

流場動畫之分析研究

研究生：王孝錚

指導教授：傅武雄 博士

國立交通大學機械工程學系

中文摘要

本文主要目的為利用數值計算與流場可視化結合的技術，經由這個技術可以簡單顯示流場的型態。本文使用此種方式模擬上吸式局部排氣、二維煙囪、三維煙囪、化學物質攪拌桶中，粒子於流場中的飛行軌跡及濃度擴散的情形，並且將流場中粒子飛行軌跡及流場中濃度擴散的情形利用各種不同的表示方法製作成動畫，以清楚的了解其集塵效果及濃度擴散的情形。

A Study in Animation of Flow

Student : Hsiao-Cheng Wang

Advisor : Wu-Shung Fu

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Computational fluid dynamics simulations coupled with flow visualization techniques is the main aim of the study. It can easily manifest flow features. In this study the technique is used to manifest the motion of the particles in the local exhaust ventilation equipment and the concentration in the 2-D and 3-D flow fields in terms of animation.

誌謝

感謝我的父母雙親二十多年來的養育之恩與教養，使我長大成人完成學業，並順利地無憂無慮完成碩士學業。而歷經兩年的碩士生涯中，在此尤其感謝我的指導老師 傅教授武雄先生在研究上、生活上及課業上無微不至的照顧，以及在為人處事上的教誨，本人在此謹致上最高的敬意，同時感謝工研院環安中心同仁的協助。並謝謝學長和同學等人的協助，在此一併致謝。最後，僅以本文獻給我的家人與師長和朋友。



目錄

	頁次
中文摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌謝.....	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
符號說明.....	XI
第一章 緒論.....	1
第二章 物理模式.....	6
2-1 物理模式.....	6
2-2 流場速度之計算.....	13
2-3 粒子運動統御方程式.....	21
第三章 數值方法.....	22
3-1 數值方法.....	22
3-2 暫態滑移網格(sliding mesh).....	28
3-3 流場動畫製作方法.....	30
第四章 結果與討論.....	46
4-1 上吸式氣罩：.....	46
4-2 二維煙囪之擴散：.....	60
4-3 三維煙囪之擴散：.....	67
4-4 三維煙囪與單棟建築物之擴散：.....	73
4-5 化學物質攪拌槽之擴散：.....	76
第五章 結論.....	109

表目錄

	頁次
表 1-1 布朗力與重力對粒子運動的影響	4
表 2-1 一般氣體暴露濃度	15
表 2-2 SF ₆ 之相關性質設定	16
表 2-3 工作流體(空氣, Air) 相關性質表	16



圖目錄

	頁次
圖 2-1 上吸式氣罩物理模式	7
圖 2-2 二維煙囪及建築之物理模式	8
圖 2-3 二維煙囪及建築之物理模式	8
圖 2-4 三維煙囪及建築之物理模式	9
圖 2-5 三維煙囪及建築之鳥瞰圖	10
圖 2-6 三維煙囪及單棟建築之示意圖	11
圖 2-7 化學物質攪拌槽之示意圖	12
圖 3-1 相鄰網格中心點及離散面相關位置示意圖	25
圖 3-2 對流通量示意圖	26
圖 3-3 數值計算流程圖	27
圖 3-4 滑移網格進行方式說明示意圖	29
圖 3-5 物理模式中的視覺化範圍	33
圖 3-6 視覺化範圍	34
圖 3-7 空氣粒子所產生的連續軌跡	35
圖 3-8 放置數顆空氣粒子的情形	36
圖 3-9 流場中空氣粒子同時釋放時之情形	37
圖 3-10 流場中渦流產生處	38
圖 3-11 渦流產生處放置空氣粒子	39
圖 3-12 所有空氣粒子釋放之情形	40
圖 3-13 固體粒子運動軌跡	41
圖 3-14 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	42
圖 3-15 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2	42
圖 3-16 流場中固體粒子與氣流之運動情形 3	42

	頁次
圖 3-17 流場中固體粒子與氣流之運動情形 4	43
圖 3-18 流場中固體粒子與氣流之運動情形 5	43
圖 3-19 流場中固體粒子與氣流之運動情形 6	43
圖 3-20 動畫製作過程	44
圖 3-21 隨濃度改變顏色之空氣粒子	45
圖 4-1 上吸式氣罩速度向量圖	48
圖 4-2 視覺化範圍內空氣粒子的軌跡	49
圖 4-3 上吸式氣罩渦流產生處	50
圖 4-4 渦流產生處 1	51
圖 4-5 渦流產生處 1 放置數顆空氣粒子	51
圖 4-6 渦流產生處 2	52
圖 4-7 渦流產生處 2 放置數顆空氣粒子	52
圖 4-8 渦流產生處 3	53
圖 4-9 渦流產生處 3 放置數顆空氣粒子	53
圖 4-10 以空氣粒子連續運動模擬氣流場	54
圖 4-11 固體粒子運動軌跡圖 1	55
圖 4-12 固體粒子運動軌跡圖 2	56
圖 4-13 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	57
圖 4-14 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	57
圖 4-15 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	57
圖 4-16 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	57
圖 4-17 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	58
圖 4-18 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	58
圖 4-19 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	58
圖 4-20 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	58

	頁次
圖 4-21 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	59
圖 4-22 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	59
圖 4-23 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	59
圖 4-24 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1	59
圖 4-25 側風速為 1m/s、暫態時間為 2.5 秒時濃度擴散情形	61
圖 4-26 側風速為 1m/s、暫態時間為 50 秒時濃度擴散情形	61
圖 4-27 側風速為 1m/s、暫態時間為 100 秒時濃度擴散情形	62
圖 4-28 側風速為 1m/s、暫態時間為 175 秒時濃度擴散情形	62
圖 4-29 側風速為 1m/s、暫態時間為 250 秒時濃度擴散情形	63
圖 4-30 側風速為 4m/s、暫態時間為 2.5 秒時濃度擴散情形	64
圖 4-31 側風速為 4m/s、暫態時間為 50 秒時濃度擴散情形	64
圖 4-32 側風速為 4m/s、暫態時間為 100 秒時濃度擴散情形	65
圖 4-33 側風速為 4m/s、暫態時間為 175 秒時濃度擴散情形	65
圖 4-34 側風速為 4m/s、暫態時間為 250 秒時濃度擴散情形	66
圖 4-35 暫態時間 150 秒時濃度值 0.4 之範圍	68
圖 4-36 暫態時間 150 秒時濃度值 0.01 之範圍	69
圖 4-37 暫態時間為 5 秒時濃度擴散情形	70
圖 4-38 暫態時間為 90 秒時濃度擴散情形	71
圖 4-39 暫態時間為 200 秒時濃度擴散情形	72
圖 4-40 顏色對照濃度之示意圖	74
圖 4-41 微小粒子移動時受濃度源污染之情形	75
圖 4-42 攪拌棒轉速為 120rpm，暫態時間 1.7 秒時，濃度值 0.05 之範圍	80
圖 4-43 攪拌棒轉速為 120rpm，暫態時間 4.1 秒時，濃度值 0.05 之範圍	81
圖 4-44 攪拌棒轉速為 120rpm，暫態時間 1.7 秒時，濃度值 0.45 之範圍	82
圖 4-45 攪拌棒轉速為 120rpm，暫態時間 4.1 秒時，濃度值 0.45 之範圍	83

	頁次
圖 4-46 側風 3m/s 轉速為 120rpm 暫態時間 1.7 秒時，濃度擴散之情形	84
圖 4-47 側風 3m/s 轉速為 120rpm 暫態時間 2.5 秒時，濃度擴散之情形	85
圖 4-48 側風 3m/s 轉速為 120rpm 暫態時間 3.3 秒時，濃度擴散之情形	86
圖 4-49 側風 3m/s 轉速為 120rpm 暫態時間 4.1 秒時，濃度擴散之情形	87
圖 4-50 側風 3m/s 轉速為 120rpm 暫態時間 4.9 秒時，濃度擴散之情形	88
圖 4-51 側風 5m/s 轉速為 180rpm 暫態時間 1.7 秒時，濃度擴散之情形	89
圖 4-52 側風 5m/s 轉速為 180rpm 暫態時間 3.3 秒時，濃度擴散之情形	90
圖 4-53 側風 5m/s 轉速為 180rpm 暫態時間 4.1 秒時，濃度擴散之情形	91
圖 4-54 側風 5m/s 轉速為 180rpm 暫態時間 4.9 秒時，濃度擴散之情形	92
圖 4-55 迎風面與背風面示意圖	93
圖 4-56 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.25m 之迎風面濃度擴散情形	94
圖 4-57 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.5m 之迎風面濃度擴散情形	94
圖 4-58 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 1.0m 之迎風面濃度擴散情形	95
圖 4-59 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.25m 之背風面濃度擴散情形	96
圖 4-60 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.5m 之背風面濃度擴散情形	96
圖 4-61 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 1.0m 之背風面濃度擴散情形	97
圖 4-62 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.25m 之迎風面濃度擴散情形	98
圖 4-63 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.5m 之迎風面濃度擴散情形	98
圖 4-64 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 1.0m 之迎風面濃度擴散情形	99
圖 4-65 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.25m 之背風面濃度擴散情形	100
圖 4-66 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.5m 之背風面濃度擴散情形	100
圖 4-67 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 1.0m 之背風面濃度擴散情形	101
圖 4-68 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 0.25m 迎風面濃度擴散情形	102
圖 4-69 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 0.5m 迎風面濃度擴散情形	102
圖 4-70 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 1.0m 迎風面濃度擴散情形	103

	頁次
圖 4-71 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 0.25m 背風面濃度擴散情形	104
圖 4-72 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 0.5m 背風面濃度擴散情形	104
圖 4-73 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 1.0m 背風面濃度擴散情形	105
圖 4-74 轉速 120rpm、側風速 3m/s 流場中空氣粒子受污染之情形	106
圖 4-75 轉速 120rpm、側風速 5m/s 流場中空氣粒子受污染之情形	107
圖 4-76 轉速 240rpm、側風速 3m/s 流場中空氣粒子受污染之情形	108



符號說明

A_i	單位網格擴散面之面積	$[m^2]$
C_m	物質混合的質量分率濃度	
C'_m	紊流質量分率濃度濃度變化量	
C_μ 、 $C_{\epsilon 1}$ 、 $C_{\epsilon 2}$ 、 $C_{\epsilon 3}$	紊流模式係數	
D_m	物質的濃度擴散係數	$[m^2/s]$
d_p	多孔性介質平均粒徑	$[m]$
$F_{m,j}$	物質於 x_j 方向的擴散通量	
	$[kg/m^2s]$	
\sqrt{g}	特定公制張量(metric tensor)	
k	紊流動能	
k_i	多孔性介質於 x_i 軸流動方向的滲透度	
	$[kg/m^3s]$	
L_p	多孔性介質特徵長度	$[m]$
m_m	物質於單位容積中的質量	$[kg]$
n	與邊界面垂直方向的座標軸	
p	壓力	$[N/m^2]$
p_p	多孔性介質中的壓力	$[N/m^2]$
s_i	動量來源(momentum source)	
s_ϕ	來源係數	
t	時間	$[sec]$
u_i	流體在 x_i 方向的絕對速度	$[m/s]$
u/ϕ	流體與座標系統的相對速度	$[m/s]$
u'	速度變動量	$[m/s]$
V	體積	$[m^3]$
x_i	卡氏座標($i=1, 2, 3$)	
希臘符號		
α_i 、 β_i	多孔性壓降係數	

Γ_ϕ	任一獨立物理量之擴散係數(計算速度場中的黏滯係數)	
ε	紊流耗散率	
ε_p	多孔性介質孔隙率	
ζ	轉換平面座標系	
η	轉換平面座標系垂直軸	
θ	角度	[rad]
μ	黏滯係數	
	[kg/ms]	
μ_t	紊流黏滯係數	
	[kg/ms]	
ν	表面速度	[m/s]
ξ	轉換平面座標系水平軸	
ρ	物體密度	
	[kg/m ³]	
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$	紊流模式係數	
τ_{ij}	應力張量	
ϕ	代表任一獨立物理量(如速度、溫度、濃度)	



上標說明

-	時均值
+	紊流無因次參數
<i>n</i>	新疊代之物理量選用
<i>o</i>	舊疊代之物理量選用

下標說明

<i>i, j, k</i>	張量使用序號(如 i=1, j=2, k=3)
----------------	-------------------------

其他符號

	絕對值、取向量純量值
∇	求取各方向的梯度量，如同 grad
\sum	加總表示

第一章 緒論

工業通風的目的，簡單而言就是排除作業環境中對人體或產品有害的物質，以維護人員之健康提高其工作效率或提昇產品良率。

工業通風的目的主要有下列五項：

1. 維持作業場所之舒適—提供適當的溫度與溼度。
2. 排除污染物—安裝局部排氣系統將有害物質排除。
3. 稀釋有害物之濃度—增加換氣次數降低污染物濃度。
4. 供給補充空氣—避免作業場所負壓過大。
5. 防火及防爆—可燃性氣體濃度控制在爆炸下限 25%濃度下。

工業通風之型式主要可分為整體換氣（稀釋通風）與局部排氣兩種。整體換氣主要功能在於將新鮮外氣提供於作業場所，用以稀釋作業場所內有害物濃度，並藉空氣的流動將有害物排出室外。其換氣方式有自然換氣（主要是靠風力或室內外溫差）與機械換氣（有排氣法、供氣法、及供排氣並用法）。局部排氣一般使用於污染發生源固定範圍小且產生量大之作業環境，其方法係於空氣污染物發生源或接近發生源位置將污染物捕集排除，以減低作業人員呼吸帶內污染物之濃度。

局部排氣為工業衛生領域中最主要亦是最常見的污染控制技術之一。雖然現代工業技術已能做到生產完全自動化的程度，但仍有許多製造業無法採用完全密閉或無人化作業。在這種情況下，製程中之投料，製造加工及包裝等作業皆有產生危害物質的可能。為防止此類污染物造成人員過量暴露，影響勞工身體健康，除持續進行製程改善與作業管理外，對於一些無法完全避免的污染源，局部排氣系統就扮演著控制或排除污染的角色。局部排氣系統若設計良好，不但能將污染物有效排除，同時能改善作業環境空氣品質。

鉛在工業上的用途極為廣泛，以消耗噸數論，鉛在所有金屬中排名第五，僅次於鐵、銅、鋁、鋅，故其製造量遠大於其他任一重金屬。鉛可能對人體造成極大的傷害，且鉛過去大量被使用，暴露人口相當可觀，如何避免鉛危害一直是公共衛生重要的課題之一。在台灣地區主要的鉛作業包括鉛粉製造、塑膠安定劑製造、鉛蓄電池製造、錫鉛熔鑄、色料及釉藥製造、塑膠品製造、電線電纜、映像管與日光燈製造、油漆、釉藥與色料使用、電子焊錫與電容器噴錫、廢鉛蓄電池回收、拆船等作業。由於職業與環境的鉛暴露，會導致嚴重的大眾與勞工健康問題，尤其人體暴露於高濃度鉛的影響下，會導致貧血、消化系統危害、神經系統危害、腎臟危害。一般鉛作業工廠所使用的通風設備為局部排氣，但是效果大多數不顯著，根據行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所針對六家鉛蓄電池製造單位進行暴露調查〔1〕，作業環境測定結果發現約有百分之六十之勞工暴露於超過法令容許濃度的環境下工作，根據現行的法規，我國目前規範之空氣中容許鉛濃度為 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，而童工、女工之容許濃度為 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 。為了防止上述的危害發生，除了設計良好的排氣設備、建立完整的工業安全衛生計畫外，對於工作人員的工業安全教育更是不可或缺。目前一般工作人員對於污染物的擴散，局部排氣，通風流場等物理觀念甚為欠缺，甚至有錯誤的觀念。

針對一般常見的工業通風設備進行模擬，包含：具有化學物質之攪拌槽、鉛電池製造廠的研磨區及線熔接區、煙囪排煙對周圍建築物的影響、對各個排氣設備進行模擬，而為了使工作人員能夠充分明白其工作環境所使用的通風設備是如何運作、集塵，以及此通風設備能否將該區污染物質有效收集。必須將模擬計算的結果，利用視覺化技術將資料動態地顯示出來，為了達到這個目的必須藉助於流場可視化技術。

一般的流場可視化多採用實驗的方式。林〔2〕，以雷射光頁煙霧流場可視化技術探討吹吸式氣罩在開放式化學槽污染源於不同吹氣與吸氣範圍內的流場模態時的捕集效果。放煙法是 Raspet 與 Moore 於 1950 年代發展出來的，最早應用在觀測邊界層的速度分佈。之後歷經許多的改進與發展，目前放煙線的技術已

非常成熟。王〔3〕、Igarashi〔4〕、Gau〔5〕皆利用放煙法觀測流場。楊〔6〕使用 CPIV 法進行流場可視化之研究，係利用雷射光及多彩聲光調變器 (PCAOM) 將雷射光束區分為藍綠兩光束形成二維雷射光頁，再利用彩色數位相機 (Color CCD) 之技術所組合成。在流體中加入與水相近密度之顯影塑膠顆粒 (1.1 g/cm^3)，在藍綠相間隔之雷射光頁下顯影其流場變化，並擷取流場變化之數位影像。再將所擷取之數位影像訊號，進行數位相關法分析求得位移量，再除以曝光時間間距而得知速度值。

經由實驗來觀測流場，往往在購置儀器與架設儀器上需要耗費大量的時間與費用，而且經由實驗所獲得的流場其再現性也太低，於是將計算流體力學與流場可視化結合的技術漸漸的受到重視。此種技術是將經過數值計算所計算出來的流場數據，經過後處理軟體整合之後，以簡單易懂的圖形或影片呈現出來，經由這個技術可以直接並且有效的模擬流場，不需再藉由實驗，因此降低了流場可視化所需的成本，其所獲得的流場再現性也相當的高。Roth and Peikert〔7〕利用將 CFD 數據可視化的方法，應用於在設計渦輪機過程中，尋找渦流發生的地點，以有效提高渦輪機的效率。Hans 等人〔8〕利用 computational flow imaging (CFI) 技術對位於超音速流場的機翼做流場的可視化，並且將其結果與實驗做比較。但是以上的文獻多侷限於靜態的流場可視化，有關於動態流場可視化的極少有文獻提及。

本文的目的為將數值計算的結果，轉換成動態流場的方式表現。藉由此種方式，可使流場的流動型態充分表現，讓人以眼見為憑的方式，充分理解流場變化。

常見的流動型態有兩大類，一種為微小粒子在流動流體中之流動型態，對於粒子在流場中的運動描述一般可分為兩種，一為粒子運動軌跡的描述，另一為粒子濃度場之描述。就粒子運動軌跡研究而言，Ermak 與 Buckholz〔9〕將粒子運動所受的重力、布朗力與流體之牽引力均加入運動方程式中，而在傅等〔10〕所做的研究當中，即結合了氣流與布朗力之影響，並發現粒子所受流體牽引力遠大於布朗力影響。至於布朗力與重力對粒子運動的影響可從表 1-1〔11〕看出，由

表可知當粒子直徑大於 $1.0\ \mu\text{m}$ 時，重力的影響遠大於布朗力的影響。於本文中對於鉛粒子 ($1.0\ \mu\text{m}$) 的分析，採用粒子運動軌跡的描述，並且僅考慮重力的影響。

另一種流動型態則為單純流體流動型態，其中包含他種氣體隨流體流動時之擴散現象。

在數值計算方面，本文以數值的方式配合數值模擬軟體 STAR-CD，以 $k-\varepsilon$ 紊流模式分析以及有限體積法 (Finite-volume) 疊代，求解動量與能量方程式。

流場可視化方面，可分為兩部分：

第一部分為粉塵粒子飛行軌跡的可視化，此部份的目的是為了能清楚模擬局部排氣的風動情形和粉塵粒子於該流場之運動情形，於數值計算求出流場之速度分佈後，於各個格點上，放置空氣粒子，每個空氣粒子均會延著各流線達到排氣口的位置，在此過程中以影像擷取軟體，擷取每個空氣粒子的移動過程，同時擷取粉塵粒子於該流場之運動情形，將所擷取到的影像以影像編輯軟體做更進一步的編輯，主要的目的為了解粉塵粒子於該流場之運動情形。

第二部份為流場中有毒氣體之擴散情形，於數值計算求出流場之速度、有毒氣體之濃度分佈後，將數值計算的結果藉由後處理軟體，建立有毒氣體於流場中擴散的動畫，主要的目的為描述流場中有毒氣體濃度擴散的情形。

由以上可知，使用計算流體力學與流場可視化結合的技術可以更有效、清楚地呈現流場的結構，相當適合使用於分析、改善局部排氣設計的優劣，因此本文使用此法做為流場可視化的方法，並且將流場的可視化製作成易懂的影片。

表 1-1 布朗力與重力對粒子運動的影響 [11]

Particle Diameter (μm)	rms Brownian Motion in 1 sec, χ_{BM} (cm)	Settling in 1 sec, χ_{grav} (cm)	$\frac{\chi_{\text{BM}}}{\chi_{\text{grav}}}$
0.00037 ^a	6.0×10^{-1}	2.4×10^{-7}	2.5×10^6
0.01	2.6×10^{-2}	6.6×10^{-6}	3.9×10^3
0.1	3.0×10^{-3}	8.6×10^{-5}	3.5×10^1
1.0	5.9×10^{-4}	3.5×10^{-3}	1.7×10^{-1}
10.0	1.7×10^{-4}	3.0×10^{-1}	5.7×10^{-4}

^aDiameter of an "air molecule"



第二章 物理模式

2-1 物理模式

本文物理模式分為四部分，分別如圖 2-1、2-2、2-3、2-4、2-5、2-6 所示。圖 2-1 為依適當比例建立二維之上吸式氣罩，圖 2-1 中各部分尺寸所代表的意義、大小為： $L_2=1\text{m}$ 為桌面的寬度， $L_2=0.6\text{m}$ 為氣罩的寬度， $L_8=0.6\text{m}$ 為氣罩與桌面的距離， $L_9=1.2\text{m}$ 為桌面與地面的距離， L_1 、 L_3 、 L_4 、 L_5 、 L_6 分別為距壓力邊界的距離。

圖 2-2 中， $L_5=0.3\text{m}$ 為吸口大小， $L_9=1\text{m}$ 為桌面與地面的距離， $L_7=0.5\text{m}$ 為氣罩擋板的長度， L_3 、 L_6 、 L_{10} 為大氣邊界的範圍。圖 2-2、圖 2-3 為依適當比例所建立之二維煙囪及建築物示意圖。

圖 2-3 為依適當比例所建立之三維煙囪及建築物示意圖，圖 2-4 中各部分尺寸所代表的意義、大小為：斜線矩形部分所代表為煙囪，高度為 6m ，寬度為 1m ，白色矩形代表建築物，其高度為 6m ，寬度為 3m ， $L_1=8\text{m}$ 為建築物與煙囪間的距離， $L_2=18\text{m}$ 為建築物與煙囪間的距離。

圖 2-4、圖 2-5 分別為依適當比例建立之三維煙囪與建築物之示意圖及鳥瞰圖。

圖 2-6 為依適當比例建立之三維煙囪及單棟建築物之示意圖，圖中紅色部分代表的是濃度發散源，其他圖形所代表之意義如圖 2-6 所示。

圖 2-7 為依適當比例建立之化學物質攪拌槽之示意圖，其各部份尺寸為：攪拌槽半徑= 0.5m 、攪拌槽高度= 1.2m ，排氣設備吸口半徑= 0.6m 、排氣設備吸口與地面之距離= 1.8m ，攪拌棒半徑= 0.2m 、攪拌棒高度= 1.4m ，攪拌槽中心至壓力邊界之距離= 10m 。

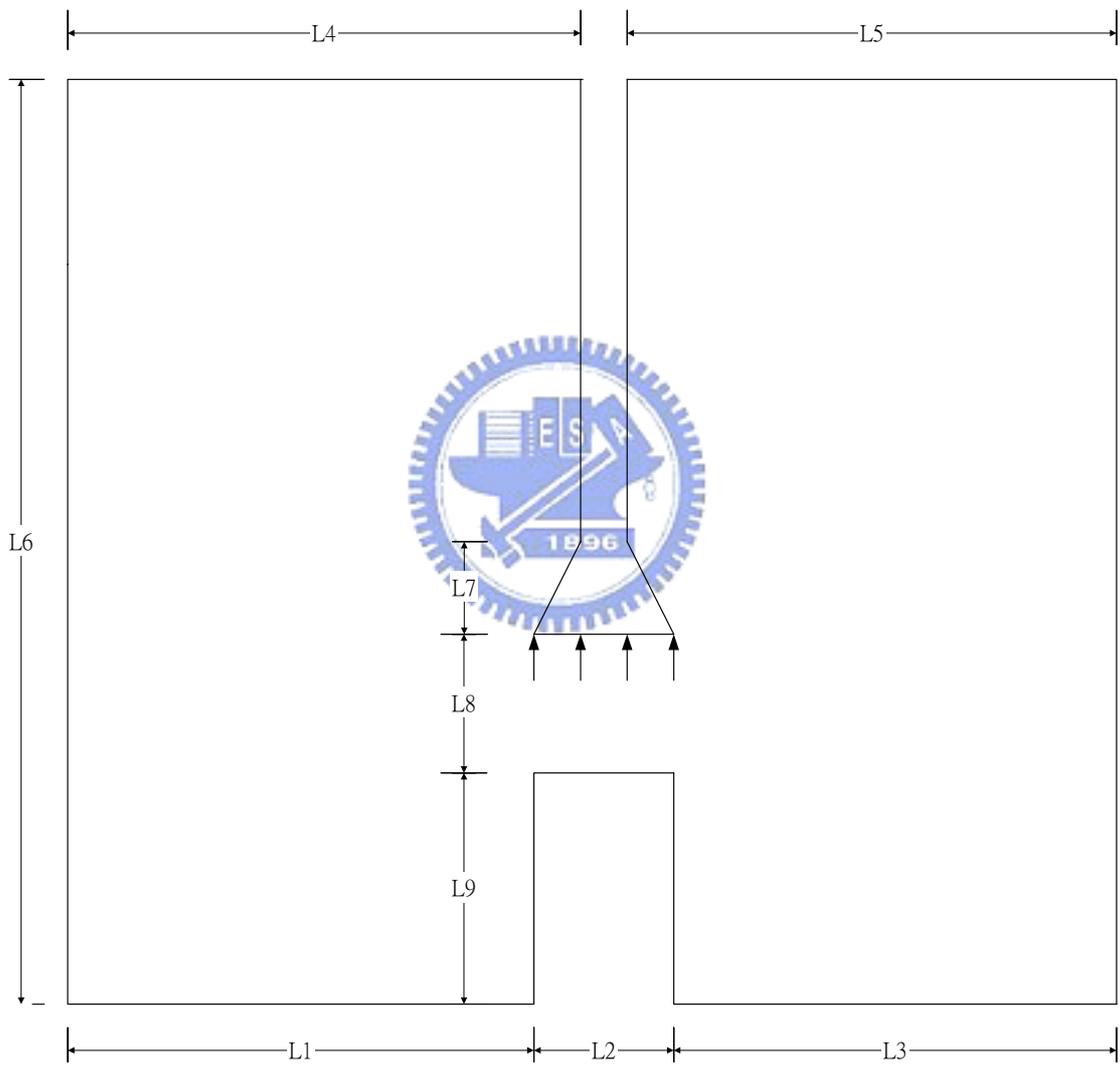


圖 2-1 上吸式氣罩物理模式圖

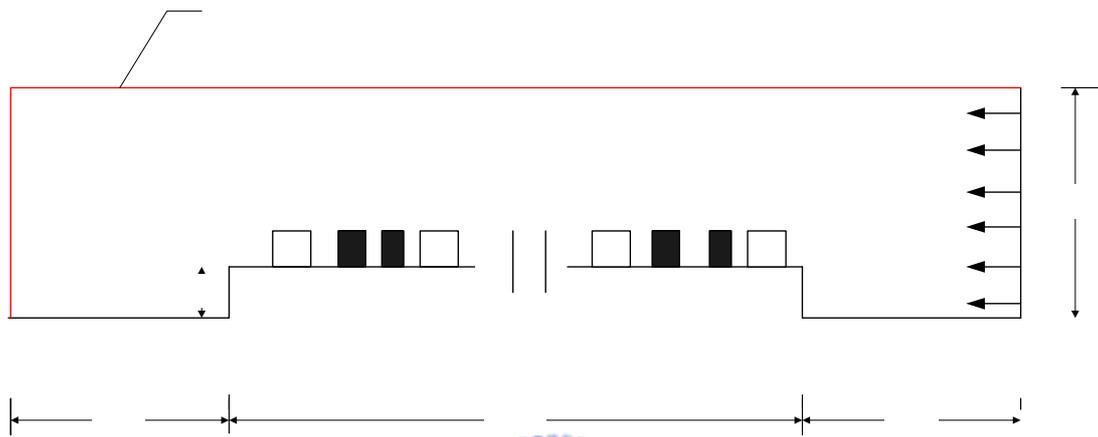


圖 2-2 二維煙囪及建築之物理模式



壓力邊界

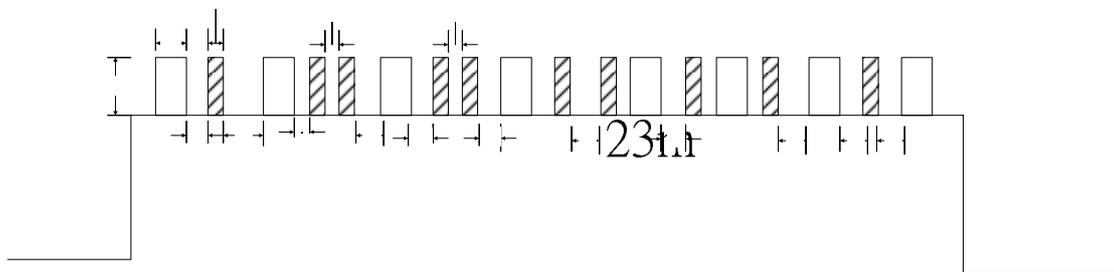


圖 2-3 二維煙囪及建築之物理模式 2

200m

228m

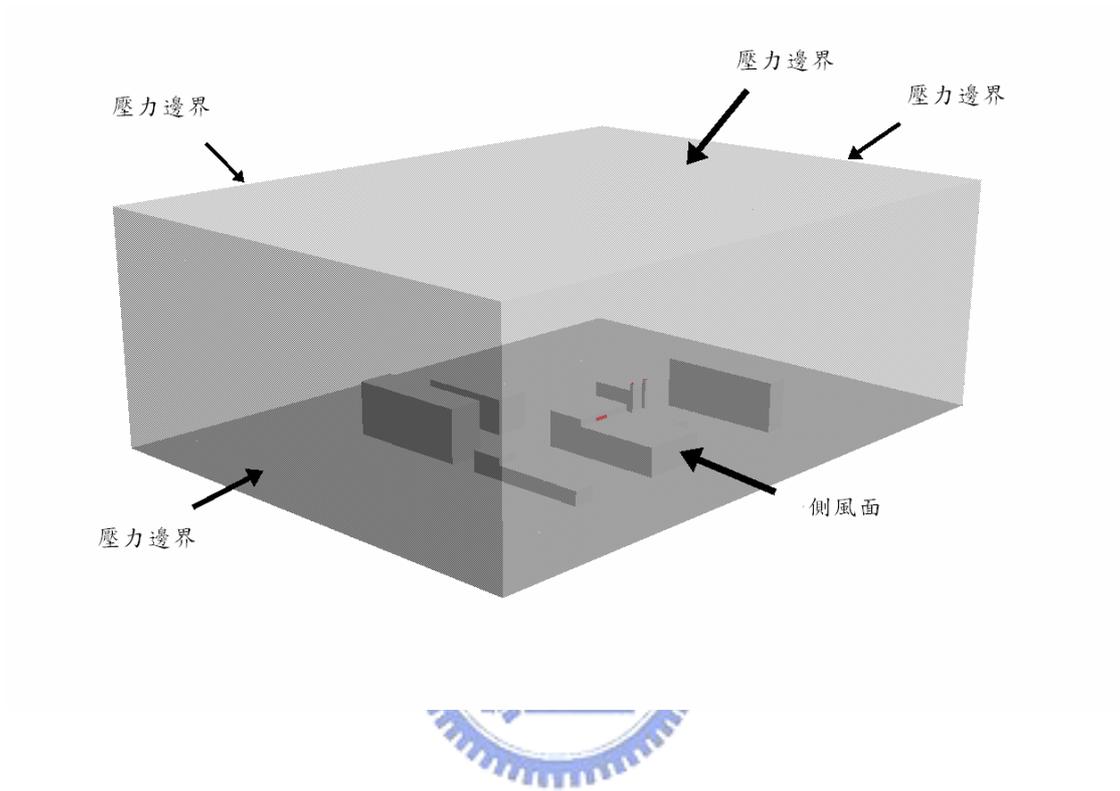


圖 2-4 三維煙囪及建築之物理模式

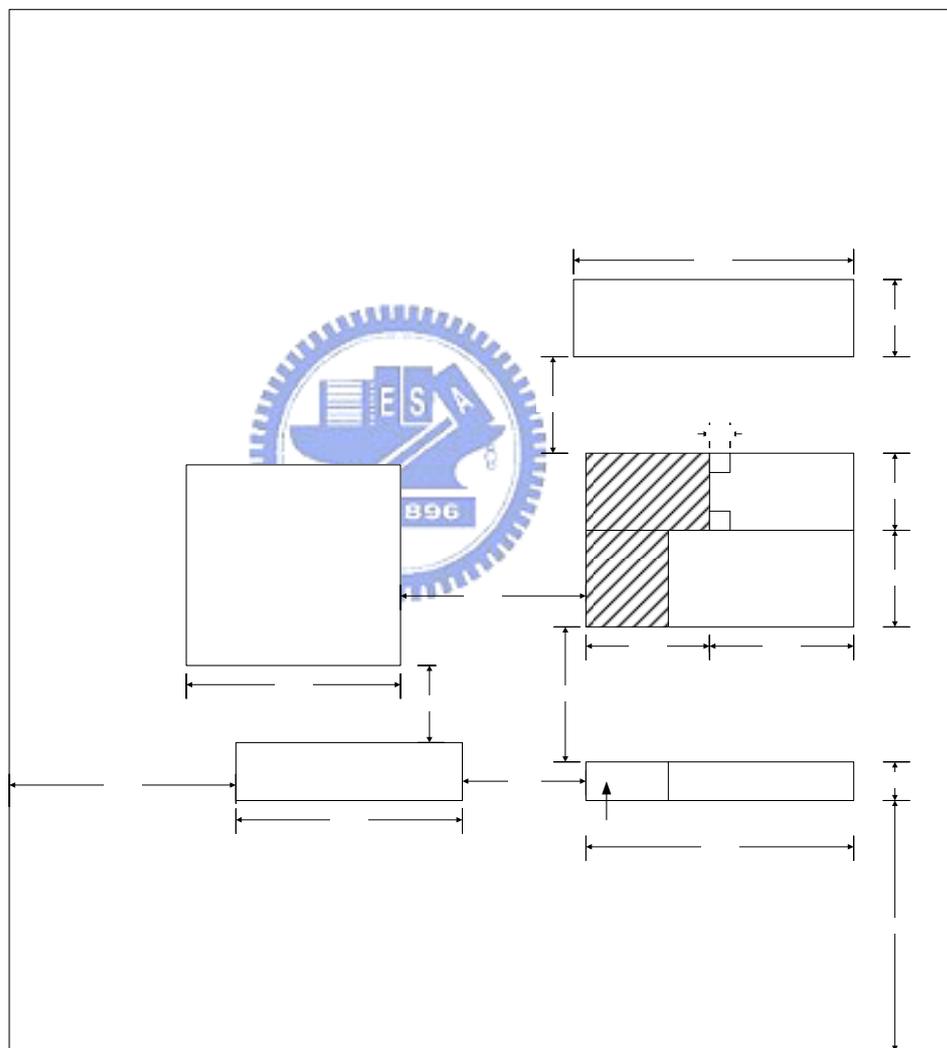


圖 2-5 三維煙囪及建築之鳥瞰圖

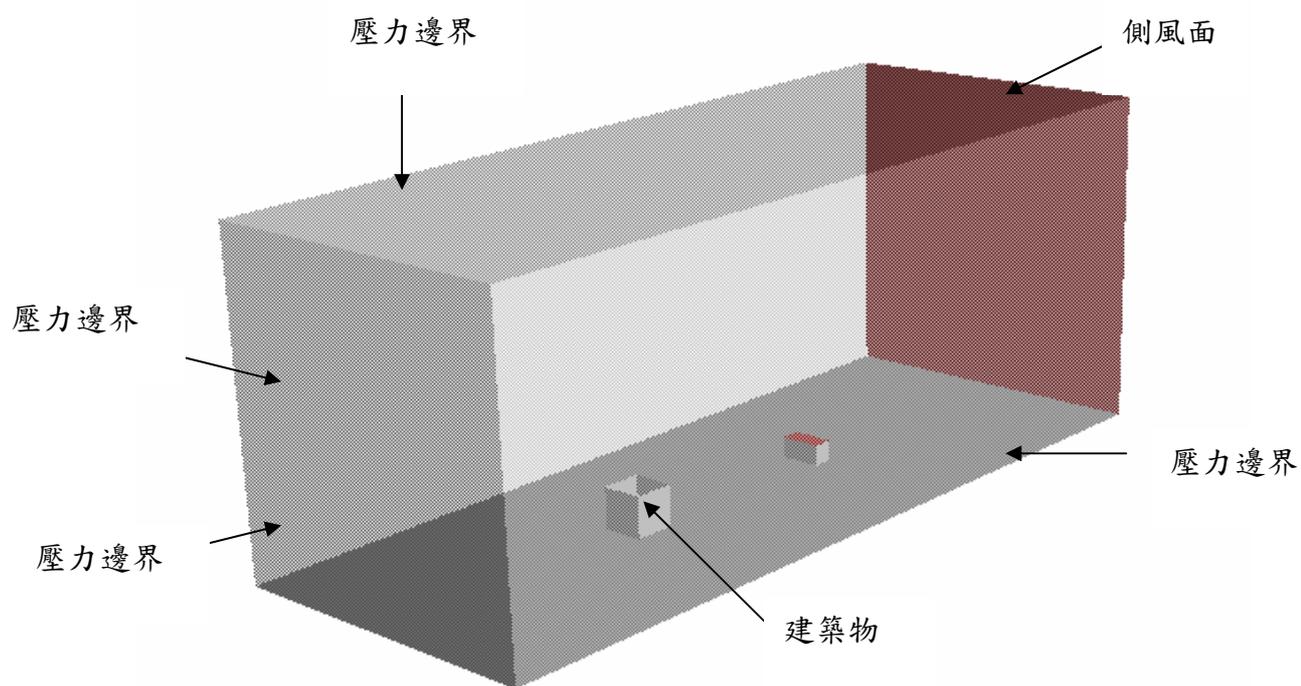


圖 2-6 三維煙囪及單棟建築之示意圖

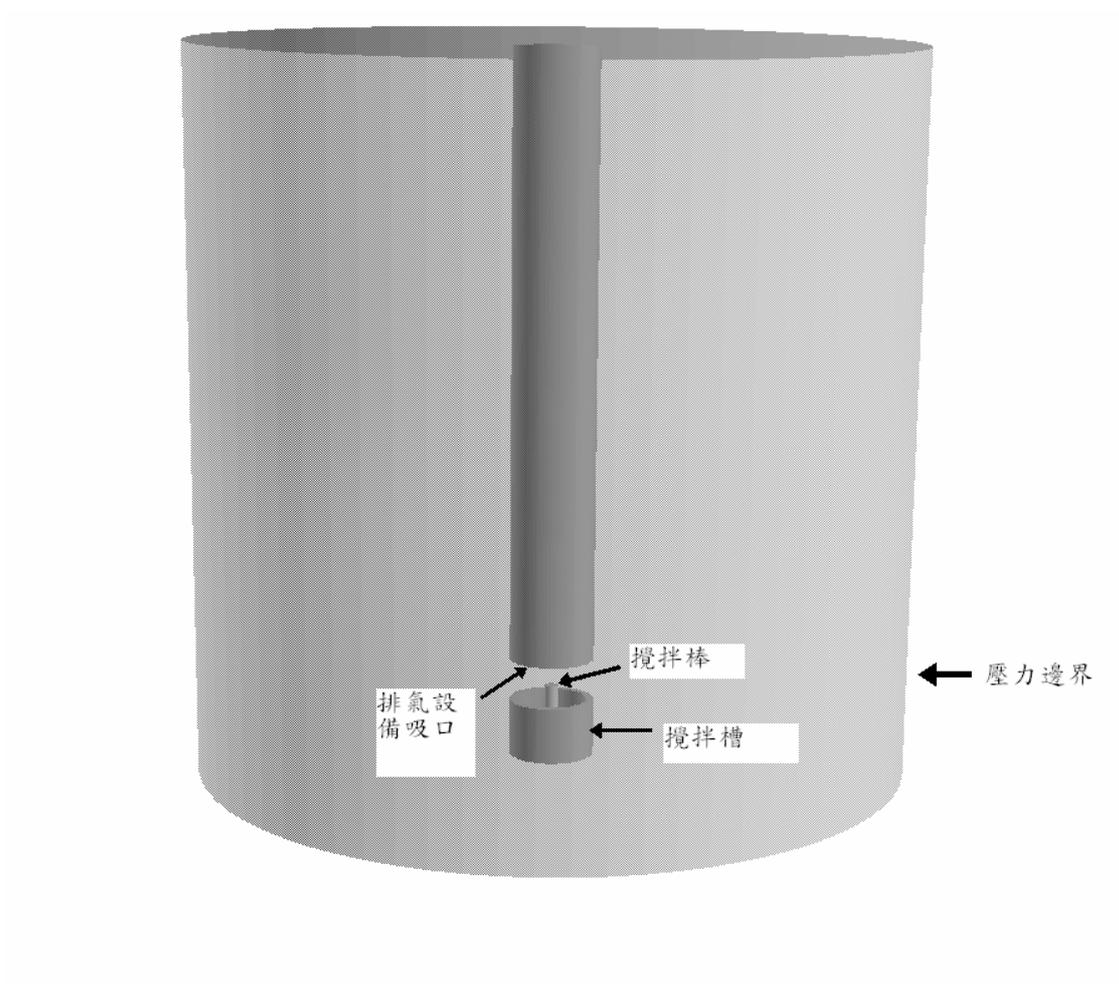


圖 2-7 化學物質攪拌槽之示意圖

2-2 流場速度之計算

本文選擇以 $k-\varepsilon$ 紊流模式來模擬流場。為簡化分析，流場作如下假設：

1. 流場為二維不可壓縮穩定流場。
2. 流體為牛頓流體，密度為定值。
3. 流場不因固體粒子的加入而改變。
4. 不考慮溫度變化，亦不考慮因黏滯性生成熱量問題。
5. 壁面為絕熱、不可滑移 (No slip) 條件。
6. 污染物為不活潑氣體，即不在彼此之間發生反應，亦不和工作流體發生反應。

流場的統御方程式：

連續方程式：

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j) = 0 \quad (2-1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + s_i \quad (2-2)$$

$$\tau_{ij} = 2\mu s_{ij} - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} - \overline{\rho u_i' u_j'} \quad (2-3)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2-4)$$

其中：

x_i : 卡式座標 ($i=1, 2, 3$)

u_i : 流體在 x_i 方向的絕對速度

\tilde{u}_i : 流體與座標系統的相對速度

p : 全壓力值，由 $p = p_s - \rho_0 g_m x_m$ 計算得到，其中 p_s 為靜壓力， ρ_0 為參考密度， g_m 為重力場， x_m 為座標值

ρ : 密度

τ_{ij} : 應力張量

s_{ij} : 動量來源 (momentum source)

紊流動能方程式 (k-equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j k - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j}) = \mu_t p + -\rho \varepsilon - \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (2-5)$$

其中：

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (2-6)$$

$$p \equiv 2\delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (2-7)$$

σ_k 為經驗值。



紊流動量消耗方程式：

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j \varepsilon - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}) = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left[\mu_t (p + C_{\varepsilon 3} p_B) - \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - C_{\varepsilon 4} \rho \varepsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (2-8)$$

其中 σ_ε , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, $C_{\varepsilon 3}$, $C_{\varepsilon 4}$ 為經驗值

標準 $k-\varepsilon$ 紊流模式係數值

C_μ	σ_k	σ_ε	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$C_{\varepsilon 3}$	$C_{\varepsilon 4}$
0.09	1.0	1.22	1.44	1.92	0.0 or 1.44*	-0.33

* $C_{\varepsilon 3}=1.44$ for $p_B > 0$ and is zero otherwise

濃度擴散方程式

$$\rho \frac{\partial C_m}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \overline{u_j} C_m - F_{m,j}) = 0 \quad (2-9)$$

其中式(2-9)：

$$C_m = \frac{m_m}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \text{ 代表某物質於混合成分的質量分率}$$
$$F_{m,j} = \rho D_m \frac{\partial C_m}{\partial x_j} - \overline{\rho u_j' C_m'} \quad (2-10)$$

以及遵守 $\sum_m C_m = 1$ ，而 C_m' 代表紊流濃度變化量 (concentration fluctuation)

邊界條件：

1. 入口

$$U = 0, \quad V = V_{in}, \quad W = 0$$

紊流強度 $I = 0.01$

mixing length $l = 0.001m$



2. 壁面

壁面設為無滑移邊界 (no slip condition)。

$$U = 0, V = 0, W = 0$$

一般而言固體邊界適用於無法移動的邊界設定，如天花板、牆面、地板、阻礙物的接觸面，均可以使用此設定。

$$u = 0, v = 0, w = 0 \quad [\text{m/s}]$$

k 與 ε 則採用 near-wall model 處理

$$u^+ = \begin{cases} y^+ & , \quad y^+ \leq y_m^+ \\ \frac{1}{k} \ln(Ey^+) & , \quad y^+ \geq y_m^+ \end{cases} \quad (2-11)$$

其中式 (2-11) 中

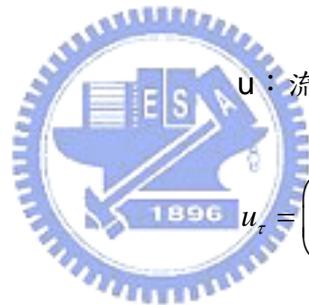
$$u^+ = \frac{u - u_m}{u_t}$$

u_w : 壁面速度

τ_w : 壁面剪應力

k : 為經驗係數，0.42

而 y_m^+ 滿足右列方程式



u : 流體切線速度

$$u_t = \left(\frac{\tau_w}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$y^+ = \frac{\rho c_{\mu}^{1/4} k^{1/2} y}{\mu}$$

E : 為經驗係數，9.0

$$y_m^+ - \frac{1}{k} \ln(Ey_m^+) = 0 \quad (2-12)$$

3. 壓力邊界：

壓力邊界的設定為大氣壓力。

$$P=0, \quad \frac{\partial k}{\partial n}=0, \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial n}=0$$

4. 濃度發生源：

$$C_{SF_6}'|_{wall}=1$$

本文於煙囪之出口處設定為濃度的發散源、

設定之發生濃度污染物為 SF_6 ，選定的原因是在於一般實驗測試有害氣體時為了便於追蹤，往往會使用具有指標作用的氣體，由於 SF_6 是毒害小，背景環境條件下濃度低的氣體，因此選定之，而一般氣體暴露濃度整理為表 2-1。而 SF_6 各項性質整理如表 2-2 所示。本數值計算的工作流體為空氣，而其性質如表 2-3 所示。



表 2-1 一般氣體暴露濃度

氣體種類	危險濃度 (體積濃度)	危險濃度 (重量濃度)	分子量
CO ₂	5000ppm	0.0076	44
N ₂ O	25ppm	0.000037	44
SF ₆	1000ppm	0.005	146.057

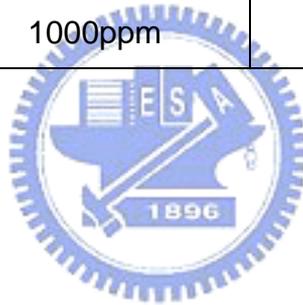


表 2-2 SF₆ 之相關性質設定

係數	對應值	單位
分子量(molecular weight)	146.057	Kg/kmol
密度(Density)	6.0414	Kg/m ³
比熱(Specific heat)	663.87	J/kgK
分子黏滯係數(Molecular Viscosity)	1.543*10 ⁻⁵	Kg/ms
熱傳導率(conductivity)	0.012806	W/mK
生成熱(Heat of Formation)	-8.356*10 ⁶	J/kg
生成溫度(Temp of Formation)	298.15	K
相對於空氣之擴散係數(Diffusivity)	3.004*10 ⁻⁵	m ² /s
Schmidt number	0.9	

表 2-3 工作流體(空氣, Air) 相關性質表

係數	對應值	單位
密度(Density)	1.205	Kg/m ³
分子黏滯係數(Molecular Viscosity)	1.81*10 ⁻⁵	Kg/ms



2-3 粒子運動統御方程式

微小粒子的運動極為繁雜，為簡化起見，以下基本假設視為成立：

1. 工作流體為牛頓流體，流場不因粒子加入而改變。
2. 粒子為球型剛體，運動時相互間無碰撞及合併發生。
3. 不考慮溫度及濃度的影響。

基於上述假設，粒子的運動方程式可以下列描述：

動量方程式：

$$m_d \frac{d\vec{u}_d}{dt} = \vec{F}_{dr} + \vec{F}_p + \vec{F}_{am} + \vec{F}_b \quad (2-13)$$

其中 \vec{F}_{dr} 為 drag force

$$\vec{F}_{dr} = \frac{1}{2} C_d \rho A_d |\vec{u} - \vec{u}_d| (\vec{u} - \vec{u}_d) \quad (2-14)$$

且 A_d 為粒子 cross-sectional area

$$C_d = \begin{cases} 24(1 + 0.15 \text{Re}_d^{0.687}) / \text{Re}_d, & \text{Re}_d \leq 10^3 \\ 0.04, & \text{Re}_d > 10^3 \end{cases} \quad (2-15)$$

$$\text{Re}_d \equiv \frac{\rho |\vec{u}_d - \vec{u}| D_d}{\mu} \quad (2-16)$$

\vec{F}_p 為壓力

$$(2-17)$$

\vec{F}_{am} 為吸收粒子動量所改變的力

$$\vec{F}_{am} = -C_{am} \rho V_d \frac{d(\vec{u}_d - \vec{u})}{dt} \quad (2-18)$$

$C_{am} = 0.5$ 稱為 virtual mass coefficient

\vec{F}_b 為 general body force

$$\vec{F}_b = m_d [\vec{g}] \quad (2-19)$$

第三章 數值方法

3-1 數值方法

本文中利用數值方法，求解局部排氣設備其周圍的流場，此數值方法乃是應用流體力學輔助軟體 Star-Cd 計算，紊流流場 $k-\varepsilon$ 模式及不可壓縮流模式，以 SIMPLE Algorithm 解二維、三維 Navier-Stokes equations，並利用有限體積法(finite-volume)疊代計算整個流場，各物理變數定義於每個控制體積的中央，離散方程式由統御方程式對每個控制容積作積分而得。

有限體積法的守恆方程式(conservation equations)可表示如下：

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho \phi) + \text{div}(\rho \vec{u}_r \phi - \Gamma_\phi \text{grad} \phi) = s_\phi \quad (3-1)$$

其中 $\vec{u}_r = \vec{u} - \vec{u}_c$ 為流體速度 \vec{u} 與局部速度 \vec{u}_c 之相對速度， ϕ 為任意相關變數， Γ_ϕ 和 s_ϕ 分別為擴散係數(diffusion)和來源係數(source)。

將(3-1)改寫為：

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \phi dV + \int_S (\rho \vec{u}_r \phi - \Gamma_\phi \text{grad} \phi) \cdot d\vec{S} = \int_V s_\phi dV \quad (3-2)$$

如圖 3-1，可以將方程式寫成下式：

$$\frac{d}{dt} \int_{V_p} \rho \phi dV + \sum_j \int_{S_j} (\rho \vec{u}_r \phi - \Gamma_\phi \text{grad} \phi) \cdot d\vec{S} = \int_V s_\phi dV \quad (3-3)$$

$T_1 \qquad T_2 \qquad T_3$

式(3-3)中第一項可以離散如下式：

$$T_1 \approx \frac{(\rho \phi V)_p^n - (\rho \phi V)_p^o}{\delta t} \quad (3-4)$$

式(3-3)中第二項可以將其分為對流項(convection)以及擴散項(diffusion)

$$T_2 \approx \sum_j (\rho \vec{u}_r \phi \cdot \vec{S})_j - \sum_j (\Gamma_\phi \overrightarrow{\text{grad} \phi} \cdot \vec{S})_j \equiv \sum_j C_j - \sum_j D_j \quad (3-5)$$

convection diffusion

擴散項可以展開成如下式：

$$D_j \approx \Gamma_\phi \left\{ f_j^l (\phi_N - \phi_P) + \left[\nabla \phi \cdot \vec{S} - f_j^l \nabla \phi \cdot \vec{d}_{PN} \right]_j \right\} \quad (3-6)$$

對流項的處理，以 Upwind Differencing Scheme 為例(如圖 3-2)

$$C_j^{UD} \equiv F_j \begin{cases} \phi_P & , F_j \geq 0 \\ \phi_{N^+} & , F_j < 0 \end{cases} \quad \text{其中 } F_j \equiv (\rho \vec{u}_r \cdot \vec{S})_j \quad (3-7)$$

式(3-3)中的第三項可以寫成下式：

$$T_3 \approx s_1 - s_2 \phi_P \quad (3-8)$$

將各離散方程式代回式(3-3)中，可以得到一通式：

$$A_P \phi_P^n = \sum_m A_m \phi_m^n + s_1 + B_P \phi_P^o \quad (3-9)$$

and

$$A_P \equiv \sum_m A_m + s_2 + B_P \quad (3-10)$$

其中 1. A_m 為對流和擴散的影響。

2. 計算通量為所有相鄰點的總和。

3. $B_P \equiv (\rho V)^o / \delta t$

藉著有限體積法(finite-volume)的疊代，可以解得紊流流場統御方程式的 u 、 v 、 p 、 T 、 k 及 ε 。之後，再計算粒子統御方程式，因為粒子粒徑、質量很小，故流場速度不因粒子的加入而有所改變，所以由粒子動量方程式(式 2-8)可以解得粒子速度 \vec{u}_d 。

計算收斂條件以每一次疊代後所有控制容積內的殘值改變率小於給定值做為收斂條件。

$$C_\phi^k = \sum \left(|B_P^n \phi_P^n| - |B_P^o \phi_P^o| \right) < (\text{給定值}) \quad (3-11)$$

本文數值計算解收斂條件所給的值為 0.001。數值計算流程圖如圖 3-3 所示。

如遇上解暫態流場，則式 (3-11) 則改為每一個 time step 疊代至小於收斂值。



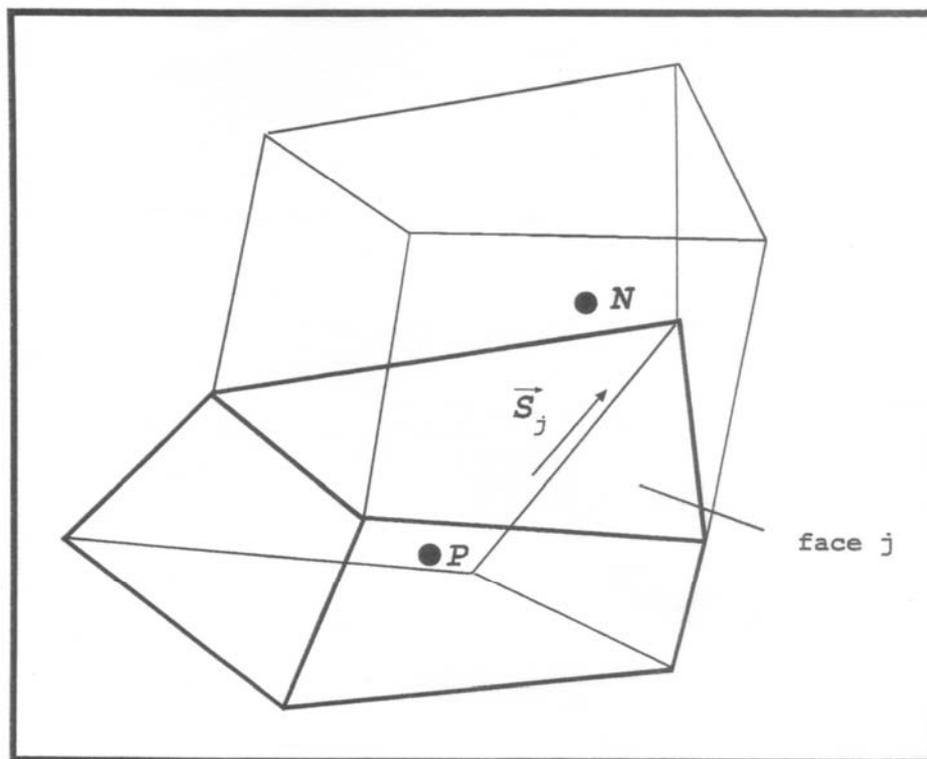


圖 3-1 相鄰網格中心點及離散面相關位置示意圖 (12)

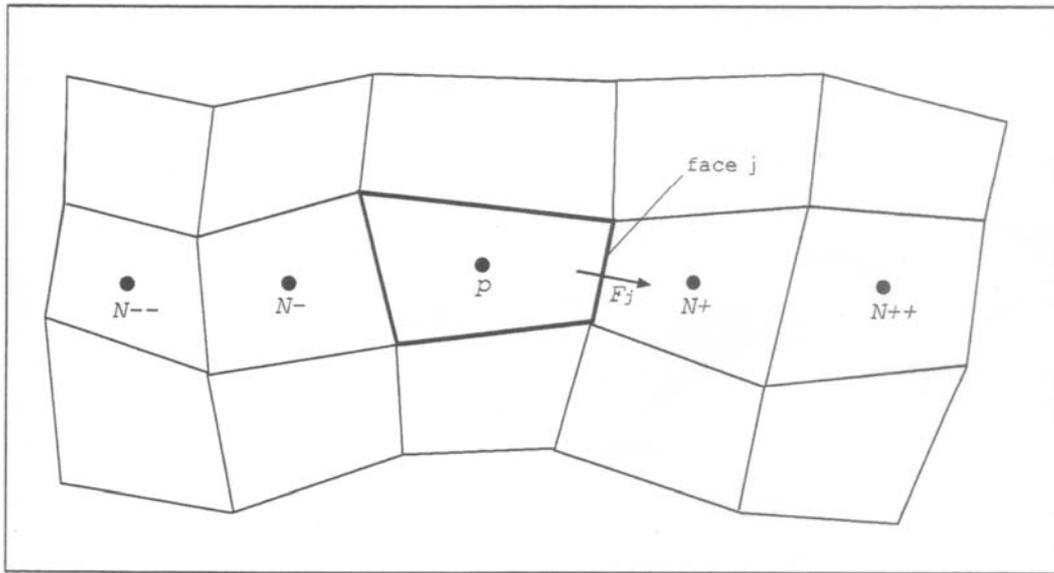


圖 3-2 對流通量示意圖 (13)

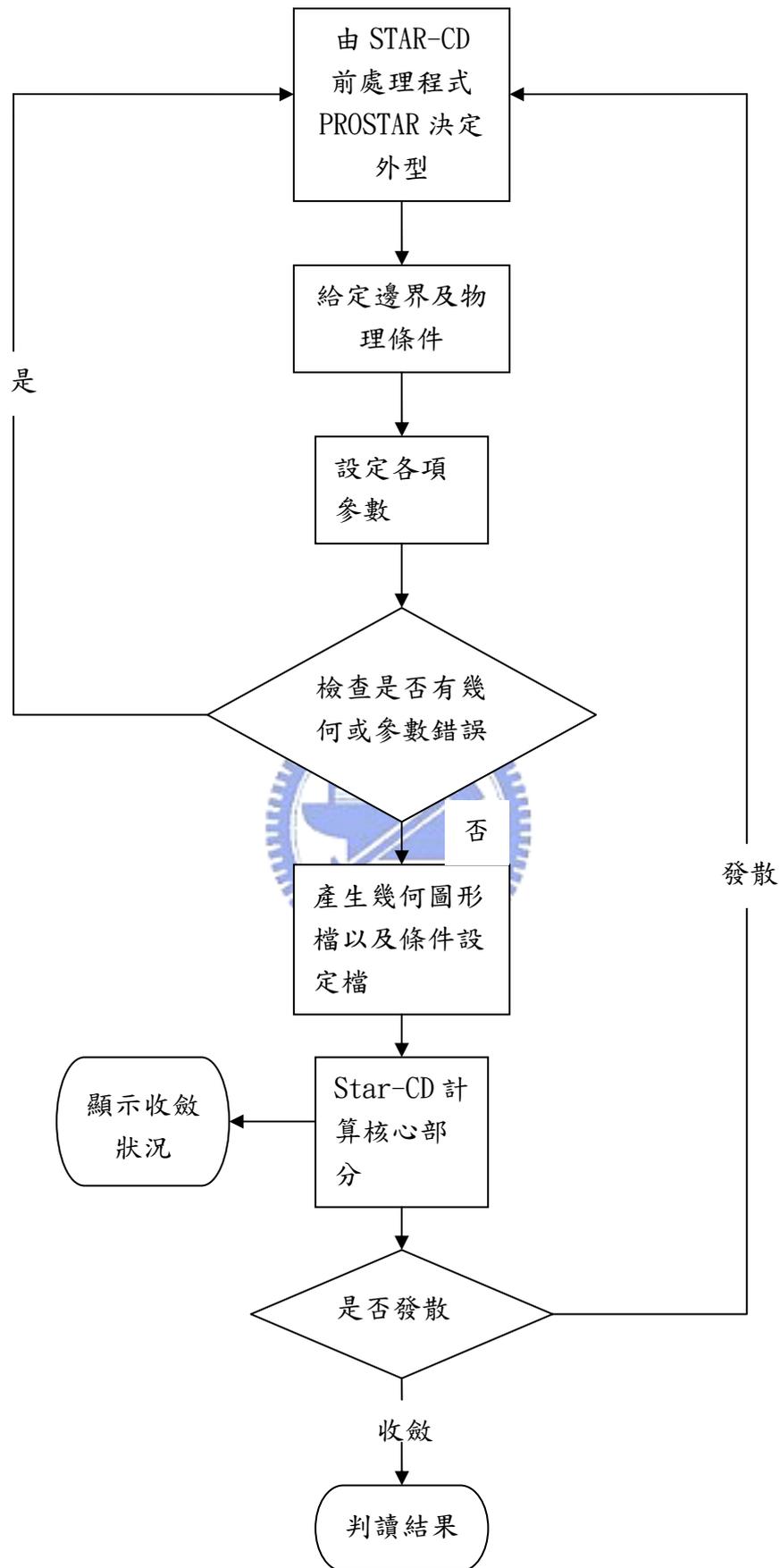


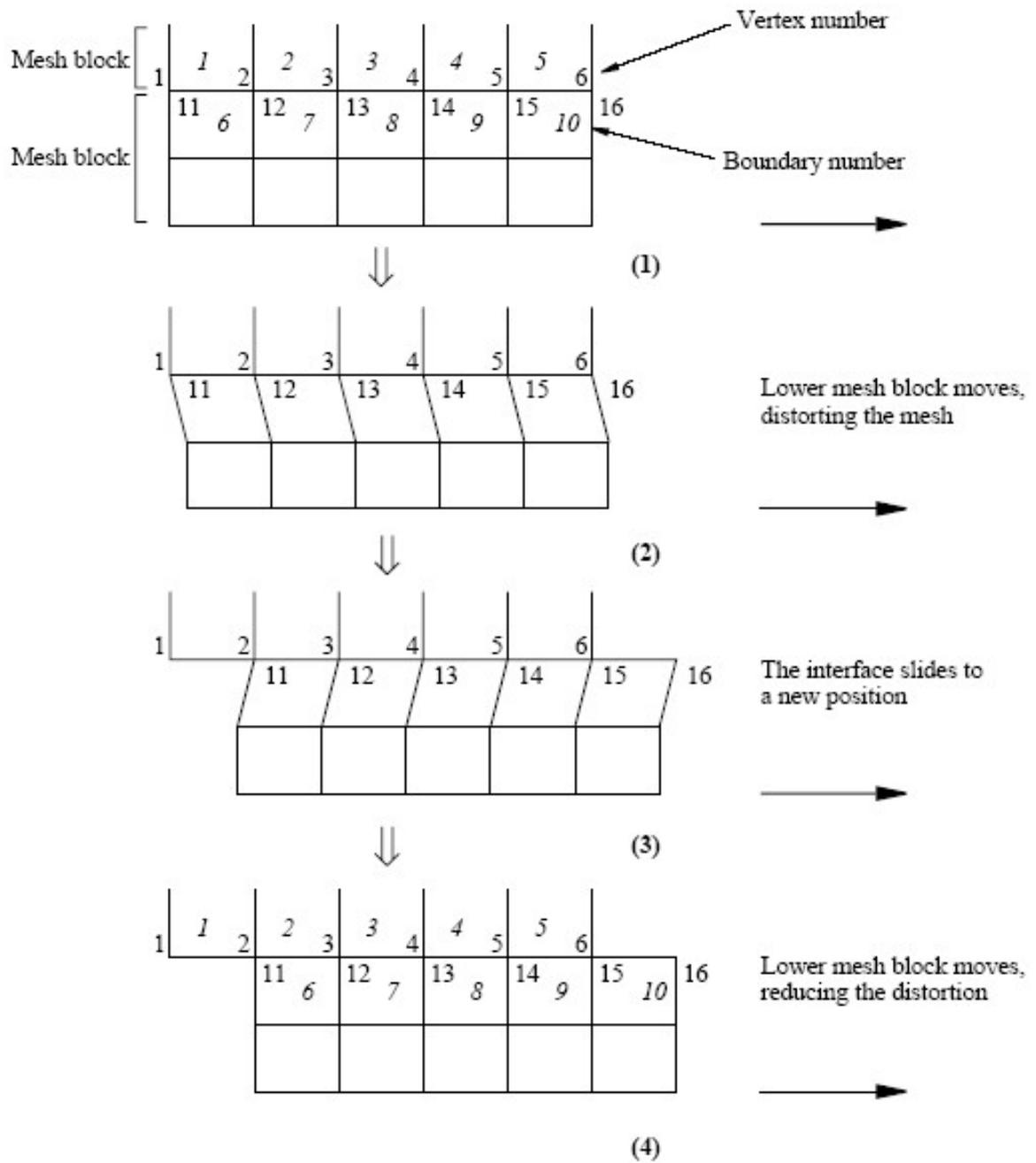
圖 3-3 數值計算流程圖

3-2 暫態滑移網格(sliding mesh)

分析化學攪拌槽濃度擴散情形時，其攪拌棒需要沿特定軸做等速度轉動。至於處理方式則使用滑移網格進行。如圖 3-4 所示。

由圖 3-4 可知，靠近交界面上的網點(vertex number)分別為 1-6 點及 11-16 點。而較在網格中心的編號則為上下交界面定義的上下交界面編號(boundary number)，其分別為 1-5 及 6-10。在滑移過程中，則以 Δt 時間乘上對應的角速度或移動速度(視移動為等角速度移動或是平移移動)，則此值為位移距離。首先移動下面從屬網格並之後改變各網點位置連接關係，之後再移動交界面位置，再之後再次移動下面從屬網格以恢復原本因移動而扭曲的網格，並更新上下邊界的連接關係，如原本(1)部分 1 和 6 之邊界相接，之後至(4)則改為 2 和 6 相接臨。網點亦是如此。而在每一步進時均計算整個區域內流場關係，以達到暫態轉動的效果。

此暫態滑移網格計算方式於每一次時間步進時， Δt 不可過大，否則位移距離會過大(不可超過一個網格距離)，否則造成網格修正的困難度及扭曲過於嚴重，使得流場發散而無法收斂。



3-4 滑移網格進行方式說明示意圖 (14)

3-3 流場動畫製作方法

粒子於流場中運動軌跡的動畫製作將分為兩部分：

一、氣流場的動畫製作：

1. 利用方程式 (2-1)、(2-2)、(2-5)、(2-8) 計算出流場的速度分佈後，首先於圖 2-1、圖 2-2 的物理模式上選定一個區域當成視覺化範圍，此範圍即為影像擷取所擷取的範圍。如圖 3-5、圖 3-6 所示。
2. 視覺化範圍確定後，於流場中視覺化範圍以外處放置和空氣密度相同之微小粒子，簡稱空氣粒子，釋放空氣粒子，於流場中放置的空氣粒子會由放置位置（圖中 X 所示之位置）之流線到達氣罩吸口處，紀錄各空氣粒子之軌跡。如圖 3-7 為於流場中放置空氣粒子時，空氣粒子所產生的軌跡。
3. 沿著上述空氣粒子到達氣罩吸口的軌跡尋找軌跡所經過的最近節點（計算節點），於各適當節點上分別放置空氣粒子。圖 3-8 為在圖 3-7 所示之流場中的其中一個空氣粒子所產生的連續軌跡上，放置數顆空氣粒子的情形。以同樣的方式放置更多的空氣粒子於流場中，並同時釋放所有空氣粒子，圖 3-9 為流場中空氣粒子同時釋放時之情形。以影像擷取軟體錄製視覺化範圍內空氣粒子運動之電影檔。
4. 另藉由流場中的速度向量判斷渦流發生處，如圖 3-10 所示，及估計渦流大小，再於渦流處放置白色的空氣粒子以模擬氣流場中的渦流，如圖 3-11 所示。釋放放置於渦流處之空氣粒子，並以影像擷取軟體錄製視覺化範圍內空氣粒子運動之電影檔。
5. 使用影像編輯軟體，將以上所製作之電影檔覆疊，即完成流場中空氣粒子運動之電影檔，圖 3-12 為流場中所有空氣粒子釋放時其運動之情形。

在流場中放置空氣粒子的功用，有如實驗中放置的煙線，可以有效地達到流場可視化的效果。

二、粒子飛行軌跡的動畫製作：

1. 利用方程式 (2-13) 計算出粒子的運動軌跡後，於流場中將固體粒子釋放。釋放後的固體粒子將會根據計算所得的運動軌跡移動，如圖 3-13 為固體粒子於流場中之運動軌跡（圖 3-13 中紅色圓點為固體粒子釋放位置）。在此過程中，運用影像擷取軟體錄製視覺化範圍內固體粒子運動之電影檔。
2. 將固體粒子之運動軌跡動畫與前述氣流場之動畫結合，則可顯示固體粒子在流場中的飛行軌跡。圖 3-14、圖 3-15、圖 3-16、圖 3-17、圖 3-18、圖 3-19 為流場中固體粒子與氣流之運動情形。氣流場及固體粒子飛行軌跡的動畫製作流程圖如圖 3-20 所示。

三、隨速度改變顏色之氣流場動畫製作：

本文將利用方程式 (2-1)、(2-2)、(2-5)、(2-8) 計算出流場的速度分佈，於流場中的適當計算格子點上放置空氣粒子，方法同上述製作氣流場之步驟，並於利用後處理軟體中的功能：指定空氣粒子隨所經流場位置速度的不同而改變其顏色，以此方式觀察空氣粒子運動時，顏色改變的情形，可以直接的觀察出流場各處速度的變化。圖 3-20 為流場中空氣粒子之顏色隨所經位置速度不同而改變之情形。

流場中濃度擴散的動畫製作：

由於流場中濃度擴散的情形是隨著時間改變，使用後處理軟體來處理暫態流場中各暫態時間濃度擴散的情形，可獲得較佳的視覺效果，於是本文對於製作暫態流場中濃度擴散情形的動畫，採用後處理軟體來製作。濃度場擴散動畫的製作可分為兩部份：

一、利用等濃度範圍來模擬流場中濃度擴散的情形：

利用方程式 (2-9)、(2-10) 計算出暫態流場中的濃度分佈後，將各暫態時間之流場數據輸入至後處理軟體中，對於二維流場本文利用後處理軟體中的 Coordinate-Surface 功能將流場中一截面上濃度隨時間變化之情形顯示出來，並錄製流場中各暫態時間之濃度變化，最後製作成流場中濃度擴散的動畫。

至於三維流場本文採用 Iso-Surface 功能將各濃度值之濃度範圍顯示出來，並調整不同透明度的功能以便清楚觀察出流場中濃度變化的情形，接著錄製流場中各暫態時間之濃度變化。本文採用此種方法製作煙囪於二維空間濃度擴散之動畫、煙囪於三維空間濃度擴散之動畫、化學攪拌槽濃度擴散之動畫。

二、使用氣流來表示流場中濃度擴散之情形：

利用方程式 (2-9)、(2-10) 計算出穩態流場中的濃度分佈後，將所計算出之流場數據輸入至後處理軟體中，並於流場中之適當計算節點上放置空氣粒子，指定空氣粒子之顏色將會隨著所經過位置之濃度而改變，藉此模擬空氣粒子於流場中流動時受濃度污染程度。如圖 3-21 為依上述方法，在流場中放置數顆空氣粒子，流動時顏色隨濃度改變之情形，圖中白色線條為未受污染源污染之氣流，當氣流接近污染源時，將會受污染源污染，氣流污染之程度可由其顏色的改變辨別。

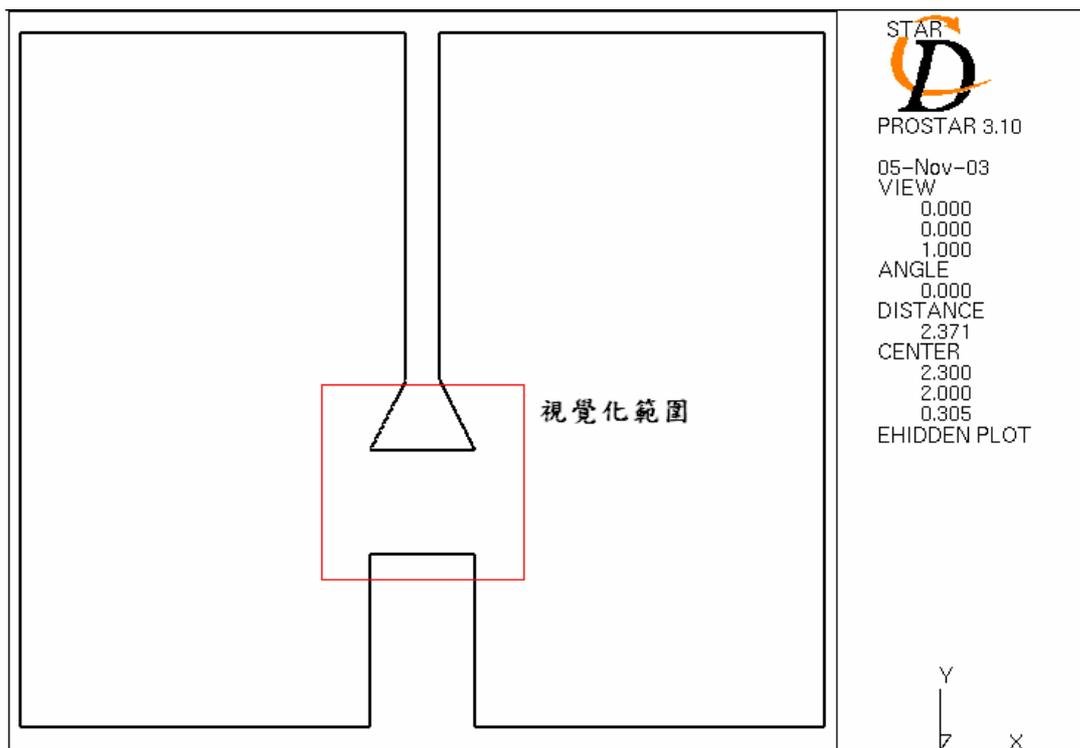


圖 3-5 物理模式中的視覺化範圍

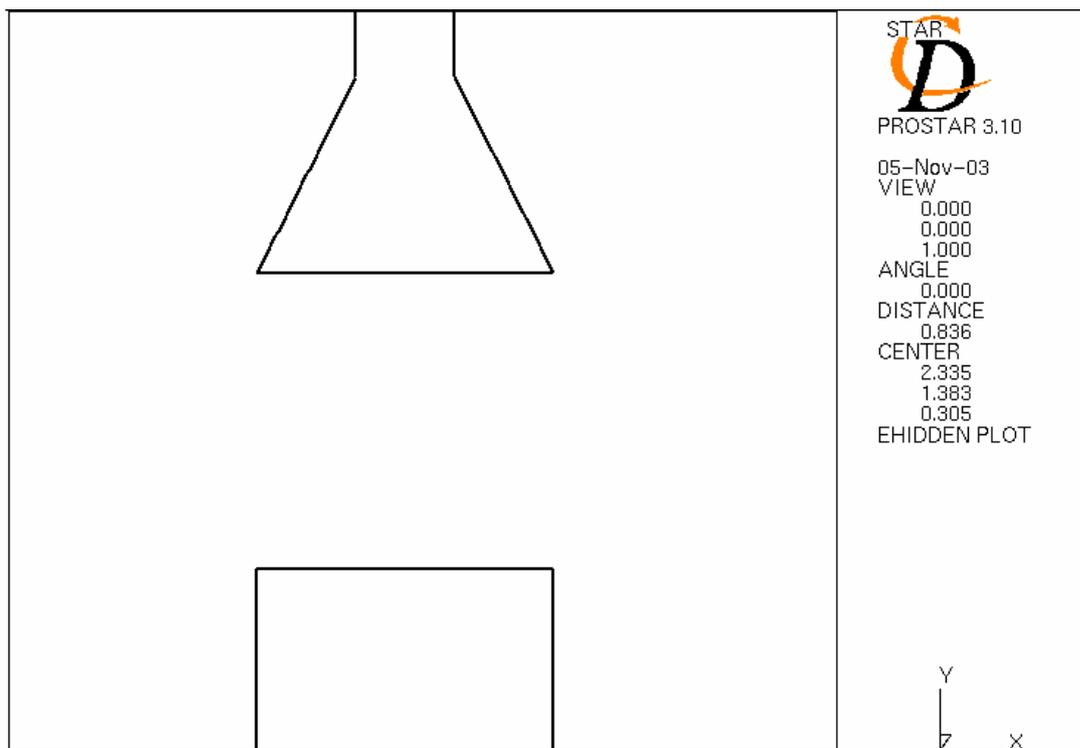


圖 3-6 視覺化範圍

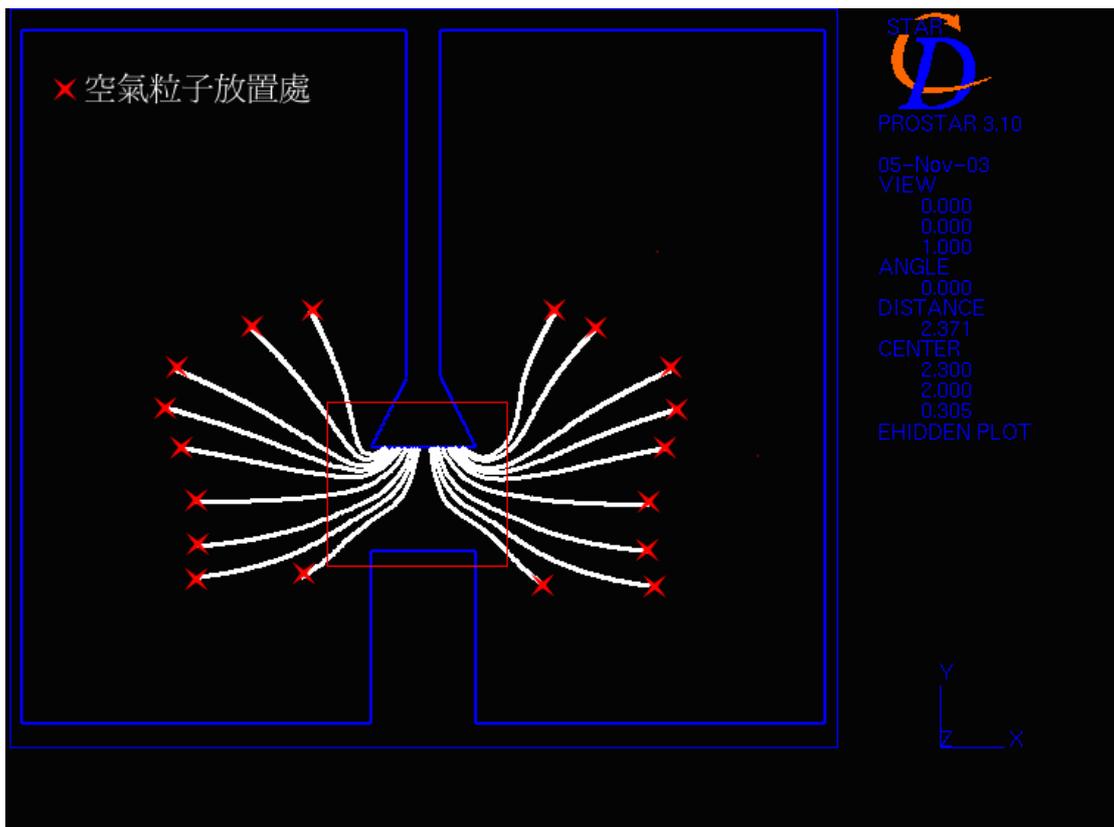


圖 3-7 空氣粒子所產生的連續軌跡

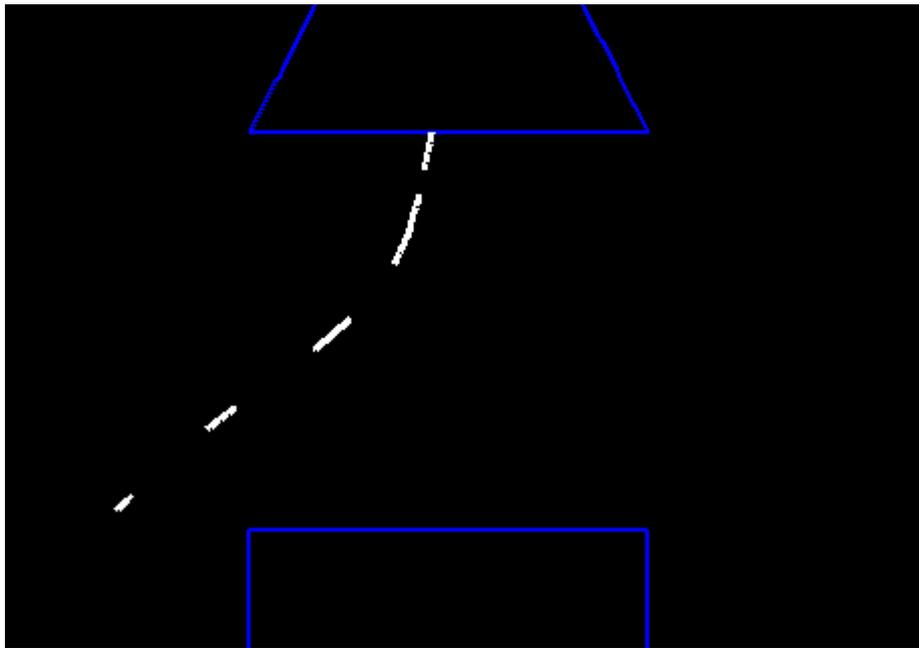


圖 3-8 放置數顆空氣粒子的情形

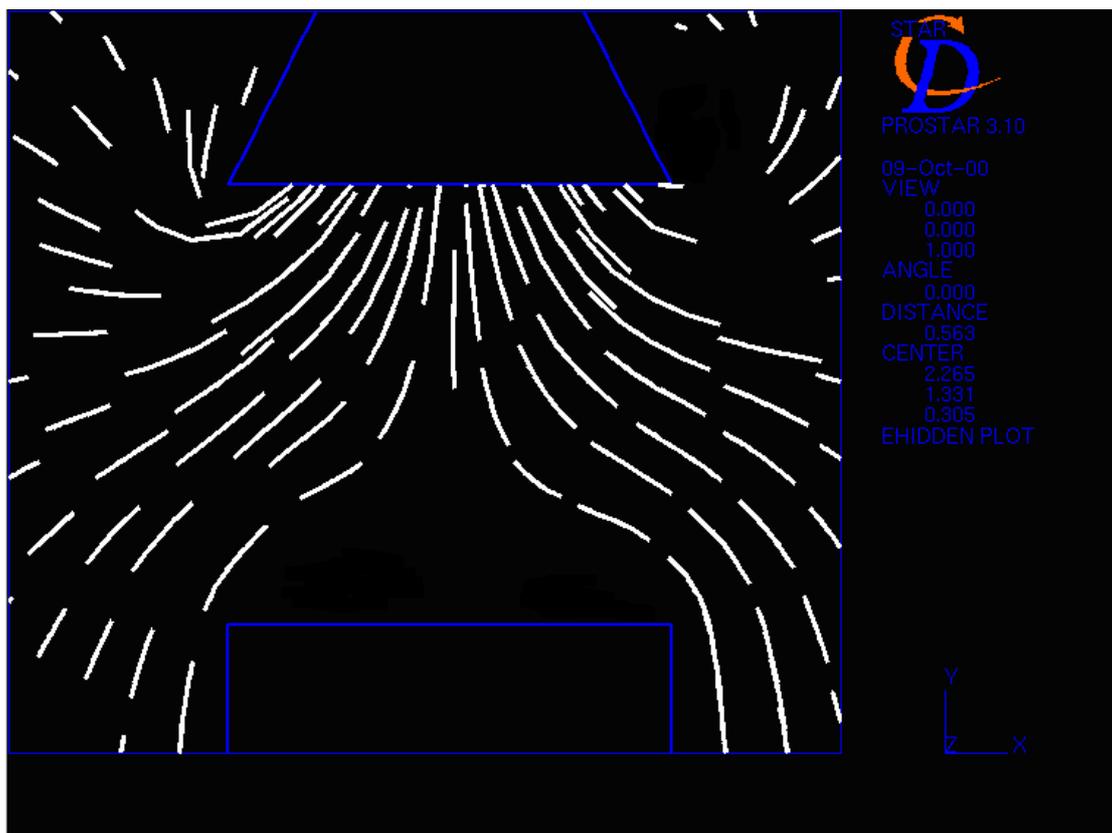


圖 3-9 流場中空氣粒子同時釋放時之情形

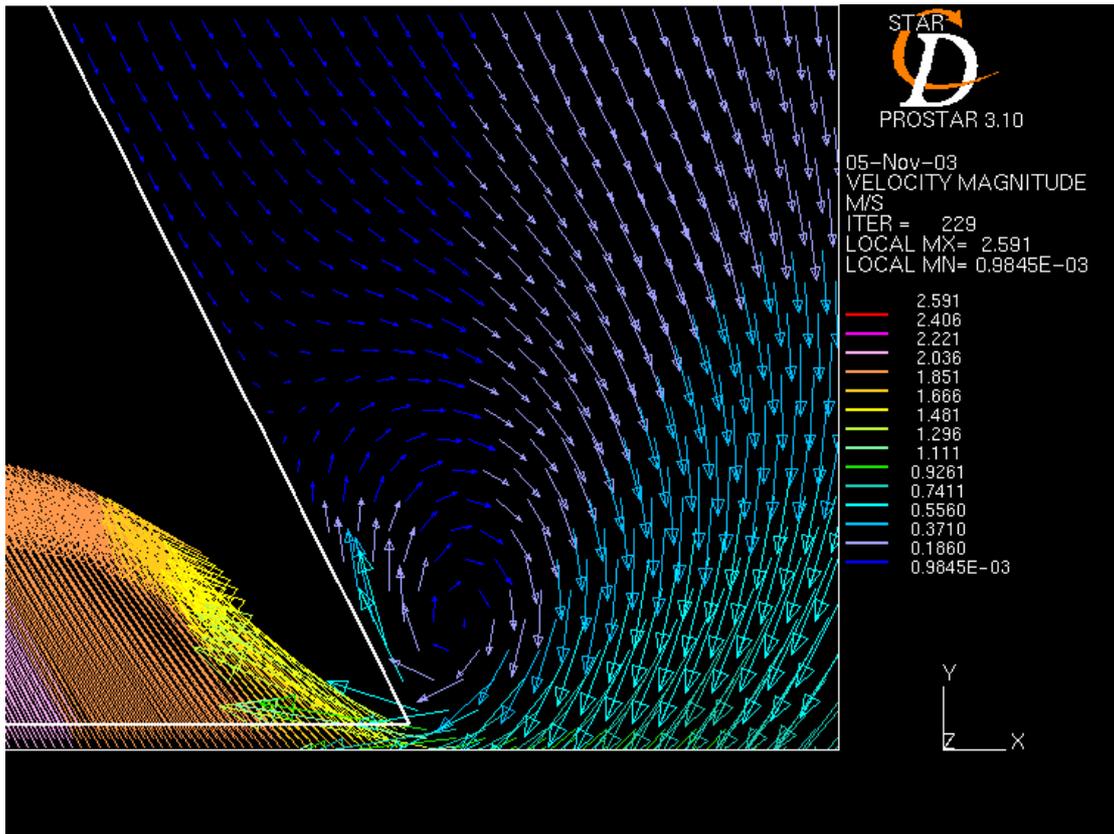


圖 3-10 流場中渦流產生處

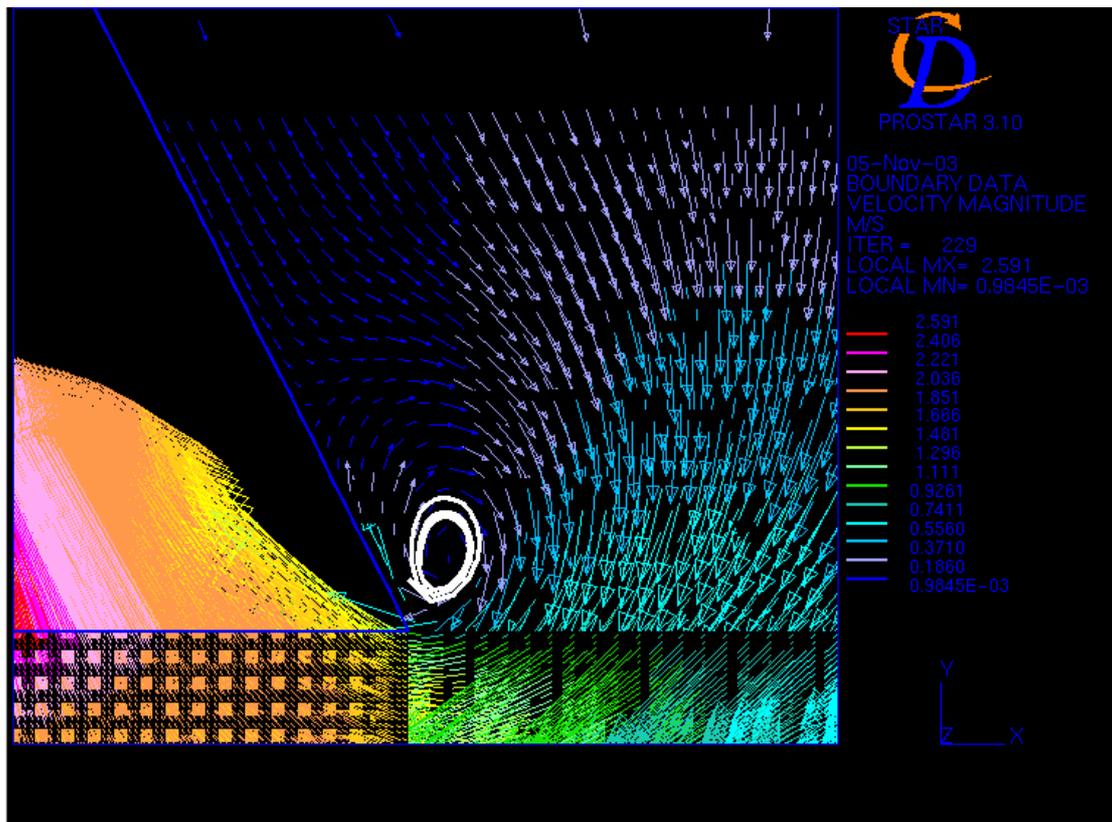


圖 3-11 於渦流產生處放置空氣粒子

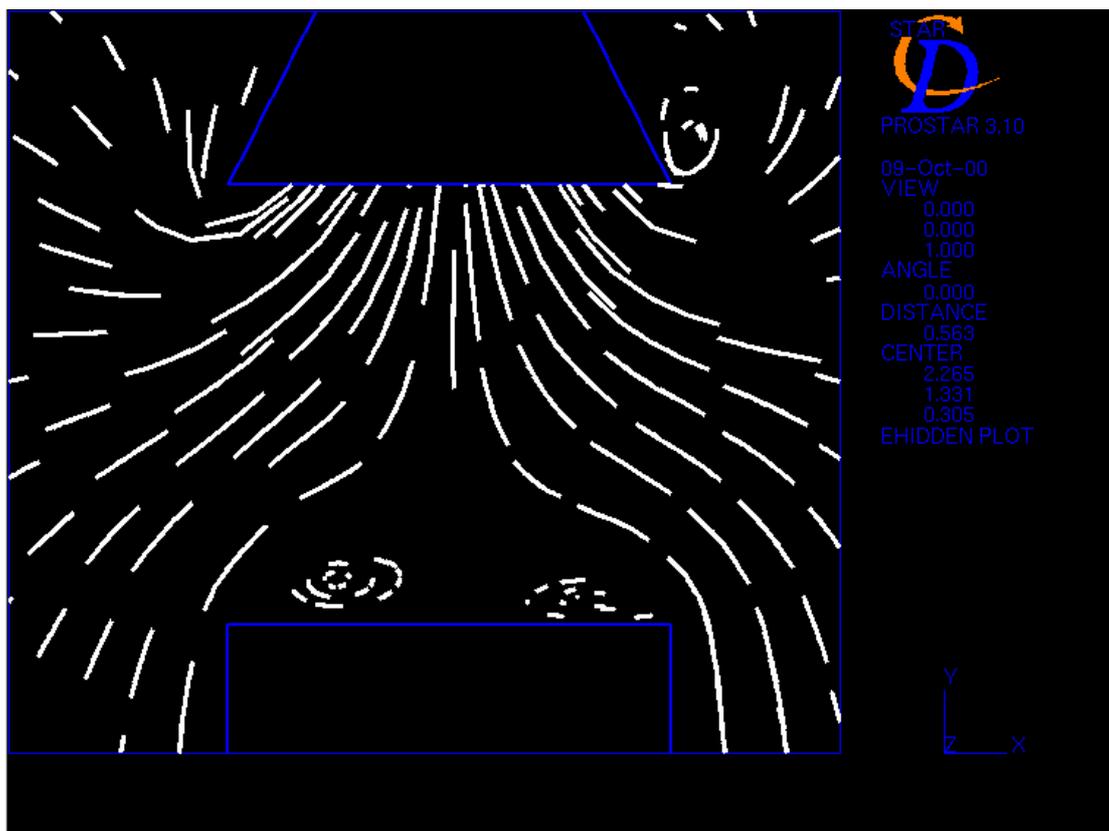


圖 3-12 所有空氣粒子釋放之情形

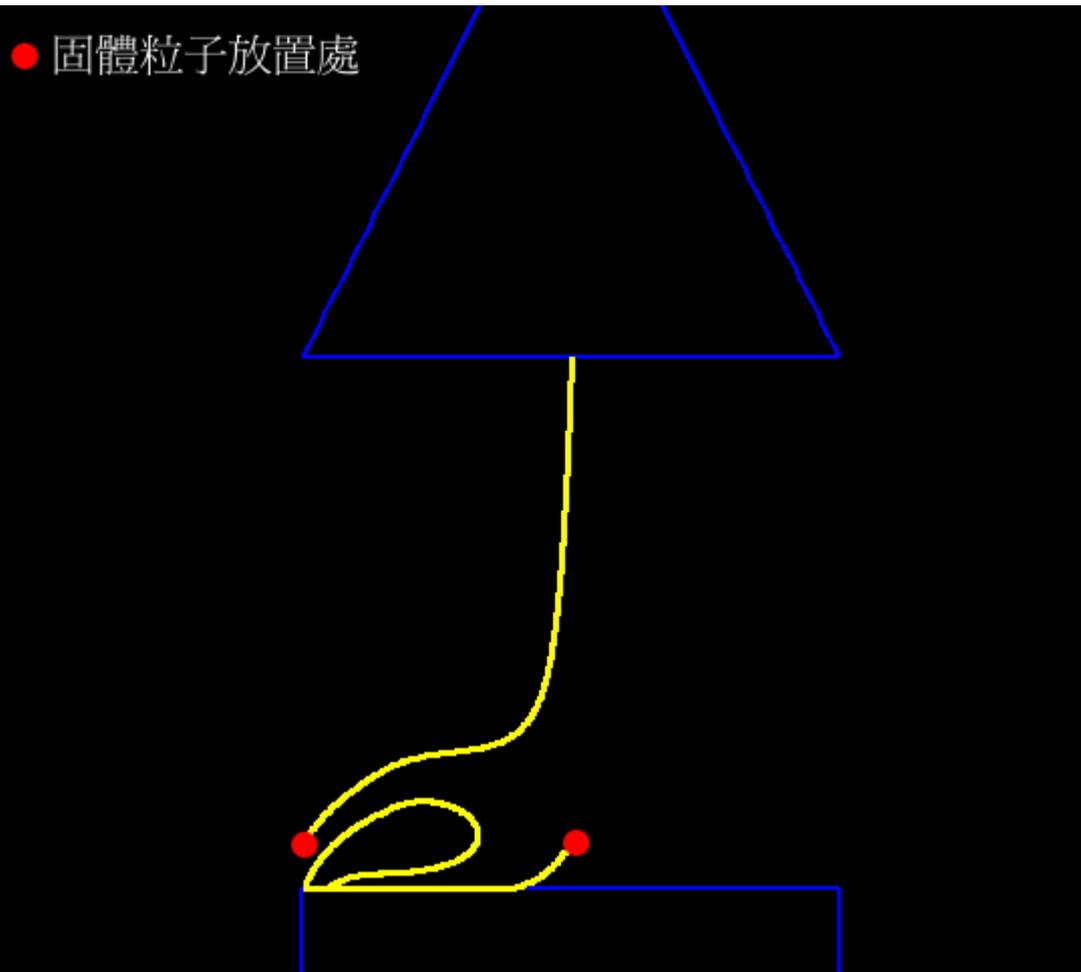


圖 3-13 固體粒子運動軌跡

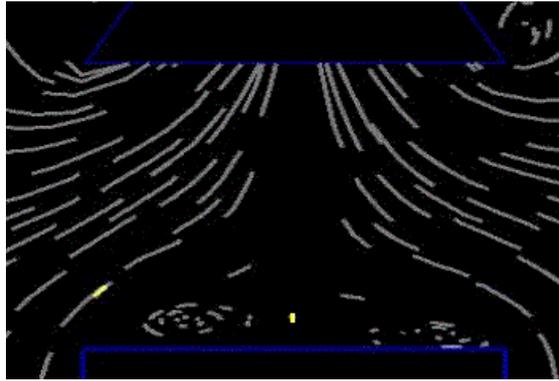


圖 3-14 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1

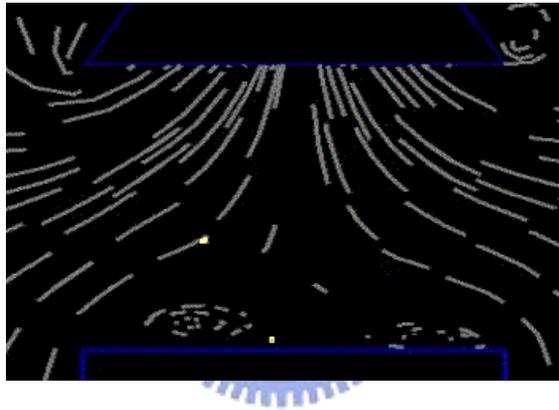


圖 3-15 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2

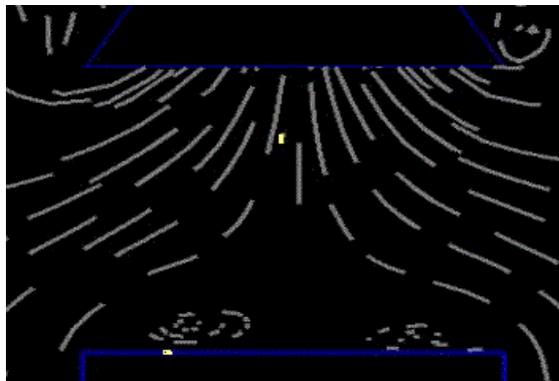


圖 3-16 流場中固體粒子與氣流之運動情形 3

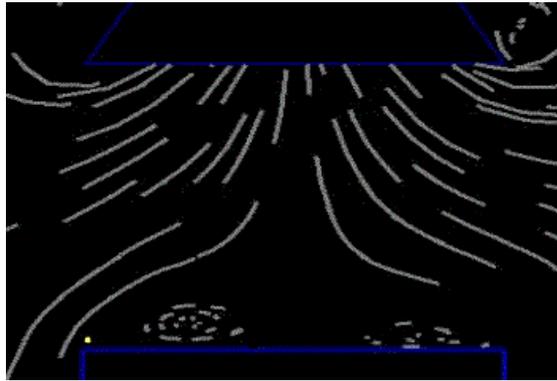


圖 3-17 流場中固體粒子與氣流之運動情形 4

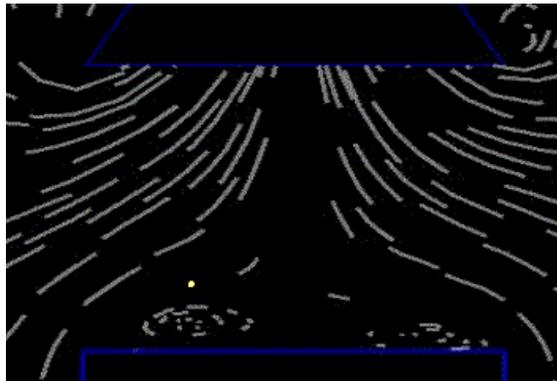


圖 3-18 流場中固體粒子與氣流之運動情形 5

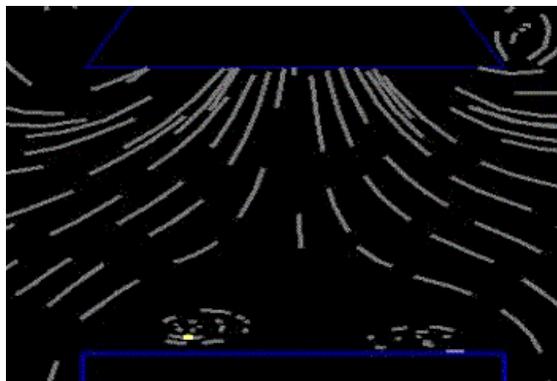
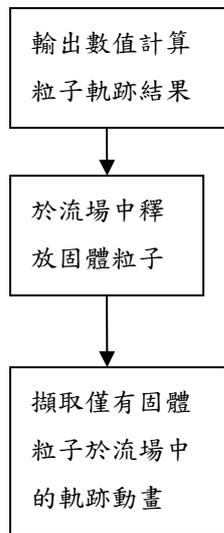


圖 3-19 流場中固體粒子與氣流之運動情形 6

粒子飛行軌跡動畫製作過程



氣流場動畫製作過程

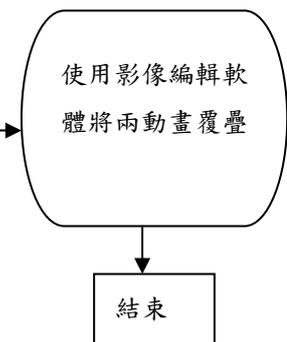
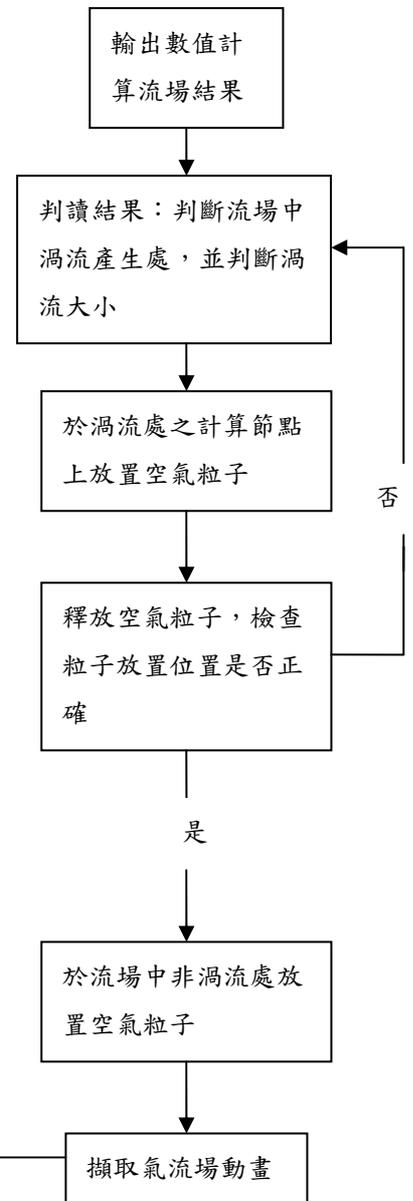


圖 3-20 動畫製作過程

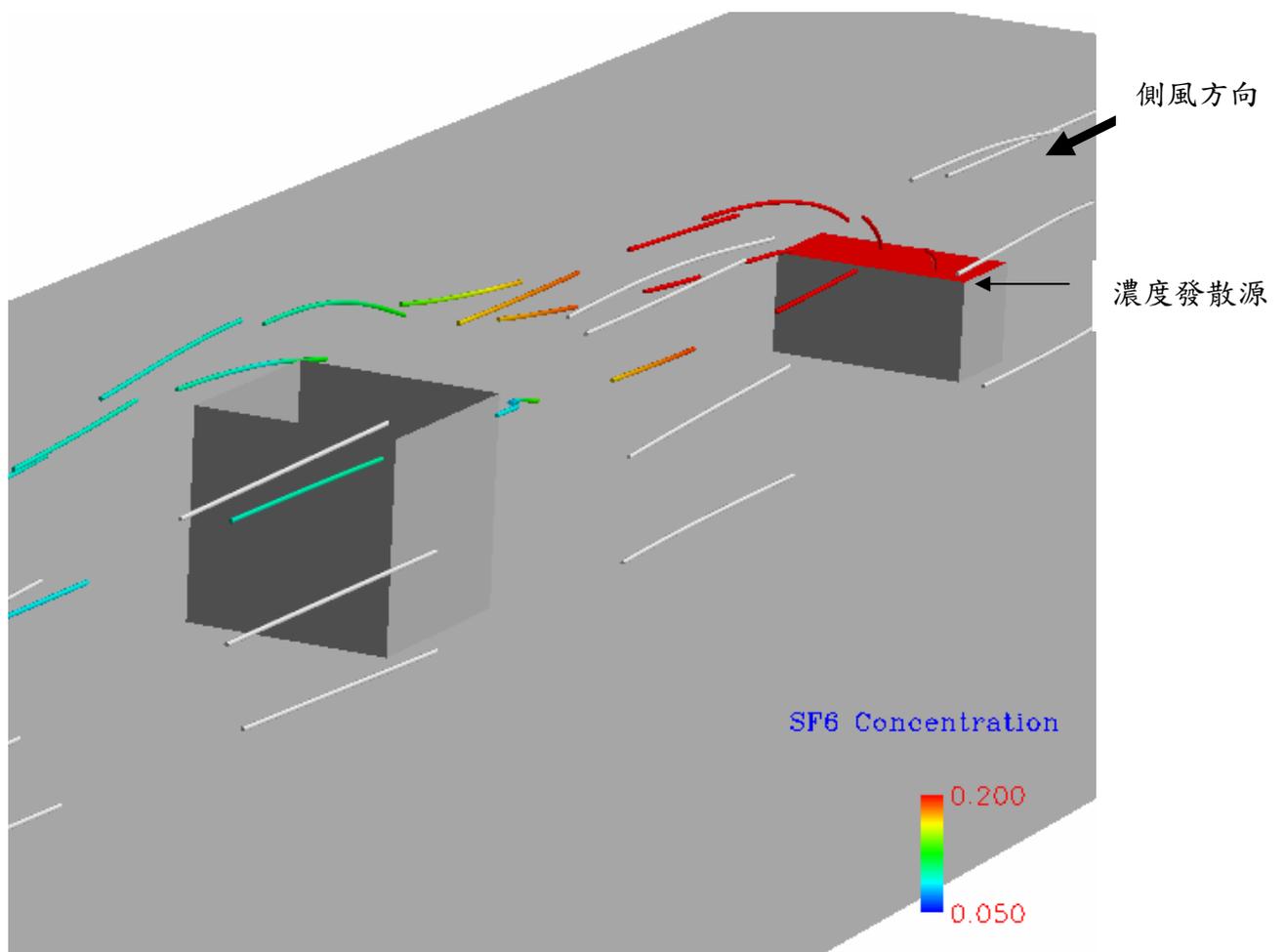


圖 3-21 隨濃度改變顏色之空氣粒子

第四章 結果與討論

4-1 上吸式氣罩：

本文根據圖 2-1 之物理模式所示，模擬上吸式氣罩流場之速度分佈，在計算出流場速度分佈後，將流場速度代入固體粒子運動方程式中以求得固體粒子之軌跡。本文使用 25°C 的空氣為工作流體，密度： 1.205 kg/m^3 、黏性係數： $1.81 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ 。並且將氣罩吸口分為三等份，分別以 1.4 m/s 、 1.6 m/s 、 1.3 m/s 之出口速度代入計算，以求得流場之速度分佈，圖 4-1 為上吸式氣罩速度向量圖。固體粒子則是採用假設為球形剛體之鉛粒子，密度： 11.3 g/cm^3 、粒徑： $10 \mu\text{m}$ 。本文中用來製作氣流場所使用的空氣粒子採用不考慮重力、粒徑之粒子。

計算出流場之速度分佈後，在視覺化範圍外的節點處放置多顆空氣粒子，並且釋放空氣粒子，則放置的空氣粒子會延著所屬流線到達氣罩吸口處，並紀錄各空氣粒子之軌跡。沿著上述空氣粒子到達氣罩吸口的軌跡尋找軌跡所經過的節點，並於適當節點上放置空氣粒子，以達到視覺化範圍內氣流連續之效果，在同時釋放所有空氣粒子時，在視覺化範圍內將會出現空氣粒子連續運動的現象。圖 4-2 為視覺化範圍內空氣粒子的軌跡。

接著經由判斷流場的速度向量圖製作流場中的渦流動畫，圖 4-3 為經由流場速度向量圖所判斷出的的渦流發生地點，分別位於桌面角落與氣罩右方的斜角處，如圖 4-3 中紅色區域所示。為了達到渦流可視化並使渦流具有動畫的效果的，本文在渦流發生處的計算節點上的適當位置，放置多顆空氣粒子，同時釋放這些空氣粒子時，空氣粒子將會根據渦流處的速度分佈運動，該處的渦流形狀將可經由空氣粒子的連續運動軌跡描述，在此過程的同時運

用影像擷取軟體，擷取視覺化範圍內的粒子運動情況。圖 4-4、4-5、4-6、4-7、4-8、4-9 分別為將流場中不同的渦流產生處，運用上述方法所得到的結果。

完成渦流處的可視化後，同時釋放所有的空氣粒子，圖 4-10 為視覺化範圍內所有空氣粒子之運動軌跡，以影像擷取軟體錄製視覺化範圍內空氣粒子的運動情形的動畫即完成氣流場動畫的製作。如流場動畫檔 1 所示。

圖 4-11、4-12 為固體粒子於流場中的運動連續軌跡圖，在固體粒子運動的過程中利用影像擷取軟體錄製固體粒子運動之動畫。

將固體粒子之運動軌跡動畫與前述氣流場之動畫結合，則可顯示固體粒子在流場中的飛行軌跡。圖 4-13、圖 4-14、圖 4-15、圖 4-16 為固體粒子，放置於距離桌面高 150cm 處時，固體粒子與氣流之運動情形。圖 4-17、圖 4-18、圖 4-19、圖 4-20、圖 4-21、圖 4-22、圖 4-23、圖 4-24 為固體粒子，放置於距離桌面高 100cm 處時，固體粒子與氣流之運動情形。固體粒子於氣流場運動之動畫。如流場動畫檔 2、3 所示。

電影檔 4-2 中固體粒子放置位置為距離桌面高 30cm 處。由圖 2-1 物理模式中發現固體粒子放置距離地面 150cm，此高度為一般人呼吸系統的位置。根據模擬結果可發現該處之固體粒子未受渦流區 2 及渦流區 3 影響，如果固體粒子飄散至此處，氣罩可將其排除。電影檔 4-3 中固體粒子的放置位置為距離桌面高 100cm，根據模擬結果可發現圖 4-11 中僅有靠近桌面左端之固體粒子未受渦流之影響，氣罩可將其排除，而置於桌面中央及右端之固體粒子受到渦流區 2 及渦流區 3 影響，無法被氣罩吸除。

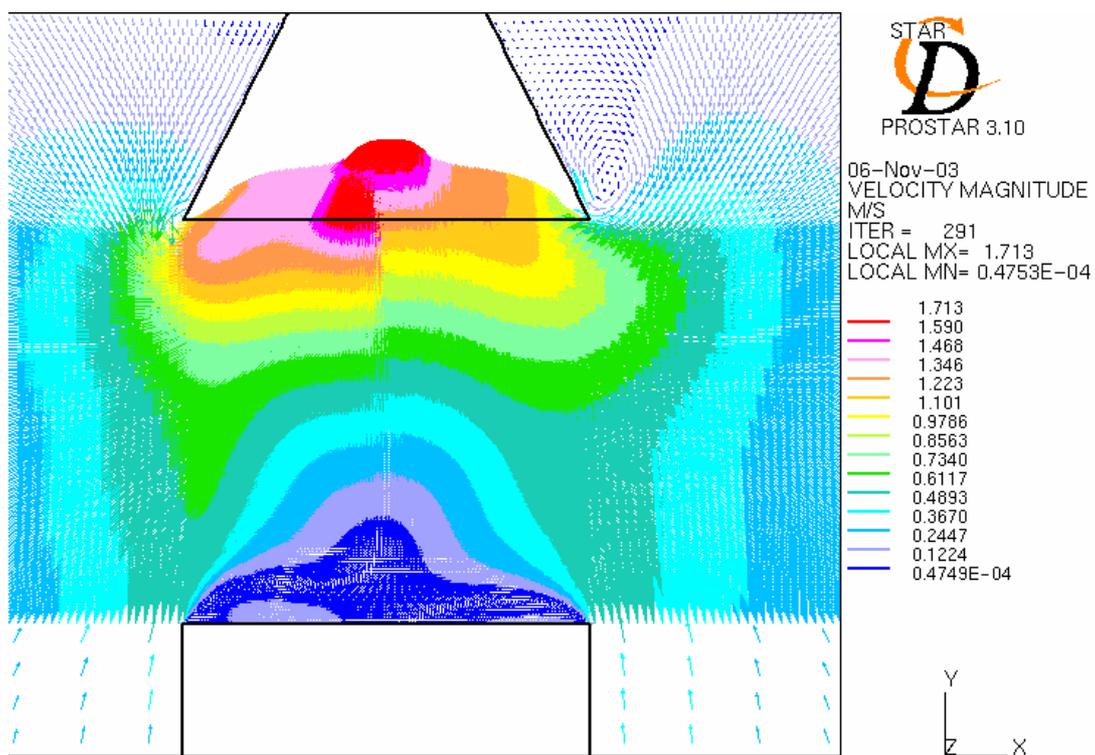


圖 4-1 上吸式氣罩速度向量圖

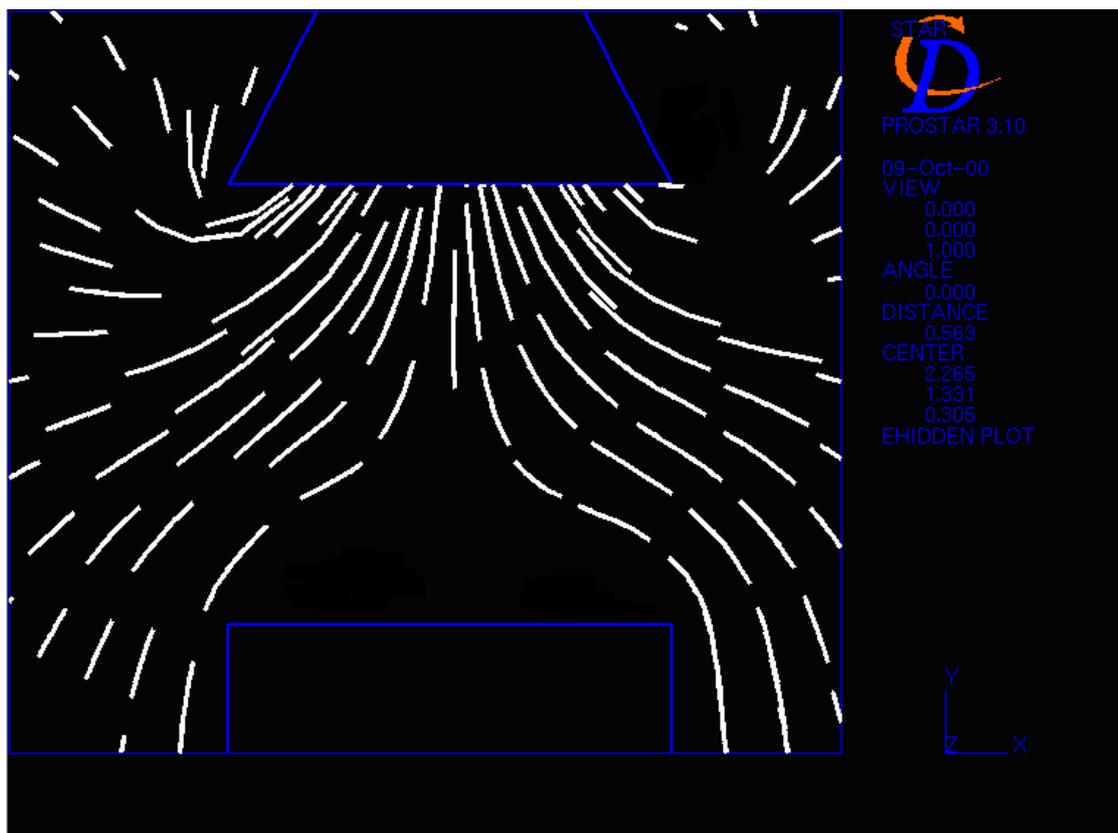


圖 4-2 視覺化範圍內空氣粒子的軌跡

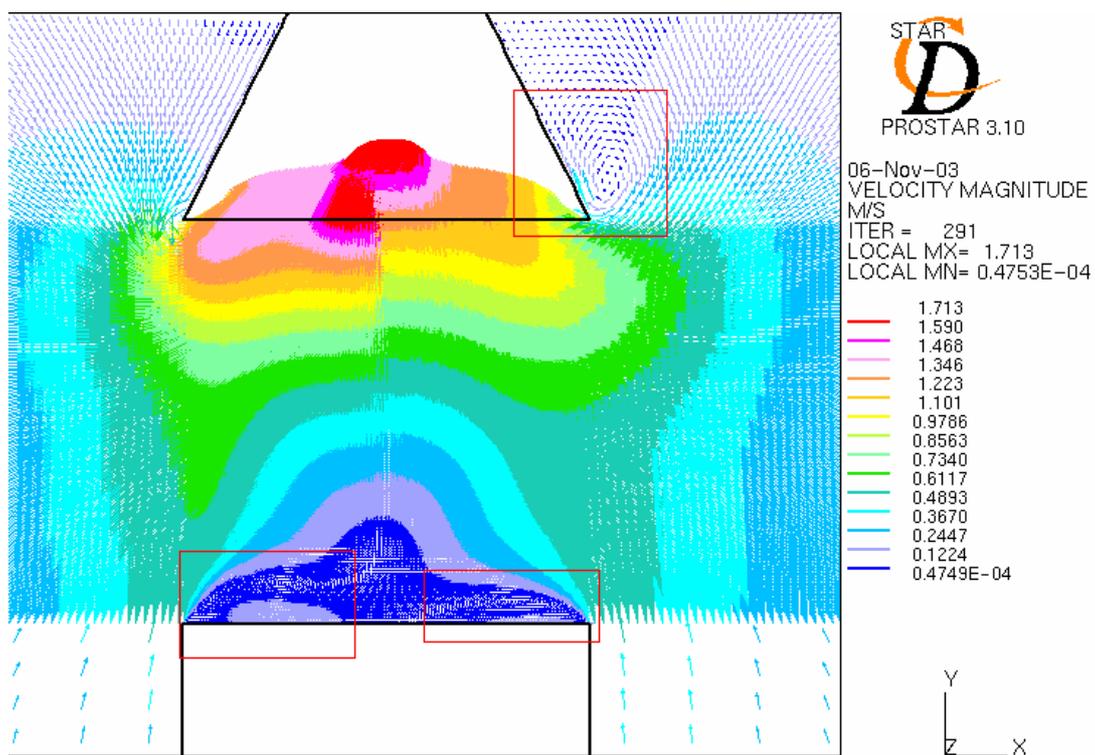


圖 4-3 上吸式氣罩渦流產生處

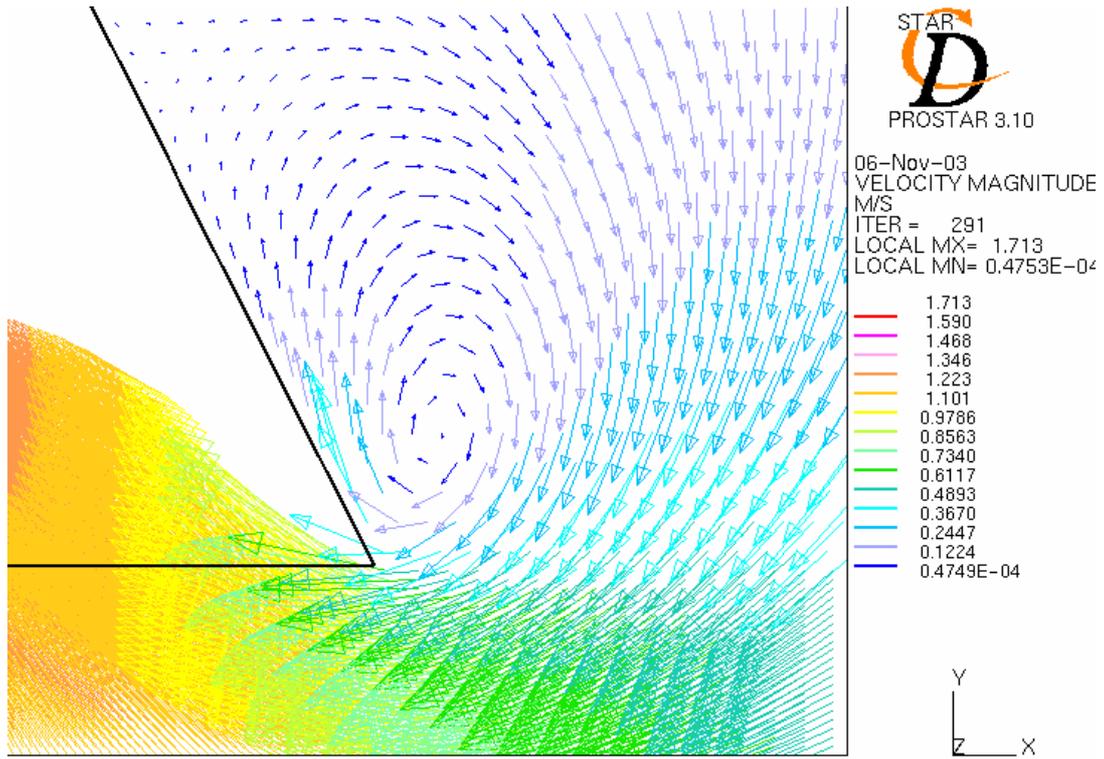


圖 4-4 渦流產生處 1



圖 4-5 渦流產生處 1 放置數顆空氣粒子

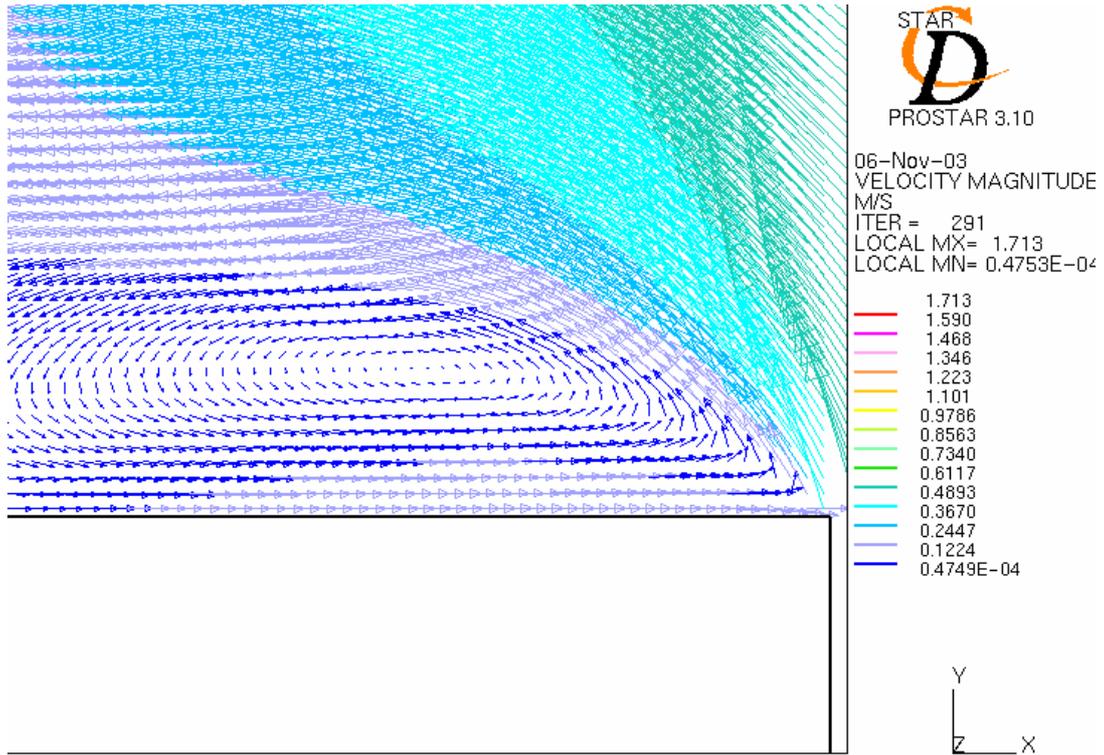


圖 4-6 渦流產生處 2

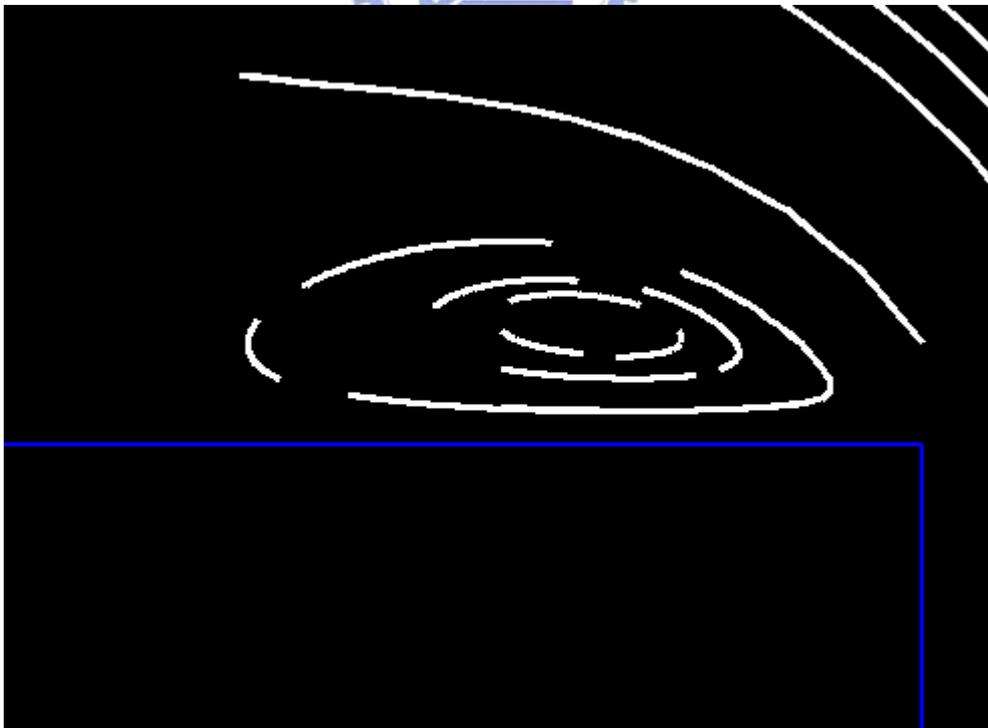


圖 4-7 渦流產生處 2 放置數顆空氣粒子

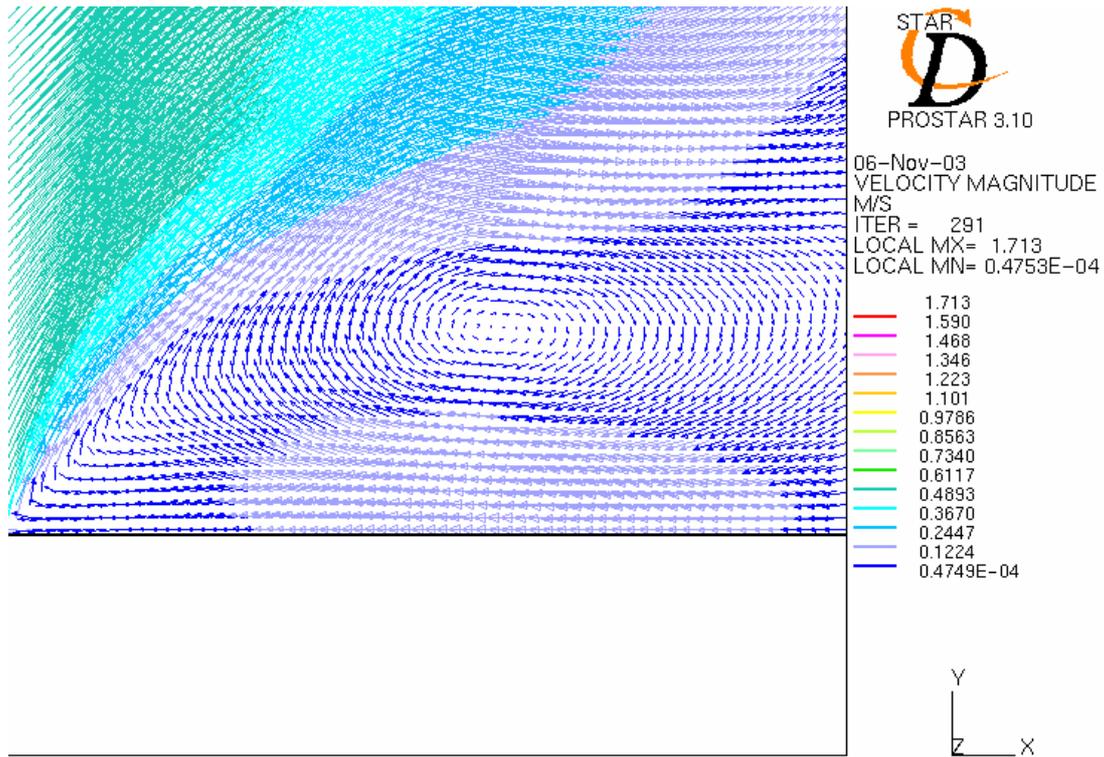


圖 4-8 渦流產生處 3



圖 4-9 渦流產生處 3 放置數顆空氣粒子

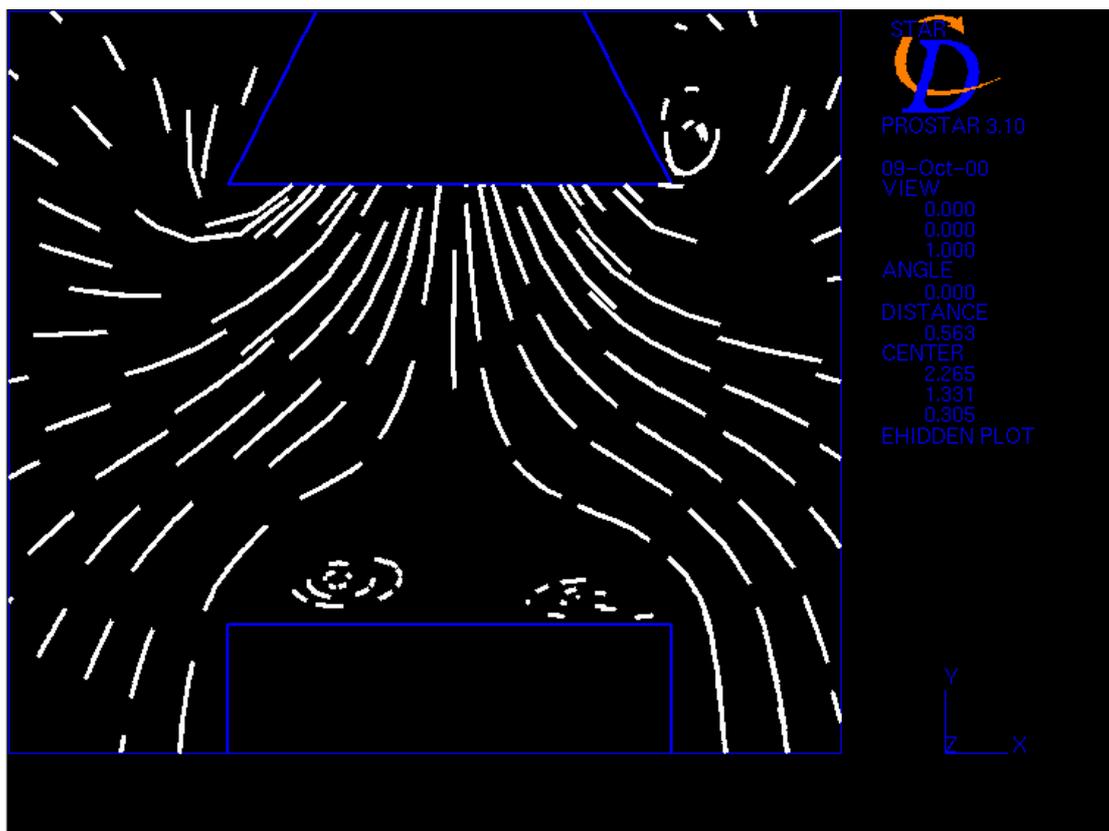


圖 4-10 以空氣粒子連續運動模擬氣流場

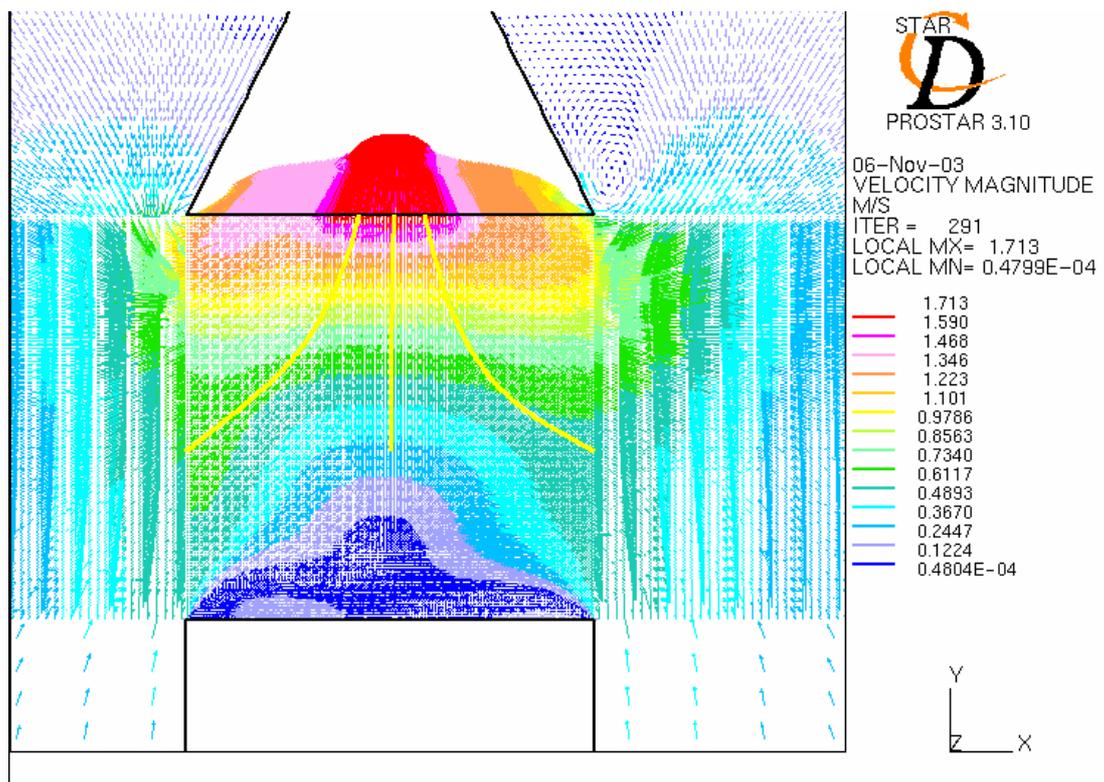


圖 4-11 Particle 運動軌跡圖 1

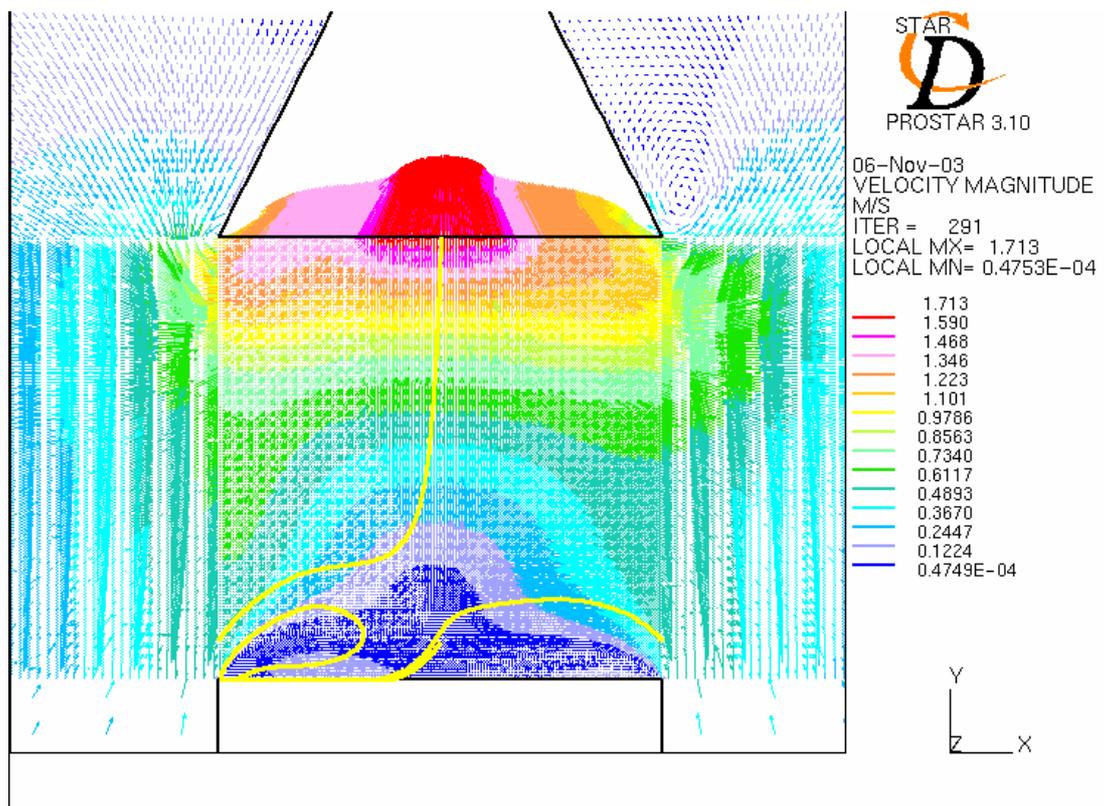


圖 4-12 Particle 運動軌跡圖 2



圖 4-13 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1

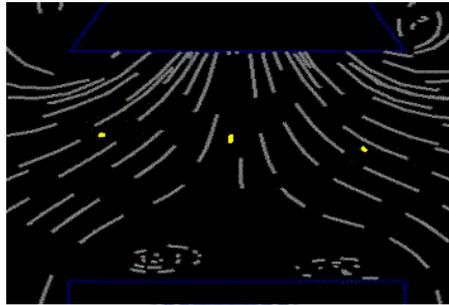


圖 4-14 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1



圖 4-15 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1

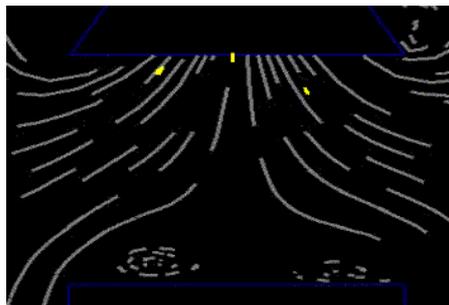


圖 4-16 流場中固體粒子與氣流之運動情形 1

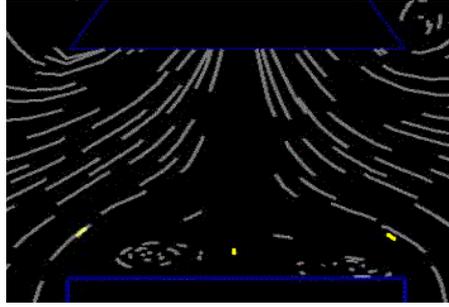


圖 4-17 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2

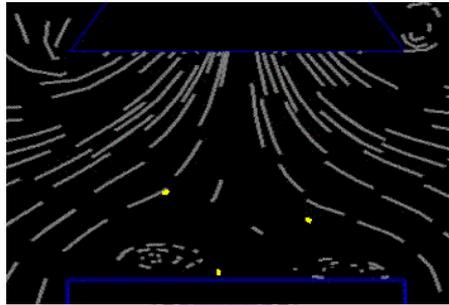


圖 4-18 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2



圖 4-19 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2



圖 4-20 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2

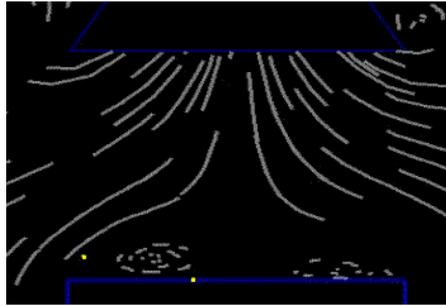


圖 4-21 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2

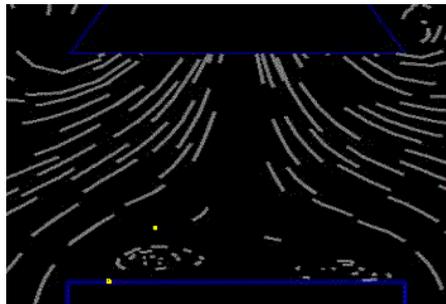


圖 4-22 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2



圖 4-23 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2

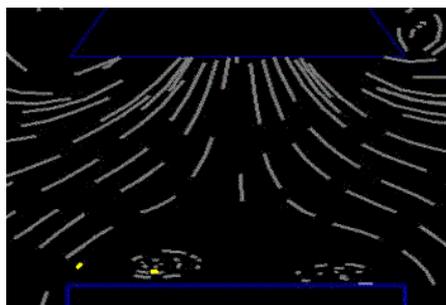


圖 4-24 流場中固體粒子與氣流之運動情形 2

4-2 二維煙囪之擴散：

本文根據圖 2-2、2-3 之物理模式所示，模擬二維煙囪在不同側風速條件下，各暫態時間流場之濃度分佈，並製作濃度擴散之動畫。本文使用 25 °C 的空氣為工作流體，密度： 1.205 kg/m^3 、黏性係數： $1.81 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ 。濃度發散源之污染物為 SF_6 ，密度： 6.0414 kg/m^3 、相對於空氣之擴散係數： $3.004 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

本文模擬之側風條件分別為側風速 1m/s（一級風速）、4m/s（三級風速）。圖 4-25、圖 4-26、圖 4-27、圖 4-28、圖 4-29 分別為側風速 1m/s 時，在不同暫態時間濃度擴散情形。圖 4-30、圖 4-31、圖 4-32、圖 4-33、圖 4-34 分別為側風速 4m/s 時，在不同暫態時間濃度擴散情形。流場中濃度擴散之動畫檔如流場動畫檔 4、5 所示。



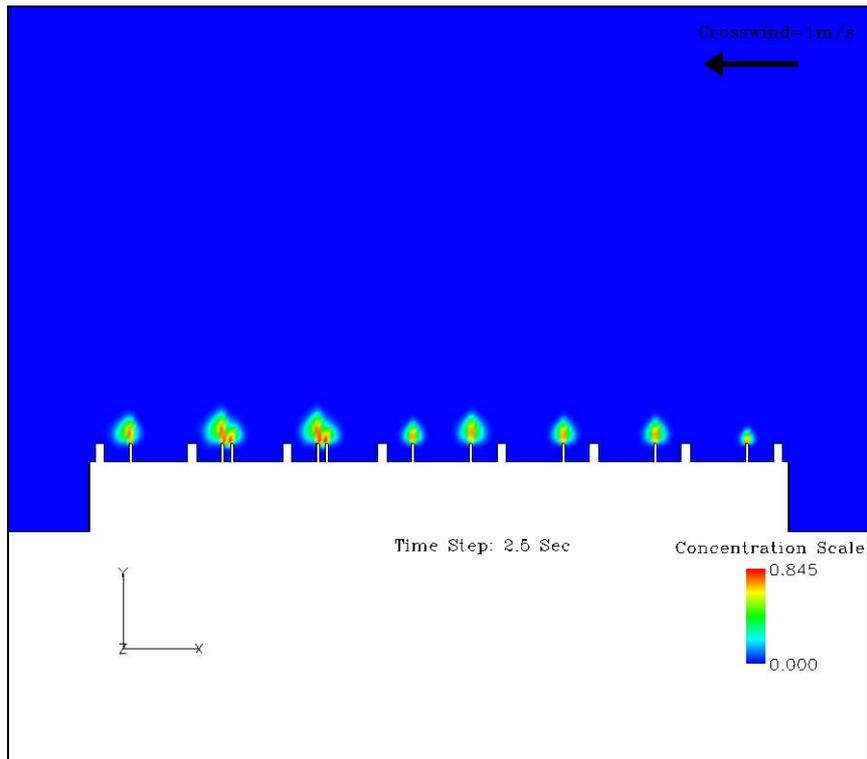


圖 4-25 側風速為 1m/s、暫態時間為 2.5 秒時濃度擴散情形

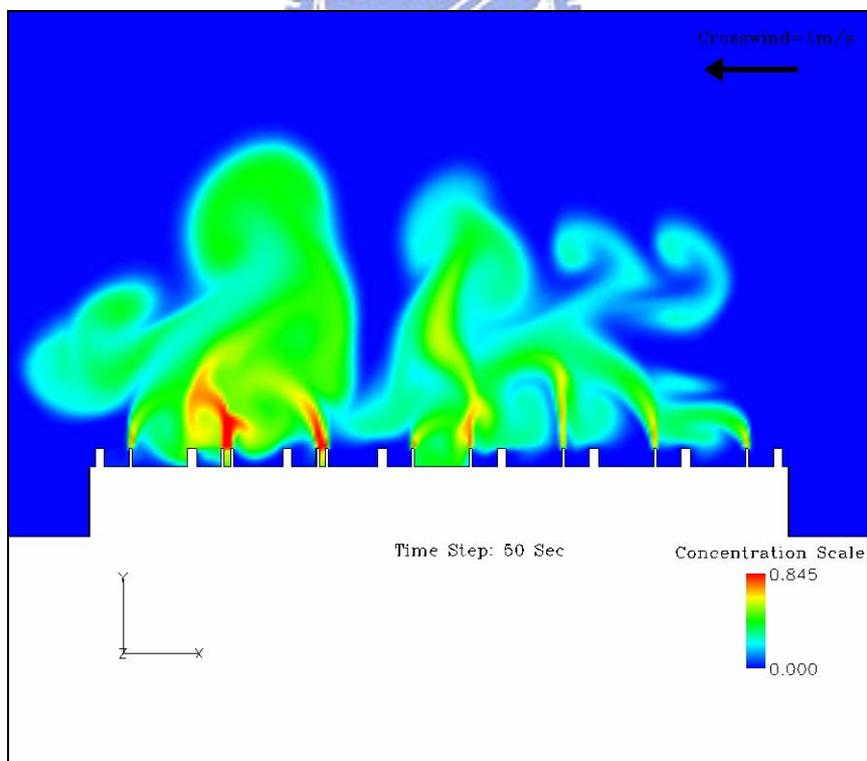


圖 4-26 側風速為 1m/s、暫態時間為 50 秒時濃度擴散情形

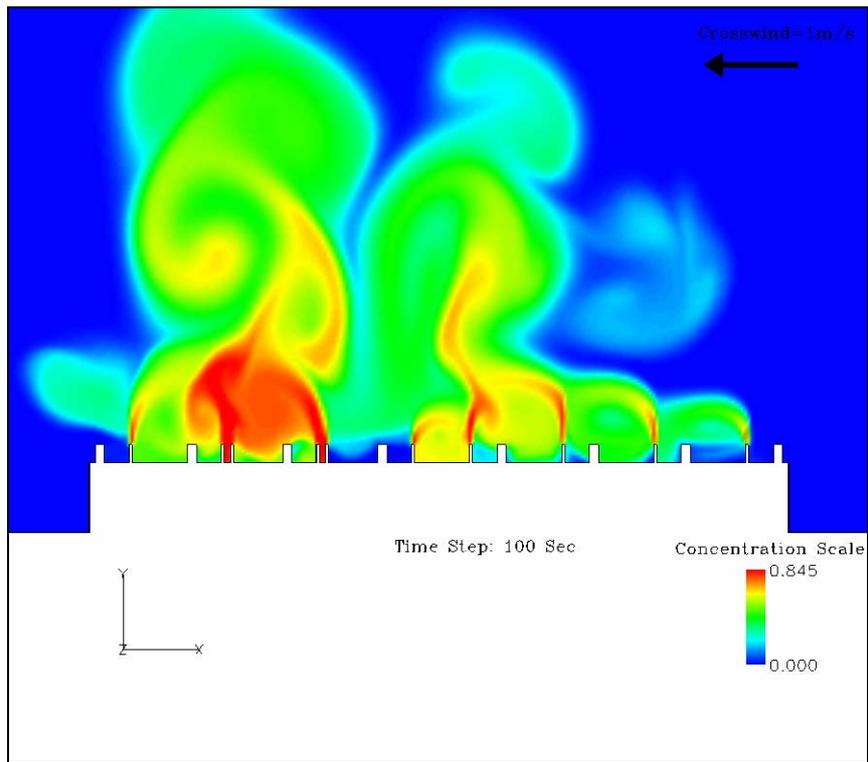


圖 4-27 側風速為 1m/s、暫態時間為 100 秒時濃度擴散情形

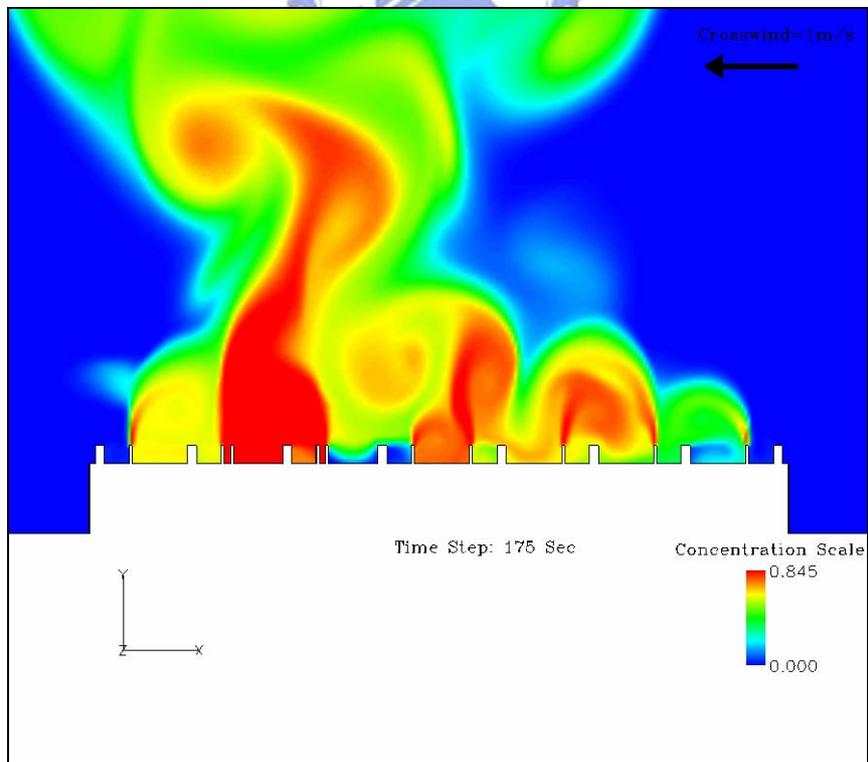


圖 4-28 側風速為 1m/s、暫態時間為 175 秒時濃度擴散情形

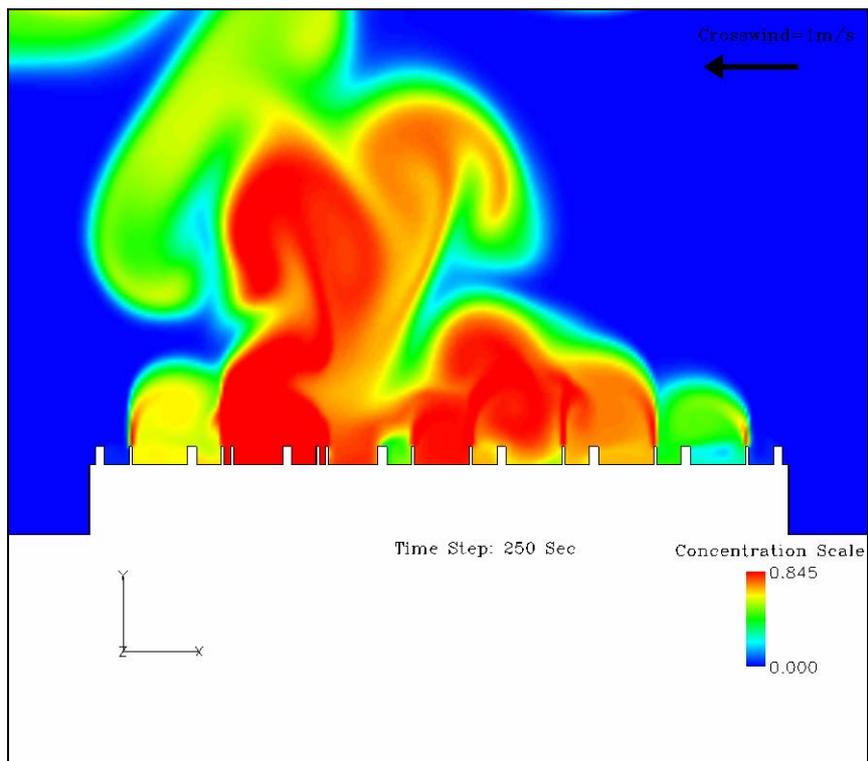


圖 4-29 側風速為 1m/s、暫態時間為 250 秒時濃度擴散情形

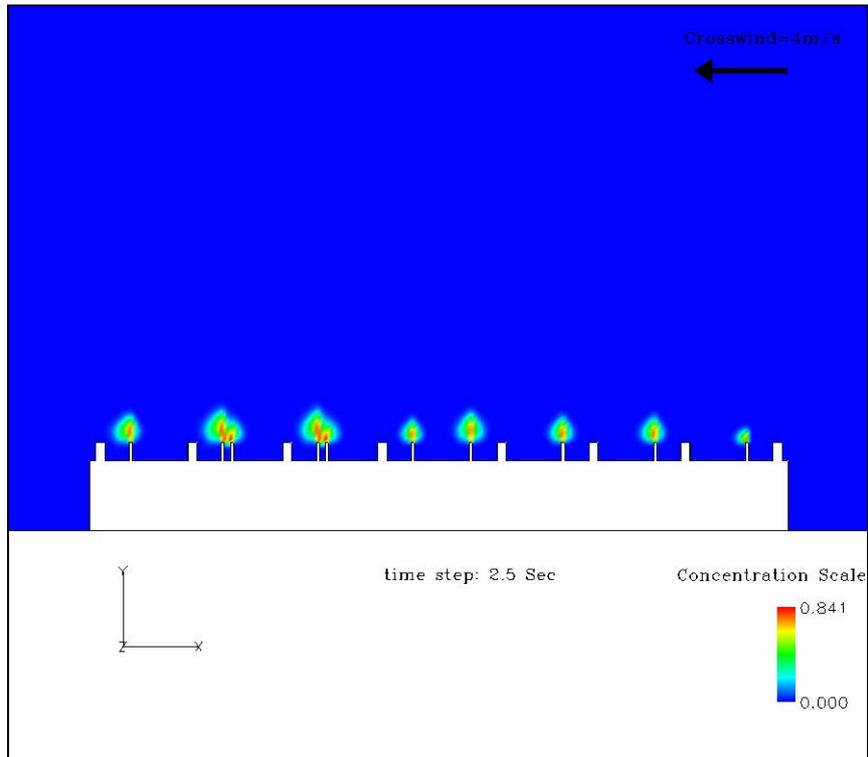


圖 4-30 側風速為 4m/s、暫態時間為 2.5 秒時濃度擴散情形

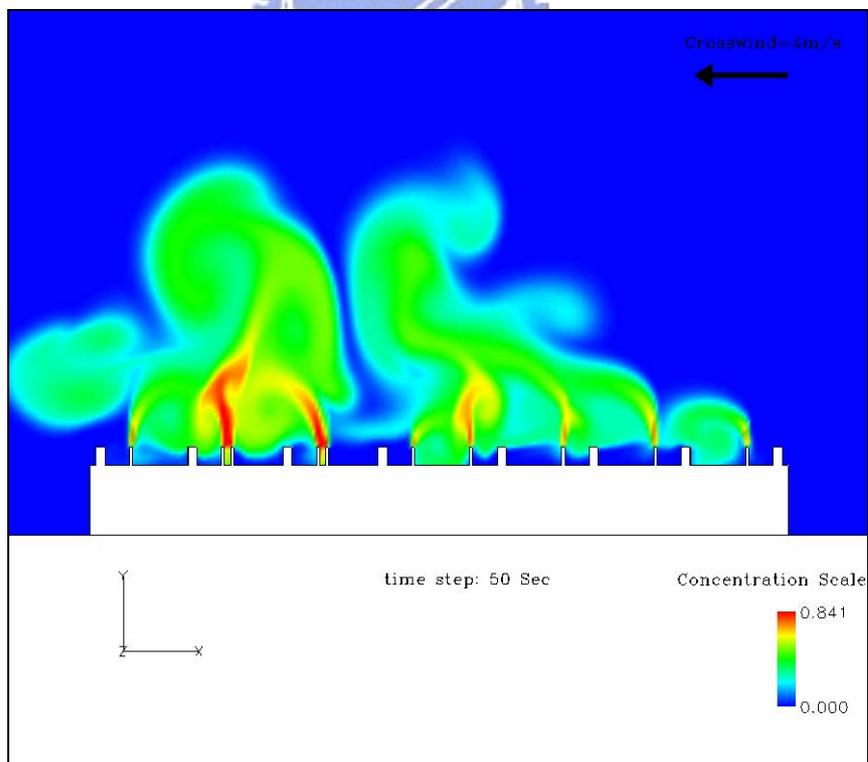


圖 4-31 側風速為 4m/s、暫態時間為 50 秒時濃度擴散情形

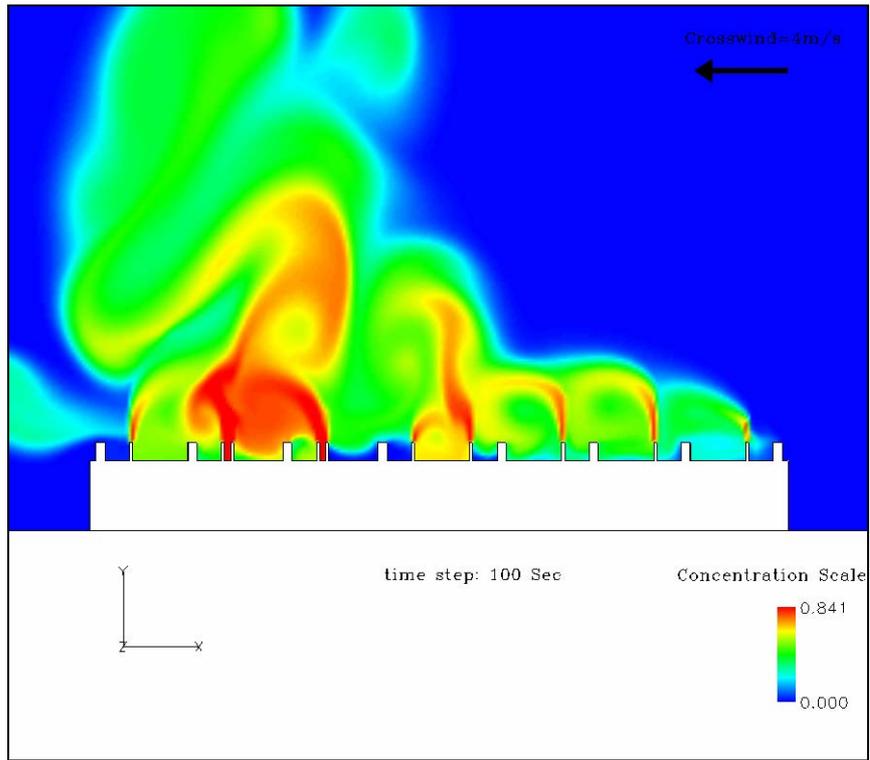


圖 4-32 側風速為 4m/s、暫態時間為 100 秒時濃度擴散情形

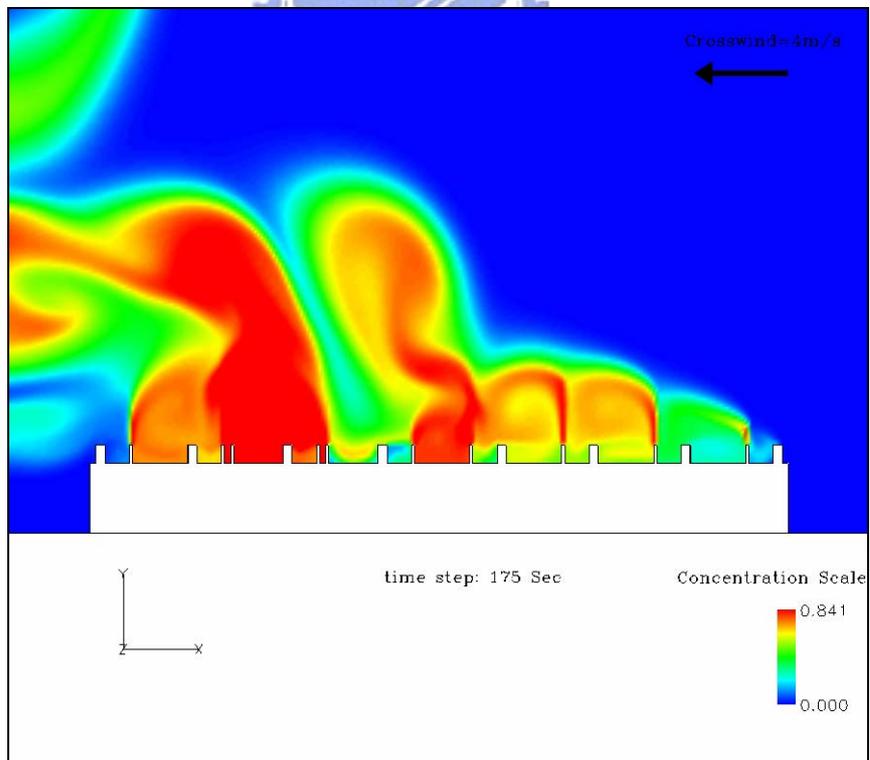


圖 4-33 側風速為 4m/s、暫態時間為 175 秒時濃度擴散情形

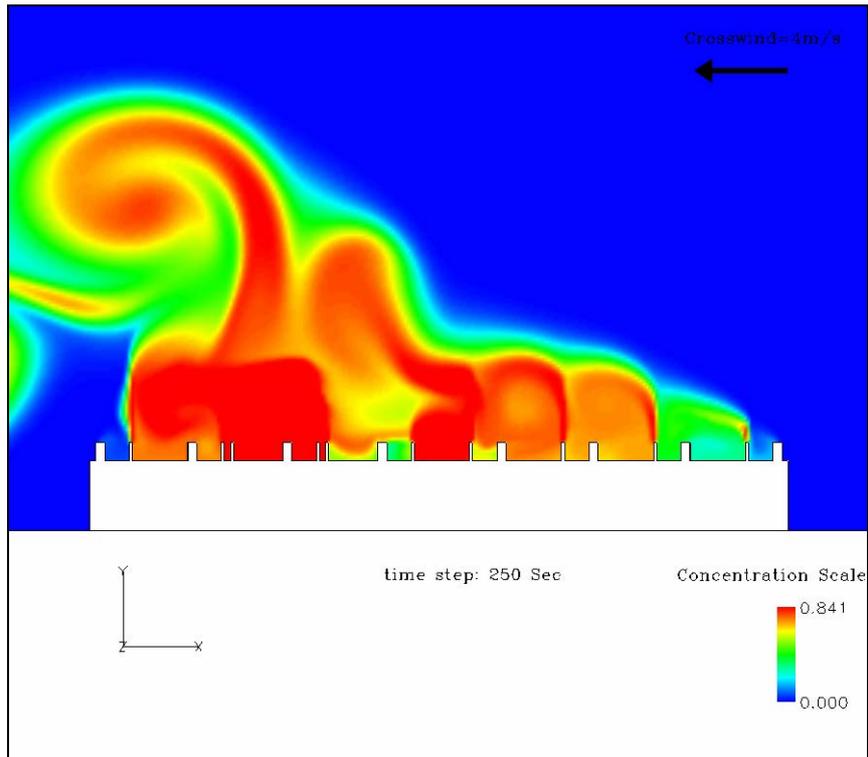


圖 4-34 側風速為 4m/s、暫態時間為 250 秒時濃度擴散情形

4-3 三維煙囪之擴散：

本文根據圖 2-4、2-5 之物理模式所示，模擬三維煙囪在側風速為 3m/s 的條件下，各暫態時間流場之濃度分佈，並藉由製作等濃度值範圍，尋找各暫態時間下，流場中濃度分布之情形，並製作濃度擴散之動畫。本文使用 25°C 的空氣為工作流體，密度： 1.205 kg/m^3 、黏性係數： $1.81 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ 。濃度發散源之污染物為 SF₆，密度： 6.0414 kg/m^3 、相對於空氣之擴散係數： $3.004 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

圖 4-35、圖 4-36 分別為流場中不同的等濃度範圍之示意圖，將圖 4-35、圖 4-36 之等濃度值顯示於同一畫面，並調高等濃度範圍較大者之透明度，以便於觀察其內部濃度擴散之情形。圖 4-37、圖 4-38、圖 4-39 為利用上述方法製作之不同暫態時間濃度擴散的情形。流場中濃度擴散之動畫檔如 **流場動畫檔 6** 所示。



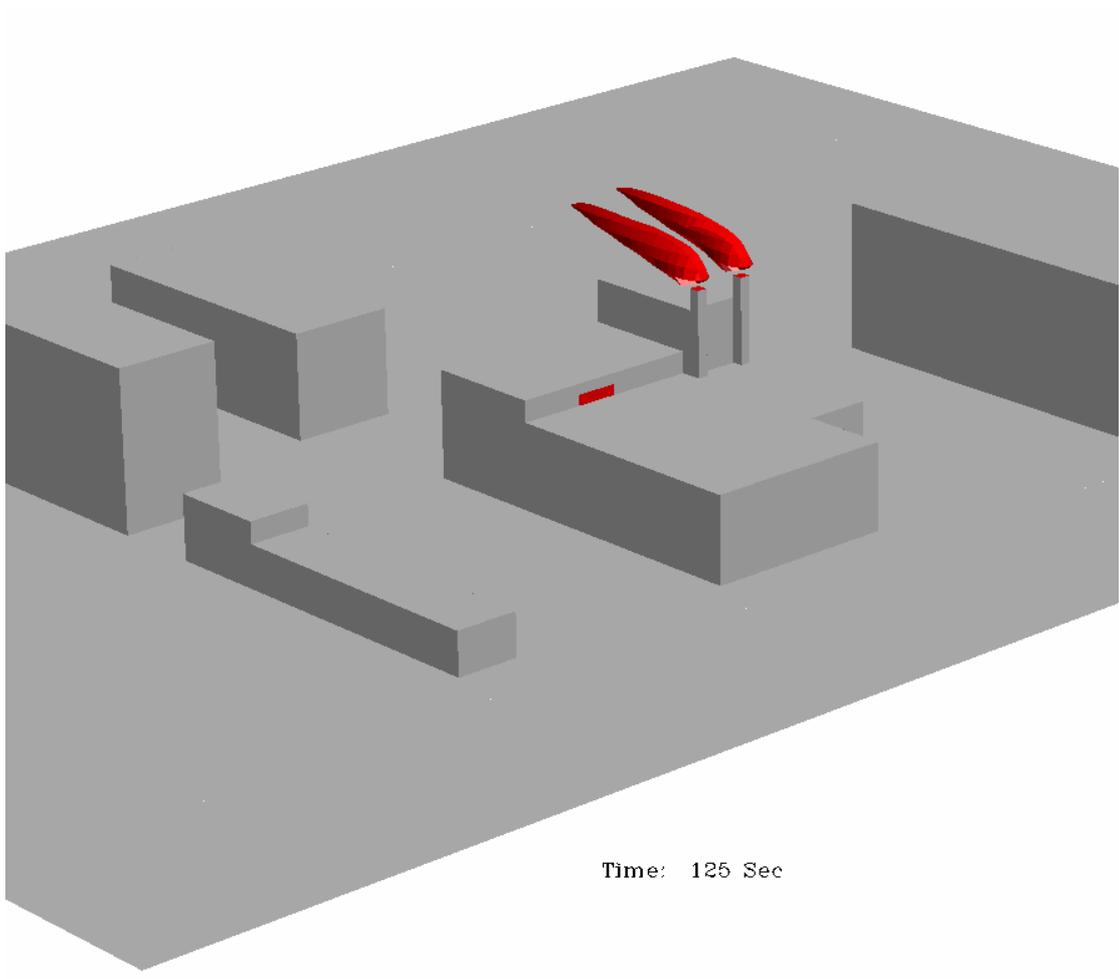


圖 4-35 暫態時間 150 秒時濃度值 0.4 之範圍

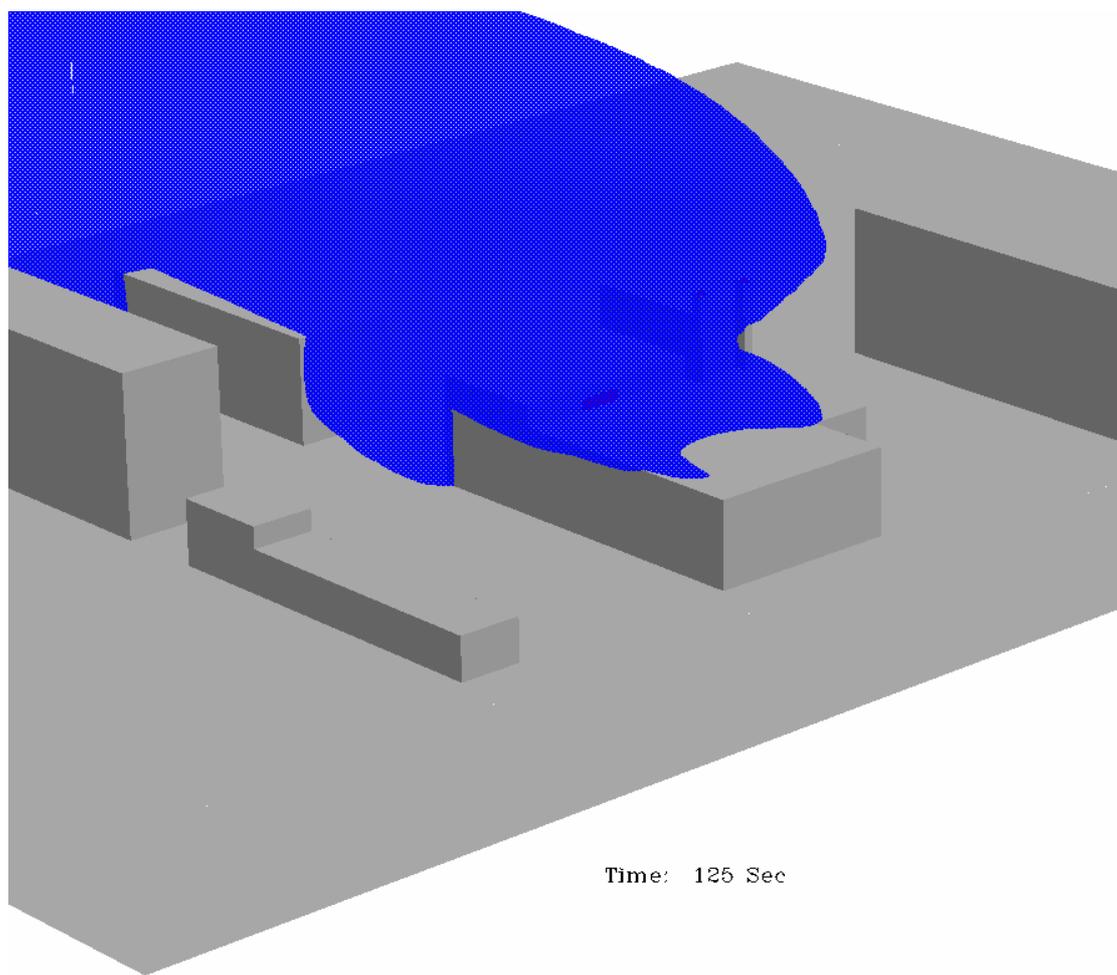


圖 4-36 暫態時間 150 秒時濃度值 0.01 之範圍

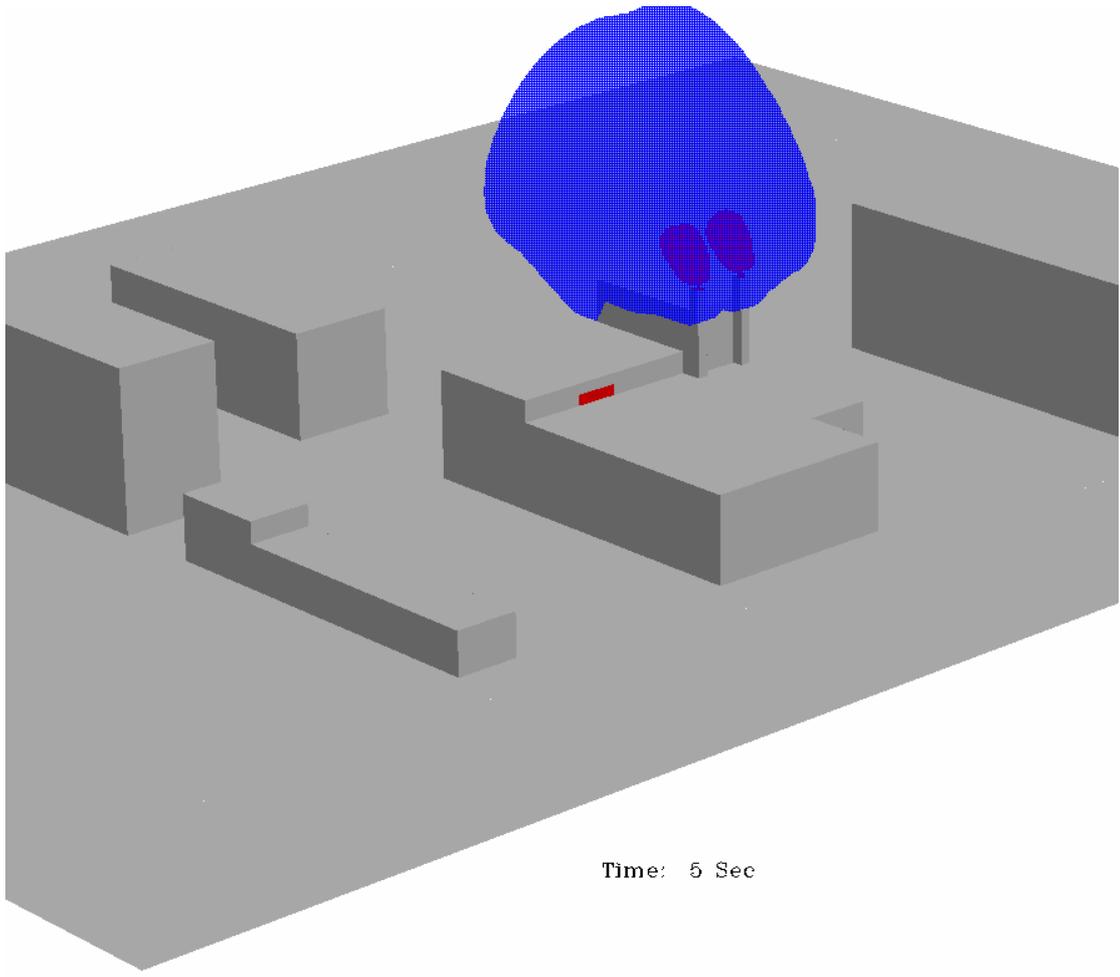


圖 4-37 暫態時間為 5 秒時濃度擴散情形

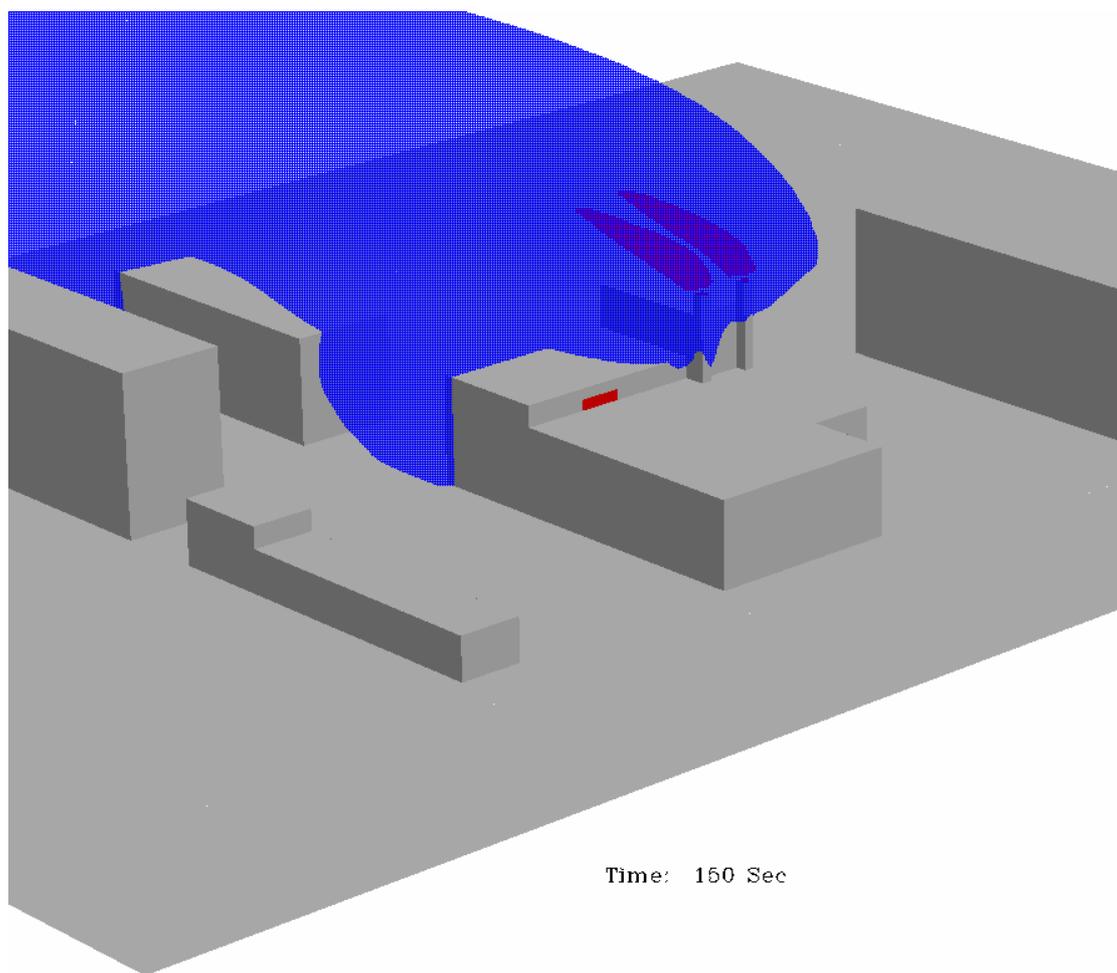


圖 4-38 暫態時間為 90 秒時濃度擴散情形

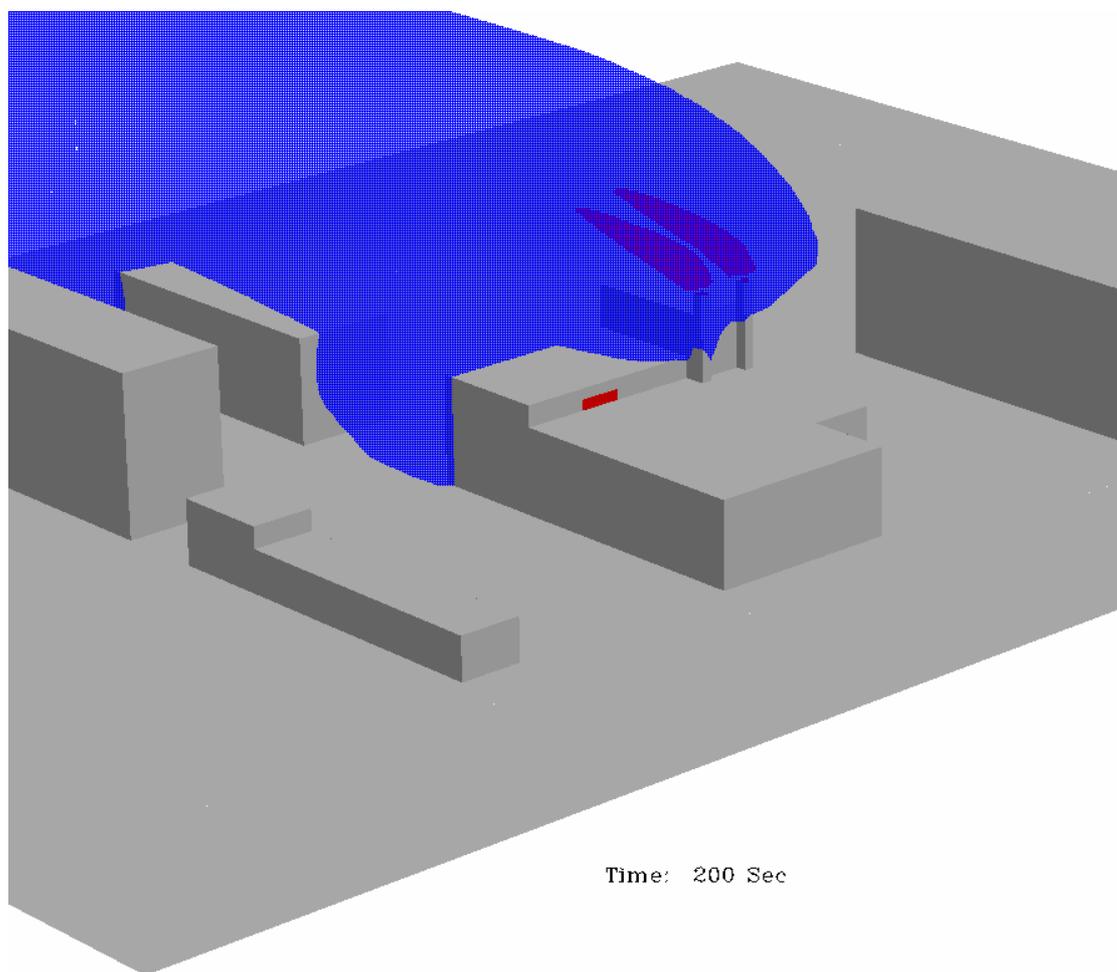


圖 4-39 暫態時間為 200 秒時濃度擴散情形

4-4 三維煙囪與單棟建築物之擴散：

本文根據圖 2-6 之物理模式所示，模擬一濃度發散源於側風條件為 3m/s 時，流場中濃度發散的情形，本文使用 25°C 的空氣為工作流體，密度： 1.205 kg/m^3 、黏性係數： $1.81\times 10^{-5}\text{ kg/m}\cdot\text{s}$ 。濃度發散源之污染物為 SF_6 ，密度： 6.0414 kg/m^3 、相對於空氣之擴散係數： $3.004\times 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$ 。

計算出流場濃度分佈後，於流場中之適當計算節點上放置與空氣密度相同之微小粒子，並指定空氣粒子之顏色將會隨著所經過位置之濃度而改變，為了能夠更真實的呈現微小粒子於流場中移動時被濃度源污染之情形，本文撰寫濃度分佈之檔案，指定微小粒子未被污染前為白色，並依照污染的程度不同而改變成藍色、綠色、紅色。圖 4-40 為顏色對照濃度之示意圖

於流場中放置之微小粒子釋放後，將會沿著所屬流線移動，在其移動過程，微小粒子之顏色將會隨著流場中各位置之濃度而改變其顏色，藉由這種方法可以清楚的觀察空氣被濃度源污染的程度及污染的大致範圍。圖 4-41 為放置之微小粒子於流場中移動時被濃度污染之情形，由圖中觀察可發現微小粒子移動至濃度發散源附近時，被濃度污染的程度較嚴重，微小粒子移動至建築物周圍時，也大約還有 0.1~0.3 之重量濃度。微小粒子於流場中移動之動畫檔如流場動畫檔 7 所示。

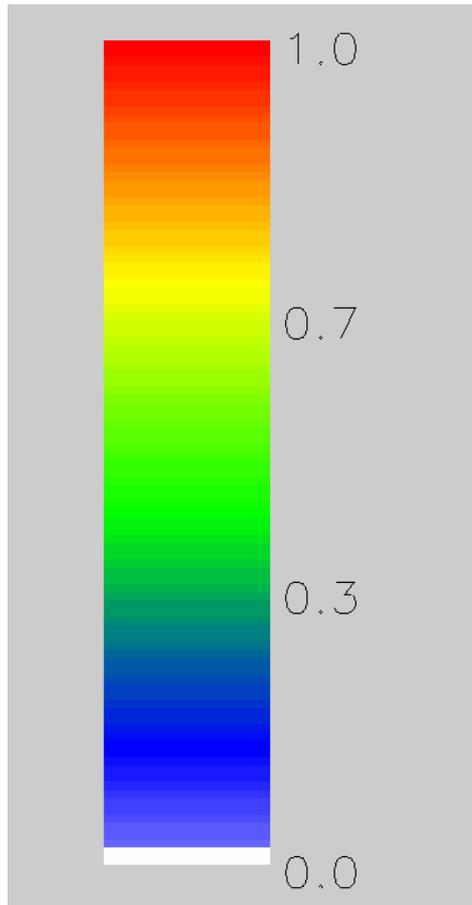


圖 4-40 顏色對照濃度之示意圖

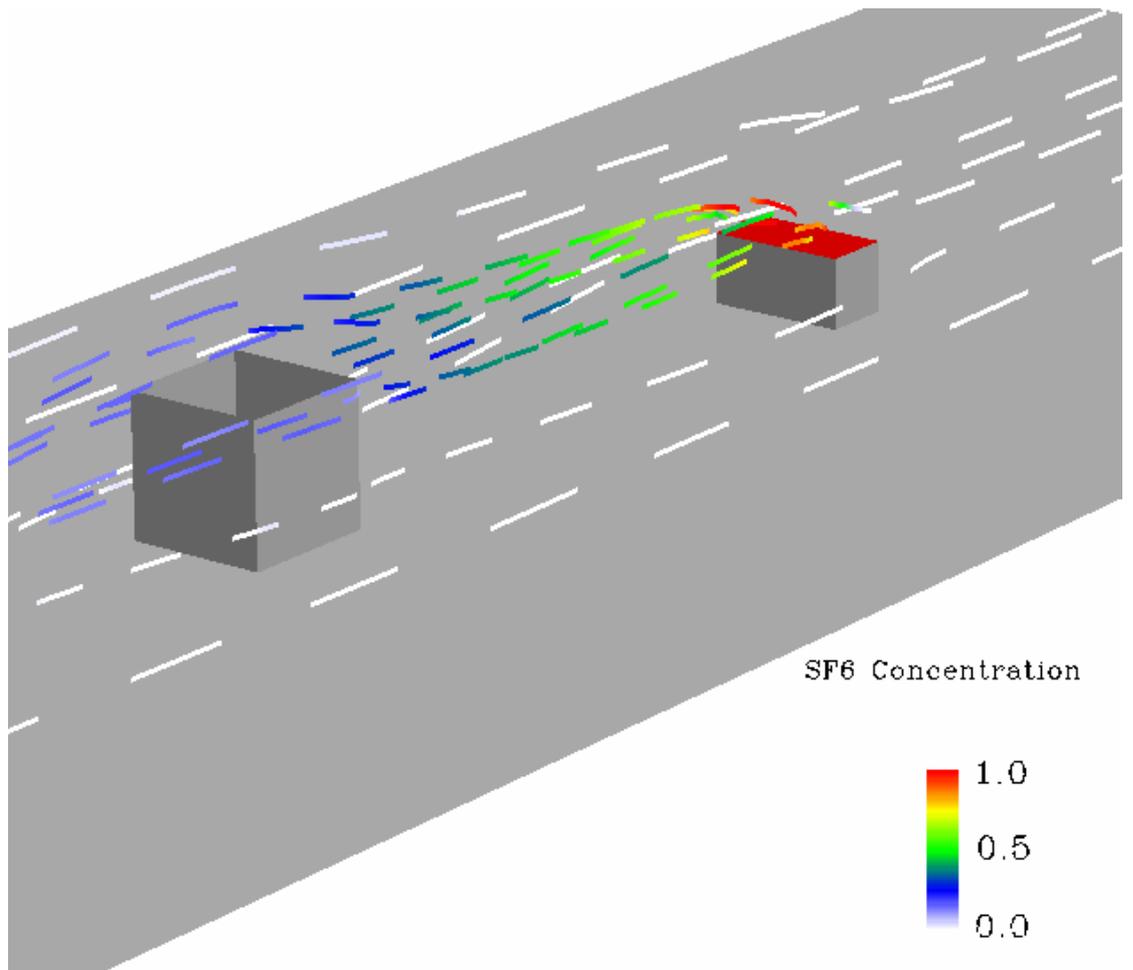


圖 4-41 微小粒子移動時受濃度源污染之情形

4-5 化學物質攪拌槽之擴散：

本文根據圖 2-7 之物理模式所示，並依照 4-3 節所描述之方法，製作化學物質攪拌槽在不同側風速、吸口風速不同時，各暫態時間流場之濃度分佈，並藉由製作等濃度值範圍，顯示流場中濃度分布之情形，並製作濃度擴散之動畫。本文使用 25°C 的空氣為工作流體，密度： 1.205 kg/m^3 、黏性係數： $1.81\times 10^{-5}\text{ kg/m}\cdot\text{s}$ 。濃度發散源之污染物為 SF_6 ，密度： 6.0414 kg/m^3 、相對於空氣之擴散係數： $3.004\times 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$ 。

圖 4-42、圖 4-43 為流場中濃度值=0.05，於不同暫態時間之擴散範圍示意圖。由於攪拌棒旋轉，有毒氣體產出離心力，並有向圓桶外甩出之趨勢，且位於攪拌棒周圍幾乎無濃度，在此轉速及側風速之條件下，吸口可將大部分之氣體排除。

圖 4-44、圖 4-45 為流場中濃度值=0.45，於不同暫態時間之擴散範圍示意圖，由於吸口會將外界乾淨的空氣吸入，濃度 0.45 的有毒氣體超過桶口後，會被稀釋，以至於吸口吸入之濃度值小於 0.45。因為攪拌棒旋轉，有毒氣體產出離心力，此濃度範圍之有毒氣體同樣具有向圓桶外甩出之趨勢，與圖 4-42、圖 4-43 比較，由於此濃度值大於 0.05，所以在相同之暫態時間，濃度值為 0.45 之範圍會小於濃度值為 0.05 所涵蓋之範圍。

為了能夠更清楚了解圓桶內濃度擴散之情形，將相同暫態時間，不同等濃度值顯示於同一畫面，但是由於顯示時等濃度值較低之範圍會將高濃度值之範圍覆蓋，以至於無法觀察到圓桶內部擴散之情形，未避免此現象必須調高等濃度範圍較大者之透明度，以便於觀察其流場內部濃度擴散之情形。圖 4-46、圖 4-47、圖 4-48、圖 4-49、圖 4-50 為利用上述方法，在側風風速為 3m/s 的條件下，攪拌棒轉速為 120rpm 時，不同暫態時間流場濃度擴散情形。流場中濃度擴散之流場動畫如流場動畫檔 8 所示。

圖 4-51、圖 4-52、圖 4-53、圖 4-54 為利用上述之方法，在側風=5m/s、攪拌棒轉速為 180rpm 時，不同暫態時間流場濃度擴散情形，與上述條件之結果比較可發現當轉速加大時，由於離心力變大，更大量之有毒氣體向圓桶外甩出，以至於攪拌棒周圍幾乎無濃度的範圍變大，加上側風速變大，擴散出之濃度有一部分被吹出圓桶外圍，污染到外界之空氣。流場中濃度擴散之電影檔如流場動畫檔 9 所示。

由流場動畫檔 8、流場動畫檔 9 可發現當側風風速小於 3m/s 時，化學物質擴散出來之濃度幾乎可全被氣罩吸除。而當側風值到達 5m/s 時，化學物質擴散出來之濃度則無法全被氣罩吸除，一部分向外擴散。

為了能夠更有效的觀察側風及轉速對濃度擴散的影響，本文根據圖 2-6 之物理模式所示，求出於流場穩定時，不同轉速、不同側風時流場濃度分布之情形，並觀察迎風面及背風面，在距離攪拌棒分別為 0.25m、0.5m、1.0m 截面上濃度變化之情形，迎風面為觀察方向靠近側風面之截面、背風面為觀察方向遠離側風面之截面，如圖 4-55 所示。

圖 4-56、圖 4-57、圖 4-58 分別為側風風速為 3m/s、攪拌棒轉速為 120rpm 時，距離攪拌棒分別為 0.25m、0.5m、1.0m 迎風面截面上濃度變化之情形。圖 4-59、圖 4-60、圖 4-61 分別為側風風速為 3m/s、攪拌棒轉速為 120rpm 時，距離攪拌棒分別為 0.25m、0.5m、1.0m 背風面截面上濃度變化之情形。比較迎風面與背風面相同位置之截面圖可發現，由於側風方向是從迎風面吹來，而欲被吸口吸除之有毒氣體由迎風面被吹往背風面，以致於背風面截面之濃度分佈比迎風面截面之濃度分佈大。

圖 4-62、圖 4-63、圖 4-64 分別為側風風速為 5m/s、攪拌棒轉速為 120rpm 時，距離攪拌棒分別為 0.25m、0.5m、1.0m 迎風面截面上濃度變化之情形，圖 4-65、圖 4-66、圖 4-67 分別為側風風速為 5m/s、攪拌棒轉速為 120rpm 時，距離攪拌棒分別為 0.25m、0.5m、1.0m 背風面截面上濃度變化之情形。

觀察迎風面與側風面之截面圖，可發現與側風速 3m/s 時具有相同的特

性。圖 4-61、圖 4-67 分別為轉速 120rpm，側風速分別為 3m/s、5m/s 時，距離攪拌棒 1.0m 背風面截面上濃度變化之情形。觀察此兩圖可發現，當側風速為 5m/s 時，由於側風速較大，濃度被吹往外圍的比例比側風速為 3m/s 時高。

圖 4-68、圖 4-69、圖 4-70 分別為側風風速為 3m/s、攪拌棒轉速為 240rpm 時，距離攪拌棒分別為 0.25m、0.5m、1.0m 迎風面截面上濃度變化之情形，圖 4-71、圖 4-72、圖 4-73 分別為側風風速為 3m/s、攪拌棒轉速為 240rpm 時，距離攪拌棒分別為 0.25m、0.5m、1.0m 背風面截面上濃度變化之情形。

觀察迎風面與側風面之截面圖，可發現具有上述背風面濃度分佈比迎風面濃度分佈高的特性。

比較不同轉速對濃度分佈之影響，圖 4-68 與圖 4-58 為側風風速均為 3m/s 時，轉速分別為 240rpm、120rpm 時，距離攪拌棒 0.25m 之迎風面截面濃度分度之情形，觀察此兩圖可發現，由於轉速加大時，離心力增大，靠近攪拌棒附近之濃度分佈會減小。在距離攪拌棒 0.5m 之迎風面截面也具有與上述相同的特性。

圖 4-70 與圖 4-58 為側風風速均為 3m/s 時，轉速分別為 240rpm、120rpm 時，距離攪拌棒 1.0m 之迎風面截面濃度分度之情形，觀察此兩圖可發現，當轉速加大時，在距離桶外圍截面之濃度分佈較大，以致於擴散至圓桶外圍的之濃度比例增加。

為了能模擬側風吹過攪拌桶時，空氣受污染的情形以及桶內濃度擴散之情形，利用與 4-4 節相同之方法，於流場中適當位置放置隨濃度改變顏色之空氣粒子，並觀察空氣粒子於流場中運動時濃度改變之情形，藉此觀察不同攪拌棒轉速，不同側風時，空氣粒子運動時濃度改變之情形。

圖 4-74 為轉速為 120rpm、側風風速為 3m/s 時，於流場中放置空氣粒子，其於流場中運動之情形，空氣粒子被側風吹往攪拌桶，於接近攪拌桶時，受到攪拌桶擴散出來之濃度污染而改變其顏色，顏色的不同代表空氣粒子受

污染的程度不同，由於攪拌棒具有 120rpm 之轉速，於攪拌棒周圍之空氣粒子不僅被污染且會有轉動的現象產生。空氣粒子於流場中運動之情形，如流場動畫檔 10 所示

圖 4-75 為轉速為 120rpm、側風風速為 5m/s 時，於流場中放置空氣粒子，其於流場中運動之情形。比較圖 4-74 與 4-75，由於此時側風速加大，攪拌桶迎風面擴散出來之濃度被乾淨之空氣稀釋，僅有背風面具有較大之濃度分布。空氣粒子於流場中運動之情形，如流場動畫檔 11 所示

圖 4-76 為轉速為 240rpm、側風風速為 3m/s 時，於流場中放置空氣粒子，其於流場中運動之情形。比較圖 4-74 與 4-76，當轉速加大時，由於桶內之離心力加大，濃度甩出的比例增加，可明顯的發現桶周圍，被濃度污染之空氣粒子較轉速小時增加。空氣粒子於流場中運動之情形，如流場動畫檔 12 所示



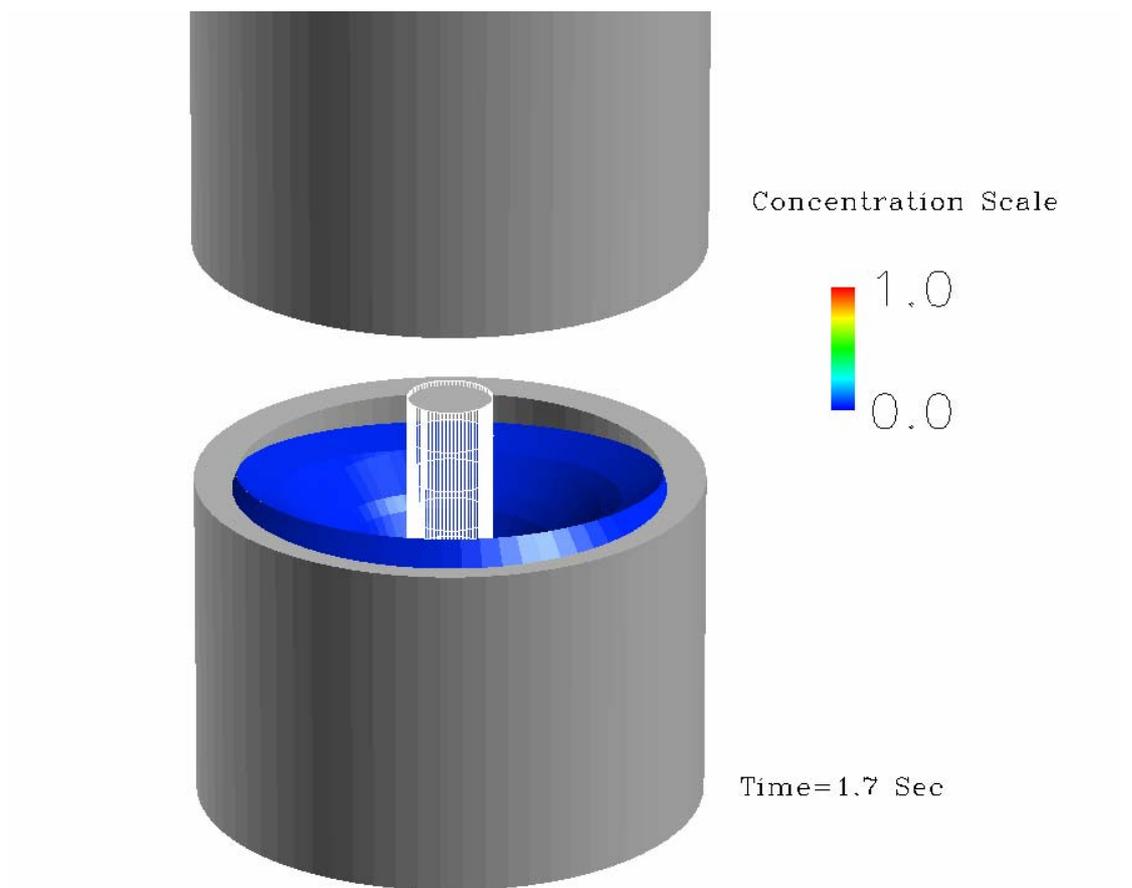


圖 4-42 攪拌棒轉速為 120rpm，暫態時間 1.7 秒時，濃度值 0.05 之範圍

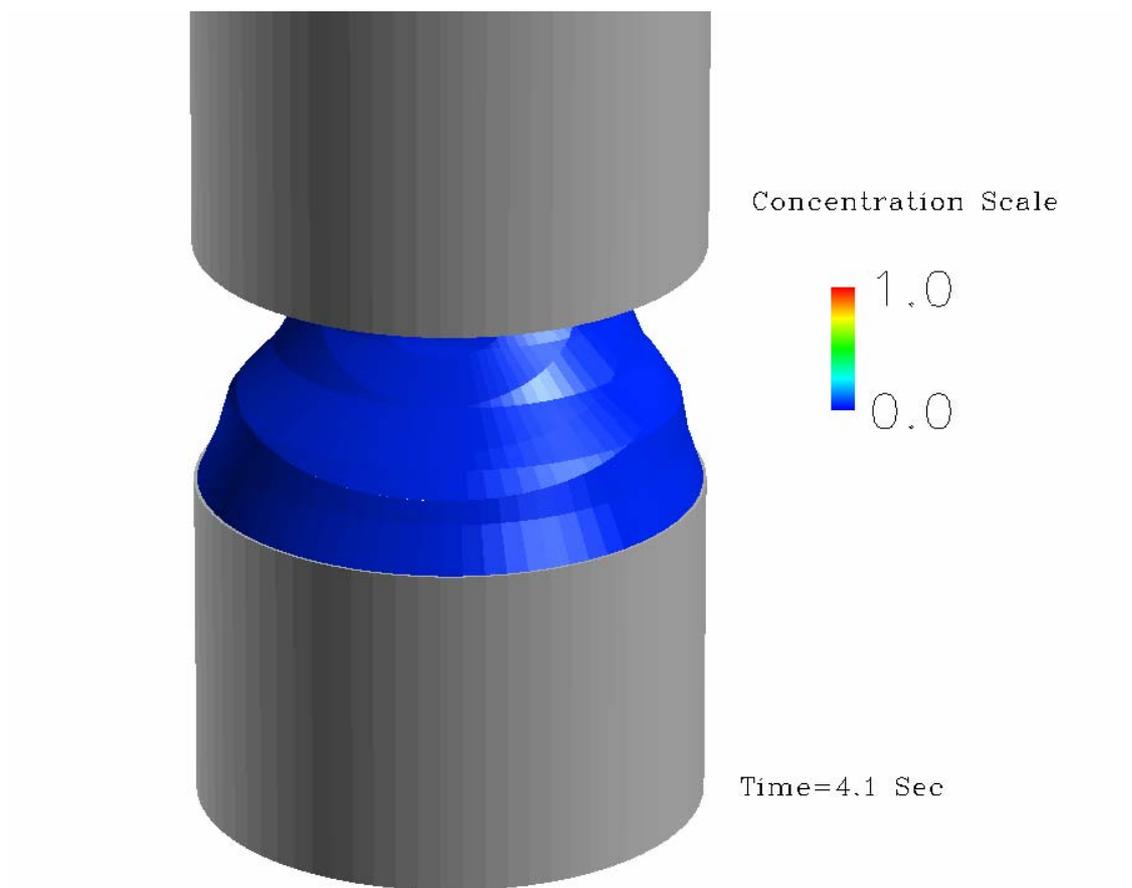


圖 4-43 攪拌棒轉速為 120rpm，暫態時間 4.1 秒時，濃度值 0.05 之範圍

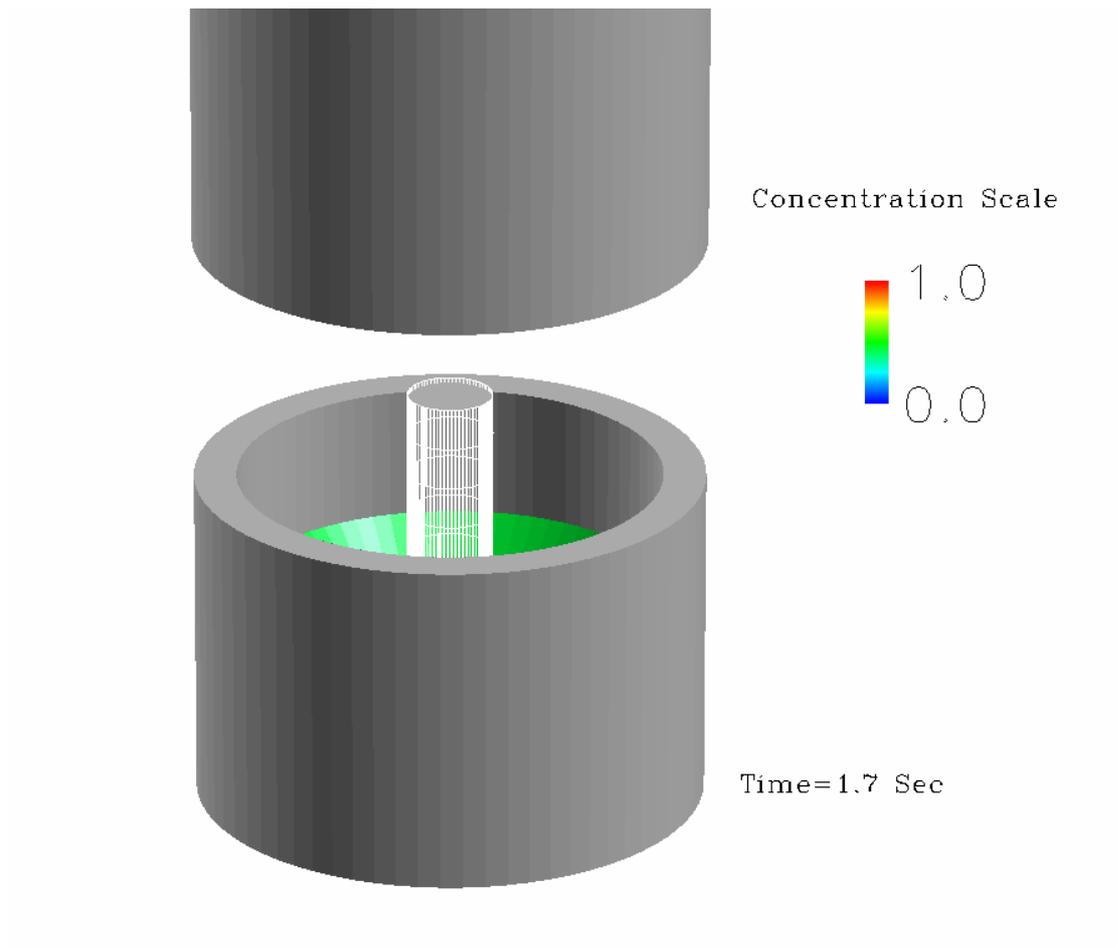


圖 4-44 攪拌棒轉速為 120rpm，暫態時間 1.7 秒時，濃度值 0.45 之範圍

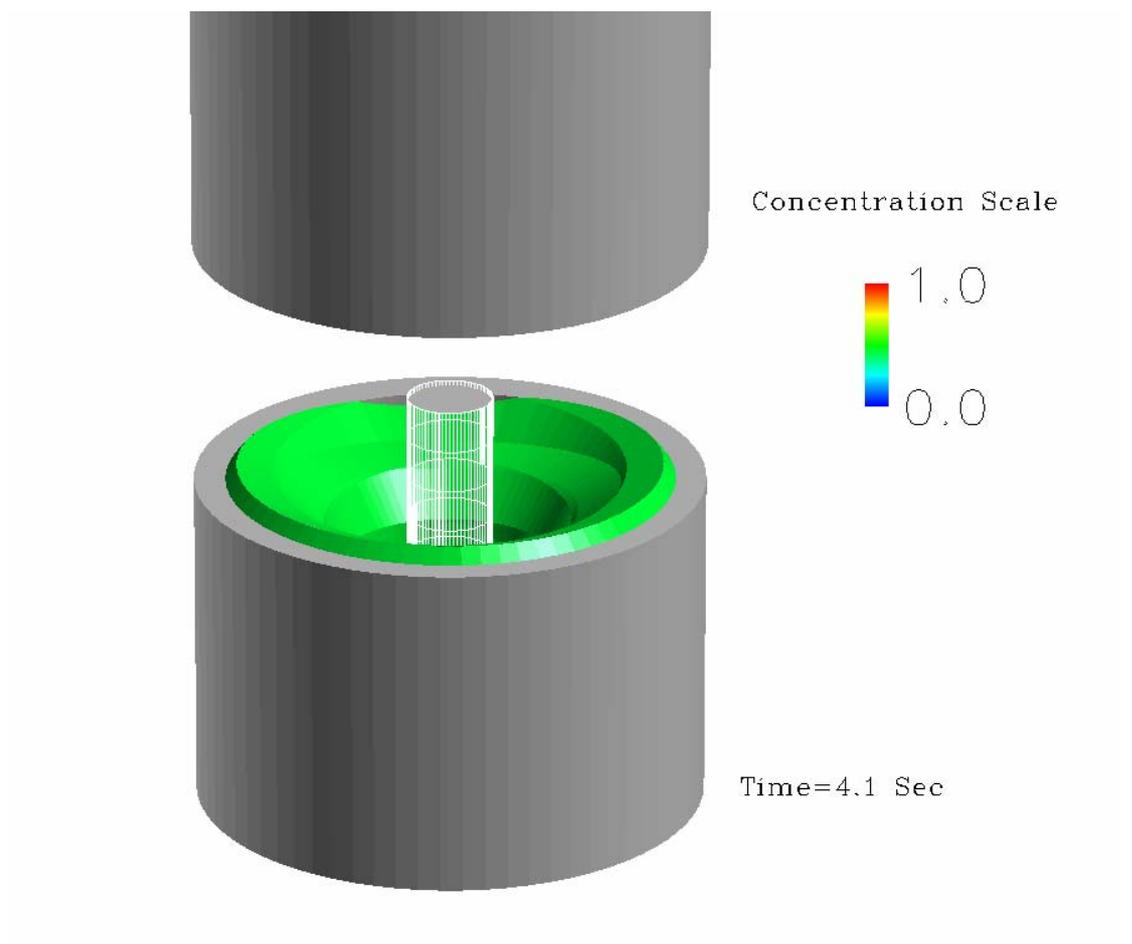


圖 4-45 攪拌棒轉速為 120rpm，暫態時間 4.1 秒時，濃度值 0.45 之範圍

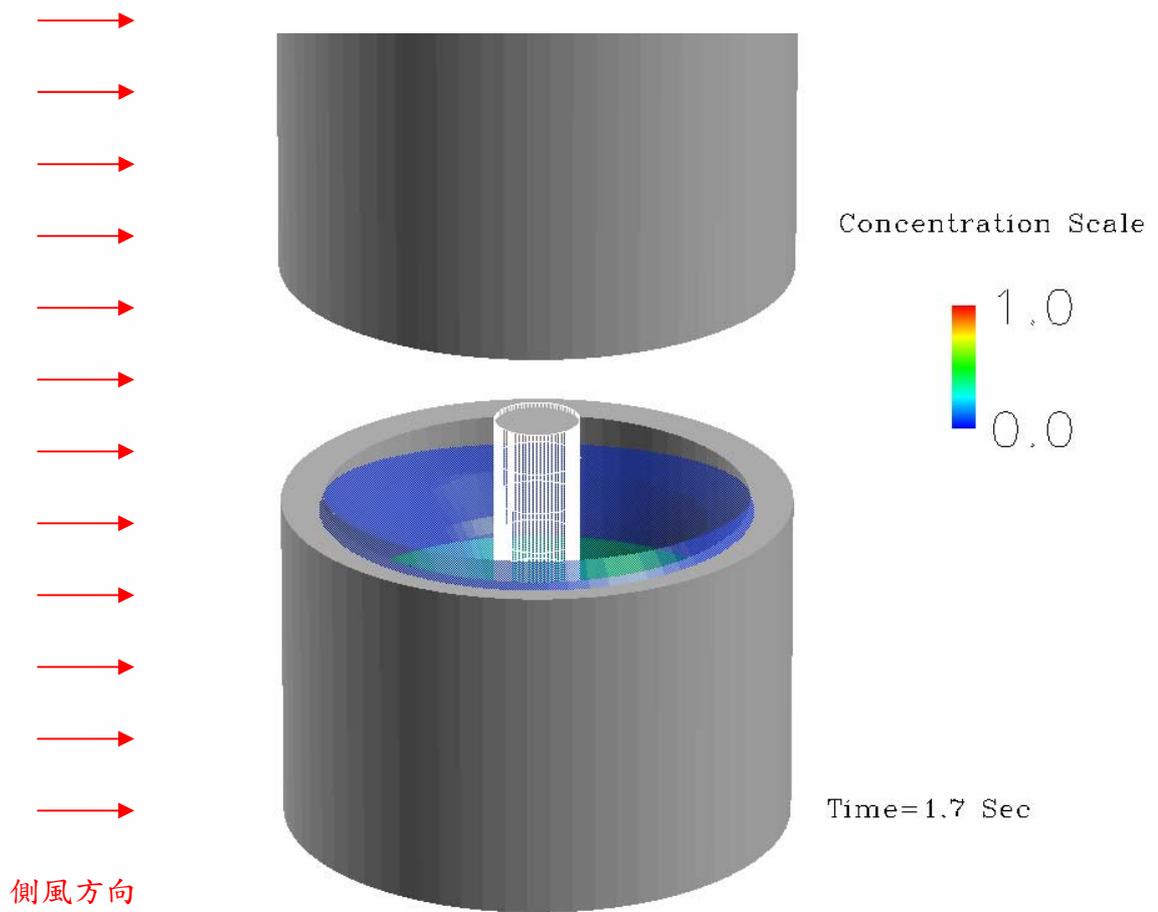


圖 4-46 側風速 3m/s，轉速為 120rpm，暫態時間 1.7 秒，整體濃度擴散之情形

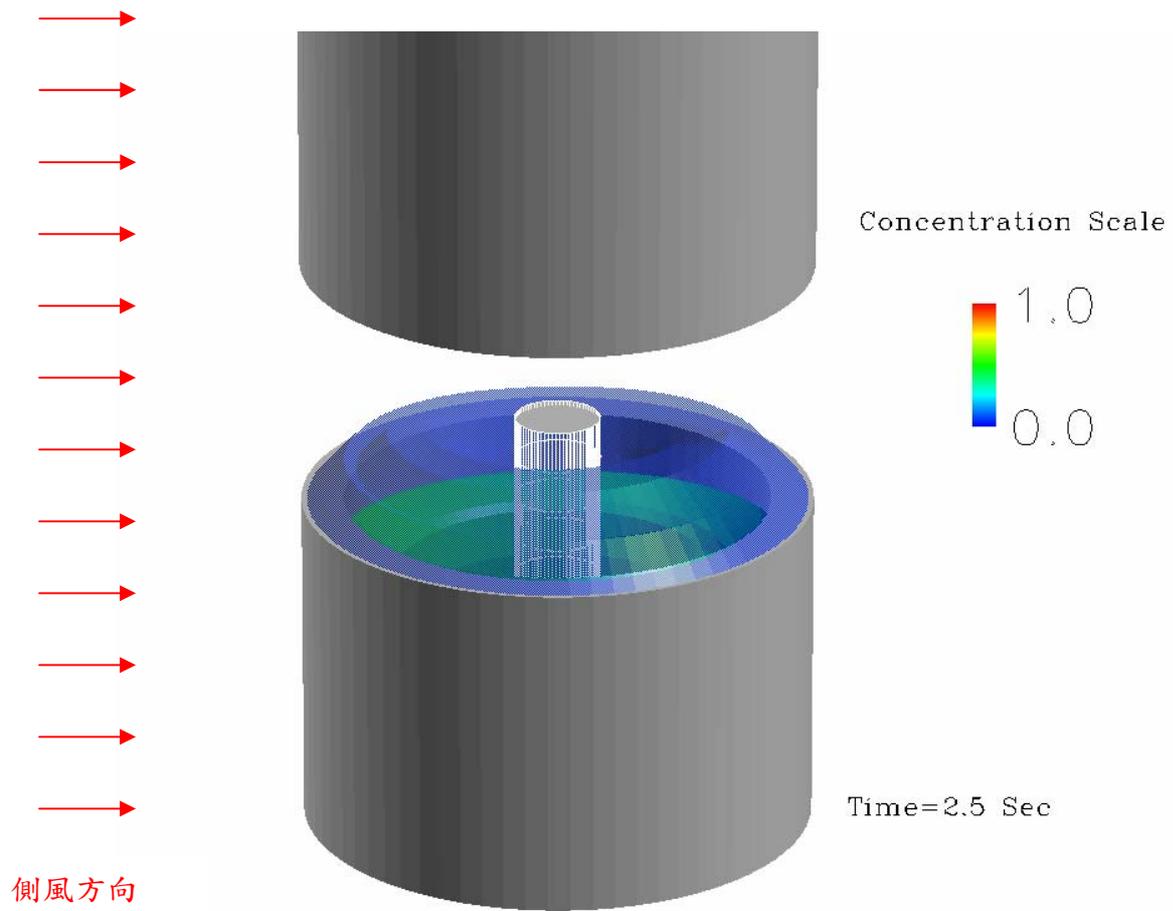


圖 4-47 側風速 3m/s，轉速為 120rpm，暫態時間 2.5 秒時，濃度擴散之情形

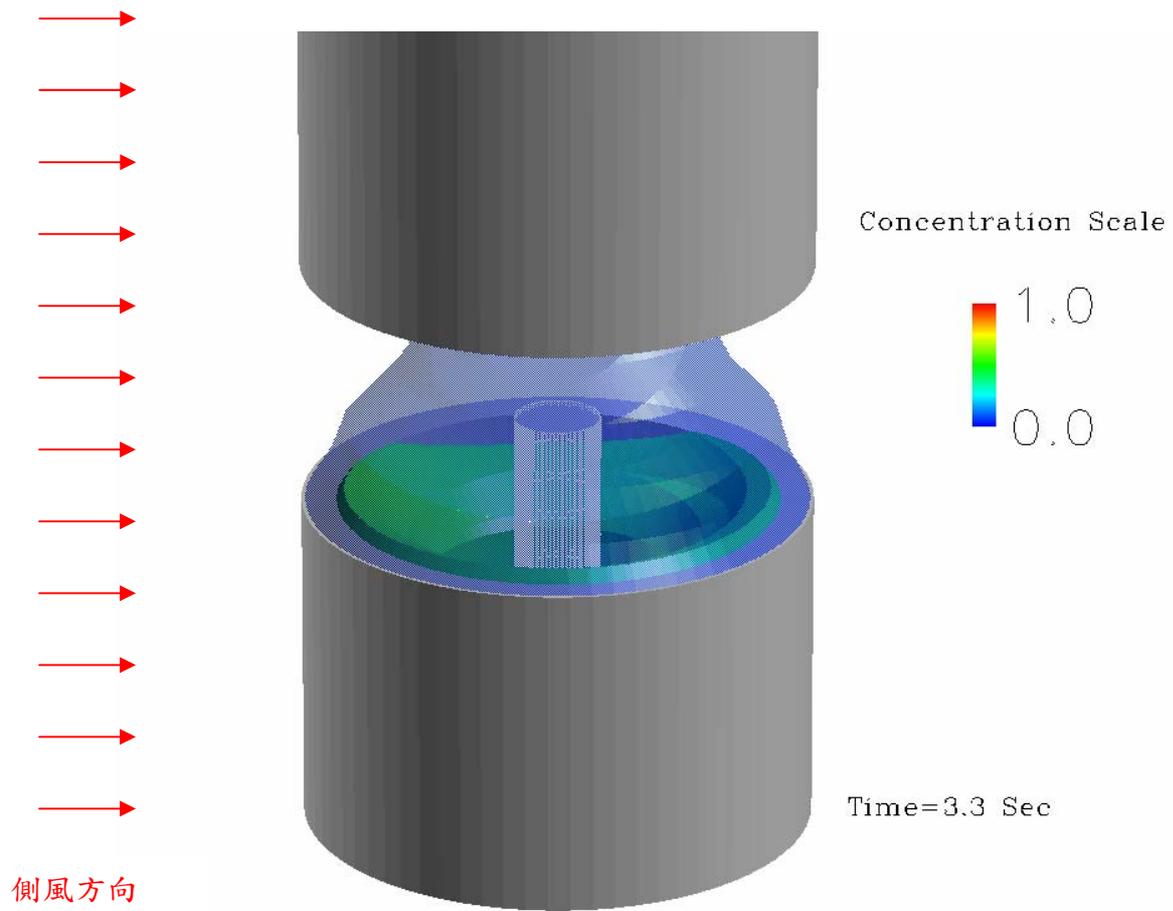


圖 4-48 側風速 3m/s，轉速為 120rpm，暫態時間 3.3 秒時，濃度擴散之情形

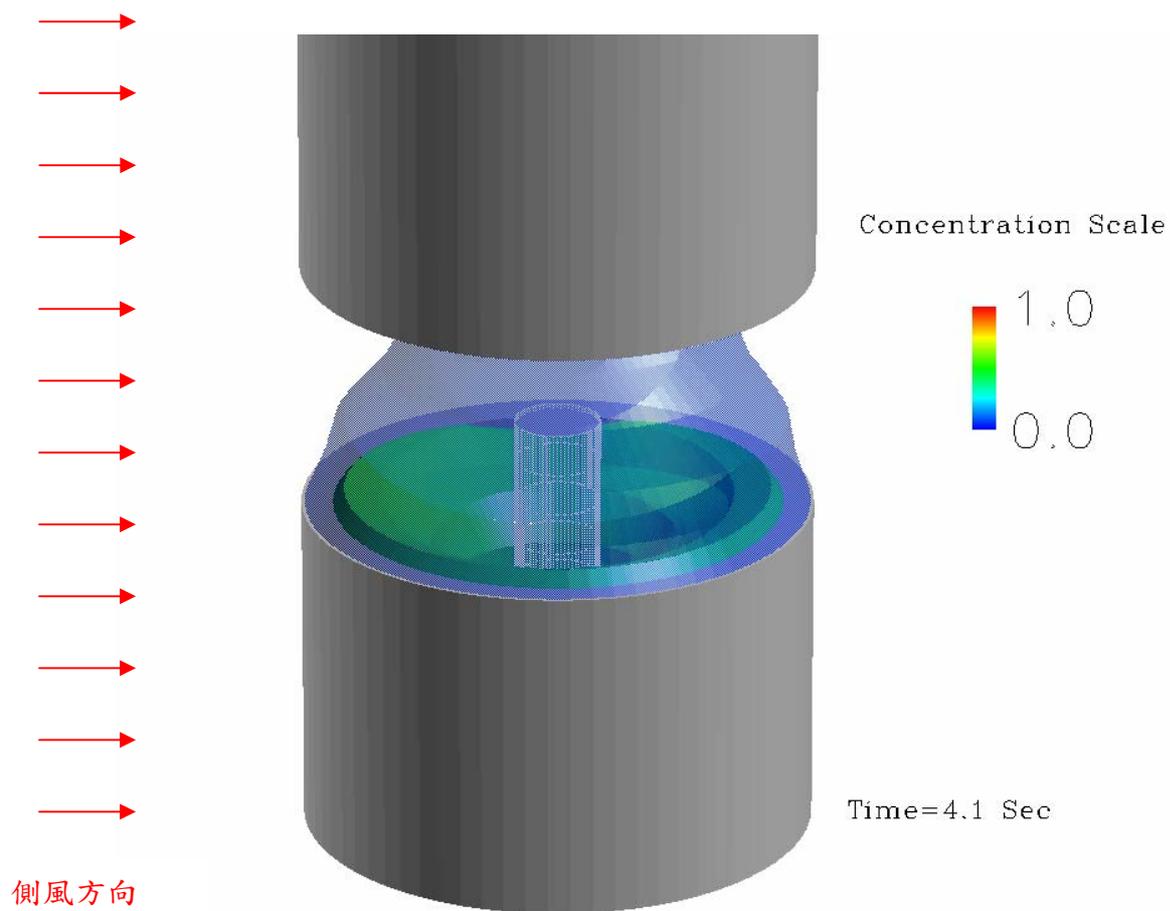


圖 4-49 側風速 3m/s，轉速為 120rpm，暫態時間 4.1 秒時，濃度擴散之情形

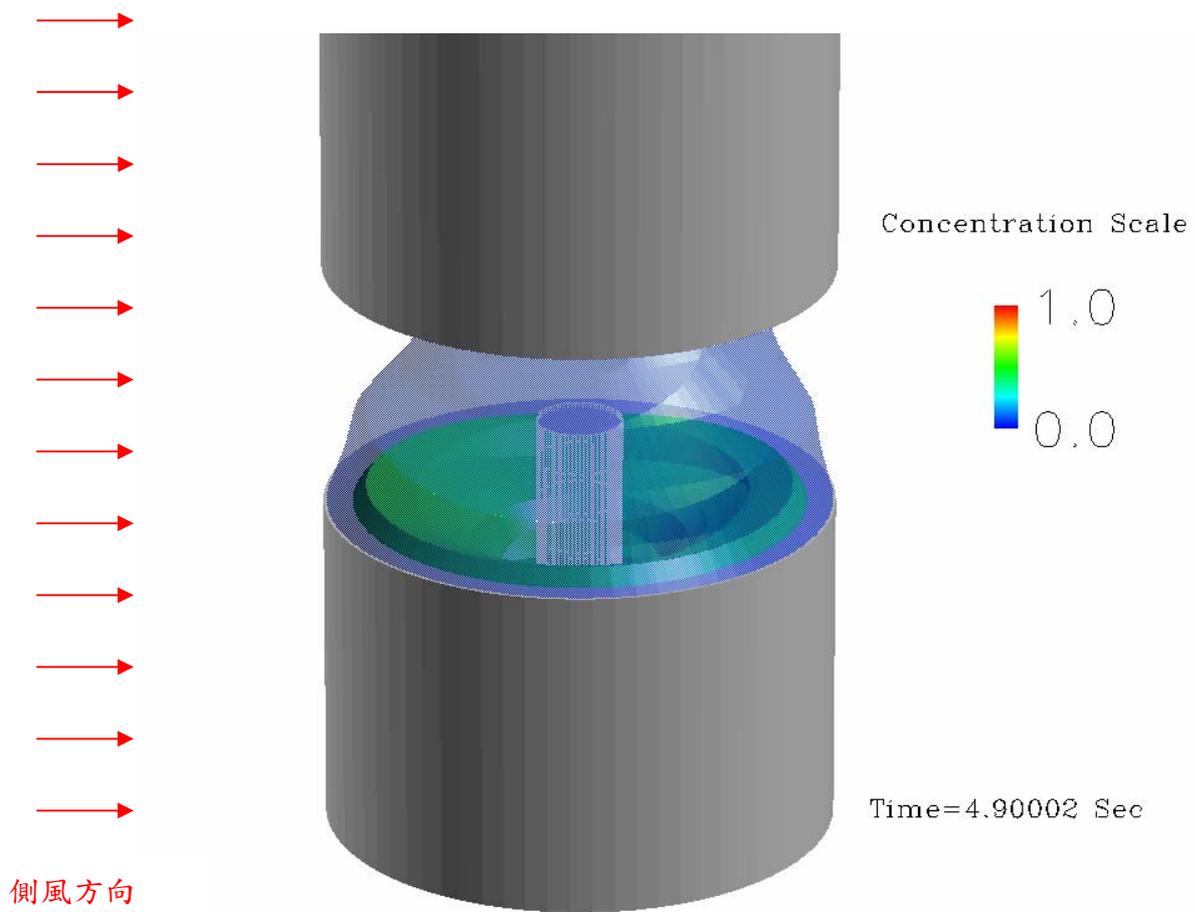


圖 4-50 側風速 3m/s，轉速為 120rpm，暫態時間 4.9 秒時，濃度擴散之情形

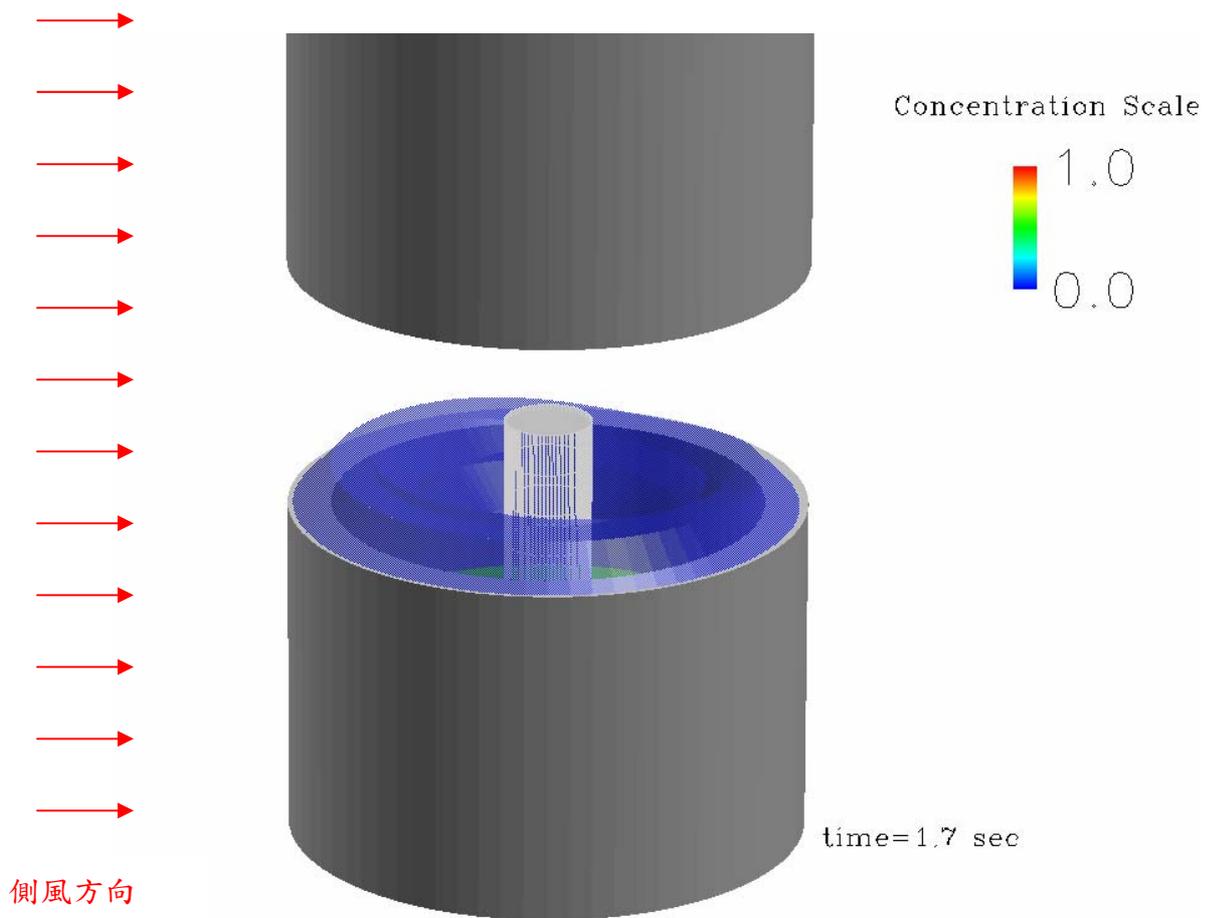


圖 4-51 側風 5m/s，攪拌棒轉速為 180rpm，暫態時間 1.7 秒時，濃度擴散情形

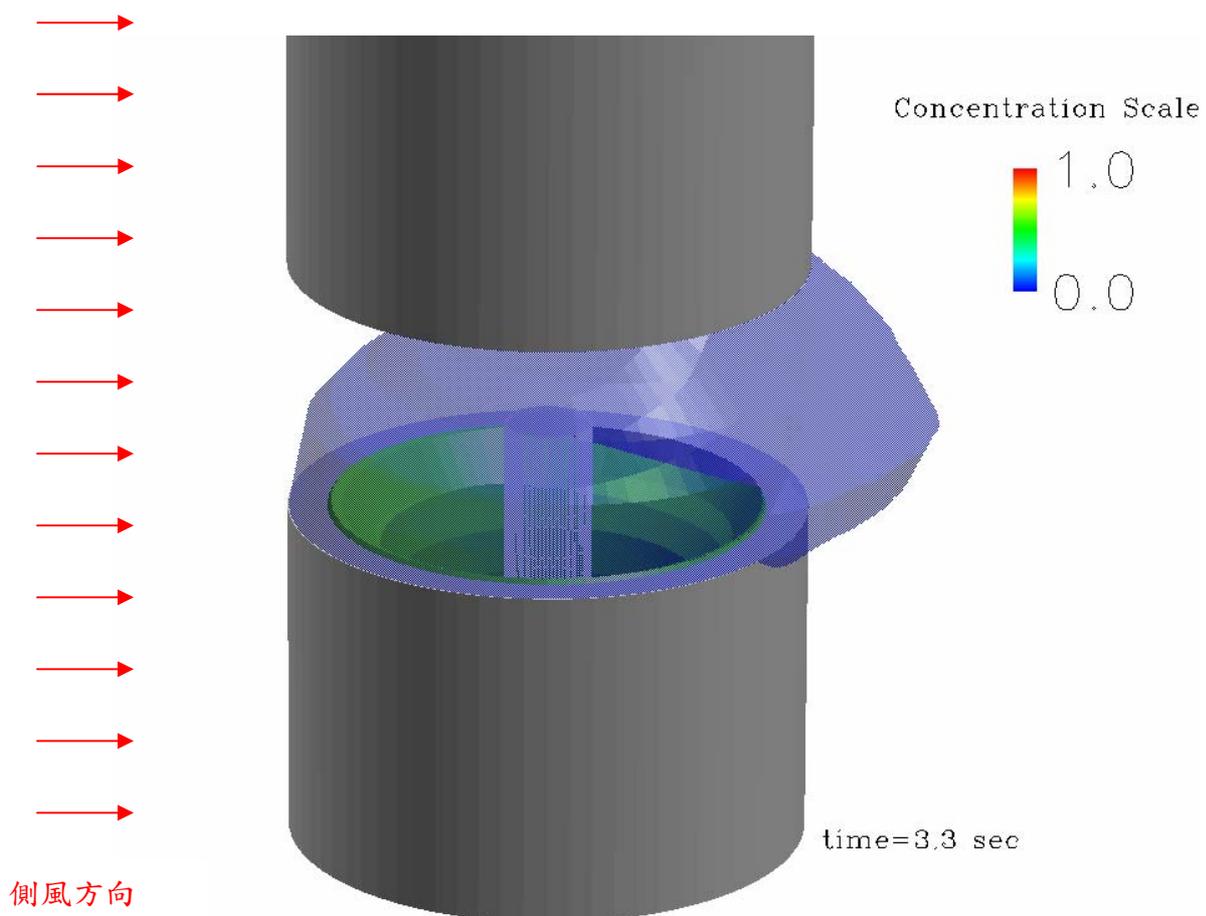


圖 4-52 側風 5m/s，攪拌棒轉速為 180rpm，暫態時間 3.3 秒時，濃度擴散情形

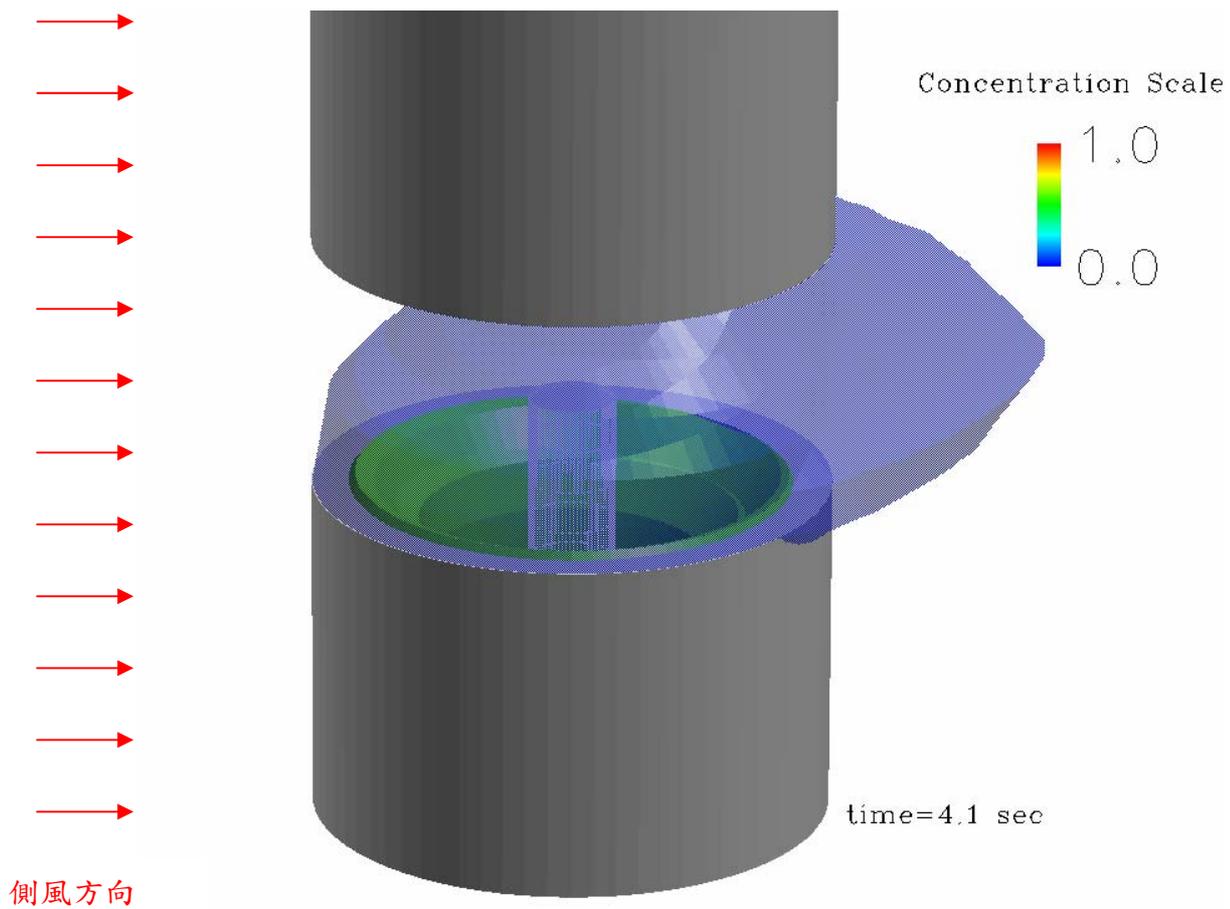


圖 4-53 側風 5m/s，攪拌棒轉速為 180rpm，暫態時間 4.1 秒時，濃度擴散情形

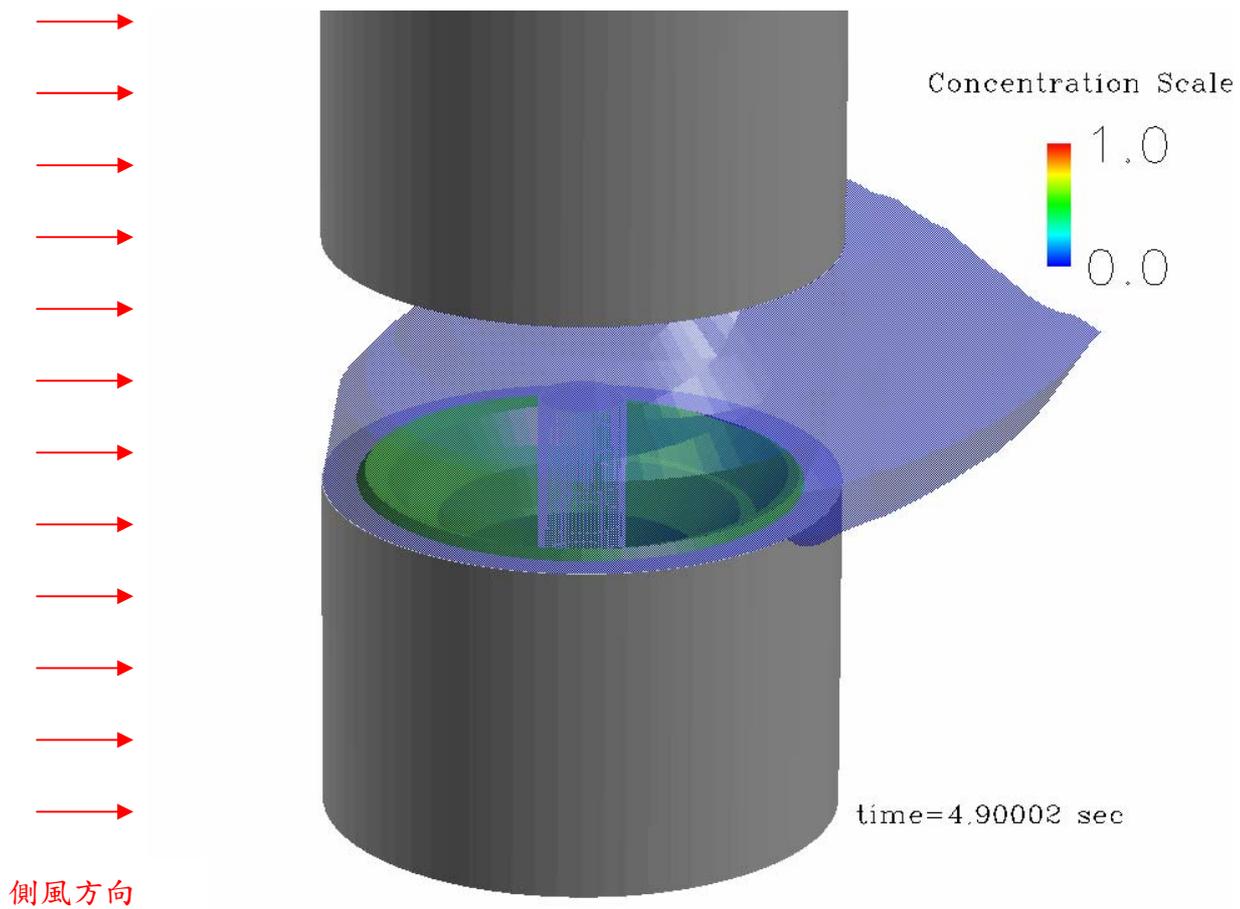


圖 4-54 側風 5m/s，攪拌棒轉速為 180rpm，暫態時間 4.9 秒時，濃度擴散情形

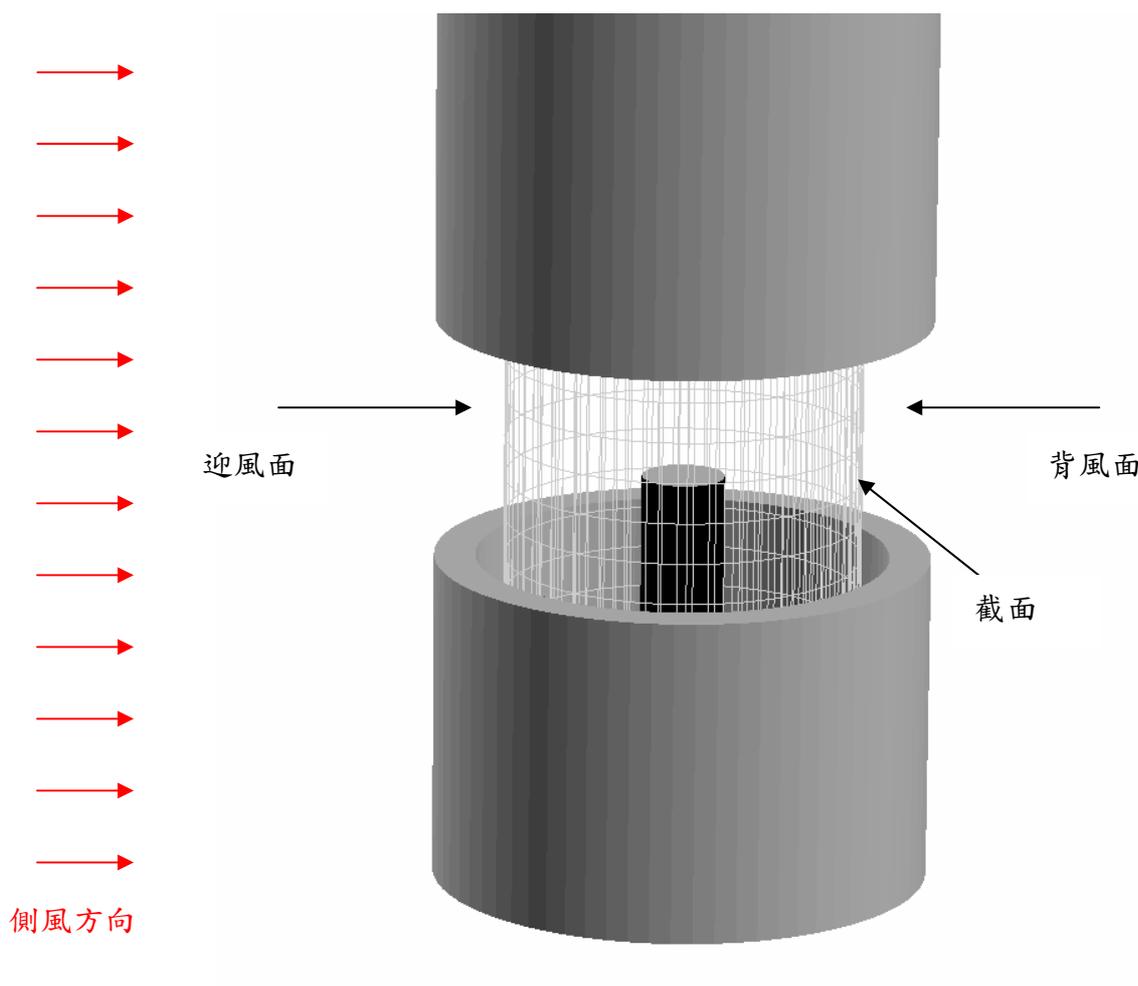


圖 4-55 迎風面與背風面示意圖

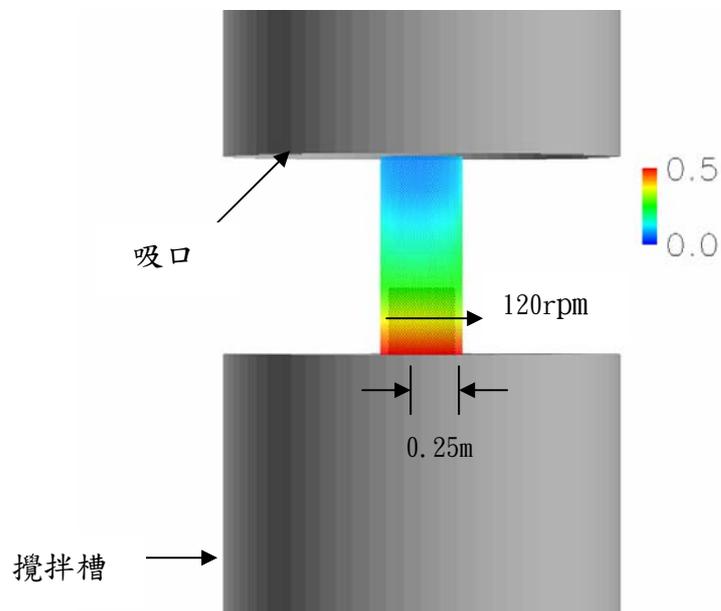


圖 4-56 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.25m 之迎風面濃度擴散情形

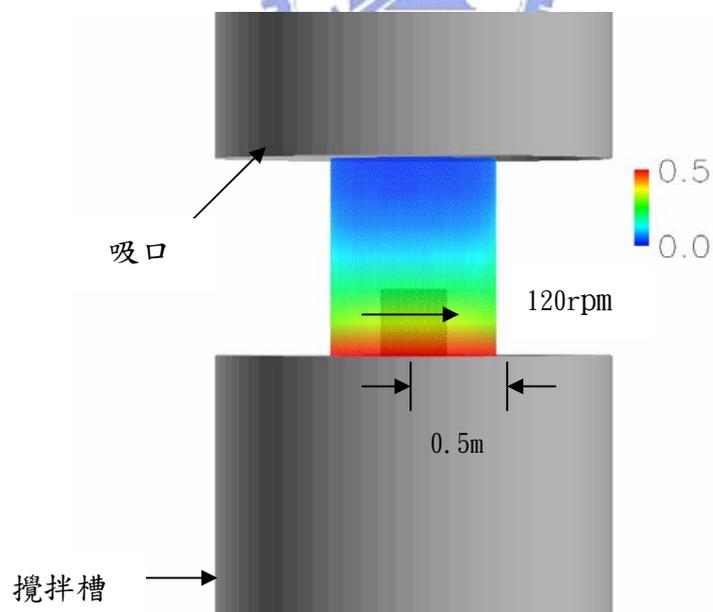


圖 4-57 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.5m 之迎風面濃度擴散情形

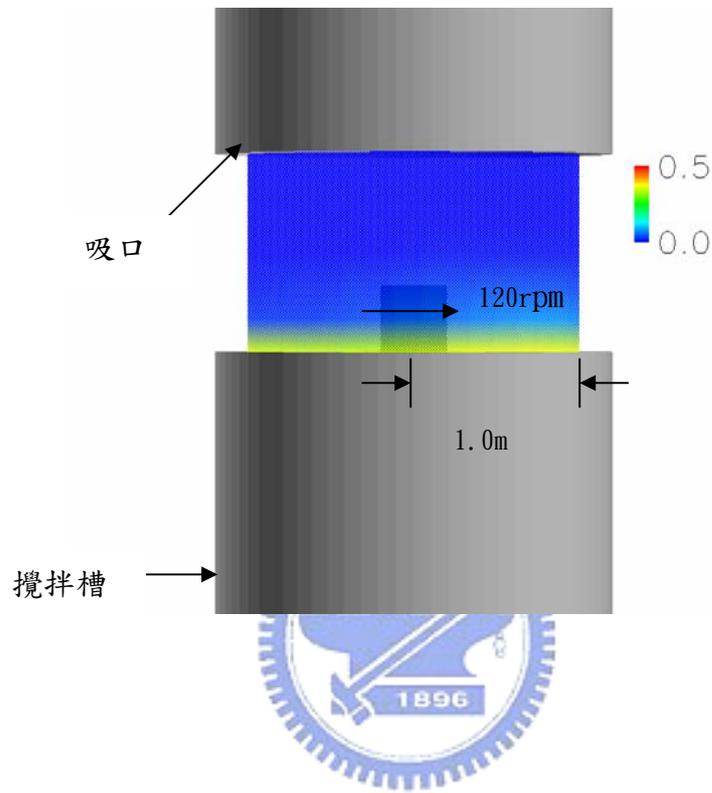


圖 4-58 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 1m 之迎風面濃度擴散情形

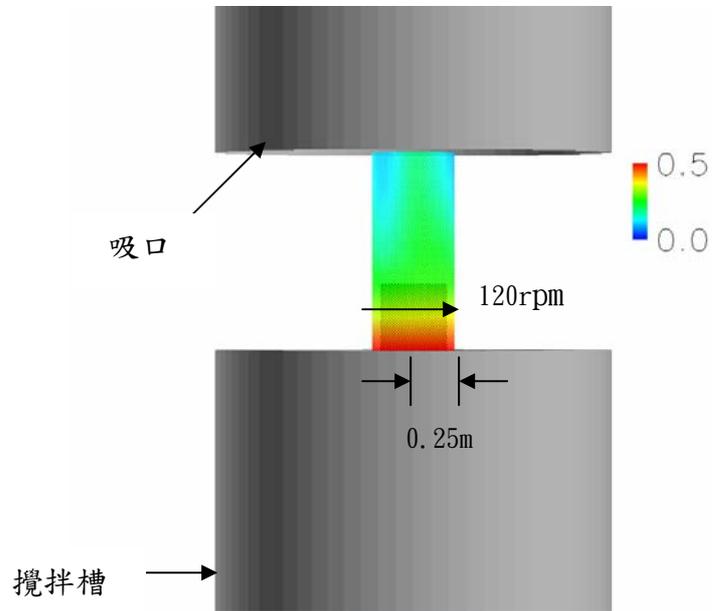


圖 4-59 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.25m 之背風面濃度擴散情形

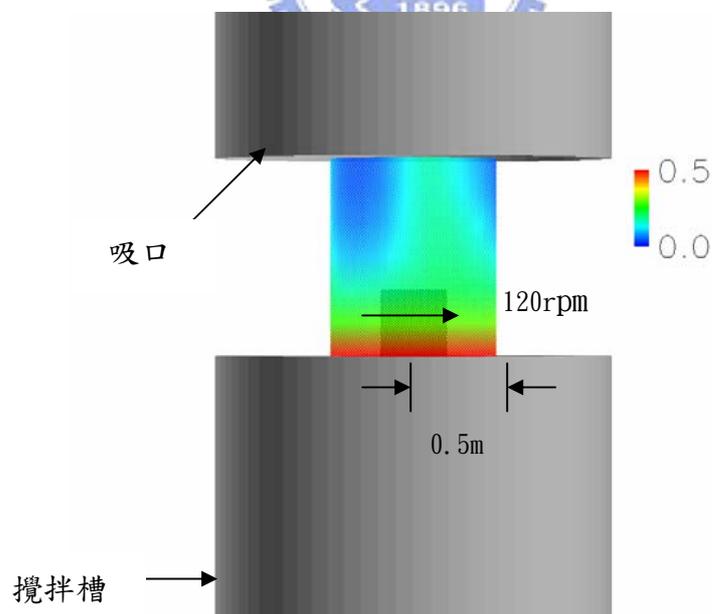


圖 4-60 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.5m 之背風面濃度擴散情形

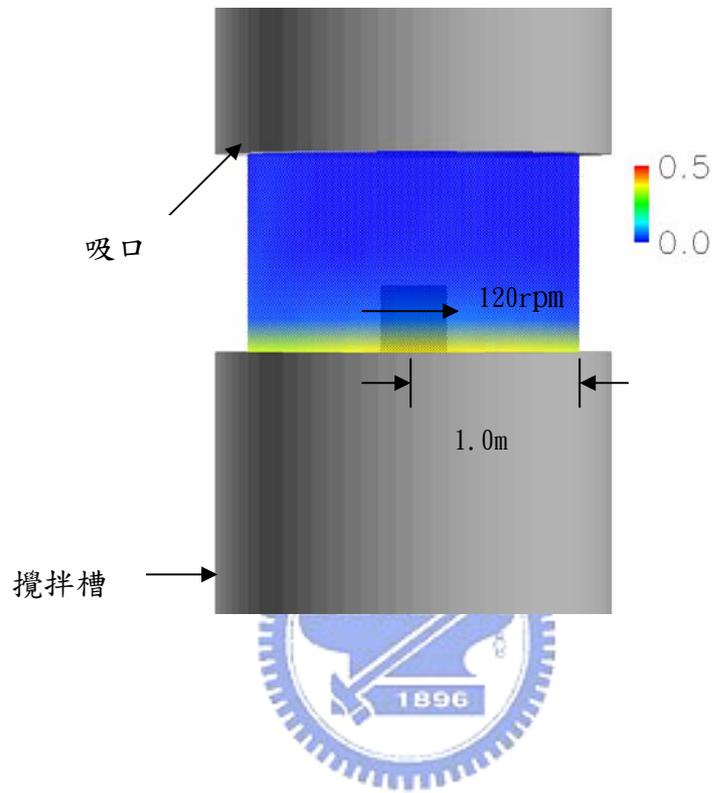


圖 4-61 側風 3m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 1m 之背風面濃度擴散情形

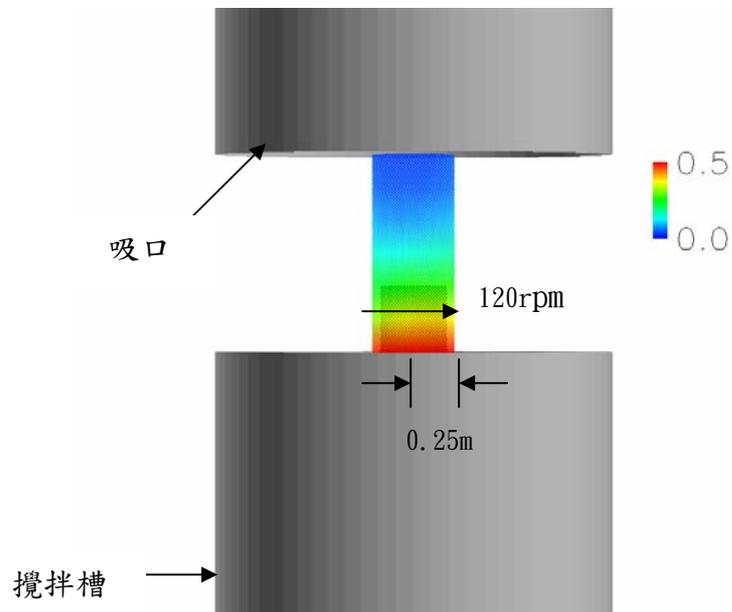


圖 4-62 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.25m 之迎風面濃度擴散情形

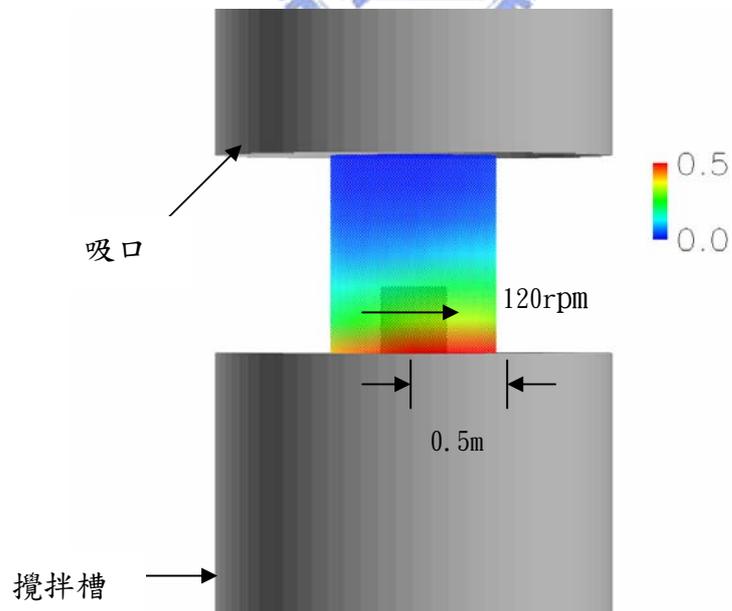


圖 4-63 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.5m 之迎風面濃度擴散情形

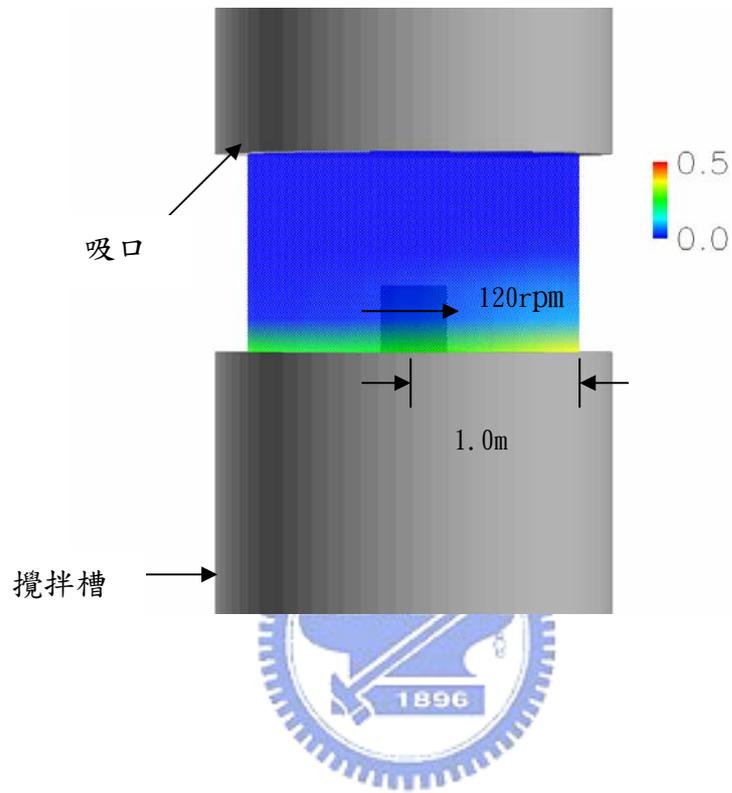


圖 4-64 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 1m 之迎風面濃度擴散情形

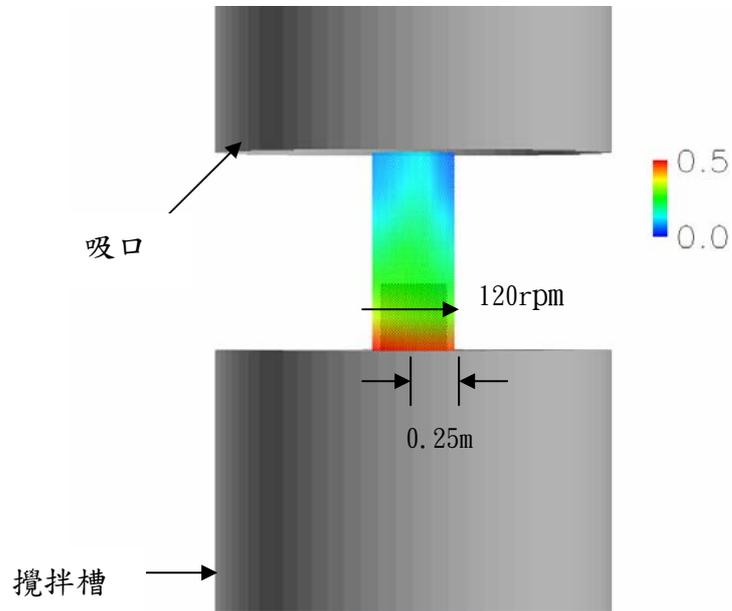


圖 4-65 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.25m 之背風面濃度擴散情形

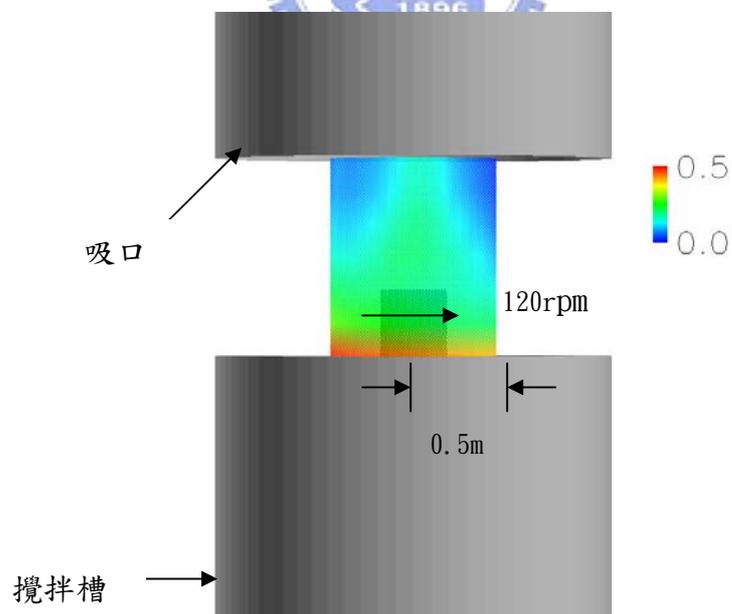


圖 4-66 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 0.5m 之背風面濃度擴散情形

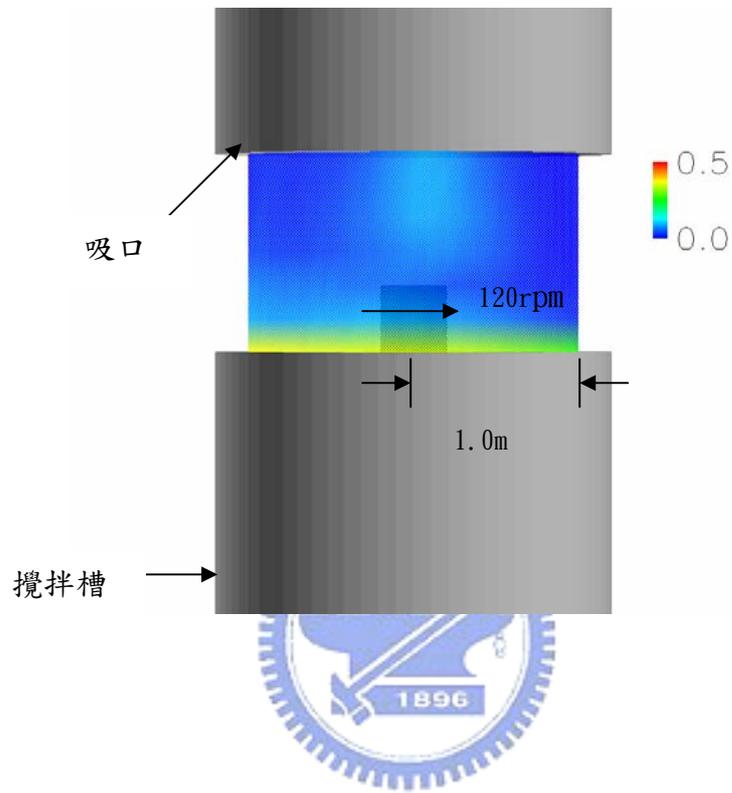


圖 4-67 側風 5m/s，轉速 120rpm，距攪拌棒 1m 之背風面濃度擴散情形

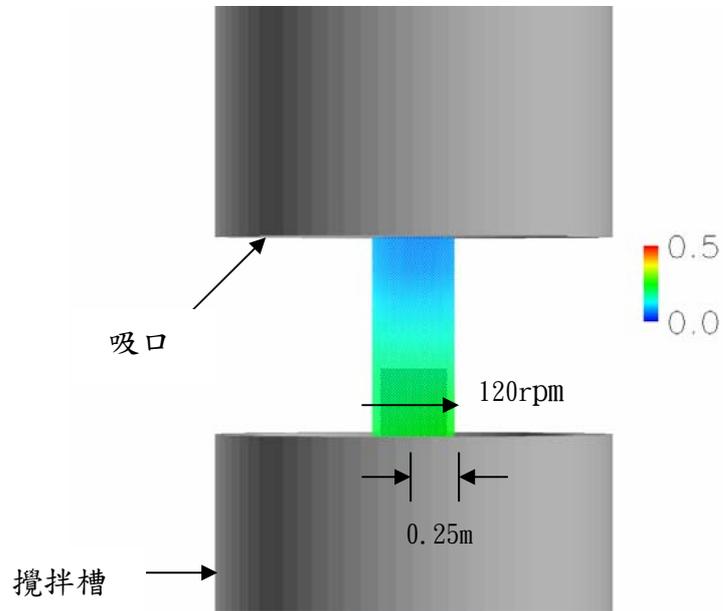


圖 4-68 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 0.25m 之迎風面濃度擴散情形

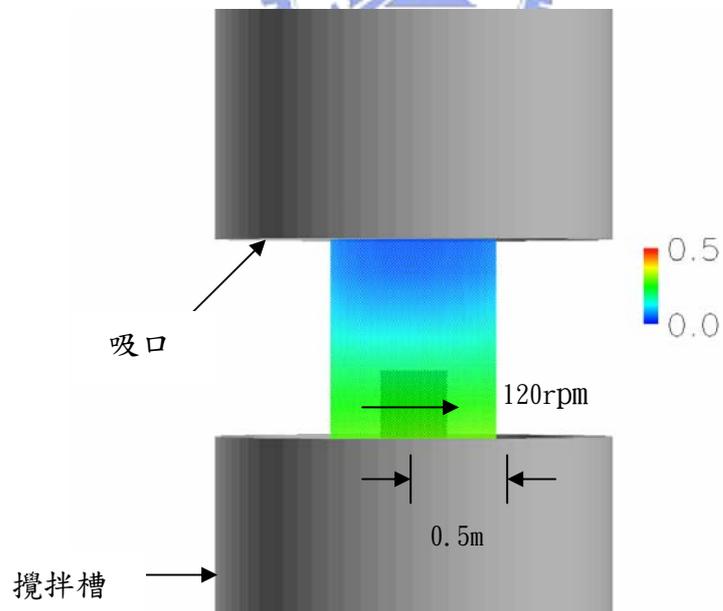


圖 4-69 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 0.5m 之迎風面濃度擴散情形

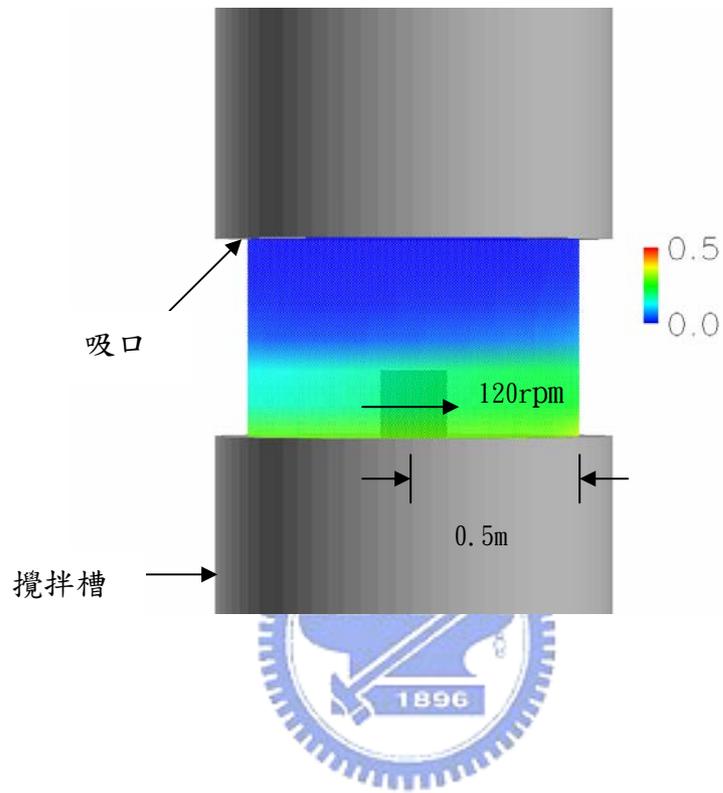


圖 4-70 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 1m 之迎風面濃度擴散情形

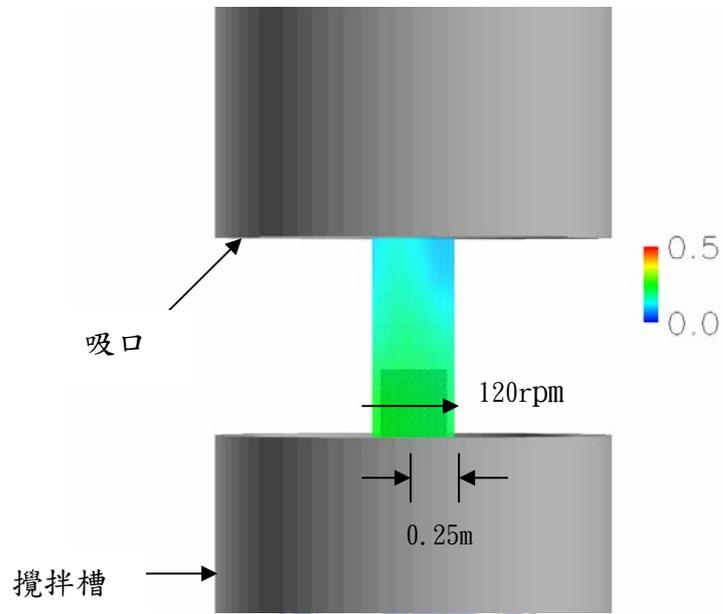


圖 4-71 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 0.25m 之背風面濃度擴散情形

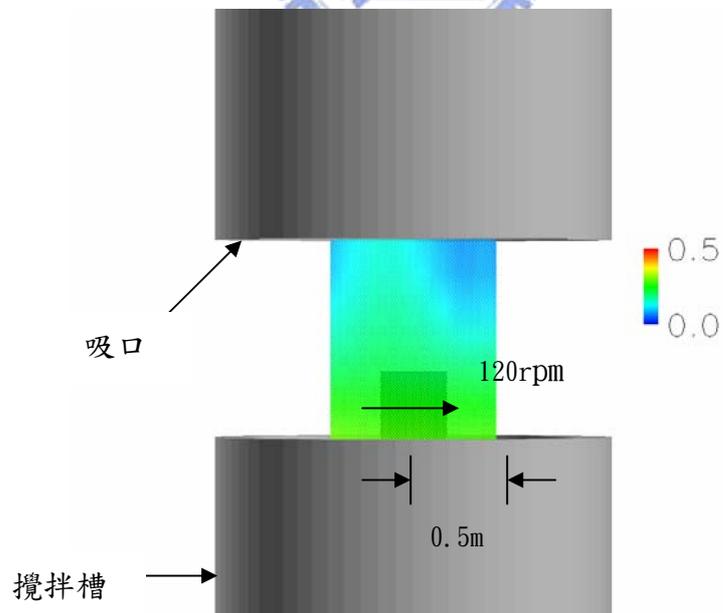


圖 4-72 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 0.5m 之背風面濃度擴散情形

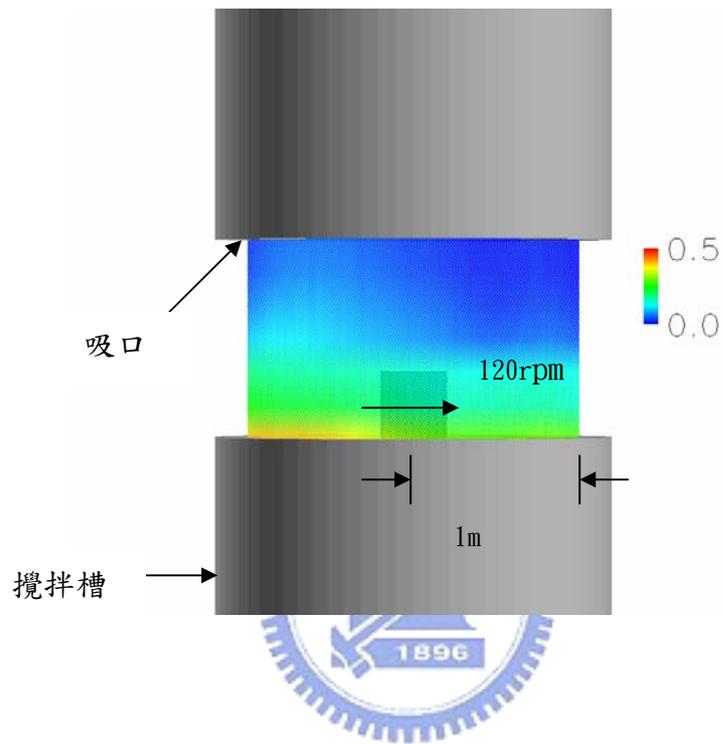


圖 4-73 側風 3m/s，轉速 240rpm，距攪拌棒 1m 之背風面濃度擴散情形

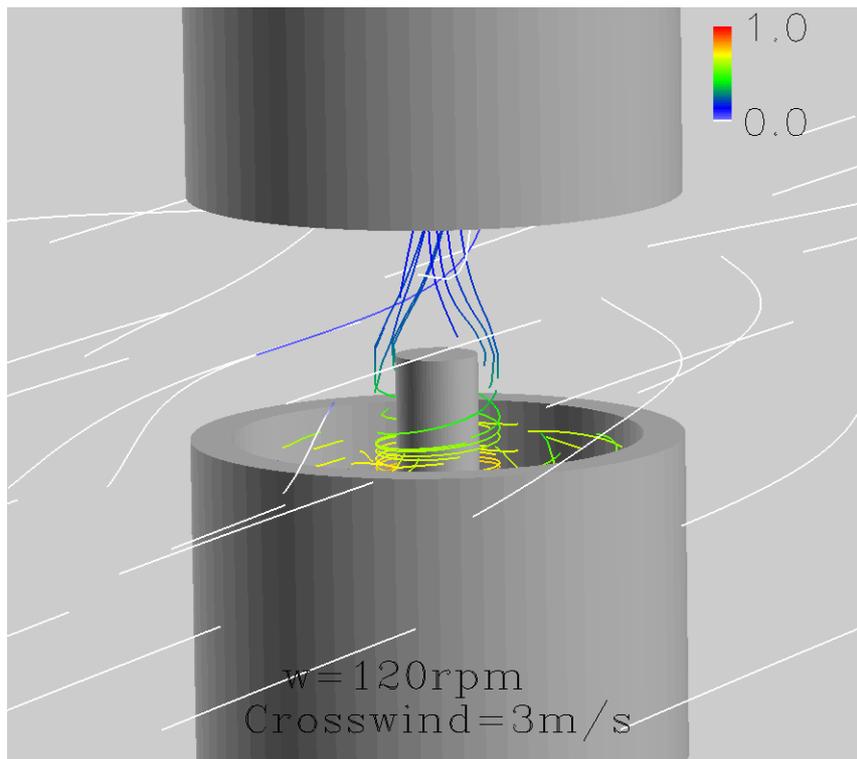


圖 4-74 轉速 120rpm、側風速 3m/s 流場中空氣粒子受污染之情形

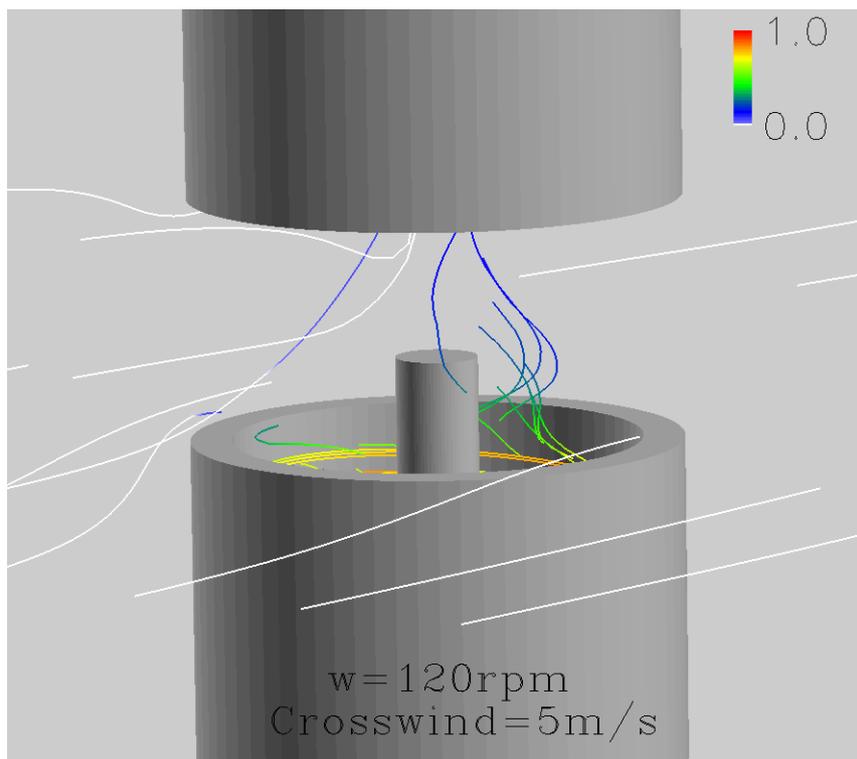


圖 4-75 轉速 120rpm、側風速 5m/s 流場中空氣粒子受污染之情形

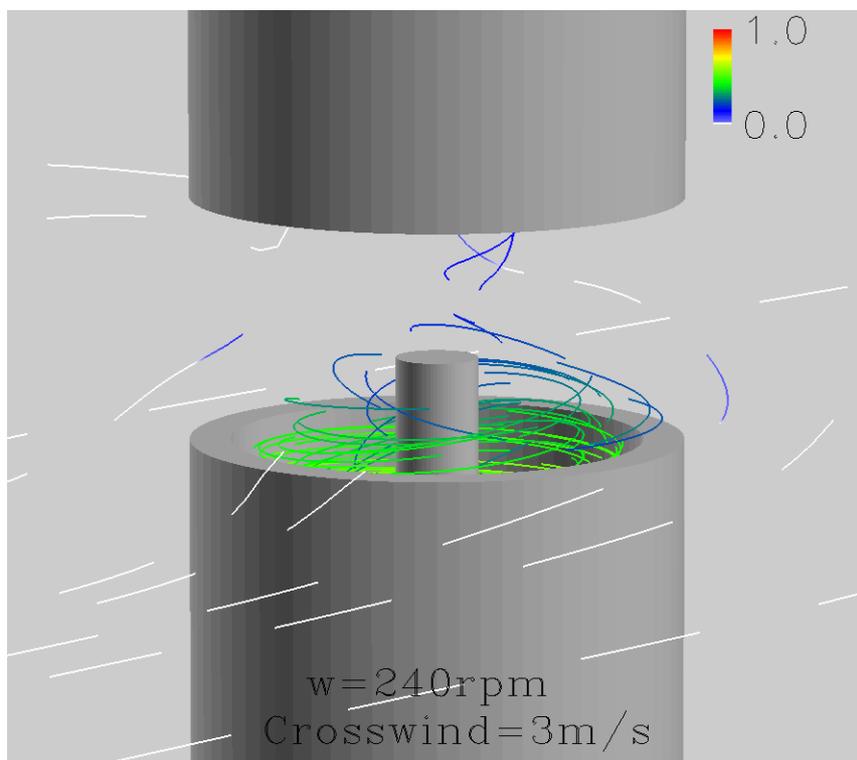


圖 4-76 轉速 240rpm、側風速 3m/s 流場中空氣粒子受污染之情形

第五章 結論

本文利用各種不同的方式將數值計算之數據，以簡單易懂的圖片及動畫顯示，並藉由各種方式表現流場之特性，藉此觀察流場之特徵，並進一步探討不同參數對流場的影響，經研究分析得到以下結論：

1. 於流場放置密度與空氣相同之微小粒子，可以有效的觀察流場的特性，並可以輕易的找出流場中之渦流產生處，以進行改善。
2. 對於顯示二維流場中濃度擴散的情形，可建立一截面並依不同濃度值給予不同之顏色，即可有效的表現出濃度於流場中擴散之情形。
3. 對於顯示三維流場之濃度擴散情形，若使用等濃度範圍之表示方式，可以巨觀的角度觀察流場中濃度擴散之趨勢；而為了觀察流場濃度擴散較細微之情況，可配合觀察截面上濃度擴散之情形。
4. 在流場中放置隨濃度改變顏色之空氣粒子，可以模擬當空氣吹過濃度污染源時，被濃度污染的程度，並可以觀察濃度污染的範圍大小。