- (1)Daly,P.G.,C.C.Shen, The deep shaft biological treatment process, proceedings of the 43rd Annual Purdue Industrial Waste Conference, May 10-12, 1988.
- (2)Fields,P.R.,P.Daly,.O Kobayashi, S Hashimoto, Industrial Wastewater Treatment with Deep Shaft, Japan Sewage Works Association Conference 16-19,May 1989.
- (3)Sasser.L.W.,M.G.Richad,C.C.Shen,T.Aralcawa, Filamentous microorganism control in the deep shaft activated sludge process, 62nd Annual Conference of the WPCF,Oct.16,1989.
- (4)Fields,P.R,Sewage treatment by Deep Shaft in the U.K.:A major development, Annual conference of Japan Sewage Works Assoiation,Tokyo,Japan 9 May,1988.