

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

斜葉式渦輪攪拌槽流體混合之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2212-E-009-024-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：國立交通大學機械工程學系(所)

計畫主持人：崔燕勇

計畫參與人員：胡育昌 林士超

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 8 月 28 日

斜葉式渦輪攪拌槽流體混合之研究

Investigation of the Mixing Flow in a Tank Agitated by the Pitched-Blade Turbine

計劃編號：NSC 94-2212-E-009-024

執行期限：94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

主持人：崔燕勇 國立交通大學機械系教授

一、中文摘要〈關鍵詞：攪拌混合，攪拌槽，斜葉式渦輪〉

本研究主要在探討斜葉式渦輪攪拌器中葉片傾角之影響，一般而言，此種攪拌器會於槽內產生軸向流場，但是當葉片傾角成近垂直（90°）狀態時，其流場為徑向形式。本研究顯示此種當傾角改變而由軸向流場轉變成徑向流場的轉變不是漸進式的，係在某一特定傾角突然發生的，因而造成攪拌功率成跳躍式的增加及攪拌槽效能的減少，造成這種轉換的機構有詳細的探討。此外，結果也顯示葉片距底部間隙減少及在較小的葉片直徑都可延緩此種流場形態的轉變。

英文摘要：(Keywords: mixing, stirred tank, pitched-blade turbine)

This research presents a study of the influence of pitch angle of the pitched-blade turbine in an agitated tank. In general, the pitch-blade turbine will result in an axial-type flow. But, as known, a radial-type flow is formed when the blade is in the vertical position (pitch angle=90°). The results of the present study show that the transformation from the axial flow to radial flow takes place at a certain pitch angle. The transformation of the flow in the tank leads to a sudden increase of power number and sudden decrease of pumping number as well as pumping efficiency. The mechanism which causes the flow transformation is delineated in details. The results also show that the critical pitch angle increases when the off-bottom clearance and the diameter of the blade are decreased.

二、計劃緣由及目的

攪拌混合在化工及生物技術等工業中是一項重要程序，常被用於混合不同的物質、消弭濃度或溫度梯度、促成化學反應或生技轉換、促進固態物質的懸浮及氣體的消散等。為了攪拌流體，在槽中需要置入一旋轉葉片，不同的流體經過攪拌後，其間的介面因而被變形，由於分子的擴散是發生在介面中，介面的變形拉長也就加速了物質的混合。而在紊流流場中，介面將因紊流效應而被起皺，也因此大大的增加混合速率。

工業用兩種最長用的攪拌器，包括圓盤平板式渦輪〈又稱 Rushton 渦輪〉及斜葉渦輪式。前者旋轉時，由於離心力產生一徑向噴流自葉片外流出，於槽內形成二環形渦流，後者沒有圓盤，其葉片呈一傾斜狀態，流體流經葉片自葉片下沿流出，槽內因此主要由一環形渦流所主導，此稱為軸向流式，然而我們知道當葉片成垂直狀態時，其軸向流轉變成徑向流，因此葉片的傾斜角將改變攪拌槽內的流場形態，從而嚴重影響攪拌的效能。

三、研究方法

本研究假設槽內的流場為擬穩態，為應付葉片的旋轉，採多重座標系統，如圖一所示，葉片掃過的區域採旋轉座標系，其餘部份則為固定座標系，其連續方程式及輸送方程式可寫成下列形式：

$$\frac{\partial}{\partial x_j} [\rho(U_j - U_{gj})] = 0$$
$$\frac{\partial}{\partial x_j} [\rho(U_j - U_{gj})\phi] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi$$

上式中 U_{gj} 代表網格速度，於葉片旋轉區， U_{gj} 代表

旋轉速度，於固定區， $U_{gj}=0$ 。 ϕ 代表 $U_j - U_{gj}$ 、 k 及 ε 。旋轉座標系的源項中，包含離心力及柯氏力：

$$S_{u_j}' = -\rho \varepsilon_{mnj} \Omega_m (\varepsilon_{pqn} \Omega_p x_q) + 2\rho \varepsilon_{mnj} \Omega_m (U_n - U_{gn})$$

圖二為一典型攪拌槽示意圖，在槽壁上有四片擋板，其中心處裝置一葉片式斜葉渦輪，為了應付此一複雜幾何形狀，我們採用非結構性網格，其離散方法係先將上列保守形式之微分方程式作體積分，再利用高斯定理及中值定理將其轉換成差分方程式，對流項利用上風二階差分近似，擴散項則利用 over-relaxed 方式。連續及動量方程式間的耦合以 SIMPLE 法則處理，速度及壓力等皆置於網格中心點上，為避免壓力會產生棋盤式的振盪，使用動量差分式求得流過控容面上的流量。上述有關非結構網格的差分方法可詳見前數期國科會計劃。

四、結果與討論

- (1) 圖三所示為 $C=D=T/3$ 時在一軸向位置的軸向、徑向及圓周方向的速度，可以看出流體被旋轉葉片加速，在葉片外沿處到達最大值，接著逐漸衰減，在近槽壁處的負值軸向速度，顯示槽內存在一軸向渦流。與實驗值相較，雖仍有些許程度上的差異，但大致上的特性都相近。在傾角 $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 時的攪拌數 $N_Q = 0.63, 0.84, 0.98$ ，此與 Ranade 及 Joshi 的實驗值 0.6, 0.93 及 1.1 接近，Hockey 及 Nouri 則在 $\alpha = 60^\circ$ 時得到 0.88。計算所得的功率數 $N_p = 0.23$ ，此值非常接近 Hockey 及 Nouri 的 2.2，此外當葉片直徑增加至 $D=T/2$ ， $\alpha = 45^\circ$ 時預測所得的攪拌數 $N_p = 0.74$ 接近 Ranade 及 Joshi 的 0.8。
- (2) 圖四所示在改變葉片傾角(α)，在低傾角時流經葉片的流場呈軸流形式，在高傾角時則呈徑向流形式，而一重要的發現是此流場的轉變不是漸近的，而係在某一特定傾角突然發生的，在圖示的 $D=T/3$ ， $C=T/3$ 時，此一臨界角發生在 $\alpha = 76^\circ$ 。
- (3) 圖五顯示在臨界角前後葉片兩壁面上之流線圖，左邊為葉片上風面，右邊為下風面。於 $\alpha = 75^\circ$ 上風面上，近葉片尖端上緣處存在一

repelling spiral-focal point，此點作用如一流源頭(source)，或稱停滯點，於此處，流體碰撞葉片，然後於葉片表面噴噴灑開來，在 $\alpha = 76^\circ$ 時，此源頭點移至葉片根部，同時流體自根部下緣流入，因而形成一鞍點(saddle point)，流體被強迫從鞍點以徑向流往葉片外緣。在葉片下風面存在一 attracting spiral-focal point，此點作用如一流 sink，它吸收葉片上緣及上尖端處之流體，此點即是一般所熟悉的葉片後方的 trailing vortex 的中心。圖六顯示在葉片前後面上的壓力分佈，總的說來，為了平衡離心力，在徑向存在一逆向壓力梯度， $\alpha = 75^\circ$ 時，最大壓力位在源頭點上，因而流體自上緣流向下緣，在 $\alpha = 76^\circ$ 時主要是剪力強迫流體往徑向流動。

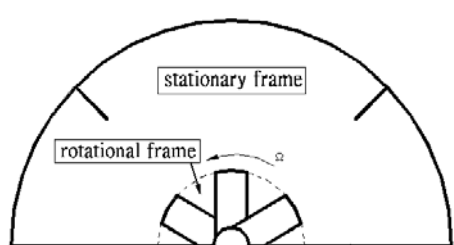
- (4) 綜合上述發現我們可作一結論，當改變葉片傾角時，在一特定臨界角會造成攪拌槽內流場形態的轉變，在較高傾角時，葉片離心力造成流體的徑向流動，當葉片傾角減小時，於近葉片尖端上緣處存在一強大的 stagnation flow，因而在該區形成高壓，迫使流體自葉片上緣流向下緣，形成軸向流。
- (5) 圖七及圖八顯示在葉片直徑 $D=T/3$ 時，於不同的葉片距底部間隙 $D=T/2, T/3, T/4$ 時的功率數(N_p)及攪拌數(N_Q)隨葉片傾角變化的情形，在較大間隙時，線圖明確的存在一階梯跳躍的形態，此顯示當傾角增加，流場從軸向轉為徑向時，功率數會大幅度的增加，同時攪拌數大幅度的減少，而圖九顯示攪拌效率(N_Q/N_p)也隨之減少。圖十顯示的是流體流經葉片的流動角度，流場形態的轉變可以明確的從此流動角度證明。
- (6) 下表將不同葉片直徑大小及距底部間隙的影響做一整理，此表顯示葉片距底的間隙對臨界傾角有相當大的影響；間隙愈小，臨界角愈大，可以看出在 $C=T/4$ 時，臨界角為 87° ，此時葉片已非常接近垂直狀態，另外葉片的直徑大小亦對臨界角有所影響，一般而言，葉片愈小，臨界角愈大。

表一 距底部間隙及葉片直徑對葉片臨界角的影響

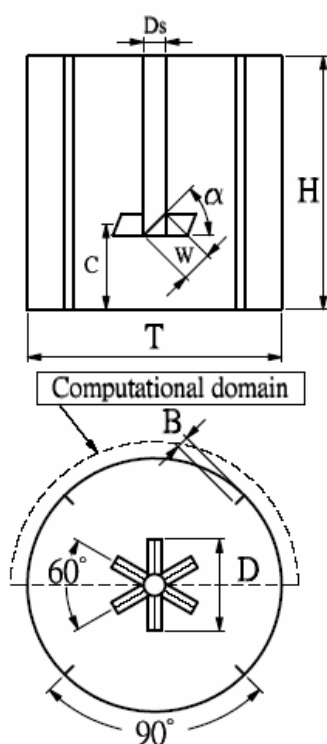
	$C=T/4$	$C=T/3$	$C=T/2$
$D=T/3$	87^0	76^0	50^0
$D=T/2$	87^0	70^0	40^0

五、參考文獻

1. Ranade, V. V., and Joshi, J. B., 1989, "Flow Generated by Pitched Blade Turbines I: Measurements Using Laser Doppler Anemometer," Chem. Eng. Comm., **81**, pp. 197-224.

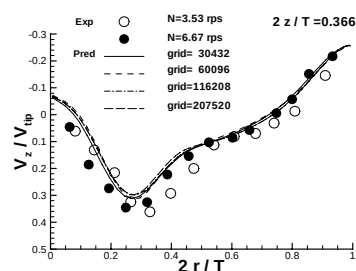


圖一 多重座標系

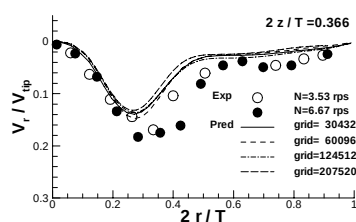


圖二 攪拌槽示意圖

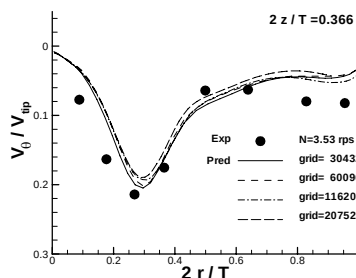
2. Nouri, J. M., and Whitelaw, J. H., 1990, "Flow Characteristics of Stirred Reactors with Newtonian and Non-Newtonian Fluids," AIChE J., **36**(4), pp. 627-629.
3. Hockey R, M., and Nouri, J. M., 1996, "Turbulent Flow in a Baffled Vessel Stirred by a 60^0 Pitched Blade Impeller," Chem. Eng. Sci., **51**(19), pp. 4405-4421.



(a) 軸向速度

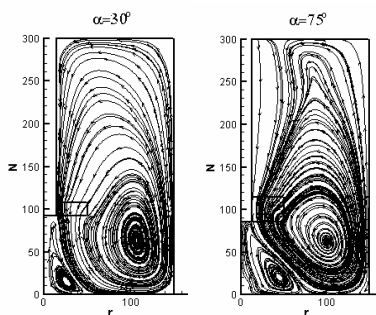


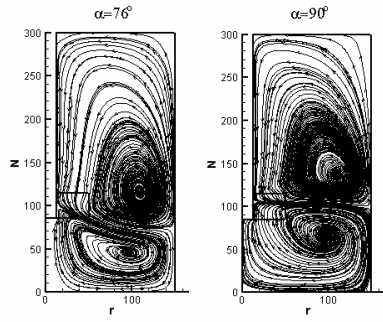
(b) 徑向速度



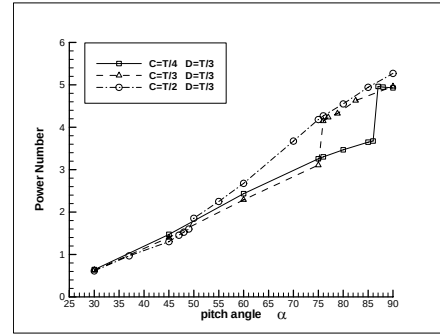
(c) 圓周方向的速度

圖三 與實驗值比較

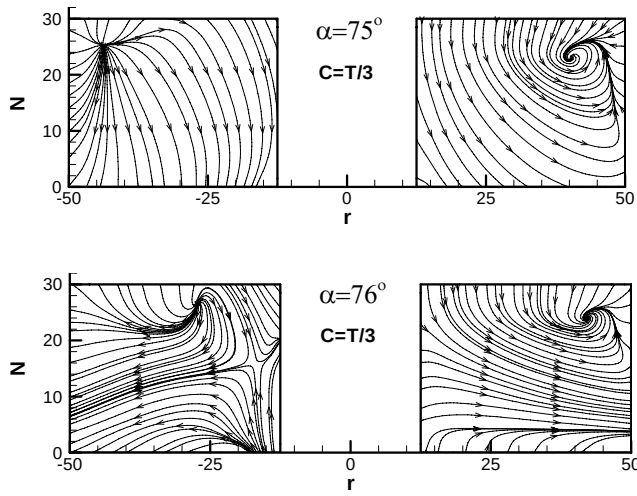




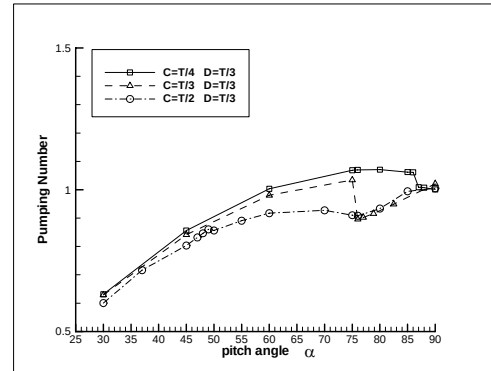
圖四流線圖(D=T/3, C=T/3)



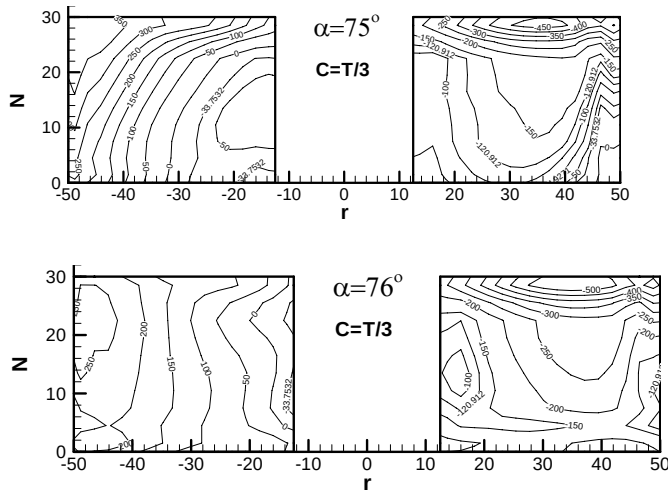
圖七 功率數(N_p)隨葉片傾角變化(D=T/3)



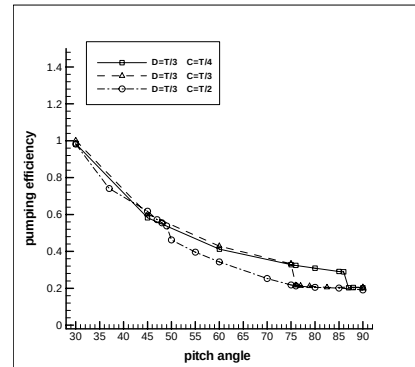
圖五 葉片前後壁面上之流線(D=T/3, C=T/3)



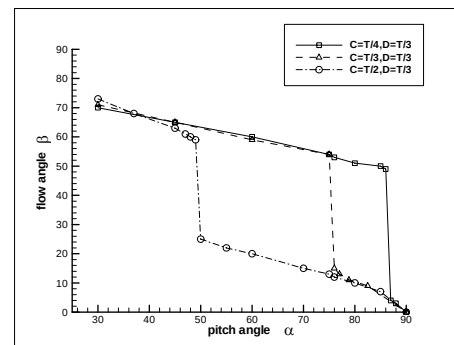
圖八 攪拌數(N_q)隨葉片傾角變化(D=T/3)



圖六 葉片前後壁面上之壓力分佈(D=T/3, C=T/3)



圖九 攪拌效率(N_q / N_p)隨葉片傾角變化(D=T/3)



圖十 流經葉片的流動角度隨葉片傾角變化(D=T/3)