

當代日本都市污水處理的特點

洪永哲* 于忠民**

摘要

本文介紹現代日本在都市污水處理方面的一些特點。目前日本積極發展大型的污水處理廠，以二級生物處理為主，及進行三級處理的研究。本文通過深層曝氣，三級處理，水的再利用，節能與多層構築物的應用，論述當代日本都市污水處理的特點。

一、引言

20世紀的後半期，日本如同其它發達國家一樣，由於工業的發展，污染源的增加，以及城市人口的高度集中；結果造成了城市污水處理廠之超負荷和自然水域的污染。發生在日本瀨戶內海的「赤潮」現象，便是遭受富營養化破壞的典型例子。當然，環境遭受污染，引起了日本對污水處理的重視與發展。同時，不斷建立與健全各種環境保護法，例如，1978年繼瀨戶內海「赤潮」之後，曾制訂了《瀨戶內海環境保護法》。

在日本，最早採用活性污泥法是 1931 年在名古屋市，之後又在東京、大阪、京都、豐橋等城市於 1940 年之前，建立了標準活性污泥法城市污水處理廠。第二次世界大戰以後，從 1955 年起，污水處理工藝，尤其是活性污泥法，又被廣泛地用到中小區域污水處理設施上，適用於中小區域的糞尿處理裝置，是近代日本污水處理值得注意的成果之一。

當代，日本城市污水處理，仍以生化處理為主；雖然，採用活性污泥法經二級處理的污水廠較為普遍，但是，諸如標準活性污泥法、氧化曝氣法、接觸氧化法、生物轉盤法、吸附再生法等等，均已用到城市污水處理廠上。今天，日本的城市污水處理廠正朝着大型化發展。日本全國下水普及率為 32%，城市下水所消耗的能源，折合電能約為 20 億瓩瓦小時／年，占日本總能量消耗的 1% 以下，據最近資料，日本的下水事業，今後將會有更大地發展，用於下水事業的能源預計將增加到占全日本每年總能源消耗的 2~3%。

目前，日本正大力投資興建大型污水處理廠，以二級生化處理為主要工藝，並進行了部分三級處理或三級處理生產性實驗。城市污水處理廠大型化，不僅是日本解決環境污染的主要對策，而且，污水廠大型化，具有對水質均化、耐衝擊負荷、便於運轉管理自動化等優點

*美國克利夫蘭州立大學土木工程系教授

**美國克利夫蘭州立大學土木工程系副研究員

，從經濟觀念分析是合適的。1977年日本對污水處理廠的投資為1958年的129倍，在20年期間內，日本污水處理廠的數目，增加了10倍。

另外，日本的工業發達，土地價格昂貴，對於污水處理廠的構築物如何少佔土地，進行了研究。而七十年代世界能源危機之後，又圍繞着省能方面的污水處理技術，進行了研究與改進；像深層曝氣工藝、深井曝氣工藝、氧化曝氣工藝、生物脫氮三級處理等均已用到污水處理廠上，並收到了良好的效果。本文將通過深層曝氣與三級處理等內容，論述當代日本城市污水處理的技術水平與特點，或許會引起人們的興趣。

表一* 日本污水處理工藝設計參數

條件 方式	BOD 負荷		MLSS (mg/l)	泥令 (day)	送氣量 (污水倍數)	曝氣時間 (時)	污泥回流比 (%)
	BOD-SS (kg/SS·kg·d)	容積負荷 (kg/m³·d)					
標準活性污泥法	0.2 ~ 0.4	0.3 ~ 0.8	1,500~2,000	2~4	3~7	6~8	20~30
接觸氧化法	0.2	0.8 ~ 1.4	2,000~8,000	4	12以上	>5	50~100
延時曝氣	0.03~0.05	0.15~0.25	3,000~6,000	15~30	>15	16~24	50~150
改良曝氣	1.5 ~ 3.0	0.6 ~ 2.4	4,000~8,000	0.3~0.5	2>4	1.5~2.5	5~10
高速曝氣沉澱池	0.2 ~ 0.4	0.6 ~ 2.4	3,000~6,000	2~4	5~8	2~3	50~150
氧化溝	0.03~0.05	0.1 ~ 0.2	3,000~4,000	15~30		24~48	50~150

* 本表摘自《日本下水道施設設計指南解說》1972年，日本下水道協會編。

二、深層曝氣工藝的應用

日本的城市，特別是像東京、橫濱、大阪等大城市，隨着耗水量的增加，與土地的高度利用，終使城市污水處理廠出現了超負荷，為了對付城市污水廠的超負荷，勢必要擴大污水處理廠的用地，增加污水廠的處理能力。衆所周知，日本國土十分緊張，土地價格昂貴，在此種情況下，便出現了深層曝氣池的實用問題，將占污水處理廠用地20%的曝氣池，由池深4.5米加深到10米，一些污水廠的運行證明，深層曝氣工藝處理效果良好。

早在七十年代初期，日本就曾進行過關於把曝氣池建得比4.5米還深些，這方面的試驗研究工作⁽¹⁾。試驗結果證明，在裝滿污水10米深的池子內，對曝氣池所測定的氧濃度梯度，在空氣擴散裝置的正上面，氧溶解度為最大，而距離空氣擴散裝置愈遠，氧的溶解濃度則愈低，其最大值與最小值之差為 0.8mg/l ，這是一個很小的數值，幾乎認為是沒有濃度梯度的。另外，根據從氣相到液相氧傳遞速度與氧濃度成正比這一關係，當曝氣池內的飽和溶解氧濃度越大，保持細菌需氧量為最小限度時，則單位電量供給的氧溶解量為最大，也是最經濟的。由日本所進行的曝氣擴散深度與氧飽和濃度試驗數據看出；在6米深時，氧飽和濃度為 10.8mg/l ，而18米深時，氧飽和濃度為 16.2mg/l ，其差值為 5.4mg/l ，表明當曝氣池採用18米深時，比6米池深的缺氧度提高了 5.4mg/l 。總之，曝氣擴散裝置設置得愈深，氧利用

率將越大，所需要的空氣量也將愈少。

現將 Oldshue 建議的計算公式(1)，與實測數值描繪在同一圖上（圖一），可以看出用公式計算的數據比實測值稍大一些，也表明該公式的可靠性。

$$C_{em} = C_s \left(\frac{P_b}{2.066} + \frac{Q_t}{42} \right) \quad (1)$$

式中：

C_{em} ——曝氣池內溶解氧飽和度的平均值 (mg/ℓ) ，

C_s ——大氣壓力下氧的飽和度 (mg/ℓ) ，

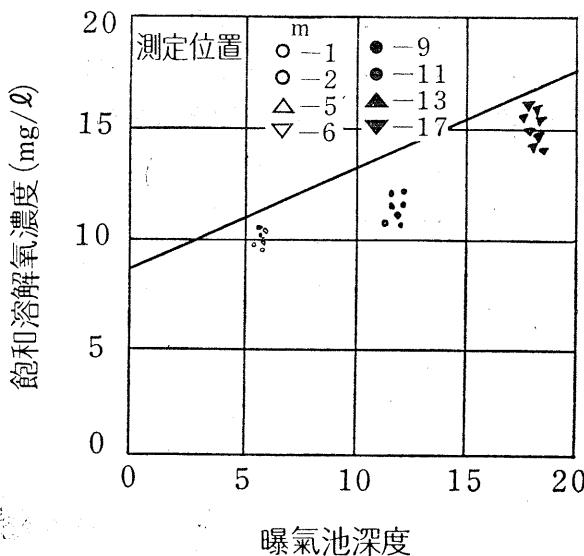
$P_b = P + H_r$ ——擴散裝置出口處的絕對壓力 (kg/cm^2) ，

$P = 1.033 \text{ kg}/\text{cm}^2$

H ：擴散裝置的安裝深度 (米) ，

r ：水的比重，

Q_t ：氣泡離開池面時氧的百分比 (%) 。



圖一 飽和溶解氧濃度

空氣中的氧向水中轉移，通常是以 Lewis 與 Whitman 的雙膜理論為基礎的，氧的轉移就是在氣、液雙膜進行分子擴散和在膜處進行對流擴散的過程，日本對深層曝氣在溫度為 7°C 和 20°C 條件下，測得的總氧轉移係數見表二。

根據日本試驗研究表明，從深層曝氣池，二沈池所浮起來的污水觀察到，因壓力變化對於微生物，基本沒有影響，而從10米深的生物相看到，無論鍾形蟲、肩盤蟲、累枝蟲等均很好，BOD去除率也達到 $87\sim94\%$ ，當前，日本的某些城市污水廠，已開始採用深層曝氣處理工藝，無論是從少佔土地、或節約能源能方面，均已取得了良好的效果。

表二 總氧轉移係數計算值⁽¹⁾

名稱	水槽深度H (米)	擴散深度H' (米)	池子容積V (米 ³)	空氣量		總氧轉移係數		
				Q ₁ (標準立方米/ 時)	Q ₂ =Q/V (標溢立方米/ 時、立方米)	KL _a (7) (1/時)	KL _a (20) (1/時)	
淨	1	6	5.9	75.4	47.1	0.62	0.81	0.82
	2				85.1	1.13	1.95	1.96
	3	12	10.9	150.7	46.8	0.31	0.64	0.66
	4				83.3	0.55	1.66	1.68
	5				167.0	1.11	3.30	3.37
本	6	18	17.9	226.1	60.9	0.27	1.08	1.09
	7				122.9	0.54	5.71	5.78
	8				227.6	1.01	9.21	9.28
污	1	10	9.9	125.6	91.0	0.73	2.99	2.92
	2				132.1	1.05	2.46	2.46
	3				126.6	1.01	2.42	2.42
	4				173.4	1.38	3.69	3.62
	5				130.0	1.03	2.00	2.02
本	6	10	5.0	125.6	96.3	0.77	1.40	1.37
	7				130.7	1.04	1.44	1.40
	8				166.0	1.32	2.26	2.19

注：利用 Na_2SO_3 先使淨水脫氧，然後開始曝氣，並隔一定時間測定一次溶解氧濃度變化，再求得 KL_a 。

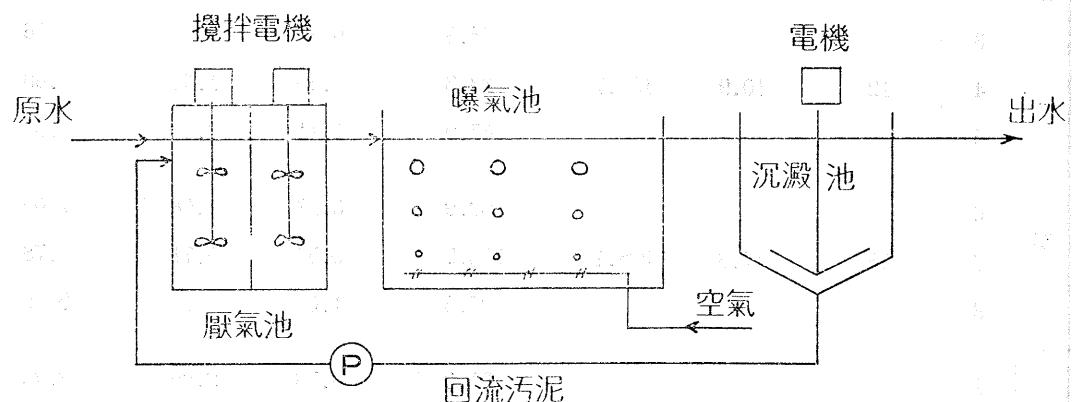
三、深度處理及水的再利用

目前，日本的一些城市污水處理廠，為了去除能引起富營養化的氮、磷，而進入了城市污水三級處理的研究與應用，例如，東京森崎污水處理廠，每天經三級處理再利用的水量為 $101,040\text{m}^3$ 。在大阪、神戶、橫濱等城市亦已開始了部分城市污水的三級處理，完成了二級生化處理所不能完成的功能。

日本城市污水深度處理的主要目的之一，是脫氮、去磷，以防止污水廠所排出的污水造成水域富營養化。經過近幾年的試驗研究，日本認為採用生物脫氮工藝係最經濟的處理方法

。生物脫氮工藝的特點是將二級處理之後的污水，流入三級處理，先經厭氣池，再經曝氣池的微生物硝化作用，使污水中的胺氮，變為硝酸根 (NO_3^-) 與亞硝酸根 (NO_2^-)，並生成氮氣 ($\text{N}_2 \uparrow$)，逸出液面，最終達到脫氮的目的，生物脫氮的關鍵是延長曝氣時間，在標準活性污泥法曝氣時間一般為 6 小時，而為脫氮所進行的三級處理，則曝氣時間必須經 10~12 小時，冬季甚至長達 15 小時。

在城市污水生物脫氮工藝中，採用回流污水作為碳源，經處理後的污水含氮量小於 10mg/l ，同時，厭氣池內污水中的磷，被污泥顆粒所吸附，而共同沉降下來，達到了去磷的目的。三級處理生物脫氮工藝流程如圖 2。



圖二 生物脫氮去磷工藝流程圖

日本城市污水三級處理的另一形式是物理化學方法處理工藝，日本的城市污水處理廠，為了改善排水水質，設置快速砂濾池，將生化處理之後的污水，進行再過濾，亦可以先投加混凝劑之後再過濾，採用砂濾池三級處理，使污水廠的出水 BOD，SS 指標均小於 10mg/l ，經三級處理之後的污水，排入河流，不會造成污染，採用砂濾池進行污水深度處理的工藝流程如下：

加藥攪拌混合——→混凝沈澱——→快速過濾——→排出

目前，日本對城市污水砂濾池三級處理已進入實用階段和生產性實驗階段，例如，東京森崎污水處理廠，設計能力為 $205.5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$ ，實際運行能力為 $118 \times 10^4 \text{m}^3/\text{day}$ ，共設有二個砂濾池，面積為 $400\text{m}^2/\text{池}$ ，處理水量為 $24,000\text{m}^3/\text{day}$ ，面積負荷為 $30\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ ，濾速為 $200 \sim 300\text{m}^3/\text{池}$ ，處理後的污水已用於曝氣池消泡和污水廠雜用水，使污水得以再利用。

四、節能與省地方面的實踐

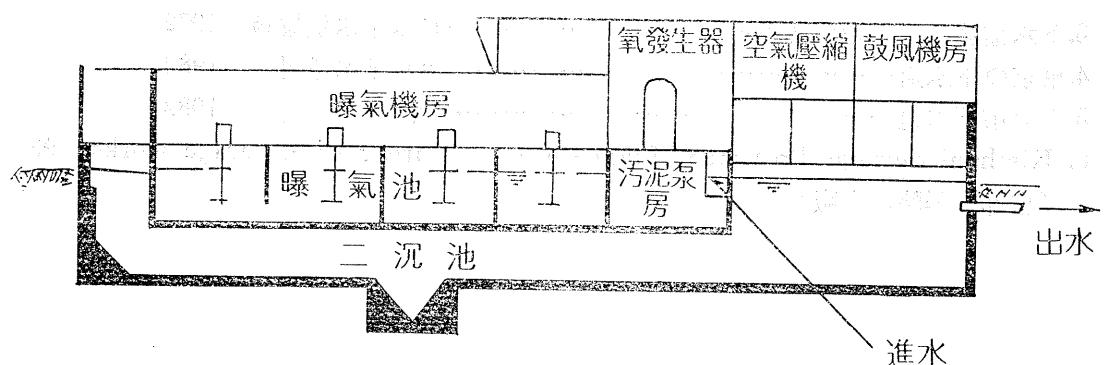
1. 節能方面：日本政府一直強調節能減排，並採取了多項政策和措施來促進節能。

日本所使用的燃料，主要依賴於國外。特別是當世界發生能源危機時，日本便會受到波及，因此，日本對節省能源方面的研究是十分重視的。以城市污水處理為例，日本每年由城市污水處理廠所產的污泥約為 $3,400\text{m}^3$ ，含水率 97%，污泥的處理方法是：

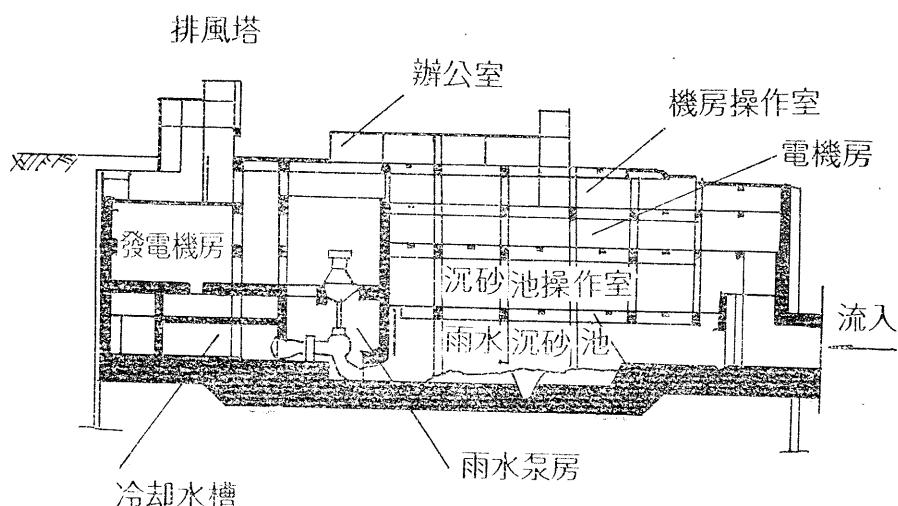
濃縮——消化——脫水——乾燥——焚燒最終污泥體積減少至十五分之一，處理之後的污泥80%用來填地；15%作為其它有效利用。為了節約石油燃料，日本已開始採用多段自然式焚燒爐，它是充分利用污泥內所含的有機質成份，在高溫下達到自燃，從而僅用10~15%的油燃料即可完成處理過程。

2.多層構築物的應用

日本為了使污水廠盡量少佔土地，一些城市污水處理廠建於地面之下，而污水廠地面之上，又是城市公園或球場。對於污水廠的污水處理構築物，亦係多層結構，並已有多年運行經驗，例如，京都吉祥院污水處廠（Kyoto City Kisshoin Sewage Treatment Plant），設有兩組曝氣池，第一層為機房，第二層為曝氣池，最底一層為二次沉澱池。又如，大阪市弁天抽水泵站，地下建築為四層，排水泵的流量為 $57.5\text{m}^3/\text{sec}$ ，共設有五台抽水泵，其中口徑為 $\phi 2,200\text{mm}$ 的三台， $\phi 2,000\text{mm}$ 的為2台。日本城市污水廠的構築物充分利用空間節省了佔地面積。（見圖3，圖4）。



圖三 京都吉祥院污水廠曝氣池結構圖



圖四 大阪弁天抽水房站結構圖

五、結論

1. 目前日本都市污水處理傾向於採用大型的污水處理廠。
2. 為了省地，日本污水處理廠的污水處理構築多採用多層結構。
3. 為了省能，日本污水處理技術像深層曝氣，深井曝氣，氧化曝氣，生物脫氮三級處理均應用到污水處理廠處理過程上。

參 考 文 獻

1. 曝氣池的改進（深層曝氣池）……………日本 藤田秀夫 共著
2. 活性污泥處理：……………日本 合田健 著 衛生工學ハンドブック P603-621
3. 下水道施設設計指南解説……………日本下水道協會 1972
4. 東京の下水道……………東京下水道局 1982
5. 大阪市下水道……………大阪下水道局 1982
6. Kissconi Sewage Treatment Plant……………Bureau of Sewerage works, 1982.
(京都吉祥院污水廠)