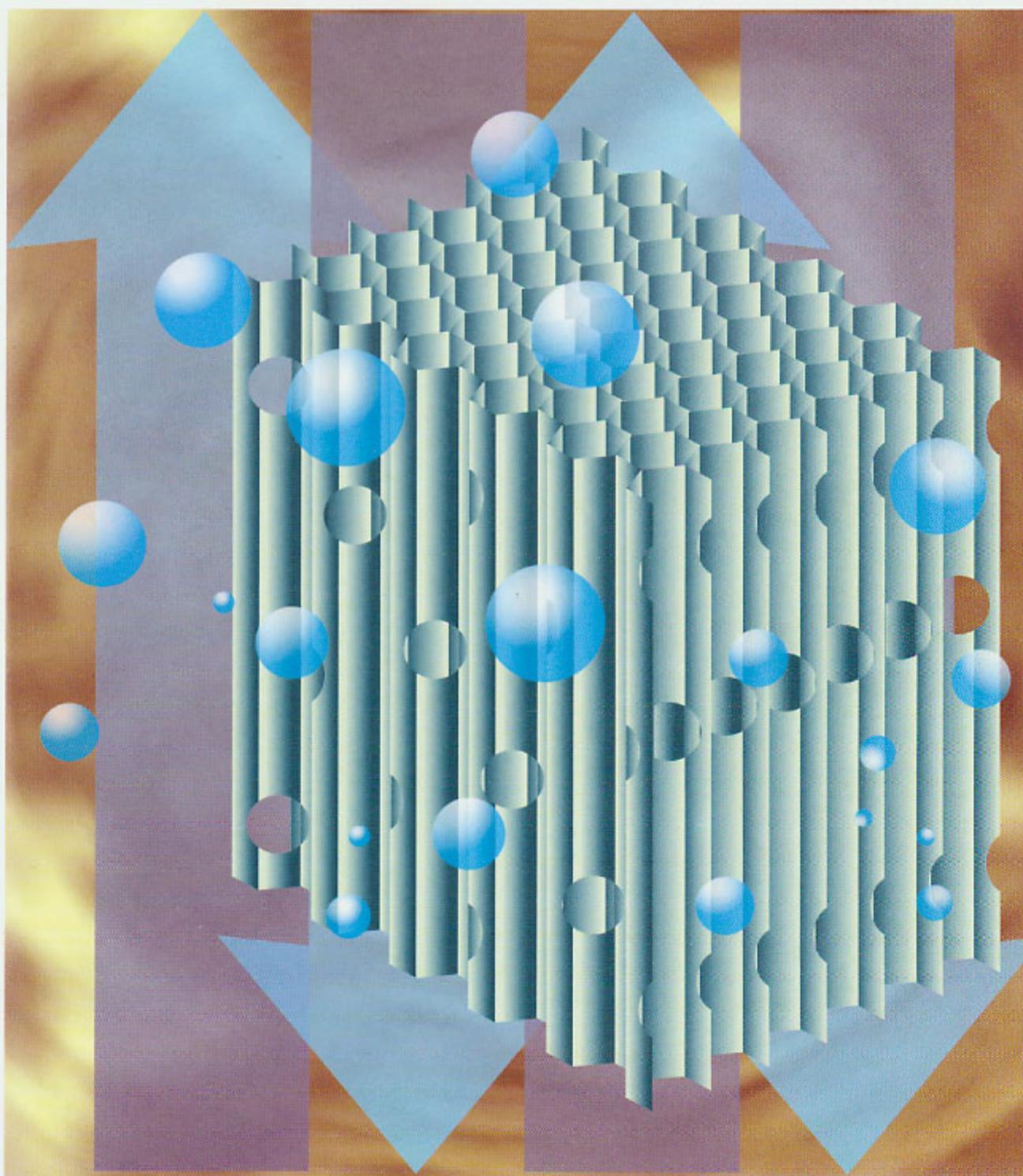




12

工業污染防治技術手冊

# 生物接觸曝氣法



# 序

防治工業污染，乃當前工業發展重點工作之一。本團自民國七十二年成立以來，即積極展開輔導國內污染性工廠有關防治污染之技術。在輔導工作進行期間，深覺工業污染防治範疇內之技術資料頗為缺乏，且多為英文，其實用性甚難為國內業者普遍接受。

本團有鑑於此，乃自七十三年起，陸續準備各類有關資料，於輔導工廠時提供其參考；由於此等技術性資料深具實用性，的確有助於污染防治之改善，頗為業者所喜愛。七十五年開始，本團更進一步，有系統地將各類處理技術，分門別類，陸續延聘國內知名專家學者撰寫成冊，予以編印，免費提供各界參考，期能加速業界對污染防治技術之普遍提昇，從而達成發展工業兼顧環境保護之目的。

本手冊為歐陽嶠暉教授所撰寫，歐陽教授目前任教於國立中央大學環境工程學研究所，作育英才，原極忙碌，為協助本團推動防治工業污染工作，特抽空就所專精撰寫專文，除敬表欽佩外，並致誠摯的謝忱。

工業污染防治技術服務團

楊 勇 發

中華民國八十三年四月

# 目 錄

	頁 次
第一章 概說-----	1
1.1 定義-----	1
1.2 發展經過-----	1
1.3 構造-----	3
1.3.1 固定床式-----	5
1.3.2 流動床式-----	5
1.3.3 厭氧性床式-----	5
1.3.4 純氧曝氣-----	5
第二章 接觸曝氣法之原理與特性-----	7
2.1 生物膜法之原理-----	7
2.2 生物反應與擴散-----	8
2.3 淨化速率-----	10
2.4 生物相-----	13
2.5 接觸曝氣法之特性-----	14
2.5.1 接觸曝氣法之優點-----	14
2.5.2 接觸曝氣法之缺點-----	15
2.6 最適處理對象-----	16
第三章 接觸濾材-----	17
3.1 接觸濾材應具特性-----	17
3.1.1 生物膜之附著性-----	17
3.1.2 水理特性-----	18
3.2 接觸材料之種類-----	20
3.2.1 蜂巢管狀接觸材料-----	21
3.2.2 繩狀接觸材料-----	25
3.2.3 網狀接觸材料-----	26
3.2.4 板狀接觸材料-----	29
3.2.5 網管狀接觸材料-----	31

	頁 次
3.3 接觸材料的選擇-----	32
3.3.1 接觸材料之間隙設定方法-----	32
3.3.2 接觸材料所需強度之設定法-----	33
第四章 處理設施-----	35
4.1 曝氣方式-----	35
4.2 接觸槽構造-----	37
4.2.1 槽數-----	37
4.2.2 接觸槽形狀、大小及配量-----	38
4.2.3 架台-----	40
4.3 處理特性-----	41
4.3.1 設計負荷-----	41
4.3.2 污泥產生量-----	44
4.4 曝氣量-----	44
4.4.1 三級處理-----	44
4.4.2 二級處理-----	45
第五章 設計方法-----	47
5.1 模廠實驗設計法-----	47
5.2 圖解法-----	48
第六章 操作管理-----	51
6.1 反沖洗-----	51
6.1.1 反沖洗之必要性-----	51
6.1.2 反沖洗的時機-----	51
6.1.3 反沖洗方法-----	51
6.2 接觸曝氣法之問題-----	53
6.3 操作管理上應注意事項-----	53
6.3.1 原水-----	54
6.3.2 曝氣槽-----	54
6.3.3 沉澱槽-----	54

# 圖 目 錄

	頁 次
圖1.1 附有接觸曝氣之Imhoff槽-----	2
圖1.2 固定床式及流動床式接觸曝氣法-----	3
圖1.3 接觸曝氣法曝氣方法-----	4
圖2.1 生物膜之代謝模式圖-----	9
圖2.2 生物膜周邊之濃度曲線-----	10
圖2.3 生物膜表面之模式圖-----	13
圖3.1 依河川自淨特性演變為接觸曝氣法之構想-----	21
圖3.2 蜂巢管接觸法處理裝置-----	22
圖3.3 生物膜厚度及表面積變化-----	23
圖3.4 附橫向孔之蜂巢管-----	24
圖3.5 繩狀接觸材形狀圖-----	25
圖3.6 RL接觸槽配置圖例-----	26
圖3.7 BIOCOMB模式圖-----	27
圖3.8 曝氣密度及COD去除率之關係-----	27
圖3.9 計算值與實測值比較-----	29
圖3.10 波板接觸材形狀-----	30
圖3.11 平板狀接觸材之構造及尺寸-----	30
圖3.12 網管狀接觸材料形狀-----	31
圖3.13 附著生物膜之厚度與比表面積關係-----	32
圖4.1 鼓風機送風循環方式-----	35
圖4.2 泵浦循環方式-----	35
圖4.3 曝氣機循環方式-----	36
圖4.4 接觸槽配置例-----	37
圖4.5 單槽及2段處理效率比較-----	38
圖4.6 曝氣槽之形狀及接觸材填充方法-----	39
圖4.7 接觸材支撐之格子間隔所形成之耐壓強度-----	40

	頁 次
圖4.8 BOD負荷與BOD去除率之關係(20~70°C)-----	42
圖4.9 水溫與BOD去除率關係(R.L)-----	43
圖4.10 BOD負荷與處理水BOD(R.L)關係-----	43
圖4.11 三級處理之接觸曝氣裝置-----	44
圖4.12 多段式二級處理程序-----	45
圖4.13 中間沉澱之二級處理程序-----	45
圖4.14 輪流全面曝氣方式之構造-----	46
圖5.1 接觸曝氣法圖解設計法(N.J公司，HC接觸材)-----	49
圖6.1 各種濾材反沖洗污泥剝離率-----	53

# 表 目 錄

	頁 次
表2.1 接觸曝氣法生物相（繩狀接觸材料）-----	14
表3.1 依接觸材料形狀及接觸面型之分類及一般特性-----	20
表3.2 蜂巢管商品化規格(NJ公司)-----	24
表3.3 RL之基本物性-----	25
表3.4 波板接觸材商品規格例(DP公司)-----	29
表3.5 網管狀接觸材規格(DP公司)-----	31
表3.6 操作條件及附著生物量之關係-----	33

# 第一章 概 說

## 1.1 定義

接觸曝氣法(contact aeration)乃是將接觸材料浸於曝氣槽內之水中，並在槽內給予充分曝氣，使流入的廢水充分攪拌循環流動，而與接觸材料相接觸。經一段時間後，接觸材料表面開始生長附著生物性污泥（微生物）而形成生物膜，利用該生物膜在好氧性狀態下吸附、氧化廢水中有機物質的處理方法。

本法與旋轉生物盤法、滴濾法同為生物膜法的一種，惟本法為在水中強制供給空氣一曝氣，因此其構造及生物培養方式為介於活性污泥法與滴濾法之中間型的處理方式。

## 1.2 發展經過

接觸曝氣法源自土壤過濾法之原理所發展出來，於具水密性的槽中予以配置濾材，每日將廢水注滿1~2次，使其與濾材接觸約 2小時後，將槽底部之閥開啓，使與生物相接觸淨化後的廢水排出，進而達到濾池內生物之活性化。

此種間歇性之操作因缺乏效率，進而改以濾池內不充滿廢水之連續散水處理，而演變為滴濾池法。

繼而於接觸材上予以強制曝氣進行連續處理者，即為現今的接觸曝氣法。依據文獻在十九世紀末本法就進行實驗並獲專利，其後亦有零星的研究實驗，但因未達應用化，故未廣為流傳。尤其1914年Ard-ern及Lockett開發出活性污泥法且快速普遍應用化後，使得本法未再有繼續研究和獲得應有的重視。

1937年 Batch依其經驗認為滴濾法及接觸曝氣法，對於有機物之去除較活性污泥法為佳，並可獲得腐敗性較少之污泥，因而利用接觸曝氣法處理活性污泥法之剩餘污泥，此法保有滴濾法及接觸曝氣法之優點。另為防止產生污水蠅或惡臭，而將濾材浸於水，並自下部予以曝氣，此即為 Emscher過濾法，經用於處理焦煤工廠所排出之含酚廢水後，可獲得良好的處理效果。

在美國與 Batch同時代的 Buswell將長木棒浸於廢水中，並予以人工曝氣，適時取出木棒再將多餘污泥排除之。1938年 Steel也曾進行本法之實驗研究。

德國Ruhr地方，依據 Imhoff建議，於 Imhoff槽上部之沉澱池部份施行接觸曝氣，設施如圖1.1。○本法雖可獲良好水質，但因動力費問題而停止使用。

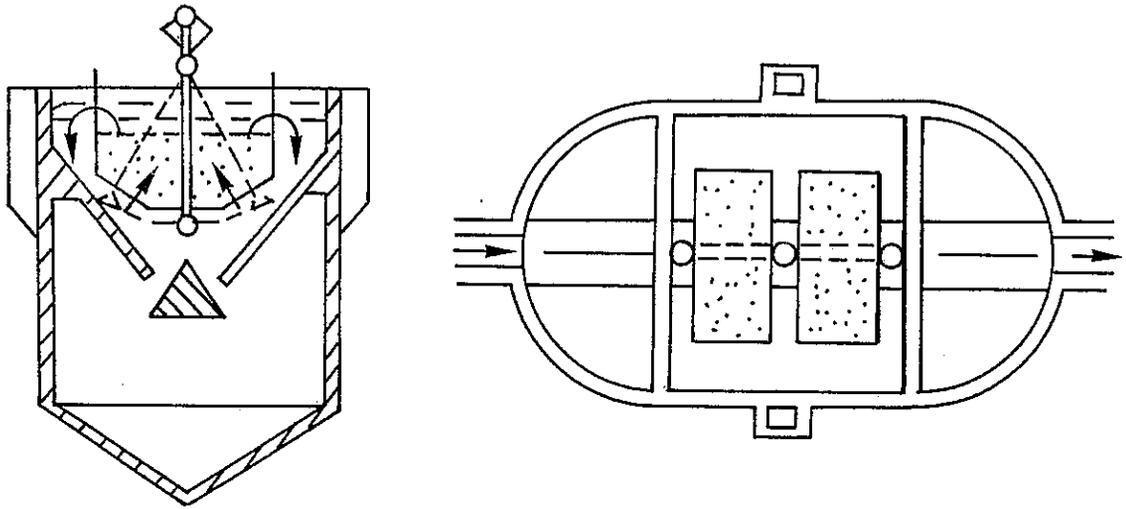


圖1.1 附有接觸曝氣之Imhoff槽

經上述約半世紀之發展經過，大致可獲得下述結論：

1. 本處理法可獲得良好的處理水質。
2. 剩餘污泥量少。
3. 無產生污水蠅及臭氣之問題。
4. 接觸材有阻塞的困擾。

其後因進入活性污泥法之全盛時代，因此接觸曝氣法約二、三十年間未再被提起。

日本在1964年曾有津田氏於活性污泥法曝氣槽中充填篠枝等，以獲得比礫石更高的孔隙率。矢込氏於1967年充填竹枝於曝氣槽以處理稀釋水肥，皆獲得良好的處理效果。1965年關川氏基於要防止活性污泥法發生膨化，而以固定生物為著眼點，於曝氣槽內以等間隔張掛塑膠網，亦即所謂固定活性污泥（fixed activated sludge）法。經以食品工業廢水、石化廢水進行實驗，發現在平常可獲得良好處理水水質，但當生物膜大量剝落或網間發生阻塞時，水質趨於惡化，為其最大缺點。其後1966年德平等亦以PVC管屑為填充材進行人工合成廢水實驗。雖本法在本階段有以上的研究，且在濾材之孔隙率、配置以及其他方面皆有所突破，然在技術上仍無法與活性污泥法匹敵，主要為在當時企業界著重於價格便宜之處理技術，而不重視處理水水質，而本法則必須於曝氣槽內增置接觸材料，為其不利之點。惟在此期間由於塑膠之合成及加工技術的快速發展，填充材料之性能也因而獲致重大突破。

其後1967年北尾氏對本法之負荷特性及經濟性進行評估，而小島貞男於1973

年則利用蜂巢管接觸材，針對東京多摩川當做自來水原水且已受污染之河水進行實驗，獲知本法對於低污染原水具很高之處理效果，而得到極高的重視，使得本法原為處理高濃度廢水，急轉為亦可用以處理低濃度之自來水原水。繼而在化學工程及生物學上進行本法之理論及基礎之探討，對於處理機能因而獲致更為深入的了解，並就其構造加以改良，而今已漸受普遍應用。

我國有關本法之研究起自筆者於1980年以蜂巢管進行人工合成廢水之基本研究，其後於1986年於六堵自來水廠進行以實規模高 4公尺三座模廠之自來水受污染原水之實驗研究，皆獲致具體之結果。且國內採用本法之處理設施亦已有數廠，而以陽明山國家公園八處處理設施，以處理遊客據點之污水為最早實用化者。

### 1.3 構造

接觸曝氣法如1.2所述，為提升處理機能而開發出數種改良法，其構造種類很多。

主要依接觸材的狀態而區分，接觸材固定於水中者稱為固定床接觸曝氣法，接觸材藉水流於槽內流動者稱流動床式接觸曝氣法，而後者又可分為有向上流式及完全混合式（於曝氣槽內投入接觸材粒子）兩種，如圖1.2。

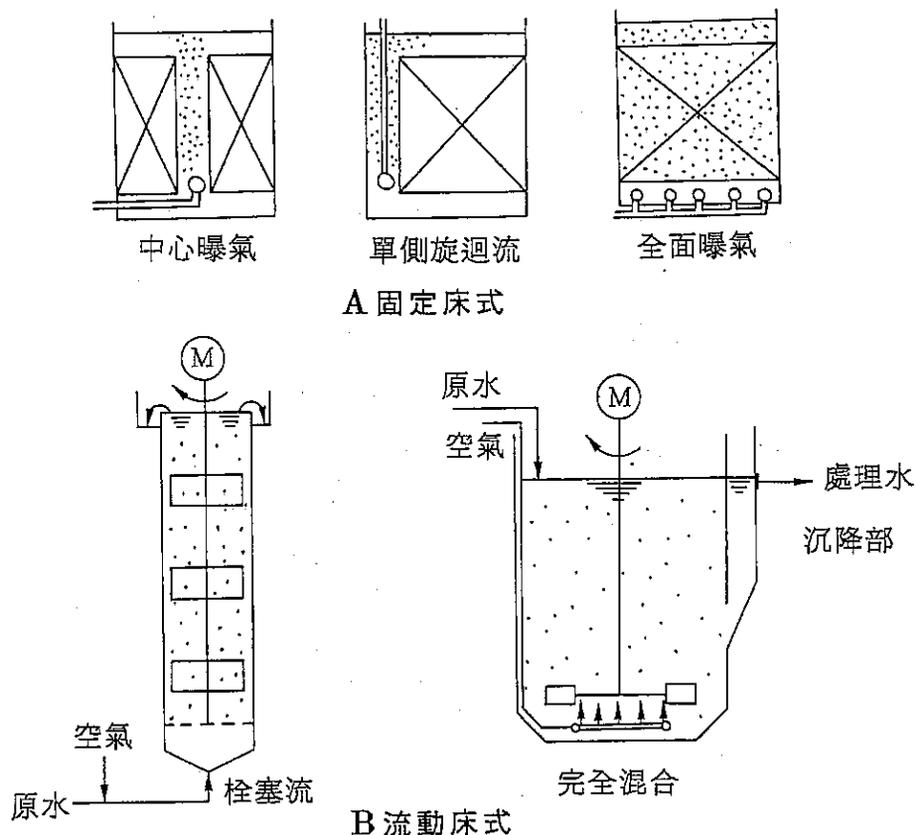
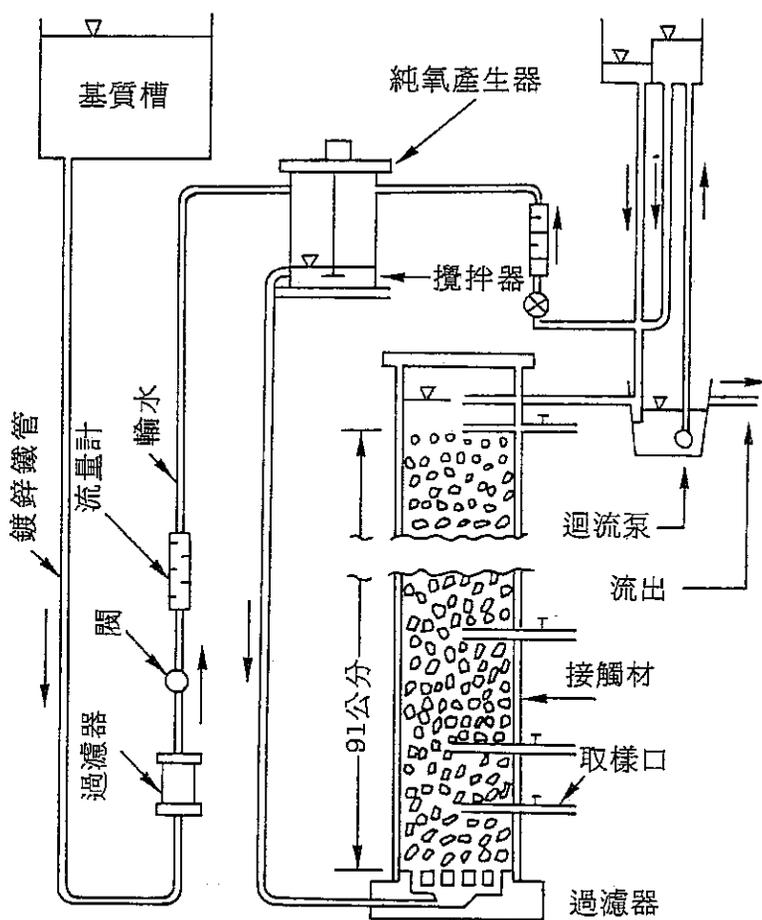
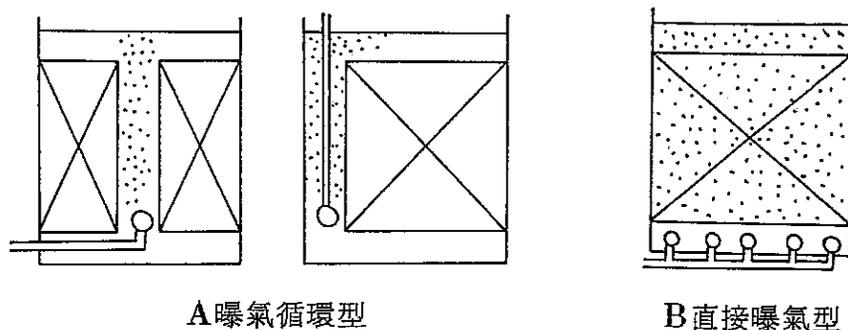


圖1.2 固定床式及流動床式接觸曝氣法

本法依氧的供給形態，又可分為完全不供給氧者（厭氣濾床法）、供給空氣者（空氣曝氣）及供給純氧者（純氧曝氣）等，供給方法有散氣式及機械曝氣式。另固定床之曝氣有曝氣循環型、直接曝氣型及槽外曝氣型等曝氣方式（請參見圖1.3）。



C Preoxygenation型 (Haug, McCarty之實驗裝置)

圖1.3 接觸曝氣法曝氣方式

各種接觸曝氣法之特性分別討論如次：

#### 1.3.1 固定床式

此為最普遍之型式，接觸材直徑或間隔可由數10~100mm，以壓力損失不致過大並考慮不易阻塞者，接觸材比表面積自一百至數百 $\text{m}^2/\text{m}^3$ ，一般負荷條件為 $1\text{kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 以下。其操作管理容易，且對於進流量及水質的變化具很高的緩衝能力。

#### 1.3.2 流動床式

接觸材比表面積在 $1,000\text{m}^2/\text{m}^3$ 以上，約較固定床式高10倍，其負荷條件可達 $5\sim 10\text{kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ，為因應此一高負荷條件通常需使用純氧曝氣較為可行。

本法雖處理速率高，但在設計及操作上有下列困難之處：

1. 不易實規模化。
2. 對於流量、曝氣量、生物膜量等之變化，難期獲得穩定的流動層。
3. 不易抑制生物膜量的增殖，缺乏對於條件變化的緩衝力，必須有高度的操作技術。

#### 1.3.3 厭氧性床式

厭氧性床有脫氮為目的及去除有機物為目的者。美國發展利用為甲烷醱酵，藉以處理較低濃度之有機廢水，尤其是溶解性有機物為主之廢水，可不加溫且操作甚為經濟。本法應用在脫氮上也可獲良好之效果，不若好氧性處理受溶氧濃度所限制，相對的頗為有利。且本厭氧性床式產生污泥量少，不易阻塞，頗有發展的潛力。

#### 1.3.4 純氧曝氣

接觸曝氣法利用純氧曝氣時具有兩大效果：

1. 氧的供給能力增大，可確保高負荷之操作。
2. 隨著溶氧濃度的上升，有效生物膜增厚，也即氧貫入深度增大。

基於上述二特性，使本法能獲得更獨特的處理效果。

## 第二章 接觸曝氣法之原理與特性

清淨的河川承受有機廢水後，使其河川流入點之水質遭受污染，惟污染程度隨著流程漸行減少，當污染狀況降至某一限值以下時，必將再度恢復為清淨的河川，此一現象乃河川本身具有自淨能力之故，這一作用稱為自淨作用。

河川的自淨主要仰賴棲息於水中及底床中之各種生物的作用，尤其於較淺的河川，受底床生物的影響至大。河川的底床若為礫石，則該礫石的表面，經常被細菌、藻類、原生動物等微生物及輪蟲類、貧毛類等微小後生動物所組成之軟泥 (slime) 覆蓋，此軟泥即為生物膜。將河川中生物膜淨化有機物質的機能移至槽中，利用人工控制以提高處理效率，進行有機廢水的處理，是為固定膜生物處理法。

河川中的生物膜，只附著存在於河床之一面，但固定生物膜廢水處理設施，則除增大單位容積之生物膜表面積外，並使廢水能與該等生物膜充分接觸為主要條件。

生物膜依廢水處理設施及溶氧供給方式的不同，可分為滴濾法、旋轉生物盤法及接觸曝氣法等三種。皆為於濾材或圓盤之表面，增殖固定生物群，藉由氧化、分解廢水中之有機性污染物質的處理方法。

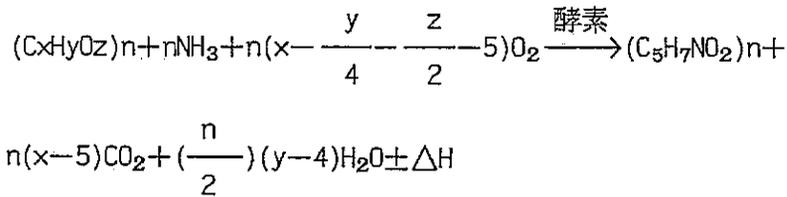
### 2.1 生物膜法之原理

溶解性物質的去除與生物膜的構造、厚度、有機質、溶氧在膜內擴散速度及生物化學之反應速度有關。

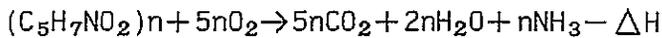
生物膜最初於濾材之表面產生，繼而增殖、肥大到達一定厚度，具生物氧化機能之好氧性層之深處，就產生溶氧無法到達的厭氧性層。厭氧性層由於厭氧分解而產生 $H_2S$ 、 $CH_4$ 、 $CO_2$ 、 $N_2$ 等，而減低與濾材表面附著之能力，促使生物膜發生剝落。

生物膜之特性即如上所述廢水與生物在未混合狀態下，各存在於各自的領域中，只生物膜之一面與廢水接觸，另一面則幾乎未與廢水相接觸。因此有機物質及氧為由一面吸收、擴散而進入膜內，其間有機質由於生物體的同化及氧化而減少。

生物膜之代謝模式示如圖2.1。廢水中之有機質、氮、磷等被存在於生物膜中之微生物，於好氧性狀態下攝取之。生物膜之反應，主要受基質 (BOD) 及氧所限制，若以化學方程式表示如下：



而微生物同時以其一部份進行內呼吸而氧化之：



式中  $\Delta H$  為反應時所利用之能量。

生物膜隨著生長而積厚，由於氧無法到達深部而形成厭氧性層，一般認為氧能夠貫入生物膜之深度約為 2~3mm。三級處理以外之生物膜法，一般存在有厭氧性層，該層由於厭氧性微生物的代謝而產生有機酸、硫化氫等。故若生物膜過份積厚，將因有機物的厭氧分解而散發惡臭。而好氧性層增殖之微生物，一部份於厭氧性狀態下分解，隨著分解的進行，生物膜自濾材剝落，而再開始形成新的生物膜，厭氧性層過於增大，不利於好氧性處理，因之近年來頗著重於加速生物膜的更新，為生物膜處理法最近發展的傾向。

第一個化學方程式為表示微生物直接攝取有機物質的反應，但事實上並不如此單純。生物膜之生物相雖與活性污泥並無太大的差別，但在有陽光的地方常有藻類出現，以及菌類及大型生物的出現為其特性。通常藻類在生物膜淨化上並不重要，而以原生動物最多，尤其是纖毛蟲類。且與活性污泥不同，以分歧增殖之綠毛較佔優勢。也有後生動物輪蟲類、線蟲類、昆蟲類、貝類、貧毛類等出現。廢水中的有機質被細菌、菌類所攝取，而該等微生物再被原生動物或後生動物攝取，於生物膜中發生食物鏈鎖現象，且該等動物在淨化過程，扮演著重要的角色。也即生物膜構成一生態系，而其質與量的組成對於廢水的處理效率有著極微妙的影響。雖然各種動物，不可能直接攝取廢水中之有機質，惟一般認為是生物膜正常處理上不可欠缺者。

## 2.2 生物反應與擴散

固體表面上的生物膜模式示如圖 2.1。生物反應所必要的成分有機物、氧、微量營養源等由在生物膜外側流動的水體藉擴散滲入生物膜內。一般擴散速度與擴散係數和濃度坡降之乘積成正比，但可不考慮生物膜內水的流動，因其擴散係數即為分子擴散係數。生物膜內之分子擴散係數因生物細胞造成之分子運動、阻礙而較水中之分子擴散係數小，但大體上兩者相近。

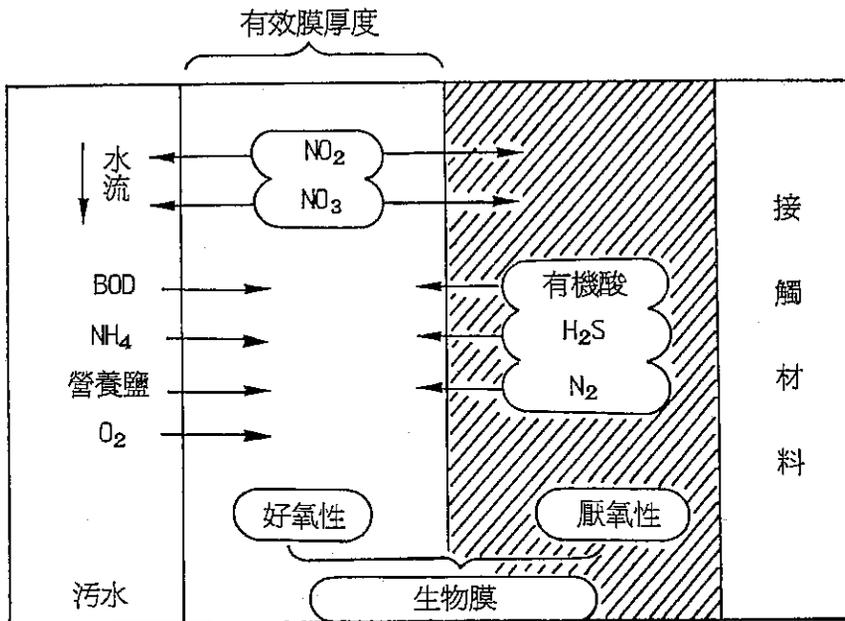


圖2.1 生物膜之代謝模式圖

生物膜內生物反應所需各成分因被生物消耗，故愈內側濃度愈低，當至某一深度各成分中之任何一種消失時，更深之內部就無生物反應。反應所必須之成分可到達且可有效產生生物反應之深度稱為有效生物膜厚度，各成分之中包括微量營養物質、基質、氧，這些物質任何一項對生物膜內部之反應都會造成限制，影響生物膜之厚度，故稱為限制物質。而以氧為限制物質者最多，因此如圖2.1 有效膜厚度之內部即呈厭氧性。

生物反應所產生物質則以相反方向擴散，而自液側散出，如在好氧性部份產生的 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ ，其中一部份在厭氧性生物膜內因脫氮作用而還原為 $\text{N}_2$ 氣體且自液側散出。又在厭氧性部份所產生的有機酸等則可於好氧性部份被去除。由此可知當好氧、厭氧兩種生物膜同時存在時，其機構則頗為複雜。

若所必須之各種成分全部可到達生物膜之最深部，則在此狀態生物膜必很薄或生物膜內之生物反應極為緩慢，致向生物膜內部各種成分之濃度坡降甚為平緩，或水體中各必要成分之濃度皆很高，在這三種條件下任何兩種存在即可發生。

如同上述，生物膜全體與反應有關，自水中去除基質之速度依生物反應速度而定，此種狀態即為反應速率或代謝速率。另一方面在產生無效部份時，擴散速度提升，有效膜厚度增加，故整體基質去除速度增加，此種狀態即為擴散速率。

由於生物膜和活性污泥以微細的生物膠羽與廢水相接觸之狀況不同，其生物反應與擴散呈一微妙之反應機構關係為其特性。

## 2.3 淨化速率

生物周圍之基質濃度曲線示如圖2.2 所示，圖中生物膜內部基質濃度之三條曲線中，沿最上面一條之變化者為反應代謝速率狀態，而沿最下面一條者為擴散速率狀態，而中間一條則為一般狀態。

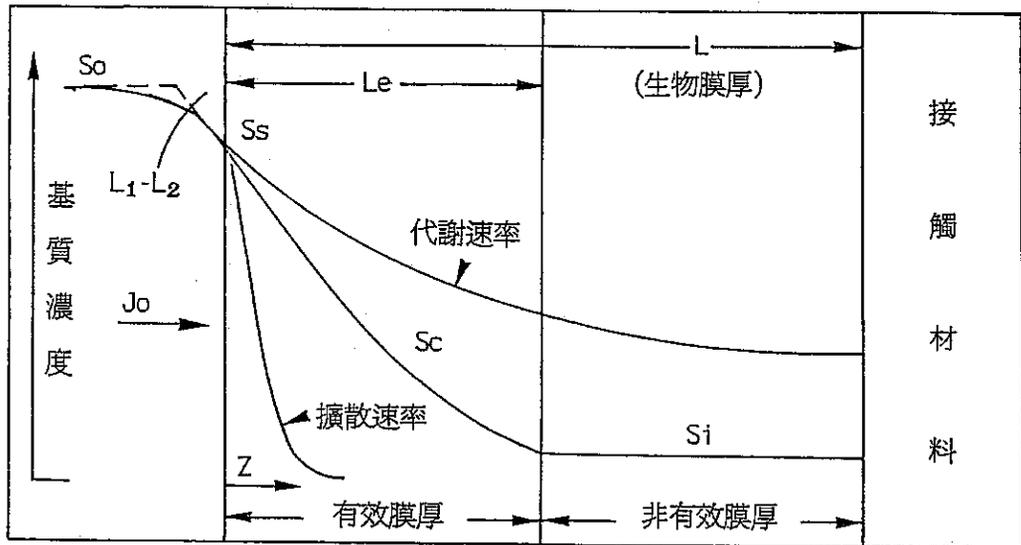


圖2.2 生物膜周邊之濃度曲線

生物膜去除基質之過程如下：

1. 含基質之液體對生物膜表面產生擴散。
2. 生物膜內部之基質擴散。
3. 生物反應形成之基質代謝。
4. 代謝產生物自生物膜排出。

上述第4.點之過程雖與基質去除無直接關係，但代謝產生物若大量蓄積於生物膜內，對生物反應將造成阻礙，會降低基質去除速率。惟通常並不發生這種狀態，因此可不考慮。

基質去除速度過程一般可以Williamson及 McCarty之模式說明之：

1. 液相之擴散

圖2.2 中之 $S_o$ 表液體之基質濃度， $S_s$ 表生物膜表面之基質濃度，自液體輸送入生物膜之基質流速可以下式表之：

$$J_o = A_c D_w (S_o - S_s) / \delta \quad (2.1)$$

式中，

$J_o$ ：基質向生物膜表面之流速(mg/d)

$A_c$  : 與基質輸送方向相垂直之生物膜面積 ( $\text{cm}^2$ )

$D_w$  : 基質在水中之擴散係數 ( $\text{cm}^2/\text{d}$ )

$\delta$  : 液境膜的厚度 ( $\text{cm}$ )

Williamson氏認為液境膜厚度  $\delta$  為外層之厚度  $L_1$  和內層之厚度  $L_2$  之和,  $L_1$  若與液體充分混合者為  $0_2$ ,  $L_2$  值由於液體與生物膜界面為非平滑性甚至呈鬆散狀性質, 並不因混合而變化, 其厚度約  $56 \mu\text{m}$ 。其外層之厚度則可以下式表之:

$$L_1 = \frac{D_w^{1/3}}{VY} (\mu/\rho)^{2/3} \quad (2.2)$$

式中,

$V$  : 流速 ( $\text{cm}/\text{s}$ )

$\mu$  : 粘性係數 ( $\text{g}/\text{cm} \cdot \text{sec}$ )

$\rho$  : 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$Y$  : 與  $Re$  相關之係數

由(2.2)式知  $L_1$  與  $V$  成反比例, 提高流速則液境膜厚度縮小, 對促進基質輸送量非常有效。惟對於實際設施, 流速與能源消耗有關, 此點必須加以注意。

## 2. 生物膜內部之擴散及代謝

圖2.2 中生物膜內部微小之厚度  $dz$  上, 其單位面積基質之平衡可以下式表之:

$$\frac{Sc}{t} \cdot dz = D_c \frac{Sc^2}{z^2} dz - (X_c dz) Q \quad (2.3)$$

式中,

$D_c$  : 生物膜內基質之有效擴散係數 ( $\text{cm}/\text{d}$ )

$Sc$  : 生物膜內基質濃度 ( $\text{mg}/\text{l}$ )

$X_c$  : 生物膜之生物性污泥密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$Q$  : 單位生物性污泥之基質代謝速度 ( $\text{mg}/\text{g} \cdot \text{d}$ )

基質代謝速度若以 Monod 式表示之如下:

$$Q = \frac{KSc}{Sc + K_s} \quad (2.4)$$

式中,

$k$  : 常數

$K_s$  : 飽和常數 ( $\text{mg}/\text{l}$ )

將(2.4)式代入(2.3)式, 在定常狀態下為:

$$\frac{d^2S_c}{dz^2} = \frac{kX_c S_c}{D_c(S_c + K_s)} \quad (2.5)$$

而(2.5)式為生物膜內部與基質濃度有關之基礎式。其一般解雖無法求出，但當 $S_c \geq S_s$ ，即以零次反應進行代謝時

$$z=0 \text{ 則 } S_c = S_s,$$

$$z=Le \text{ 則 } S_c = 0$$

$$\text{故, } \frac{d^2S_c}{dZ^2} = \frac{kX_c}{D_c}$$

$$S_c = S_s - \left( \frac{S_s}{Le} + \frac{kX_c}{2D_c} Le \right) z + \frac{kX_c}{2D_c} Z^2 \quad (2.6)$$

式中，

$Le$ ：有效生物膜厚度 (cm)

若生物膜表面兩側之基質流速相等，其代謝量也相等時

$$\begin{aligned} -D_w(S_o - S_s) / \delta &= dS_c/dZ/z=0 \times D_c \\ &= -\left( \frac{S_s}{Le} + \frac{kX_c}{2D_c} Le \right) \times D_c \\ &= -kX_c Le \end{aligned} \quad (2.7)$$

由上述關係可決定有效生物膜厚度

$$Le = \left( \frac{D_c \delta}{D_w} \right)^2 + \frac{2D_c}{kX_c} S_o - \frac{D_c \delta}{D_w} \quad (2.8)$$

則單位生物膜面積之基質去除速度 $J_o$ 為

$$J_o = kX_c \left[ \left( \frac{D_c \delta}{D_w} \right)^2 + \frac{2D_c}{kX_c} S_o - \frac{D_c \delta}{D_w} \right] \quad (2.9)$$

即可利用(2.9)式之關係，求取懸浮狀態生物性污泥之基質去除速度 $k$ ，和從生物膜之生物性污泥密度，求取生物膜狀態之基質去除速度。

又若生物膜全體之厚度為 $L$ ，其中有效部份之比例為有效係數，則可以下式表之

$$\eta = \frac{Le}{L} = \left[ \left( \frac{D_c \delta}{D_w} \right)^2 + \frac{2D_c}{kX_c} S_o - \frac{D_c \delta}{D_w} \right] / L \quad (2.10)$$

式中，

$\eta$ ：有效係數

惟可視式(2.8)~(2.10)中 $D_c/D_w=1$ 。

以上為簡單化乃將基質之代謝速度假設為零次之反應式。

## 2.4 生物相

生物膜法最大的目的，似都集中於去除BOD，但由於BOD大都存在於廢水的SS中，因此生物膜表面的作用最為重要。

在生物膜表面活躍的原生動物可分為三類，其中最重要的為濾膜面型的原生動物，接近於生物膜表面或被吸附之有機性SS會很快的被該等生物所攝取、同化或氧化分解，生物膜表面之模式可以圖2.3表示之。

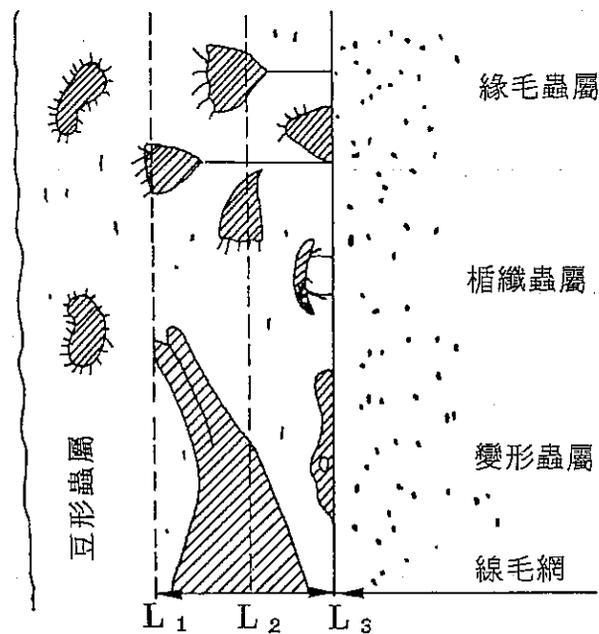


圖2.3 生物膜表面之模式圖

圖2.3 中豆形蟲屬(*Colpidum*)為自由游泳性非濾膜面型微生物，緣毛蟲目(*Peritricha*)為固定生物膜型，楯纖蟲屬(*Aspidisca*)及變形蟲屬(*Amoeba*)則為匍匐型，而此三者俱為濾膜面型之原生動物。除變形蟲屬(*Amoeba*)特殊情形外，其他生物幾乎皆未侵入於生物膜內。

在生物膜法處理上，這些原生動物在淨化機構上，尤其是SS性有機物的去除分解作用佔著重要的角色，惟尙未能系統化的加以量化表示。

接觸曝氣法兩段式繩狀接觸材生物膜量及微生物相例示如表2.1。生物膜表面呈灰色～褐色，而生物膜內部則為黑色，顯示厭氧性部份多。惟微生物以貝氏硫細菌屬(*Beggiatoa sp.*)較多。而以嗜低濃度溶氧之尾草履蟲屬(*Paramecium caudatum*)為微小動物之優勢種。由於不易取到第2段附著之生物膜予以定量，經採懸浮膠羽進行檢視，其出現之微生物以旋輪蟲屬(*Philodina sp.*)及跳側滴蟲屬(*Pleuromonas jaculans*)之量為多。又第1段也有不少的懸浮膠羽，為扮演廢水淨化的主要物質，其填充之濾材兼具生物膜及活性污泥兩者的淨化作用。

表2.1 接觸曝氣法生物相（繩狀接觸材料）

項 目	第 1段	第 2段
生 物 膜 量 (mg/cm <sup>2</sup> )	7.0	—
尾草履蟲屬( <i>Paramecium caudatum</i> )	940	
卑怯管葉蟲( <i>Trachelophyllum Pusillum</i> )	160	
斑瘤斜葉蟲( <i>Loxophyllum meleagris</i> )	100	
僧帽腎形蟲( <i>Colpoda cucullus</i> )	60	
卵尾波豆蟲( <i>Cercobodo ovatus</i> )	280	
滴蟲屬( <i>Monas sp.</i> )	110	
跳側滴蟲( <i>Pleuromonas jaculans</i> )		3,900
尾波豆蟲( <i>Bodo caudatus</i> )	280	
變形蟲屬( <i>Amoeba sp.</i> )	60	
普通表殼蟲( <i>ArceII vulgaris</i> )		1,900
旋輪蟲屬( <i>Philodina sp.</i> )	140	3,000
雙胃蟲屬( <i>Diplogaster sp.</i> )	40	
劍水蚤屬( <i>Cyclops sp.</i> )		2,100
仙女蟲屬( <i>Nais sp.</i> )		600
貝氏硫細菌屬( <i>Beggiatoa sp.</i> )	cc	r
真菌( <i>Fungi</i> )		+

生物膜 1mg中之個體數

## 2.5 接觸曝氣法之特性

接觸曝氣法為生物膜法之一種，因此其優缺點亦同一般生物膜法，此外列舉本法特有者，分別說明之：

### 2.5.1 接觸曝氣法之優點

生物膜法共同之優點有下列幾項：

1. 操作管理容易。
2. 單位容積之微生物量多，生物相亦多。
3. 生物分解性或生物分解速率低的基質，亦可有效果的去除之。
4. 對於水溫變化之影響較小。

5. 能承受負荷變化。

6. 可兼具好氧性、厭氧性的作用

上述優點中，生物膜法由於微生物量多，故其污泥之停留時間長且生物相多，但有時即使微生物量多，若有效係數低，則其效果也看不出。上述(2.10)式中 $\eta$ 之影響因素主要者為 $k$ 及 $S_0$  ( $X_c$ 及 $D_c$ 兩項無法控制)。 $k$ 愈小或 $S_0$ 愈大，則 $\eta$ 愈大。 $k$ 值小顯示溫度低或基質的生物分解速度低，即為第3、4項之特性。負荷變化即為 $S_0$ 之變化，隨著 $\eta$ 亦起變化，因此其影響較緩和。至於第6項之優點則為硝化、脫氮可同時進行，此為一大特性。

下列雖為生物膜法的共同優點，但特別是接觸曝氣法的顯著項目有：

1. 污泥產生量少。

2. 低濃度廢水處理效果佳。

3. 適用於小規模之處理設施。

污泥產生量少是生物膜法共同特性，其主要原因為生物相呈多樣性，食物鏈鎖長為一般所公認。本法甚至可以不設最終沉澱池，若濃度低即使流量負荷大亦可以，因此適於處理低濃度廢水，三級處理或水再利用之處理設施皆可獲致良好處理效果。且在既設之曝氣設施投入接觸材料，僅稍加改善即可成為本法，尤其小規模處理設施甚為適用，此點與操作管理容易極具密切的關係。

接觸曝氣法特有的優點有：

1. 處理水水質良好。

2. 可不設置最終沉澱池。

3. 機能及構造等有各種不同的方式。

由於利用不定形或定形粒狀之濾材，具很高的去除懸浮固體物的能力，甚至可於處理後不需沉澱分離。又活性污泥法處理水之BOD有60~70%轉化為SS，但本法之處理水由於SS少，因此其有機負荷及細菌數皆很低，故可獲得較好的處理水。

又接觸曝氣法如同流動床法可以5~10kg BOD/m<sup>3</sup>·d之高負荷操作之，而早期也有部份做為預先處理者，因而可視需要任意設定處理程度。

### 2.5.2 接觸曝氣法之缺點

接觸曝氣法有下列缺點：

1. 設施之機能不易藉操作調整及管理補救。

2. 微生物量無法任意且不易調整。

3. 生物膜過度蓄積會造成阻塞。剝離、脫落時會導致水質惡化。

4. 大形生物大量的產生，會造成生物膜在短時間內大量的脫落、流出，致處理水水質極端惡化。

上述缺點到目前尚無法控制，雖然其平時可獲得良好的處理水水質，但有時短期間無法達到目標水質，因此本法尚不能稱為完美的處理法，惟本法之技術尚在發展中，這些缺點之改善將來應會有所突破。

又本法所需之動力較旋轉生物圓盤法、活性污泥法為高，也是本法缺點之一。

## 2.6 最適處理對象

接觸曝氣法對於有機性廢水之處理皆具效果，其中最適處理對象如下述：

1. 下水及生活污水之處理。
2. 低濃度廢水處理。
3. 三級處理。
4. 控制活性污泥法之膨化問題。
5. 小規模廢水處理。
6. 含難分解性物質之廢水處理。
7. 利用不易形成膠羽或較輕膠羽之生物處理。
8. 對於污泥之處理、處分困難者。

## 第三章 接觸濾材

### 3.1 接觸濾材應具特性

接觸濾材之選擇，應依處理目的、操作條件，以選擇適合之材料，下列為接觸濾材應具備之特性：

1. 可適當附著生物膜。
2. 比表面積大。
3. 空隙率大。
4. 水流之阻力小。
5. 化學、生物之特性安定，不變質，機械強度大，不變形、破壞及磨損，可長期使用。
6. 對於懸浮物之捕捉性高。
7. 不會溶出有害物質。
8. 與水的比重接近，不會對槽底造成太大的負載。
9. 粒徑或間隔相同，可於槽內呈均勻之流速。
10. 便宜且可充分供應。
11. 搬運及施工容易。

接觸濾材之基本條件已如上述，惟就其生物膜附著性及水理特性加以進一步探討：

#### 3.1.1 生物膜之附著性

生物附著性良好的接觸材料，常因生物膜之過度附著造成阻塞，因此必須考慮其是否容易洗淨。

影響生物膜附著之因素，包括濾材形狀、肉眼所看到的凹凸等物理因素，以及顯微鏡觀察之表面構造、表面之電位、親水性等，接觸材料之材質及與其相接觸之水的組成有關之物理化學因素。一般物理因素較為單純，而物理化學諸因素則較為複雜。

接觸材料表面粗糙度為生物膜形成初期之重要因素，光滑面之附著較粗糙面為遲，惟據 Heukelekian 氏，並無太大的差距，微生物之附著主要來自體外粘質物層，其次為微生物與表面間之靜電相互作用也有密切關係。一般微生物為帶負電，因之可推論接觸材料之表面電位愈高愈容易附著，但實證例並不多。

微生物可視為一親水性粒子，容易附著於親水性的表面，因此也有將塑膠濾材處理成高親水性者。微生物雖容易附著於親水性物質的表面，但當表面有油脂

等附著時，其附著將較困難。

比起生物膜附著性研究，接觸材料材質的研究更少，將為未來探討研究的對象。現階段選用時應依其強度、耐生物性、耐藥物性、水溶性、單價等做為判斷的標準。

### 3.1.2 水理特性

接觸材料之水理特性有關因素包括孔隙率、比表面積、形狀、尺寸、填充率等。

孔隙率與實際停留時間、生物膜保有容量之關係密切。孔隙率愈大，通水之阻力愈小，且材料使用較少，故較經濟，惟材料之機械性強度及比表面積小。比表面積為支配濾材單位容積形成生物膜量的因素，相對著比表面積愈大，接觸材具有更高的性能。

比表面積愈大的接觸材料，不僅對溶解性物質，對於懸浮物質的去除機能也佳。相反的濾材的磨擦損失水頭也大，水以一定之流速通過濾材不僅要較大的能量，亦容易造成阻塞。

以上為自  $100\text{m}^2/\text{m}^3$  至數百  $\text{m}^2/\text{m}^3$  接觸材料之比表面積範圍之特性。

接觸材料為圓管狀者，水流在管內的摩擦損失水頭  $h_L$  可依 Darcy 及 Weisbach 式表示之：

$$h_L = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3.1)$$

式中，

f：摩擦損失係數

L：管路長 (cm)

D：徑深 (cm)

V：流速 (cm/s)

g：重力加速度 ( $980\text{cm}/\text{s}^2$ )

接觸材料間之水流愈呈亂流，水中之物質對生物膜表面的傳輸愈有效率，生物膜的活性愈高。

當 Reynolds (Re) 為 2,000 以下時，水流呈層流流動，f 及 Re 之關係與管壁的粗糙無關，其關係為

$$f = 64/\text{Re}$$
$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (3.2)$$

式中，

$V$ ：動粘性係數 ( $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ )

$\rho$ ：水之密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\mu$ ：水之粘度 ( $\text{g}/\text{cm} \cdot \text{s}$ )

將(3.2)式代入(3.1)式得

$$h_L = \frac{32\mu LV}{\rho g D^2} \quad (3.3)$$

當 $Re$ 大於2,000則呈亂流， $f$ 依 $Re$ 與粗糙狀況而異。

接觸曝氣法之水流若視為管內流，則其徑深為流路斷面積除以潤邊長度之值。也即

$$D = \frac{\text{流路斷面積}}{\text{潤邊長度}} \times \frac{\text{流路長度}}{\text{流路長度}} = \frac{\text{接觸槽孔隙容積}}{\text{接觸材表面積}} \quad (3.4)$$

若以單位容積考慮時，設接觸材之比表面積為 $S_s$  ( $\text{cm}^{-1}$ )，接觸槽孔隙率為 $P_s$

，則 
$$D = \frac{P_s}{S_s} \quad (3.5)$$

因若孔隙率條件相同，則摩擦損失水頭與接觸材比表面積的1~2倍成比例。

接觸槽內的水流不易判斷其為層流或亂流，依材料的種類、操作條件、阻塞狀態而異，為達到 $Re$ 在2,000以上，則必須

$$V = 0.01 \text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$DV > 20 \text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$$

則接觸材必不需多，大多數若為層流，摩擦損失水頭因為比表面積的2倍，因此比表面積太大並非良策。

增加 $Re$ 雖可提升流速，相對的動力的消耗亦大。徑深 $D$ 為濾材孔隙率 $\epsilon$ 除以比表面積之值。因之比表面積愈小 $Re$ 愈大，生物膜單位面積之去除效率增大。相反的使用比表面積大的接觸材料，雖然生物膜的總量多，但單位面積之去除率則降低。Williamson及McCarty曾就 $Re$ 對於基質傳輸和生物膜之影響，做過深入之探討。

水流流經接觸材料之阻力，以阻力愈小，水流的通過愈順暢。支配阻力的因素主要為孔隙率、比表面積、形狀等。另外濾池以能具整流效果，以使阻力大的濾床內之流速分佈均勻，很多的沉水式接觸曝氣法之濾池內產生循環流，致有死水域存在，甚至有小部份沒有水流流動。

為改善流速不均勻之偏向流，以具阻力大的接觸材料較有效，但會導致平均流速的下降，造成阻塞的原因，為達濾池內流速的均勻化，可於流速低的部份設置阻流壁等方法解決之，接觸材料之選擇也是一大要素。

### 3.2 接觸材料之種類

接觸曝氣法所使用之接觸材料以碎石等天然材料及各種塑膠成型物質為主，尤其塑膠等接觸材料的材質、形狀之不同，而有各種種類，其一般特性及分類如表3.1。

表3.1 依接觸材料形狀及接觸面型之分類及一般特性

形狀 \ 接觸面型	不定形型	規則性 附著面型	不規則面之 規則配列型
平板、波板		○	
網狀		○	
管狀		○	
繩狀			○
成形、粒狀	○		

目前所使用之各種接觸材料之分類，可分類為：

1. 粒狀不定形（形狀不均勻）：礫石、碎石、坑火石、焦煤、貝殼、煤碳渣、木片、塑膠片等。
2. 成型粒狀（形狀均勻）：管片、變形管片、桿環。
3. 棒狀、繩狀體：木棒、枝篠、多環繩等。
4. 有孔管體：蜂巢管、多孔性圓筒。
5. 平板、波浪板：石綿板、木板、塑膠網、塑膠浪板。

一般成形粒狀之接觸材料對於懸浮物之捕捉力較強，且其貯留空間也較多，因此捕捉之能量亦多，反之對於水流之阻力大，容易導致濾池的阻塞。尤其是不定形者其粒徑、形狀皆不均勻，且空隙率亦較小，此乃粒狀接觸材料之缺點。

至於平板、波浪板、網等其間隔較適當，較無阻塞之問題，但對於懸浮物之捕捉力較弱，對於維持生物膜量之能力較差。

利用規則性配列之接觸材表面（平板、波浪板、塑膠網、蜂巢管等）者，其設施之後應設置最終沉澱池或微篩機。反之利用不規則凹凸面表面配列者（桿環、變形管片、貝殼等），因其對懸浮物質捕捉力強，因此該設施之後即使不設置最終沉澱池也可獲得良好處理水水質，但對於其阻塞之對策，則必須定期清洗為其缺點。

如上所述，接觸濾材的選用上，應考慮原水水質、處理目標水質、操作管理體制等因素，選擇適當的濾材。

接觸材料依形狀區分之種類已如上述，茲就已應用化之數種，分別探討其特

性：

### 3.2.1 蜂巢管狀接觸材料

蜂巢管接觸曝氣法Honey-comb Contactor(又稱Tube Biological Contactor法)，為小島貞男博士於1973年所開發出來的生物處理法。最初為以預先處理東京都玉川自來水之原水為目的而開發者，因此係為三級處理技術，後被應用為湖水優養處理、都市污水處理、染整廢水處理、果汁廢水及乳業廢水等工業廢水處理，獲得良好的實績而漸被重視。

河川本體具有自淨作用已如前述，假如一條河川氧化去除氨氮達90%以上，需流經20公里如圖3.1A，則需有與河床之生物膜相同之媒體10片，各長2公里始能達同一去除效果，如圖3.1B。再則如圖3.1C將100片之生物膜插入，則其流經200公尺所達到的淨化效果，與經20公里之效果應相同。惟200公尺仍太長，且流程中有溶氧不足的現象，因此改以2公尺長，而使水流來回循環100次，則其達到的效果將與20公里相同。惟2公尺長之介質若水平放置於槽內，由於膜呈水平附著，因此生物膜不易更新，故若將其垂直並列於槽中如圖3.2，則由於水流其已老化的生物膜可不斷的剝落而呈交替狀，再將已剝落者排出槽外分離之，即為蜂巢管接觸曝氣裝置。

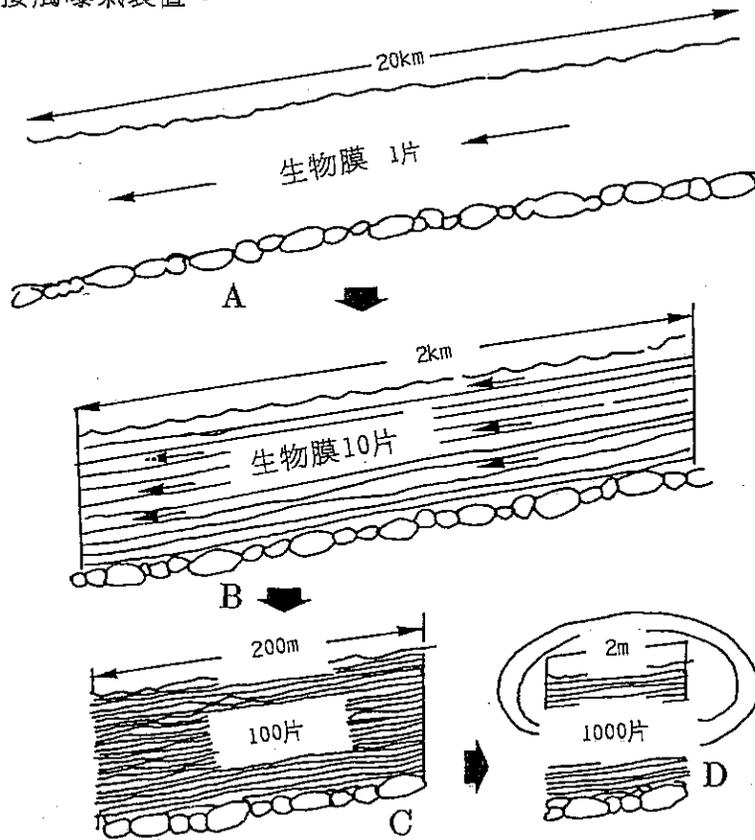


圖3.1 依河川自淨特性演變為接觸曝氣法之構想

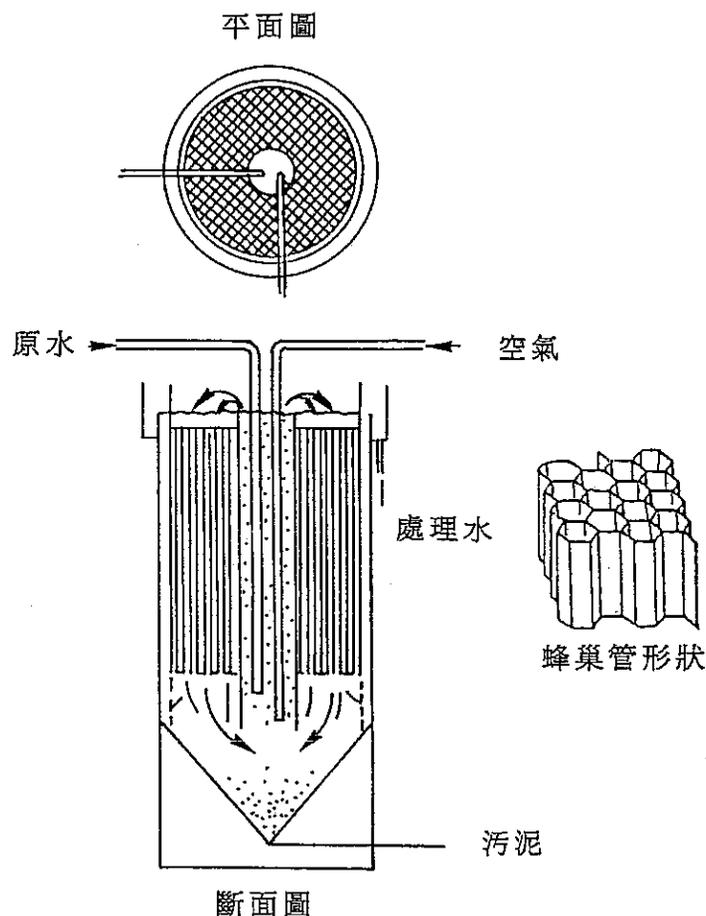


圖3.2 蜂巢管接觸法處理裝置

### 1. 蜂巢管之優點

#### (1) 最小的材料具最大的表面積

如圖3.3 對邊間的距離10mm之蜂巢管每 $m^3$ 有 $360m^2$ 之表面積，20mm 者有 $220m^2/m^3$ ，30mm者有 $133m^2/m^3$ 。惟隨著生物膜的積厚使得內徑減少，而表面積也有減少的趨勢，如圖中所示。

#### (2) 孔隙率大

蜂巢管為以薄塑膠片粘著而成，因此孔隙率極大，例如對邊間距10mm者厚0.1mm，20mm者厚0.122mm，其孔隙率前者為97.9%，後者為98.3%。

#### (3) 重量輕、縱方向（管長方向）強度大

如架設成數段雖為薄塑膠片所粘著而成，但其強度可承受人站在其上面，在實用上有高達6m者，故即使於生物膜成長後，將接觸槽水放空，其強度仍可承受。

#### (4) 老化污泥容易剝落

因壁面平滑且無銳角，故生物膜容易剝落，惟有時仍有阻塞的問題，壁面做成凹凸狀者更不適宜。

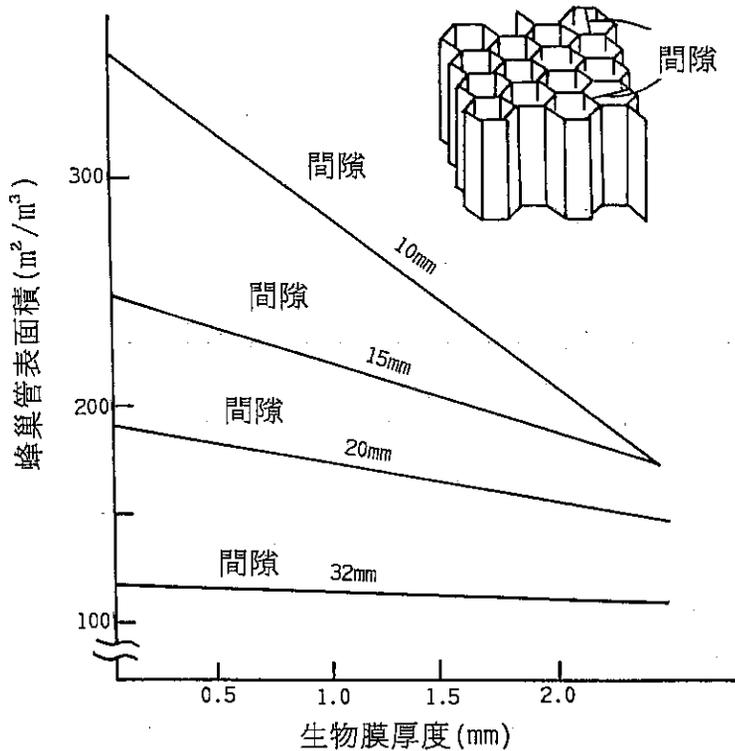


圖3.3 生物膜厚度及表面積變化

## 2. 蜂巢管之缺點

### (1) 有時有阻塞的困擾

如優點所述，蜂巢管具不易阻塞之特性，但若因設計時對邊間距選擇錯誤，或 BOD 負荷估計錯誤，致生物膜過量生長，則有阻塞的可能，除從設計上正確著手外，採用附有橫向孔之蜂巢管或予間歇曝氣，則可避免阻塞。

### (2) 管內的流速不易均勻

雖藉曝氣、泵或表面曝氣機促成循環流，但仍不易使每孔之流速均勻。一般周邊部份管的流速較中央部份管的水流流速均勻。一般周邊部份管的流速較中央部份管的水流流速大，致對接觸效率及生物膜的更新有所影響，惟藉附橫向孔之蜂巢管可改善上述缺點，而達流速均勻。(如圖3.4)。

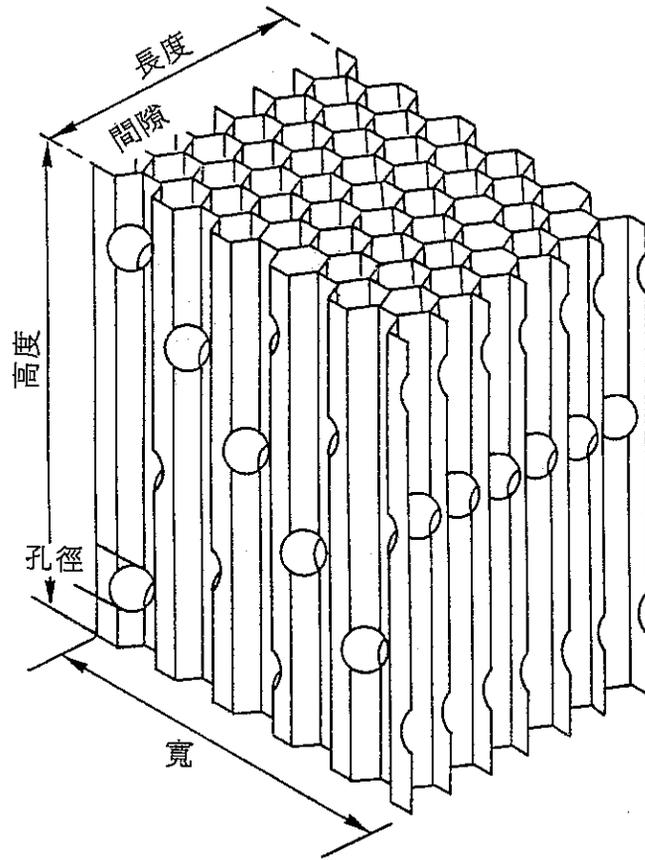


圖3.4 附橫向孔之蜂巢管

③重量輕、體積大，增加搬運費

蜂巢管輕，但搬運費高為無法克服的缺點。

附有橫向孔之蜂巢管某商品之規格如表3.2。

表3.2 蜂巢管商品化規格(NJ公司)

商品編號	間距 (mm)	厚度 ( $\mu\text{m}$ )	密度 ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	表面積 ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )	耐壓強度 ( $\text{t}/\text{m}^2$ )	標準尺寸 (mm)
VH-13-100	13	100	29	308	2.0	寬度 500
VH-20-120	20	120	23	200	1.5	長度 1,000
VH-30-180	30	180	23	133	1.5	(2,000)
VH-50-280	50	280	21	80	1.7	高度 1,000
VH-75-350	75	350	18	57	0.7	

註：耐壓強度為250mm間隔之正方形格子上的壓縮強度

### 3.2.2 繩狀接觸材料

繩狀接觸材料為氯乙烯環狀繩 (RL) 之微細的輪狀體編織而成，為日本產業機械所開發之一種接觸材料，其特性：

1. 氯乙烯對於物理、化學具高安定性。
2. 接觸材料每  $m^3$  具 400m 之密度。
3. 輪狀體會因水流而振動，與廢水的接觸率高。
4. 由無數細的輪狀體纖維而成之立體物，可保持多量的微生物，且緊密附著，不易造成污泥的急激剝落。
5. 由於係繩狀體，故易於取出或增加，可視負荷而調整之。

繩狀接觸材料示如圖 3.5，其物理性質如表 3.3，其設施之配置例如圖 3.6 所示。

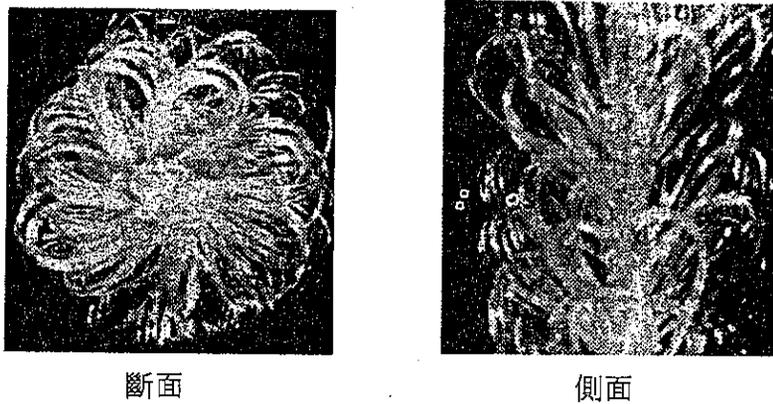


圖 3.5 繩狀接觸材形狀圖

表 3.3 RL 之基本物性

項 目	基本物性	項 目	基本物性
材 質	氯乙烯	伸長彈性	優
比 重	1.7	摩擦強度	強
引張強度(kg/RL)	10	空中軟化點熔融點(°C)	140~160
單位重量(g/m)	10	耐酸性	強
外 徑(mmφ)	約25	耐鹼性	強
吸水性	0	耐腐蝕性	不腐蝕

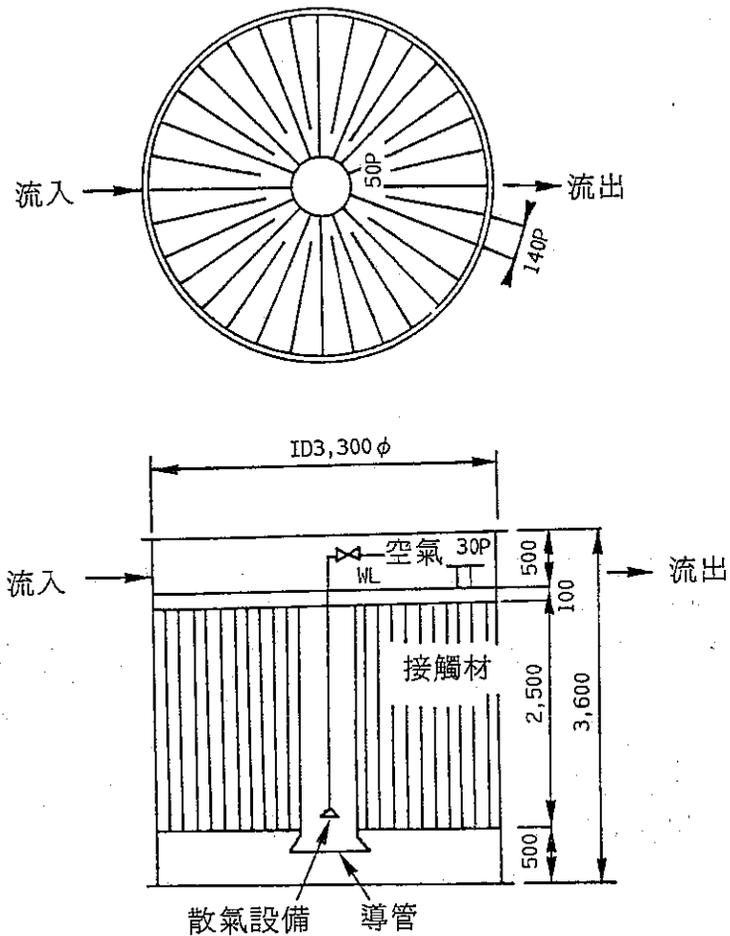


圖3.6 RL接觸槽配置圖例

### 3.2.3 網狀接觸材料

此種接觸材料為聚乙烯材質，網狀體多孔性之形狀，平行垂直配置填充而成，而採線狀全面曝氣方式，其形狀如圖3.7。為日本東菱技術研究所開發者，又稱BIOCOMB。

目前使用之網狀接觸材料有八種，其開口度(mesh)如次(mm)：27×27，13×13，8×8，6×10，6×6，4×4，3×3，2×1.5

一般使用得最廣的為13×13~6×10mm，適用於高負荷至中負荷之工業廢水及都市污水處理之用。至於細開口度者，則適用於去除難分解物質或硝化等三級處理之用。

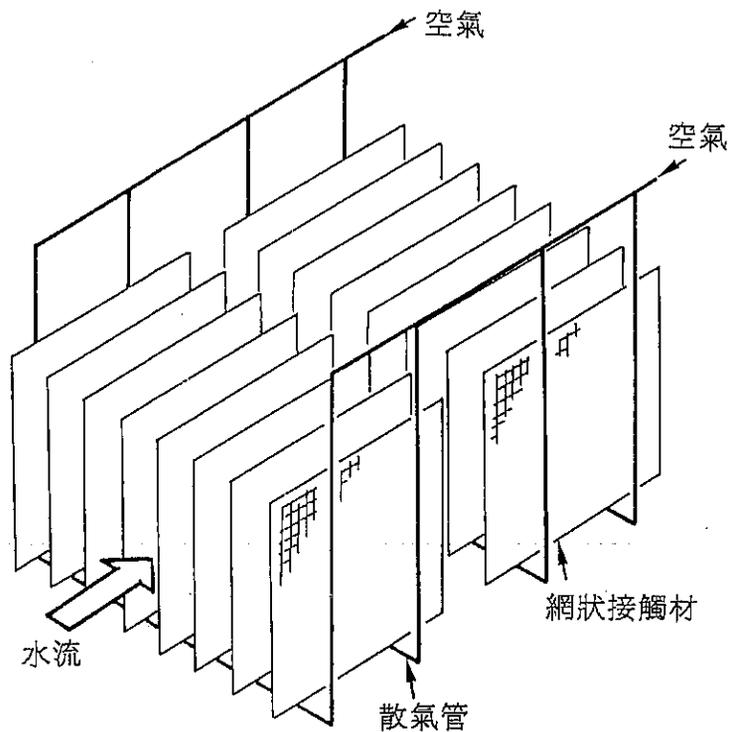


圖3.7 BIOCOMB 模式圖

1. 材料特性

- (1) 填充物為網狀，水較容易流通，接觸效率高。
- (2) 因自接觸材之下部直接全面曝氣，生物膜之剝落效果佳，微生物的活性度高，故反應速度大。
- (3) 因剝落效果高，較不阻塞，不需設置反沖洗設備。
- (4) 自下部全面曝氣，由於氣液之混合與接觸材料之沖擊，增進氧之溶解率。曝氣密度及COD去除率之關係示如圖3.8。
- (5) 構造上可輕易配置，故設計上彈性高，亦可隨負荷放大設施。

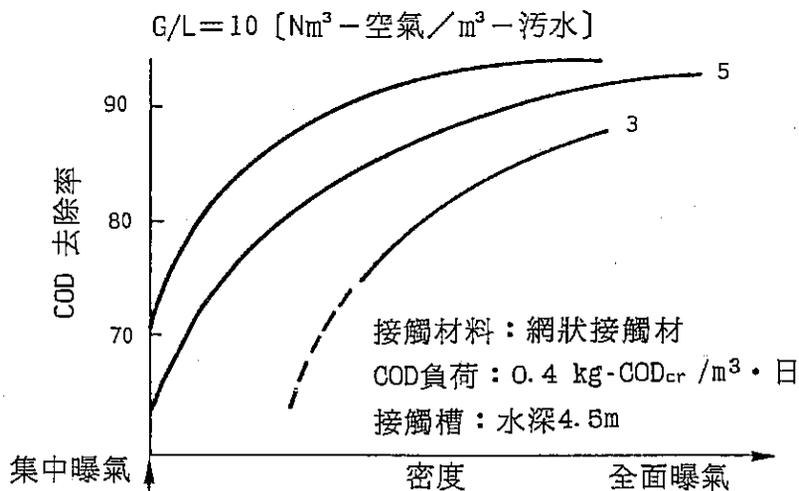


圖3.8 曝氣密度及COD 去除率之關係

## 2. BIOCOMB之設計因子

傳統接觸曝氣法之設計，以生物膜附著之材料表面積之負荷為重要的設計因子，惟 BIOCOMB之設計因子則較複雜，大谷氏就 Monod式整理出反應速度式，即 BOD之去除速度以下式表之，修正 Monod式  $\mu$  (MLSS) 為  $\mu'$  (MLSS)'

$$\frac{d(\text{BOD})}{dt} = \frac{\mu'(\text{MLSS})'}{k + (\text{BOD})} \cdot (\text{BOD}) \quad (3.6)$$

即反應速度係數及有效污泥之積與 BOD去除速度成比例。惟有效污泥濃度不僅單與附著生物膜之重量有關，附著之均勻狀態及廢水間之接觸效率也有影響，即

$$\begin{aligned} (\text{MLSS})' &= [\text{有效生物膜表面}]^{m_1} \times [\text{水及膜之相對接觸速度}]^{m_2} \\ &= [(\text{基材面積}) \times (\text{有效膜厚度}) \times (\text{膜附著之均勻性})]^{n_1} \\ &\quad \times [(\text{相對水流之均勻性}) \times (\text{相對水流速})]^{m_2} \end{aligned}$$

$\mu'$  之決定必須考慮下列諸因素：

(1) 正規配列網之狀況：P(m)

與比表面積(J) 有關，對於生物膜之保持量有影響。

(2) 曝氣強度：G(Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hr)

以材料填充部之單位底面積之曝氣量表示之，與水流之強度及氧供給速度有關，會影響接觸效率。

(3) BOD 容積負荷：L(mgBOD/m<sup>3</sup>·d)

與污泥之變換量有關，會影響生物膜之厚度。

(4) 曝氣密度：S(-)

表示曝氣面積比，與生物膜之均勻性及接觸效率有關。

(5) 網之間隔：

與生物膜之保持量有關。

(6) 水深：(H)m

水流之強度，均勻性有關。

(7) 比表面積：J

與接觸材料比表面積呈比例。

由上可知  $\mu'$  (MLSS) 為  $K(t) \cdot J^a \cdot L^b \cdot G^c \cdot S^d \cdot H^e$  之函數，依據實驗結果整理所得：

$$\mu'(\text{MLSS})' = K(t) J^{0.36} \cdot L^{0.24} \cdot G^{0.5} \cdot S^{0.34} \cdot H^{0.12} \quad (3.7)$$

由上式之計算值與實驗結果相比較，其值甚為吻合，示如圖3.9，惟在設計時J，S，H 依材料之標準而定，因此上式可簡化為  $\mu'(\text{MLSS})' = K(t)$

•  $K' \cdot L^m \cdot G^n$  即BOD 之去除速度為BOD 容積負荷及曝氣強度之函數。因此在設計時應注意BOD 之去除率不僅與BOD 容積負荷有關也與曝氣強度有關。

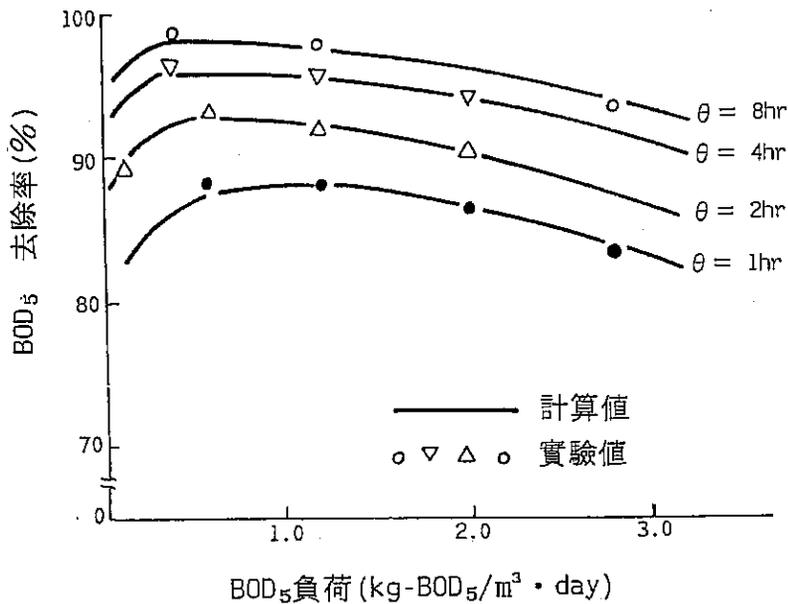


圖3.9 計算值與實測值比較

### 3.2.4 板狀接觸材料

代表性波板狀接觸材料之形狀、構造及特性示如表3.4 及圖3.10、圖3.11。

表3.4 波板接觸材商品規格例(DP公司)

編號	大小			尺寸		比表面積	屈折強度	每m <sup>3</sup>	孔隙率
	高 (m)	寬 (m)	厚 (m)	片板厚度 (mm)	間隔(P) (mm)	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>		
C-100	1.0	1.0	約1.0	0.4	26	102.3	765	38	98.5
C- 90	1.0	1.0	約1.0	0.4	29	92.3	725	34	98.7
C- 80	1.0	1.0	約1.0	0.4	34	82.5	605	30	98.8
C- 70	1.0	1.0	約1.0	0.5	37	74.8	950	27	98.7
C- 65	1.0	1.0	約1.0	0.5	40	69.8	850	25	98.8
C- 60	1.0	1.0	約1.0	0.5	44	64.1	810	23	98.9
C- 55	1.0	1.0	約1.0	0.5	48	59.3	740	21	99.0
C- 50	1.0	1.0	約1.0	0.6	53	54.6	800	19	99.0
C- 40	1.0	1.0	約1.0	0.6	67	44.6	760	15	99.1

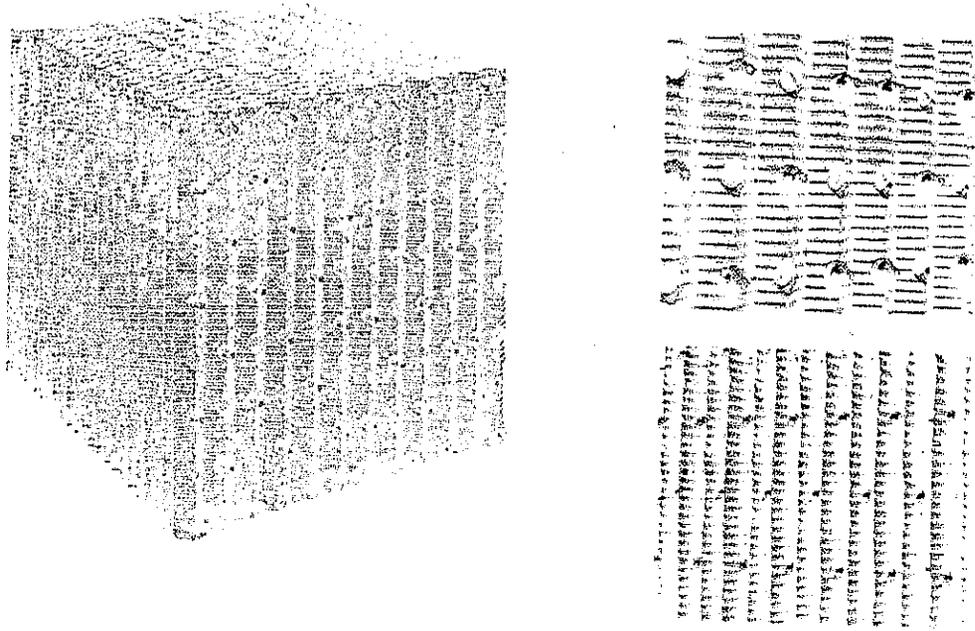


圖3.10 波板接觸材形狀

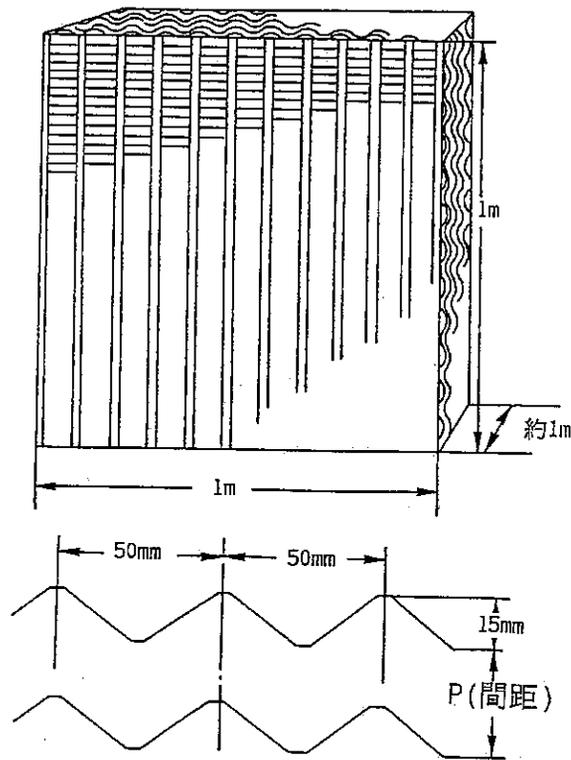


圖3.11 平板狀接觸材之構造及尺寸

各片板之尺寸為  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ，組立而成之標準尺寸為：高 $1.0$ ×寬 $1.0$ ×厚 $1.0\text{ m}$ ，可依需要調整片數。

本材料形狀之特性已於 3.2節詳述，在此不贅言。

### 3.2.5 網管狀接觸材料

網管狀接觸材料之材質仍為塑膠系材料，為呈網管狀者，除具有一般生物膜法之特性外，其生物附著之有效表面積反而增大為其特性。其形狀及商品規格如表3.5 及圖3.12。生物附著數之表面積如圖3.13。

表3.5 網管狀接觸規格(DP公司)

編號	尺寸(mm)		間距(mm)*		填充數量** (m)	比表面積 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	孔隙率 (%)	填充密度 (kg)
	外徑	內徑	A	B				
GK-50	62	52	5	5	278	100	92.7	69
GK-70	75	65	5	5	178	78	94.4	53
HK-55	65	55	20	20	237	77	95.8	40
HK-65	75	65	22	22	178	58	95.5	43
HK-100	110	100	30	30	83	42	97.0	30
SK-50	62	52	3	3	298	157	90.6	89
SK-70	75	65	3	3	178	169	92.5	71
NK-27	27	21	5	5	1,372	246	84.7	137
NK-35	35	27	5	5	816	208	86.3	122
NK-52	52	45	5	5	370	185	87.6	100

\*：間距依生物附著而異

\*\*：依格子狀填充計算之

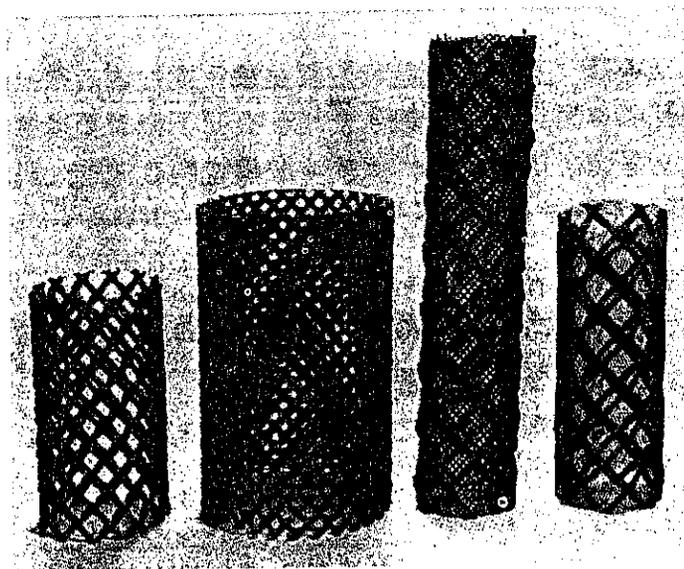


圖3.12 網管狀接觸材料形狀

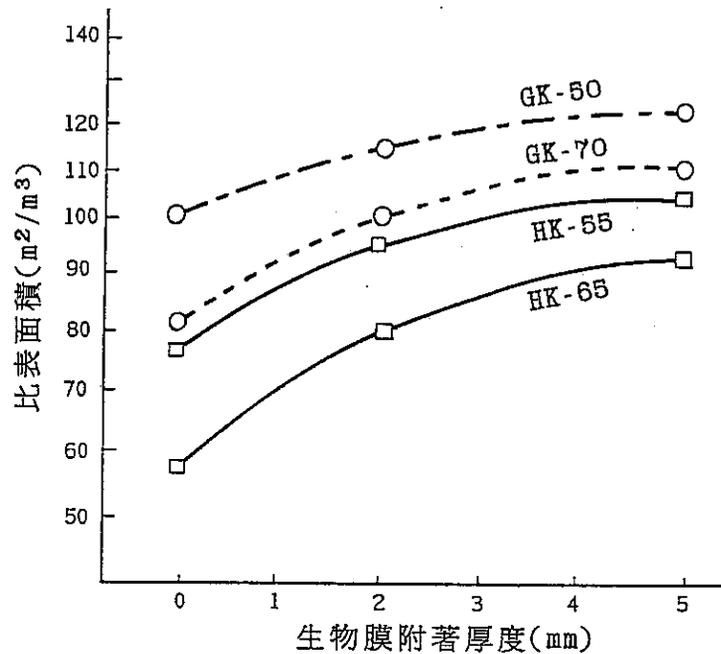


圖3.13 附著生物膜之厚度與此表面積關係

### 3.3 接觸材料的選擇

如前述，接觸材料有較易阻塞和較不易阻塞者。容易阻塞之接觸材料並不味其處理機能較差，反而對SS較具捕捉能力，而獲得良好之處理水水質。惟阻為接觸曝氣法最大的問題點，因此對於接觸材料的選擇及組合，為檢討設計之點。

接觸材料之選擇，以廢水能均勻的與接觸表面附著之微生物相接觸，具可順暢旋迴流之接觸材間隙，以及能承受設計負荷下附著於接觸材之微生物重量強度，和具有旋迴流之阻力所需的強度。接觸材料之強度一般為  $600 \sim 1,000 \text{ kg/m}^2$ ，必要時可調整其厚度使其增至  $3,000 \sim 4,000 \text{ kg/kg/m}^2$ 。

#### 3.3.1 接觸材料之間隙設定方法

接觸材料之間隙的設定，依設計負荷條件檢討下列因素決定之：

1. 接觸材料單位容積附著之污泥量及含水率。
2. 接觸材料單位容積需氧量及空氣量。
3. 接觸材層內之循環水量。
4. 接觸材層內之空槽速度。
5. 一般為達處理效率之最低空槽速度應為  $2 \text{ m/min}$  以上。

上述有關數據，依實廠操作資料如表3.6。

表3.6 操作條件及附著生物量之關係

項目	水質濃度		BOD 負 荷		接觸材附著污泥量		供 給 氧 量 (kgO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup> ·日)	接觸材 間 隙 (mm)
	進流水 BOD 濃度 (g/m <sup>3</sup> )	處理水 BOD 濃度 (g/m <sup>3</sup> )	進流水負荷量 (kg BOD/ m <sup>3</sup> ·日)	去除負荷量 (kg BOD/ m <sup>3</sup> ·日)	濕 量 污泥量 (kg/m <sup>3</sup> )	污 泥 含水率 (%)		
廢 水 種 類	2,500	< 50	1.25	1.23	300	98	1.98	40
	2,500	< 30	1.00	0.99	250	98	1.58	40
	2,000	< 20	0.95	0.94	250	98	1.52	40
	2,000	< 20	0.90	0.89	230	98	1.50	40
	1,800	< 20	0.95	0.94	250	98	1.56	40
	1,000	< 20	1.00	0.98	250	98	1.50	40
染廢 色水	1,000	< 30	0.80	0.78	138	96	1.24	33
	950	< 30	0.80	0.77	125	96	1.16	33
	800	< 20	0.80	0.78	125	96	1.20	33
乳廢 業水	1,000	< 20	1.0	0.98	135	97	1.57	33
	800	< 20	0.95	0.93	130	97	1.50	33
生 活 污 水	650	< 20	1.0	0.97	130	97	1.55	33
	600	< 20	1.25	1.21	135	97	1.80	33
	500	< 20	0.95	0.91	135	97	1.45	33
	250	< 20	0.60	0.55	120	96	1.00	33
	200	< 20	0.50	0.45	100	96	0.90	33
	150	< 20	0.50	0.43	100	96	0.85	33
	100	< 20	0.40	0.32	100	95	0.70	33
	30	< 10	0.30	0.20	50	95	0.65	27

當 BOD負荷為1.25kg/m<sup>3</sup> 之二級處理，接觸材料上附著之污泥量達300kg/m<sup>3</sup> (濕重)，附著之生物自細菌至輪蟲等之微生動物皆有。也因生物群內之食物鏈鎖作用，而使得污泥產生量得以減少。至於所需氧量則較一般活性污泥法約大30~50%。

### 3.3.2 接觸材料所需強度之設定法

接觸材料所要求之強度，以不會因附著微生物而所產生之重量導致屈折之耐屈折強度，以及在操作時由於旋迴水流的阻力導致接觸材料之破損、變形等之耐

久性為主。接觸材料之強度的設定，主要考慮因素如下：

- 1.設計負荷條件下接觸材料單位容積之附著污泥量（含水狀態）。
- 2.旋迴水流的阻力，一般空槽流速5~6m/min時，以其阻力60kg/m<sup>2</sup>為旋迴水流的範圍。

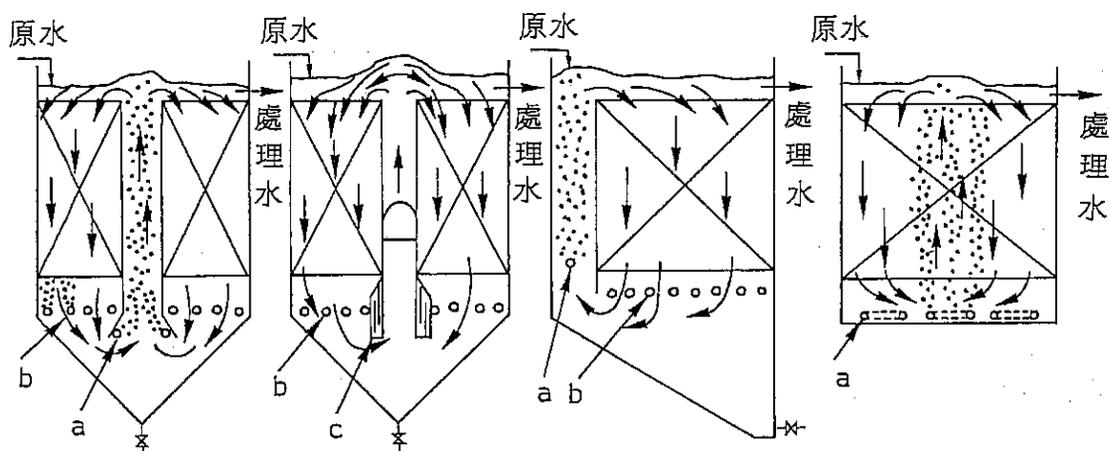
檢討上述條件以設定接觸材料之強度，選擇最適接觸材料。

## 第四章 處理設施

接觸曝氣槽處理設施為由接觸槽、循環裝置、接觸材料及反沖洗裝置等所組成。

### 4.1 曝氣方式

接觸槽的曝氣方式可分為鼓風機曝氣循環方式、曝氣機循環方式及泵浦循環方式。如圖4.1、圖4.2及圖4.3。在設計應用時需考慮經濟性、處理效果及操作管理方便等因素決定之。



(a)中間連續曝氣型 (b)中間間歇曝氣型 (c)單側連續曝氣型 (d)輪流全面曝氣型

圖4.1 鼓風機送風循環方式

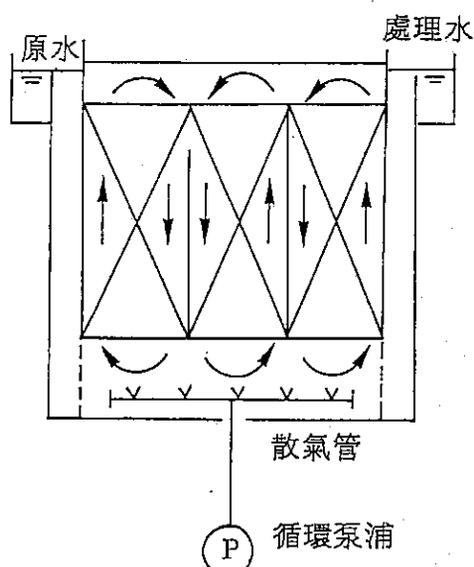


圖4.2 泵浦循環方式

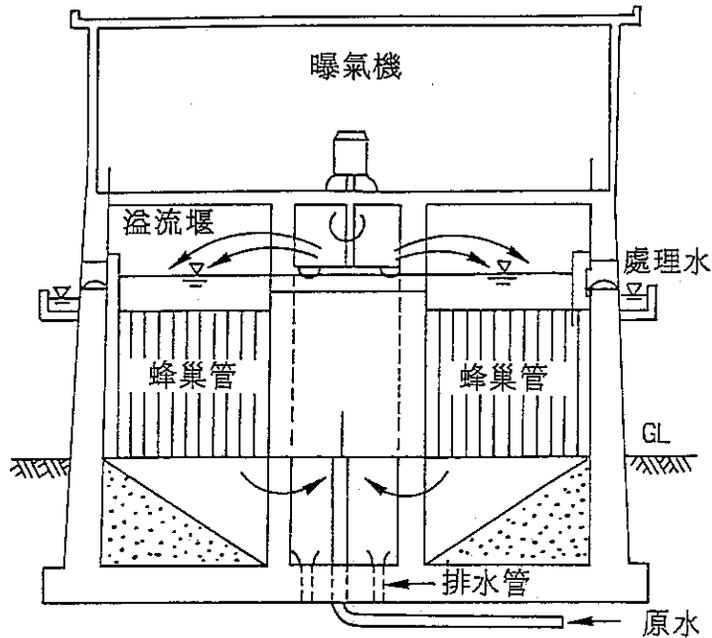


圖4.3 曝氣機循環方式

接觸曝氣法附著之微生物，必須供給其所需之氧量，曝氣一般於槽內行之，為曝氣與攪拌同時進行之方式，槽內的曝氣以散氣設備行之，其設置位置可為：

1. 側面曝氣。
2. 中心曝氣。
3. 全面曝氣。

傳統的側面曝氣、中心曝氣方式因有阻塞及偏向流程和剝落污泥不易排出之缺點，而近年來新發展的輪流全面曝氣則可克服該一問題。

輪流全面曝氣方式(圖4.1d)為全面曝氣的一種，並非全面同時曝氣，而呈分成數格依序曝氣的方法。即曝氣槽底部全面配置氣管，但可分成輪流交互曝氣的方式。依其分格的單位數依次輪流曝氣。其特性為：

1. 生物膜與廢水的接觸率佳，基質與氧可較有效的與生物膜接觸，也即蜂巢管的表面積可有效利用。
2. 老化生物膜因曝氣而剝離排出，因此生物膜較具活性，其量也受到控制，因而處理機能較安定。但也因頻率的刷洗，SS的截流效果較低，但於流出後可能沉澱分離之。
3. 設計較具彈性，反應槽的形式不受限制，甚至可將活性污泥法的曝氣槽直接改裝使用。
4. 曝氣量的控制較容易，故對於流量或水質的變動較容易對應，甚至一般接觸曝

氣法無法相對應的高負荷也可適用。

5. 不需裝設反沖洗設備，操作管理容易。

6. 曝氣量可較少，由於係交互輪流全面曝氣，故曝氣量為全面曝氣量的數分之一，氧的溶解率高，操作費可較省。

輪流全面曝氣方式因具有上述優點而漸行取代其他循環型曝氣方式。

曝氣循環流速過大會造成生物膜無法附著，流速過小則會導致生物膜積厚，皆會影響處理效率。依據調查一般循環流速以1~5m/分為宜。

## 4.2 接觸槽構造

### 4.2.1 槽數

槽數的決定，基於下列因素，應為 2系列以上且多段為宜：

1. 接觸槽定期檢查、清理之需要。
2. 防止發生短流。
3. 提升處理效率。

同時複數系統設施，應有均勻分流及整流設備，以達處理效果，圖4.4 為接觸槽配置例。

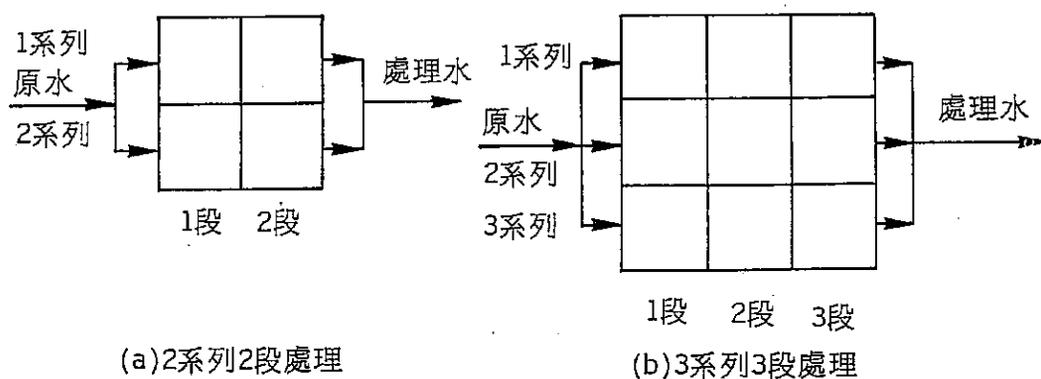


圖4.4 接觸槽配置例

依據以繩狀 (R.L)接觸材料進行單槽及 2段處理結果，比較示如圖4.5，由圖顯示在同一負荷下，2段處理者其 BOD去除率遠高於單段處理，故段數以多者為宜，但仍不能太多，否則會造成第 1段因負荷過大，污泥蓄積阻塞，供氧不足等問題，故一般以 4段為界限。

1. 依設計負荷條件設定接觸材料之支撐方法

設計負荷條件所要求接觸材之耐彎曲強度，超過接觸材料之強度時，應調整填充段數（堆積高度）至容許範圍。

2. 防止接觸材料移動方法的設定

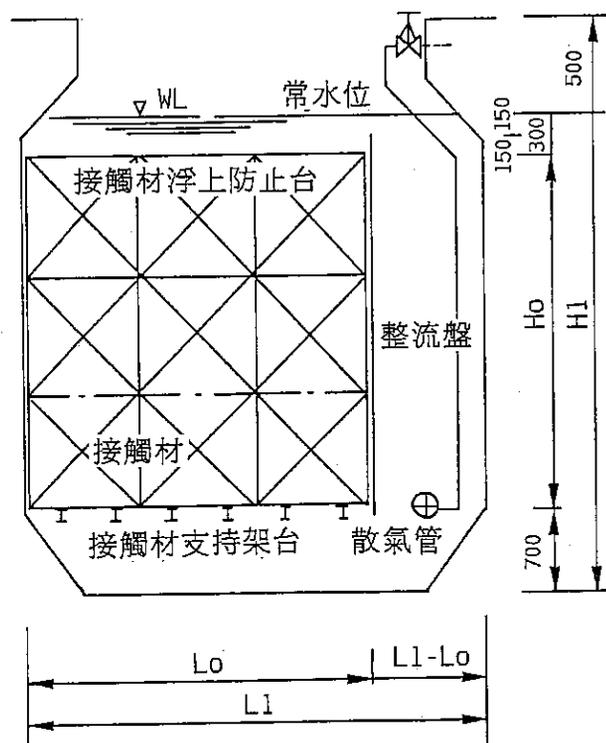
操作時之旋迴流或反沖洗會導致接觸材料移動或上浮，其防止方法為於接觸材料之側面、上面設置必要的框固定之。

3. 為達到接觸槽內均勻之旋迴水流，應設定適當的接觸材高度及寬度之比、經常之水位高度以及至槽底之距離。

4. 散氣設備部份 (air lift 部) 之寬度的設定

綜合檢討上述接觸材料的填充方法，設定曝氣槽內各種設備，以及能達到處理目的之曝氣槽形狀和構造。

依據調查及實際操作經驗，代表性之單側曝氣型曝氣槽形狀及接觸材料之填充方法如圖4.6。



說明：

$H_0$ ：接觸材堆積高度(m)

$L_1$ ：曝氣槽寬 $\leq (0.5 \sim 1.0)H_1$

$H_1$ ：有效水深 $= H_0 + 1,000(\text{mm})$

$(L_1 - L_0)$ 散氣部寬約為500~1,000mm

$L_0$ ：接觸材寬 $\leq (0.4 \sim 0.75)H_1$

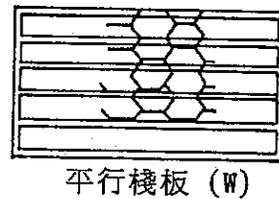
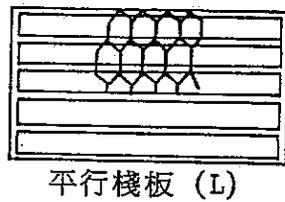
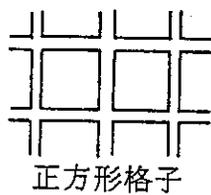
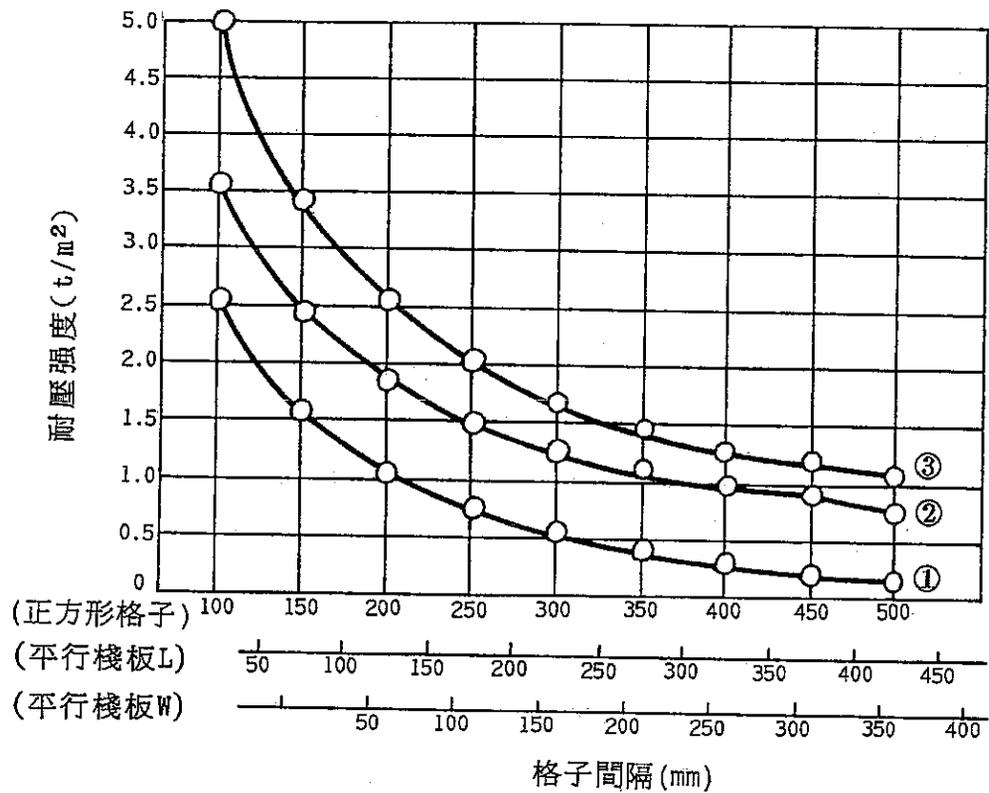
接觸材佔曝氣槽容積比55%以上

圖4.6 曝氣槽之形狀及接觸材填充方法

### 4.2.3 架台

接觸材支撐架台之設計，依接觸材料之種類而異。而對於反應槽內支撐蜂巢管所設置之架台，為免妨礙水流，以格子狀為宜。

使用蜂巢管時，蜂巢管的耐壓強度，依格子的間距而異，以 6mm 的平鋼，做成的正方形格子，格子的間隔和耐壓強度之關係示如圖 4.7。又平行棧時之間隔為正方形間隔的 1/2，則其耐壓也同樣可求出。



- ① : V-75-350 ② : V-20-120, V-30-180, V-50-280  
 ③ : V-13-100 (棧板厚)

圖 4.7 接觸材支撐之格子間隔所形成之耐壓強度

蜂巢管本體雖很輕，但於生物膜附著後會增加重量，而當水槽內滿水時並無問題，但當槽內的水放空時，所有生物膜的重量將加諸於蜂巢管最下端的管面及格子上，此時蜂巢管壁面之附著生物膜厚度和重量之關係可以下式表示：

$$W=4,000(C-t) \cdot \frac{t}{C^2}$$

式中，

W：附著生物膜(kg/m<sup>3</sup>)

t：附著生物膜厚度(mm)

C：蜂巢管之淨間距(mm)

若以表3.2 之V-20-120之蜂巢管，以3層堆置，其平生物膜厚度為2mm時，則其重量為：

$$W=4000 \times (20-2) \times \frac{2}{20^2} \times 3 = 1140 \text{kg/m}^3$$

則支持格子之間距及應具有之耐壓強度，由圖4.7 查知可用正方式間距400mm。

### 4.3 處理特性

#### 4.3.1 設計負荷

接觸曝氣法因不像活性污泥法需操作控制曝氣槽中的MLSS濃度，因之操作較簡單，但相對的因不能控制，故在設計更應特別注意。

BOD負荷包括有曝氣槽容積之BOD容積負荷、接觸材料容積之BOD負荷及接觸材面積之BOD面積負荷。由於接觸材料之形狀並不一定，因此一般設計都以單位曝氣槽容積BOD負荷設計之。惟接觸曝氣法乃附著於接觸材料表面之微生物來處理基質，因此其評估仍以單位接觸材料容積之BOD容積負荷及單位面積之BOD面積負荷較為適當。

##### 1. BOD容積負荷

$$Lv=1000 \cdot \frac{Q \cdot Bc}{V}$$

式中，

Lv：BOD容積負荷(kg/m<sup>3</sup>·d)

Bc：進流水BOD濃度(mg/l)

Q：進流量(m<sup>3</sup>/d)

V：接觸槽容積(m<sup>3</sup>)

## 2. BOD面積負荷

$$L_s = \frac{Q \cdot B_c}{A}$$

式中，

$L_s$ ：BOD面積負荷 ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ )

$A$ ：接觸材表面積 ( $\text{m}^2$ )

各種接觸材料之設計負荷，依其比表面積、接觸材料內之循環水流速、供氧量及曝氣槽形狀、填充接觸材料等條件之不同，其BOD負荷與去除率也異，因此應依據模廠實驗操作後決定之為宜。

依據以蜂巢管接觸材料及繩狀接觸材料之操作條件比較如下：

1. 蜂巢管接觸槽：材料間距20mm，比表面積 $220\text{m}^2/\text{m}^3$ ，接觸槽面積 $0.49\text{m} \times 0.48\text{m}$ ，高度0.89m內，填充材料容積 $0.21\text{m}^3$ ，表面積 $46.1\text{m}^2$ 。
2. 繩狀接觸槽：為以細絲呈放射狀配置，正方形 $0.48\text{m}$ ，高 $0.9\text{m}$ 之框上以 $0.8\text{m}$ 長的繩系等間隔裝設於接觸槽內，設置條數第1段接觸槽為121條（每條 $40\text{mm}$ 間隔），第2段接觸槽81條（每條間隔 $50\text{mm}$ ）。

經由家庭污水進行處理操作結果，示如圖4.8，2段處理水之BOD去除率和BOD容積負荷在 $0.24 \sim 0.4\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 之範圍內蜂巢管為 $94 \sim 98\%$ ，R.L.則大部份為 $92 \sim 95\%$ ，蜂巢管的處理效果稍高些。而各種材料之第1段處理水，則呈現當負荷上升、去除率下降的傾向之不規則狀。

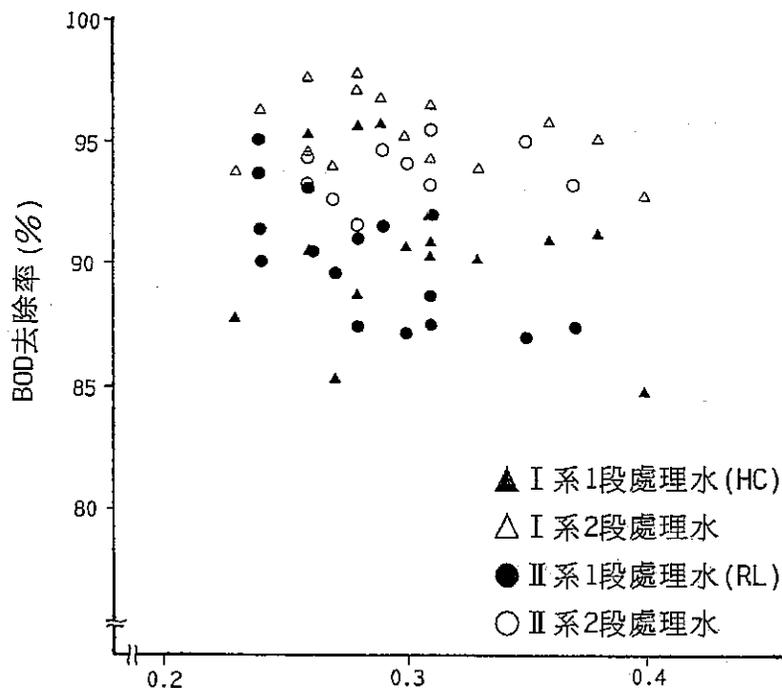


圖4.8 BOD負荷與BOD去除率之關係(20~27°C)

圖4.9及圖4.10爲R.L接觸材料，其水溫和 BOD去除率之關係圖及處理水 BOD與負荷之關係，由圖上可看出水溫的影響並不大之結果。

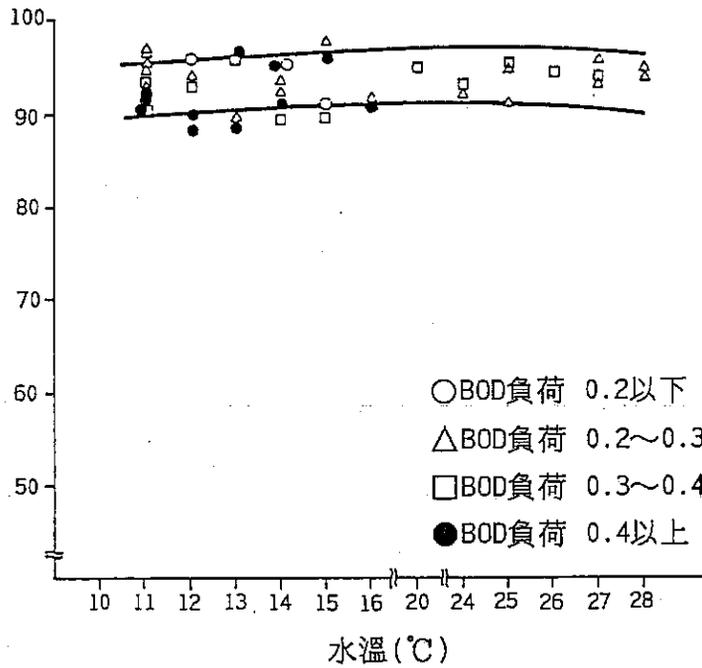


圖4.9 水溫與BOD去除率關係(R.L)

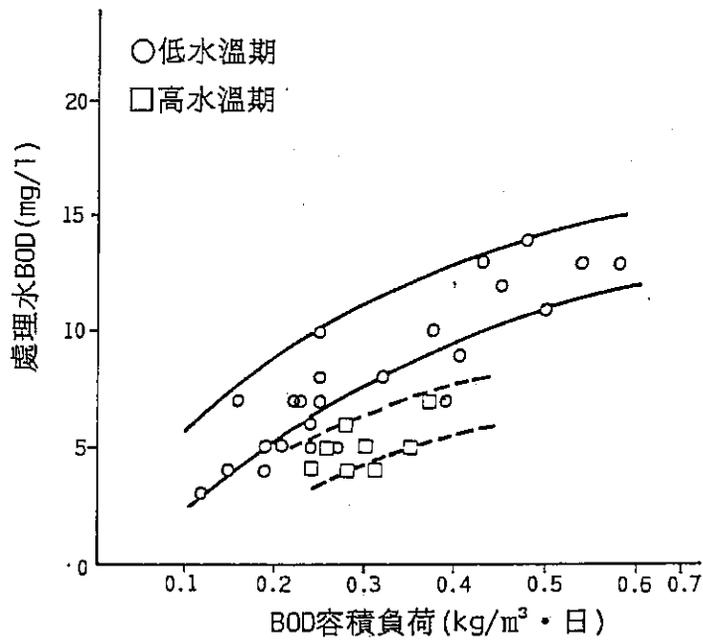


圖4.10 BOD負荷與處理水 BOD(R. L)關係

由實驗顯示，以蜂巢管接觸曝氣法，在水溫 $20\sim 27^{\circ}\text{C}$ ，平均 BOD容積負荷 $0.2\sim 0.4\text{kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，停留時間 $6\sim 8$ 小時下，處理水平均水質可達 BOD： $3\sim 4\text{mg}/\text{l}$ （去除率 $94\sim 98\%$ ），SS： $2\sim 6\text{mg}/\text{l}$ 。

若繩狀接觸材料，在同上之負荷條件下，其處理水水質為 BOD： $5\sim 6\text{mg}/\text{l}$ （去除率 $92\sim 95\%$ ），SS： $4\sim 5\text{mg}/\text{l}$ 。

#### 4.3.2 污泥產生量

污泥產生率在 BOD容積負荷為 $0.1\sim 0.6\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 下，約為SS去除率的 $50\sim 70\%$ ，BOD去除率的 $70\sim 80\%$ ，其剩餘污泥之 VSS約為 $62\sim 73\%$ 。

### 4.4 曝氣量

由於接觸曝氣槽之構造很多，曝氣所需空氣尚無法如活性污泥法一般已有確立之計算法，而應藉水工實驗探討均勻曝氣所需空氣量。

最重要而需加注意的是廢水流經接觸材料時之流速，因一般水流在接觸材內部較在外部流速容易減少，流速慢則生物膜積厚，容易造成阻塞，故所需空氣量一般要較活性污泥法為大，在有效水深為 $2\sim 3$ 公尺時，其曝氣強度應為 $2\sim 3\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{hr}$ 。

充填部之流速，依有效水深、接觸材充填部與曝氣部之面積比、槽容積、形狀、接觸材料之種類而異，通常為 $3\sim 10\text{m}/\text{min}$ 左右，平板或浪板則應有 $6\sim 10\text{m}/\text{min}$ 分之速度。

接觸曝氣法之操作，應維持槽內溶氧在 $1\text{mg}/\text{l}$ 以上為宜。

#### 4.4.1 三級處理

三級處理之有機負荷顯較二級處理為低，但相反的其流量負荷則較大，因之阻塞可能性也較低。選用對於SS之捕捉力較佳之接觸材料，可節省最終沉澱池，也可以砂濾或微篩機替代之，以提高處理水質。

三級處理用之接觸材料，可採用粒徑（或間距）較小者，並於適當時期反沖洗之，反沖洗水則迴流至初級處理或二級處理設施之前再行合併處理，如圖4.11所示。

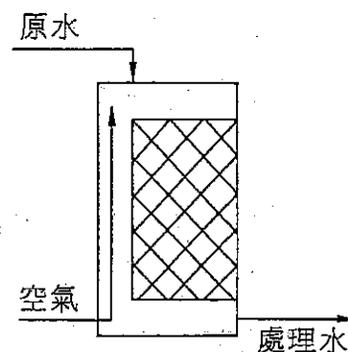


圖4.11 三級處理之接觸曝氣裝置

#### 4.4.2 二級處理

##### 1. 標準流程

接觸曝氣槽分 2~3 段，第 1 槽取較大的容積，愈後段愈小，以達負荷之平均。接觸材料以各段皆不易阻塞者為宜，惟前段較易阻塞，因此愈前段其粒徑或間隔採愈大者為宜。也有採不同的接觸材料予以組合以達上述目的。最終沉澱池原則上應予設置，但若採用 SS 捕捉力高之接觸材料，且能定期清洗者，也可省略之，如圖 4.12。

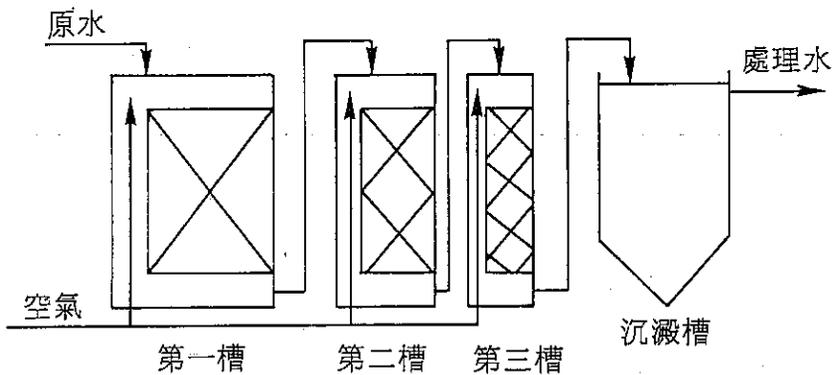


圖 4.12 多段式二級處理程序

##### 2. 中間沉澱池方式

如圖 4.13，為於兩接觸曝氣槽之間設置沉澱池。而第 2 接觸槽之後可不設置沉澱池，其考慮則與三級處理相同，由於其流入水之 SS 及有機負荷小，而有阻滯問題也可與三級處理相同方式處置之。至於第 2 接觸曝氣槽，則為補充二級處理者。

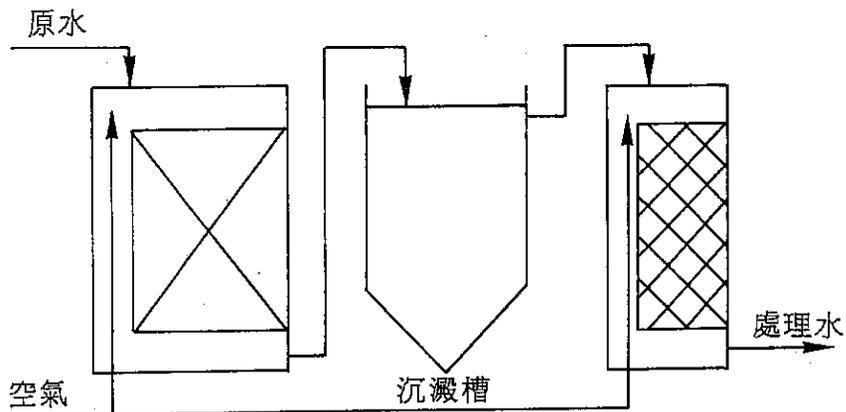


圖 4.13 中間沉澱之二級處理程序

### 3. 輪流全面曝氣方式

輪流全面曝氣方式示如圖4.14，散氣管設在接觸材料的底端，而將散氣管區分為數小系統，藉自動控制，由下端之一側向上散氣，再由另一側由上向下流，並以定時器控制，以一定時間再以相反方向輪流曝氣之設施。

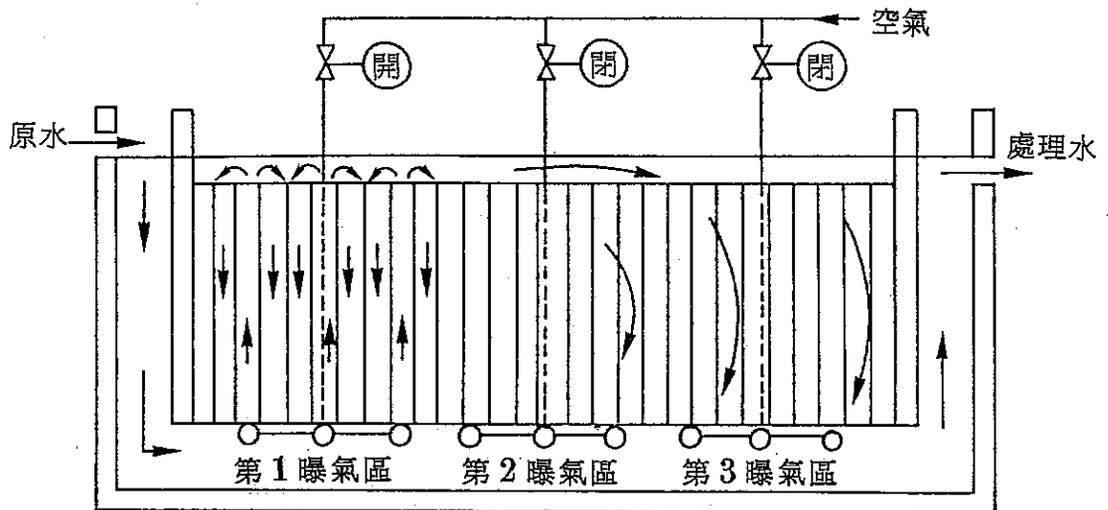


圖4.14 輪流全面曝氣方式之構造

這種於接觸材料底端輪流曝氣，而使接觸材內呈亂流狀況之處理方式，因廢水與生物膜表面具高效率之接觸，得以頻率置換，而使得生物膜不會生長得很厚，就行剝離，可以維護較高的生物活性，因此去除率也高。

本法與單純全面曝氣法不同點在於散氣部份採輪流散氣，因此在曝氣點可充分曝氣，且因可任意輪流更換曝氣部循環調節操作，故可從低負荷至高負荷較廣範圍的操作，也因可輪流改變水流方向，而不會覺得單調。

本法之操作水流示如圖4.14，其水流流向依分區曝氣而異。

- ①當第①分區曝氣，②及③區之水流方向，如圖4.14。
- ②當第②分區曝氣則水流流向①及③分區。
- ③當第③分區曝氣時，水流則流向①及②分區。

本曝氣方式之分區數可依負荷狀態選擇 1個至數個。此種曝氣為廢水由上游流入，逐次向下游流出，所剝離的污泥也逐次向下游移動，而與處理水流出，因此並不需要特別的排泥操作。

## 第五章 設計方法

### 5.1 模廠實驗設計法

廢水處理設計，即使再有經驗，也並不一定能達到目標水質。由於各種廢水各有其特性，因此若不經模廠實驗，難期有適當負荷的設計。

一般表示廢水處理性質之參數為 BOD 去除係數  $K$ ，該值與廢水的種類及裝置的特性有很大的關係，因此可藉實驗求出各廢水之參數，據以做為設計之參考，其計算式為：

$$\ln\left(\frac{L_e}{L_0}\right) = -kt \quad (5.1)$$

$$V = \frac{Q \times t}{24} \quad (5.2)$$

$$B = \frac{L_0 \times Q}{1000V} \quad (5.3)$$

式中，

$K$ ：BOD 去除率係數 ( $\text{hr}^{-1}$ )

$L_0$ ：原水濃度 ( $\text{mg/l}$ )

$L_e$ ：處理水濃度 ( $\text{mg/l}$ )

$t$ ：接觸反應時間 ( $\text{hr}$ )

$V$ ：蜂巢管體積 ( $\text{m}^3$ )

$Q$ ：流量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$B$ ：BOD 負荷量 ( $\text{kgBOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ )

實例 1. 水產加工區之廢水處理條件如次：

計畫廢水量：1,000 $\text{m}^3/\text{d}$

原水濃度（加壓浮除處理）：BOD 750 $\text{mg/l}$

處理水 BOD：50 $\text{mg/l}$

處理方式：兩系統 3 段式生物接觸曝氣法（傳統法）

接觸材料：第 1 段蜂巢管 200 $\text{m}^3$  - 淨距 30 $\text{mm}$

第 2 段蜂巢管 200 $\text{m}^3$  - 淨距 20 $\text{mm}$

第 3 段蜂巢管 200 $\text{m}^3$  - 淨距 20 $\text{mm}$

接觸槽：140m<sup>3</sup>×6槽

送風量：40m<sup>3</sup>/分

操作狀況：

操作後兩年間的處理結果，原水 BOD1300mg/l，流量650m<sup>3</sup>/d，BOD量達845kg/d高於設計值，但處理水BOD仍可達50mg/l以下，但並不容易，其後因 BOD量高至1400kg/d，乃修改為分區全面曝氣法，也即將第 1段改為分區曝氣。

而其BOD 負荷及處理狀況示如表 2。處理量為平均 600m<sup>3</sup>/d，接觸槽水溫為 16~22℃，BOD去除係數各段為：

第 1段槽  $K_1=0.19$  1/hr

第 2段槽  $K_2=0.12$  1/hr

第 3段槽  $K_3=0.06$  1/hr

平均  $K=0.12$  1/hr

至於去除率的第 1 段送風量為20m<sup>3</sup>/分，去除 BOD量依原來曝氣法為644kg/d，空氣量1m<sup>3</sup>去除25g BOD量，但用分區法曝氣則1m<sup>3</sup>可去除39g，約為 1.6倍。

另產生污泥量為22.5m<sup>3</sup>/d，含水率98%，則污泥轉換率為

$$\frac{22.5\text{m}^3/\text{d} \times 0.02 \times 10^3}{1368\text{kg}/\text{d}} = 0.33$$

也即去除單位BOD 量之污泥轉換率0.33。

實例 2. 生活污水處理合併淨化槽的三級處理設計條件如次：

進流量：360m<sup>3</sup>/d，BOD負荷 0.23kg/m<sup>3</sup>·d

進流水：BOD30mg/l，BOD負荷 18kg/m<sup>3</sup>·d

放流水BOD：10mg/l

送風量：1.5m<sup>3</sup>/min

接觸槽容積：76m<sup>3</sup>

接觸材容積：46.5m<sup>3</sup>

蜂巢管淨距：m<sup>3</sup>

處理結果

接觸負荷BOD 0.25kg/m<sup>3</sup>·d下，放流水BOD 8mg/l。

## 5.2 圖解法

同一種類之廢水有其固定性質，設計負荷之決定雖有賴個別的處理實驗，但依據既有的資料，整理出圖解法如圖5.1，可提供做為判斷之參考。

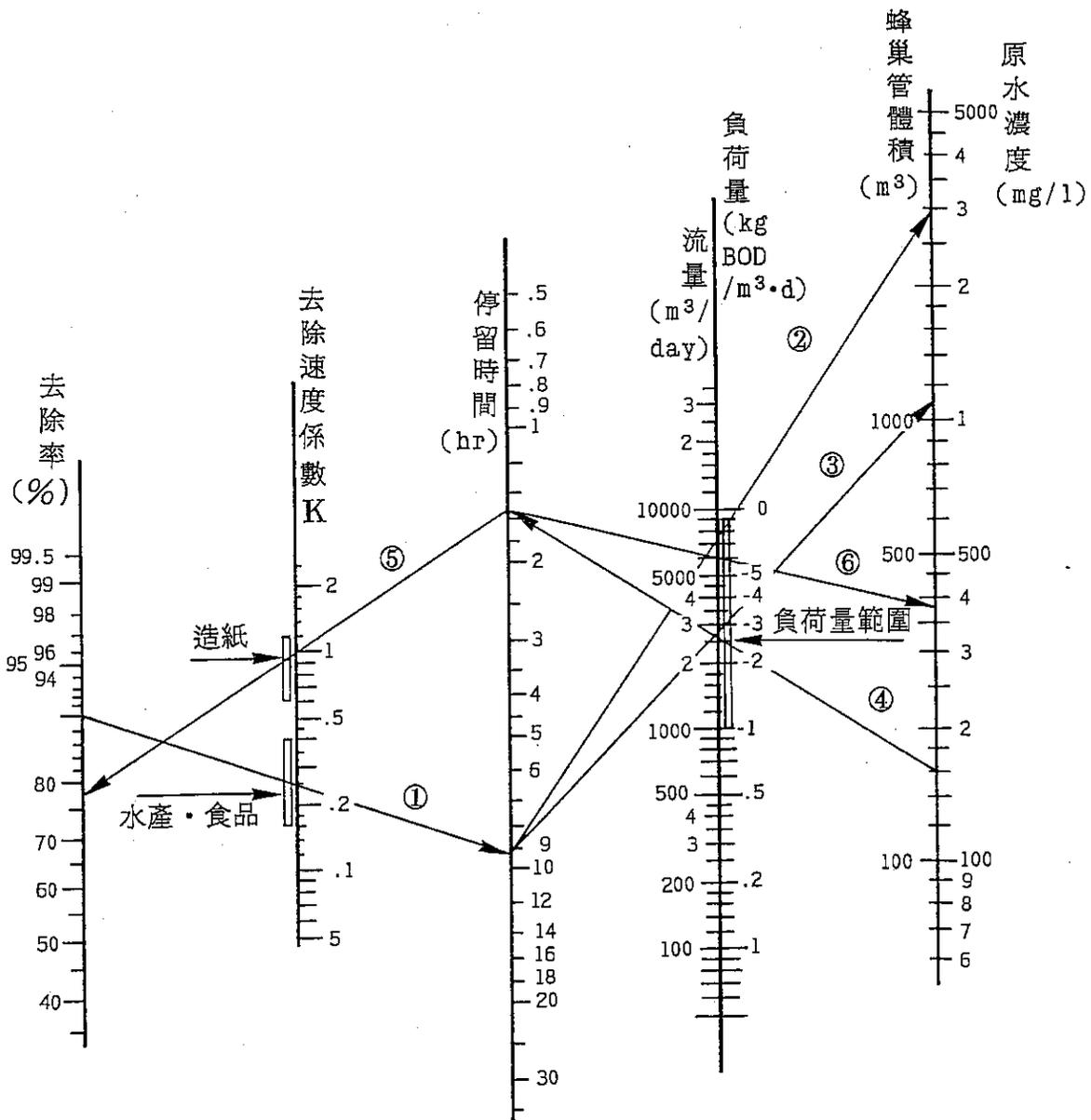


圖5.1 接觸曝氣法圖解設計法 (N. J公司, HC接觸材)

實例3. 水產加工廢水BOD<sub>3</sub>,000mg/l, 欲處理至300mg/l, 若廢水量每天3000m<sup>3</sup>, 則曝氣槽之體積若干?

依據圖5.1, 此廢水之去除率為90%, 由圖讀出水產加工廢水之K 值假設為0.25, 則由去除率與K 值引一直線①至停留時間得9.2 hr, 並由該點引一直線②至原水濃度3,000mg/l 之處, 其與 BOD負荷相交會點為8kgBOD/m<sup>3</sup>·d。再由停留時間9hr與Q=3000m<sup>3</sup>/d引一直線③至蜂巢管體積V得1.150m<sup>3</sup>, 則曝氣槽容積為:

$$V = \frac{1150}{0.8} = 1.438\text{m}^3$$

實例4. 造紙廢水之BOD 濃度為160mg/l，負荷量2.5kg BOD/m<sup>3</sup>·d，若廢水量6,000m<sup>3</sup>/d，則處理水濃度可達多少？

連Lo=160mg/l與B=2.5kg BOD/m<sup>3</sup>·d 引一直線④得t=1.5hr。假設造紙廢水的K 值為1.0，引直線⑤得去除率為78%，則處理水濃度Le為35mg/l。蜂巢管量由t=1.5hr與Q=6,000m<sup>3</sup>/d引一直線⑥得體積V=375m<sup>3</sup>，則曝氣槽容積為：

$$V = \frac{375}{0.8} = 469\text{m}^3$$

## 第六章 操作管理

### 6.1 反沖洗

傳統接觸曝氣法最大的操作問題為阻塞，因此反沖洗為首要工作。

#### 6.1.1 反沖洗之必要性

在二級處理之設施，雖在一般設計負荷 $0.4\sim 0.5\text{kg BOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，充填率 $50\sim 60\%$ 之條件下，幾乎剩餘污泥很少，也不至於有生物膜過份蓄積造成阻塞之問題。但為維持生物膜之生物代謝機能，則必須能達到接觸材內均勻的循環接觸，若能適時且適當的反沖洗，去除部份過於肥大的生物膜及附著的固體物，則將具有很大的效果。

至於非以去除SS及 BOD為目的三級處理，於SS之捕捉達到飽和點之前有予以反沖洗之必要。

#### 6.1.2 反沖洗的時機

反沖洗為在必要時機之前，進行定期適度的反沖洗，以免處理效率降低。

在一般日常管理中，發現有下列現象時，應即進行反沖洗。

1. 曝氣槽內接觸材上之水位上升。
2. 曝氣槽內SS之濃度增加。
3. 曝氣槽內有黑色異味之SS出現，感覺上為厭氧臭氣。
4. 曝氣槽內呈現氣泡，處理水的透視度下降。
5. 氣升曝氣在曝氣部之水位上升。

#### 6.1.3 反沖洗方法

##### 1. 反沖洗概要

一般反沖洗皆以空氣行之。反沖洗通氣管皆設置於接觸材料之下，管之間隔為 $150\sim 300\text{mm}$ ，空氣噴出口直徑 $3\sim 5\text{mm}$ （負荷高時可大些），且能均勻散出最為重要。送氣管之分支管的距離以不太長為宜。

三級處理者也可不設置反沖洗送風設備，而將曝氣設備的操作條件予以改變，使其達成衝擊流，以使多餘污泥量剝離，惟其剝離污泥量較設置反沖洗者少。



## 2. 反沖洗送氣時間

反沖洗送風可使用曝氣用之空氣，一般反沖洗15分鐘，惟應視污泥剝落狀態調整之。

## 3. 反沖洗操作程序

反沖洗之操作依其為二級處理或三級處理、負荷條件、有無沉澱槽、處理水質、附屬設備狀況，而分有兩種操作程序：

### (1) 自曝氣槽直接排除反沖洗污泥者

停止流入原水→停止曝氣→切換送風閥→反沖洗→污泥沉澱濃縮→排泥→原水引入（至平常水位）→曝氣（約30~60分鐘）→原水繼續引入

採用本法時由於排泥會使曝氣槽的水位降低，致增加接觸材料架台的載重，故設計施工時應加注意，以全槽能均勻反沖洗為宜。

### (2) 自沉澱槽排除反沖洗污泥者

停止流入原水→停止曝氣→切換送風閥→反沖洗→曝氣，原水連續流入→反沖洗污泥排入沉澱槽

採用本法時，其污泥之排出約需 1~ 2日，曝氣槽在此期間SS較多，處理水之SS濃度也較高，惟為半連續操作，故較上述直接自曝氣槽排泥者為簡便。

## 4. 反沖洗效果

將三種不同接觸材料進行反沖洗實驗，其狀況如次：

### (1) 實驗用接觸材料

- ① 立體網狀接觸材料（方柱狀）
- ② 不定形多孔塑膠成形材料
- ③ 其他接觸材料（球狀天然物）

### (2) 實驗條件

曝氣槽容量160l，充填材料100l，連續引入合成污水（BOD 150mg/l），上述之接觸材①以 $0.53\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ，②以 $0.24\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 之BOD 負荷條件下操作，經一個月後，生物膜已達充分安定狀態後，自接觸材下部予以曝氣反沖洗，量測污泥剝離率，剝離率為附著總污泥量中反沖洗所剝離污泥量之比。

### (3) 實驗結果

實驗結果如圖6.1，顯示各種接觸材之剝離率不同。

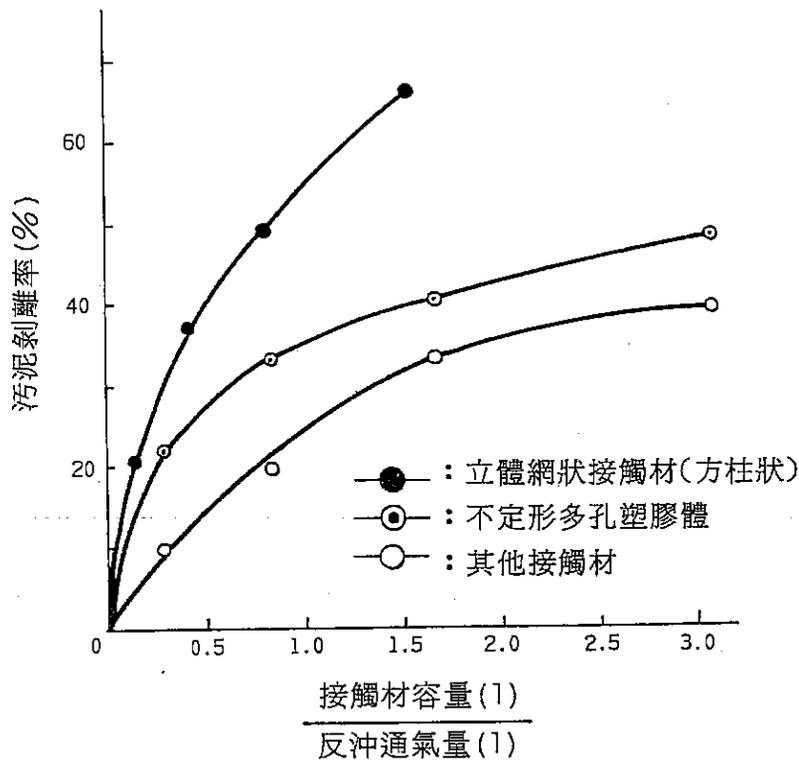


圖6.1 各種濾材反沖洗污泥剝離率

## 6.2 接觸曝氣法之問題

接觸曝氣法之優缺點已詳述於2.3節，在此不再贅言，惟對於其缺點再予以列舉，以為操作管理之重點：

1. 設施之機能不易藉操作調整及管理補救。
2. 微生物量無法任意且不易調整。
3. 生物膜過度蓄積會造成阻塞，剝離、脫落時會導致水質惡化。
4. 大形生物的大量產生，會造成生物膜在短時間內大量的脫落、流出，致處理水水質極度惡化。

以上的問題並不是不能克服，由於接觸曝氣法乃開發中之一種處理技術，有待未來的研究開發及施工技術的進步，以及設施之操作管理技術克服之。

## 6.3 操作管理上應注意事項

在現階段如何盡可能設法減少其問題點，而發揮接觸曝氣法之優點，則日常的操作管理必須特別注意下列事項：

### 6.3.1 原水

1. 本法雖被認為較能承受負荷之變化，但在可能範圍內以維持均勻流量及水質處理為宜。
2. 原水中的有機、無機固體物應先予篩除，尤其是纖維狀固體物容易造成接觸材料之阻塞，更應注意。
3. 維持N、P的平衡，不足時應予添加，尤其工業廢水原水水質之變化大時，應加以注意。

### 6.3.2 曝氣槽

1. 經常觀察曝氣槽內的狀態（色澤、發泡、臭氣、懸浮污泥等）及曝氣狀況，如有所異常時應詳加注意並採取對策（如反沖洗等）。
2. 送風量突然增大，會造成生物膜的剝離，欲增加送風量時應緩慢為之。
3. 採直接自曝氣槽排出反沖洗污泥者，由於附著污泥會增加接觸材架台的載重，故應適當之反充洗之。尤其是當內的水排空時，應隨著水的排出自上方以壓力水噴洗之，使附著之污泥得以充分剝落。

### 6.3.3 沉澱槽

1. 與曝氣槽相同應經常注意觀察，如有不正常即行採取對策。
2. 通常操作管理時應注意避免污泥過量貯存，浮渣的排除等，以防止腐敗溢流之現象產生。

## 參考資料

- (1) William, K. and McCarty, P.L., Journal WPCF 48, 1976。
- (2) 岩井重久等，生物膜法，日本産業用水調査會，1980年11月。
- (3) 洞沢勇等，生物膜法，思考社，1982年 1月。
- (4) 北尾高嶺等，用水と廢水，日本産業用水調査會，1981年 4月。
- (5) 日本下水道事業團技術開發部，接觸酸化法による下水の2次處理 に関する技術調査，1986年 2月。
- (6) 歐陽嶠暉，接觸曝氣法處理特性，第六屆廢水處理技術研討會論文集，70年 9月。
- (7) 應堅聖、歐陽嶠暉，接觸曝氣法預先處理受污染自來水原水之研究，第四屆自來水工程技術研討會論文集，76年 9月。
- (8) 林繼富、歐陽嶠暉，懸浮生物膜活性污泥法之基礎研究，第十二屆廢水處理技術研討會論文集，76年 9月。
- (9) 龜田清、中川正雄、生物學的水處理法と充填物, New Food Industry Vol.17. NO.5。
- (10) 小島貞男等，ヘニコームチューブを用いた新しい生物處理法，用水と廢水，Vol.27, No.9, 1985。
- (11) 日本水道協會，濁水對策指針，1984年 7月。