

桃園創新技術學院教師專題研究計畫
成果報告

乳化重油攪拌製備生產技術模擬分析研究

計畫編號：教專研 104P-004

計畫類別：個別型計畫

執行年度：104 年度

執行期間：104 年 1 月 1 日至 104 年 12 月 31 日

計畫主持人：王士榮

執行單位：機械工程系

中華民國 104 年 12 月 31 日

乳化重油攪拌製備生產技術模擬分析研究

Agitation Equipment Improvement and Simulate Analyze Research of Mixing Emulsion Oil

王士榮
機械系

摘要

本研究首先將中油所生產的重油原料油，調配固定在 15% 的最佳含水率條件下，搭配 W/O 二相乳化劑，以所研發之三葉片式攪拌機進行攪拌實驗，並另以數值模型模擬分析，以建立完整攪拌循環分析技術，得到精確的製程技術及攪拌機性能之提昇，此技術將可確保品質穩定，提高產能，亦可實踐節能減碳目的，達到環保之永續目標。本分析技術完成後，除可作為技術移轉外，現已申請專利[1]中，以保護研發成果。

關鍵詞：乳化重油、粒子化混和、W/O 二相、CFD 分析軟體

1.前言

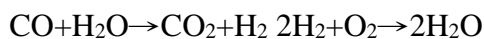
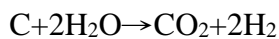
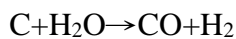
重油是原油煉取汽油、柴油後的剩餘重質油，具有熱值高(39000-41000KJ/Kg)、價格便宜以及儲存安全的特點，廣為業界所採用作為鍋爐燃燒機(Fuel Burner)及重油內燃引擎(Internal Combustion Engine)的主要燃料。但由於重油的黏度高、雜質高及含硫量高的三高特性，使得重油的運輸及使用方面存在了很高的難度。運輸及使用重油必須設有加熱設備，對重油持續加熱，重覆不斷加熱的結果，重油中所含的膠質瀝青會產生焦化反應，形成膠狀油泥黏附在管壁或油槽底部，造成重油不能完全霧化，以致影響燃燒效率，且膠狀瀝青使重油燃燒不完全亦產生空氣污染問題。此外，重油中所含之水分與重油所形成的不完全乳化作用，會造成火燄無法引燃油霧，使部份重油不能完全燃燒，造成能源浪費。以目前國內相關廠商在此方面的經驗值，將重油加水30%，比純重油燃燒溫度更高，空污更少，調配高效率W/O乳化藥劑，以達到節能減碳與降低燃料成本，適用於以重油為燃料的行業。乳化劑為界面活性劑的一種，主要用來維持乳化物中分散相及連續相的安定性，若使用親水性乳化劑則較容易形成水包油型(oil-in-water, O/W型)乳化液，若使用親油性乳化劑則較易形成油包水型(water-in-oil, W/O型)乳化液。在食品工業、

醫學藥品、化妝品和一般工業等方面都有相當廣泛的應用，而在食品方面如人造奶油、巧克力、糖果、冰淇淋等乳製品，都需要用乳化劑加以乳化；在醫學方面乳化劑更可用來調製營養注射劑等藥物輸送系統和軟膏、塗液、人造血等醫學用品；在化妝品工業上乳化劑則是製造脣膏、指甲油、護髮劑、防曬油等美容保養品等不可或缺的重要成分；民生方面洗髮精、沐浴乳等個人清潔用品也需應用到乳化劑，而在工業方面應用領域更為廣泛，如油漆、油墨、接著劑、塑膠製品、清潔劑、除蟲劑、石油製品等都需要使用乳化劑進行乳化、分散或潤滑[1][2]，因此，隨著工商業發達，生活水準提昇，乳化劑的用量也明顯增加。影響乳化結果的因素很多，1977年Agosta[3]即提出水分子的大小和含水量的比例是影響油/水乳化的重要因素，而製備的方法、水/油的體積比例、溫溼度、乳化劑的種類、乳化劑的濃度等對乳化結果皆會造成一定的改變[4]，其中製備的方法不同對乳化物的影響甚鉅。Wilhelm[5]等人的實驗中，在相同的條件下比較超音波震盪法和機械式均質攪拌法製備乳化物，以超音波震盪製備出之乳化物的內部相粒徑明顯比機械式均質攪拌法製備之乳化物小，能量消耗也較低，且以較低的乳化劑用量即可製備出相對性質較穩定的乳化物，但是，超音波震盪法有一個缺點，就是對重油重覆不斷震盪加熱的結果，重油中所含的膠質瀝青會產生焦化反應，因此，合適的乳化方法可節省成本及提昇品質。而Marie[6]等人的實驗則以高壓噴射的方式製造乳化液，其研究發現以不同的乳化劑濃度及噴射壓力製備乳化液會影響乳化液的內部相粒徑之大小及分佈之情況，且此兩項變化，對乳化的安定性有很大的影響。政策方面，經濟部於2005年12月26日與全國工業總會就造紙業及石化、水泥、鋼鐵、造紙、人纖、棉布印染等產業公會，簽署「產業節約能源與二氧化碳減量自願協議書」，預定在2008年達成節能139萬公秉油當量，降低402萬噸排放量的具體目標[7]。因此本研究之目的，除了研發新型乳化重油，更針對攪拌製備加以改良，提供造紙業及石化、水泥、鋼鐵、造紙、人纖、棉布印染等之使用，且就所有產業公會之排放減量問題尋求解決之道，協助分析產業發展過程中的排放特性及關鍵因素，藉以提供造紙業及石化、水泥、鋼鐵、造紙、人纖、棉布印染等產業公會鍋爐燃燒污染排放減量之參考。

二、 實驗方法：

2.1 重油與含水率之關係

以粒子化混和 (Micro-mixing) 操作製備環保重油過程，適當水份的存在，可提升反應效率與油品性質，但若將水份增高，將使製造成本大幅降低，因此，尋找適當含水率為環保重油研究的重要課題之一。根據文獻[8]，Einstein公式描述了乳化重油黏度與分散項體積分率的關係式： $\eta / \eta_0 = 1 + 2.5 \Phi_s$ ，式中 η 與 η_0 分別為乳化液與連續項的黏度， Φ_s 為分散項的體積分率。由公式可以看出乳化液的黏度隨分散項體積分率的增大而增大。本研究將重油加入15%水份，再經完全乳化後的優點：(1)產生高效率的二次霧化，促進完全燃燒，提高節油率(2)均質乳化完全，可儲存運輸(3)均質乳化持續不間斷，可使燃燒狀況穩定(4)可依實際需要，於現場調配，使燃燒設備運作最佳化。因為乳化重油具二次霧化效果，故其火焰形狀與一般重油燃燒略有不同，燃油直吹入的方式會比較沒問題，如果是旋轉盤霧化方式，可能燃油會有部分尚未燒盡便噴到爐壁的情形發生，如果鍋爐的爐體設計本來就可避免此現象發生，旋轉盤方式也是可使用。乳化重油節能原理：化學作用即水煤氣反應。在高溫條件下，部分水分子與未完全燃燒的熾熱的炭粒發生水煤氣反應，形成可燃性氣體。反應式如下：



2.2 乳化液製備

所謂乳化(emulsification)是指將互不相容且缺少互相親和性之兩種液體(例如：水液系和油液系)藉由高剪應力作用，把其中之一分散成 μm 之微滴，懸濁於連續相中，生成類似具有親和性，且不再因密度差，分離成兩相之混合操作，有時亦稱均勻化(homogenization)[9]。

乳化液的製備方法可分為物理式與化學式製備法，亦可併用兩方法[10]。物理製備法適用於連續操作大量生產乳化液，但所得之乳化液安定性較差。各種化學式製備方法的共通特點在於設法降低異相間之表面張力。化學式製備方法有：(1) 乳化劑先注入油法(2) 乳化劑先注入水法(3) 皂化法，脂肪酸加入於油相，鹼加入於水相後，再將兩者混合乳化(4)

交互添加法，將油相與水相，少量交互添加於乳化劑液中進行乳化。本研究採用軸軸相流攪拌翼攪拌法及乳化劑先注入油法併用。

2.3 改良式攪拌機(三葉片式攪拌機)說明

本三葉片式攪拌機主要是提供一種重油、水及乳化劑混合燃料的充分攪拌、乳化，簡化油(水)混合的乳化製程，進而提高產能的重油添加劑之攪拌裝置，以符合現代產業之需求實用效益。為達上述之目的，本攪拌機為一種重油添加劑之攪拌裝置，尤指可提高重油乳化程度的攪拌裝置，其主要結構包含一座攪拌槽及一組攪拌器。如圖1所示，於桶狀的攪拌槽內注入重油、水及乳化劑，而攪拌槽上方架設攪拌組的傳動元件，而傳動元件底端延伸一組可置入攪拌槽內的傳動軸，該傳動軸上則鐸設有二組以上的葉片組，該葉片組係與傳動軸的軸向呈一傾斜角度，該葉片組包含：(1)長條形第一葉片(2)短於第一葉片的第二葉片(3)端面呈圓弧狀的第三葉片。藉由第一葉片、第二葉片及第三葉片做不同功能且多次的攪拌，可提高重油之乳化程度，以達到環保之目的。

攪拌器各部元件功用說明：

- (1)攪拌槽為一桶狀型式(直徑55cm，高度60cm)可供重油、水及乳化劑的填充。
- (2)傳動元件係可控制的變速馬達,依不同的需求，由操作人員控制其轉速及運轉時間。
- (3)第一葉片的功用係強力拍打重油、水及乳化劑。
- (4)第二葉片的功用則可切割水，使其成較小單位分子。
- (5)第三葉片的功用是圓弧狀端面可造成漩渦之渦流。

綜上所述，本創作藉由第一葉片、第二葉片及第三葉片做不同功能且多次的攪拌，可提高重油之乳化程度，不僅有助於重油之充分燃燒而減少油耗、節約能源，並能有效的減少黑煙及有害氣體的排放，以達到環保之目的。

三、結果與討論

3.1 CFD(Computational Fluid Dynamics) 數值

模擬步驟

採用CFD對流體流動進行數值模擬的步驟如下：

- (1) 建立反應工程問題或物理問題本質的數學模型：具體而言就是建立反應問題各個物理

量之間的微分方程式及相應的定解條件，此為數值模擬的出發點。流體基本統御方程式通常包含質量、動量、能量守恆方程式，及其相應的邊界條件及初始條件。

- (2) 尋求高效率、高精確度的計算方法：即建立針對統御方程式的數值離散化方法，如有限差分法、有限元素法、有限體積法等，此計算方法不僅包括微分方程的離散化及求解，還包括座標的建立，邊界條件的處理。
- (3) 程式編寫和進行計算：包括計算網格劃分、初始條件和邊界條件的給定、控制參數的設定。由於求解的問題比較複雜，例如Navier-Stokes方程式就是一個複雜的非線性方程式，數值求解方法在理論上並非絕對完善，所以需要通過實驗加以驗證。
- (4) 計算結果的表示：一般以圖表等方式顯示，例如速度場的向量、等值線分布及溫度場的等值線以及其他高階物理量的分佈情形圖。

3.2 大渦旋模擬(LES)

為了模擬紊流流況，一方面要求計算區域的尺寸應大到足以包含紊流流動中出現的最大渦旋，另一方面要求計算網格的尺寸應小到足以分辨最小的渦旋運動。然而就目前電腦的能力而言，能夠採用的計算網格的最小尺度仍比最小渦旋的尺度大許多，因此目前只能放棄對全尺度範圍的渦旋運動模擬，只將比網格尺度大的紊流運動透過Navier-Stokes 方程式直接計算出來，對於小尺度的渦旋對大尺度運動的影響則透過建立模型來模擬，從而形成了大渦旋模擬法(Large Eddy Simulation, LES) [11]。此種方法基本思想可以概括用暫態Navier-Stokes方程式直接模擬紊流中的大尺度渦旋，不直接模擬小尺度渦旋，而其對大渦旋的影響則透過近似的模型來考慮。總體而言，LES方法對電腦容量及CPU速度要求仍高，目前為CFD研究和應用的重點之一。

3.3 新型葉片模擬分析

新型攪拌器(如圖2所示)及舊型攪拌器(如圖3所示)於轉速3500rpm 之下的縱剖面流場(X及Z 剖面)相對位置圖。圖4所示，為X剖面之流場向量分佈，於螺旋槳翼旋轉的區域上方流體向下流動，並造成部份流體向外流動；不同的是新型攪拌器於葉片外側上方及下方各造成一個不對稱渦旋，且新型攪拌器所造成的流體速度也較如圖6所示之舊型攪拌器更快約1.5 倍，表示在相同轉速下，此種攪拌器造成流體運動效果更佳，易造成更多的

渦旋以促進兩流體之間的混合。於流體下半部，葉片上方仍有流體向下現象發生，於葉片與攪拌器支柱的連接處有一低流速的區域產生，並在葉片外圍上方各有一個明顯的渦旋生成。圖5所示，為Z剖面之流場向量分佈，其葉片旋轉造成對上方流體的吸入現象仍然存在，葉片外圍上方的渦旋不明顯，較為顯著的則是上半部葉片旋轉區域多了幾個渦旋，流速較圖7舊型攪拌器更大。由上述的分析可得，新型攪拌器造成的流場流速更快，渦旋更多，表示流體之間相互作用的效果更明顯。圖8所示為橫剖面流場(Y1~Y5剖面)相對位置示意圖，於新型攪拌器選擇五個特徵剖面作分析。圖9所示為Y1剖面流場，由於剖面位置靠近上壁面，於圓心位置流場速度較小(強制對流理論)，流動由流體之間的黏滯性引起，在外圍接近壁面處有較大的流速。圖10所示為Y2剖面流場，由此橫剖面可清楚看見攪拌器是由一組較長的矩型板葉片和一組較短的螺旋槳翼葉片焊上短矩型板所組成，於長葉片外圍可見一高流速區域，葉片後方一小塊區域流速的投影向量跟隨著葉片旋轉的方向，此係由於流體黏滯性影響；於長葉片前方的流體則是以與葉片旋轉方向相反的速度運動。於螺旋槳翼(短葉片)旋轉區域的流體運動模式大抵與長葉片相同，只有在短葉片後方與長葉片前方所圍成的區域有一特定渦旋，且其流速較低，此一現象有助於流體間的交互作用。新型攪拌器由於多了長短矩型板，可以看到流動產生了更多的渦旋及更高的流速，此流場變化亦直接地影響著後續的壓力場及剪應力場，這些都是影響乳化的關鍵因素。

圖11所示為Y3剖面流場，此區域介於上下葉片之間，流體運動仍由黏滯性引起，並與葉片旋轉方向相同，值得注意的是在葉片旋轉過的外圍區域產生的高流速。圖12所示為Y4剖面流場，此處流場型態大抵與圖10之上葉片流體運動模式相同，差別在於長葉片尾端的高流速區域變廣，而長短葉片之間出現了低流速分部的區域(靠近圓心處)。圖13所示為Y5剖面流場，由於此剖面介於下葉片及下壁之間，其流場受壁面無滑移效應與葉片旋轉效應影響，流速變化較為劇烈，可以看到在外圍(靠近側壁面區)的流場因為被長葉片旋轉帶動造成了高流速分佈，而後逐漸向圓心遞減。

3.4 不同轉速模擬分析

由圖14得知，於各轉速下流動型態大致相同，流體速度隨著葉片轉速升高而增加，

最高速度發生於7000rpm的158m/s。流動型態與前一小節敘述相同，在上葉片以上(流體黏滯性主導)流場流速沿著半徑方向由圓心到外壁逐漸增加；於上葉片旋轉區域，流場由葉片旋轉所主導，在長短葉片之間有渦旋產生；於上下葉片之間的區域由於同時受兩葉片旋轉再加上流體黏滯性的影響，靠近外壁處仍有一高流速分佈發生(仍由圓心向外壁方向遞增)，而於內部(由上下短螺旋槳翼圍成的區域)則造成了上下流動、流體互相混合的效果；到了下葉片旋轉區域則完全受葉片轉動的影響而在葉片外緣有高流速產生，並在長短葉片之間有渦旋產生。上述各個區域的流動現象於各個轉子轉速皆相同，差別在於速度量值不同及在轉速為7000rpm的情況下，上下葉片旋轉區域邊緣與外壁靠近的部分有高速(7000rpm圖的紅色區域)此係由於流體在經受葉片高速旋轉下，被撞擊的部分流體與鄰近流體的拉扯所導致，此一高速度梯度的產生亦將造成剪應變率的大幅變化。圖15所示則為Z剖面速度分佈等值線圖，由於此一剖面右半部正好介於短螺旋槳翼葉片的後方與長矩型板葉片的交界處，故可以看到流體在外型歪斜的螺旋槳翼葉片流過後的流體情形，於3000rpm之上葉片旋轉區域可以清楚看到有一較大的渦旋產生，相同位置在7000rpm的情況下其速度梯度更大，由此可見在葉片轉速提升有利於流體的相互作用。其餘流體流動分佈情形則與X剖面無太大差異，受流體黏滯性及葉片轉動之間的分佈相同。圖16所示為各轉速之Y2剖面的流場等值線圖，流場速度大小仍與葉片轉速成正比關係，在長矩型板葉片之間、短螺旋槳翼葉片之外皆有一塊等速度分佈的區域，長葉片外緣後側亦皆由一高流速發生(如7000rpm圖的紅色區域)；而在短葉片的後方與長葉片相間處都能看見有一塊低流速區域，此係由於葉片旋轉所造成的後方流體斷層，葉片轉速越快，葉片側邊流體填充越快，則此一區塊越不明顯。圖17所示為Y4剖面流場，與上葉片旋轉區域流場分佈相同，差別在於當轉速越快時，短螺旋槳翼葉片造成的低速區範圍將越來越小(3000rpm圖靠近圓心藍色區域)，(見於3000rpm與7000rpm)，此現象表示當轉速越來越快時，流體動能越來越大導致分子間相互作用越來越強，能使混合效果更明顯。

四、結論

本研究針對新型攪拌器進行分析，結果發現：

1.將攪拌器的轉速固定在3500rpm時，流場分佈型態較為紊亂，因其長短矩型板的增加使

得流場產生更多的渦旋，增加了流體之間的相互擾動。

2.在本研究中，改變轉子轉速以觀察流場的變化時可以發現，轉子轉速的增加將先改變流場的平均流速(因平均流速係隨著轉子轉速線性增加而增加)。

伍、參考文獻

- [1] 歐靜枝，“乳化溶化技術實務”，復漢出版社印行， p.169-217，1997。
- [2] 王鳳英，“界面活性劑的原理與應用”，高立圖書有限公司，p.151-427，1996。
- [3] Agosta, V., Diesel Fuel Emulsifier Systems, ISATA Vol.2, p.77, 1977.
- [4] 王國華，多重相乳化油性質及其引擎特性研究，國立台灣海洋大學航運技術研究所碩士論文，2001。
- [5] Wilhelm A.M., Delmas H., Gourdon C., “Emulsification by ultrasound: drop size distribution & stability”, *Ultrasound Sonochemistry*, Vol.6 pp.75-83, 1999.
- [6] Marie P., Perrier-Cornet J.M., Gervais P., “Influence of major parameters in emulsification mechanisms using a high-pressure jet”, *Journal of Food Engineering*, Vol.53, pp.43-51, 2002.
- [7] 環保技術報-第30期，2005。
- [8] Tadros, T.F. and Vincent, B. Emulsion Stability, in *Encyclopedia of Emulsion Technology*, Vol. 1, P. Becher, Marcel Dekker, New York, pp. 1219-85 (1983).
- [9] 呂維明、許瑞祺、巫鴻章，“液體攪拌技術”，高立圖書有限公司，p.217-218，2008
- [10] 呂維明、許瑞祺、巫鴻章，“液體攪拌技術”，高立圖書有限公司，p.222，2008。
- [11] 孫錦、張裕中，“基於剪切技術的重油乳化過程三維流場數值模擬”，*北京化工大學學報*，35(3)，2008。

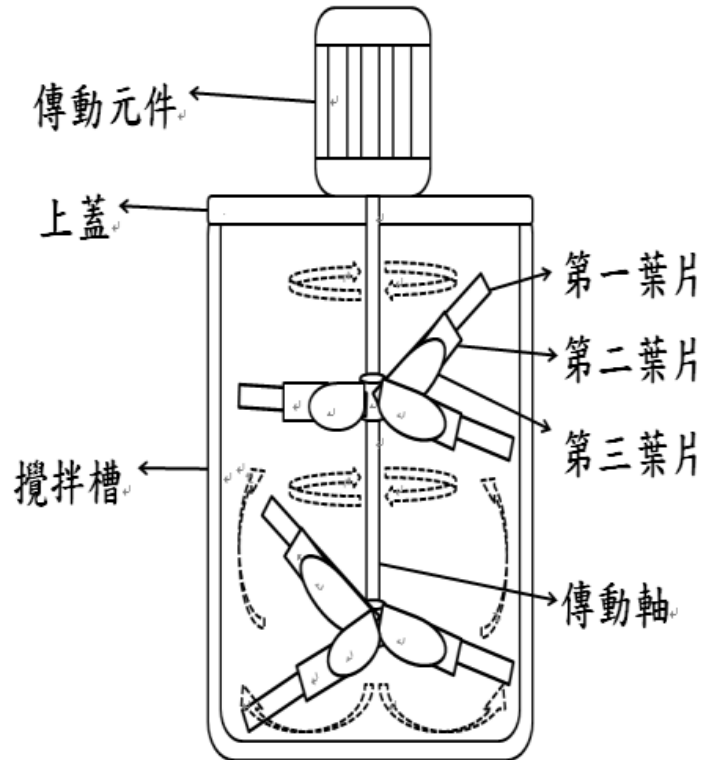


圖1 改良式攪拌器示意圖

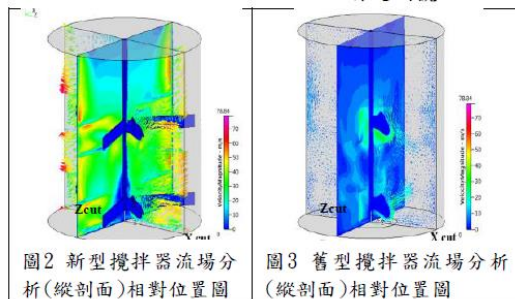


圖2 新型攪拌器流場分析(縱剖面)相對位置圖

圖3 舊型攪拌器流場分析(縱剖面)相對位置圖

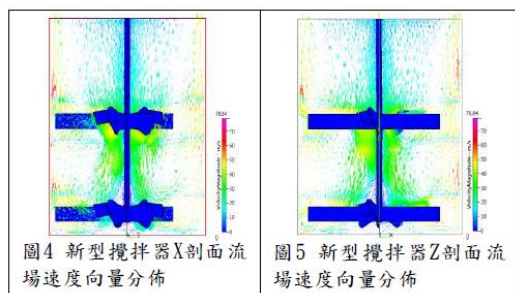
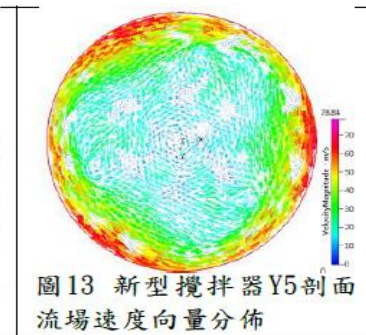
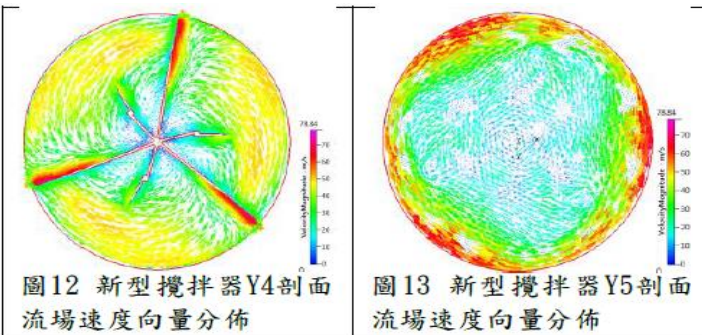
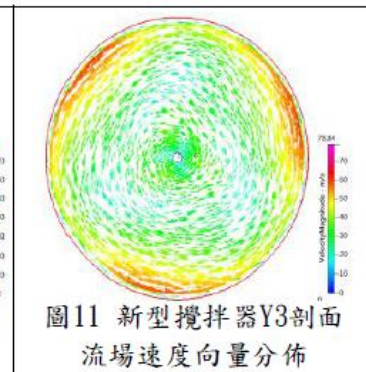
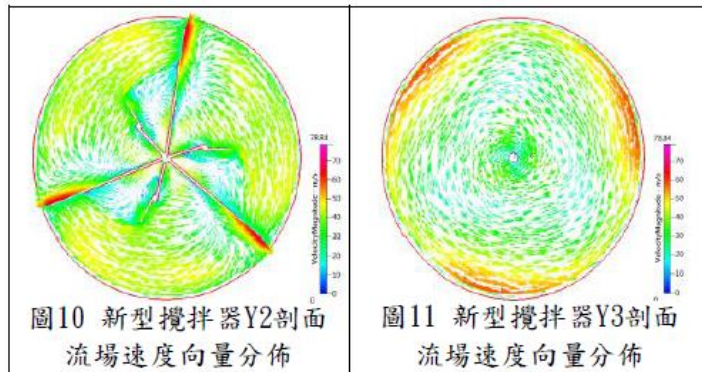
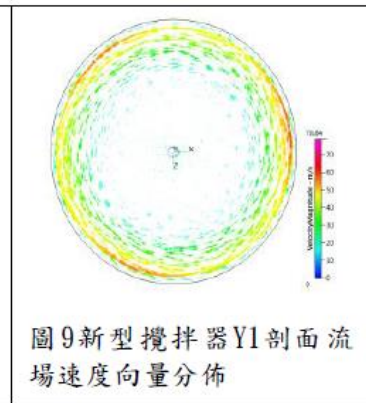
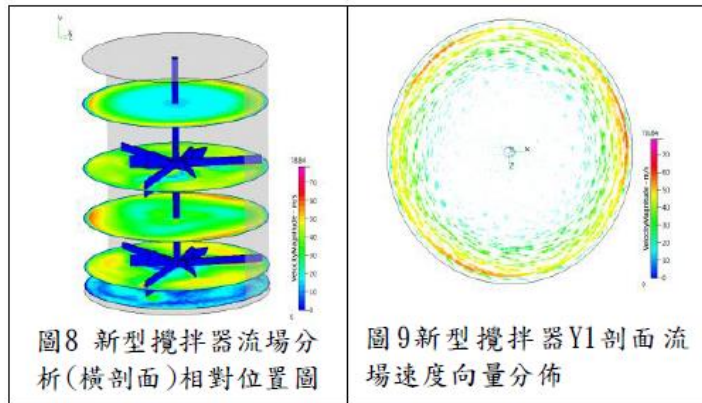
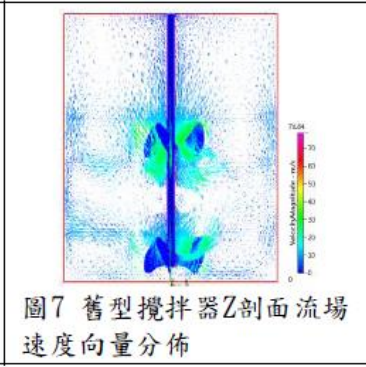
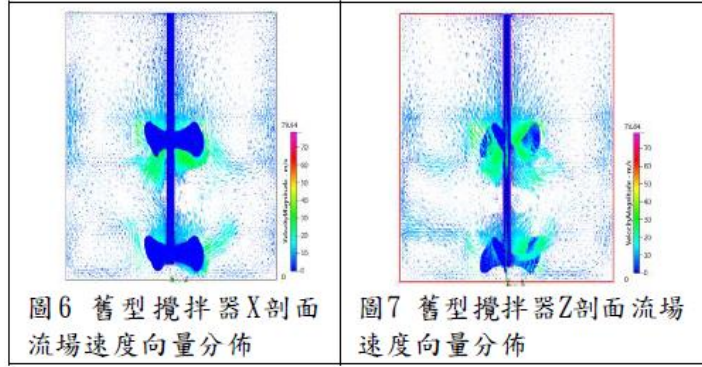


圖4 新型攪拌器X剖面流場速度向量分佈

圖5 新型攪拌器Z剖面流場速度向量分佈



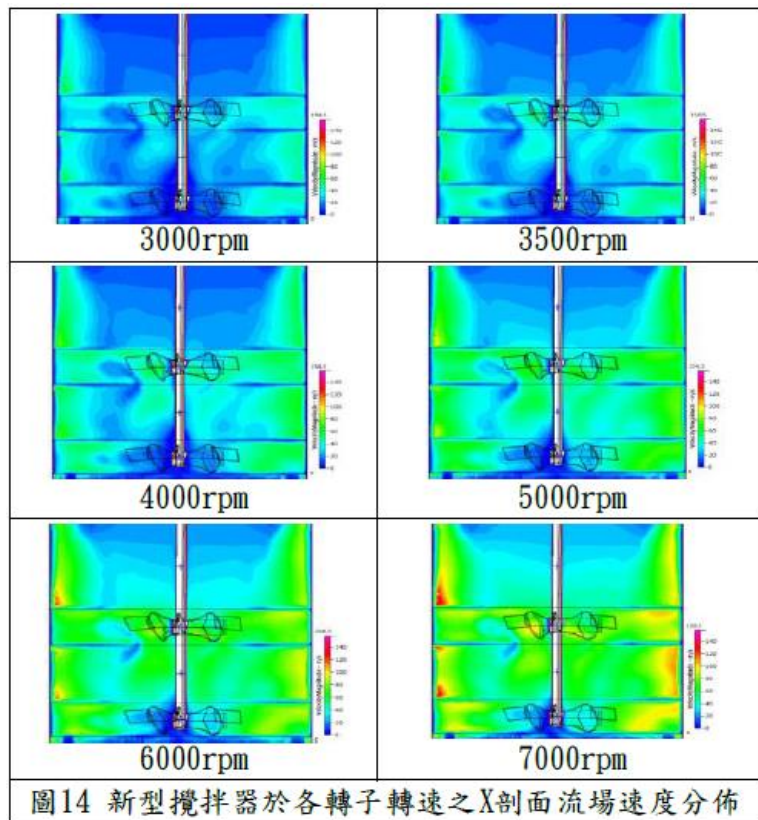


圖14 新型攪拌器於各轉子轉速之X剖面流場速度分佈

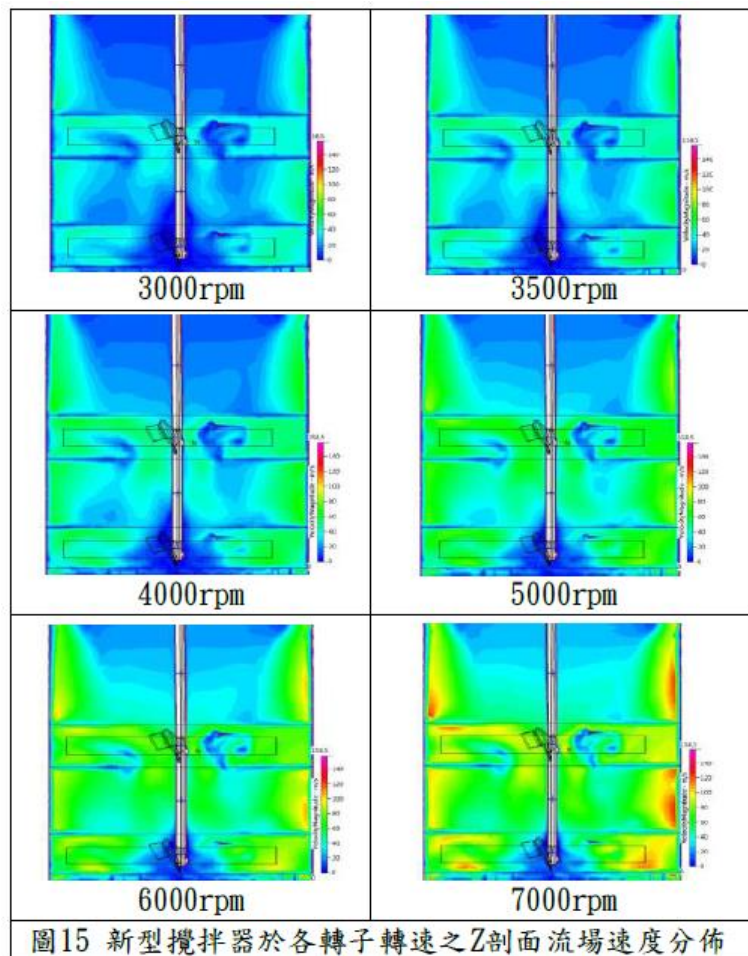


圖15 新型攪拌器於各轉子轉速之Z剖面流場速度分佈

