

攪拌機在污水處理上之應用

陳正忠*

一、前　　言

攪拌機在污水處理過程中常扮演著小兵的角色，主要是因為其不會對處理結果有重大影響，也因而造成一般污水處理工程的規劃、設計者，較不重視攪拌機正確功能的選擇，然而小兵也常扮演著重要的角色，因為攪拌機若能發揮其應有的功能，往往可促使其後續污水處理能發揮其正常功能。

污水處理場中，攪拌機的應用場合有調勻槽、pH調整槽、凝聚反應槽及膠羽形成池等，其主要目的包括槽內液體濃度的均勻化、藥品之溶解、中和及氧化、凝聚化學反應之促進等，而能達到攪拌目的有三種方式，即機械式攪拌、空氣式攪拌及泵浦循環式攪拌等。本文僅探討機械式攪拌機及其相關設施的設計原則、選用標準及注意事項。

二、攪拌機型式

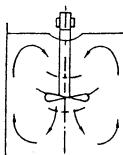
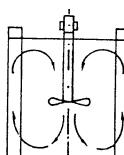
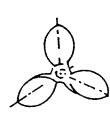
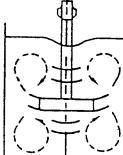
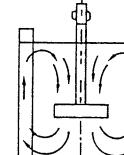
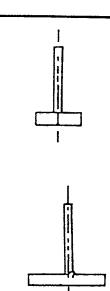
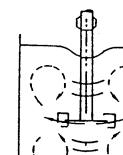
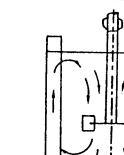
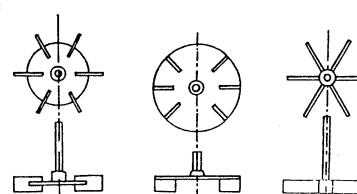
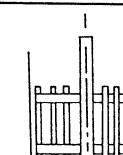
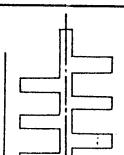
使用於污水處理的機械式攪拌機依外形構造可分為螺旋槳式、槳板式、輪機式及其它式等四大類，其概要說明、用途及外形圖等請參見表1所示。其中螺旋槳式、槳板式及輪機式等三種型式的攪拌機，約可解決95%以上之液體攪拌之問題。而依液體經葉輪攪拌而流動的方式來分，可分為徑流式及軸流式兩種。茲將上述各種型式攪拌機之功能、特性，以及軸流式或徑流式攪拌機之選用狀況等說明如下。

2.1 螺旋槳式攪拌機

此種螺旋槳式攪拌機之構造簡單、成本低，因而廣為使用。此外，由於螺旋槳外形關係，其能將能量傳遞至液體的能力較低，因此為了傳送一特定的能量及抽送一特定的流量，其旋轉速度需要較高。其中以三葉片葉輪使用最普遍。由於葉輪直徑多小於18吋

*中鼎工程股份有限公司設備部副工程師

表 1 各種型式攪拌機之比較

攪拌方法	葉輪種類	概要說明	用途	外形構造示意圖
機 械 式	螺旋 槳型	(1) 隨著葉輪的旋轉，在旋轉方向發生強烈水流。 (2) 構造簡單，應用最廣。 (3) 旋轉速度100~1,800rpm。 一般使用200~360rpm。 (4) 標準型為三片葉輪。	pH調整槽 、凝聚反應槽、藥品槽	  
	槳 板 型	(1) 直角 型 (2) 傾斜 型 (3) 鐨型	(1) 直角型者隨著葉輪的旋轉之離心力，在葉輪半徑方向發生強烈水流。 (2) 傾斜型在軸方向及半徑方向發生水流。使用旋轉速1~200rpm。 (3) 鐒型適用於高黏度液體及需要熱傳表面。	  
攪 拌	輪 機 型	(1) 平槳 板式 (2) 圓板 平槳板 (3) 開口 平槳板式	隨著葉片旋轉的離心力，於葉輪之半徑方向發生強烈的水流。 一般使用旋轉速1~200rpm	  
其 他	(1) 門型 (2) 熊手 型	使用於膠羽之形成及高粘度溶液之混合。葉輪有各種形狀， 使用於旋轉速1~50rpm。	膠凝槽	 

以下，故在攪拌大容量深水槽時，可同時裝置兩個或兩個以上之葉輪，以增加其攪拌效果。此種攪拌機由於構造簡單、馬力小，因此也常設計成方便移動之攜帶式攪拌機。此種攪拌機一般以頂裝式 (top entering type) 應用為主，然而近年來也使用於側裝式 (side entering type) 安裝，其葉輪直徑也加大至 33.5 吋，由於轉速較高，因此較適用於低黏度液體之攪拌。此種攪拌機主要為軸流式攪拌機。

2.2 漿板式攪拌機

此種型式之攪拌機為攪拌機中最簡單的一種，平直漿葉裝置在旋轉軸上而成，一般分成雙漿葉及四漿葉兩種，其攪拌原理為當漿葉轉動時，液體由內向外推出到達容器壁，然後沿著壁向上或向下流動。錨型攪拌機適用於高黏度液體 (5,000~50,000cp) 及需要熱傳表面之應用，主要是因為其旋轉速較慢，而且其旋轉軸上的漿板可刮過容器底部的液體使其移動增快而增加熱傳導能力，但由於混合效果極差，通常和高速漿板式攪拌機組合使用。上述三種攪拌機之旋轉速度一般為 20~150rpm，葉輪直徑為容器內徑之 50~80%，漿板寬度為其長度的 1/10~1/6。此種攪拌機常使用於凝聚劑（如硫酸鋁或硫酸鐵）及助凝聚劑（如聚合電解質、石灰）加入廢水或泥漿中將其攪拌，以促進膠羽之形成。

2.3 輪機式攪拌機

輪機式攪拌機之葉輪直徑通常為容器直徑的 30%~50%，而對於粘度大小的適用範圍極廣，遇到低粘度液體往往產生強大的液流，歷久不散。圓板平漿板式葉輪用來溶解氣體於液體中，操作時，將液體由葉輪底部通過，分成許多小泡沫向四周散射而出，泡沫愈多，則氣體和液體接觸的表面積也愈大。

輪機式攪拌機適用於泥漿拌合槽，其外形較大，常以中等速度旋轉 (25~100rpm)，一般為徑流式攪拌機。

2.4 其它型式攪拌機

如門型、熊手型攪拌機乃由許多漿板組合而成，主要目的是使膠凝槽內之能量分佈均勻化，形成良好之膠羽。其攪拌方向一般以橫向為主，上下方向較少，為達充分凝聚效果，其流入位置於底部，流出口則設置於水面附近。凝聚形成的粒子通常在流速 9 cm/sec 以下發生沉澱，75cm/sec 以上時則被破壞，故應維持流速在 15~60cm/sec 之範圍。停留時間以 30~50 分鐘為宜。漿板之寬度為攪拌槽直徑之 80%~90% 左右，漿板之斷面一般為水路斷面之 10%~25%。

三、軸流式與徑流式攪拌機之比較與選用

在一定的速度及馬力下，軸流式葉輪直徑比徑流式葉輪直徑大，因此能抽送更多的液體。在大部分的情況下，較大的葉輪及較大的抽送能力能產生較佳的攪拌效果。所以軸流式攪拌機應用範圍甚廣。然而，有下列特殊的應用狀況，較適合徑流式攪拌機之應用。

1. 容器形狀適合於水平徑流者，或製程需要高剪力（擾流）作用者。
2. 在非常淺的容器（即葉輪上方的液體高度小於 1.2倍葉輪直徑），徑流式葉輪的攪拌效果最好。
3. 長方形容器及水平放置的圓形容器，較適合徑流式葉輪，因為其水平方向排出的水流比軸流式葉輪能達到更遠的距離，因此攪拌效果也較好。
4. 製程中葉輪放置在槽底上方小於30%葉輪直徑之處，則軸流式葉輪的垂直方式循環，將由於從槽底背壓的回應而有節流現象。此現象不僅減少了葉輪的有效性，而且在高馬力的馬達可能會引起軸的不穩定及振動，因此在此種狀況下，徑流式葉輪將是最佳的選擇。
5. 錐底角度比 15° 更陡的桶槽，軸流式葉輪傾向在錐頂產生漩渦，攪拌效果很差，而在此種狀況下，徑流式葉輪的攪拌效果非常好。
6. 在連續處理製程，特別是滯流時間非常短的地方，徑流式葉輪較不易引起短路情形。

四、容器形狀及葉輪擺置位置

容器之形狀及大小依處理過程之考慮而定。一般來說，在需要迅速混合之場合，垂直圓筒槽比方形槽或矩形槽更有效率。而葉輪在圓形筒槽的擺置位置及圓形筒槽的最佳形狀為 $Z=T$, $D/T=1/3$, $C=Z/3$, Z, T, D, C 之意義請參見圖1所示。而對於液面較深，需要兩片葉輪或多時，其距離最好在 $1\sim 1.5D$ 之間，以免距離太近或太遠皆會造成攪拌效果不佳。

從攪拌的觀點來看，具有碟形底的圓桶槽攪拌效果最好，平底槽次之，錐底槽的攪拌效果最差，而角度較陡的錐底槽是最不想要的。實際上，碟形底、平底及淺錐底最常用。而比 10° 更陡的錐底可能會有問題，若可能的話，比 15° 更陡的錐底應避免使用。

若因處理過程需要，必須使用方形槽，且水槽頂部尺寸比液體深度還大，則可使用一台或多台攪拌機側裝且緊鄰裝置於水槽側。若必須使用矩形槽，則攪拌機必須安裝於水槽之窄壁側。若必須使用高水槽，且頂裝式攪拌機又有極長軸時，則可以一台或多台側裝式攪拌機代替。

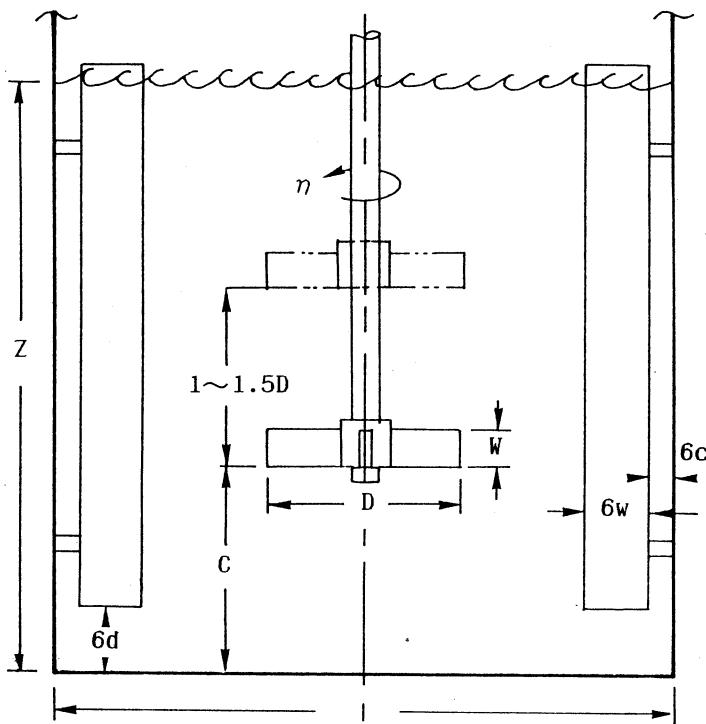


圖 1 頂裝式攪拌機示意圖

五、防止漩渦之方法

各利攪拌機在進行攪拌時，應儘量避免造成漩渦或整體移動之現象，主要是因為攪拌之功能在於相鄰液體間有不同速度始能有相互接觸混合之機會，而漩渦狀之流場將使相鄰液體平行運動，降低攪拌之效果。因此為了解決漩渦問題，一般若容器不大時，可將攪拌機裝置於偏離中心之處或斜向安裝（參見圖2），或由容器側壁伸入裝置（參見圖3）並略具角度以防止漩渦形成。但較常用的解決方法為沿槽壁內部裝置擾流板，以阻止液體整體旋轉，使之不會造成渦流。使用擾流板不僅可防止漩渦形成，而且還有下列優點：1. 有擾流板就可保証槽內所有的液體皆會通過葉輪區域，而得到最大的攪拌效果。2. 促使液體的流動模式符合製程需要。3. 使徑流式葉輪排出之徑流，產生所需要之垂直流。4. 改變液體流動從旋轉模式至混合模式。5. 顯著地改進攪拌機負載的準確度。6. 保証穩定、一致的動力輸出。7. 產生更均勻的徑向軸負載，因而允許可使用較長的軸。然而，使用過多或較寬的擾流板，其作用就像流體阻尼器一樣，會減少槽內液體的整體流動，以及阻礙旋轉運動。而使用較少或較窄的擾流板，將使槽內液體有更多的旋轉運動（即較大之切向質量流），但也減少了由葉輪將動力傳送至液體，因此減少了攪拌效果。那麼，要有多少個擾流板，以及其寬度需要多寬，才能達到最佳之攪拌效果呢？

由圖4可知，四片擾流板，擾流板寬度為圓筒槽直徑之1/12時，傳送至液體之動力可達到100%。因此設計擾流板之原則，以4~6片，寬度為1/12~1/10筒槽直徑為主。但隨著液體黏度增加，擾流板寬度或許可以減少，並且擾流板位置也需改變。舉例來說，液體的黏度在10,000cp(10Pa.sec)或更多時，擾流板位置可放在槽壁與葉輪之間的一半。而寬度可減少至圓桶槽直徑的1/24，參見圖5所示。對於攪拌方形槽及矩形槽而言，其擾流板之大小及佈置情形，參見圖6所示。而使用碟形底、半圓形底、淺錐底或中深錐底時，擾流板之大小及數目，參見圖7至圖10所示。對於水平放置的圓筒槽而言，其擾流板之佈置及大小，參見圖11所示，如筒槽較長，則使用較多之攪拌機，而擾流板之佈置情形及大小還是依照圖示之原則。為了防止固體顆粒物沉積在擾流板與槽壁交接處，在攪拌低黏度液體時，擾流板須遠離槽壁1/3擾流板寬度的距離，而攪拌高黏度液體時，擾流板須遠離槽壁1/2擾流板寬度的距離。擾流板之厚度不得小於6mm，而其受到水流之作用力，可由下列式子來計算：

$$F = \frac{10,500 \times HP \times DF}{B \times T \times N}$$

式中，B=擾流板數目

T=筒槽直徑（或兩擾流板外側間之距離），ft

HP=馬達馬力

N=葉輪轉速

DF=水力動負載係數，一般為2.0

此作用力假設集中作用在擾流板，而擾流板一般為從液面至槽底，因此可以利用此作用力找出適當的擾流板厚度。擾流板的支撐板須等距離的分佈至整個擾流板長度。

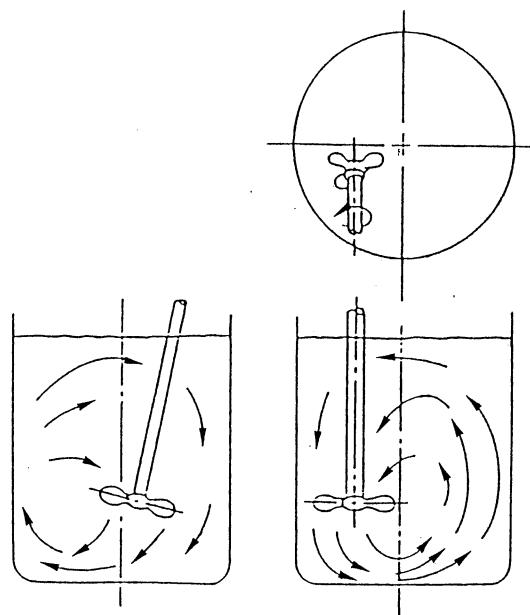


圖2 偏心裝置或斜向裝置

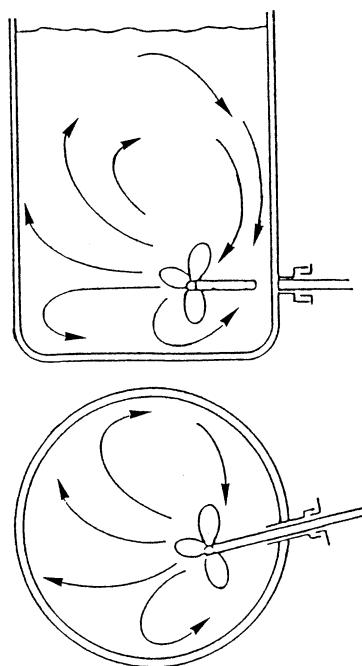


圖 3 側向裝置

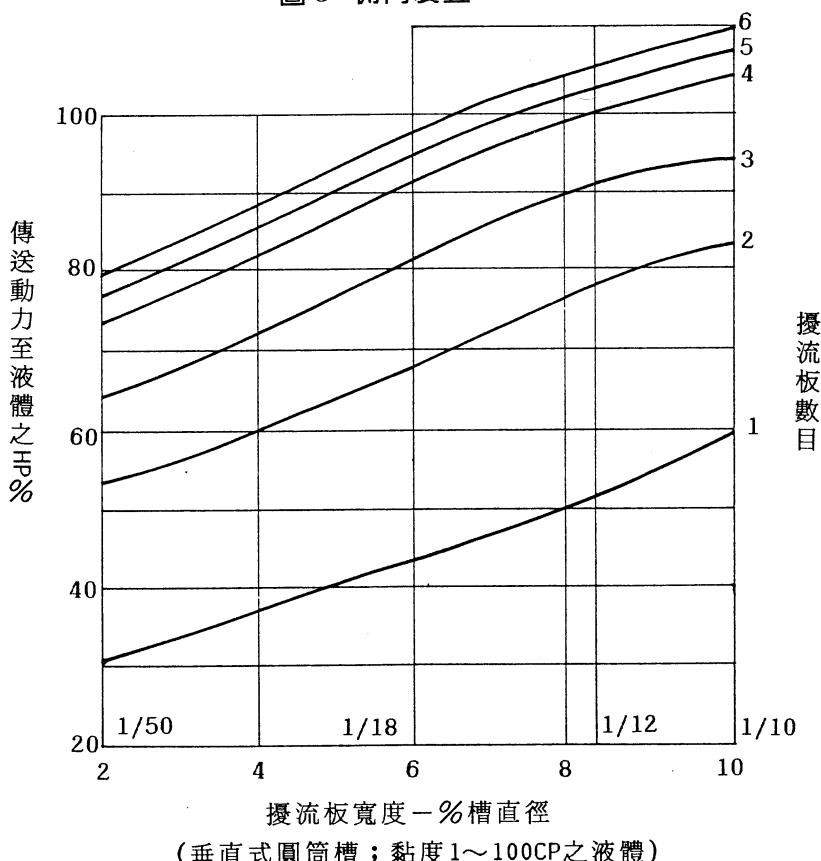


圖 4 最佳擾流體數目與寬度關係圖

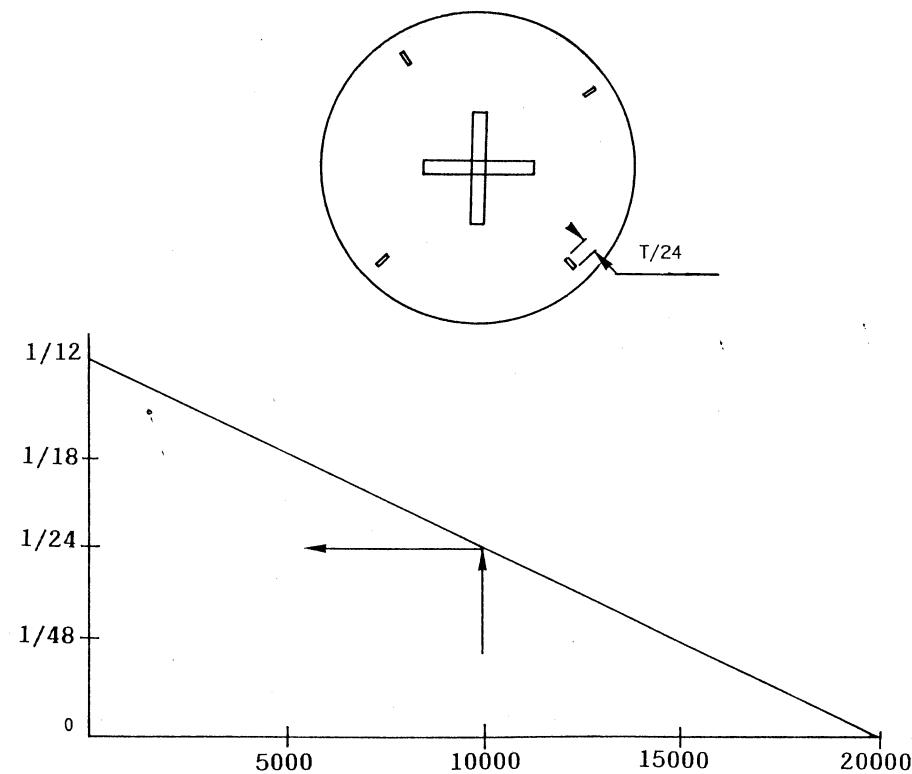


圖 5 攪拌高黏度液體之擾流板佈置及寬度

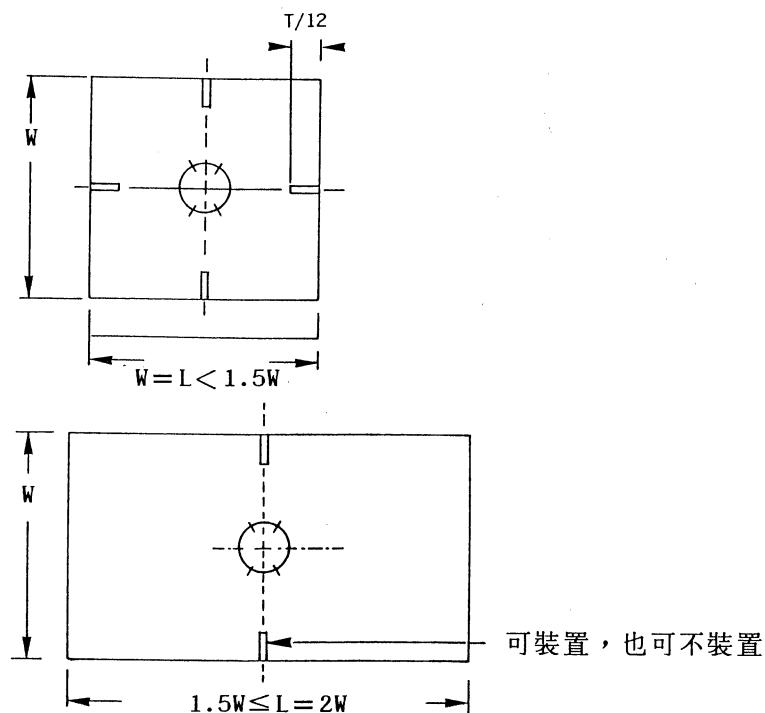


圖 6 方形槽及矩形槽內擾流板之佈置情形及大小

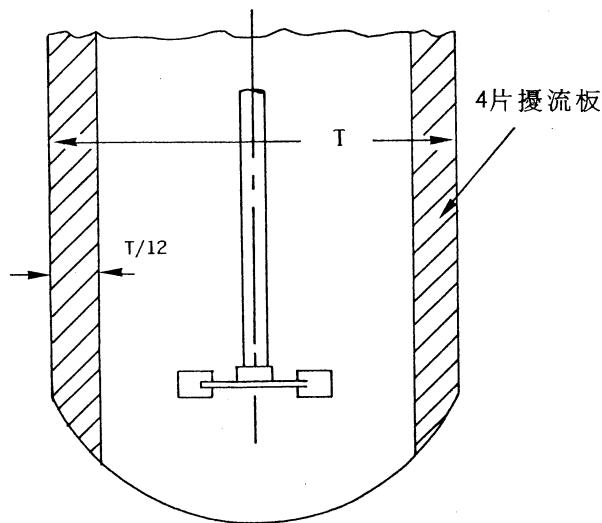
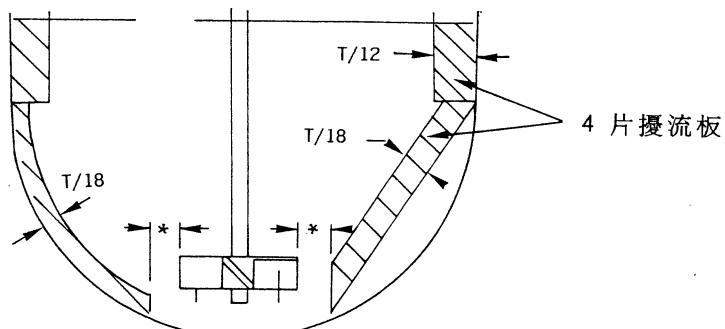
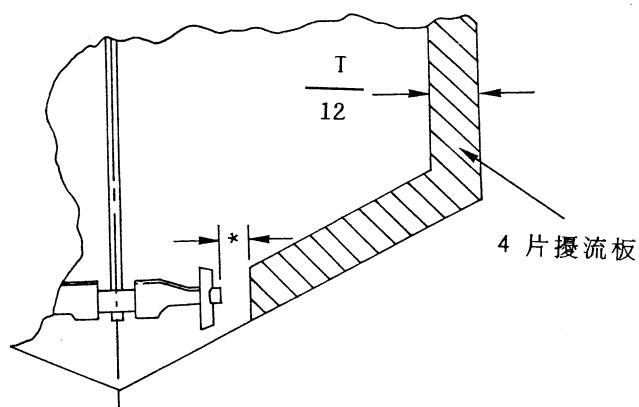


圖 7 碟形槽底之擾流板大小及數量



註：“*”尺寸推薦使用 150mm

圖 8 半圓形槽底之擾流板大小及數量



註：“*”尺寸推薦使用 150mm

圖 9 淩錐槽底之擾流板大小及數量

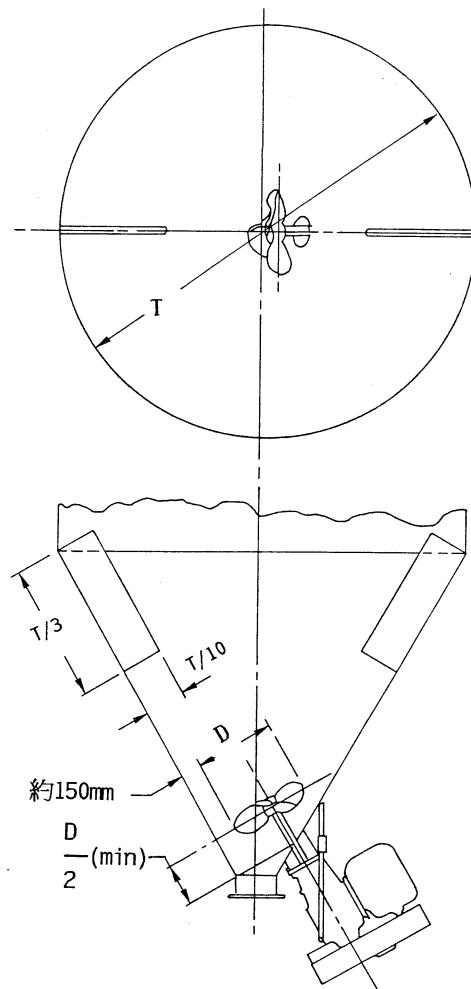


圖10 中錐槽底之擾流板大小及數目

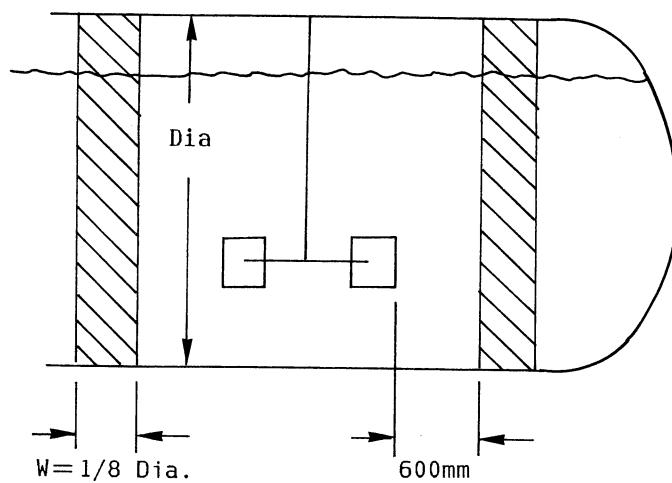


圖11 擾流板在水平圓筒槽內之擺置情形及大小

六、頂裝式與側裝式攪拌機之比較

在一定的馬力下，頂裝式具有較大之葉輪直徑以低速操作，因此有較大之抽送液體能力，以及較短的混合時間，其旋轉速一般為 30~100rpm，而側裝式則為 280~500rpm。由於在一定馬力下，頂裝式能產生最大的液流，因此可迅速完成混合作用。然而，在相同馬力下，需要在較高的扭矩操作，以及價格較貴是其缺點。一般而言，側裝式有較低的初期成本及容易安裝等優點，因此常被選用，而在容量非常大及非標準幾何形狀之容器，更是常用。側裝式攪拌機若要調勻容器內之液體，則其放置角度及旋轉方向非常重要，其放置角度如圖12所示，而其旋轉方向是從攪拌機背後看，應該是順時針旋轉。

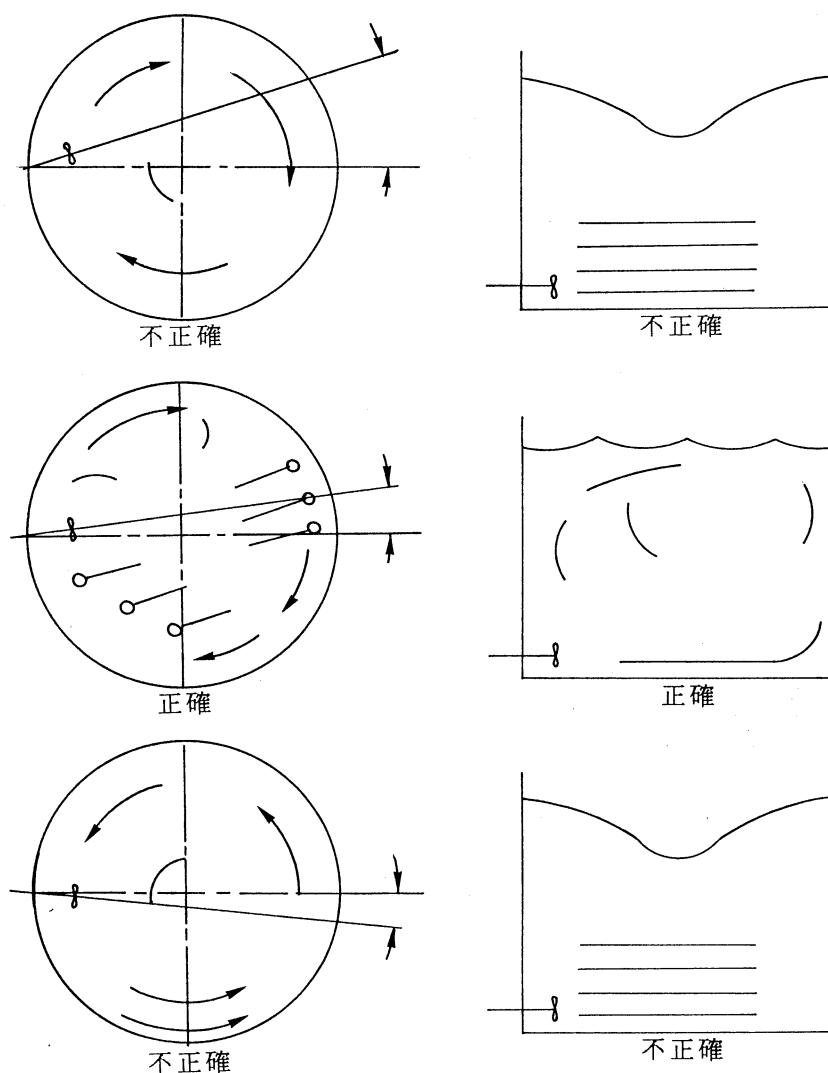


圖12 側裝式攪拌機安裝角度及旋轉方向說明

七、功率計算以及葉輪、擾流板與容器間之關係

由於攪拌液體所需之功率牽涉到葉輪形狀、容器形狀、葉輪在容器中之位置、擾流板之存在以及液流方式等多項複雜的變數，因此較難以理論的方式計算，但可配合實驗方式建立圖表，以及找出簡單的式子來計算出所需要的功率。下列式子及圖13與表2是一些攪拌機專業廠商計算攪拌所需功率之資料，希望藉著這些資料之說明以及演算，能幫助讀者了解攪拌所需功率。

$$P = Ne \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5$$

式中， P =功率，W

Ne =功率數

ρ =密度，kg/m³

n =轉速，rps

d =葉輪直徑，m

上式中之功率數與葉輪形狀、葉輪在容器之位置以及雷諾數、福祿數(Froude number)有關，可配合實驗方式，建立圖13及表2來找出其值，以便求得攪拌中所需功率。雷諾數 $Re = n \cdot d^2 \cdot \rho / \mu$ ，福祿數 $Fr = n^2 \cdot d/g$ ，上式中 μ 為動力黏度，Pa·s。雷諾數為慣性力與黏性力之比值，福祿數為慣性力與重力之比值。

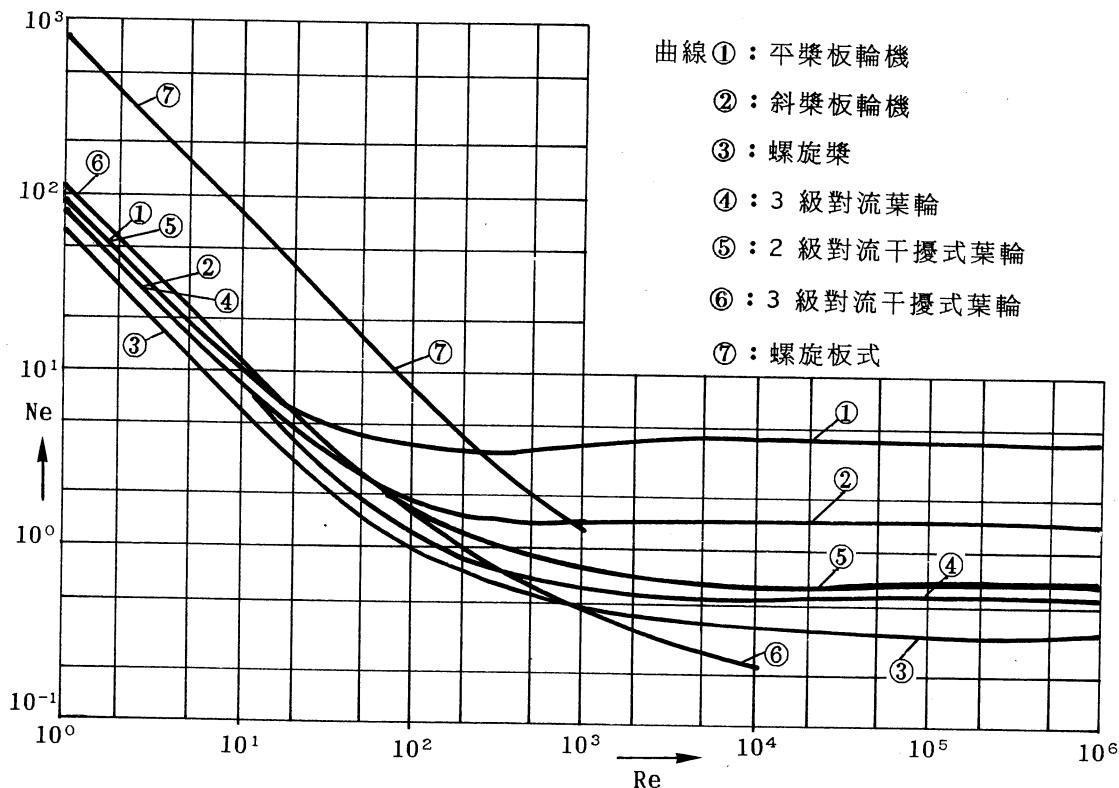


圖13 各種葉輪之功率數與雷諾數之關係

舉一例說明如何計算所需功率。

有一 20m^3 的容器，裡面裝有密度 $\rho = 900\text{kg/m}^3$ ，黏度 $\mu = 10\text{mPa.S}$ 之液體，需要使用直徑 $d = 900\text{mm}$ ，轉速為 $n = 25\text{rpm}$ 之螺旋槳葉輪來攪拌，則其所需功率為何？

$$\text{〔解〕 } Re = \frac{(250/60) \times 0.9^2 \times 900}{10 \times 10} = 3 \times 10^5 \text{ (紊流)}$$

從圖13得知， $Re = 3 \times 10^5$ 時， $Ne = 0.35$

因此 $P = 0.35 \times 900 \times (250/60)^3 \times 0.9^5 = 13,500 \text{ W} = 13.5\text{KW}$

葉輪、擾流板與容器之間的相關尺寸推薦值可參考表2。而各種型式之攪拌機應用於攪拌各種液體之黏度範圍，如圖14所示。

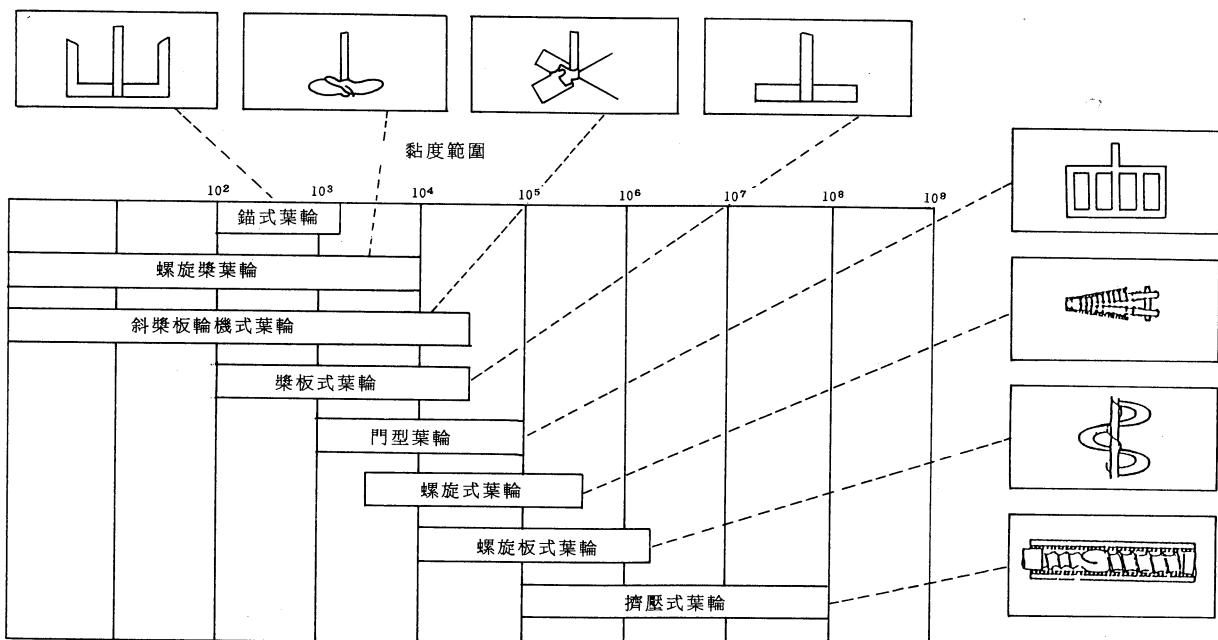
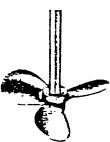
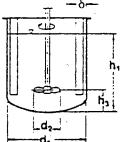
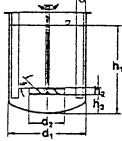
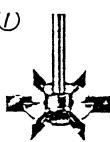
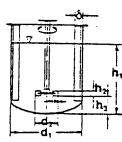
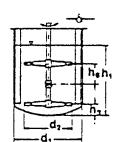
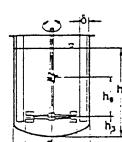
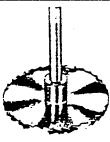
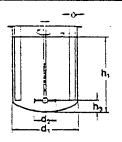
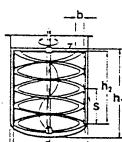


圖14 各種葉輪適用於各種液體黏度之情形

八、結語

許多設備在實際工程應用中，由於牽涉到許多複雜變數，因此往往無法使用理論分析方式計算出所想要的答案，此時就需要藉著實驗方式以及實際經驗所得的資料，建立有用的圖表，再配合簡化的公式，以便求得所需要之資料。因此本文不去談任何的理論分析，而主要是以收集著名廠商之經驗資料以及一些書籍資料，經有系統的編輯整理後，俾使讀者能有一較完整的觀念，以便能選出正確型式的攪拌機，以及能掌握與其相關設施的規劃設計及注意事項。

表 2 典型攪拌機之各種設計資料

攪拌機種類	照相圖	葉輪、擾流板及容器之間的相關尺寸推薦值	裝置狀況	主要流動方向
螺旋槳式		 $d_2/d_1 = 0.33$ $h_3/d_1 = 0.3$ $\alpha = 25^\circ$ $h_1/d_1 = 1$ $\delta/d_1 = 0.1$	軸心安裝，但需有3片擾流板；偏心安裝及側向安裝不需有擾流板。	軸向
斜槳板輪機式		 $d_2/d_1 = 0.33$ $h_2/d_2 = 0.125$ $h_3/d_1 = 0.3$ $h_1/d_1 = 1$ $\delta/d_1 = 0.1$	軸心安裝，但需有2~4片擾流板；偏心安裝不需有擾流板。	軸向、徑向混合型
平槳板輪機式		 $d_2/d_1 = 0.33$ $h_2/d_2 = 0.2$ $b/d_1 = 0.25$ $h_3/d_1 = 0.3$ $h_1/d_1 = 1$ $\delta/d_1 = 0.1$	軸心安裝，但需有2~4片擾流板。	徑向
多級對流葉輪式		 $d_2/d_1 = 0.7$ $h_3/d_1 = 0.16$ $h_5/d_1 = 0.28$ $h_1/d_1 = 1$ $\delta/d_1 = 0.1$	$d_2/d_1 < 0.7$ 時，軸心安裝，但需有2~4片擾流板； $d_2/d_1 > 0.7$ 時，不需擾流板。	軸向、徑向混合型
多級對流干擾式葉輪		 $d_2/d_1 = 0.7$ $h_3/d_1 = 0.22$ $h_5/d_1 = 0.5$ $h_1/d_1 = 1$ $\delta/d_1 = 0.1$	$d_2/d_1 < 0.7$ 時，軸心安裝，但需有2~4片擾流板； $d_2/d_1 > 0.7$ 時，不需擾流板。	軸向、徑向混合型
圓盤葉輪式		 $d_2/d_1 = 0.33$ $h_3/d_1 = 0.3$ $h_1/d_1 = 1$ $\delta/d_1 = 0.1$	可軸心或偏心安裝，可有擾流板也可不需擾流板	徑向
螺旋板式		 $d_2/d_1 = 0.90$ $b/d_2 = 0.1$ $s/d_2 = 0.5$ $h_2/d_2 = 1$ $h_1/d_1 = 1$	軸心安裝，不需擾流板。1片或2片螺旋板，裝置有內螺旋。	軸向強制循環

註：1.層流區為雷諾數 $Re < 20$ ，過渡流區為 $20 < Re < 10,000$ ，紊流區為 $Re > 10,000$

表 2 典型攪拌機之各種設計資料 (續)

d_2 / d_1 直徑比	葉尖速度 u (m/s)	流動區域	功率數 Ne	黏度值 (Pas)	應用
0.1-0.5	2-15	紊流區	$Ne = 0.35$ (三片葉片) $Ne = 0.85$ (五片葉片) $\alpha = 24^\circ$	< 10	混合、懸浮，固體粒子之分散，液體對液體之分散，液體對固體之分散。
0.2-0.5	3-10	紊流／過渡流區	$Ne = 1.5$ (六片葉片，紊流) $\alpha = 45^\circ$	< 10	混合；懸浮；液體對液體分散；液體對固體分散。
0.2-0.5	3-7	紊流區	$Ne = 4.6$ (六片葉片)	< 10	液體對液體之分散。
0.5-0.95	2-10	紊流／過渡流區 ($d_2 / d_1 < 0.7$) ($d_2 / d_1 > 0.7$)	$Ne = 0.55$ (三級，紊流) ($d_2 / d_1 < 0.7$) $Ne \cdot Re = 100$ (層流) ($d_2 / d_1 > 0.7$)	< 50	調勻；懸浮；熱傳。
0.5-0.95	1-9	紊流／過渡流區 ($d_2 / d_1 < 0.7$) 層流區 ($d_2 / d_1 < 0.7$)	$Ne = 0.65$ (三級，紊流) ($d_2 / d_1 < 0.7$) $Ne \cdot Re = 100$ (層流) ($d_2 / d_1 > 0.7$)	< 40	調勻；懸浮；熱傳。
0.2-0.5	8-20	紊流／過渡流區	$Ne = 0.2$	< 10	液體對液體之分散；液體對固體之分散。
0.9-0.95	< 2	層流區	$Ne \cdot Re = 440$ ($s / d_2 = 0.5$) $Ne \cdot Re = 270$ ($s / d_2 = 1$) (二片螺旋板，在每一狀況)	> 50	熱傳；高黏度液體之混合。

2. 葉間速度 $\mu = 2 \sim 3$ m/s為溫和攪拌， $\mu = 3 \sim 4$ m/s為中度攪拌， $\mu = 4 \sim 6$ m/s為激烈攪拌

九、參考文獻

- (1)歐陽崎暉，下水道工程學
- (3)楊萬發譯，水及廢水處理化學。
- (2)歐陽崎暉，廢水處理實務。
- (4)蔣本基，化學混凝處理單元設計與操作。
- (5)歐陽崎暉，廢水處理廠操作管理。
- (6)A Joint Committee of Water Pollution Control Federation and ASCE, Wastewater Treatment Plant Design
- (7)James Y. Oldshue Fluid, Mixing Technology.
- (8)Syed R.Qasin, Wastewater Treatment Plants , Planning ,Desing and Operation.
- (9)James M, Water Treatment Principles and Design.
- (10)Technical Reference Book ,EKATO Co.
- (11)Technical Reference Book ,Mixing Equipment Co. Inc.
- (12)Technical Reference Book ,Nippon Gear Co., LTD.
- (13)Your Guide to the Selection of Top Entering Mixers, Pro Quip, Inc.