

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

自動上光阻機異味逸散研究

Auto Spin Coater Peculiar Smell Leak
Investigation

1896

研究生：張富康

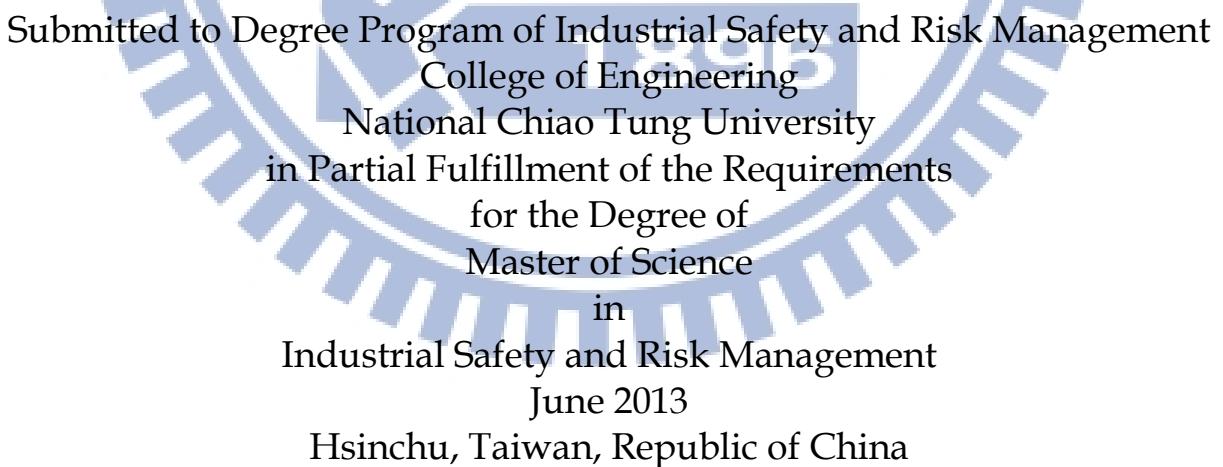
指導教授：傅武雄 教授

中華民國 一百零二年六月

自動上光阻機異味逸散研究
Auto Spin Coater Peculiar Smell Leak
Investigation

研究 生: 張 富 康
指 導 教 授: 傅 武 雄

Student : Fu-Kang Chang
Advisor : Wu-Shung Fu



碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Industrial Safety and Risk Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Industrial Safety and Risk Management

June 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零二年六月

自動上光阻機異味逸散研究

學生：張富康

指導教授：傅武雄

國立交通大學工學院產業安全與防災學程

摘要

本論文為探討發光二極體製造業(Light Emitting Diode, LED)自動上光阻機(Auto spin coater)，於塗佈製程時模擬箱體內的情境。光阻程序中使用的化學品區分為正光阻劑或負光阻劑，其主要成分為丙二醇單甲基醚酯(PGMEA)、丙二醇單甲基醚(PGME)，上述的化合物皆屬於揮發性有機氣體並具有極低的嗅覺閾值，如未加以控制，造成作業人員之吸入即產生不適，長期接觸亦可能導致其他職業疾病之發生，增加人員作業的風險。

本次以流場分析軟體，探討箱體內模擬風機-濾網機組(Fan Filter Units, FFU)送風後的情況，FFU 條件分別設定為原始設計的 0.6 m/s 及 0.1 m/s 以及未送風(0 m/s)的情形下，分別觀察 10 分鐘、15 分鐘及 20 分鐘，共 9 種情境模擬 36 種動態截面圖研究逸散源擴散之情形。

綜合圖形模擬結果，FFU 在 0.6 m/s 及 0.1 m/s 時，並未能壓制逸散源，因為 FFU 的送風會使空間內形成正壓環境，導致逸散源自箱體內向外的方式從門縫竄出，相反在 FFU 未送風(0 m/s)的狀況下，僅以局部排氣設備進行排氣，會使其呈現負壓狀態，逸散源反而能受到控制，使黃光區的異味狀況獲得良好的改善。

Auto Spin Coater Peculiar Smell Leak Investigation

Student: Fu-Kang Chang

Advisor: Wu-Shung Fu

Degree Program of Industrial Safety and Risk Management College of Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

The light-emitting diode manufacturing (Light Emitting Diode, LED) Auto spin coater, and analysis and simulate the cabinets situational in developing process is studied numerically. The chemicals used in the photoresist program area is divided into, whose main component is propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA), propylene glycol monomethyl ether (PGME), and the above compounds are the volatile organic gas and has a very low odor threshold value. If we not controlled well, the employees inbreathe the organic gas will produce discomfort. Additionally, long exposure in this environment may also lead to the occurrence of other occupational diseases and increase the health hazard of operators. In this paper, we use the CFD as the simulation software for this machine, to discover the analog fan filter unit (FFU) working in various gas field environment. FFU conditions were set at 0.6 m of the original design and to 0.1 m / s of not blowing (0 m / s), respectively. We research the fugitive source diffusion by observed for 10 minutes, 15 minutes and 20 minutes, the total of 9 kinds scenario to simulation the 36 kinds dynamic cross-sectional view. Summary graphics simulation results, the condition of the FFU without the air supply(0 m / s), exhaust the cabinets by local exhaust equipment will make the box present a negative pressure state, which can reach the, peculiar smell diffuse get good improvement.

誌 謝

衷心的感謝指導教授 傅武雄，這些年來對我的指導與協助，特別是在我於大陸工作期間，仍為我指導撰寫論文的方向及提供必要的協助。

就讀交大期間因工作的需要，我調整到了大陸任職，因建廠初期的繁忙工作和沉重壓力導致我拖延了論文撰寫的進度，現在公司進入穩定階段後，也終於可以順利的完成本篇研究，對我而言完成碩士學業是我人生的一個非常重要階段。

最後感謝我的太太及女兒在背後默默的支持我，讓我能完成學業，願這份成就分享給我的家人。



目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
符號索引.....	VII
第一章 緒論.....	1
第二章 文獻回顧.....	7
2-1 LED 製程簡介.....	7
2-2 光阻劑的危害.....	9
第三章 研究方法.....	10
3-1 研究對象及說明.....	10
3-2 靜態模擬分析.....	11
3-3 動態模擬分析.....	11
第四章 結果與討論.....	19
4-1 模擬結果說明.....	19
第五章 結論與建議.....	73
參考文獻.....	75

表目錄

表 1-1 表 1-1 光阻作業有機溶劑嗅覺閾值表.....	5
表 1-2 PGME 及 PGMEA 物質成分表.....	6
表 2-1 B.O.E 公司 24 名員工症狀調查表.....	10
表 3-1 情境模擬分析表.....	14



圖 目 錄

圖 1-1 2011-2015 年 LED 產值預估	3
圖 2-1 LED 製造流程圖	8
圖 3-1 自動上光阻機外觀示意圖	15
圖 3-2 自動上光阻機側視尺寸圖	16
圖 3-3 自動上光阻機平面圖	17
圖 3-4 模擬觀察平面圖	18
圖 4-1 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)	25
圖 4-2 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)	26
圖 4-3 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)	27
圖 4-4 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)	28
圖 4-5 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之速度場圖 (D 截面)	29
圖 4-6 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)	30
圖 4-7 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)	31
圖 4-8 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)	32
圖 4-9 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)	33
圖 4-10 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之速度場 (D 截面)	34
圖 4-11 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)	35
圖 4-12 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)	36
圖 4-13 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)	37

圖 4-14 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面).....	38
圖 4-15 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之速度場 (D 截面).....	39
圖 4-16 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面).....	40
圖 4-17 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面).....	41
圖 4-18 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面).....	42
圖 4-19 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面).....	43
圖 4-20 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之速度場圖 (D 截面).....	44
圖 4-21 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面).....	45
圖 4-22 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面).....	46
圖 4-23 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面).....	47
圖 4-24 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面).....	48
圖 4-25 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之速度場 (D 截面).....	49
圖 4-26 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面).....	50
圖 4-27 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面).....	51
圖 4-28 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面).....	52
圖 4-29 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面).....	53
圖 4-30 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之速度場 (D 截面).....	54
圖 4-31 FFU 風速 0 m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面).....	55
圖 4-32 FFU 風速 0 m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面).....	56
圖 4-33 FFU 風速 0 m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面).....	57

圖 4-34 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面).....	58
圖 4-35 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 10 分鐘之速度場圖 (D 截面).....	59
圖 4-36 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面).....	60
圖 4-37 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面).....	61
圖 4-38 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面).....	62
圖 4-39 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面).....	63
圖 4-40 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 15 分鐘之速度場 (D 截面).....	64
圖 4-41 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面).....	65
圖 4-42 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面).....	66
圖 4-43 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面).....	67
圖 4-44 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面).....	68
圖 4-45 FFU 風速 0 m/s, 暫態經過 20 分鐘之速度場 (D 截面).....	69
圖 4-46 5 分鐘濃度擴散圖(A、D 截面圖).....	70
圖 4-47 10 分鐘濃度擴散圖(A、D 截面圖).....	71
圖 4-48 15 分鐘濃度擴散圖(A、D 截面圖).....	72

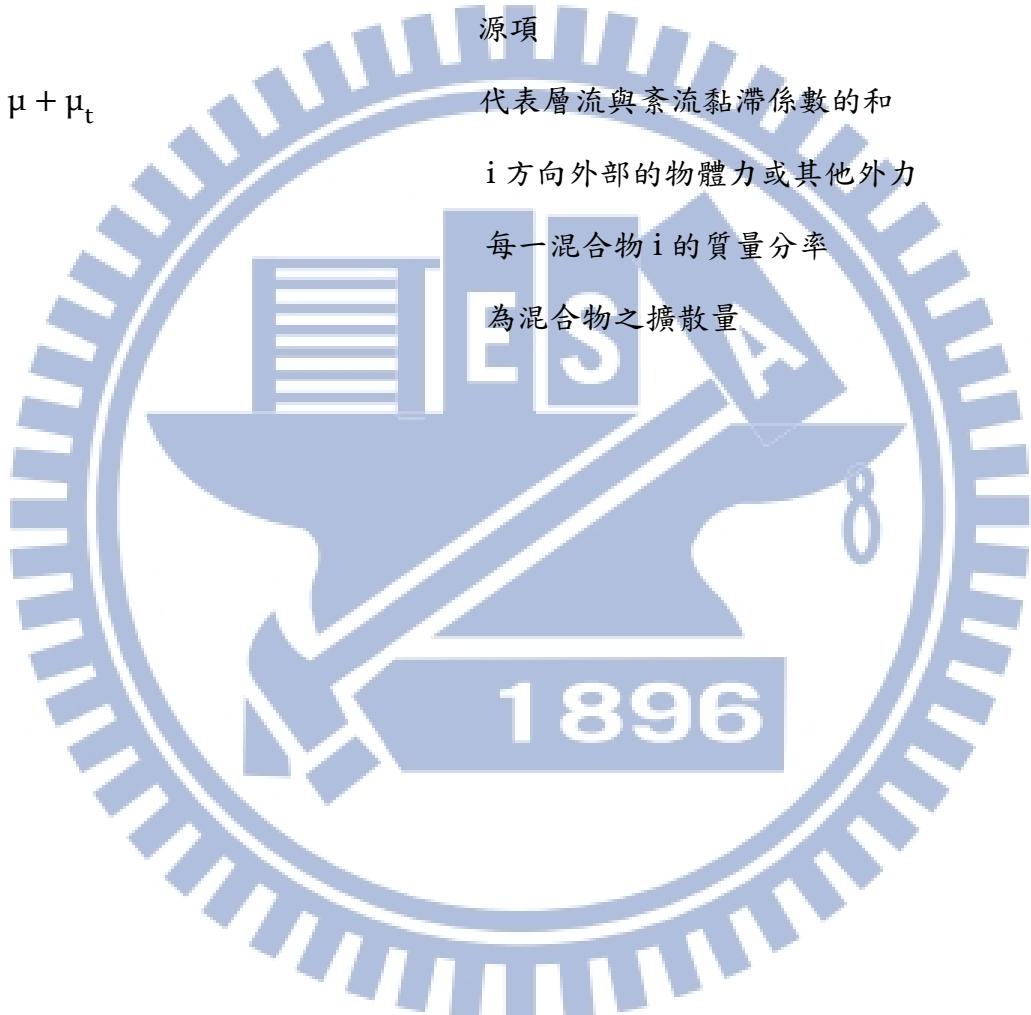
符號索引

ρ	流體密度
ϕ	不同傳遞之變數
\vec{V}	為速度向量
Γ_ϕ	擴散係數
S_ϕ	源項
$\mu_0 = \mu + \mu_t$	代表層流與紊流黏滯係數的和

F_i i 方向外的物體力或其他外力

Y_i 每一混合物 i 的質量分率

\vec{J} 為混合物之擴散量



第一章 緒論

1-1 前言

1878 年，愛迪生在法國巴黎世博會上展出他發明的第一個鈴絲白熾燈泡，愛迪生的白熾燈泡發明使的全人類告別了黑暗，大部分白熾燈會把消耗能量中的 90% 轉化成無用的熱能，其電能轉化光能的效率僅有百分之十，在 1955 年時，美國無線電公司 (Radio Corporation of America) 的 Rubin Braunstein 發現了砷化鎵 (GaAs) 與及其他半導體合金的紅外線放射作用，而 1962 年美國通用電氣公司 (GE) 的 Nick Holonyak Jr 則開發出可見光的發光二極體 (Light Emitting Diode，以下簡稱 LED)。

LED 光源體積小、重量輕、方向性好並且可耐各種惡劣條件，在功耗、壽命以及環保等方面均有不可比擬的優越性。隨著 LED 應用範圍的日趨擴大，LED 的重要性已受到越來越多的注意，LED 早已悄悄佔據了很多應用領域。例如，LED 最早應用是指示燈，因為其耗電量小、亮度穩定、使用壽命長，常常被用於電子儀器上或其他機械上的指示燈，像電腦開關、電視機遙控器上的小小的指示燈都是用 LED 材料製成。

於汽車 LED 的市場的發展，美國、日本、歐洲... 等先進國家的汽車產業已經開始部分使用 LED 照明，隨著經濟的發展，汽車和摩托車產業在近幾年飛速的前進，其配套產品汽車燈和摩托車燈的需求量必將同步上升。雖然前幾年，LED 車燈市場擴展很慢，預計近幾年內會有較快的發展，並在每輛汽車的前組合燈、後組車燈中有望有 1~2 個燈(如煞車燈、轉向燈... 等) 使用 LED 光源。LED 車燈除一次性投入較高外，具有品質好、品位高等白熾燈無法比擬的優點。

近年來隨著油價的高漲，更節能的汽車開發便備受關注，所以節能環保是人們普遍關注的主要話題。LED 在節能上就凸顯了巨大優勢，現在在一些高級車於新的車型設計時，已將日行燈作為標準化，過去幾年裡不斷在車飾燈上普及使用的 LED 出現在汽車大燈中，與傳統的白熾燈相比，LED 製成的大燈不僅照明效果高，而且能源消耗低。在相同照度情況下，高功率發光二極體對電量的需求當是鹵素大燈的一半。雖然在目前的情況下，LED 還達不到氙氣大燈的節能水準，但這項技術仍然有著巨大的開發潛力。

[1]。

1-2 產業現況

台灣 LED 的產值佔全球第二大的出口國，僅次於日本，而以 2008 年為例年產值已達到 14.23 億美元，佔全球比重 21.6%[2]，從手機、筆記型電腦滲透率的提高及應用面的擴大，未來 LED 的成長將依賴大尺寸 LED 電視及照明作為未來市場的成長主力，請參考圖 1-1 2011-2015 年 LED 市場產值[2]。

研究機構 LEDinside 根據其研究指出，2011 年高亮度 LED 於背光市微幅成長，但從個別應用來觀察，LED 於電視背光的產值僅 14 億美元，相較減少 18%。主要原因在於導光技術的提升使得 LED 於電視背光的使用顆數大幅度減少。以 42 吋液晶電視為例，2009 年三星推出時 LED TV 時，LED 背光使用數量高達 360 顆，但 2011 年標準機種已經下滑至 130 顆左右，部分針對市場低價促銷的戰鬥機種僅需要使用 100 顆 LED，這造成 LED 背光市場實際使用量受到影響。因此，預估 2011 年供大於求的比例高達 12%。這將迫使 2011 年下半年 LED 晶片的價格有很大下跌壓力。許多的液晶電視廠商，例如：三星與樂金都希望 2011 年 LED 液晶電視滲透率能夠達到 70%，可是隨著時間的推移，目前許多廠商都將目標調低至 50% 而已，且因成本的考量液晶電視業者也不斷的要求提高 LED 的晶片亮度，這樣便能減少 LED 的數量，這樣更使得 LED 顆粒數量都下降[3]。

2013 年是 LED 爆發的一年，在經歷 2011 及 2012 的 LED 產業競爭後，多數技術水平不高的業者已紛紛退出 LED 產業，而在 2013 年 LED TV 業者發表直下式 LED TV 及照明需求都需求帶動下，未來 LED 的滲透率將達到進一步的提升。

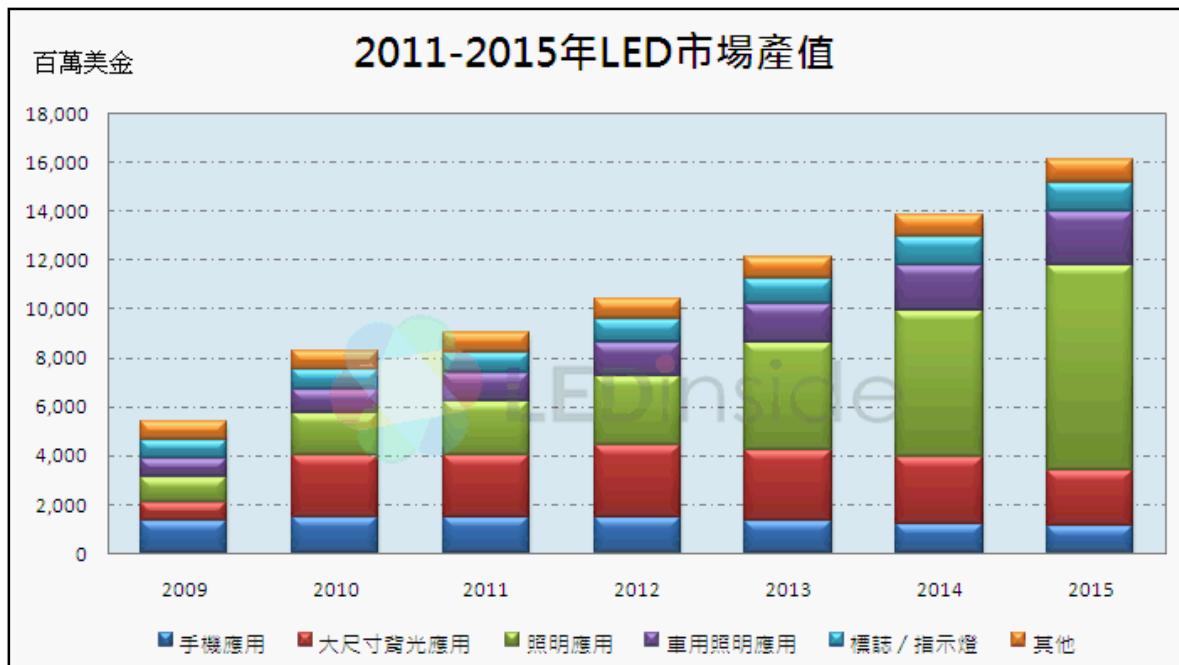


圖 1-1 2011-2015 年 LED 產值預估

資料來源：LEDinside 2011.08

1-2 研究動機與目的

隨著 LED 的應用端擴大，自動化作業取代人工作業以消化客戶的龐大訂單，但在急於擴充產能的情形下未審慎評估廠內化學品擺設、機台配置及廢水、廢氣的管路設計，造成的廠內空間不足及處理效率不彰，以黃光區上光阻機的作業，產生的揮發性有機氣體(VOCs)，使用的化學品為光阻劑，其主要成分有異丙醇，簡稱 IPA、丙二醇單甲基醚，簡稱 PGME、丙二醇單甲基醚酯，簡稱 PGMEA...等，因無法判斷是否為抽氣效率不足或自動上光阻機原始設計不良，導致 VOCs 氣體逸散於整個無塵室作業環境，勞工安全衛生法中定義作業環境中有害物質容許濃度中丙二醇甲醚醋酸酯(PGME) TWA : 100ppm、STEL : 150ppm，針對 PGME 的作業環境測定中數值測得 0.02~0.03ppm[3]，大於物質安全資料表(Material Safety Data Sheet，簡稱 MSDS)所定義之嗅覺閾值，可參考表 1-1 光阻作業有機溶劑容許濃度及嗅覺閾值表[4]。光阻塗佈於黃光製程內介於曝光及顯影之間，但是因產品的不同而製程條件會有所差異，而依其產品特性會重複 3~4 次程序。而光阻塗佈所使用的化學品成份皆屬於有機溶劑以 PGME 及 PGMEA 為例皆具有高度揮發性，請參考表 1-2 PGME 及 PGMEA 物質成分表，強烈刺激性氣味會使人

員產生不適[5]。

雖然現況自動上光阻作業以局部空間隔離方式進行其製程條件，但在本體設計上未考量整個空間的佈置(例如：空間配置、正壓過大或不足、負壓不足、排氣孔的設計，氣密性的要求....等)，其光阻劑因揮發的關係仍有可能在塗佈過程中發生逸散之情形，而一般在無塵室黃光區作業之操作員之防護僅配戴簡單的活性碳口罩，並無法完全阻隔揮發性有機物導致有吸入的可能，針對自動上光阻機逸散之來源及改善建議做為本次研究探討之課題。

三種上光阻化學品中以丙二醇單甲基醚(PGME)嗅覺閾值濃度最低(表 1-1 光阻作業有機溶劑嗅覺閾值表)，一般於無塵室內之黃光區所特有的味道幾乎產生於此一程序上。光阻劑成分中的 PGME 及 PGMEA 短時間內會造成作業人員的不適，而在長時間累積下可能會造成肝、腎的損害，為確認自動上光阻機的逸散來源，本次以流場分析軟體 STAR-CD 進行自動上光阻機作業的模擬及模擬光阻作業中流場的環境狀況，針對機台內塗佈時的流場狀況，並針對其結果進行評估並提供工程改善方式，降低人員暴露之風險，增進環境作業安全。

針對研究之目的提出以下幾點說明：

1. 了解廠內自動上光阻機的製程現況，藉由實際生產狀況探討自動上光阻機台使用之化學品種類及塗佈情形及廢氣收集狀況進行分析。
2. 以流場分析軟體模擬自動上光阻機上的 FFU 供氣條件及廢氣收集效能及光阻塗佈時機台內之流場並確認逸散之狀況。
3. 針對逸散之情況進行探討及提供工程控制方法，作業流程改善及作業人員防護...等改善建議。

表 1-1 光阻作業有機溶劑嗅覺閾值表[4]

化合物	嗅覺閾值(ppm)	味道特徵
異丙醇(IPA)	0.442~610	乙醇和丙酮混合味
丙二醇單甲基醚(PGME)	0.003~10	乙醚味
丙二醇單甲基醚酯(PGMEA)	0.025~1	強烈特殊味道



表 1-2 PGME 及 PGMEA 物質成分表[5]

項目	丙二醇單甲基醚	丙二醇單甲基醚酯
英文名稱	Propylene Glycol Methyl Ether	Propylene Glycol Monomethyl Ether Acetate
化學式	C ₄ H ₁₀ O ₂	C ₆ H ₁₃ O ₃
沸點 (°C)	120	146
熔點 (°C)	-95	-67
密度	0.917	0.962
蒸氣壓(25°C)	11.8mmHg	3.8mmHg
蒸氣密度	3.11	4.6
溶解度 (%)	全部溶解於水	18.5
氣味	醚的甜味、刺激性 (具催淚性)	甜味
用途	常用於光阻溶劑、清洗劑	常用於晶圓製程中之顯影劑、光阻稀釋液、清洗劑
特徵	會刺激眼睛、鼻、呼吸道，高濃度可能造成頭痛、暈眩、意識喪失等。具致畸胎性。	會引起鼻、喉的刺激感。高濃度時會意抑制神經系統；包括頭痛、頭昏眼花、睏倦、肢體協調功能喪失與意識。
TWA(ppm)	100	-
TLV(ppm)	100	-

資料來源：莊淳元，「運用沸石吸附半導體揮發性有機物丙酮、單甲基醚丙二醇及乙酸甲氧基異丙酯控制技術之評估研究」，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所碩士論文，2002

第二章 文獻回顧

2-1LED 製程簡介

LED 製作程序中分為磊晶製程及晶粒製程，以磊晶製程為例，有機金屬化學氣相沉積機(Metal-organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)為決定 LED 亮度的關鍵，由於每台的內部調教(Recipe)都不同，即使兩台同型的機台其亮度也無法完全一致，所以工程師掌握的 Recipe 為其亮度關鍵所在，其製程流程為將兩吋藍寶石機板置入 MOCVD 的長晶爐內，經由 500 度以上的高溫進行一系列的長晶程序，完成長晶程序後再經由波長測試，再將良品送入半成品庫房，晶粒製程，參考圖 2-1 LED 製造流程圖，在完成之晶粒後，屬於半成品，再交由封裝業者或其他應用端客戶。

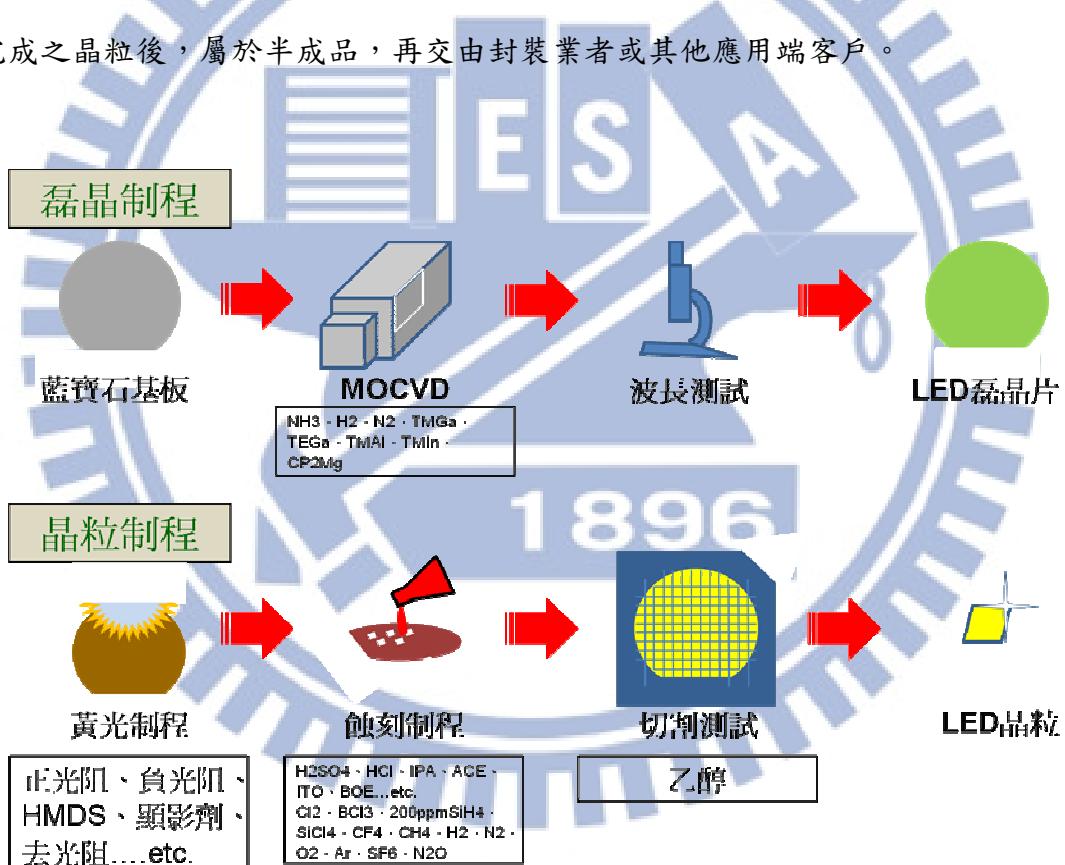


圖 2-1 LED 製造流程圖

光阻塗佈程序為半導體或光電元件黃光製程中極為重要程序之一。為了能將光阻均勻塗佈於晶片上，目前皆以旋塗法進行。其目的為將光阻液塗佈於旋轉器(Spinner)上方之晶片(Wafer)上，藉由旋轉器旋轉產生的離心力作用，使光阻液於晶片上由塗佈中心

逐漸向外流動。

以早期 LED 產業為例，黃光作業人員仍以手動上光阻方式進行作業，至 90 年帶後期因應 LED 應用面擴大，方才漸漸發展為自動上光阻的模式以增加產能並提高企業競爭力。

手動及自動上光阻之差異在於，手動上光阻之流程為作業人員以在黃光環境下，於作業前須先將光阻液分裝於之稱之為滴瓶上之容器，爾後在具有抽風狀態下的工作臺(hood)內將需上光阻之晶片放置於旋轉載盤 (Spinner)上，進行上光阻之動作，均勻化完之光阻作業人員則將其晶片取至烤盤(hot plate)上進行烘烤作業，hot plate 其烘烤作業也於 hood 內完成。

而光阻之均勻化決定於 Spinner 之轉速，且光阻液濃度及載盤均勻化之轉速速率因涉及產業機密，故不列入本研究探討內容。手動上光阻及塗佈動作雖然整個流程皆於工作台內進行，但作業時因光阻劑的揮發作用導致光阻逸散至整個作業環境。

而自動上光阻作業，作業人員僅需將存有晶片的卡匣置入自動上光阻機內，於操作面板上輸入操作程序，其機械手臂則依序的執行取片、定位、清洗、塗佈、均勻化及烘烤的作業，整個卡匣約 20 片晶片，至烘烤完畢後以警報音告知作業人員，即完成塗佈作業。

2-2 光阻劑的危害

Bruckner JV 及 Peterson RG[5]文獻指出，以 PGME 為例，雖然 PGME 屬於低毒性物質，但在高濃度下仍會對人體的眼睛、皮膚造成刺激，但在長期暴露下仍可對肝、腎造成損害，MSDS 定義法定容許暴露濃度為 100ppm，蒸氣壓為 11.8mmHg，嗅覺閾值在 0.003~10ppm 之間，其逸散的氣體容易讓人體吸入，造成不舒服之感覺，又由於無塵室的空調設計多屬於循環式的，依現場設計狀況定時供應外氣混合進行換氣的動作，而上光阻區域之作業同仁僅以配帶簡單的活性碳口罩作為隔離，除配帶供氣式呼吸器或配戴含有防有機氣體濾毒罐之防毒面具外，在環境中作業同仁將造成部分吸入的危害。

Ann M. Krake, M.S.與 Robert Malkin, Dr. H.的文獻中[6]，針對美國明尼蘇達的 B.O.E 公司的塗佈製程(Ciba-Geigy™ Coating process)進行研究中，在 24 名調查員工中在無塵室內進行該製程條件下作業時，29% 的人員無任何感覺，眼睛有刺激感的人員有 25%，21% 的人員鼻子不適，17% 的人員喉嚨不適，請參考表 2-1 B.O.E 公司 24 名員工症狀調查表。

表 2-1 B.O.E 公司 24 名員工症狀調查表[6]

症狀	百分比	症狀	百分比
無任何感覺	29%	頭痛	13%
眼睛刺激	25%	疲勞	8%
鼻子刺激	21%	混淆或健忘	4%
喉嚨刺激	17%	嘴破	4%
頭昏眼花	13%	反胃	0%

資料來源：Ann M. Krake, M.S. Robert Malkin, Dr. P.H. HETA Bureau of Engraving, Incorporated Minneapolis, Minnesota 1994

第三章 研究方法

3-1 研究對象及說明

本次研究機台為一自動上光阻機(Auto Spin Coater)，利用 CFD 軟體模擬實體自動上光阻機之外觀及內部空間並進行相關數據模擬，機台組成共分為一、供氣系統、二、塗佈系統、三、排氣系統及四、化學品供應系統共五大系統，自動上光阻機的配置為上方具有兩組 HFPA 以抽取無塵室內的空氣向箱體持續沖吹，離子產生器設置於 FFU 正下方，功能為去離子，避免空氣中的靜電破壞產品，自動上光阻機箱體內的配置為兩組機械手臂、兩組載盤及兩組烤箱，其功能說明如下：

箱體：

空間內的設計等級為 100 Class，依據美國聯邦政府頒佈的標準【Federal Standard (FS) 209E, 1992】，可將無塵室分為六級。分別是 1 級、10 級、100 級、1000 級、10000 級、100000 級，如果無塵室的等級只用塵粒數目來敘述，則可假設塵粒的尺寸為 $0.5\mu\text{m}$ ，例如，1 級、10 級、100 級無塵室最大塵粒數目分別小於或等於 1 顆、10 顆、100 顆，如果塵粒尺寸不是 $0.5\mu\text{m}$ ，無塵室等級應以在一特定塵粒尺寸的級數來表示。例如：10 級在 $0.2\mu\text{m}$ (塵粒尺寸在 $0.2\mu\text{m}$ 或更大下，密度不大於 75 顆/立方英尺)，1 級在 $0.1\mu\text{m}$ (塵粒尺寸在 $0.1\mu\text{m}$ 或更大下，密度不大於 35 顆/立方英尺)。

機械手臂：

自晶片放置器取出晶片，放置於載盤上，待塗佈均勻化後，機械手臂將其晶片取下放置於密閉式烤箱烘烤一分鐘，烤箱溫度為製程機密故不予以說明。

載盤：

光阻塗佈於晶片上之載體，在上光阻後進行高速旋轉其光阻均勻化，載體周圍設置光阻收集器，有機排氣與廢液引流管共用設置於載盤下方，抽風狀況依現況測得風速為 4.5m/s ，箱體下方的配置為兩組廢液回收筒，其功能為均勻化時，收集飛濺之光阻，

有機排氣：

兩組有機排氣管路設置於載盤下方，本次研究僅針對塗佈空間流場狀況進行探討，故其

他系統部分不再進行贅述。

3-2 靜態模擬分析

模擬狀況將以實際設備設置所建構之數值模擬模型，依現場實際狀況，參考圖 3-1 自動上光阻機外觀示意圖、圖 3-2 自動上光阻機側視尺寸圖及圖 3-3 自動上光阻機平面圖進行設計。模擬觀察截面主要以圖 3-4 模擬觀察平面圖四個紅色截面所示。其中 A 為通過兩槽體中間之剖面，B 及 C 為通過兩門縫之剖面，D 為通過門縫之 XY 平面。

得知自動上光阻機風機-濾網機組(Fan Filter Units, FFU)量測出風速為 0.6m/s，兩具旋轉器槽體下方的抽氣風速為 4.5m/s，換算風量為 780CMM，設備上方為 FFU 向設備箱體送風，實際模擬除了有原始量測的 0.6m/s，另外模擬 0.1m/s 以及 FFU 不送風(0m/s)共三種情境分析，請參考表 3-1 情境模擬分析表。

本次模擬之自動上光阻機，機具上方配置兩組下吹式風機-濾網機組(Fan Filter Units, FFU)，FFU 內正下方則裝置兩組長條型離子產生器。內部平台則安裝烘乾設備與光阻塗佈機之旋轉器(Spinner)，利用機械手臂將晶片放置旋轉器上，進行光阻塗佈程序。旋轉器下方則設置抽氣口兩個，除抽取前述氣態光阻液之作用外，兼具塗佈剩餘之光阻液的回收作用。塗佈作業程序結束後，開啟機具之前方門扉，取出成品至接續製造程序繼續工作。以氣體擴散原理觀點，機外之環境逸散光阻之異味，乃由機具內因塗佈之光阻液揮發，而成氣體之光阻藉由自身濃度擴散與氣體流動作用而造成。氣態光阻無色，無法藉助實驗或儀器觀測其擴散軌跡，必須使用數值計算技術，求出氣態光阻的擴散路徑，再藉由相關軟體表現其擴散程度與範圍。

3-3 動態模擬分析

在模擬分析求解中，流體在空間中運動，必需求解的數學模式為質量守恆、動量守恆與能量守恆。質量守恆於流體中可稱為連續方程式，而動量守恆為牛頓第二定律，亦稱為動量方程式；而能量方程式為熱力學第一定律。依據這些觀念引用 Navier-Stokes Equation，其通式為：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varphi) + \nabla \cdot (\rho \vec{V}\varphi - \Gamma_\varphi \nabla \phi) = S_\varphi \quad (3-1)$$

其中 ρ 為流體密度， ϕ 為不同傳遞之變數， \vec{V} 為速度向量， Γ_ϕ 表示擴散係數， S_ϕ 表示源項。

求解的連續方程式、動量方程式、能量方程式、濃度擴散及 Species Transport Equation 分別敘述如下：

連續方程式：

令 $\phi = 1$ 、 $\Gamma_\phi = 0$ 、 $S_\phi = 0$

代入方程式(2-1)可得

$$\frac{\partial t}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (3-2)$$

動量方程式：

令 $\phi = u_i$ 、 $\Gamma_\phi = 0$ 、 $S_\phi = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + F_i$

帶入方程式

$$\rho \left[\frac{\partial}{\partial t} (u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i u_j) \right] = -\frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_0 \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] + F_i \quad (3-3)$$

方程式(2-3)的 $\mu_0 = \mu + \mu_t$ 代表層流與紊流黏滯係數的和， F_i 表示 i 方向外部的物體力或其他外力。

能量方程式：

令 $\mu_0 = \mu + \mu_t$ 帶入方程式(2-1)

$$\rho C_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (T u_i) \right] = -\rho \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k_l \frac{\partial T}{\partial x_i} \right] + \mu \phi + S_c \quad (3-4)$$

濃度擴散方程式：

令 $\phi = C$ 、 $\Gamma_\phi = D_{ab}$ 、 $S_\phi = S_c$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho C) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho C u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[D_{ab} \frac{\partial C}{\partial x_i} \right] + S_c \quad (3-5)$$

Species Transport Equation:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla(\rho \vec{V} Y_i) = -\nabla \vec{j} \quad (3-6)$$

其中 Y_i 為每一混合物 i 的質量分率， \vec{j} 為混合物之擴散量。

綜合以上，離散上述微分方程式轉為差分方程式，已有限體積法進行數值模擬計算，藉由流場解出之數值進行濃度擴散計算，進而模擬出整個自動上光阻機暫態的濃度變化，並嘗試不同抽排氣風量進行計算，以期找出最佳解決方案。



表 3-1 情境模擬分析表

	FFU 風速(m/s)	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘
Case 1	0.6	v	v	v
Case 2	0.1	v	v	v
Case 3	0	v	v	v



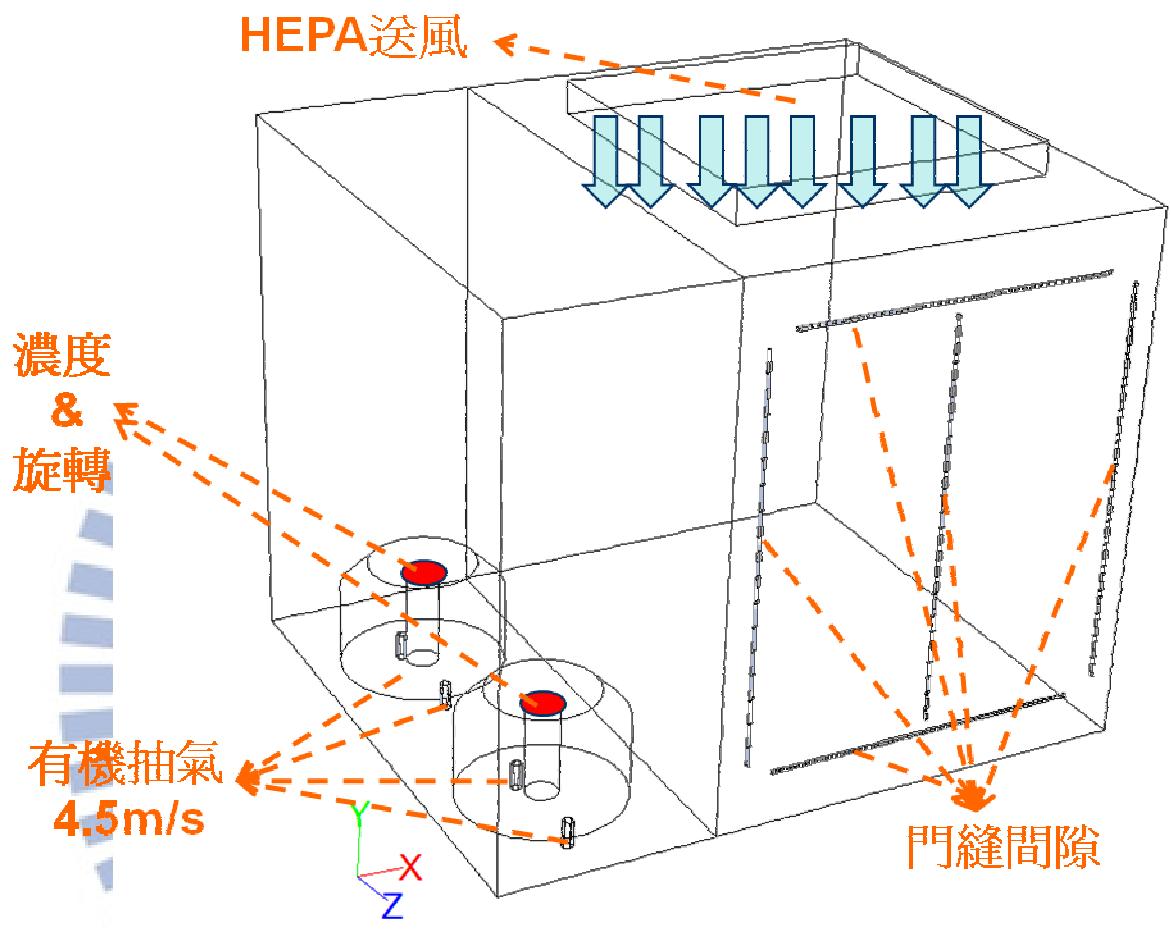
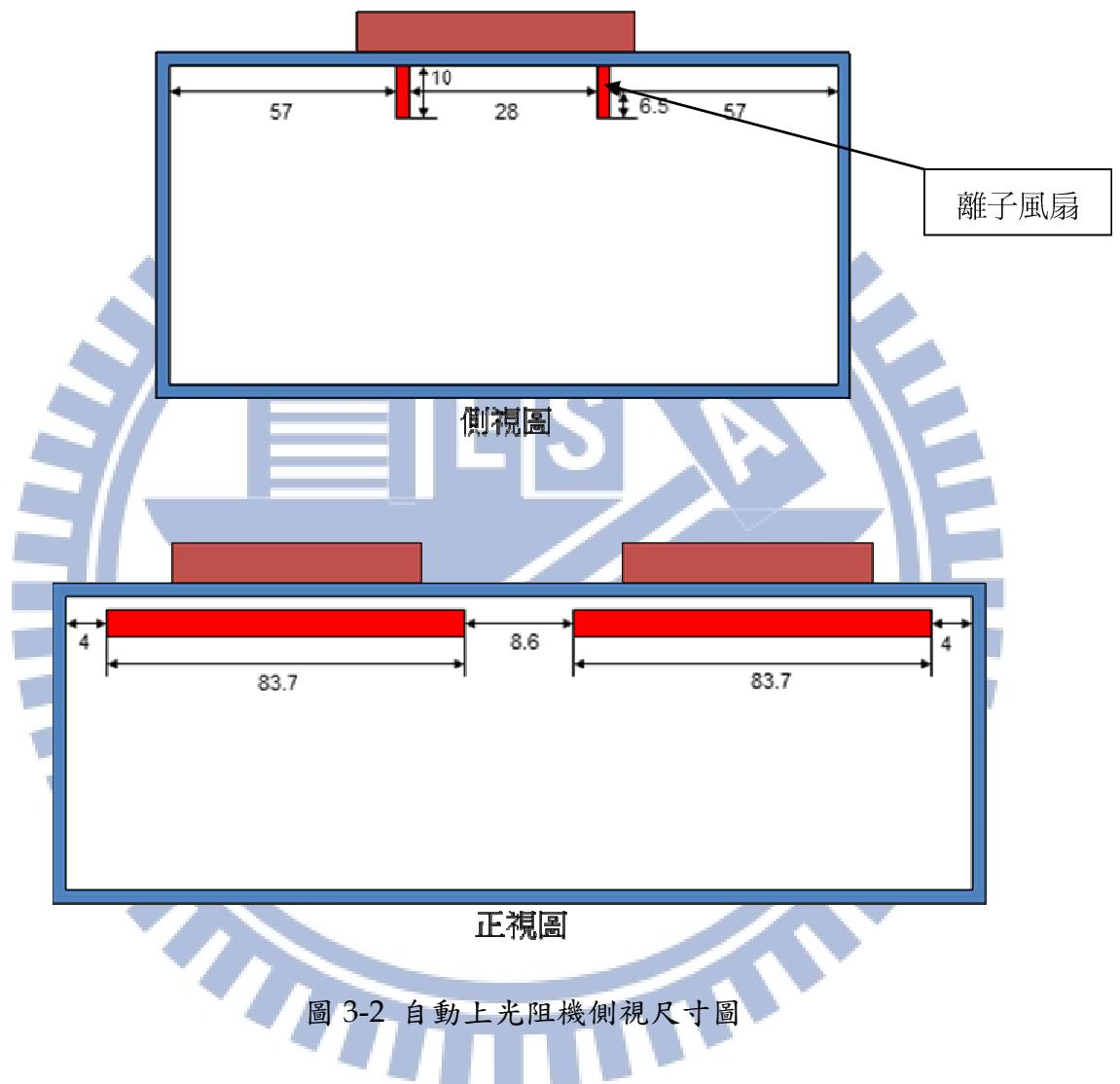


圖 3-1 自動上光阻機外觀示意圖



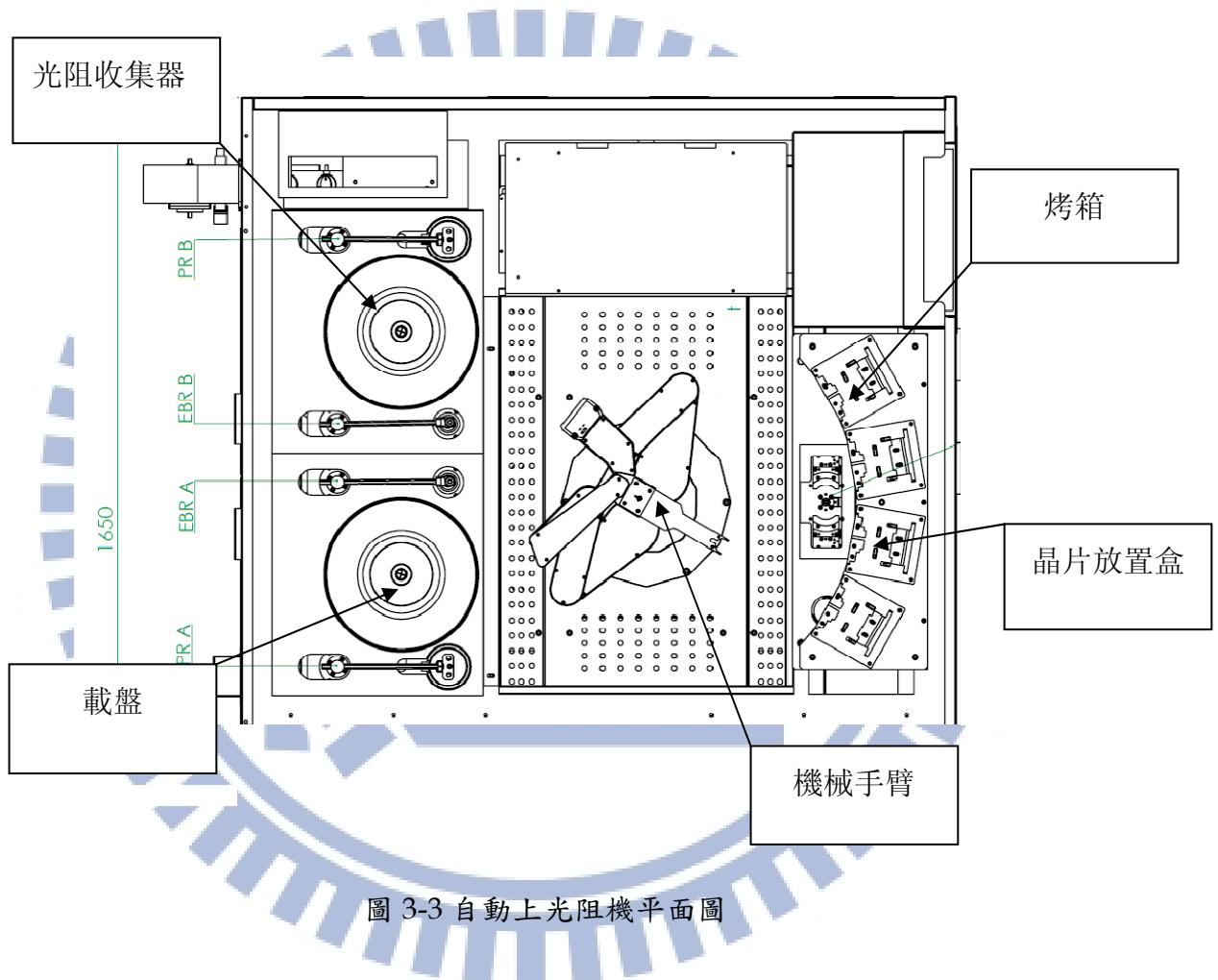


圖 3-3 自動上光阻機平面圖

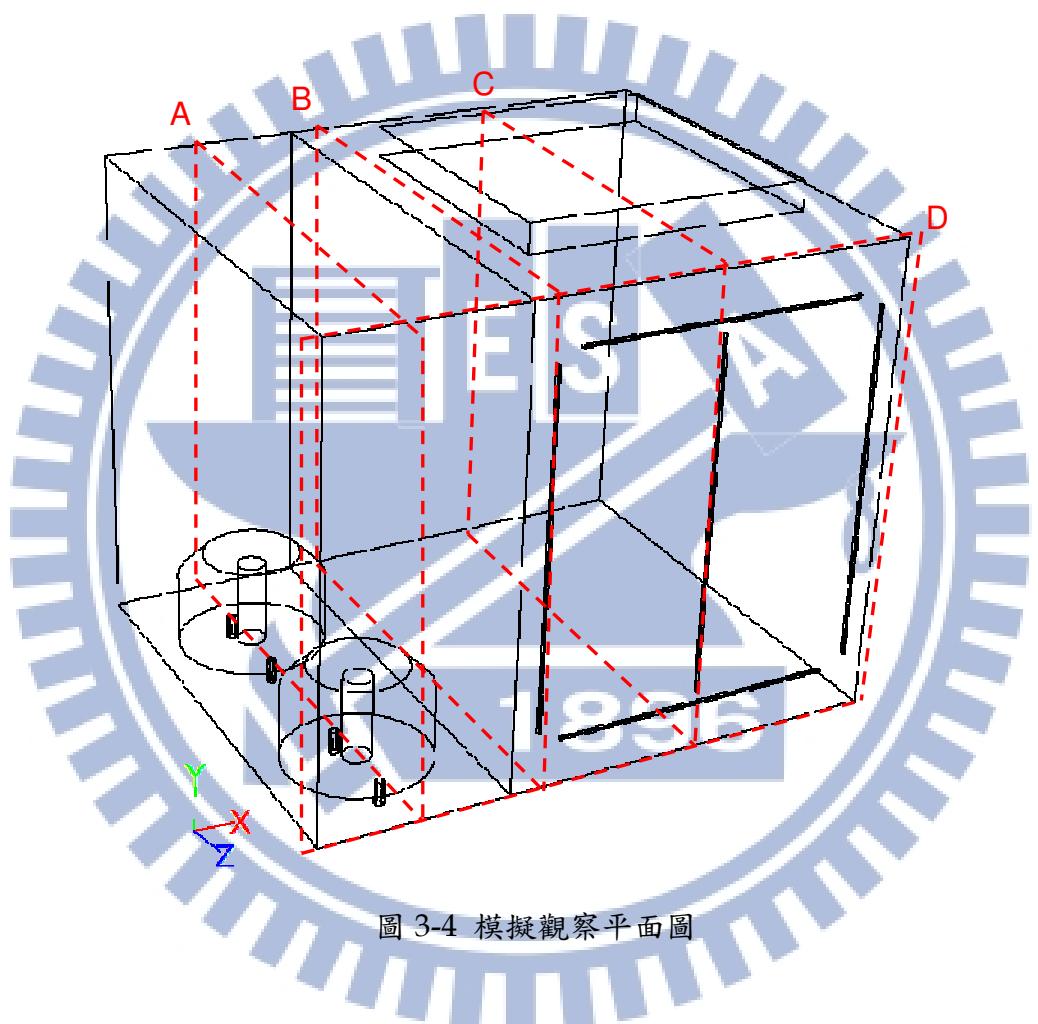


圖 3-4 模擬觀察平面圖

第四章 結果與討論

4-1 模擬結果說明

圖 4-1 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(A 截面)為經過兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形，左邊尺標紅色部分最高值為 0.005，換算等於 5000ppm ，此外除了最底層深藍色外，其餘顏色皆代表有相當程度的濃度分布。圖 4-2 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)為經過最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此空間中的濃度場，從此圖可清楚看見門縫附近有光阻液濃度分布(紅色虛線框表示)，其濃度約為 $500\sim1000\text{ppm}$ 。圖 4-3 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)經過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此空間中的濃度場，在此門縫下方(紅色虛線框)依然有光阻液濃度分布。圖 4-4 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)為接近門縫及壁面的濃度場，圖中紅色虛線框表示門縫處濃度較高之處，可觀察出從左邊槽體附近擴散出來的情形及門縫附近的濃度分布。圖 4-5 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之速度場圖 (D 截面)為接近門縫及壁面的速度向量場。由前面四個截面可知，在門縫附近皆有很高的濃度分布，加上從此圖可看到門縫的速度向量為往外，故會將光阻液異味帶出到外部空間，使工作人員感到不適。

圖 4-6 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)為經過 15 分鐘時，兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形，跟前面 10 分鐘之分布稍有不同，但仍可看出光阻液濃度依然從槽體擴散出來。圖 4-7 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)為經過 15 分鐘後，最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此空間中的濃度場，從此圖一樣可看見門縫附近(紅色虛線框表示)有相當程度的光阻液濃度分布。圖 4-8 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(C 截面)為經過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在經過 15 分鐘後，此門縫附近的光阻液濃度分布相當低。圖 4-9 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)為經過 15 分鐘，接近門縫及壁面的濃度場，一樣可觀察到從左邊槽

體附近擴散出來的情形及門縫附近皆有光阻液濃度分布。圖 4-10 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之速度場(D 截面)圖為接近門縫及壁面的速度向量場。由前面四個截面可知，在門縫附近依然有相當程度的濃度分布，加上從此圖可看到門縫的速度向量依然為向外，故仍會將光阻液異味帶出到外部空間。

圖 4-11 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面) 為經過 20 分鐘時，兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形，跟前面 10 和 15 分鐘之分布稍有不同，但仍可看出光阻液濃度依然明顯從槽體擴散出來。圖 4-12 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)為經過 20 分鐘後，最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此空間中的光阻液濃度分布，與前面 10 分鐘即 15 分鐘分布情形不同，但仍從此圖看到門縫上方附近有相當程度的光阻液濃度分布(紅色虛線框表示)。圖 4-13 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)為經過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在經過 20 分鐘後，此門縫附近的光阻液濃度分布跟前面 15 分鐘時一樣相當低。圖 4-14 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(D 截面)為經過 20 分鐘，接近門縫及壁面的濃度場，一樣可觀察到從濃度左邊槽體附近擴散出來，左邊門縫和上方門縫處(紅色虛線框表示)有濃度分布。圖 4-15 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之速度場 (D 截面)為經過 20 分鐘，接近門縫及壁面附近的速度向量場。由前面四個截面可知，在門縫附近皆有光阻液的濃度分布，加上從此圖一樣可看到門縫處的速度向量為向外，同樣會將光阻液異味帶出到外部空間。

Case 1 為依照原始之設定模擬，上方 FFU 送風為 0.6 m/s ，兩槽體下方抽氣速度為 4.5 m/s 。從前面各時間點的結果可看出，由於上方 FFU 的送風量遠大於槽體有機排氣的抽氣量，故在門縫處的邊界上流體速度皆為由內部往外部吹，會把光阻液濃度帶出來，外部工作人員容易感到不適。

圖 4-16 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面) 為經過 10 分鐘，兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形，跟 case1 風速 0.6m/s 相比，其擴散程度更為明顯整體濃度較高。圖 4-17 FFU 風速 0.1m/s ，暫

態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)為經過最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此空間中的濃度場，從此圖可清楚看見此截面及門縫附近(紅色虛線框表示)有相當高的光阻液濃度分布。圖 4-18 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(C 截面)為經過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此空間中的濃度場，同樣在此截面及門縫處(紅色虛線框)依然有很明顯的光阻液濃度分布。圖 4-19 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(D 截面)，為接近門縫及壁面的濃度場，圖中紅色虛線框表示門縫處濃度分布，可觀察出在此 case 下門縫附近皆有很高的濃度。圖 4-20 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之速度場圖(D 截面)，為接近門縫及壁面的速度向量場。由前面四個截面可知，在門縫附近皆有很高的濃度分布，加上從此圖可看到在 FFU 風速 0.1m/s 下，門縫的速度向量同樣還是向外，故仍會將光阻液異味帶出到外部空間，使工作人員感到不適。圖 4-21 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(A 截面)，為經過 15 分鐘，兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形跟前面 10 分鐘時稍有不同，但一樣可看到其擴散程度相當明顯。圖 4-22 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)，為經過 15 分鐘，通過最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此空間中的濃度場，從此圖可清楚看見此截面及門縫附近(紅色虛線框表示)同樣有相當高的光阻液濃度分布。圖 4-23 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)，為經過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃度場，雖與前面 10 分鐘時不盡相同，但同樣可觀察出在此空間中的濃度場，在此截面及門縫處(紅色虛線框)依然有很明顯的光阻液濃度分布。圖 4-24 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(D 截面)是經過 15 分鐘後，接近門縫及壁面的濃度場，圖中紅色虛線框表示門縫處濃度分布，與前面 10 分鐘擴散情形稍有不同，但一樣可觀察出在此 case 下門縫附近皆有很高的濃度。圖 4-25 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之速度場(D 截面)，為經過 15 分鐘時，接近門縫及壁面的速度向量場。由前面四個截面可知，在門縫附近皆有很高的濃度分布，且門縫的速度向量同樣還是向外，故會將光阻液異味帶出到外部空間。圖 4-26 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(A 截面)，

為經過 20 分鐘時，兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形，跟前面 10 和 15 分鐘之分布不盡相同，但仍可看出光阻液濃度依然明顯從槽體擴散出來。圖 4-27 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)，為經過 20 分鐘後，最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此空間中的光阻液濃度分布，與前面 10 分鐘即 15 分鐘分布情形不同，但仍門縫附近依然有相當程度的光阻液濃度分布(紅色虛線框表示)。圖 4-28 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(C 截面)為經過 20 分鐘時，通過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃度場，同樣可觀察出在此截面的門縫下方處(紅色虛線框)依然有明顯的光阻液濃度分布。圖 4-29 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(D 截面)為經過 20 分鐘，接近門縫及壁面的濃度場，一樣可觀察到從濃度左邊槽體附近擴散出來(紅色虛線框表示)，及左邊門縫和上方門縫處有濃度分布。圖 4-30 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之速度場(D 截面)，為經過 20 分鐘，接近門縫及壁面附近的速度向量場。由前面四個截面可知，在門縫附近皆有光阻液的濃度分布，同樣的在此圖可看到門縫處的速度向量為向外，仍會將光阻液異味帶出到外部空間。

Case 2 為修改 FFU 送風為 0.1 m/s 進行暫態模擬，兩槽體下方抽氣速度同樣為 4.5 m/s 。從前面各時間點的結果可看出，即使將 FFU 風速降低，其送風量仍大於槽體有機排氣的抽氣量，故在門縫處的邊界上流體速度同樣是由內部往外部吹，會把光阻液濃度帶出來，故此種風速設定仍然無法阻絕光阻逸散之情形。

圖 4-31 FFU 風速 0 m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(A 截面)，為 FFU 不送風經過 10 分鐘，兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形，跟前面兩個 case 相比，可看出其擴散程度非常明顯，整個空間的濃度都很高。圖 4-32 FFU 風速 0 m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)，為經過最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在此 case 中，空間中的濃度場都相當高，此截面包含門縫附近有相當高的光阻液濃度分布，不過是否會外漏還得視流場圖才能做判斷。圖 4-33 FFU 風速 0 m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(C 截面)為經過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃

度場，可觀察出在此空間中的濃度場，整個截面包含門縫附近皆超過 5000ppm，光阻液濃度非常高。圖 4-34 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(D 截面)，為接近門縫及壁面的濃度場，同樣可觀察到在此 case 下門縫附近皆有很高的濃度，而濃度是否外漏請參照速度場之模擬情形來判斷。為 FFU 未送風經過 10 分鐘時，接近門縫及壁面附近的速度向量場。圖 4-35 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 10 分鐘之速度場圖(D 截面)，由前面四個截面雖然可看到門縫附近皆有光阻液的高濃度分布，但因在門縫處的速度場方向為從外往內，並不會將內部的光阻液濃度帶到外面，此為較佳的情況。圖 4-36 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(A 截面)，為 FFU 不送風經過 15 分鐘，兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形，跟前面 10 分鐘時相比，可看出其擴散程度一樣非常明顯，整個空間的濃度都很高。圖 4-37 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)，為經過最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在經過 15 分鐘時，此截面包含門縫附近有相當高的光阻液濃度分布，不過並不會將濃度帶往外部。圖 4-38 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(C 截面)，為經過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃度場，一樣可看到在此空間中的濃度場，光阻液濃度非常高，一樣是否由門縫流出仍須參考速度場圖。圖 4-39 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖(D 截面)，為接近門縫及壁面的濃度場，同樣可觀察到在此情況下門縫附近皆有很高的濃度，而濃度是否外漏流出仍須參考速度場。圖 4-40 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之速度場(D 截面)，為 FFU 未送風經過 15 分鐘時，接近門縫及壁面附近的速度向量場。由前面四個截面雖然可看到門縫附近皆有光阻液的高濃度分布，但門縫處的速度場方向一樣為從外往內，並不會將內部的光阻液濃度帶到外面。圖 4-41 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(A 截面)，為 FFU 不送風經過 20 分鐘，兩槽體中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出光阻液在旋轉器上的擴散情形，跟前面兩個時間點相比，一樣整個空間的濃度都很高。圖 4-42 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(B 截面)，為經過最左邊門縫中間之 YZ 剖面濃度場，可觀察出在經過 20 分鐘時，此截面包含門縫

附近有相當高的光阻液濃度分布，可看到靠近門縫處反而濃度較低，此因門縫處速度為由外往內。圖 4-43 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(C 截面)，為經過正中央門縫中間之 YZ 剖面濃度場，同樣可看到與上頁濃度分布類似情形，光阻液濃度非常高，但是靠近門縫處較低，皆因門縫處的速度場為外向內吹。圖 4-44 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖(D 截面)，為接近門縫及壁面的濃度場，雖然整體濃度很高，但接近門縫處卻為較低。圖 4-45 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之速度場(D 截面)，為經過 20 分鐘時，接近門縫及壁面附近的速度向量場。前面四個截面可看到門縫附近皆有光阻液的高濃度分布，但門縫處的速度場方向一樣為從外往內，並不會將內部的光阻液濃度帶到外面，也是造成上面圖中門縫處附近濃度反而較低的原因。

Case 3 為 FFU 不送風的狀態進行暫態模擬，兩槽體下方抽氣速度同樣為 4.5m/s 未變。從前面各時間點的結果可看出，雖然 FFU 並未送風，整體內部的光阻液濃度偏高，但由於要符合質量守恆之關係，藉由槽體抽氣可造成門縫處的速度場皆由外部往內部吹，反而不會造成濃度外漏，此為較佳的情況。

另模擬 Case 3 在 20 分鐘後停止光阻液工作，再繼續進行 5, 10, 16 分鐘時的 A 截面圖及 D 截面圖模擬結果分別如圖 4-46、圖 4-47 和圖 4-28，可看出延長 5、10、16 分鐘的暫態模擬，其環境濃度變得更低，由圖可得知若經由下方抽氣長時間的抽氣可以使濃度控制在箱體內，為最佳的情況。

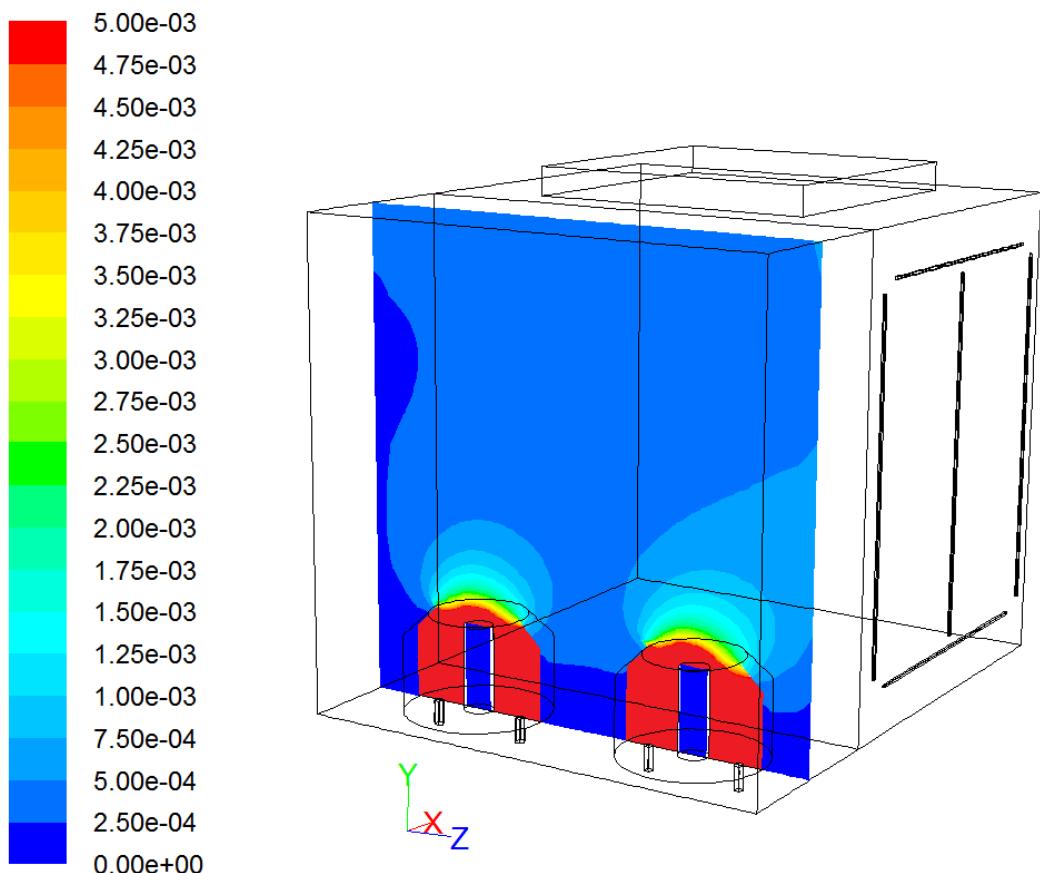


圖 4-1 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖(A 截面)

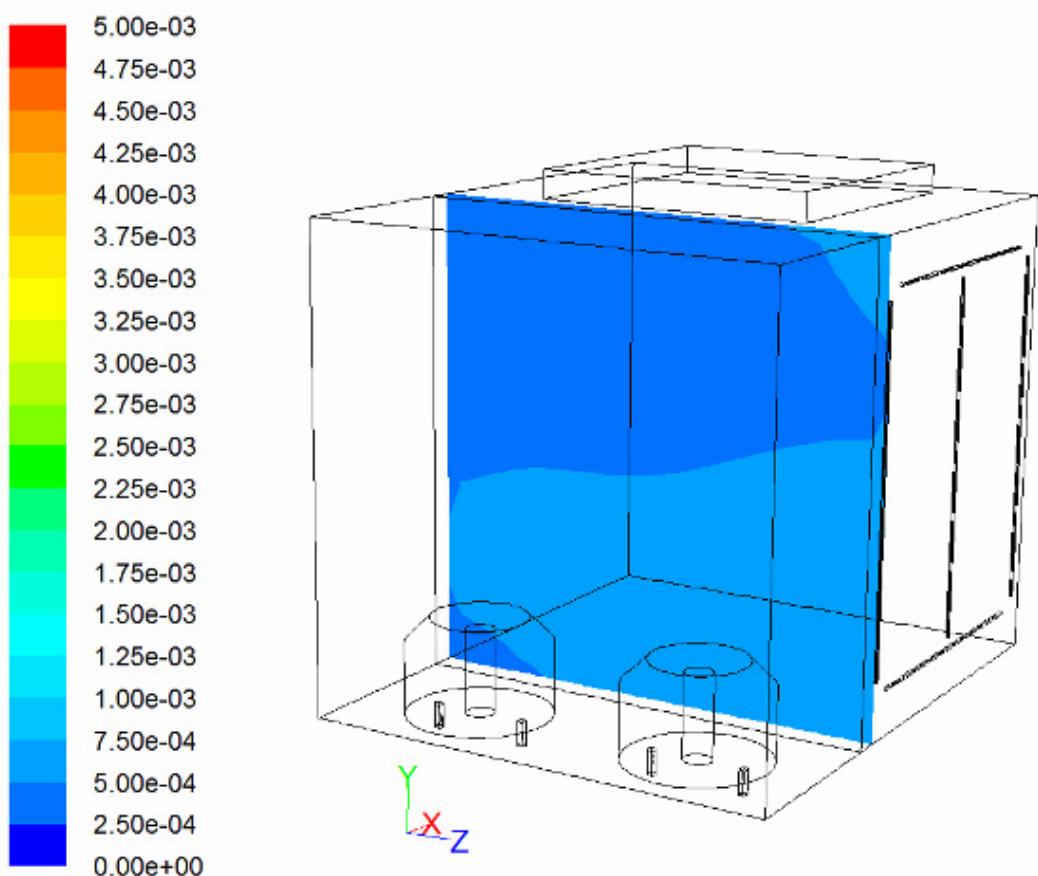


圖 4-2 FFU 風速 0.6m/s，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

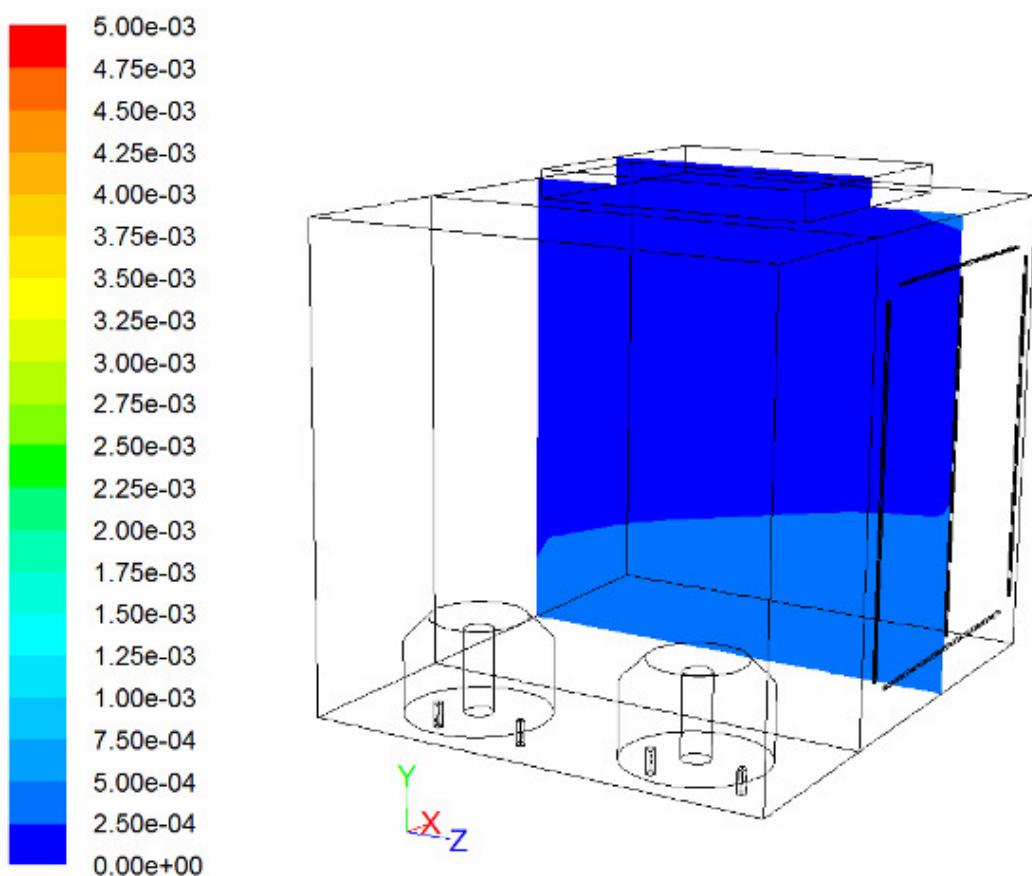


圖 4-3 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

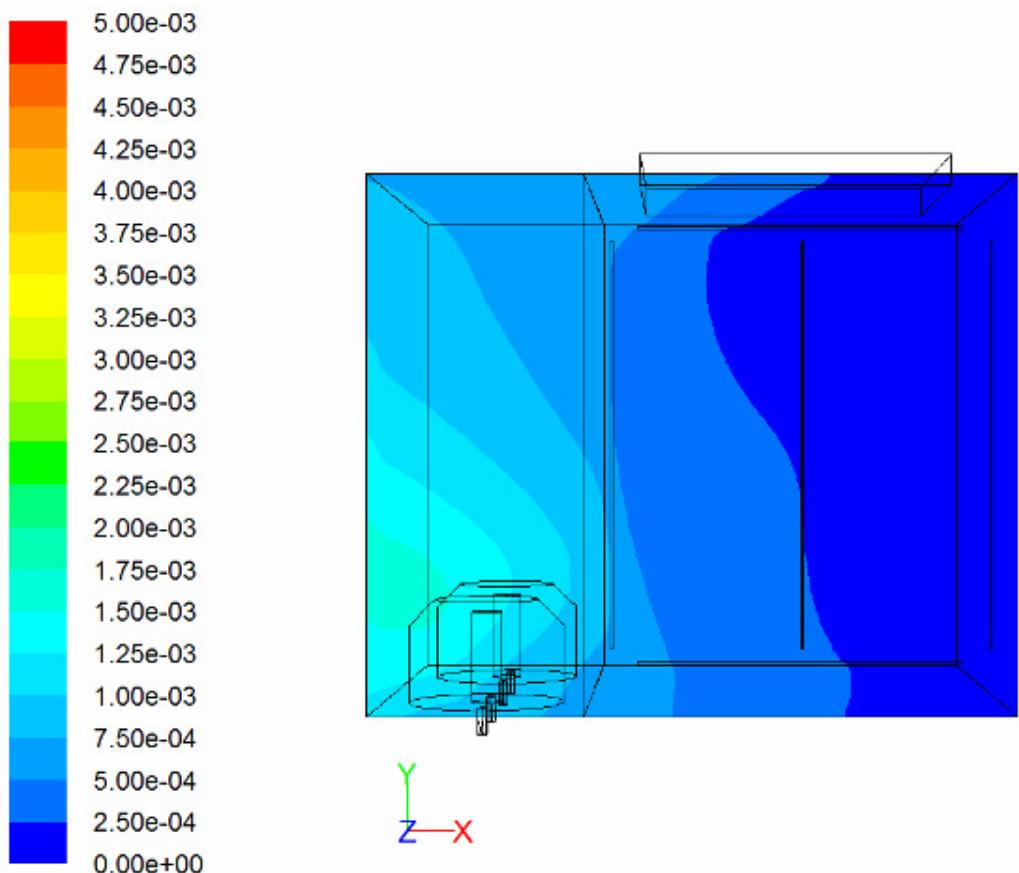


圖 4-4 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

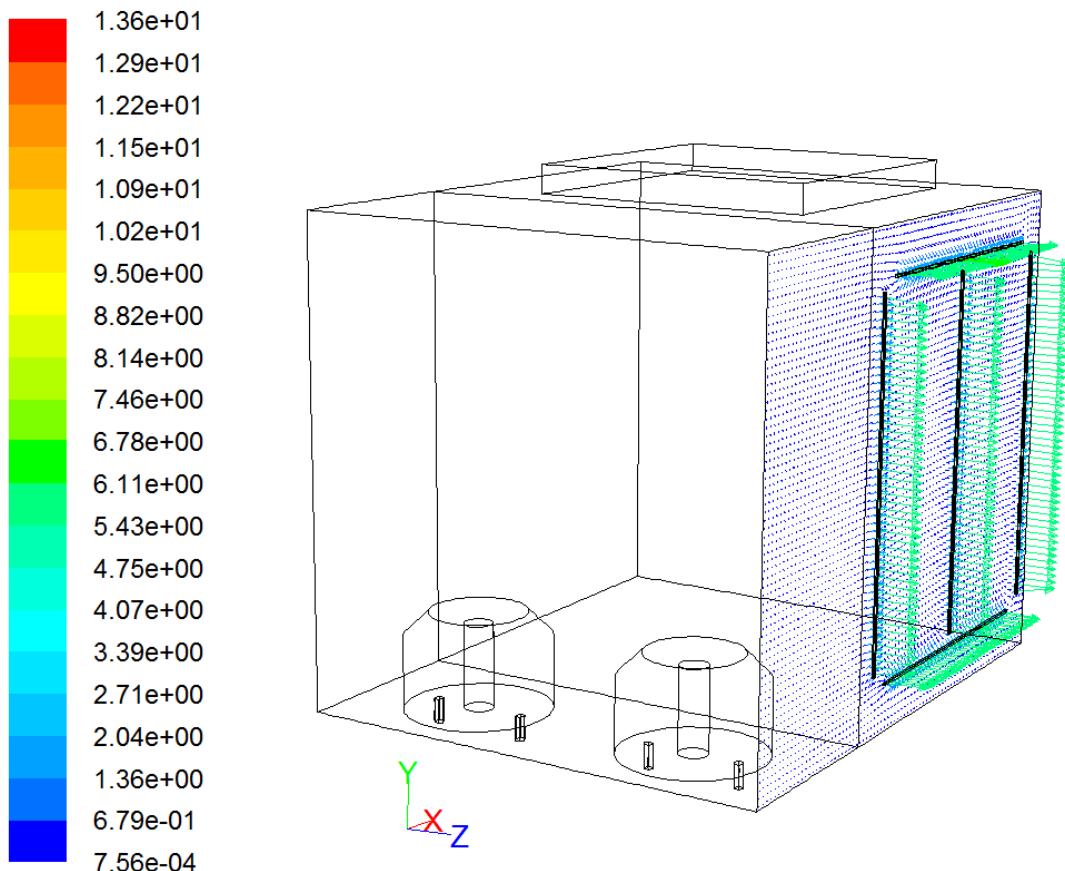


圖 4-5 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 10 分鐘之速度場圖 (D 截面)

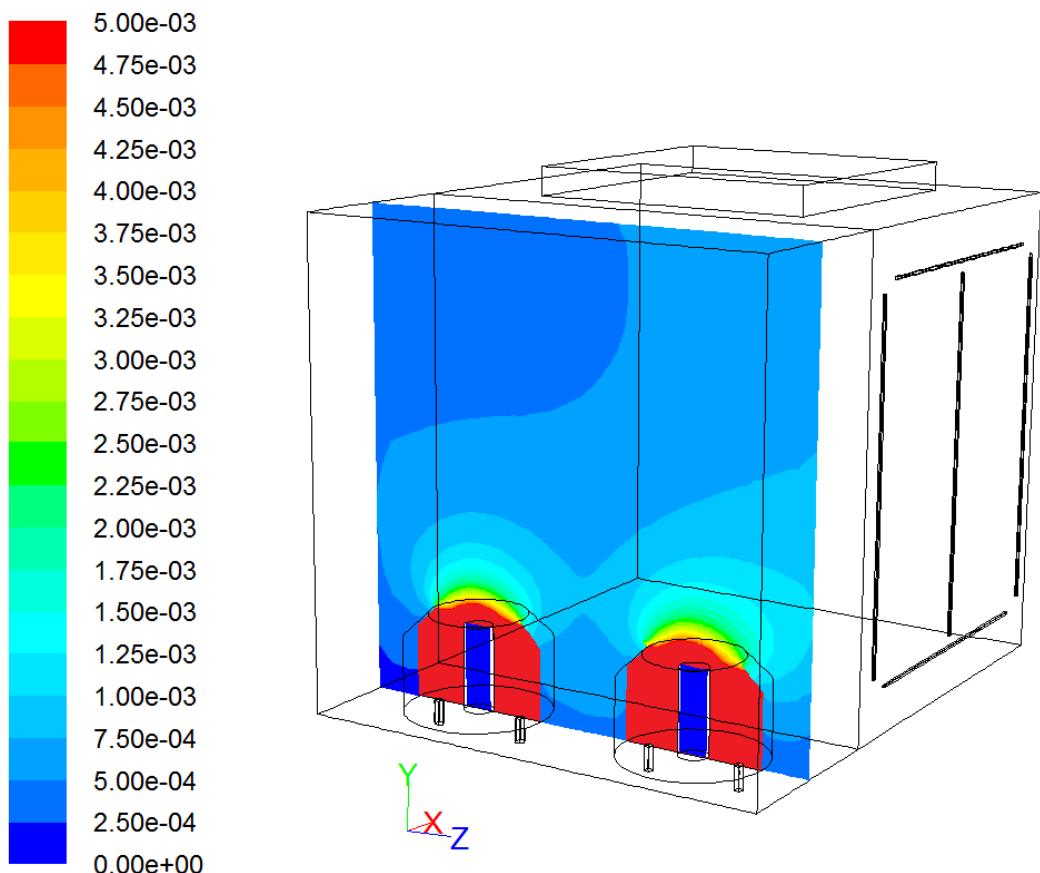


圖 4-6 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)

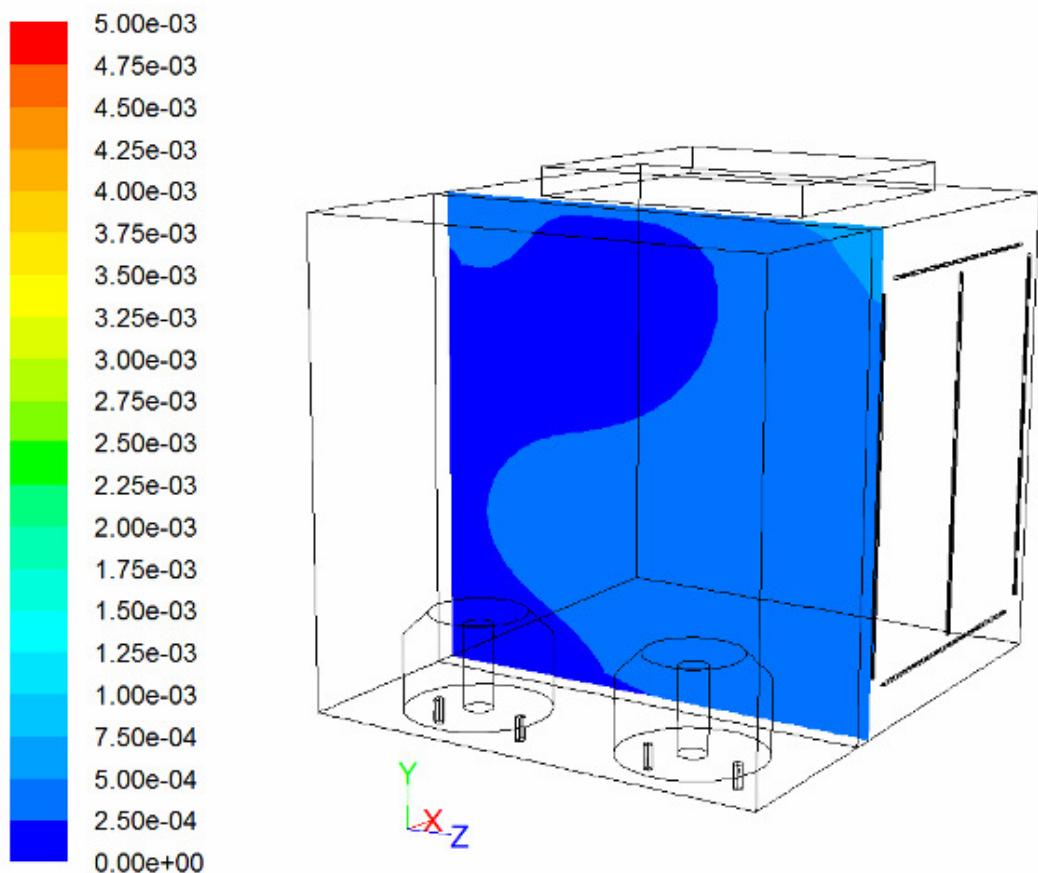


圖 4-7 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

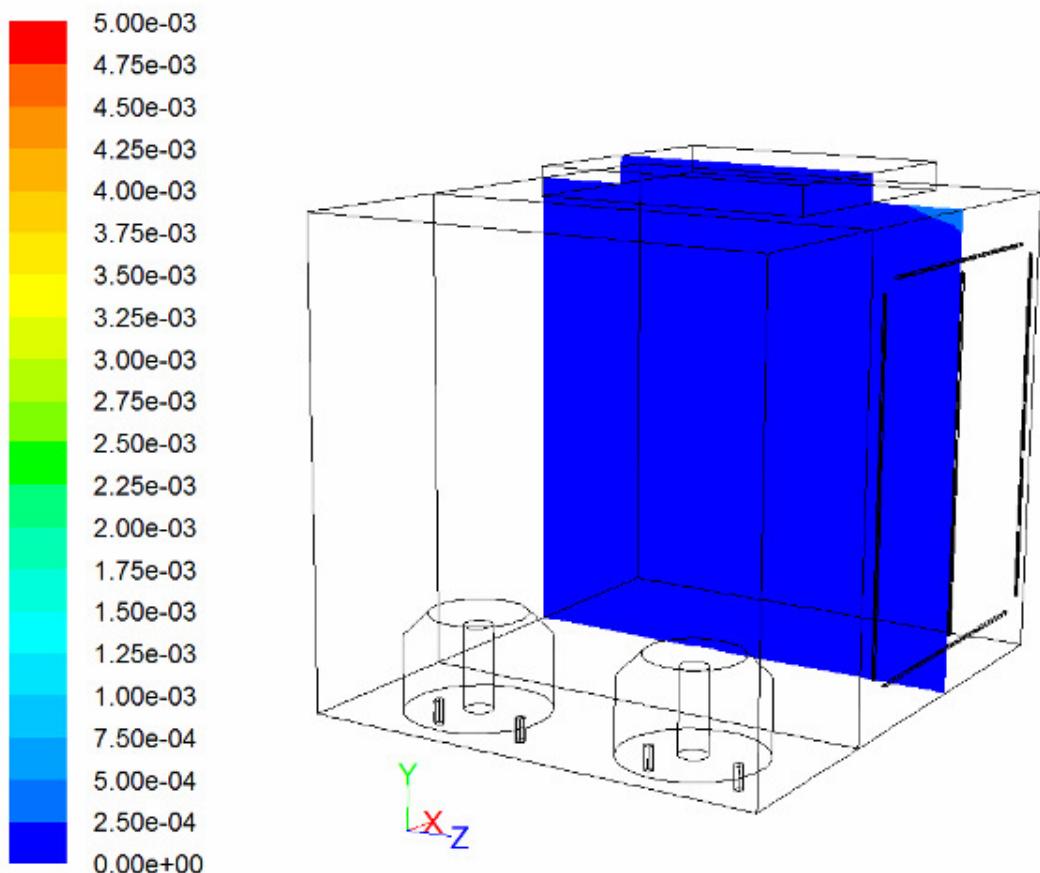


圖 4-8 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

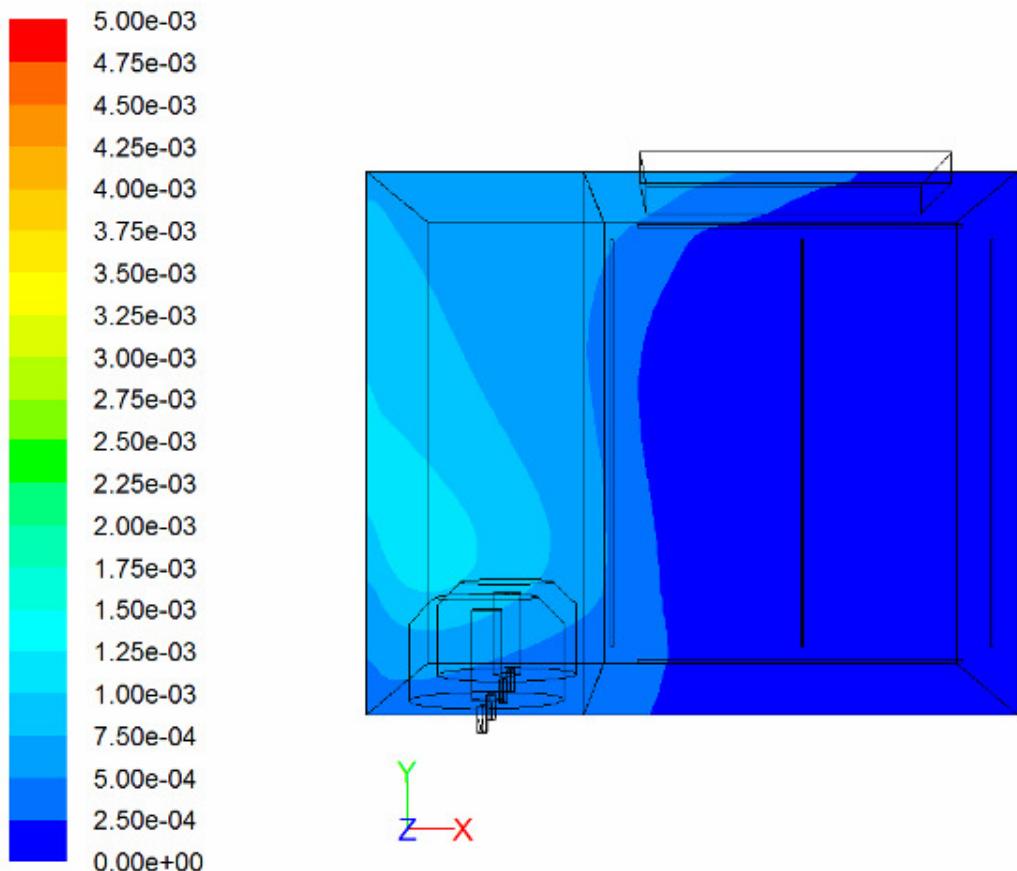


圖 4-9 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

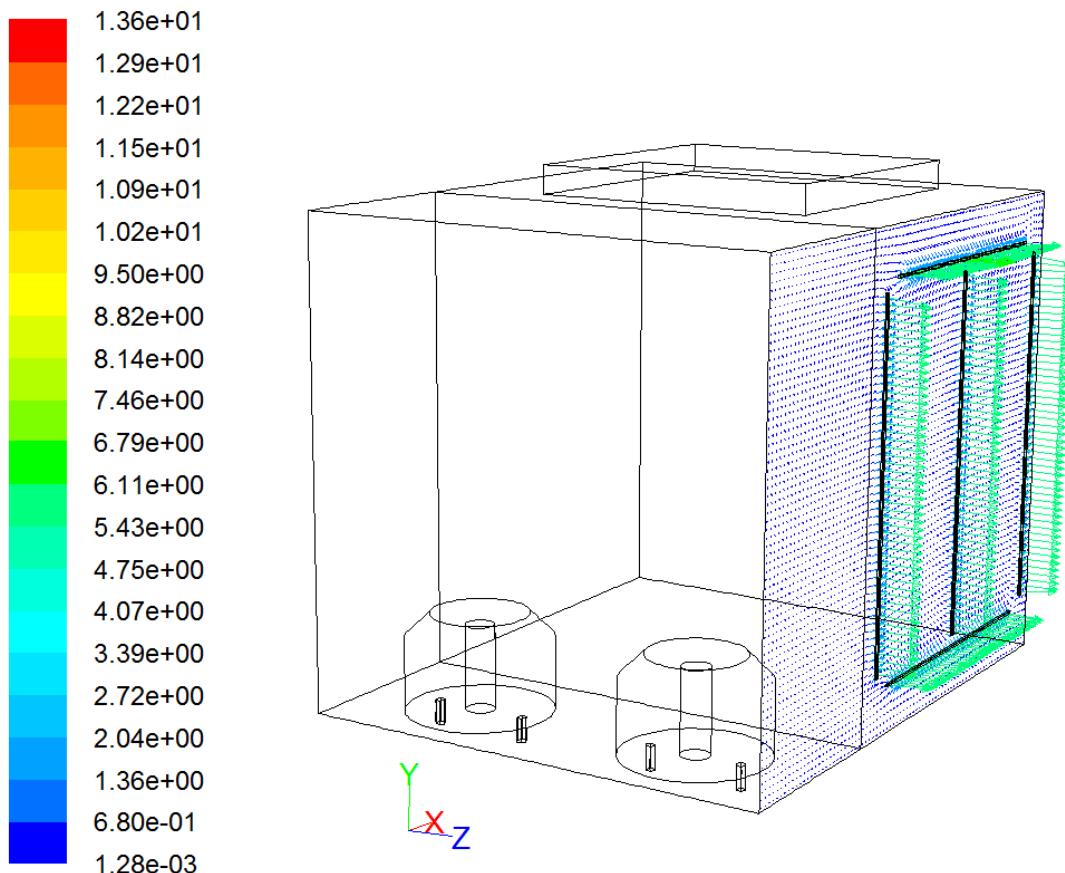


圖 4-10 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 15 分鐘之速度場 (D 截面)

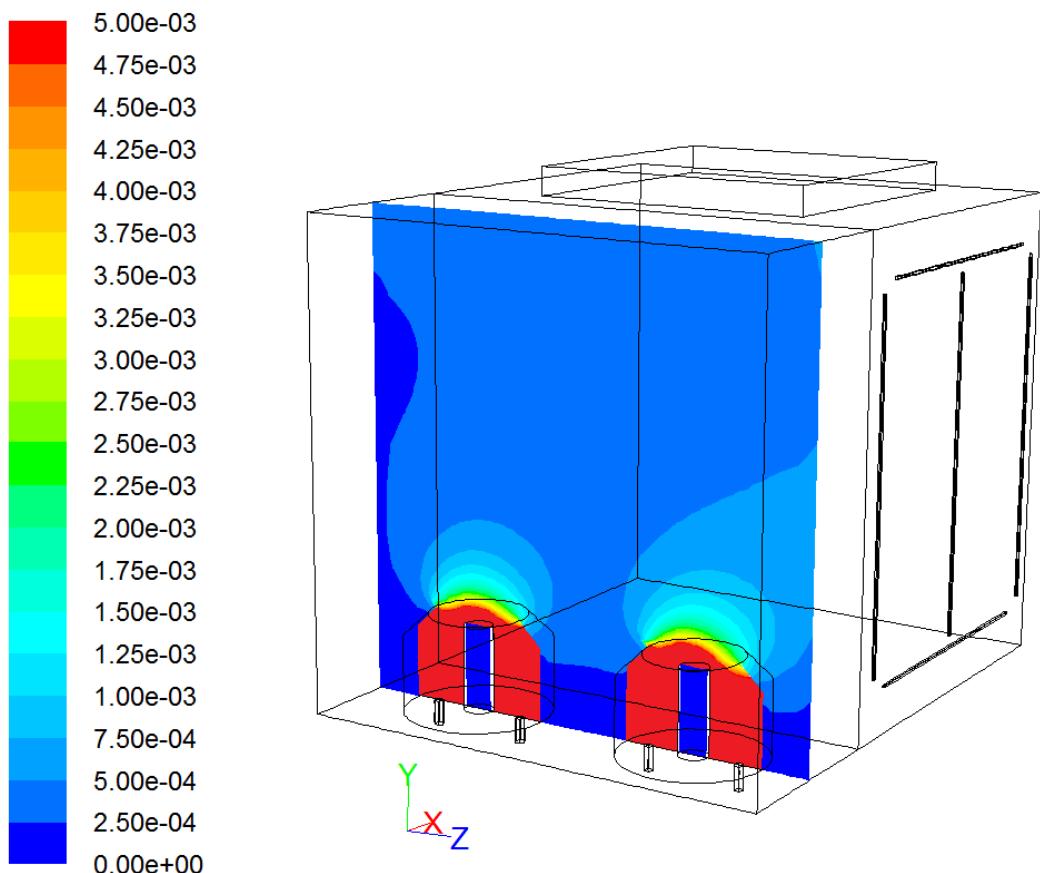


圖 4-11 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)

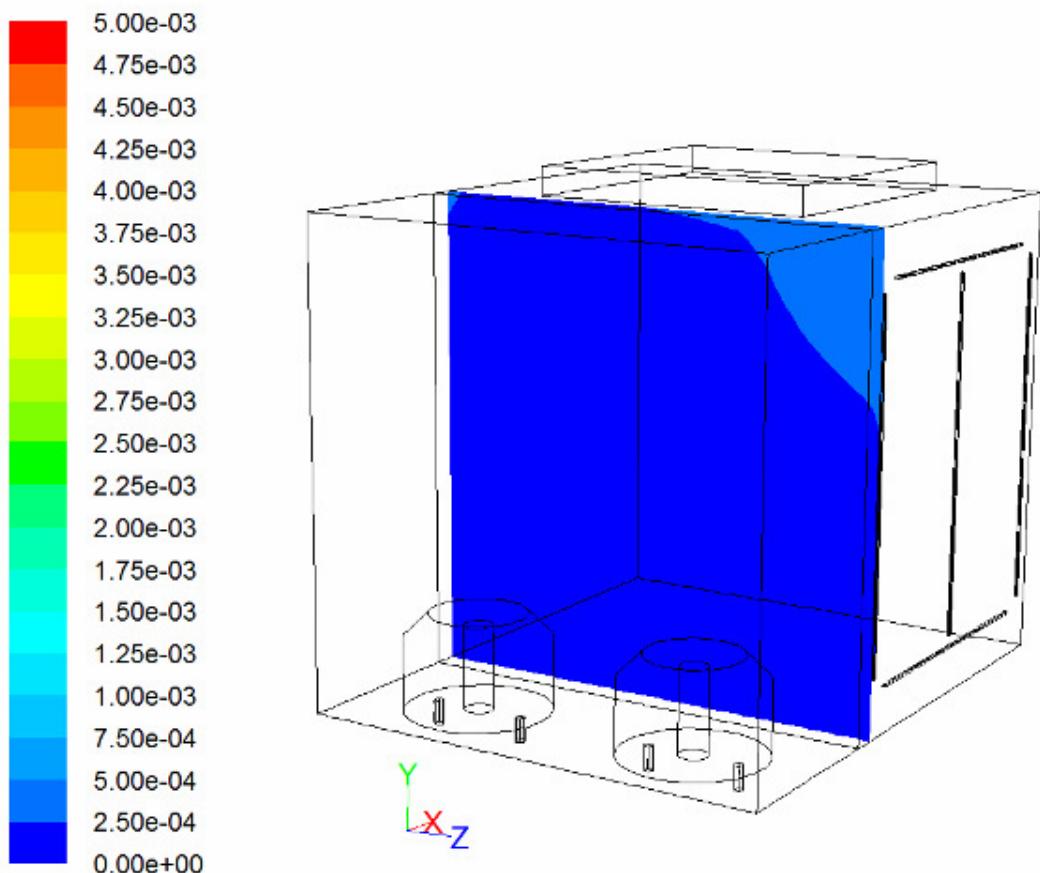


圖 4-12 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

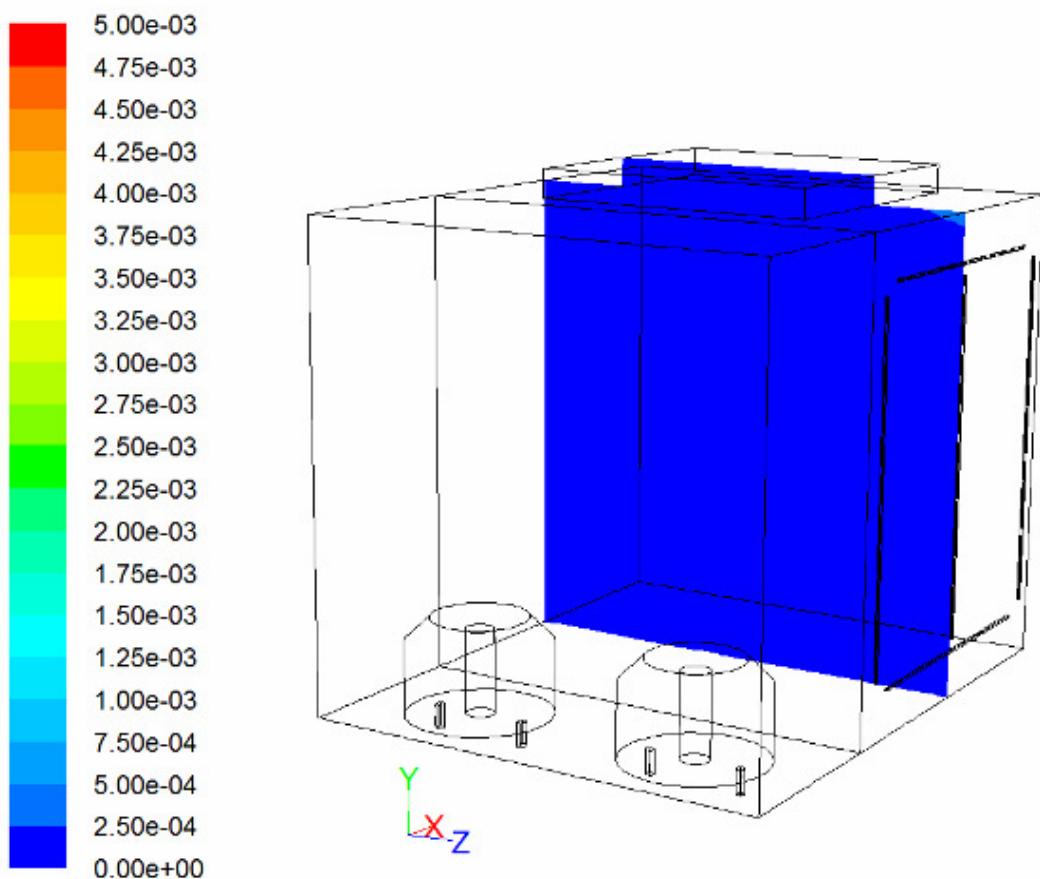


圖 4-13 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

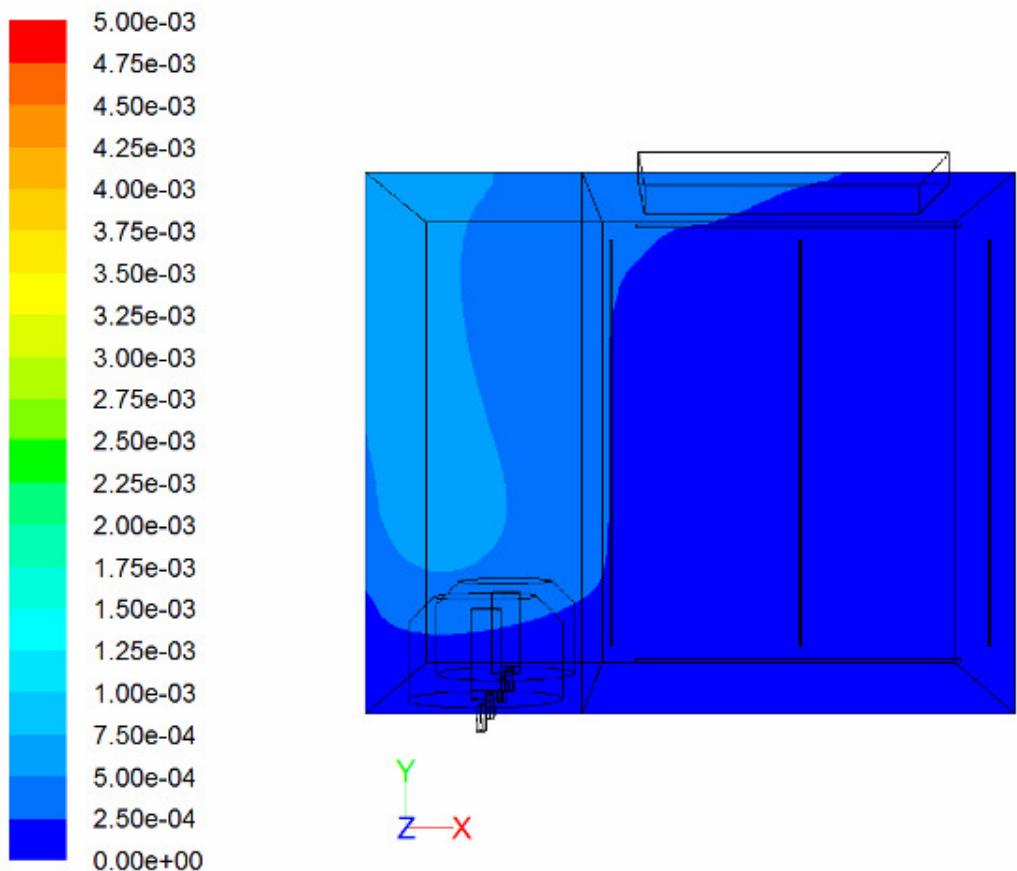


圖 4-14 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

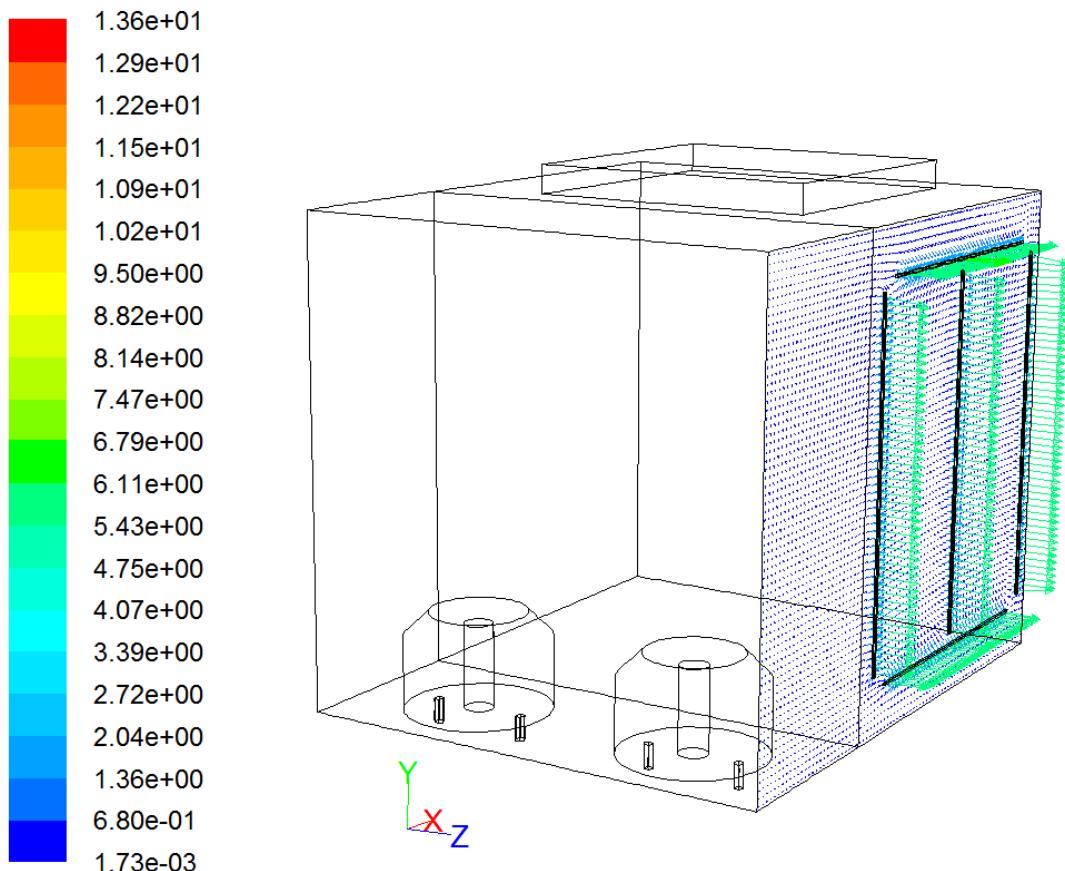


圖 4-15 FFU 風速 0.6m/s ，暫態經過 20 分鐘之速度場 (D 截面)

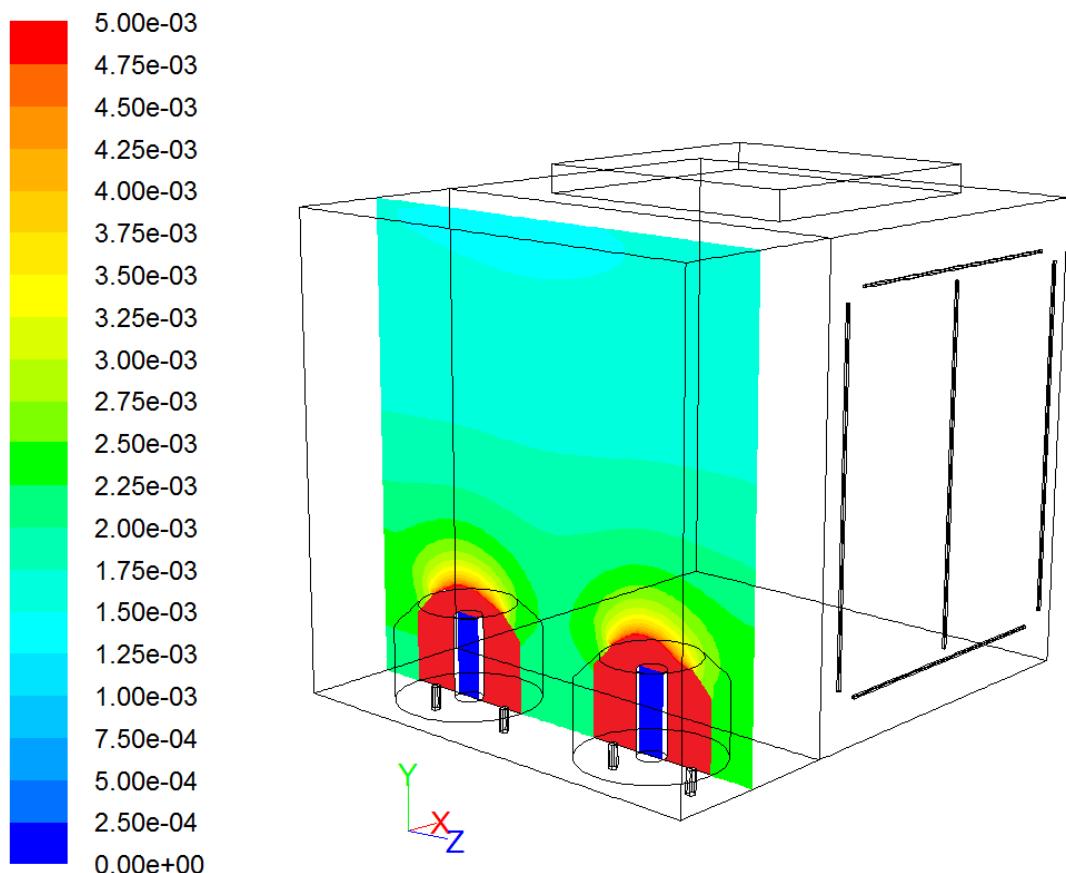


圖 4-16 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)

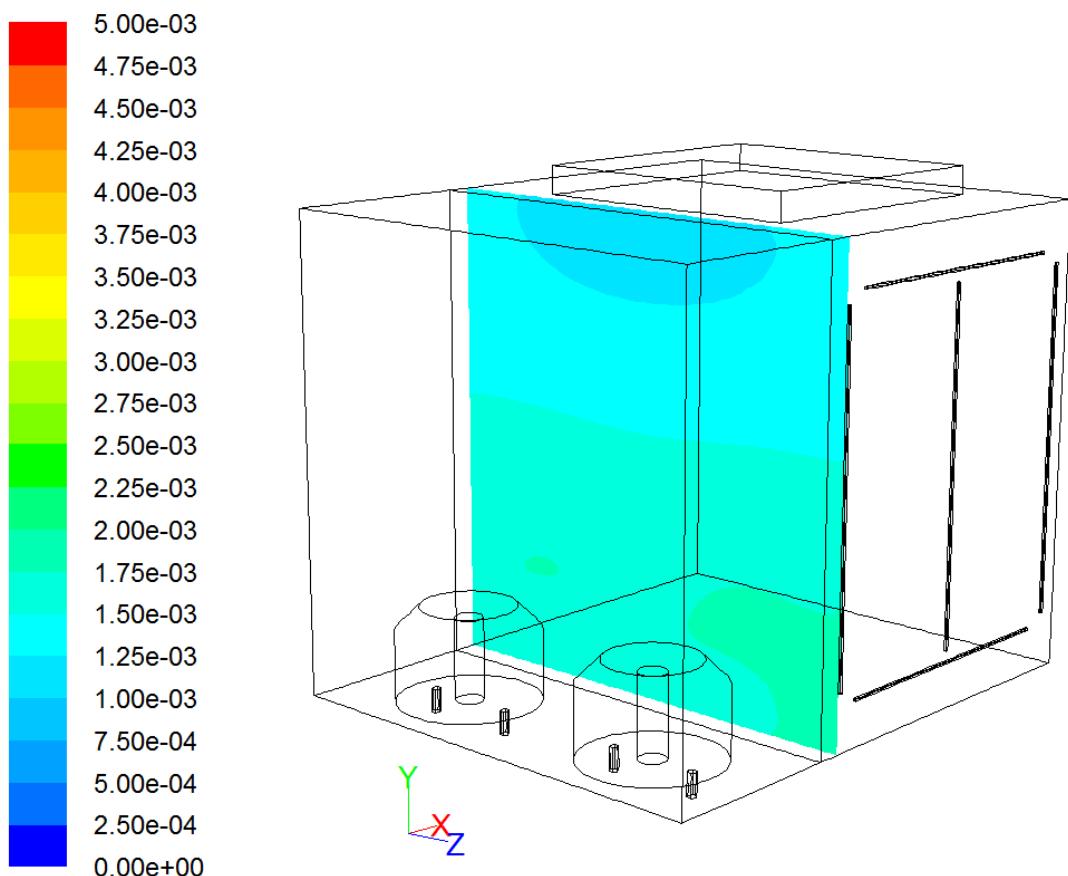


圖 4-17 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

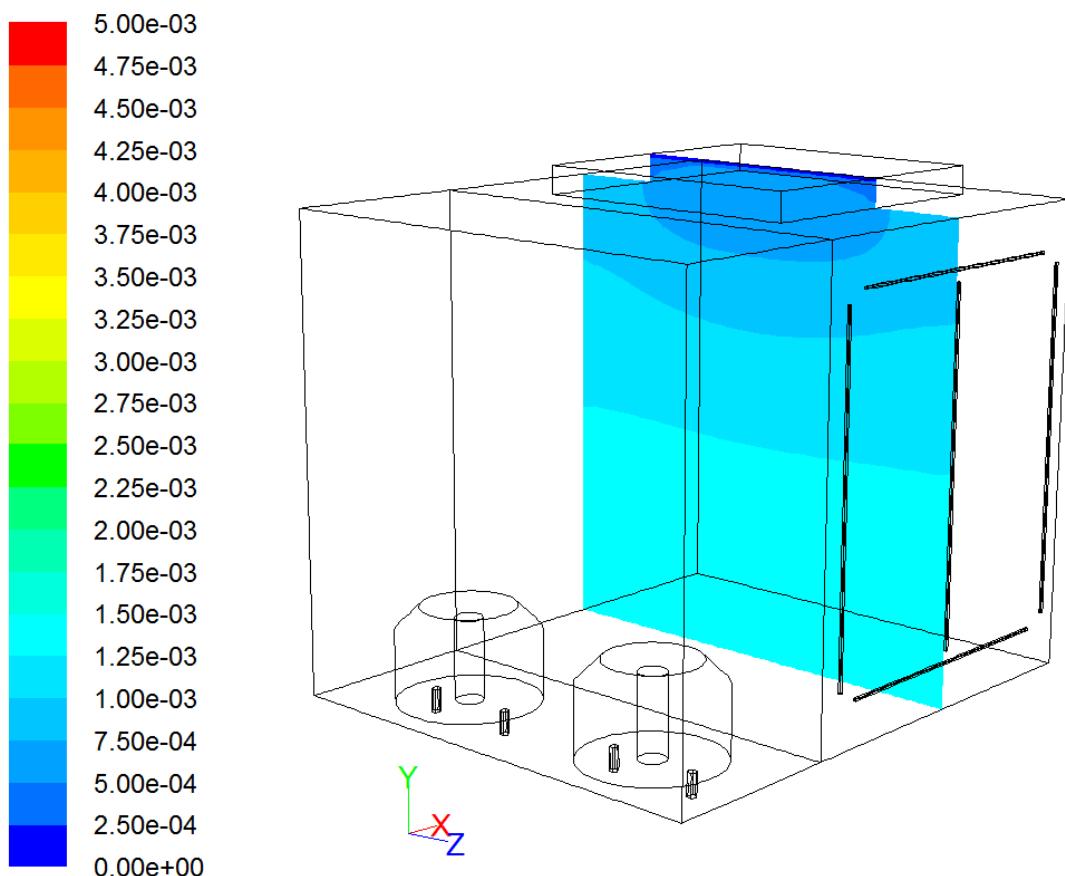


圖 4-18 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

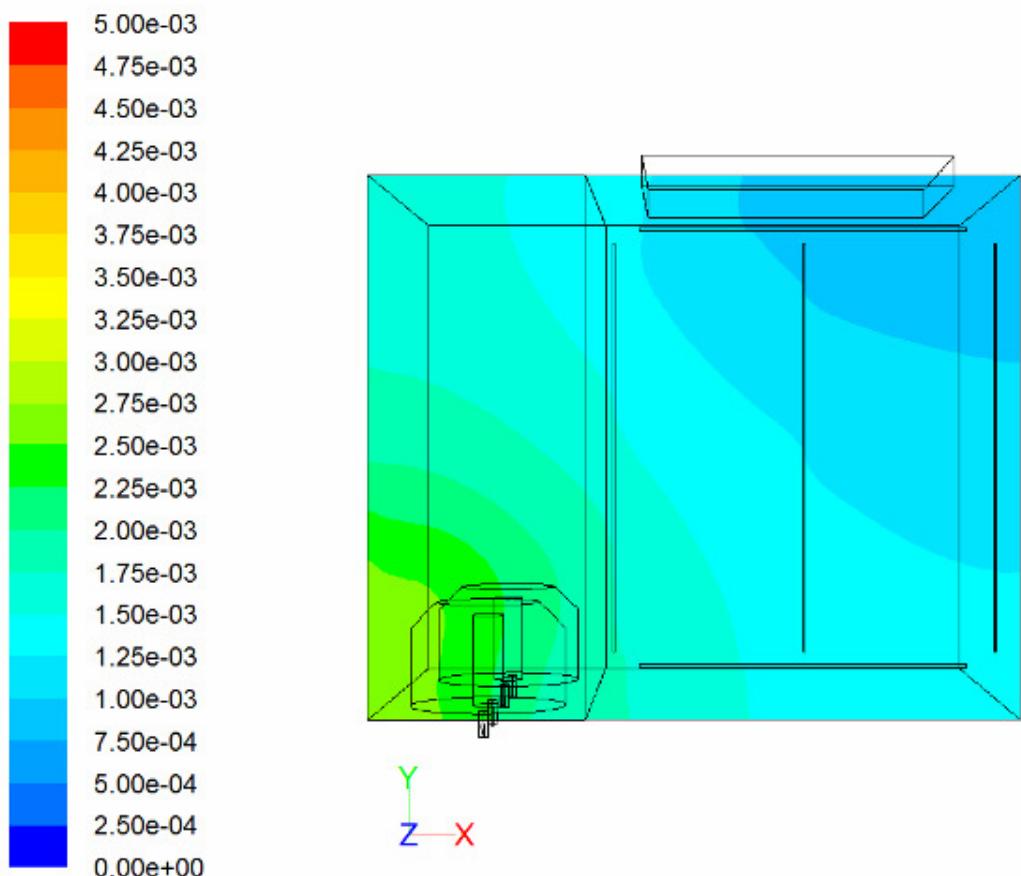


圖 4-19 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

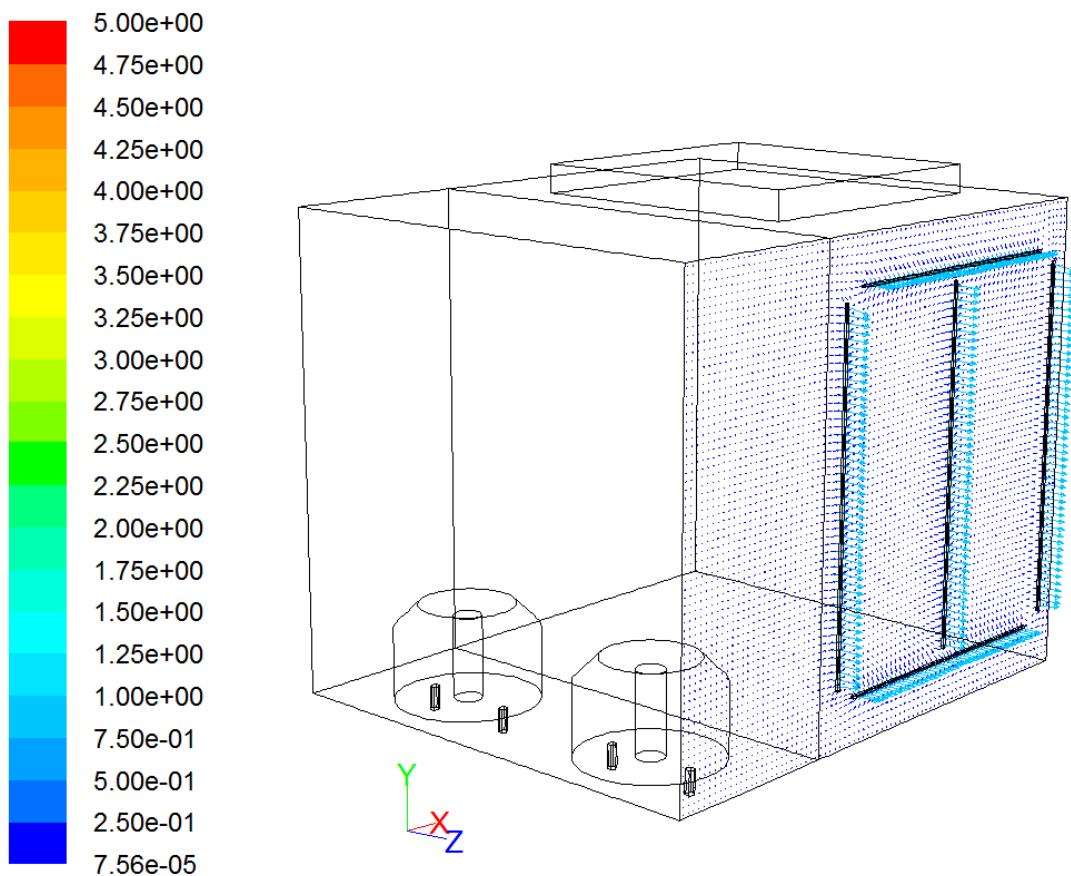


圖 4-20 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 10 分鐘之速度場圖 (D 截面)

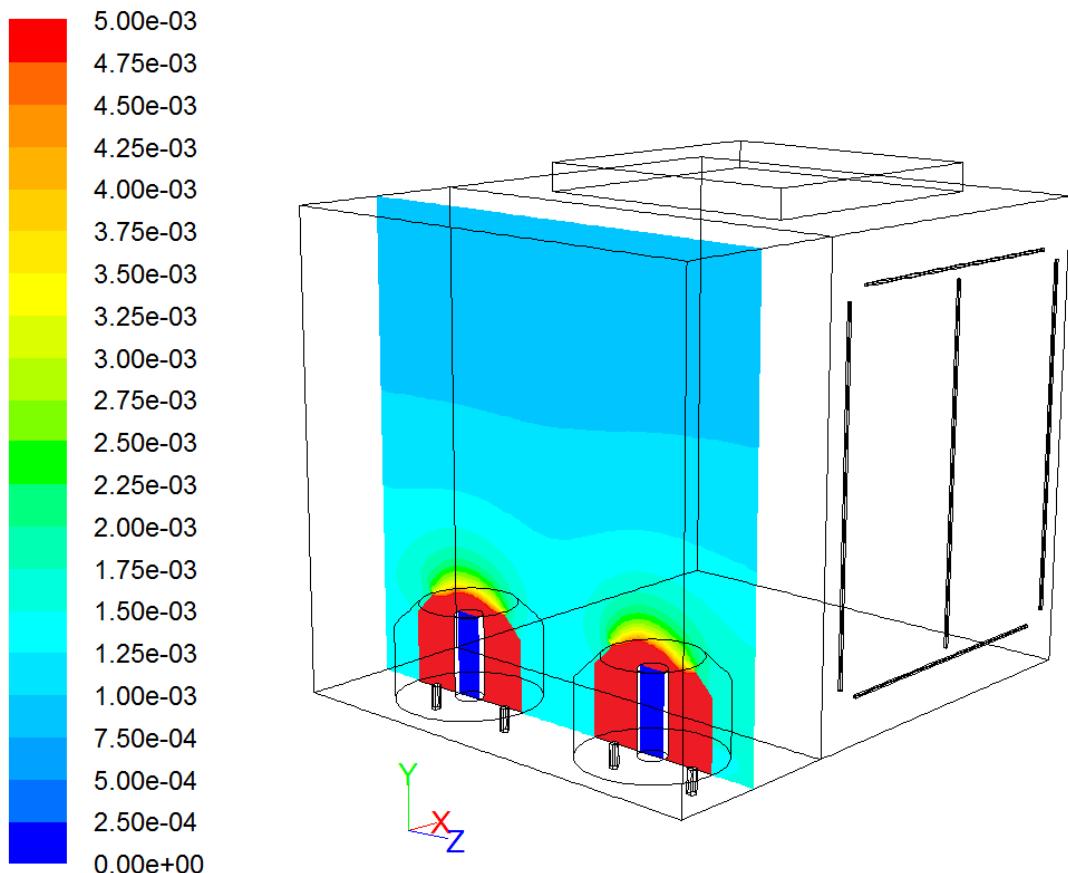


圖 4-21 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)

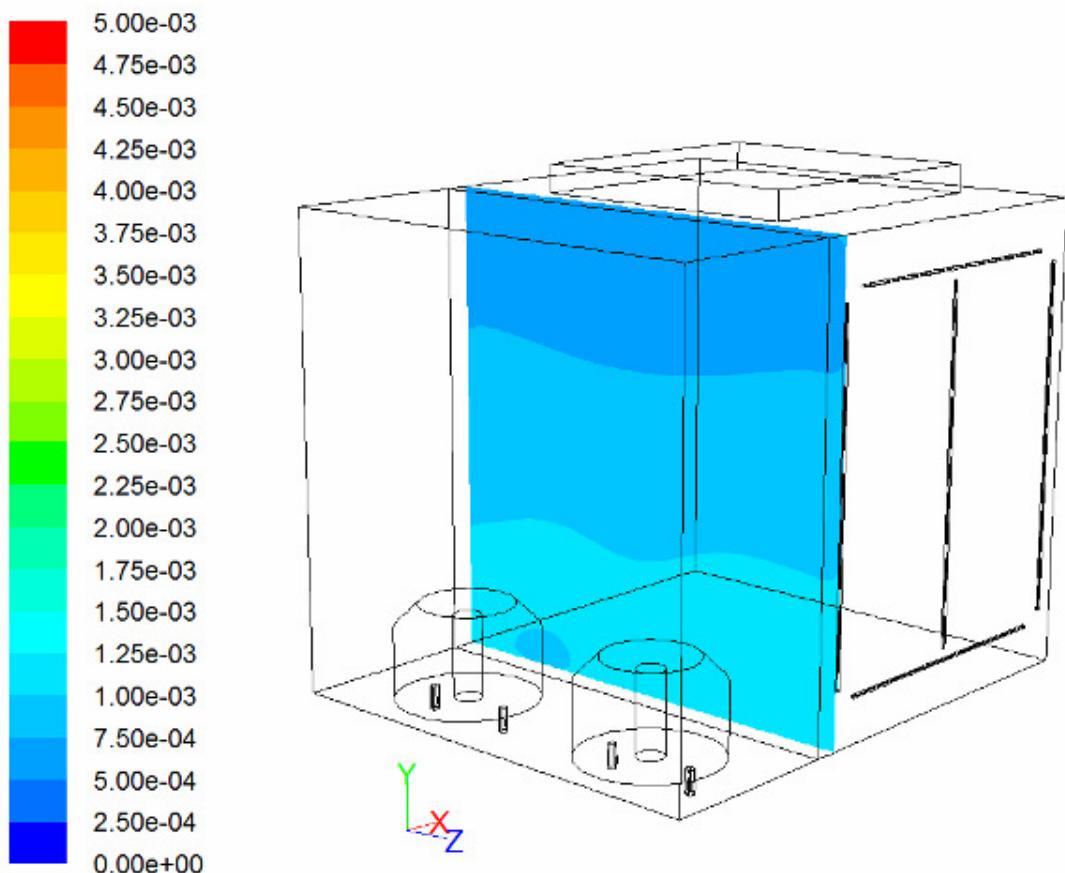


圖 4-22 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

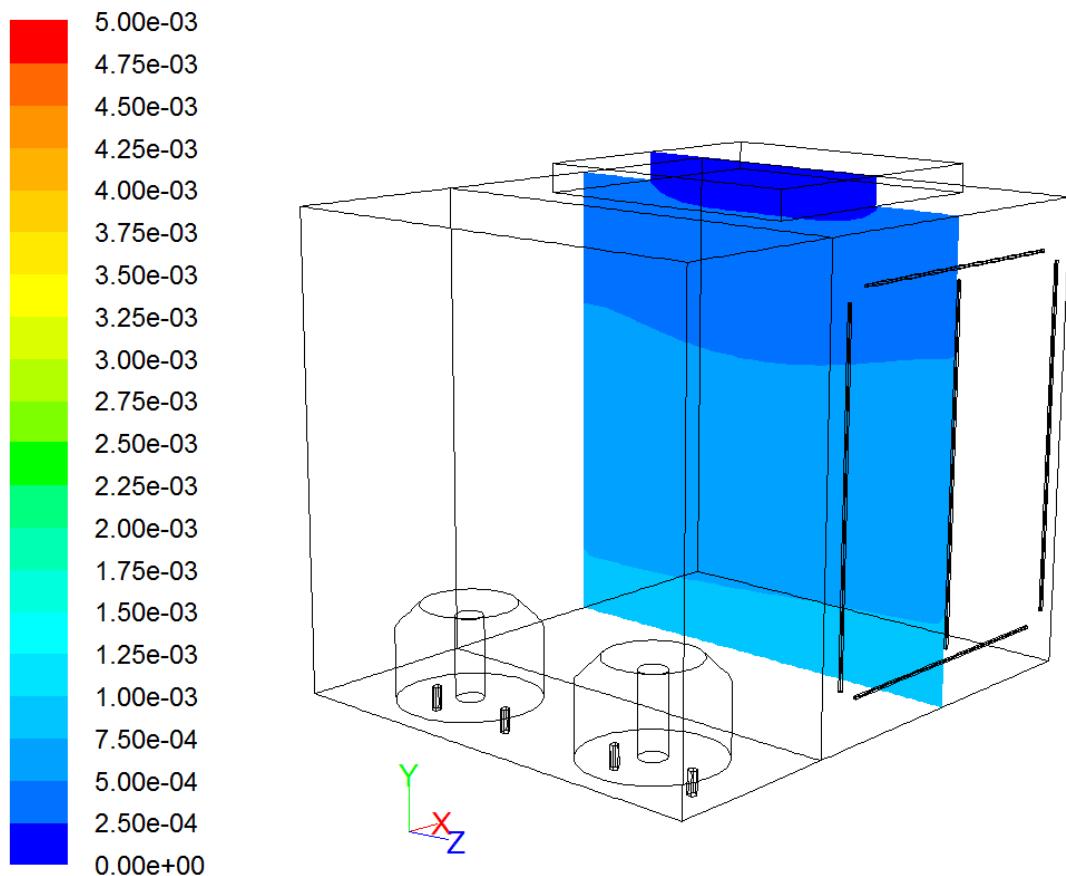


圖 4-23 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

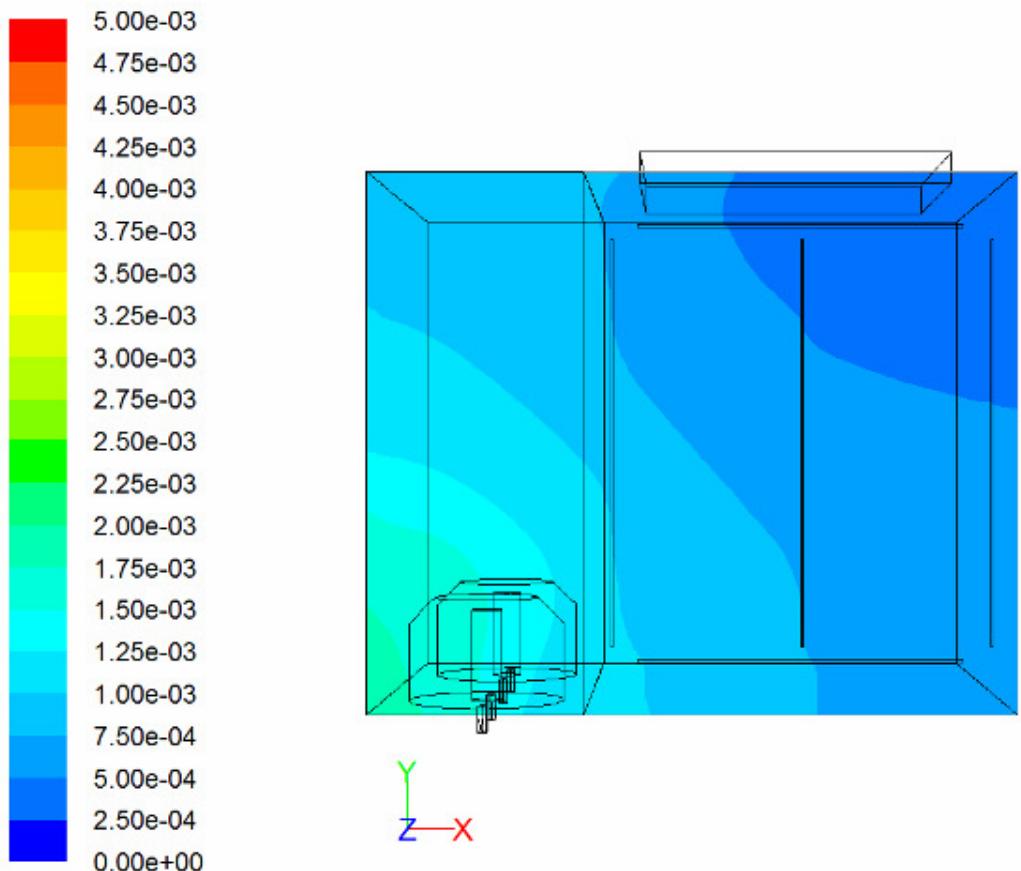


圖 4-24 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

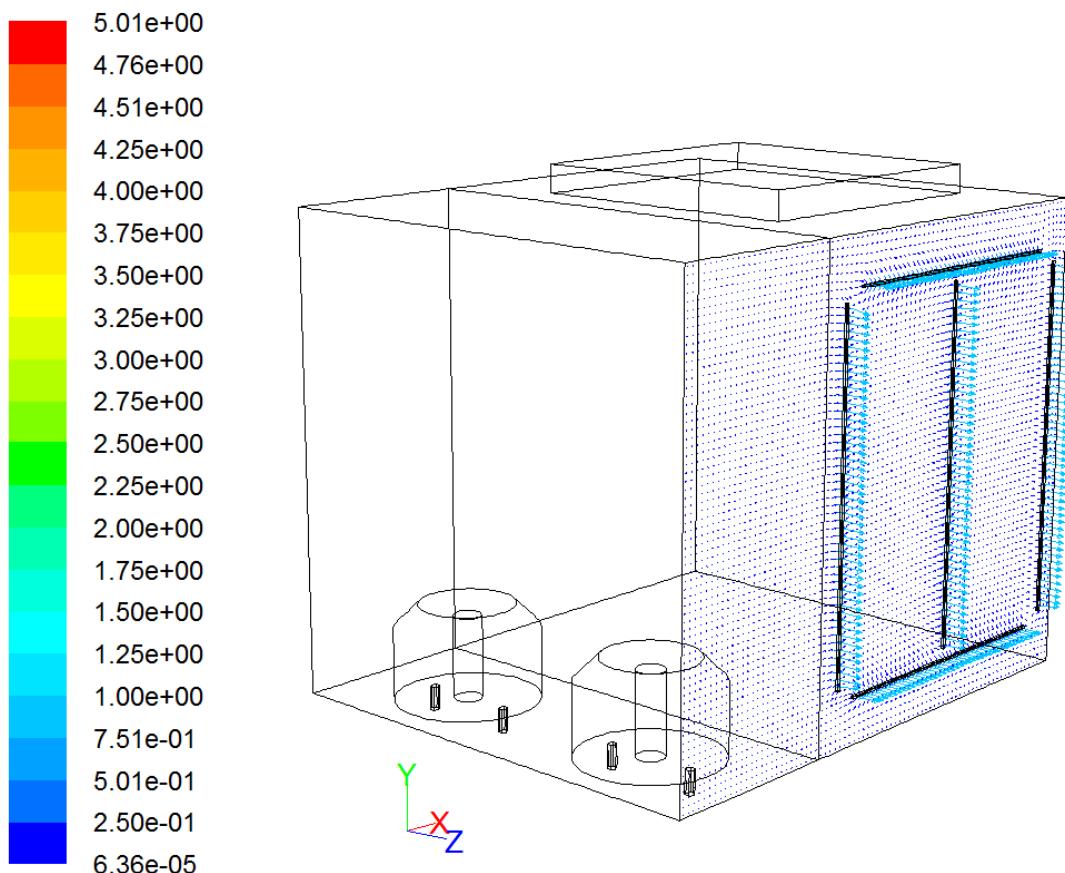


圖 4-25 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 15 分鐘之速度場 (D 截面)

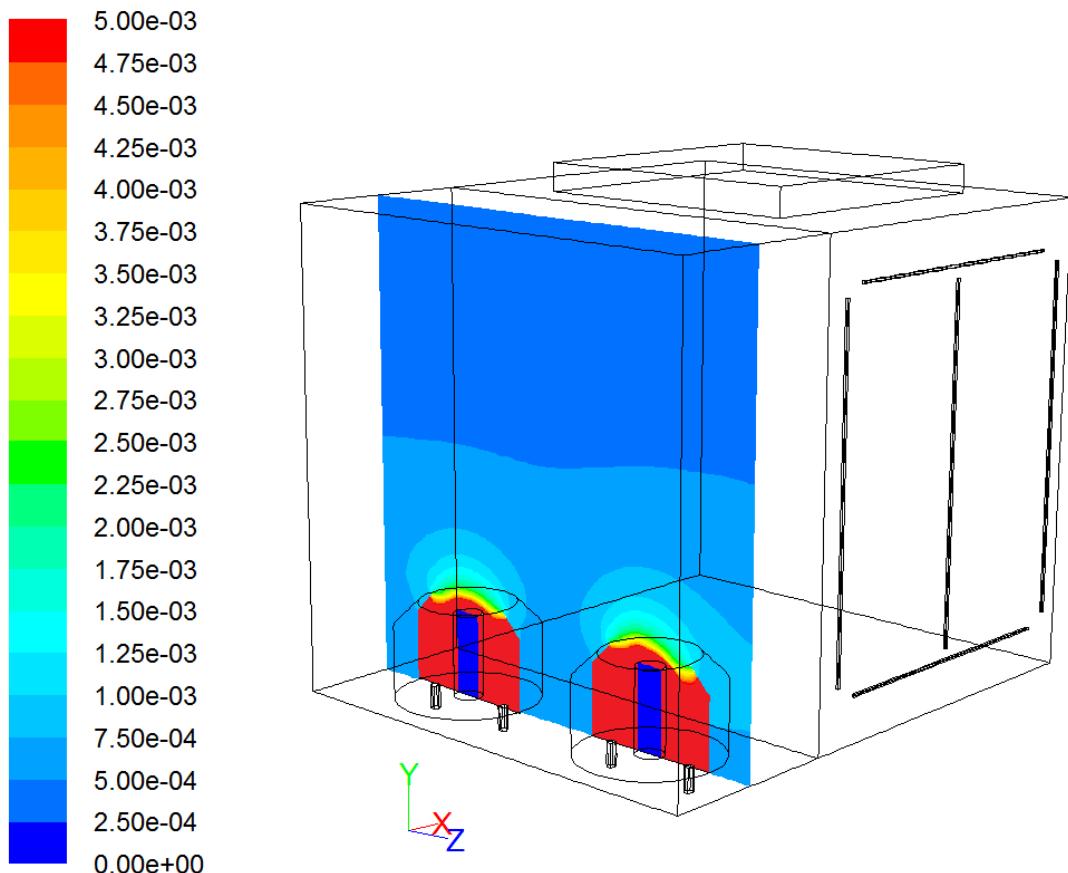


圖 4-26 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)

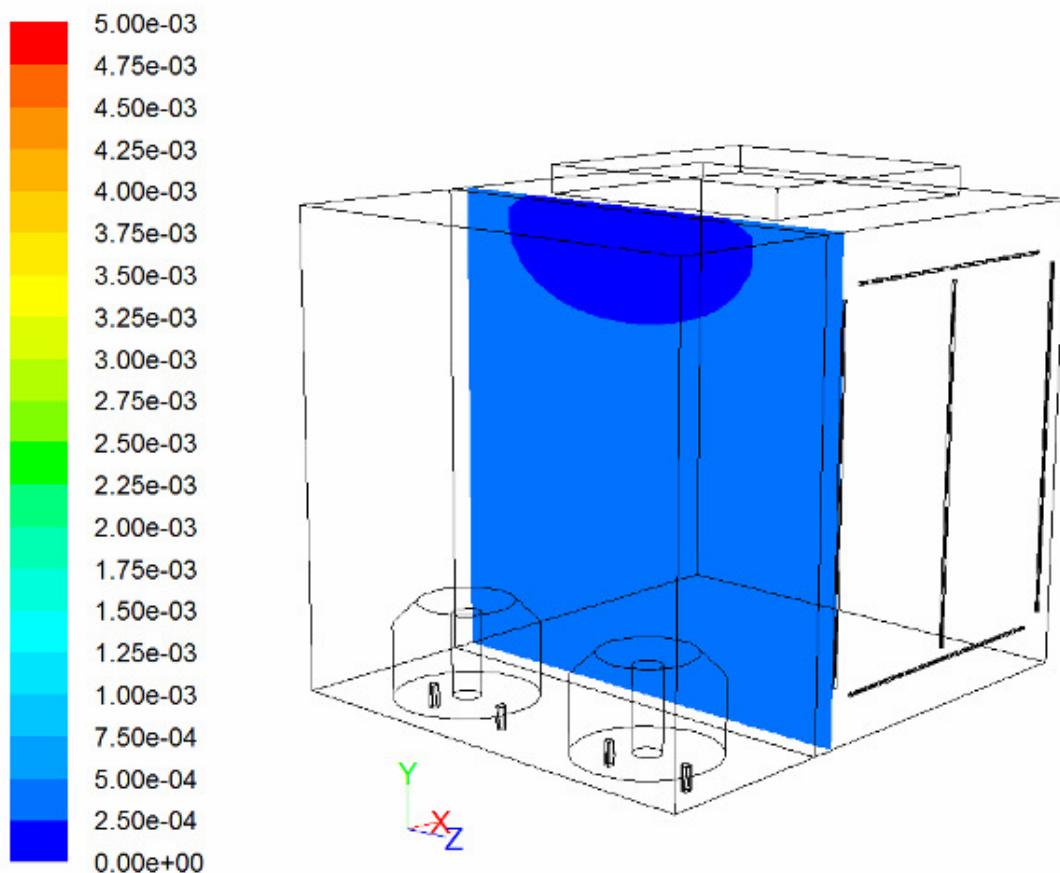


圖 4-27 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

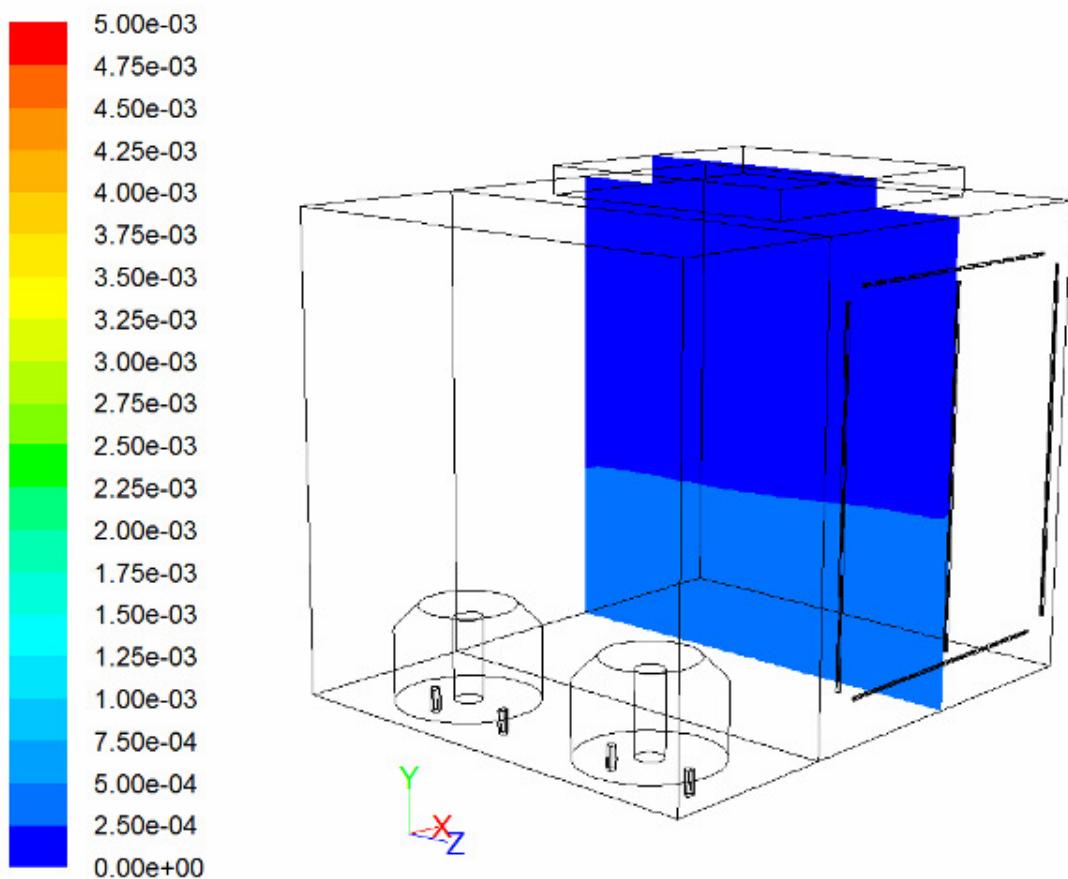


圖 4-28 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

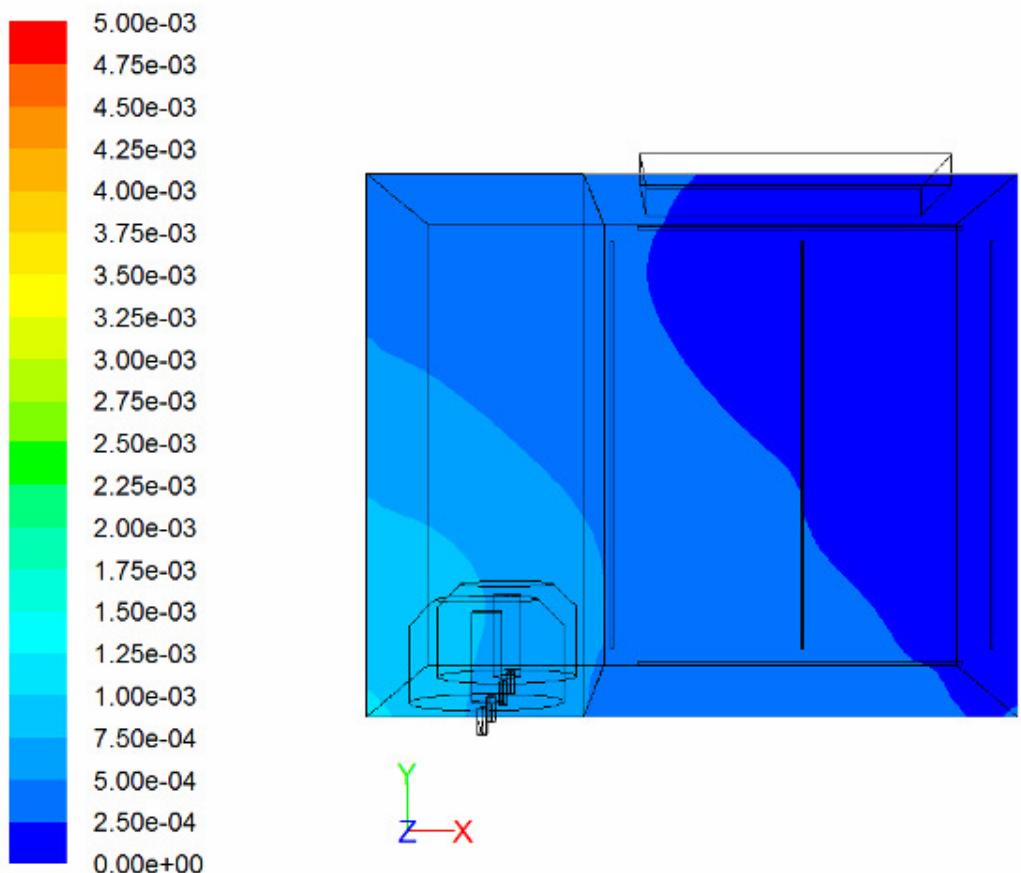


圖 4-29 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

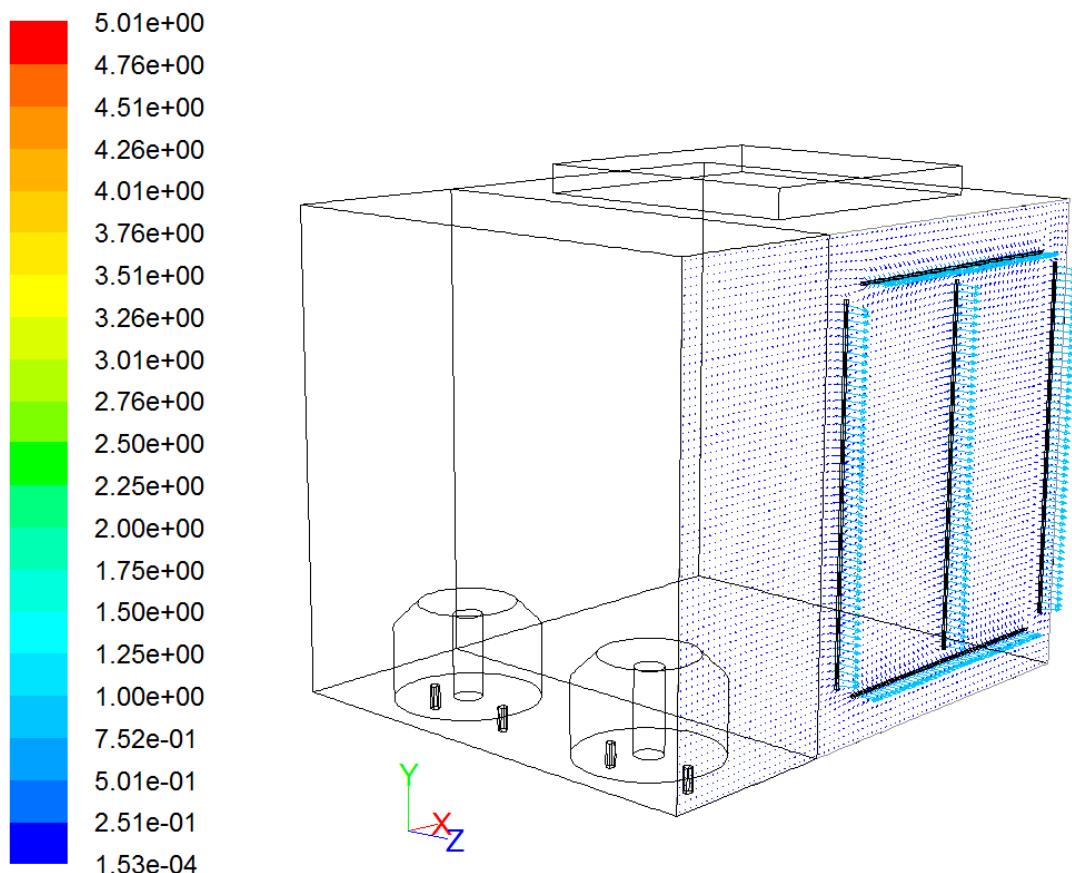


圖 4-30 FFU 風速 0.1m/s ，暫態經過 20 分鐘之速度場 (D 截面)

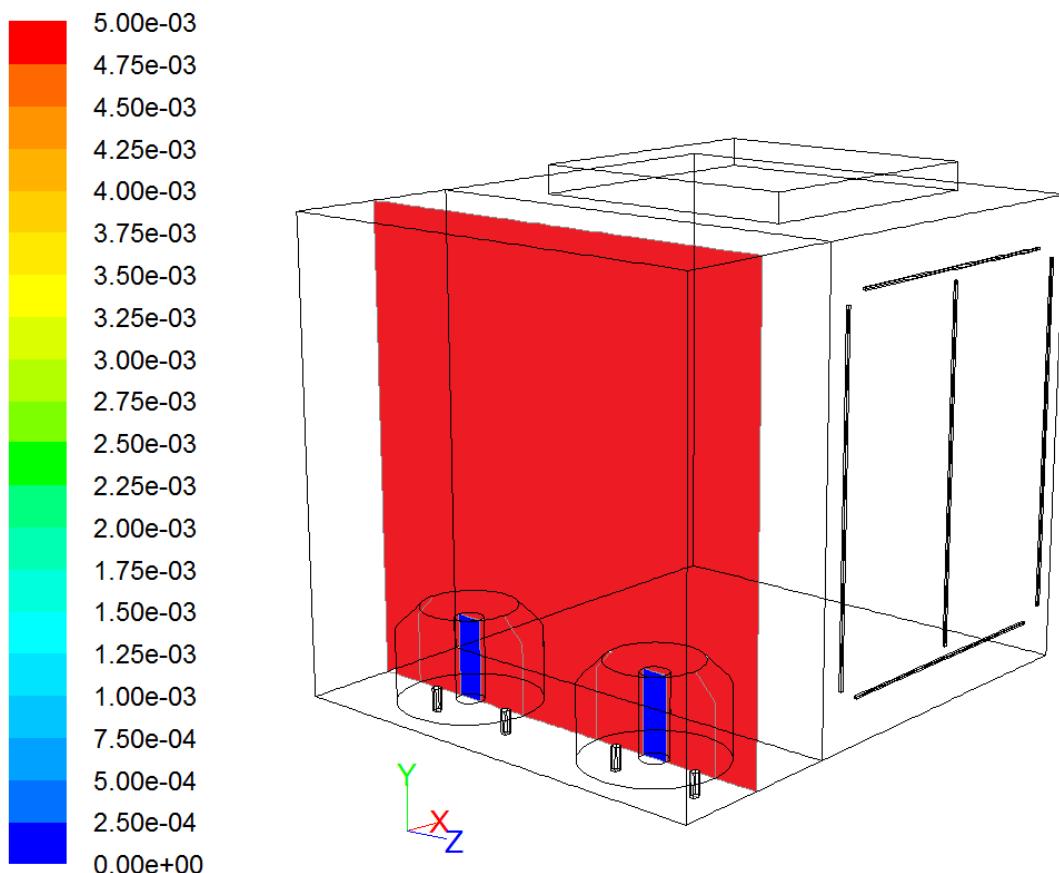


圖 4-31 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)

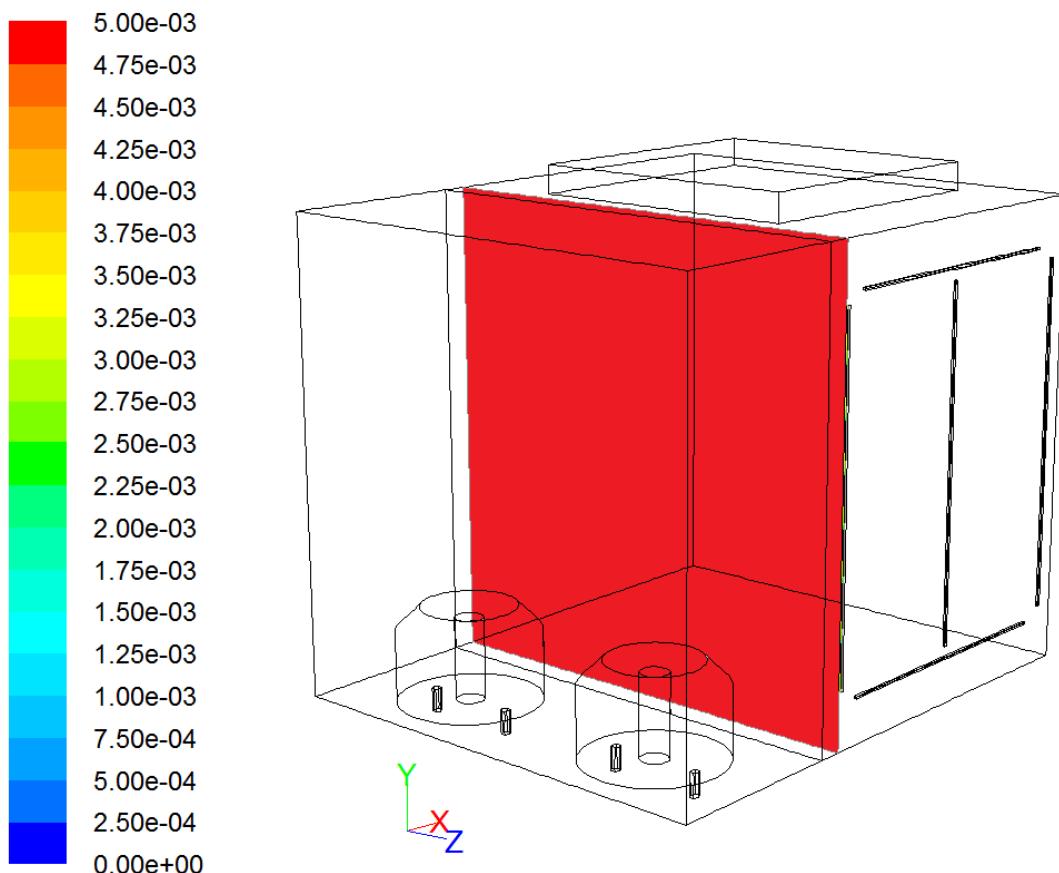


圖 4-32 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

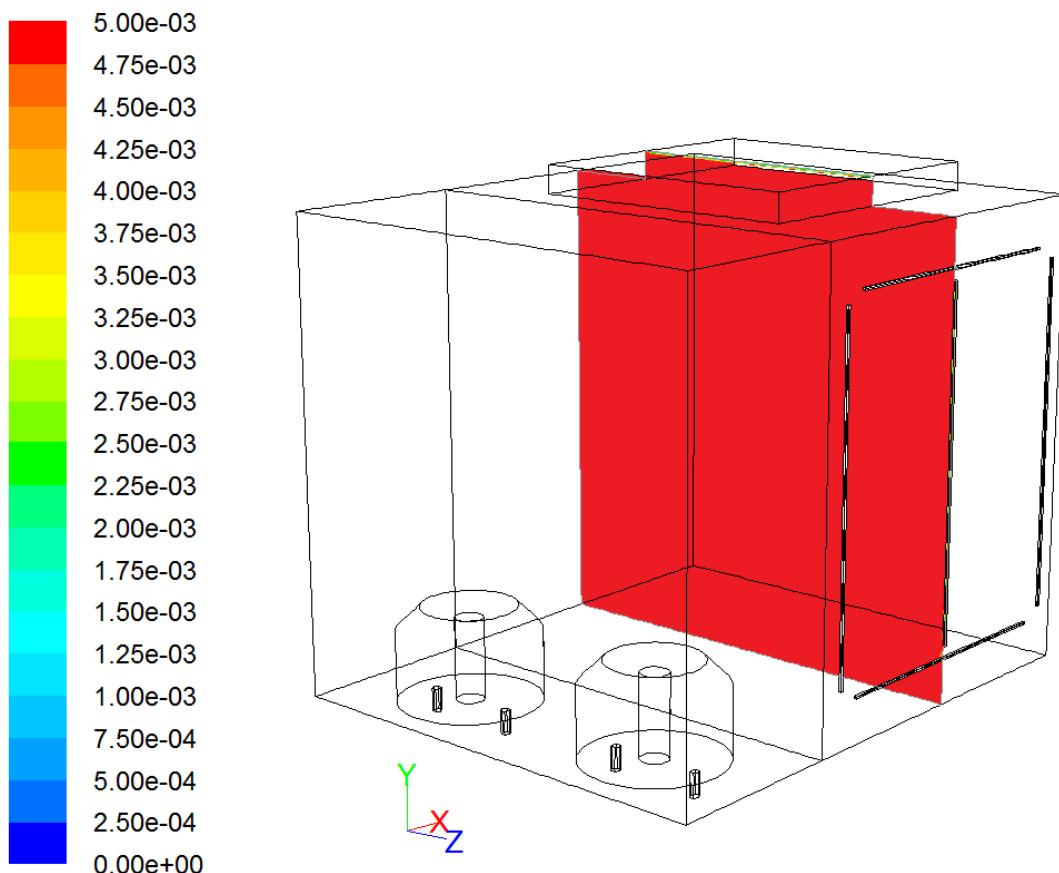


圖 4-33 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

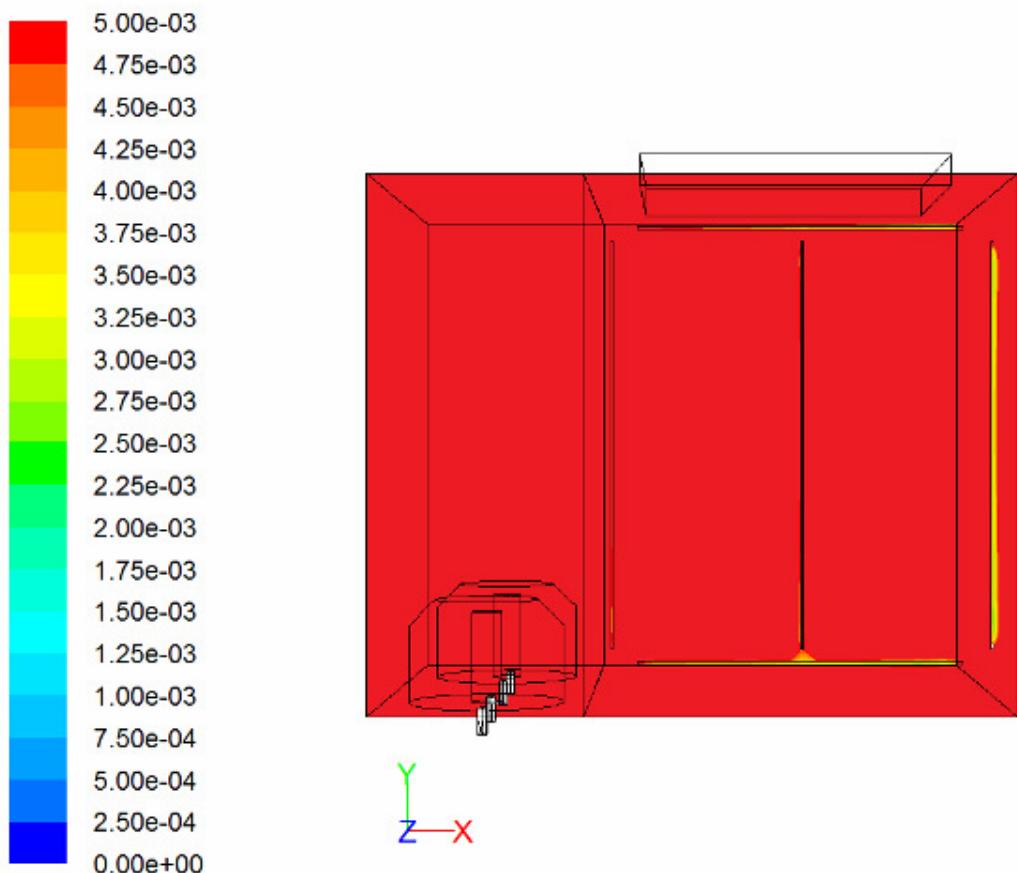


圖 4-34 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 10 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

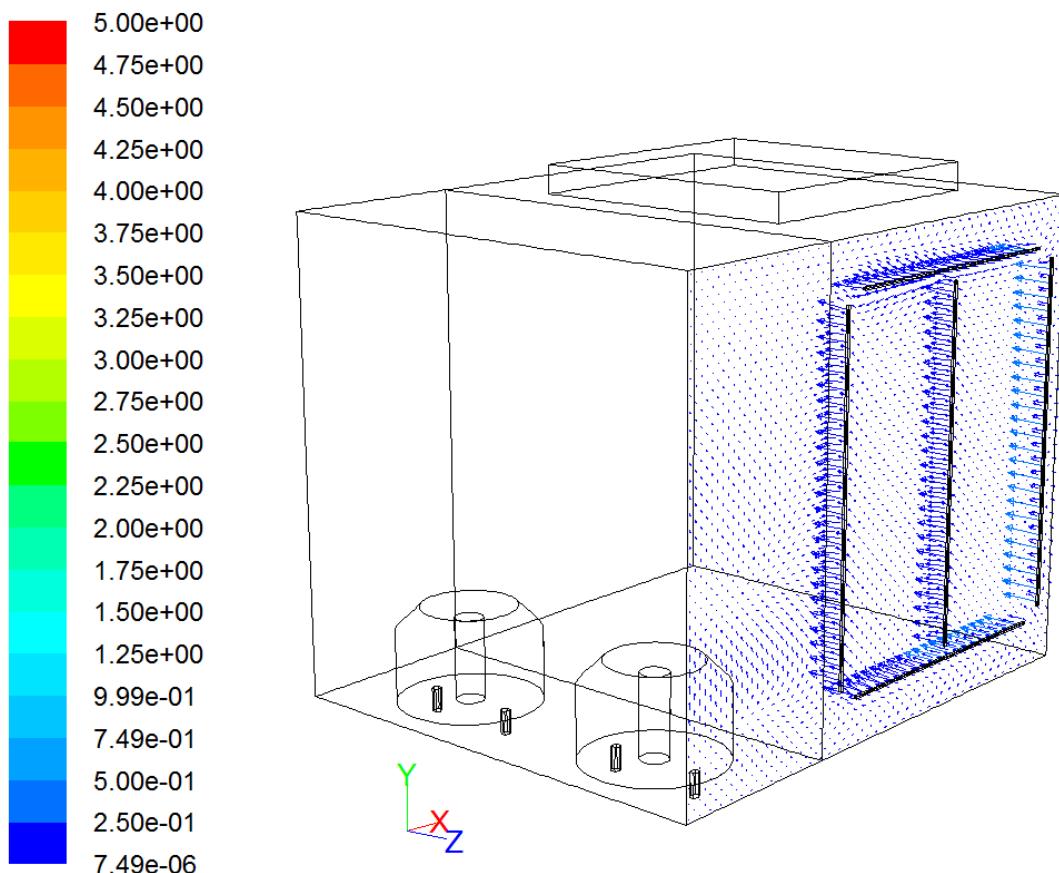


圖 4-35 FFU 風速 0 m/s ，暫態經過 10 分鐘之速度場圖 (D 截面)

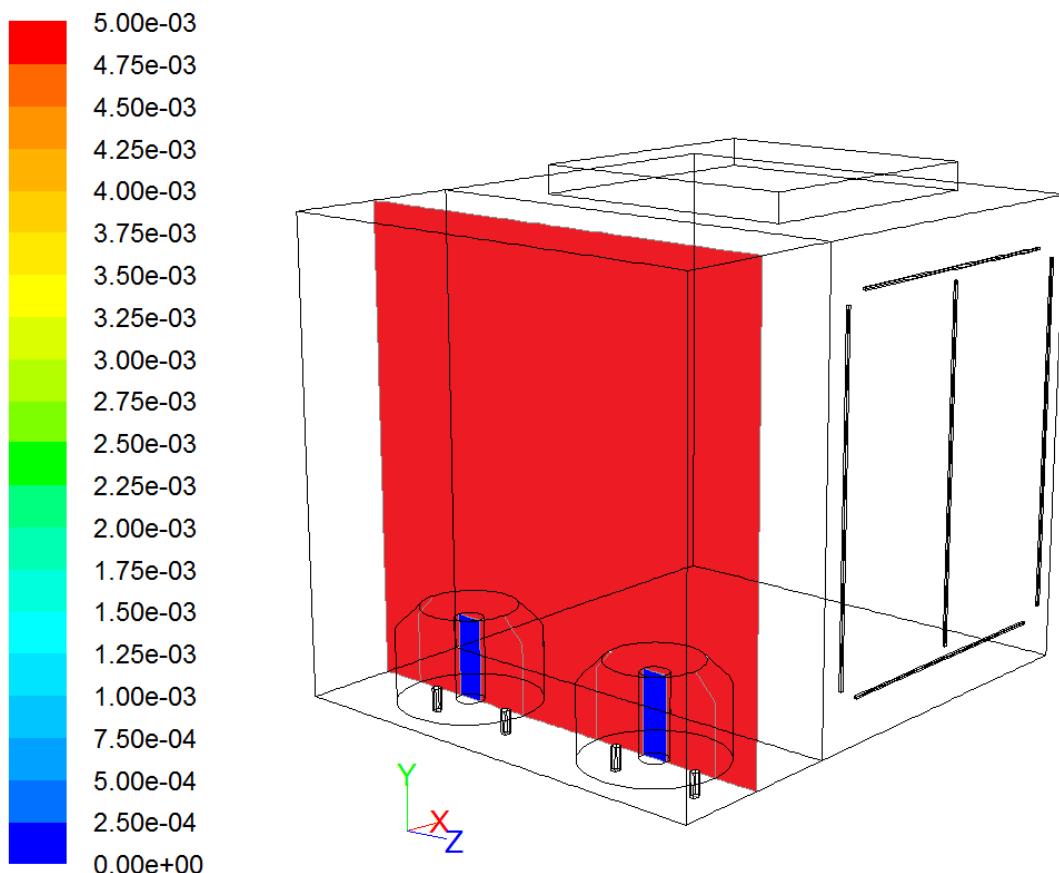


圖 4-36 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)

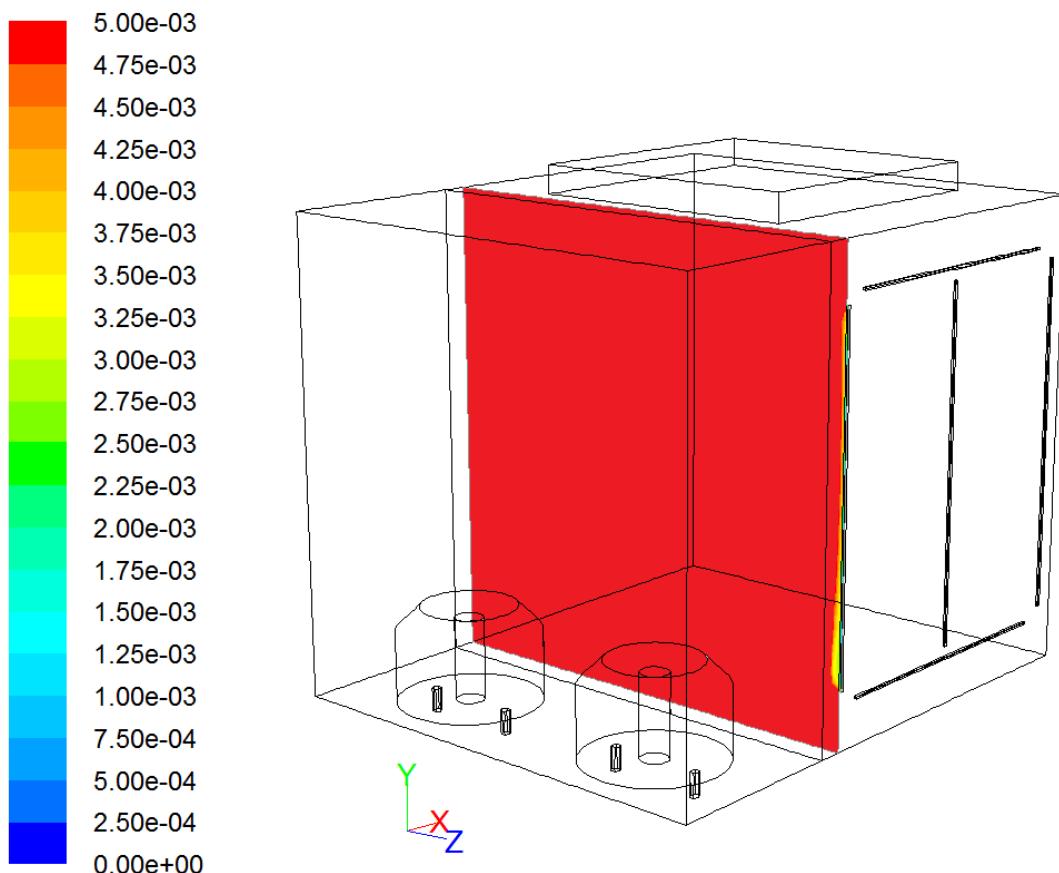


圖 4-37 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

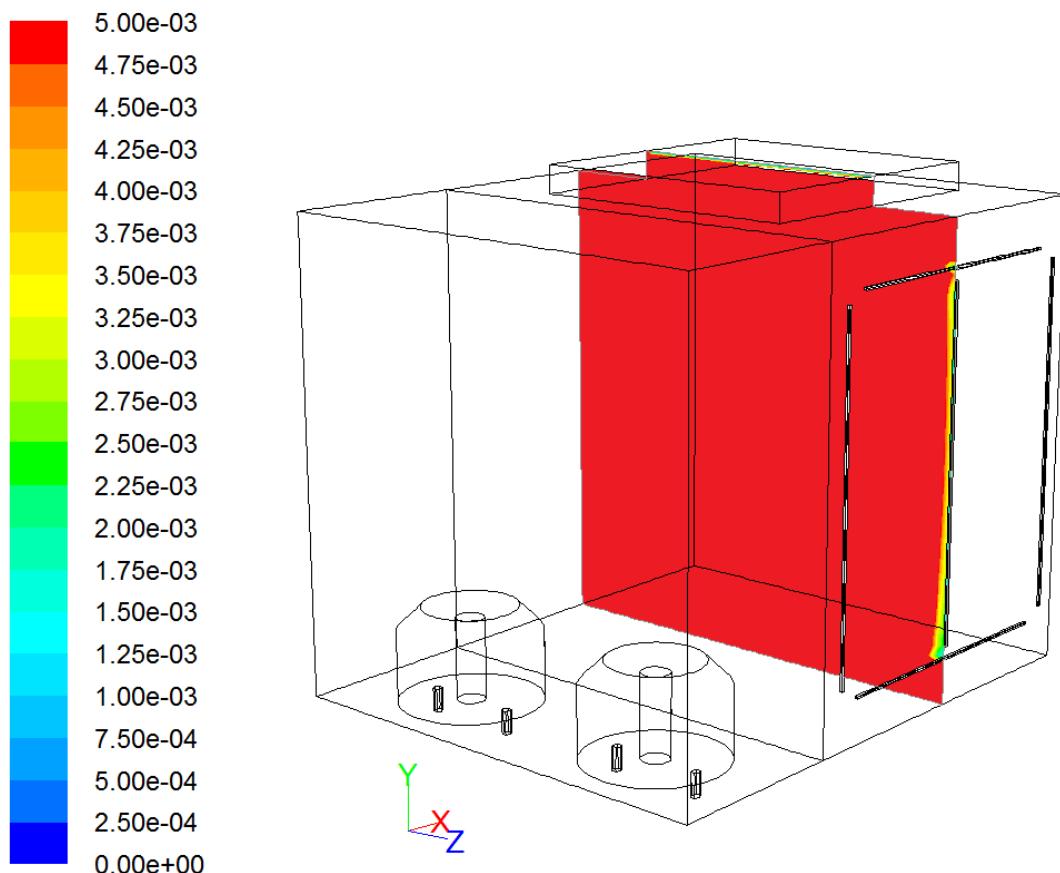


圖 4-38 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

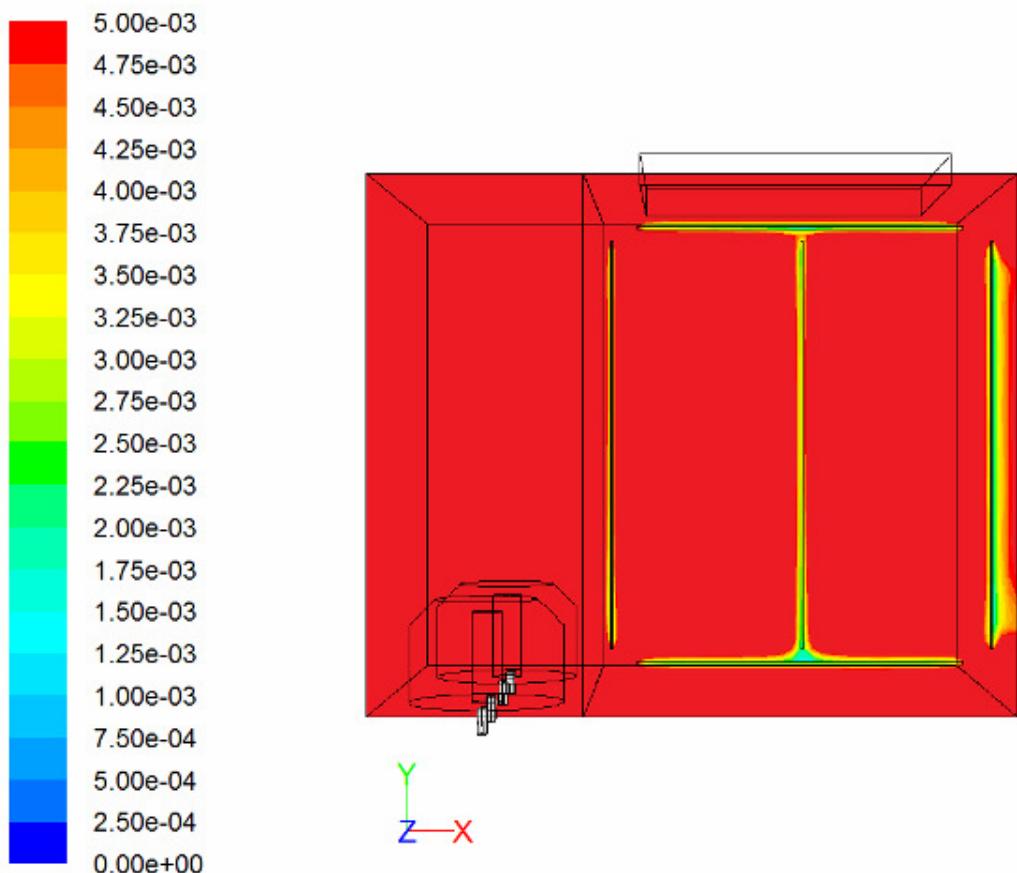


圖 4-39 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

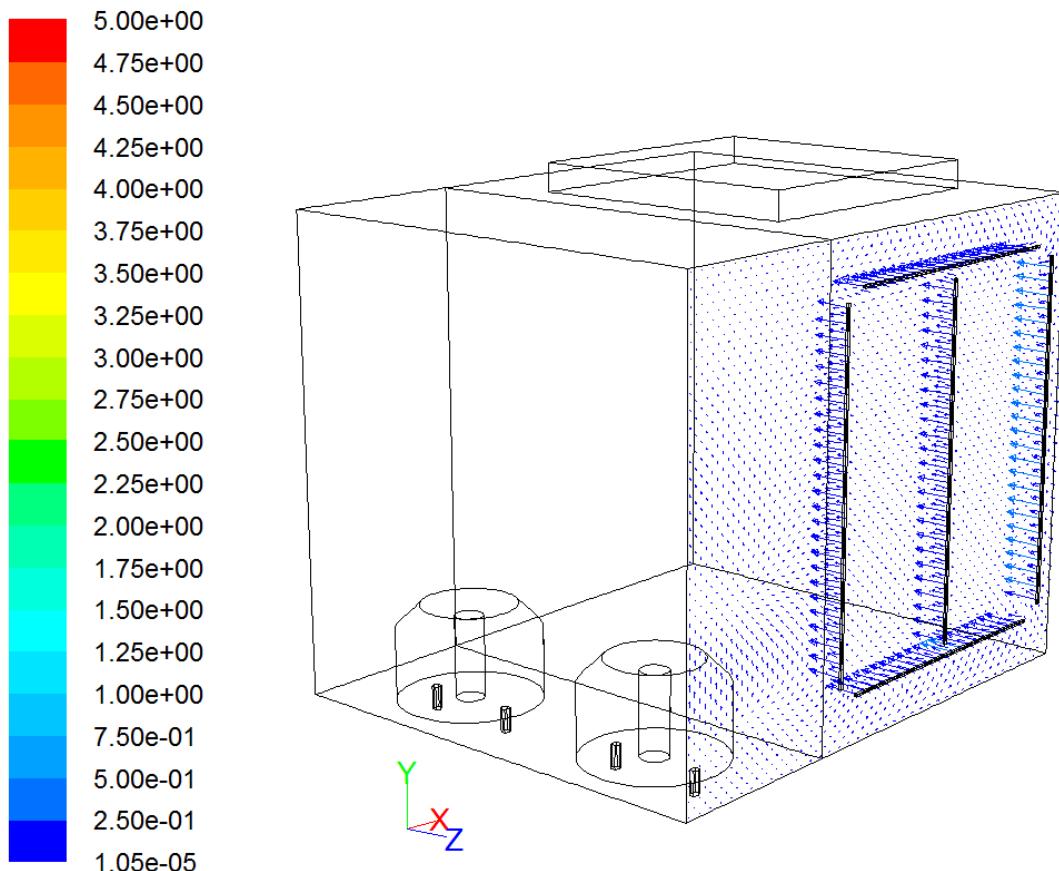


圖 4-40 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 15 分鐘之速度場 (D 截面)

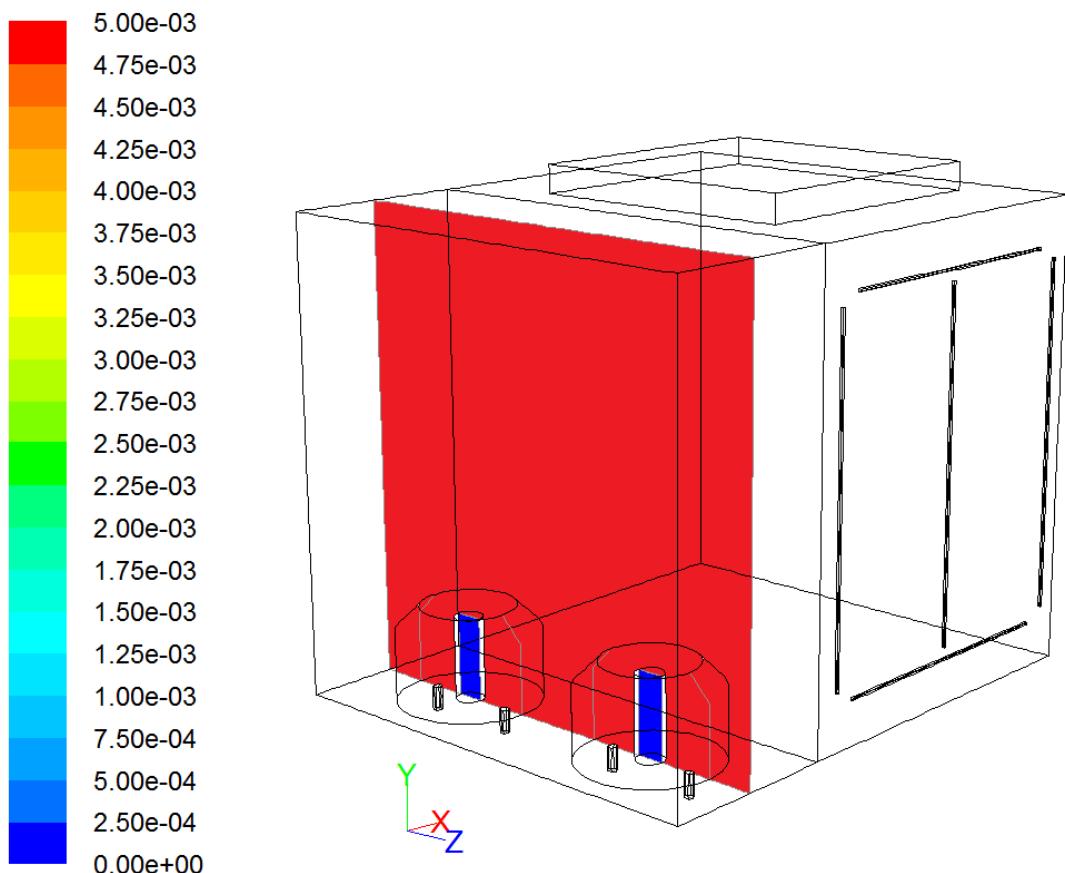


圖 4-41 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (A 截面)

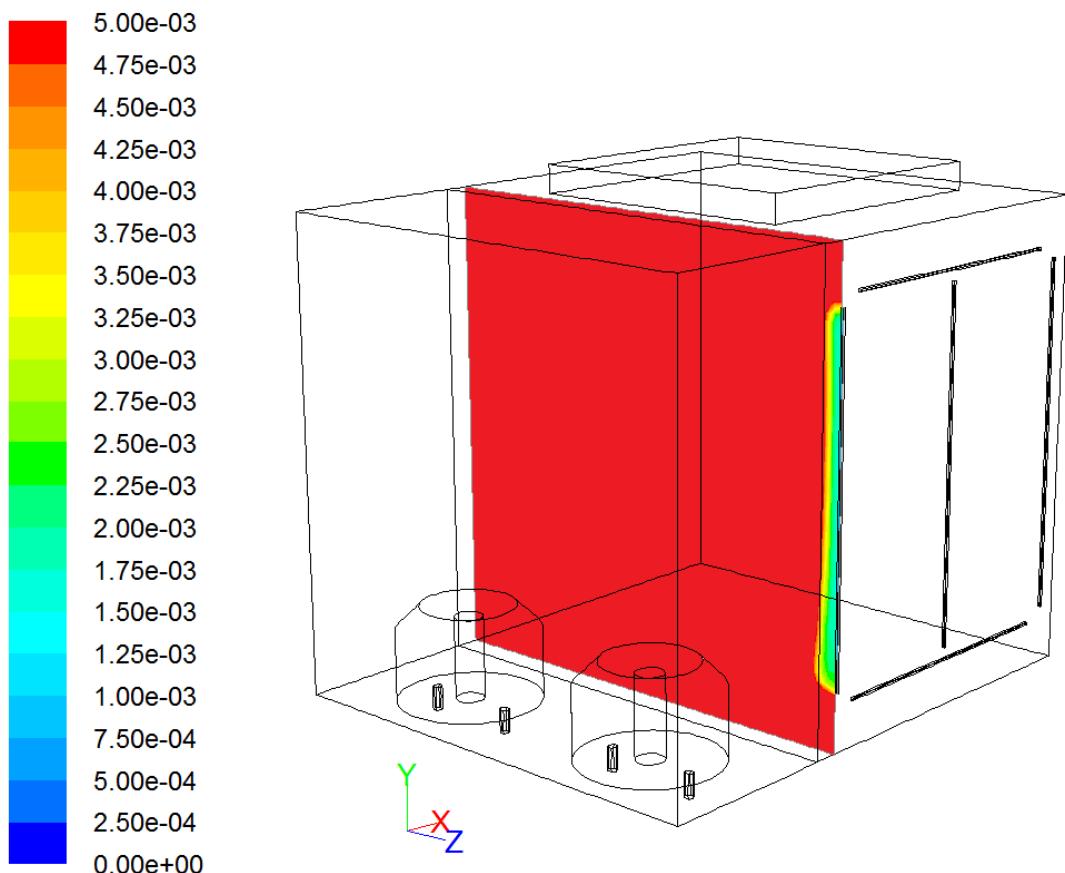


圖 4-42 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (B 截面)

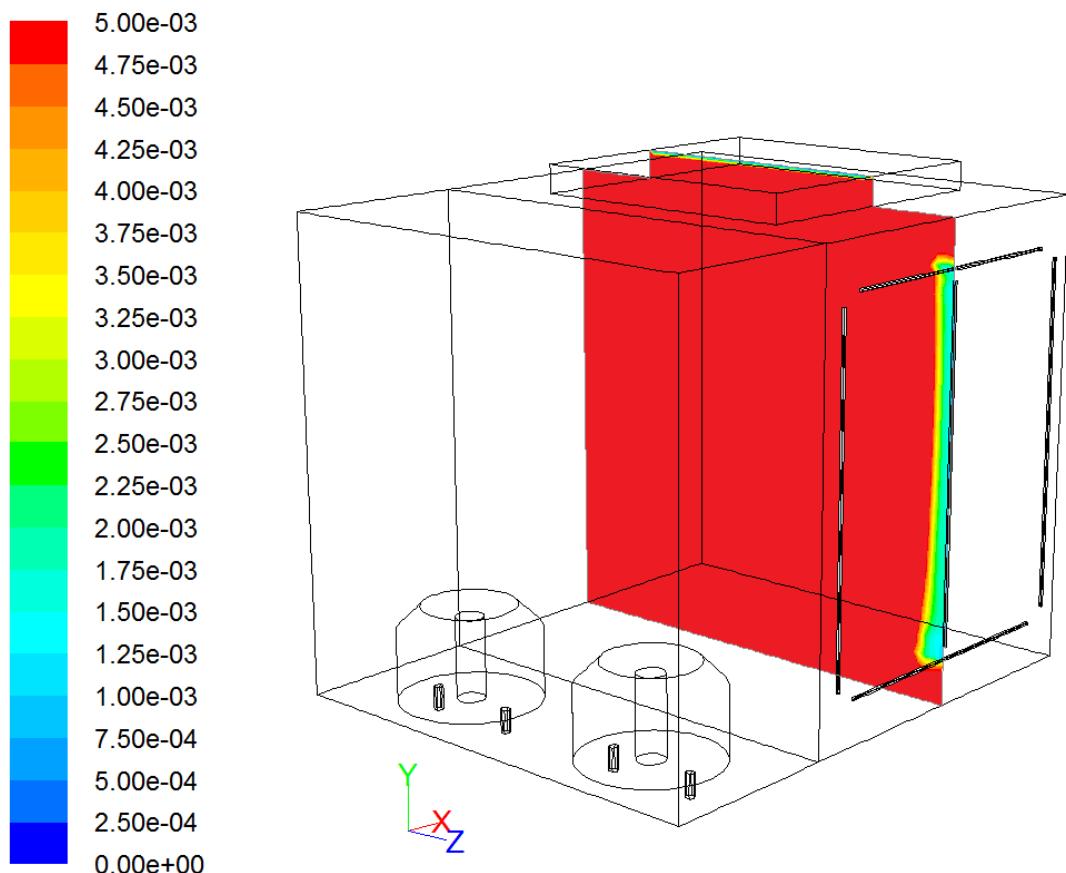


圖 4-43 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (C 截面)

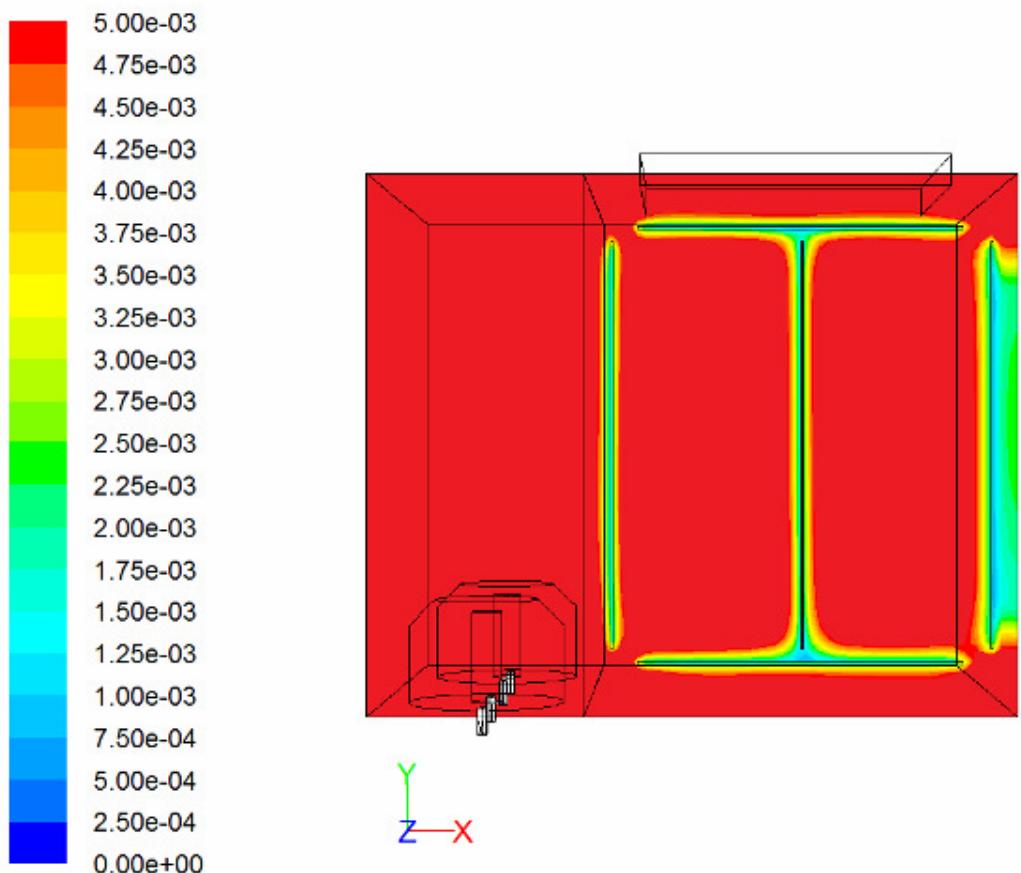


圖 4-44 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之濃度擴散圖 (D 截面)

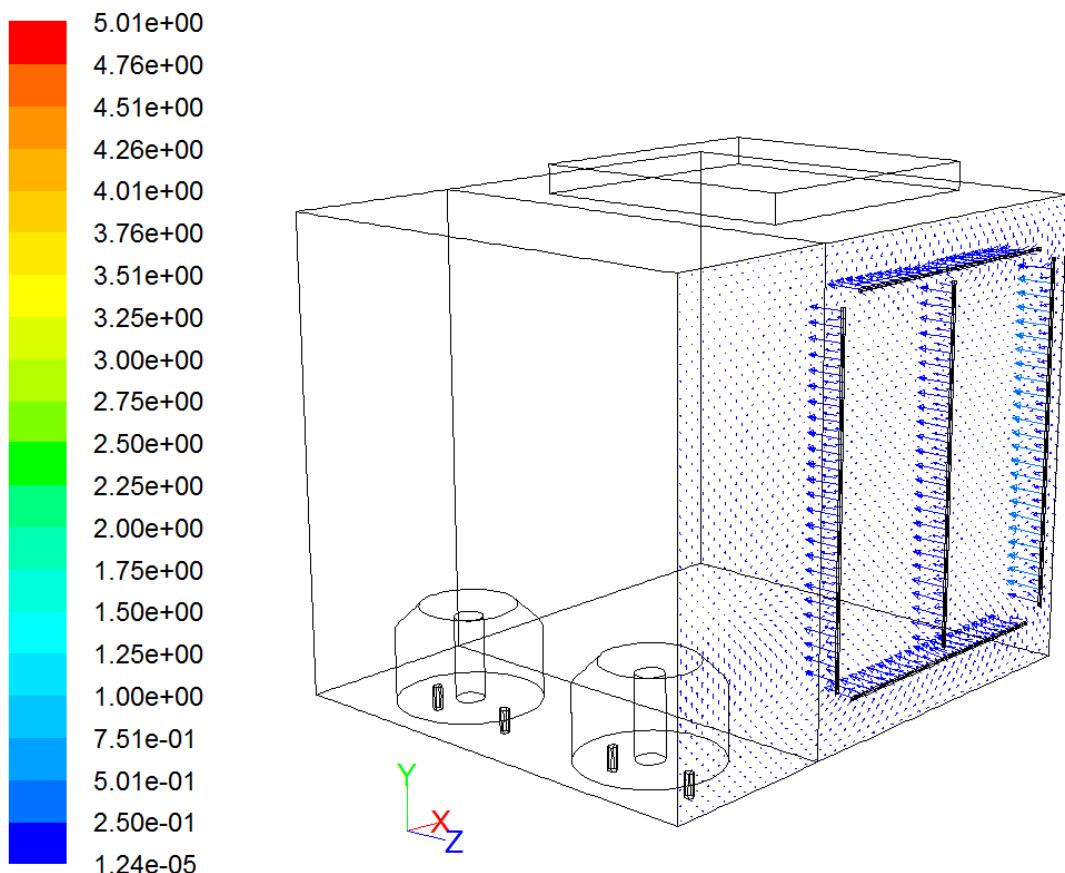


圖 4-45 FFU 風速 0 m/s，暫態經過 20 分鐘之速度場 (D 截面)

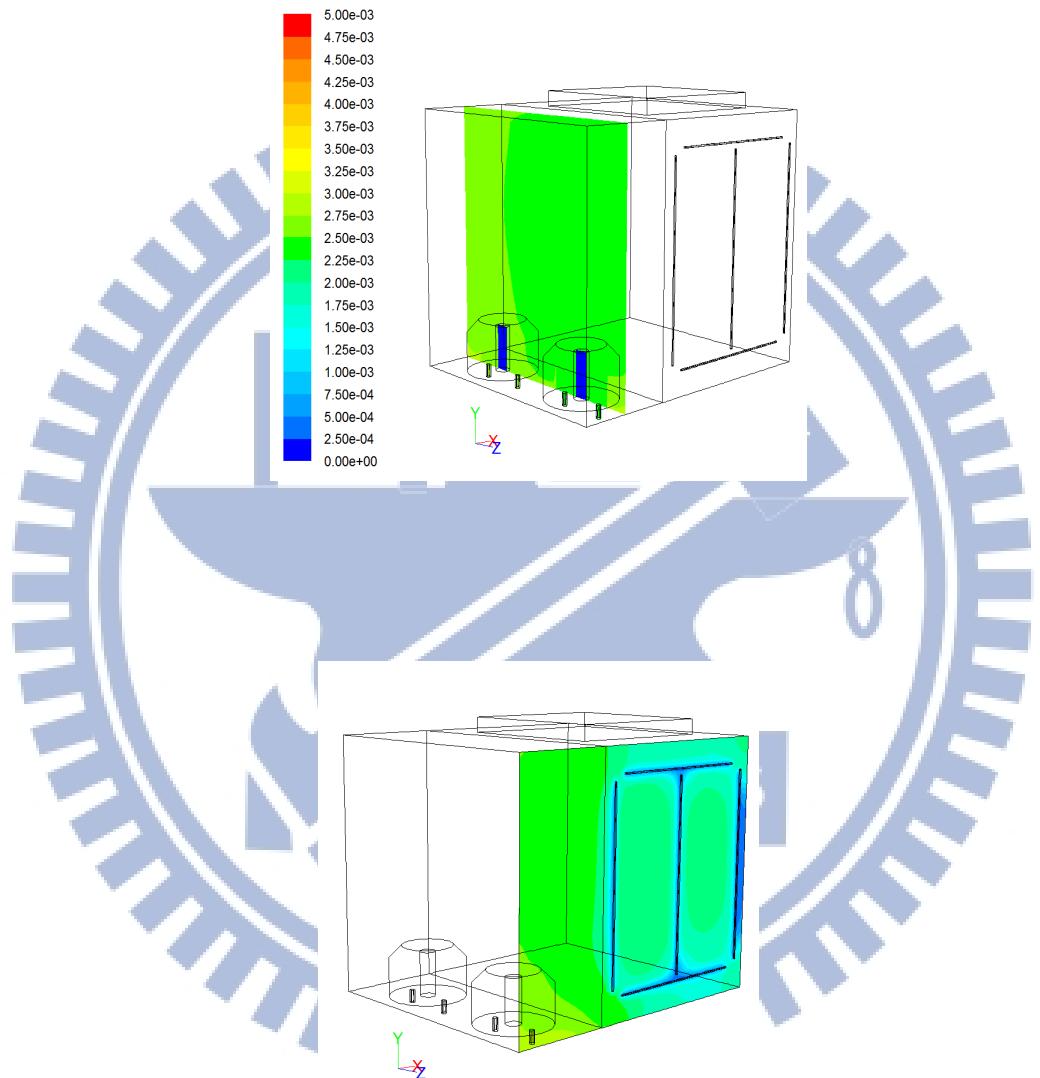


圖 4-46 5 分鐘濃度擴散圖(A、D 截面圖)

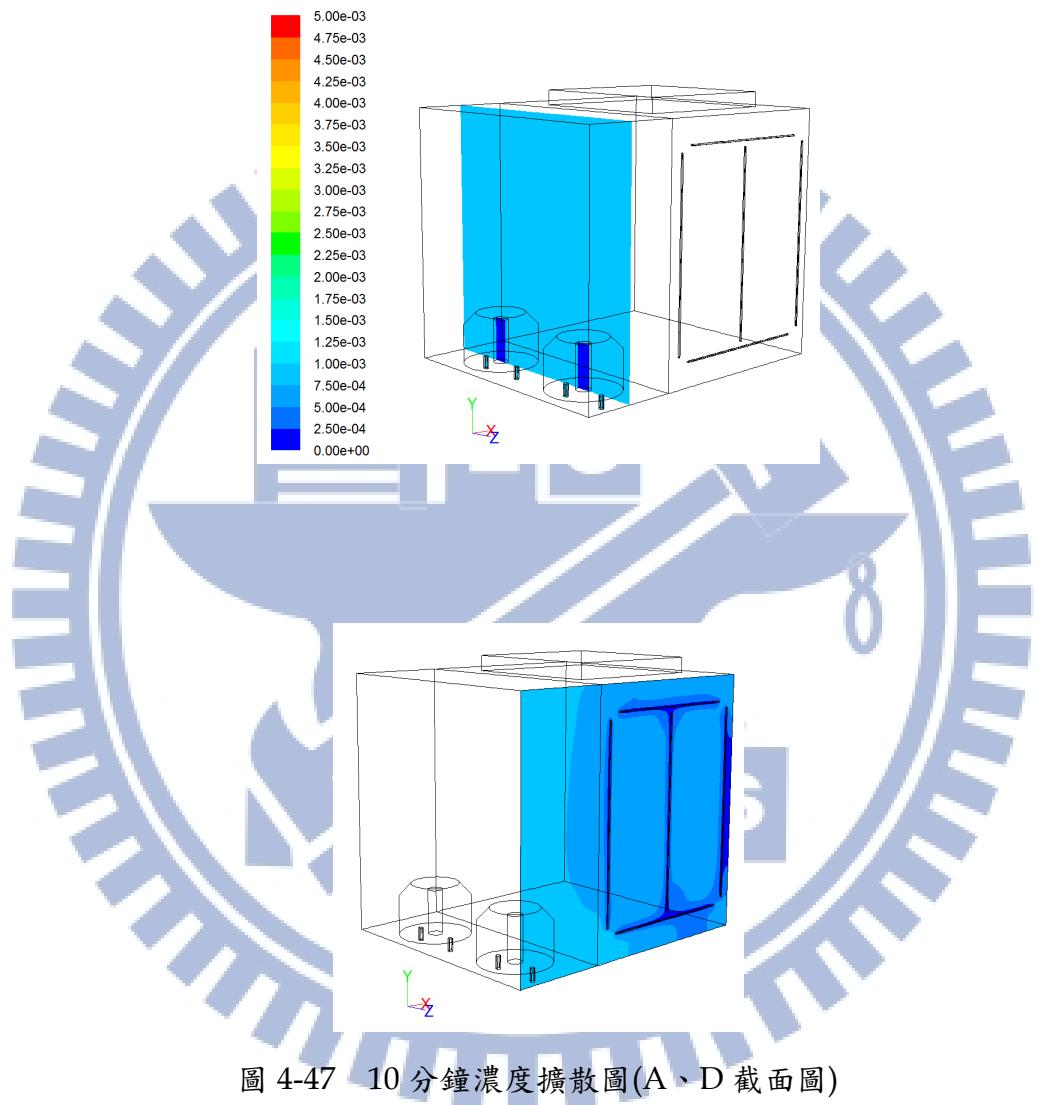


圖 4-47 10 分鐘濃度擴散圖(A、D 截面圖)

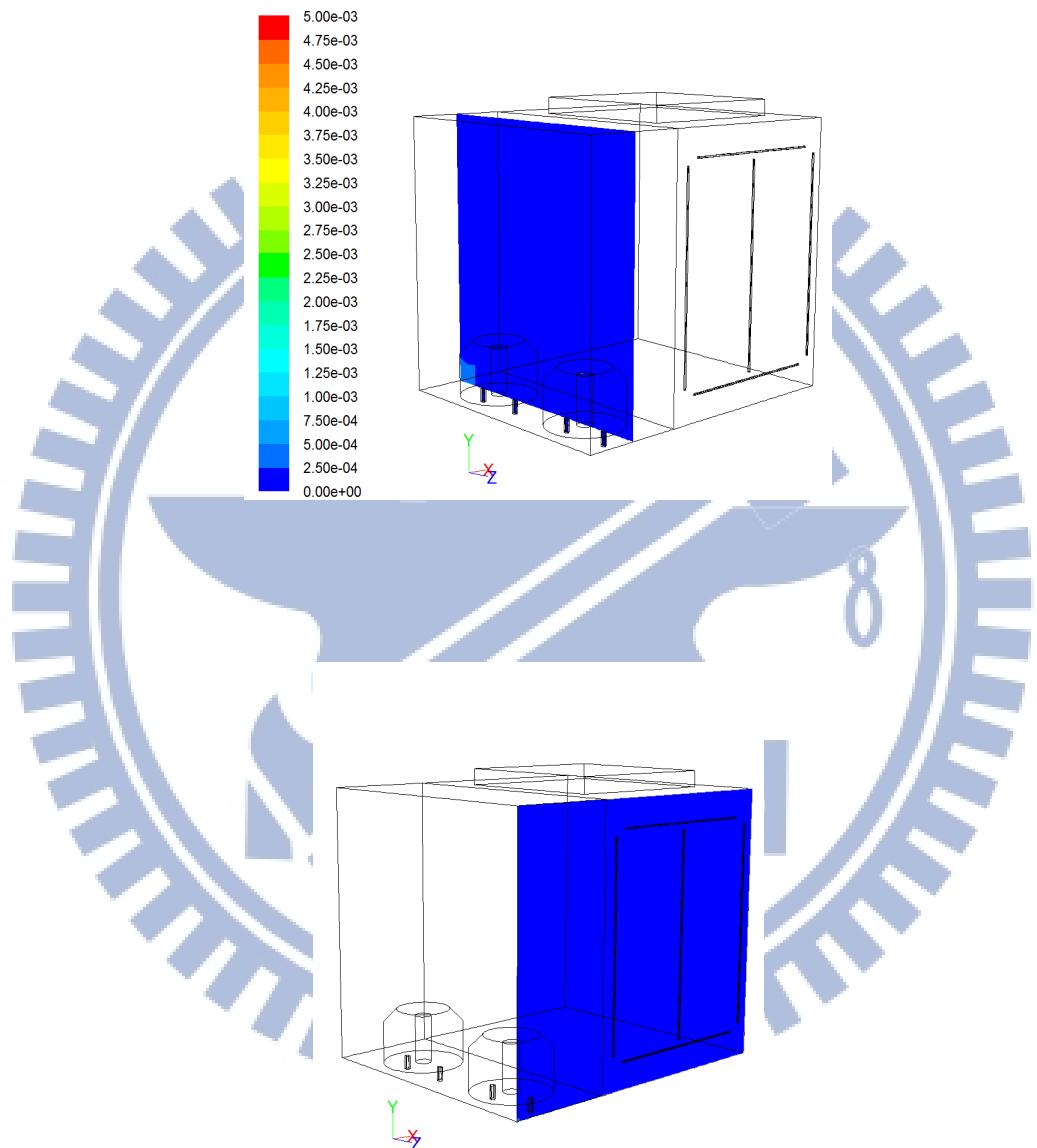


圖 4-48 16 分鐘濃度擴散圖(A、D 截面圖)

第五章 結論與建議

5-1 結論

針對自動上光阻機異味散逸做模擬及分析，從上述結果中可看出，Case 1 中原始設定 FFU 風速 0.6m/s 的狀態下，雖然 FFU 的設計原本是為了抑制氣體擴散，但是氣體擴散乃各方向皆有，並不可能利用 FFU 來完全阻擋，加上由於 FFU 進風量遠大於有機槽抽氣量，藉由質量守恆的理論計算，進而造成在門縫處的速度向量為由內往外送，故會將光阻液異味帶出到外界，造成工作人員的不適。

而在 Case 2 中將 FFU 風速降成 0.1m/s 的情況，同樣的在此送風量依然大於有機氣體抽氣的抽風量，造成門縫間隙處的速度向量仍是向外吹，依然會將光阻液異味帶出到外部空間，故以上兩個 Case 的結果都不盡理想。

Case 3 中將 FFU 停止送風的模擬中，可以看到雖然內部空間的濃度很高，但是因為為了符合質量守恒的理論，僅藉由自動上光阻機內底部的局部排氣設備進行抽風，使得在門縫間隙處的速度向量變成由外部向內部吹，反而不會將機器內的異味帶出到外面，故此設定為較理想的情況。

5-2 建議

在 Case 3 中 FFU 未送風的情況下，雖然異味在塗佈過程中不會溢出，但若在作業結束後要打開門將產品取出時，因內部濃度相當高，恐會造成異味大量跑出，故建議須在完成所有塗佈後，停止光阻液工作等待約 16 分鐘，讓抽氣動作持續進行，將內部的光阻液濃度排出，再取出產品。

針對本次研究解果了解在正常塗佈的狀況時，光阻即可能發生逸散的情形，而在量產狀況下時，可能無法依上述的狀況延長機台的開啟時間，故另外歸納出其他幾項改善建議，避免作業人員於作業時造成吸入光阻的可能。

1. 進行工程控制，設法改進機器上各門縫間的間隙增加氣密性，若能有效封止，即使在 FFU 送風時，光阻液異味亦不會散逸到機台外部。
2. 加大廠務端有機氣體排氣系統的抽氣量。

3. 增加無塵室環境的正壓，使門縫間隙處的流體速度向量變成由外往內，防止異味散出。
4. 加強人員教育訓練了解光阻的危害性，避免機台作業中私自開啟機台門板，降低光阻逸散至機台外部。
5. 將上光阻機台區域之空間隔離或增設氣簾隔離黃光其他區域，並設置獨立抽風進行空間抽排風，降低異味逸散的情形。
6. 提供個人呼吸防護具給予作業人員且確實的穿戴，避免上光阻之作業人員因長時間暴露在黃光區域內作業，唯上述項目的作業改善或工程控制無法達成時，將此作為最後的改善手段。

以上說明僅針對本次研究所提出之建議及看法，但仍必須考慮其他背景因素，例如評估現場機台配置、廠務端的換氣及除害設備抽排氣效能、公司年度的安全衛生經費及設備商設計能力，唯上述狀況都無法達成時才以人員防護做為改善的最後手段，而教育訓練目的為讓該區域從業人員了解在作業過程中會造成之風險，為安全衛生法令上的必需求。

參考文獻

1. Jeff Gruetter 凌力爾特公司市場工程師 中國照明網
<http://www.lightingchina.com/zhuanti/831.html> 2009.05.26
2. 經濟部投資業務-LED 產業分析及投資機會 2008.02
3. 2011-2015 年市場產值 LEDinside 2011.08
4. 集邦科技(TrendForce)http://www.ledinside.com.tw/report_gold201108
5. 環圓光電上半年度作業環境測定報告書 2010.04
6. 環保署講習會講義 Page.7 2008
7. 莊淳元，「運用沸石吸附半導體揮發性有機物丙酮、單甲基醚丙二醇及乙酸甲氧基異丙酯控制技術之評估研究」，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所碩士論文，2002
8. Bruckner JV, Peterson RG Evaluation of toluene and acetone inhalant abuse I. Pharmacology and pharmacodynamics. *Toxicol Appl Pharmacol* 61:27-38. 1981
9. Ann M. Krake, M.S. Robert Malkin, Dr. P.H. HETA Bureau of Engraving, Incorporated Minneapolis, Minnesota 1994