

## 利用統計方法探討多段氣液攪拌槽中不均勻現象與反應速率之關係

Investigate the relationship between the reaction rate and non-uniformity in the multiple impeller mechanically agitated vessels through a statistical method

計畫編號：NSC89-2214-E-002-007

執行單位：台灣大學 化學工程學系

執行期限：88年08月01日至89年11月30日

計畫主持人：呂維明 教授

研究生： 巫鴻章 辜奕智 許育嘉

### 中文摘要(關鍵字：混合指數、局部混合能力指數、功率消耗、多段氣液攪拌槽)

本研究利用統計的方法來探討多段氣液攪拌槽中通氣對槽中之整體混合速率與局部混合度分佈的影響。結果發現在低通氣量下由於通氣會使攪拌翼的液泵量變小，導致槽中的液體循環流減弱，因而混合指數  $M$  較不易達到 1(亦即完全混合)，導致混合時間變長；然而當通氣量大到足以讓攪拌翼氾濫時，氣體帶動液體向上流動，因而使混合效率變佳。由局部混合強度分佈  $I_L$  發現，在攪拌翼翼吐出區靠近槽壁之處混合能力最強，有一局部極大值存在，隨著遠離攪拌翼區混合強度漸漸變小，在靠近液面與槽底之處達到最小。在多段攪拌槽中，發現通氣會使攪拌翼翼吐出區混合指數局部極大化的現象消除，因而有助於攪拌混合均勻化。在低通氣量下，由於液泵量減低，整體平均混合能力指數  $I_w$  會隨著通氣量增加而減小；然而當通氣量大至足以使攪拌翼氾濫時， $I_w$  反而隨通氣量增加而變大，甚而比未通氣時還大。

### 英文摘要 (Keywords: mixedness, local mixing capacity index, power consumption, multiple impeller aerated stirred vessel)

Effect of aeration on the local mixing intensity of liquid phase within the stirred vessel was examined in detail through the mixedness,  $M$  and a local mixing capacity index,  $I_L$ . From the results obtained in this study, it is found that due to the retarded effect of aeration on the liquid pumping capacity, the time for  $M$  to reach 1 was lengthened. However, the opposite results was obtained once the aeration is large enough to make the impeller flooded, under which the mixing time was reduced owing to the larger uprising flow induced by the gassing flow. No matter for the single or multiple impeller systems, the strongest mixing intensities always appear in

the discharge streams of each impeller close to tank wall. Aeration will suppress the localization of maximum  $I_L$  in the discharge stream of each impeller. Under a lower aeration rate condition, the distribution of local mixing capacity  $I_L$  becomes more homogeneous, while the absolute values of  $I_L$  were smaller comparing to those for the ungasged condition due to the retarded effect of aeration on the liquid pumping rate of the impeller. However, as the aeration rate is large enough to make the impeller flooded, the uprising gas induces a stronger circulating flow around the whole vessel and almost contrary results were obtained, i.e. a higher mean mixing intensity was produced comparing to the ungasged condition.

### 計畫緣由與目的

由於攪拌槽中混合強度的分佈對於化學反應產率有極大的影響，且可以作為氣液攪拌反應器設計之準則，因而有諸多學者對此做研究。然而他們大部份均只針對跟混合強度相關的巨觀現象做討論，諸如：混合時間、質傳係數與功率消耗等。即便攪拌槽中的平均紊流強度已有多人加以探討，有關槽中局部紊流強度(亦即混合強度)的分佈的研究相當稀少，尤其針對通氣攪拌槽而言此部份的研究可說是沒有。在本計畫中，吾人採用 Ogawa 在 1981 經由混合熵所定義的混合度指數  $M$ 、局部混合能力指數  $I_L$  分佈與整體混合能力指數  $I_w$ ，來探討通氣對單段與多段攪拌槽中混合速率與混合強度的影響，並比較 Rushton turbine impeller 與 pitched blade impeller 在混合效益上的差異。

### 研究方法與成果

吾人以電導度法分別量測攪拌槽中不同位置 tracer 濃度隨時間的變化情形，將量測所得之數據，根據 Ogawa (1981)所給定義，以下面式子來計算混合度指數  $M$ 、局部混合

能力指數  $I_L$  分佈與整體混合能力指數  $I_w$  :

$$M(t) = \frac{-\sum_{i=1}^n \left( \frac{V_i}{V_o} \right) \left( \frac{C_{i,t}}{C_o} \right) \log \left( \frac{C_{i,t}}{C_o} \right)}{\log(V_T / V_o)} \quad (1)$$

$$I_L = -\frac{1}{2} \frac{\sum_{j=1}^n \frac{V_j}{V_o} (a_y \log a_y + a_n \log a_n)}{\log(V_o / V_T)} \quad (2)$$

$$I_w = -\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{V_i V_j}{V_o V_T} (a_y \log a_y + a_n \log a_n)}{\log(V_o / V_T)} \quad (3)$$

此處  $C_{i,t}$  與  $C_o$  分別為時間  $t$  及時間  $0$  時 tracer 的濃度； $a_y$  為 tracer 轉移機率， $V_o$  為量測點周圍之基準體積，而  $V_T$  則為系統的總體積。值得注意的是無論是混合度指數  $M$ 、局部混合能力指數  $I_L$  或整體混合能力指數  $I_w$ ，其值均由完全分離的狀態 0，變化至完全混合狀態下之 1。有關  $M$ 、 $I_L$  與  $I_w$  的定義與詳細的計算情形可參考 Ogawa (1981) 所發表的文章。

## 結果與討論

### 單段攪拌槽中通氣對混合速率之影響

圖一表示在未通氣條件下單段 Rushton turbine impeller 與 pitched blade impeller 系統混合度  $M$  隨時間的變化情形。及圖二表示在同功率消耗不同通氣量下單段 Rushton turbine impeller 與 pitched blade impeller 系統混合度隨時間的變化情形。由圖可看出兩攪拌翼之  $M$  值均隨時間增長由完全分離時的 0 漸增至完全混合下的 1。比較兩攪拌翼由加入 tracer 至  $M$  達到 1 所須之時間(亦即混合時間)，可發現 Rushton turbine 的混合時間較 pitched blade impeller 短約兩秒，顯示 Rushton turbine 系統的上下兩個液體迴流較 pitched blade impeller 系統縮短了液循環的路徑長度，因而混合時間較短，混合效率較高。欲探討通氣對攪拌槽混合效率的影響，吾人針對 Rushton turbine 系統計算其在不同通氣量下  $M$  隨時間的變化情形，由圖可發現在低通氣量下，由於通氣會減低攪拌翼液量導致槽中液體循環強度變弱因而混合時間變長，然而當通氣體大到足以使攪拌翼氾濫時，此時通入的氣體帶動槽中液體流動，導致槽中的循環強度反而增強，因而  $M$  值可在較短的時間內達到 1，然而針對氣液攪拌槽而言在氾濫條件下操作並不實用，失

去了以攪拌翼分散氣體的原意，無法提供良好的質傳效率。

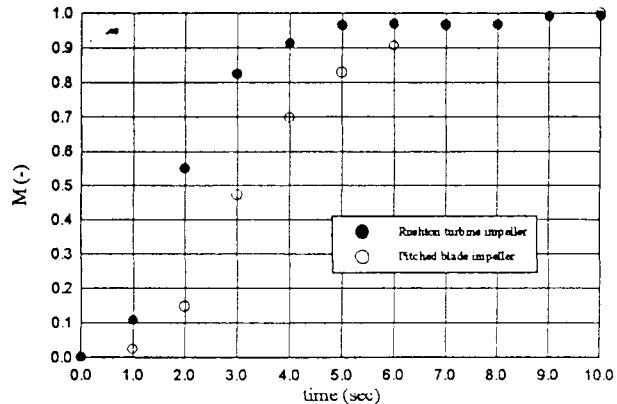


Fig. 1 Mixing efficiency of Rushton turbine impeller and pitched blade impeller with  $P_g/V = 80.5 \text{ W/m}^3$  under an ungasged condition.

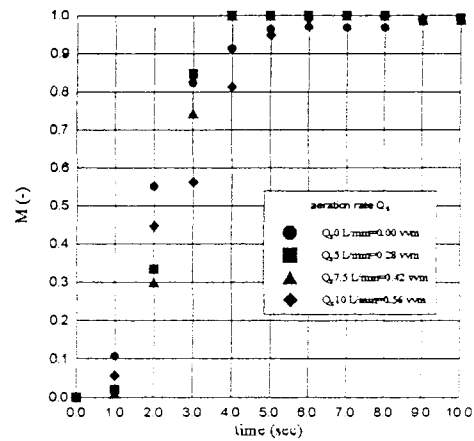


Fig. 2 Plots of  $M$  vs.  $t$  for the Rushton turbine impeller with  $N=3.33 \text{ rps}$  under various aeration rate conditions.

### 未通氣下攪拌槽中局部混合能力指數 $I_L$ 分佈

圖三為單段 Rushton turbine 系統在同轉速下局部混合能力指數與流場分佈圖。由圖可發現在攪拌翼液吐出區靠近槽壁處的混合能力最大。在此處液體的流動方向由徑向轉變為軸向並分為上下兩個迴流圈，因而有較強的紊流強度與混合能力。隨著遠離攪拌翼區，紊流強度變弱混合能力指數亦隨之變小，在靠近液面與槽底之處混合能力達到最低。此時在攪拌翼液吐出區靠近槽壁之處有一  $I_L$  局部極大值出現。比較圖四中不同 R-Z 平面的  $I_L$  分佈發現在靠近檔板的 R-Z 平面  $I_L$  在液吐出區的局部極大現在將被消除，此現象在檔板後-10° 的平面最為明顯，因而在檔板後平面  $I_L$  值的分佈特別均勻。在此條件下整體平均的混合指數值  $I_w$  為 0.514。

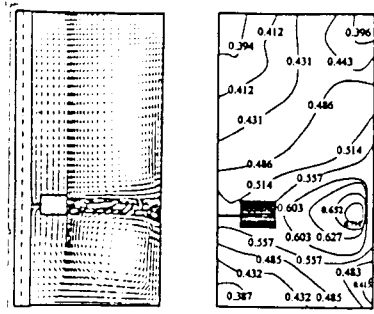
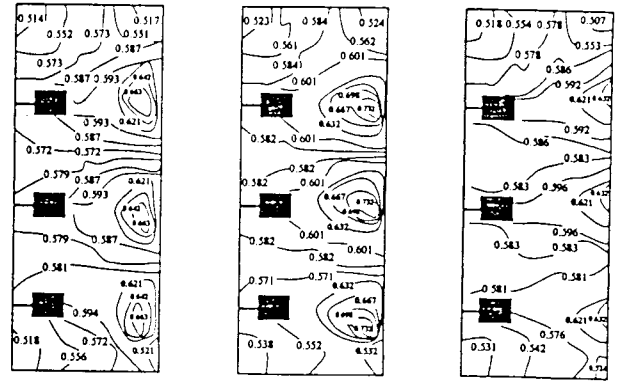


Fig. 3 Local mixing capacity index  $I_L$  in the mid-plane along with the calculated flow pattern with  $N=3.33rps$  without aeration.

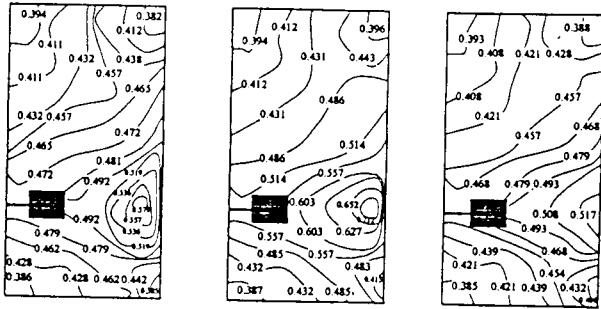
$I_w=0.615$



(a)  $\theta=+10^\circ$  (b)  $\theta=45^\circ$  (c)  $\theta=-10^\circ$

Fig. 5 Local mixing capacity index  $I_L$  in various azimuthal planes for the triple Rushton turbine impeller system with  $N=3.33rps$  (a) in front of baffle; (b) mid-plane and (c) behind baffle.

$I_w=0.484$



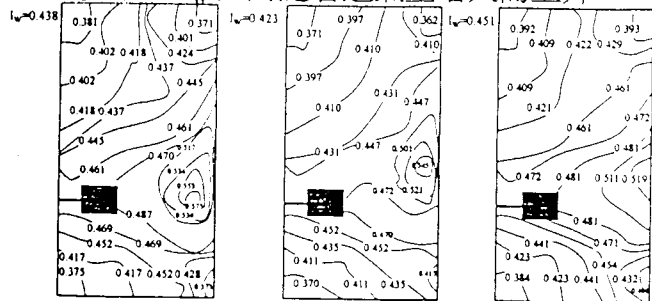
(a)  $\theta=+10^\circ$  (b)  $\theta=45^\circ$  (c)  $\theta=-10^\circ$

Fig. 4 Local mixing capacity index  $I_L$  in three different  $R-Z$  planes with  $N=3.33rps$  (a) in front of baffle; (b) mid-plane (c) behind baffle.

圖五為三段 Rushton turbine 系統在三個不同  $R-Z$  平面之  $I_L$  分佈圖。比較圖五與圖四可發現兩者的趨勢非常接近，亦即混合強度最大值均出現在攪拌翼的液吐出區靠近槽壁之處，隨著遠離攪拌翼區  $I_L$  值將漸減，此時各段攪拌翼均有一個  $I_L$  局部極大值存在。各段攪拌翼區  $I_L$  的分佈均非常類似，顯示當攪拌翼之間的距離為  $2D$  時，各段攪拌翼可視為獨立。中央平面的  $I_L$  值遠大於其他兩個平面，且靠近檔板時靠近槽壁處的  $I_L$  局部極大值將消失。與單段攪拌系統相比較發現即便  $I_L$  局部極大值仍然出現於攪拌翼液吐出區靠近槽壁處，多段攪拌翼的設計有助於消除槽中  $I_L$  局部極大值，因而可得較均勻的混合強度分佈。三段 Rushton turbine 系統的  $I_w$  為  $0.615$  遠大於單段攪拌系統之  $0.514$ 。由此可知相較於單段攪拌系統，多段攪拌系統不僅可得一較均勻的混合強度分佈且其整體的混合強度亦較佳，此對於攪拌反應器的設計是有利的。

### 通氣對攪拌槽中混合強度之影響

為了探討通氣對攪拌槽中混合強度之影響，本研究針對不同通氣量下計算攪拌槽中之局部與整體平均混合能力指數分佈。圖六為在功率消耗  $P_g/V=1004.4W/m^3$  不同通氣量下單段 Rushton turbine 系統之  $I_L$  分佈圖。整體平均混合指數亦列於圖上以資比較。由圖可發現隨著通氣量升高，攪拌翼液吐出區處之  $I_L$  局部極大值的區域有向上提昇的情形發生，且有越來越模糊的趨勢產生。此現象表示通氣將有助於消除攪拌槽中攪拌強度的不均勻現象。然而由於在低通氣量下通氣會使攪拌翼的液泵量降低，因而減弱槽中的液體循環強度，造成隨著通氣量增大而降低。然而當通氣量超過一定值接近攪拌翼的氾濫點時 ( $Q_s > 0.75vvm$ )，此時攪拌翼失去功效，通入的氣體帶動槽中液體的流動，因而增強攪拌槽中的液體循環強度，造成整體平均混合強度指數  $I_w$  反而隨著通氣量增大而上升

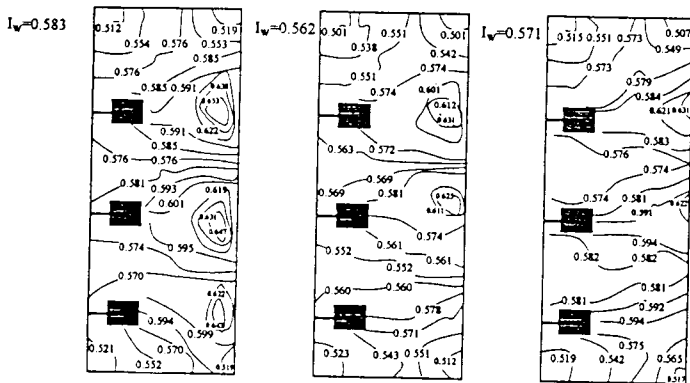


(a)  $Q_s=0.22vvm$  (b)  $Q_s=0.52vvm$  (c)  $Q_s=0.78vvm$

Fig. 6 The contour maps of local mixing capacity index  $I_L$  and the overall mixing index  $I_w$  for the single Rushton turbine impeller system under various aeration rates with  $P_g/V=1004.4W/m^3$ .

圖七比較三段 Rushton turbine 攪拌系統在功率消耗  $P_g/V=1004.4W/m^3$  不同通氣量下之  $I_L$  與  $I_W$  值。與單段攪拌系統的情形相比較發現，在三段攪拌系統中  $I_L$  局部最大值隨通氣量上升的情形變得較不明顯，然而相較於單段攪拌系統，三段攪拌系統中的混合強度隨著通氣量上升較易變得均勻。下段攪拌翼液吐出區的  $I_L$  局部極大值區域先消失，緊接著中段攪拌翼區的  $I_L$  局部極大值區域亦被去除，如果持續增大通氣量則連上段攪拌翼的  $I_L$  局部極大值區亦會消失。三段攪拌系統不僅提供一較均勻的混合強度分佈，其整體平均的混合強度也較單段攪拌系統為強，此對於氣液攪拌反應器的設計是絕對有益的。

隨著通氣量便大而減小；然而當通氣量大至足以使攪拌翼氾濫時， $I_W$  反而隨通氣量增加而變大，甚而比未通氣時還大。



(a)  $Q_S=0.22\text{vvm}$  (b)  $Q_S=0.52\text{vvm}$  (c)  $Q_S=0.78\text{vvm}$

Fig. 7 The contour maps of local mixing capacity index  $I_L$  and the overall mixing index  $I_W$  for the triple Rushton turbine impeller system under various aeration rates with  $P_g/V=1004.4W/m^3$ .

### 結論

利用統計的方法來探討單段與多段氣液攪拌槽中通氣對攪拌槽中之整體混合速率與局部混合度分佈的影響。在低通氣量下由於通氣會使攪拌翼的液泵量變小，導致槽中的液體循環流減弱，因而混合指數  $M$  較不易達到 1 (亦即完全混合)，導致混合時間變長；然而當通氣量大到足以讓攪拌翼氾濫時，氣體帶動液體向上流動，因而使混合效率變佳。不論單段或多段攪拌系統，在攪拌翼翼吐出區靠近槽壁之處混合能力均最強，有一局部極大值存在，且隨著遠離攪拌翼區混合強度漸漸變小，在靠近液面與槽底之處混合強度最小。在多段攪拌槽中，通氣會使攪拌翼翼吐出區混合指數局部極大化的現象消除，因而有助於攪拌混合均勻化。在低通氣量下，由於液泵量減低，整體平均混合能力指數  $I_W$  會