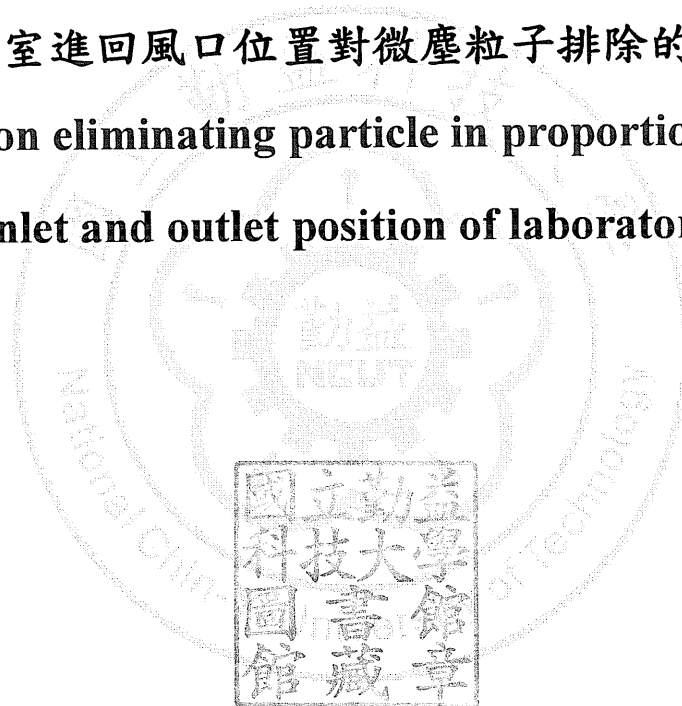


DT  
446.7  
5788  
100  
225327

國立勤益科技大學  
冷凍空調與能源系碩士班  
碩士論文

實驗室進回風口位置對微塵粒子排除的研究

Study on eliminating particle in proportion to air  
inlet and outlet position of laboratory



研究生：賴錫銘

指導教授：宋文沛教授

國立勤益科技大學圖書館



225327

中華民國一百年七月

實驗室進回風口位置對微塵粒子排除的研究

Study on eliminating particle in proportion to air inlet  
and outlet position of laboratory

研究生：賴錫銘

指導教授：宋文沛教授

國立勤益科技大學

冷凍空調與能源系碩士班

碩士論文

A Thesis  
Submitted to

National Chin-Yi University of Technology

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of  
Master of Science

in

Engineering

July 2011

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國一百年七月

國立勤益科技大學  
研究所碩士班  
論文口試委員會審定書

本校 冷凍空調與能源系 碩士班 賴錫銘 君

所提論文 實驗室進回風口位置對微塵粒子排除的研究

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：

董士愷

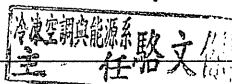
趙有光

字弘

指導教授：

字弘

系（所）主管：



中華民國 100 年 7 月

# 國立勤益科技大學

## 博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學  
冷凍空調系\_\_\_\_\_組 99 學年度第\_\_\_\_學期取得碩士學位之  
論文。

論文題目：實驗室進回風口位置對微塵粒子排除的研究  
指導教授：宋文沛

### ■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方式重製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢索、閱覽、下載及列印。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：

校內區域網路	<input checked="" type="checkbox"/> 立即公開
校外網際網路	<input checked="" type="checkbox"/> 立即公開

授權人：賴錫銘

簽名：\_\_\_\_\_

中華民國 100 年 8 月 31 日

## 摘要

本研究係以數值模擬的方式，探討不同進回風口位置對實驗室內污染物被排除的效果及氣流狀態之影響，與微塵粒徑大小受重力效應影響下在實驗室中的抑制效果、排除效果、淨空時間、與各出風口的排除比例。前者使用之統御方程式包括連續方程式、動量方程式、能量方程式與粒子運動方程式，其紊流模式採用標準  $k-\varepsilon$  紊流模式，統御方程式之對流項採用 upwind 方法解離；後者利用拉格朗日粒子軌跡追蹤法與 CFD 模擬研究。分析結果顯示：當進風口置於靠近門處，可防止污染物大量進入實驗室內，卻無法有效的將原存於實驗室內之污染粒子排除；若進風口置於實驗室中間，雖無法有效抑制污染粒子進入，但可將污染粒子帶至各角落之排風口予以排除；倘進風口遠離門處，則對污染粒子不論是抑制或排除效果皆不理想。另外，送風口位置對不同粒徑大小之微塵粒子的抑制率與移除率的研究結果顯示：送風口以最靠近門處的抑制率為最高，以房間正中央處的排除效果為最好，且送風口位置離門愈遠，其抑制與排除效果有越不明顯的趨勢。後續找出最適當之送風口位置後，繼續對不同粒徑大小之粒子進行分析，結果顯示：粒徑愈大，受重力效應之影響則愈大，較快沉澱到地面上而經由排風口排除，反之則容易受氣流所帶動漂浮在半空中。另外，抑制率與排除率因粒徑大小而有明顯之趨勢。

**關鍵字：**微塵粒子、送風口、排氣口、拉格朗日、抑制與排除效果

## Abstract

The efficiency of restraining particles and particle removal from laboratory, installed air supply and air exhaust in various positions were investigated by numerical method to simulate the flow conditions, accompanied by a Lagrangian particle-tracking method to calculate the trajectories of the particles in the laboratory. Three cases with air supplied from different locations in the laboratory were used to investigate the restraint and removal effects in the study. The equation of continuity, momentum equation, energy equation and particle's equation of motion are considered in governing equation.  $k-\varepsilon$  model is adopted in Turbulence Models. The convection term of governing equation is used upwind method to solve, then, Lagrangian particle-tracking method and CFD simulation method is introduced to simulate all conditions. The analysis results indicate that when air supply is located on the ceiling near the door, the efficiency of restraining particles from entrance of the laboratory is the best of these three cases. Nevertheless, the existing particle removal efficiency of this case can not remove contaminated particles effectively. Although the contaminated particles can not be removed effectively, but they cannot be spread out in laboratory when the air supply is located in the ceiling center of laboratory. If the air supply is located in the distant place of laboratory, the inhibition and elimination efficiency of the contaminated particles are not obvious. Otherwise, the

analysis results of the inhibition and elimination efficiency of the contaminated particles the different outlet positions in proportion to various diameters of particles reveal that the inhibition efficiency of the contaminated particles is the best when outlet is located in the entrance of laboratory and the elimination efficiency of the contaminated particles is the best when outlet is located in the center ceiling of laboratory. Then, the analysis results of the inhibition and elimination efficiency of the various contaminated particles indicate that the bigger diameters of particles are affected by the more gravity, when they settle to ground, they will be discharged by outlet. Contrarily, the smaller particles are easily affected by airflow to float in mid air. The inhibition and elimination efficiency of the various contaminated particles are obviously influenced by size of particles.

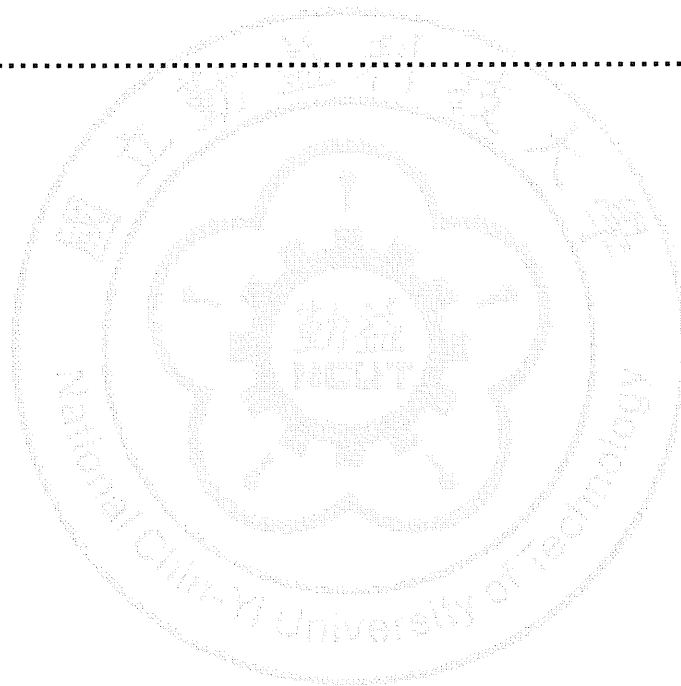
**Keywords:** Particle, Air Supply, Air Exhaust, Lagrangian, Restraint and Removal Effect

# 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
圖目錄.....	VI
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 文獻回顧.....	1
1.3 研究目的.....	2
第二章 物理模式.....	3
2.1 物理模型.....	3
2.2 物理模型使用之假設.....	4
2.3 邊界條件.....	4
第三章 數值方法.....	7
3.1 數值方法.....	7
3.2 網格建立.....	7
第四章 結果與討論.....	8
4.1 進風口靠近門(case1).....	10
4.2 進風口位於中間(case2).....	23



4.3	進風口遠離門(case3).....	38
4.4	不同粒徑粒子的流動狀態.....	42
4.5	不同粒徑大小粒子，對抑制率的影響.....	43
4.6	不同粒徑大小粒子，對移除率的影響.....	45
4.7	各個排風口的移除率.....	46
第五章	結論.....	50
參考文獻	.....	52



## 圖目錄

圖 2.1	研究模型尺寸.....	3
圖 2.2	進排風口位置圖.....	5
圖 2.3	房門開關時序圖.....	6
圖 3.1	空間計算之網格.....	7
圖 4.1	不同進風口之示意圖.....	8
圖 4.2	case1 於 270s 時之速度向量.....	10
圖 4.3	case1 之污染粒子於(I)240s (II)250s (III)260s (IV)270s 之分佈情況.....	11
圖 4.4	case1 於 300s 時之速度向量.....	12
圖 4.5	case1 之污染粒子於(I)270s (II)280s (III)290s (IV)300s 之分佈情況.....	13
圖 4.6	case1 於 360s 時之速度向量.....	14
圖 4.7	case1 之污染粒子於(I)315s (II)330s (III)345s (IV)360s 之分佈情況.....	15
圖 4.8	case1 於 420s 時之速度向量.....	16
圖 4.9	case1 之污染粒子於(I)375s (II)390s (III)405s (IV)420s 之分佈情況.....	17
圖 4.10	case1 於 510s 時之速度向量.....	18

圖 4.11	case1 之污染粒子於(I)435s(II)450s(III)465s (IV)480s (V)495s(VI)510s 之分佈情況.....	19
圖 4.12	case1 於 600s 時之速度向量.....	20
圖 4.13	case1 之污染粒子於(I)525s (II)540s (III)555s (IV)570s (V)585s(VI)600s 之分佈情況.....	21
圖 4.14	case2 於 270s 時之速度向量 .....	23
圖 4.15	case2 之污染粒子於(I)240s (II)250s (III)260s (IV)270s 之分佈情況 .....	25
圖 4.16	case2 於 300s 時之速度向量 .....	26
圖 4.17	case2 之污染粒子於(I)270s (II)280s (III)290s (IV)300s 之分佈情況 .....	27
圖 4.18	case2 於 360s 時之速度向量 .....	28
圖 4.19	case2 之污染粒子於(I)315s (II)330s (III)345s (IV)360s 之分佈情況 .....	29
圖 4.20	case2 於 420s 時之速度向量 .....	30
圖 4.21	case2 之污染粒子於(I)375s (II)390s (III)405s (IV)420s 之分佈情況 .....	31
圖 4.22	case2 於 510s 時之速度向量 .....	32
圖 4.23	case2 之污染粒子於(I)435s(II)450s(III)465s	

	(IV)480s (V)495s(VI)510s 之分佈情況.....	34
圖 4.24	case2 於 600s 時之速度向量 .....	35
圖 4.25	case2 之污染粒子於(I)525s (II)540s (III)555s (IV)570s (V)585s(VI)600s 之分佈情況.....	37
圖 4.26	case3 於 270s 時之速度向量 .....	38
圖 4.27	case3 之污染粒子於(I)240s (II)250s (III)260s (IV)270s 之分佈情況 .....	39
圖 4.28	case3 之污染粒子於(I)300s (II)360s (III)420s (IV)510s (V)600s 之分佈情況 .....	41
圖 4.29	門關閉時粒子的散佈狀況與氣流狀態 .....	42
圖 4.30	門開啟時粒子的散佈狀況與氣流狀態 .....	43
圖 4.31	不同粒徑大小粒子之抑制率 .....	44
圖 4.32	不同粒徑大小粒子之移除率 .....	46
圖 4.33	600 秒後不同大小粒子在各排風口之移除率 .....	47
圖 4.34	不同粒徑大小粒子之淨空時間.....	48
圖 4.35	研究空間淨空後各排風口總移除率 .....	49

## 表目錄

表 1	case 1 粒子統計表.....	22
表 2	case 2 粒子統計表.....	37
表 3	case 3 粒子統計表.....	41
表 4	不同粒徑大小粒子之抑制率.....	44
表 5	不同粒徑大小粒子之移除率.....	45
表 6	600 秒後不同粒徑大小粒子在各排風口的移除率.....	47
表 7	不同粒徑大小的淨空時間與 600 秒後 剩餘粒子之排除狀態.....	48
表 8	不同粒徑大小粒子淨空後在各排風口之總移除率.....	49

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

近年來，強調以奈米技術製造的生活用品、生物科技產品及高科技產業如半導體、航太、光電、精密製造業，對其產品精度的要求越來越嚴格。因此，在這些產品的作業環境——無塵室中，對各種污染量的控制要求也越來越高。雖然，一般實驗室通風的需求可能沒有無塵室所要求的等級來的高，但設計分析的技術卻是相同的。實驗室的通風關係到實驗結果的準確度，適當的通風換氣，有助於實驗室內有效地降低內部污染粒子的含量。同時，因開門時也會帶進污染粒子，因此如何藉由不同的通風位置來抑制污染粒子進入實驗室，也就益形重要。實驗室內會產生的污染源，如微機電實驗室製程中所產生的微小顆粒、空調設備通風時所帶進的塵埃、生物實驗時可能洩漏的落菌等，若積存於作業環境的空氣中，對人體會產生直接的傷害，也會造成實驗設備的損壞及影響實驗準確度。因此，實驗室進風回風口位置的選擇將影響室內空氣品質的良窳。

## 1.2 文獻回顧

有關以通風來排除污染物方面的研究包括，Hua Qian 等人[1]探討利用垂直進風系統，設計不同進風與排風位置，排除雙病床病房中病人呼出之污染粒子；Bin Zhao 等人[2-3]探討影響污染粒子於室內

環境擴散情況的相關要素，並針對污染粒子於個人化通風房的排除進行模擬；Farhad Memarzadeh 等人[4]探討醫院隔離病房中，污染粒子在不同換氣量下的排除情形；邱正吉[5]探討單人負壓隔離病房人員走動與病房門開啟時，室內瞬間失壓對房內氣流造成的影響；Ooi Yongson 等人[6]則針對空調空間之氣流進行分析；Xu Jie 等人[7]探討不同污染源對污染粒子濃度影響；T.T. Chow 等人[8]探討手術房由正壓轉變為負壓時的情況；N.P. Gao 等人[9]除了研究污染粒子的擴散，並探討污染粒子於室內空間沉積之情況；Z. Zhang 等人[10]亦利用垂直進風系統，探討污染粒子之散佈情形。

### 1.3 研究目的

本研究係以一通用之負壓空間進行模擬研究，一般進行污染粒子模擬之研究，大多使用氣體濃度代替實際粒子，雖然大部分研究之結果與實際情形並無太大誤差，但卻無法針對不同材質之污染粒子，或不同大小之污染粒子進行模擬，而上述兩項參數，勢必影響模擬結果。本研究雖無探討不同大小材質之污染粒子之排除情形，卻也針對實際粒子物理性質進行模擬，用以探討進回風口位置對實驗室污染物排除的影響，以求能夠得到更加準確之結果。

## 第二章 物理模式

### 2.1 物理模型

本研究之負壓模型含前室及研究空間兩部份，前室尺寸為長 4m、寬 5m、高 5m；研究空間尺寸為長 6m、寬 5m、高 5m；門寬為 1m、高 2.2m，如圖 2.1 所示。

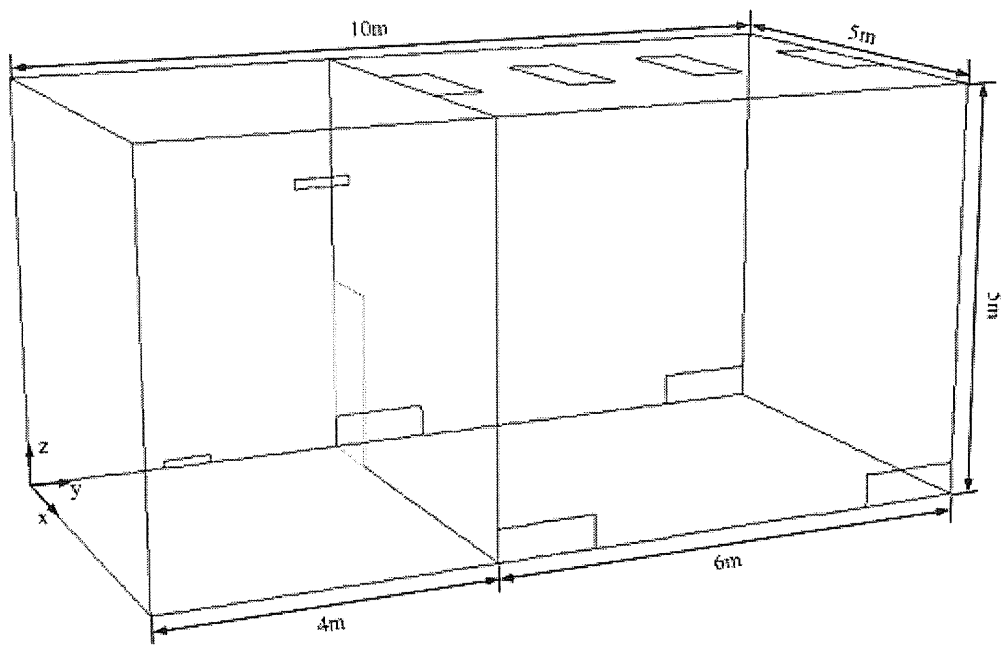


圖 2.1 研究模型尺寸

本研究釋放之氣體為一般空氣，並以釋放粒子的方式模擬污染粒子的散佈。空氣之物理性質：密度為  $1.225 \text{ kg/m}^3$ ，黏滯係數為  $1.789 \times 10^{-5}$



kg/m-s。粒子之物理性質：直徑為  $10\ \mu\text{m}$ ，密度為  $1550\text{kg/m}^3$ 。

本研究之換氣量依據國內外負壓隔離病房的相關規範，將其定為 12ACH(air change per hour)，且僅考慮進風口位置此單一變數。

## 2.2 物理模型使用之假設

1. 流體為不可壓縮流。
2. 不考慮溫度場及浮力效應。由於本模擬空間釋放之氣體為固定溫度，且無其他熱源或低溫產生，因此將浮力效應忽略，但仍考慮重力。
3. 假設前室及模擬空間之所有設備對房內氣流影響不大，故將其忽略不計。
4. 假設前室與房間門口的密閉性高，門關閉時不會有壓力洩漏問題。
5. 假設微粒子的密度均相同為  $1550\text{kg/m}^3$ 。

## 2.3 邊界條件

1. 若研究空間之 inlet 面積為  $1.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ ，換氣量為 12ACH 時，風速設定為  $0.54\text{m/s}$ 。
2. 若前室之 inlet 面積為  $0.6\text{m} \times 0.1\text{m}$ ，則風速設為一般空調設備

之風速，即 0.5m/s。

3. 各排風口使用之邊界條件為 pressure-outlet，前室之 outlet 設定之表壓力為 0pa，研究空間之 outlet 設定之表壓力為-15pa，藉此製造壓力差。
4. 污染粒子由前室之 inlet 釋放，無初始速度，質量流率設為  $6e^{-13}\text{kg/s}$ 。
5. 房門以邊界條件 wall 以及 interior 來模擬開關門。
6. 各壁面為 no-slip 固定邊界。

圖 2.2 為 inlet、outlet 與 door 的位置，箭頭方向表示出風方向。

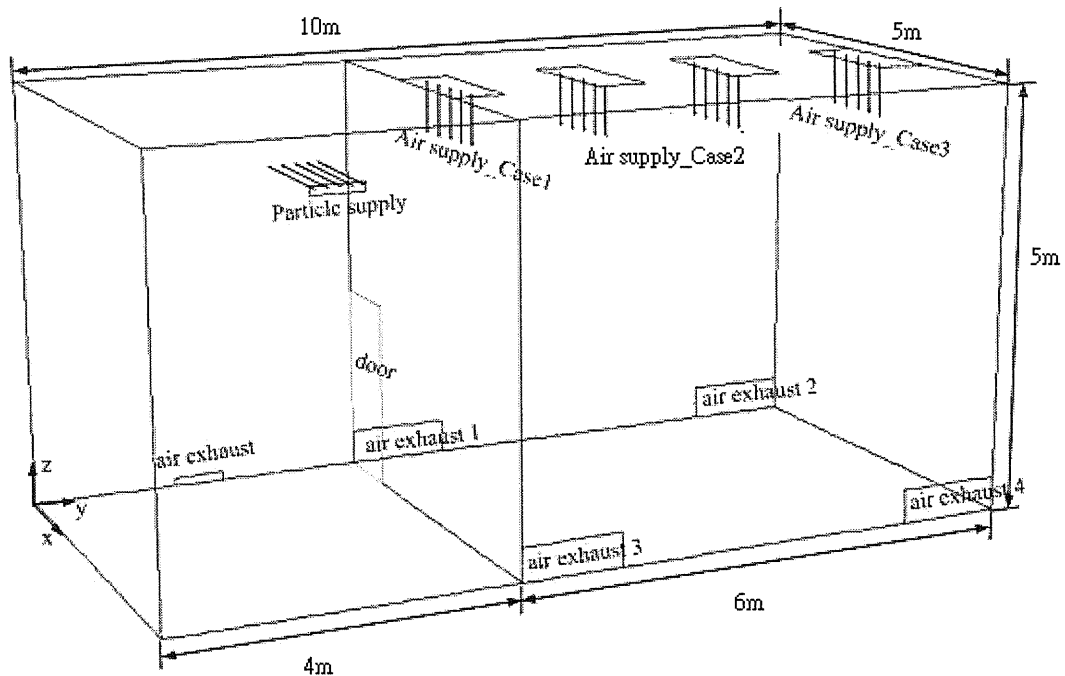


圖 2.2 進排風口位置圖

房門開關之時序圖如圖 2.3，前室之粒子散佈 240s 後，房門開啟，270s 關閉，300s 開啟，此後進行 60s 之開、關與 90s 之開、關門動作。

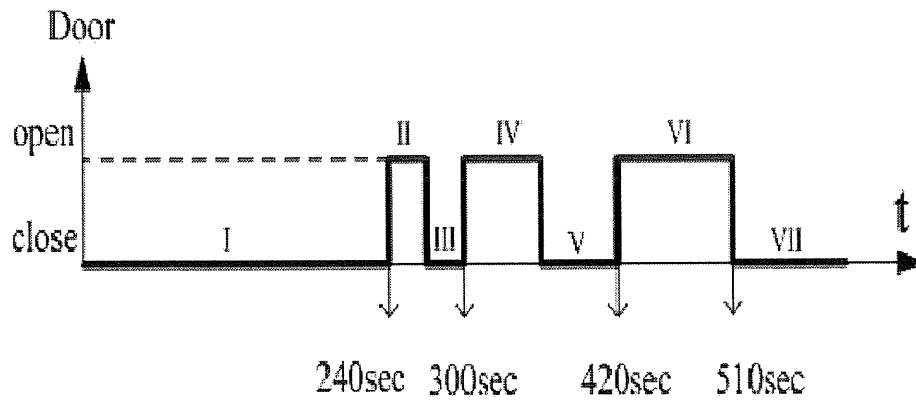


圖 2.3 房門開關時序圖



## 第三章 數值方法

### 3.1 數值方法

本研究使用套裝軟體 FLUENT[11]進行模擬，FLUENT 為一有限體積法(finite-volume method)的 CFD 軟體，方程式的對流項以 upwind difference method 加以解離。雖然，upwind method 的準確度較不足，但數值穩定性佳，準確性問題可由較多的網格數與較小的網格來彌補。

### 3.2 網格建立

本研究之模型使用 gambit 內建之程式建構，以點、線的方式逐步建構幾何外型，並建構結構性網格，總網格數為 25 萬個，如圖 3.1。

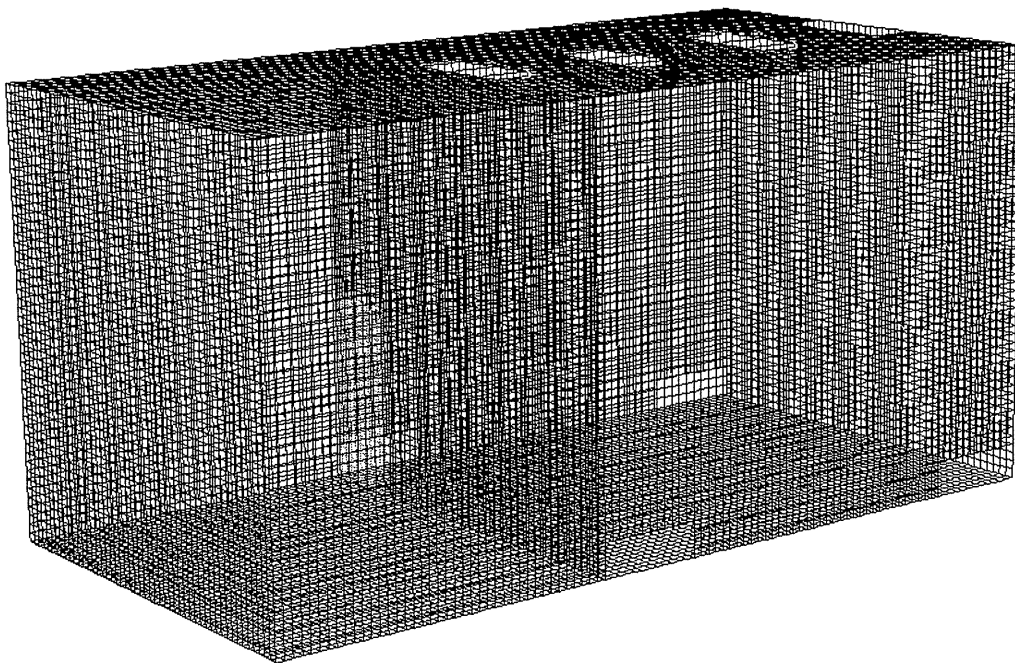


圖 3.1 空間計算之網格

## 第四章 結果與討論

本研究藉由進風口之位置變化及一定的開關門次數，探討污染粒子進入實驗室內及實驗室內之污染粒子被排除的情況。

圖 4.1 為四種不同進風口之示意圖。

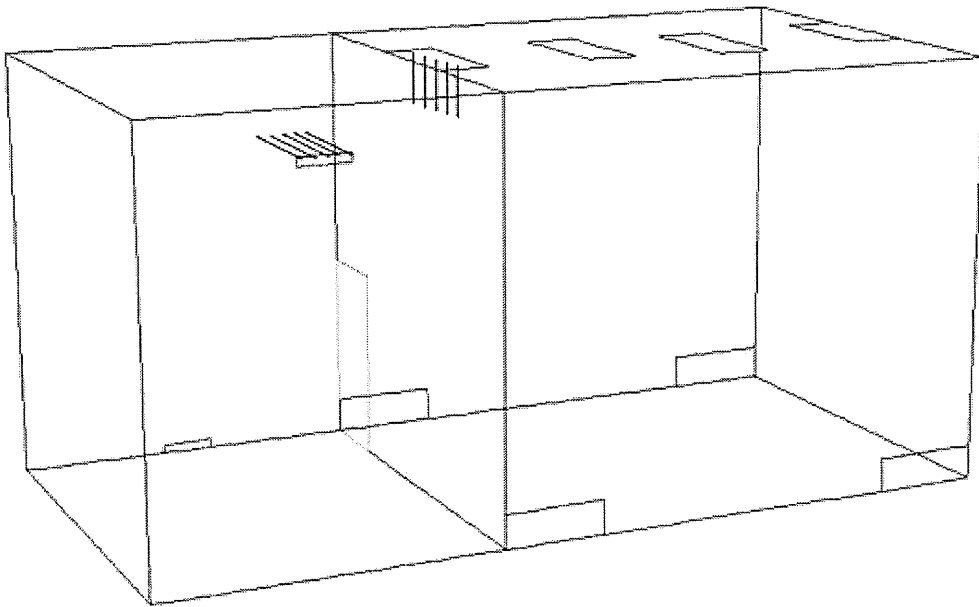


圖 4.1a 進風口靠近門(case1)

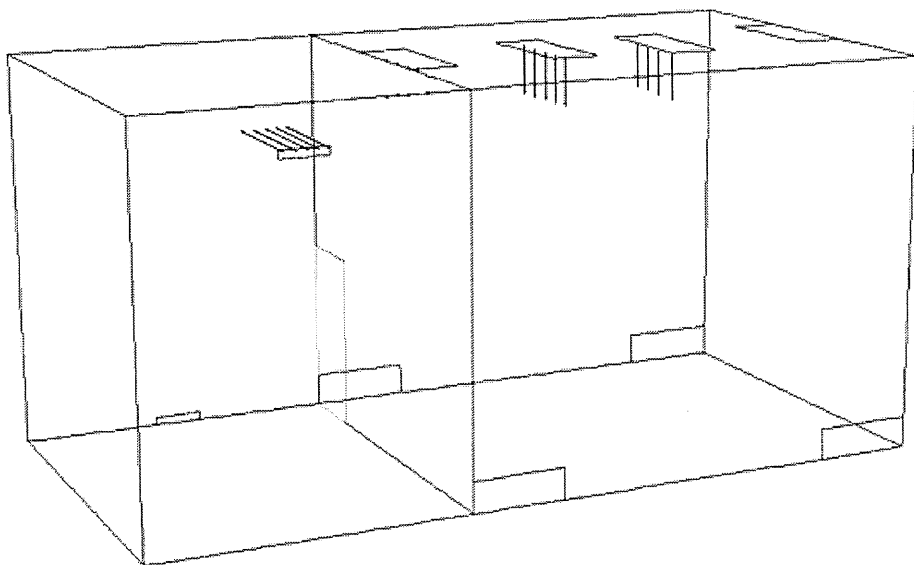


圖 4.1b 進風口位於中間(case2)

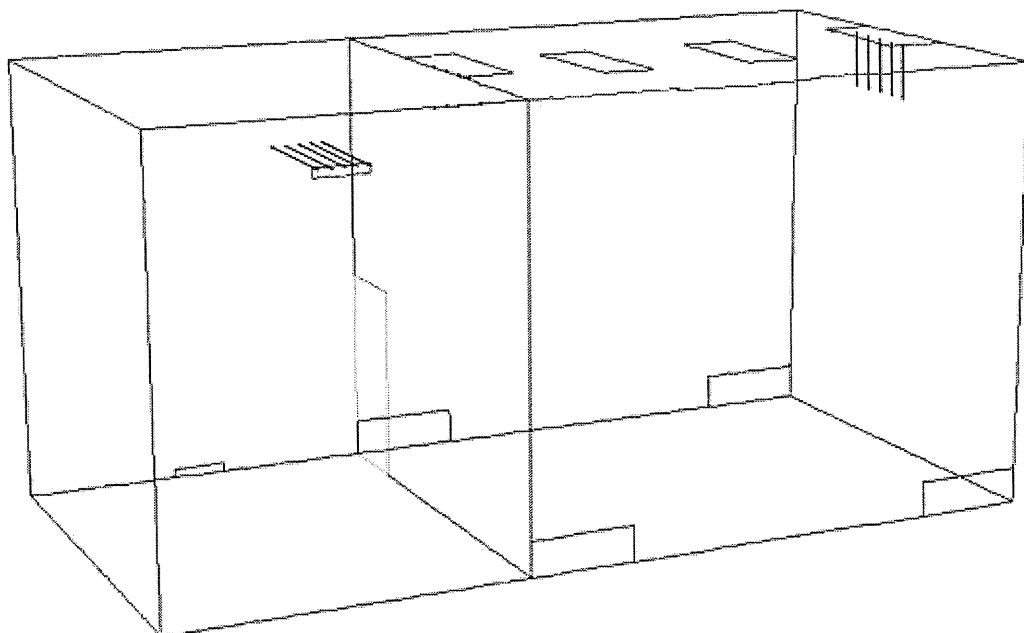


圖 4.1c 進風口遠離門(case3)

#### 4.1 進風口靠近門(case1)

圖 4.2 為 case 1 於 240s 之後，將門開啟經過 30s 時，門口附近之速度向量。原先預期此進風口位置應可形成一空氣簾，並有效的阻隔污染粒子進入，但圖 4.2a 顯示，門口附近之速度向量大多沒有直接進入排風口，而是繼續往空間深處移動，且由圖 4.2b 發現，進入空間深處後速度向量有往中間移動的趨勢。

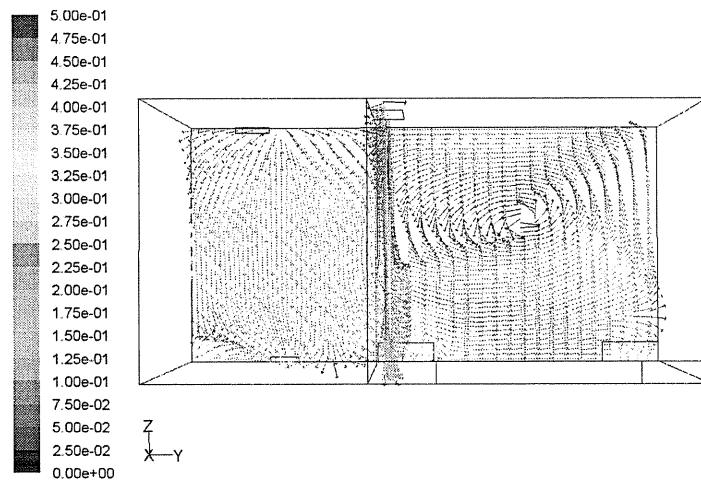


圖 4.2a case1 於 270s 時,  $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

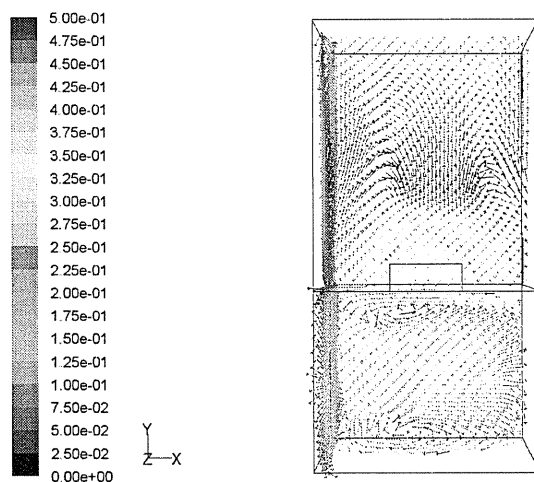


圖 4.2b case1 於 270s 時,  $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

在此階段，粒子分佈情形，可由圖 4.3 觀察。污染粒子於門開啟的時間內確實依循速度向量移動，且當污染粒子被帶至後方時，會逐漸往中間移動，造成污染粒子擴散。

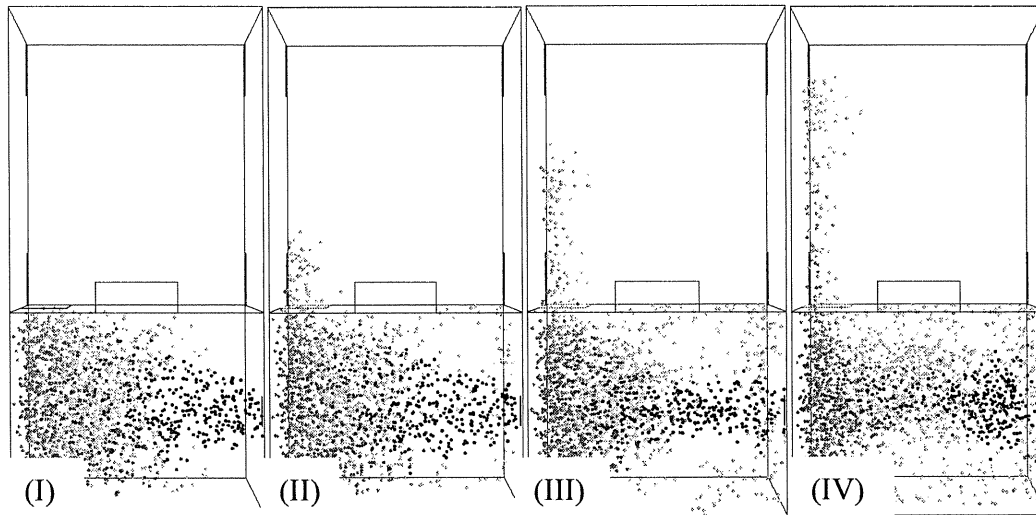


圖 4.3 case1 之污染粒子於  
(I)240s (II)250s (III)260s (IV)270s 之分佈情況

240s 至 270s 間，通過門之污染粒子數為 238 顆，僅經由 outlet 1 排除 104 顆(本文所計算之粒子數為模擬軟體中所顯示之粒子數)，約佔該時段內空間中粒子總數之 43.70%。



270s 至 300s 間，關門時之速度向量，如圖 4.4。

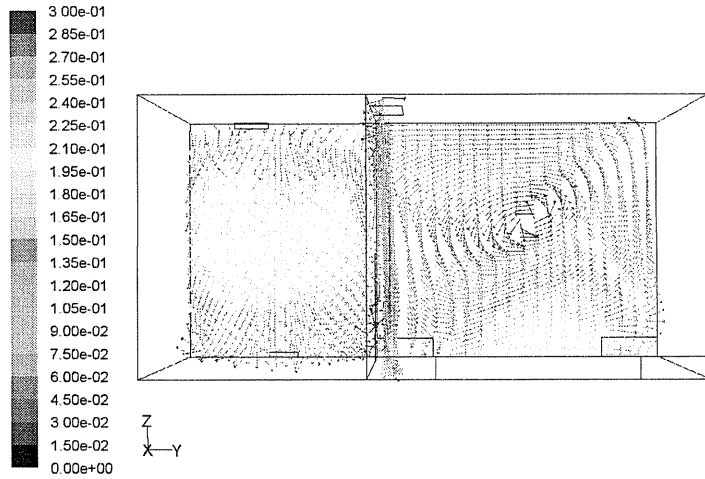


圖 4.4a case1 於 300s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

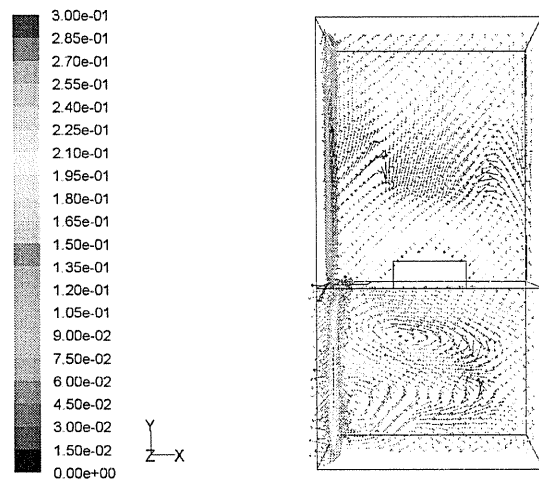


圖 4.4b case1 於 300s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

由於關門後房間內的速度向量不受門口進風影響，所以通過 outlet 1 之速度向量變多。但在 270s 至 300s 之間，因進風口位置所造成之流動，將污染粒子帶至空間高處，使得此時間區段內，大部份之污染粒子無法由排風口排出。

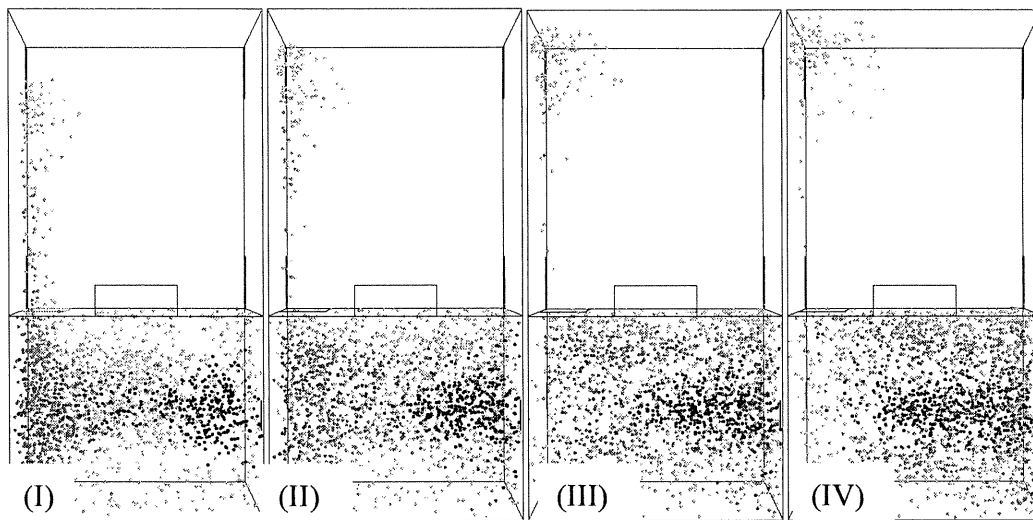


圖 4.5 case1 之污染粒子於  
(I)270s (II)280s (III)290s (IV)300s 之分佈情況

此時間區段內，由於污染粒子幾乎被帶往高處，使得排出之污染粒子相當少。在此時間區段內，上一時段殘餘於空間中的粒子數為 134 顆，由 outlet 1 及 outlet 2 所排除之粒子數分別為 10 個與 9 個，僅排除該時段空間中粒子數之 14.18%，相較於上一個時間區間排除效率大幅降低。

300s 至 360s 間，開門時之速度向量，如圖 4.6。

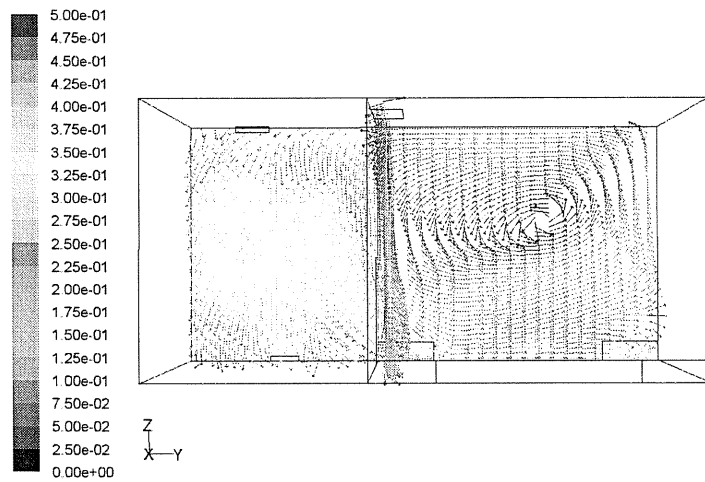


圖 4.6a case1 於 360s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

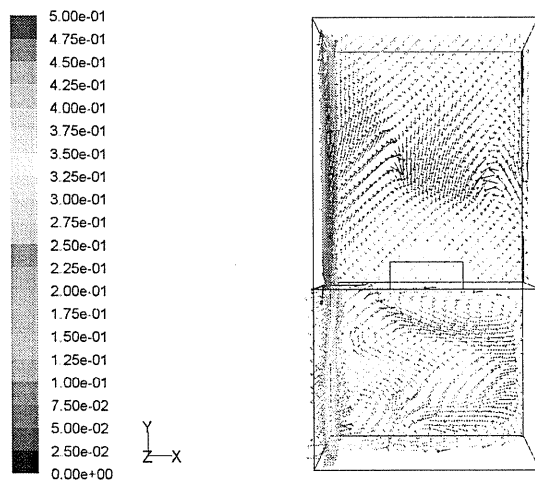


圖 4.6b case1 於 360s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

相較於上一個開門的時段，此時段中由門口所進入的向量，明顯受到進風口影響，使大多數的污染粒子進入空間後直接由 outlet 1 排除，但開門前已存在於空間之污染粒子，於開門後仍舊持續往中間移動，排除效果有限。

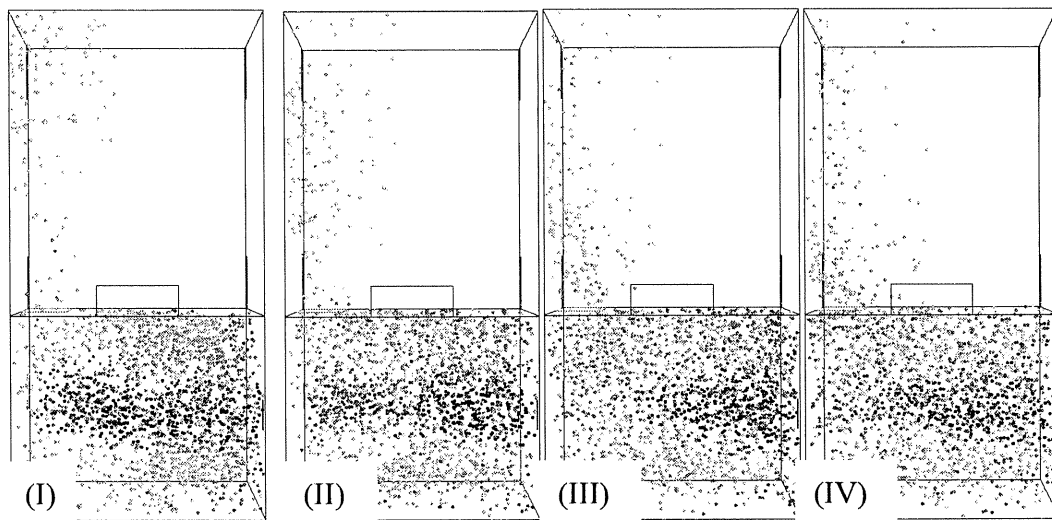


圖 4.7 case1 之污染粒子於  
(I)315s (II)330s (III)345s (IV)360s 之分佈情況

此時段中，通過門之污染粒子數為 267 顆，加上一時段殘餘粒子 115 顆，共 382 顆。由 outlet 1 及 outlet 2 所排除之粒子數分別為 188 個與 18 個，約佔該時段空間總粒子數之 53.93%。圖 4.7 中另外可以看出，上一個時段中所殘留之污染粒子於此時段並沒有大量通過任何 outlet，故此時段內通過門之污染粒子幾乎由 outlet 1 排除。

360s 至 420s 間，關門時之速度向量，如圖 4.8。

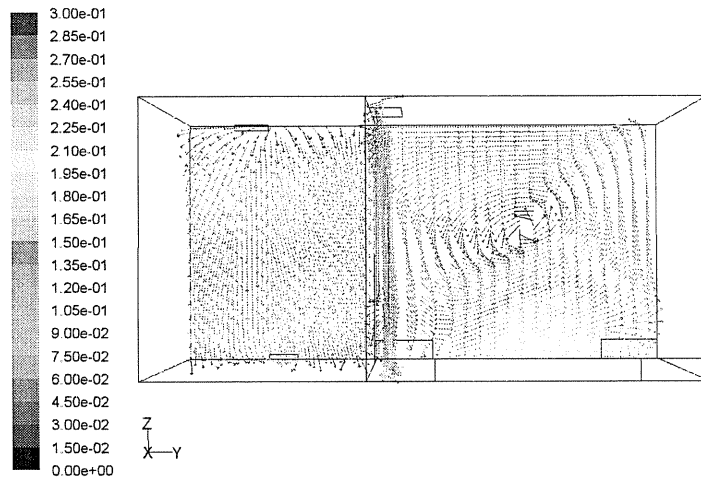


圖 4.8a case1 於 420s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

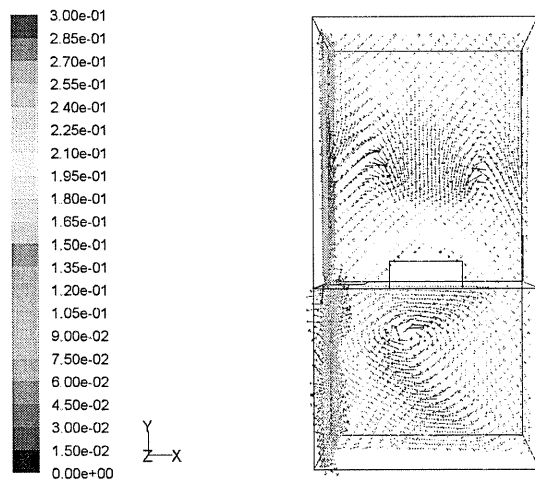


圖 4.8b case1 於 420s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

此時段與上一關門時段之向量圖並無太大之差異，但在此時段中，於空間流動之污染粒子有部分又流至排風口，排除效果雖比不上開門的時段，但已優於上一關門的時段。

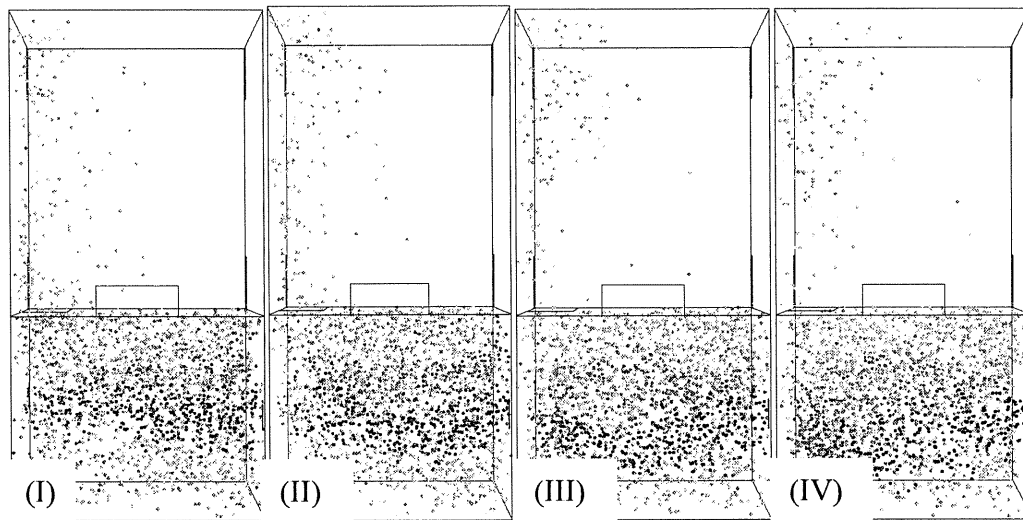


圖 4.9 case1 之污染粒子於  
(I)375s (II)390s (III)405s (IV)420s 之分佈情況

此時段中，上一時段殘餘之 176 顆污染粒子大多持續往中間移動，經由 outlet 1 及 outlet 2 排除之粒子分別為 50 顆及 15 顆，佔空間總粒子數之 36.93%。

420s 至 510s 間，開門時之速度向量，如圖 4.10。

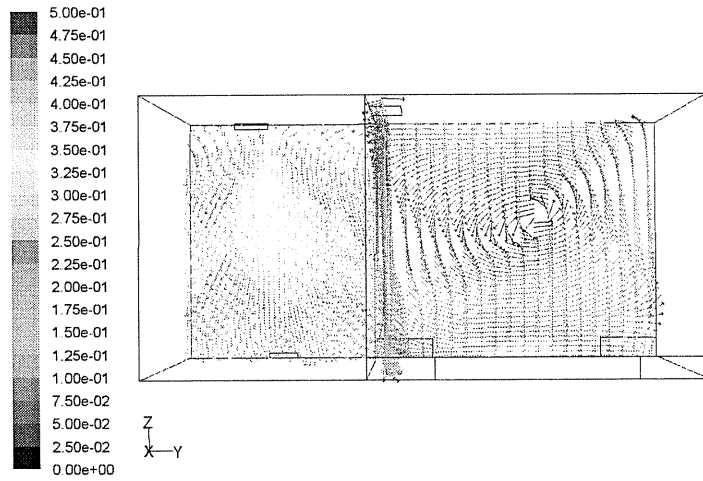


圖 4.10a case1 於 510s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

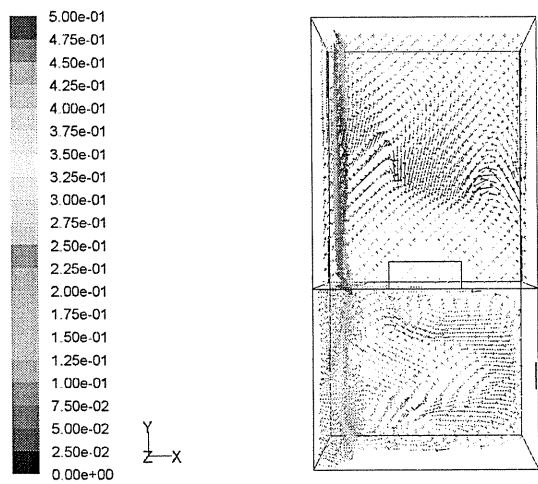


圖 4.10a case1 於 510s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

此開門時段之速度向量亦與上一開門時段之速度向量差異不大，但已有污染粒子經由 outlet 4 排出，表示粒子已明顯擴散至另一側。

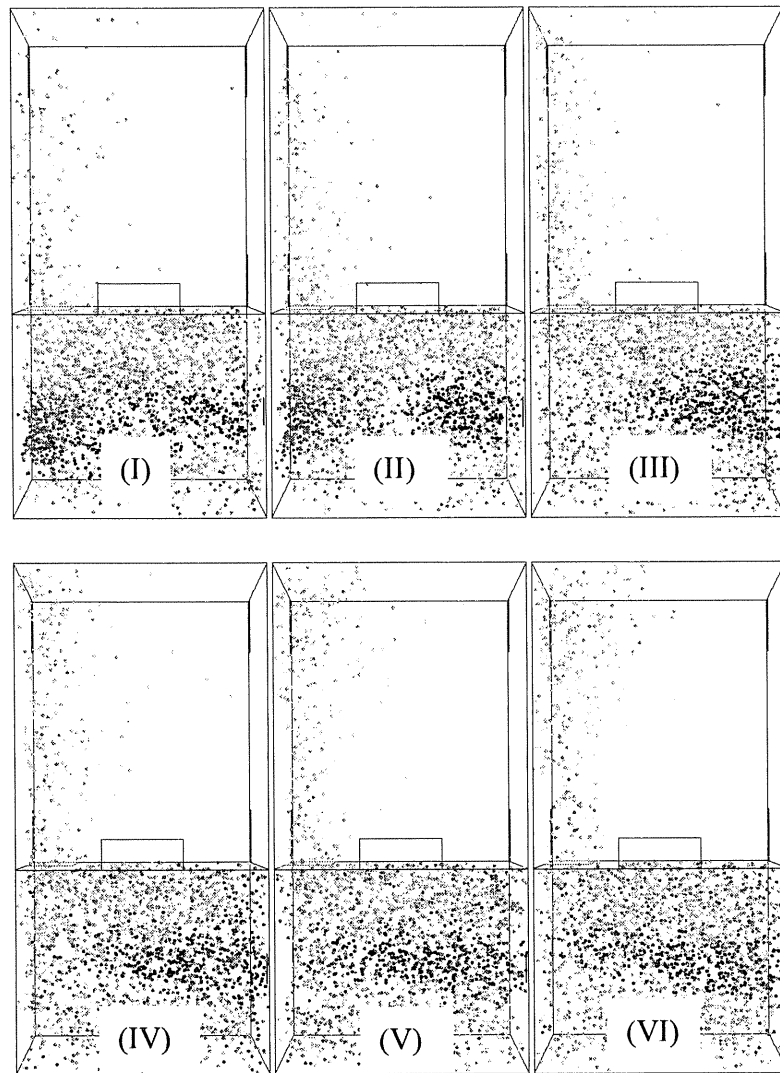


圖 4.11 case1 之污染粒子於(I)435s (II)450s (III)465s (IV)480s(V)495s(VI)510s 之分佈情況

此時段內，通過門之污染粒子數為 671 顆，加上一時段殘餘粒子 111 顆，共 782 顆。由 4 個排風口所排除之粒子數依序為 353 顆、51 顆、0 顆與 7 顆，約佔該時段空間總粒子數之 51.66%，與上一開門時段大致相同。由此可以發現，case 1 在開門時，流進空間之污染粒子大多從 outlet 1 排出，但原殘餘空間內之粒子無法有效排除。



510s 至 600s 間，關門時之速度向量，如圖 4.12。

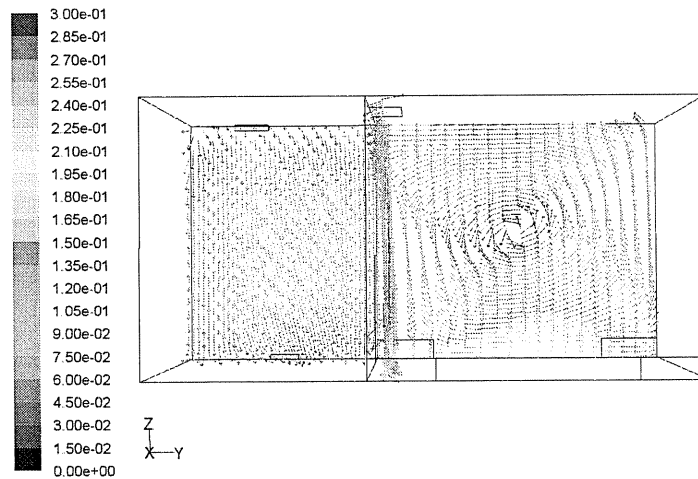


圖 4.12a case1 於 600s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

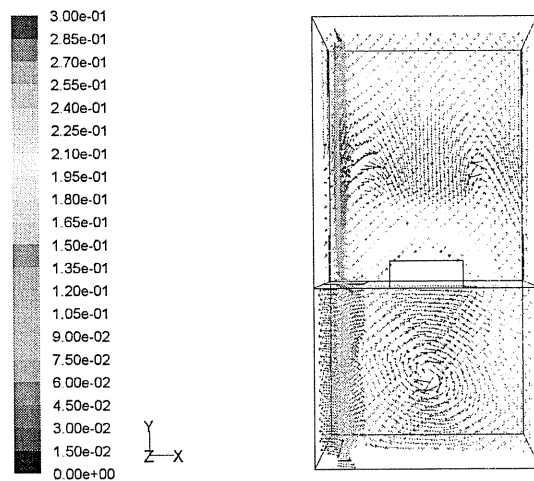


圖 4.12a case1 於 600s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

此時段中，所有粒子依然受到速度向量的影響，持續往中間移動，並且已在空間中形成一明顯的大渦旋，粒子不易從四個角落的排風口排除，使得在開門時雖然可以排出不少粒子，但關門後排除之粒子卻大幅減少。

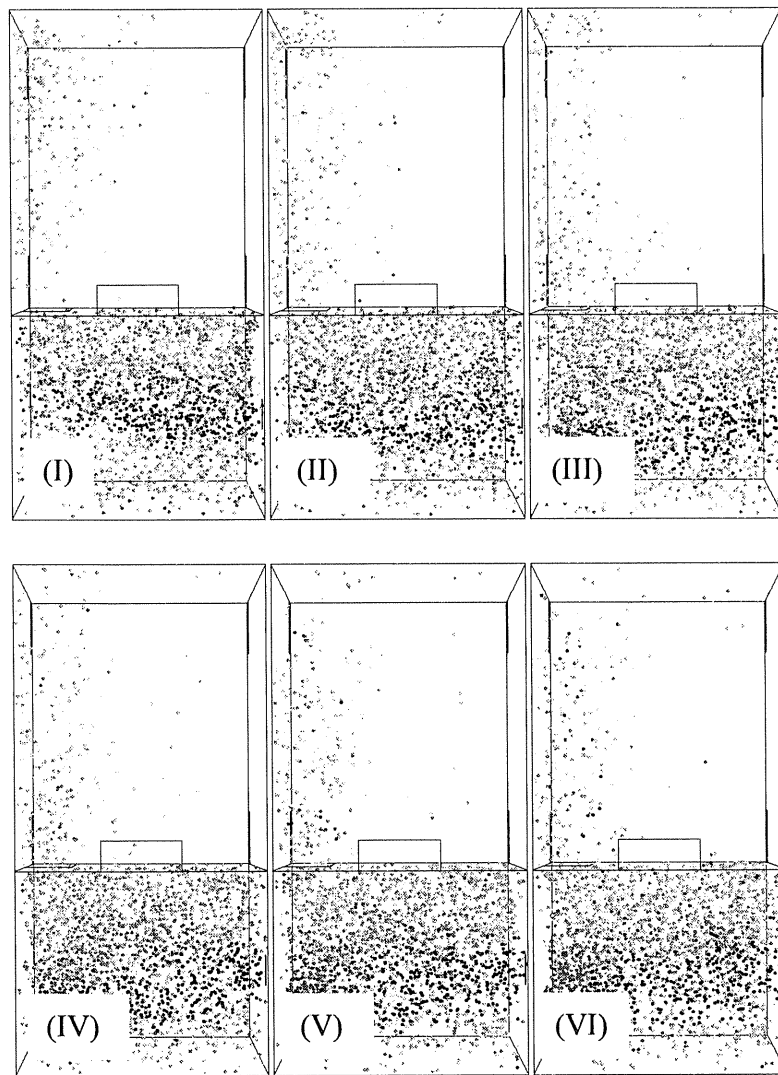


圖 4.13 case1 之污染粒子於(I)525s (II)540s (III)555s (IV)570s(V)585s(VI)600s 之分佈情況

本時段內，由 4 個排風口將上一時段殘餘粒子 111 顆排除掉之  
 粒子數依序為 61 顆、33 顆、2 顆與 0 顆，約佔該時段空間總粒子數  
 之 25.88%。此關門時段較其他關門時段時間較長，但其排除污染物  
 之數量及百分比卻不及其他時段，足見 case1 於關門後污染粒子排  
 除情況相當差，且隨時間增進，進入空間之粒子非但無法排除，並往

空間四處擴散，抑制污染粒子的能力有限。

綜合以上討論，將各時間區段、各排風口排除之污染粒子數整理

如表 1。

表 1 case 1 粒子統計表(顆/百分比)

	outlet1 排除之 污染物數量	outlet2 排除之 污染物數量	outlet3 排除之 污染物數量	outlet4 排除之 污染物數量	該時段通過 門之總粒子 數	該時段空間 之初始粒子 數	該時段最後 殘餘之粒子 數
240~270s	104(43.70)	0	0	0	238	0	134(56.30)
270~300s	10(7.46)	9(6.72)	0	0	0	134	115(85.82)
300~360s	188(49.22)	18(4.71)	0	0	267	115	176(46.07)
360~420s	50(28.41)	15(8.52)	0	0	0	176	111(63.07)
420~510s	353(45.14)	51(6.52)	0	7(0.90)	671	111	371(47.44)
510~600s	61(16.44)	33(8.90)	2(0.54)	0	0	371	275(74.12)
Total	766(65.14)	126(10.71)	2(0.17)	7(0.60)	1176		275(23.38)

污染物之排除比例(%)=該排風口排除之污染物數量/(該時段通過門之總粒子數+該時段空間之初始粒子數)

## 4.2 進風口位於中間(case2)

圖 4.14 為 case 2 於 240s 之後，將門開啟經過 30s 時，門口附近之速度向量。原先預期此進風口位置所造成的流動方向，到門口時應與門的進風方向相反，進而達到抑制效果。但，從速度向量圖中可以發現，由於該進風口之進風速度至牆壁及門口時已大幅衰減，使得下方流場被門口進風影響，門口上半部之流向大多指往上方，下半部則直接進入空間。

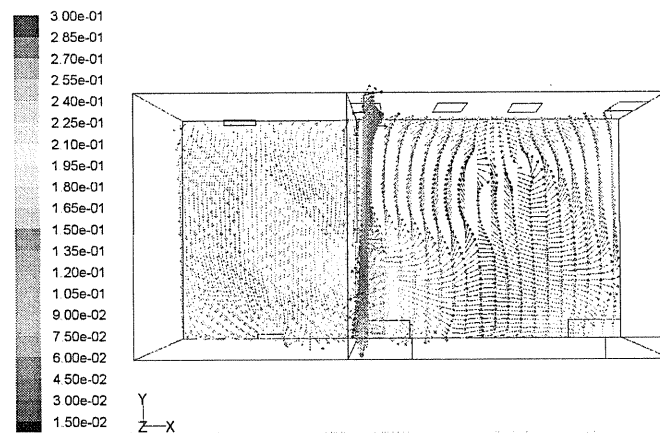


圖 4.14a case2 於 270s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

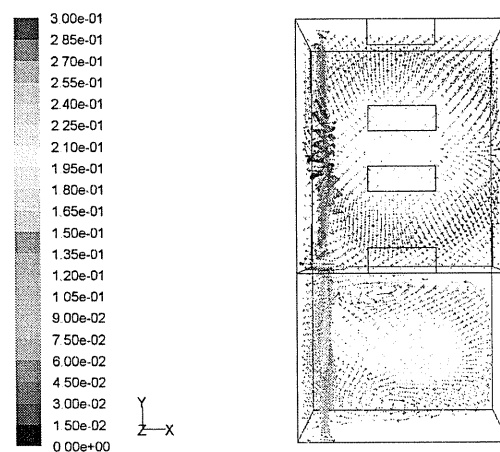
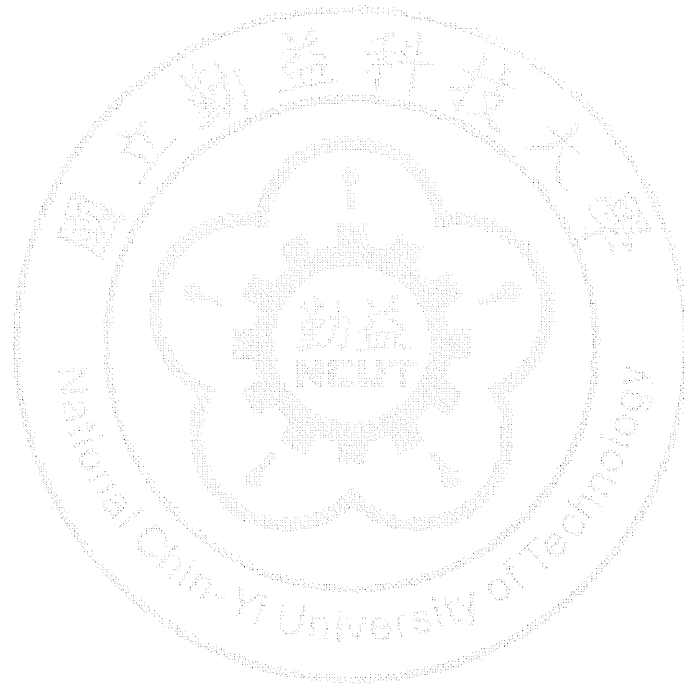


圖 4.14b case2 於 270s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

在此階段，粒子分佈情形，可由圖 4.15 觀察。由污染粒子的分佈情況可以看到，污染粒子進入空間後，上半部受到進風口位置的影響，粒子被帶往空間高處。下半部之粒子則逐漸被帶至後方，使得進入空間後直接經由 outlet 1 排除之粒子數較 case1 少。

Case2 於此時段通過門之粒子數為 211 顆，僅經由 outlet 1 排除 75 顆，約排除 35.55% 之粒子數。



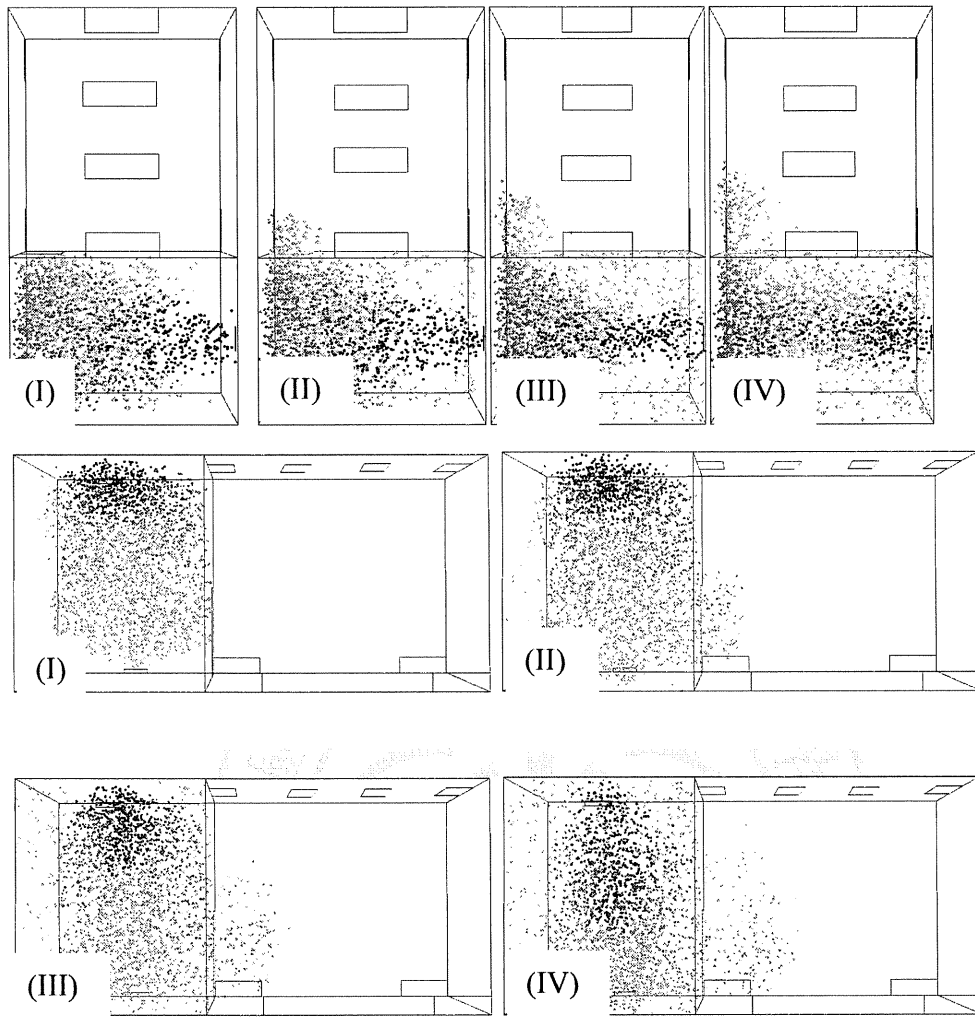


圖 4.15 case2 之污染粒子於  
(I)240s (II)250s (III)260s (IV)270s 之分佈情況

270s 至 300s 間，關門時之速度向量，如圖 4.16。

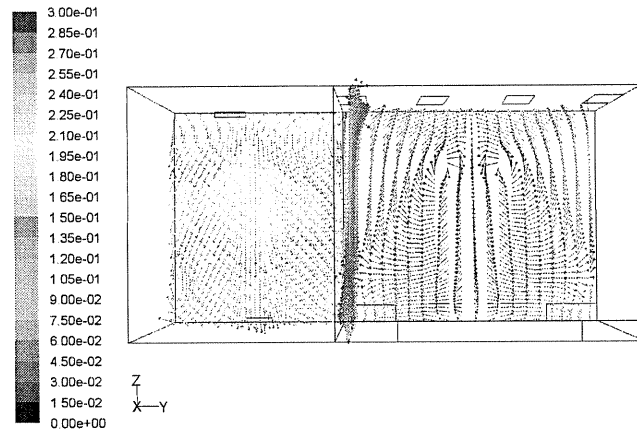


圖 4.16a case2 於 300s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

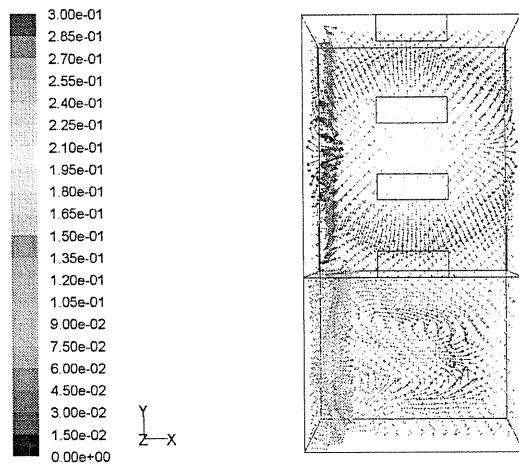


圖 4.16b case2 於 300s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

於此時段門關閉之後，由於門口沒有進風之干擾，所以從進風口進入之風向得以通過所有的排風口，卻也因此勢必造成污染粒子之擴散。

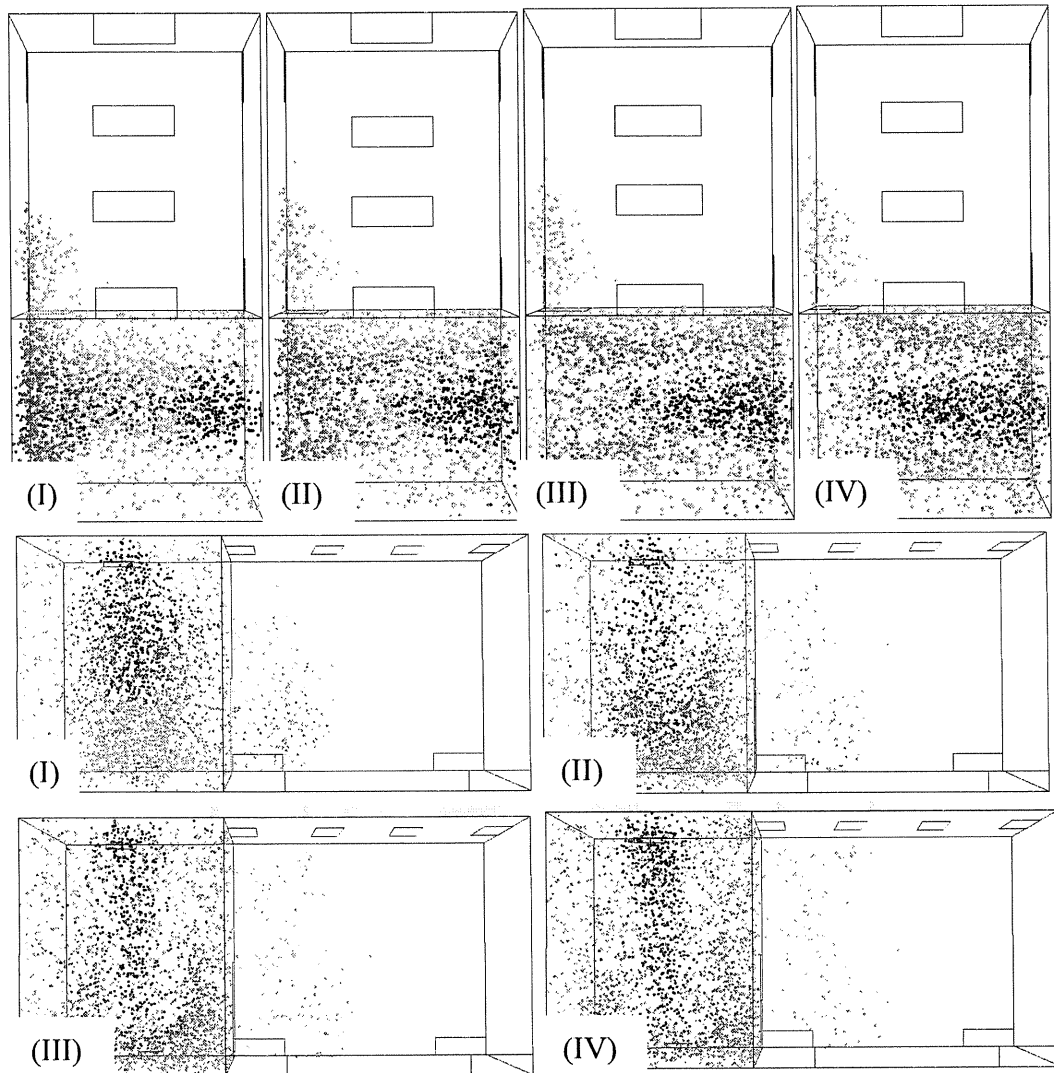


圖 4.17 case2 之污染粒子於  
(I)270s (II)280s (III)290s (IV)300s 之分佈情況

由於門關上後，門口無進風之干擾，使原先往空間深處移動之粒子，部分被帶回 outlet 1 排除。本時段中，原先存在的粒子數為 136 顆，經由 outlet 1 排除 29 顆污染粒子，約佔 21.32%。此時段排除之粒子數相較於 case 1 而言，所佔比例較高。



300s 至 360s 間，開門時之速度向量，如圖 4.18。

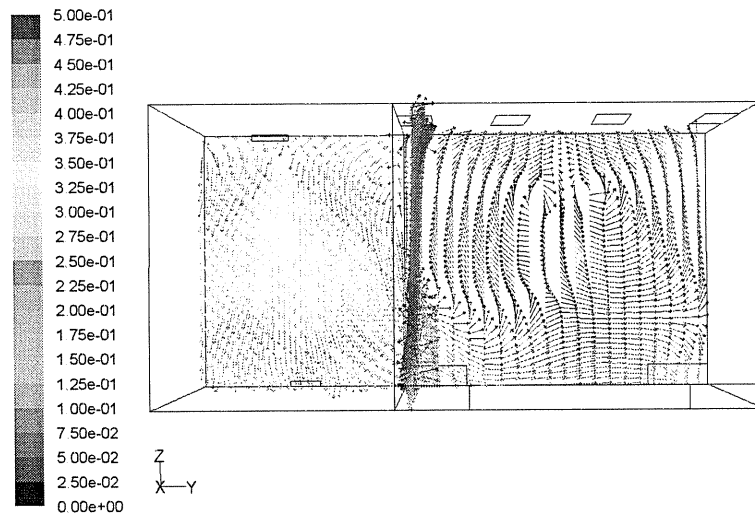


圖 4.18a case2 於 360s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

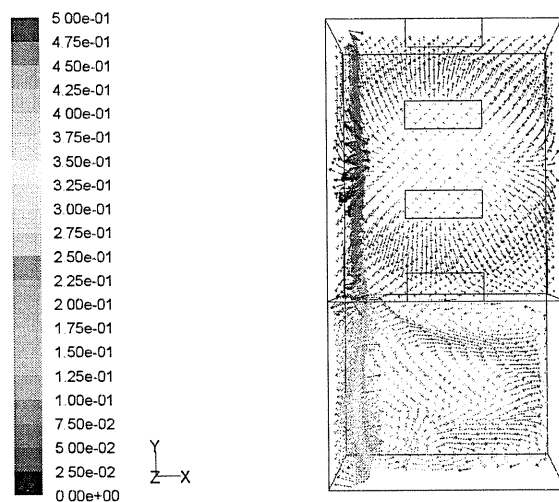


圖 4.18b case2 於 360s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

於此開門時段中，進風口速度向量到門口附近時同樣受到開門時進風的影響，使粒子直接往空間內深處擴散。原先存在於空間中之粒子也持續受到進風口流場影響，使污染粒子朝各處擴散，並於其他角落形成一大旋轉流場。

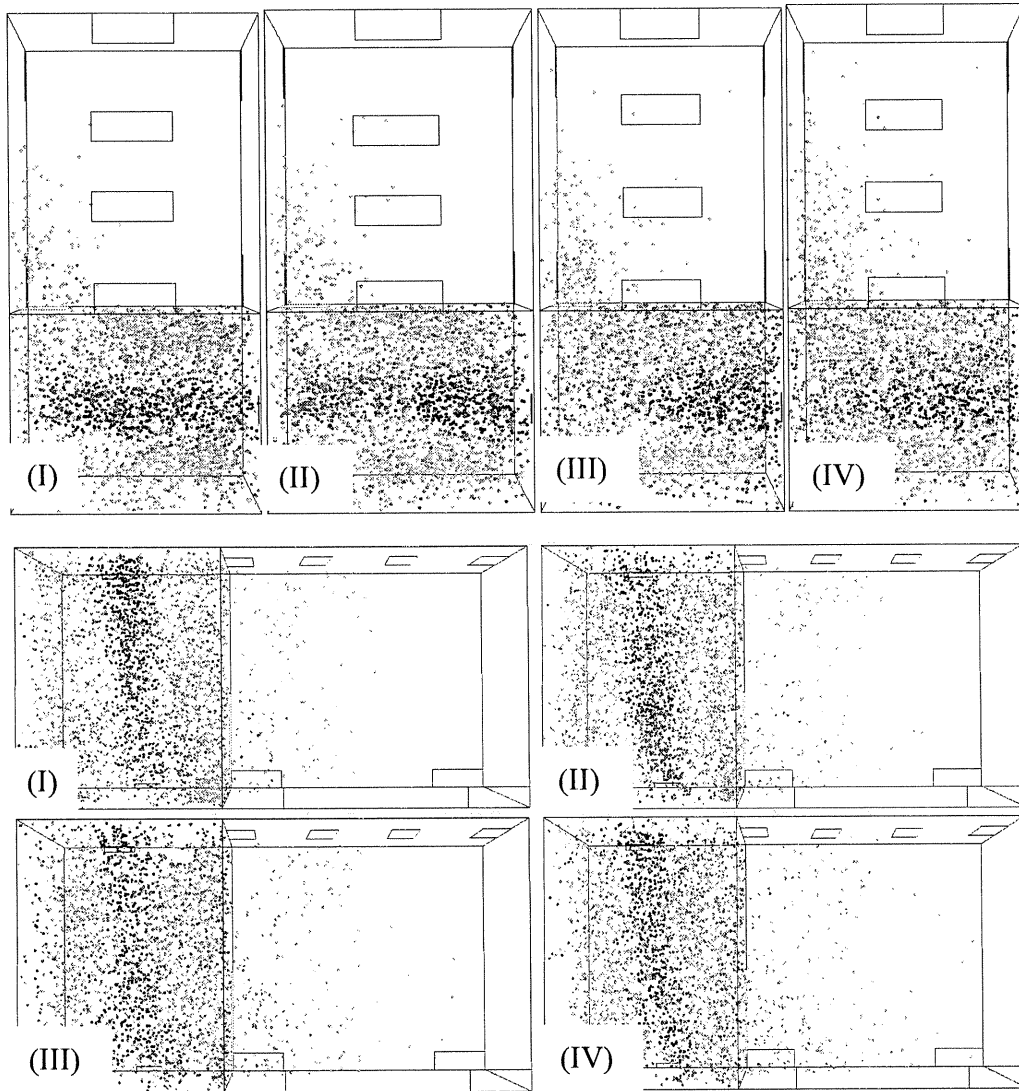


圖 4.19 case2 之污染粒子於  
(I)315s (II)330s (III)345s (IV)360s 之分佈情況

由圖 4.19 之粒子分佈情況可以看出，由於角落位置形成的旋轉流場，可將部分粒子控制在 outlet 1 附近進行旋轉，因此多數粒子可由 outlet 1 做排除。此時段通過門之污染粒子數為 331 顆，上一時段殘餘 107 顆，經由 outlet 1 及 outlet 2 排除之粒子共 198 顆，約佔空間總粒子數之 45.21%。

360s 至 420s 間，關門時之速度向量，如圖 4.20。

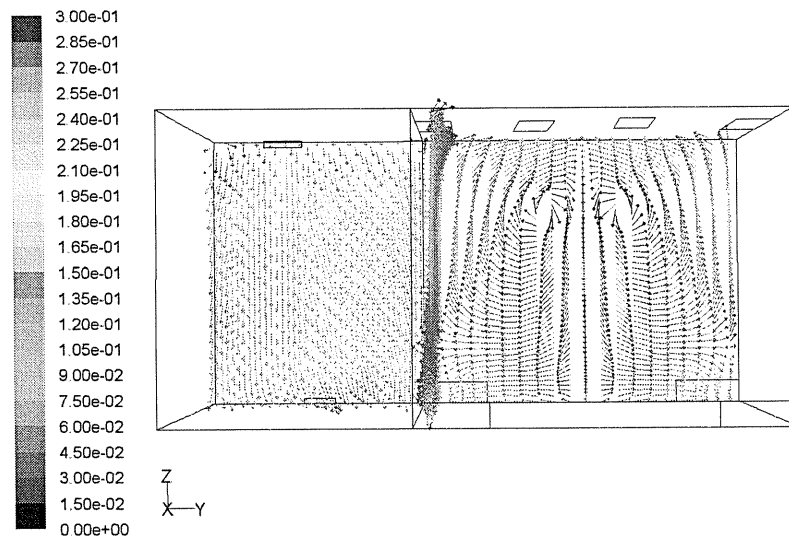


圖 4.20a case2 於 420s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

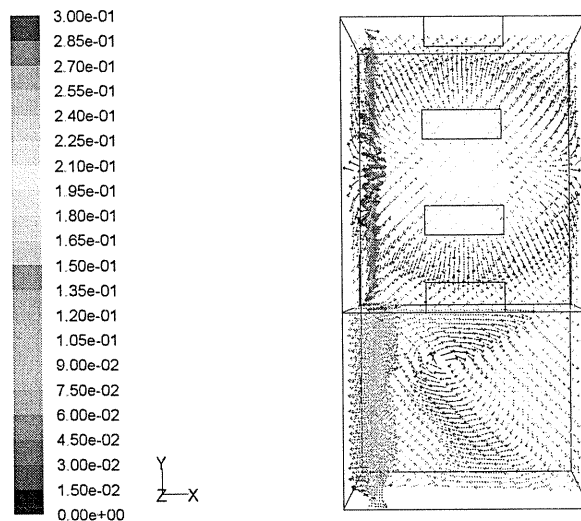


圖 4.20b case2 於 420s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

本時段與上一關門時段之向量並無太大差異，同樣由於空間流場旋轉的關係，再度將粒子帶至 outlet 1 排除，使得於關門時端排除污染物之比例高於 case 1 關門時排除之比例。

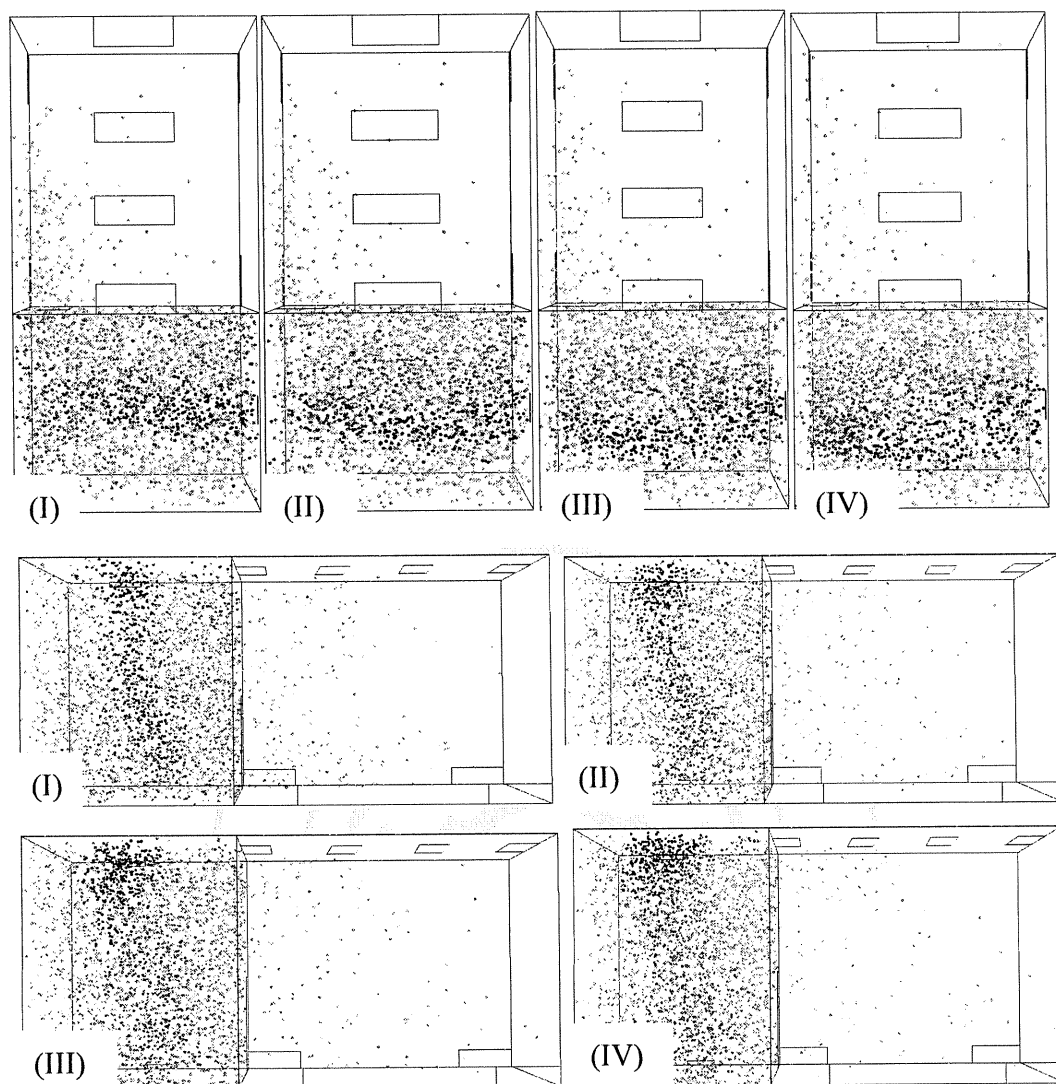


圖 4.21 case2 之污染粒子於  
(I)375s (II)390s (III)405s (IV)420s 之分佈情況

從圖 4.21 的粒子分佈圖可以看出，case 2 的進風方式較易使進入空間之粒子產生擴散情形。但相對來說，卻也可以使粒子從四處排出。此時段中，排除之粒子數約佔該時段總粒子數之 38.34%。

420s 至 510s 間開門時之速度向量，如圖 4.22。

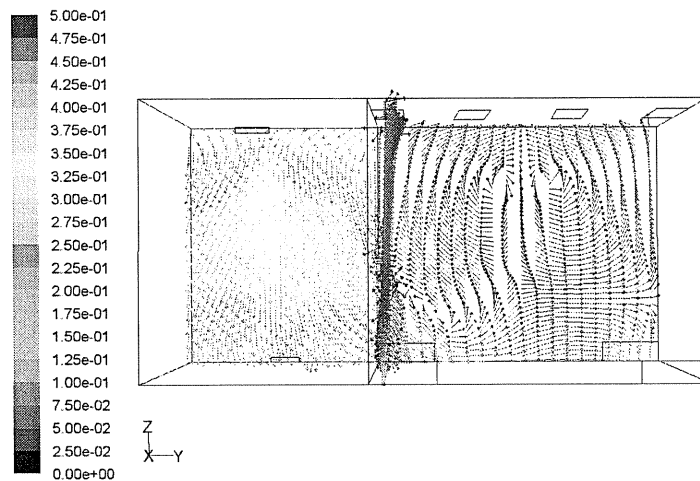


圖 4.22a case2 於 510s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

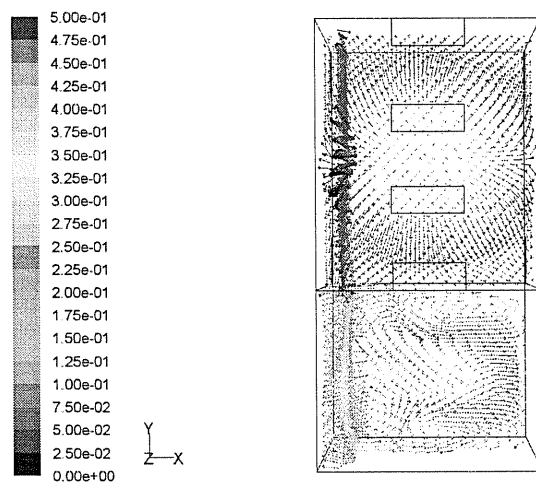
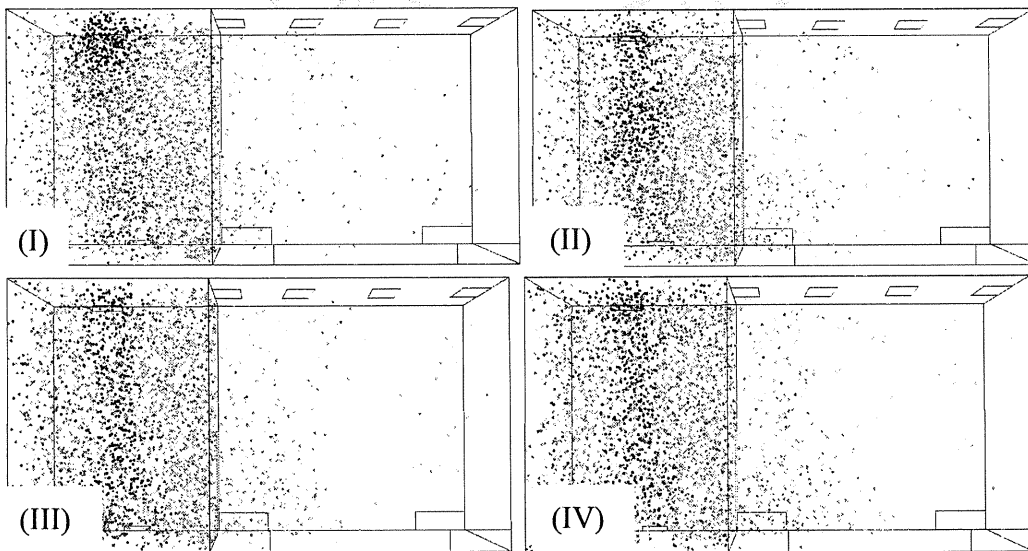
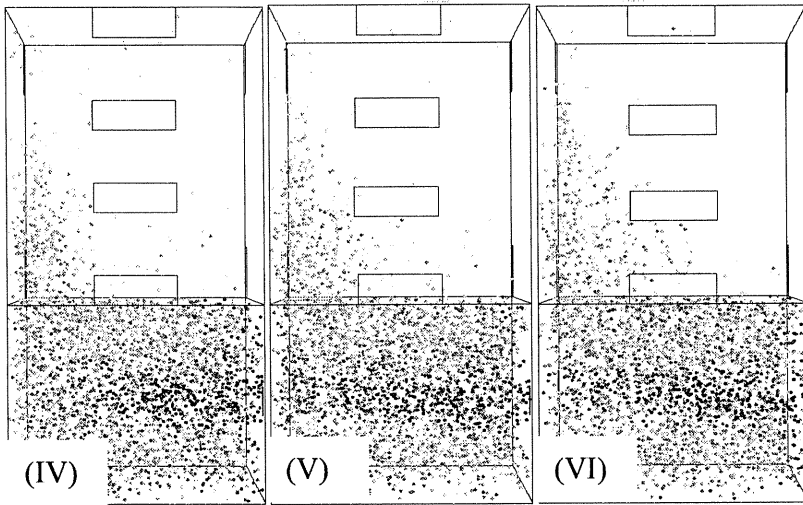
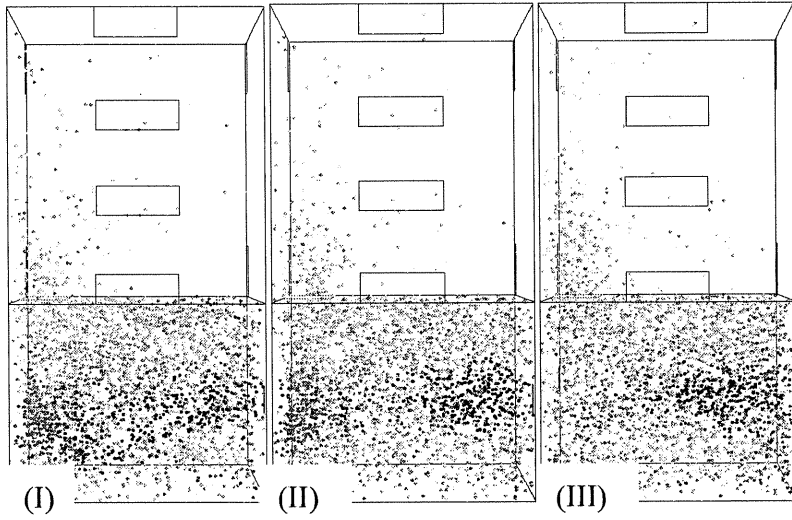


圖 4.22b case2 於 510s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

本時段與上一開門時段之向量並無太大差異，同樣由於空間流場旋轉的關係，使粒子造成擴散。從 case1 及 case2 來看，大約到此時段，時速度向量趨於穩定。也就是說，開門時間達 60 秒以上時，此空間流場即趨於穩定。



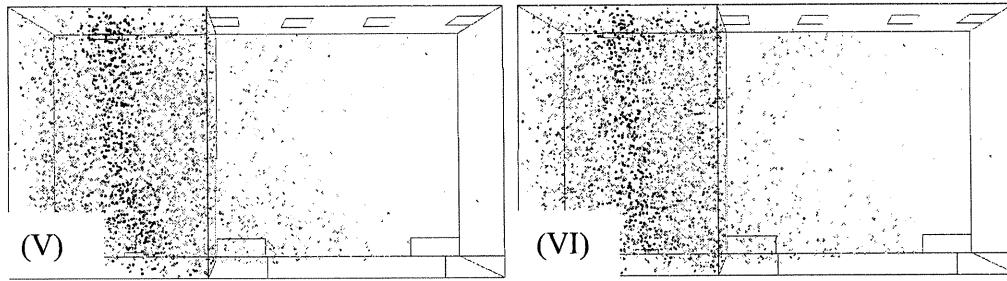


圖 4.23 case2 之污染粒子於(I)435s (II)450s (III)465s  
(IV)480s(V)495s(VI)510s 之分佈情況

於此時段中，粒子持續往空間擴散，但從圖 4.23 中可以發現，有部份粒子滯留於門口附近，此現象即為從中間進風所造成之流場影響，將部份粒子控制於門口附近，使 outlet 1 可以持續排除污染粒子。此時段中，全部 outlet 所排除之污染粒子為 469 顆，約佔該時段總粒子數之 48.66%。

510s 至 600s 間關門時之速度向量，如圖 4.24。

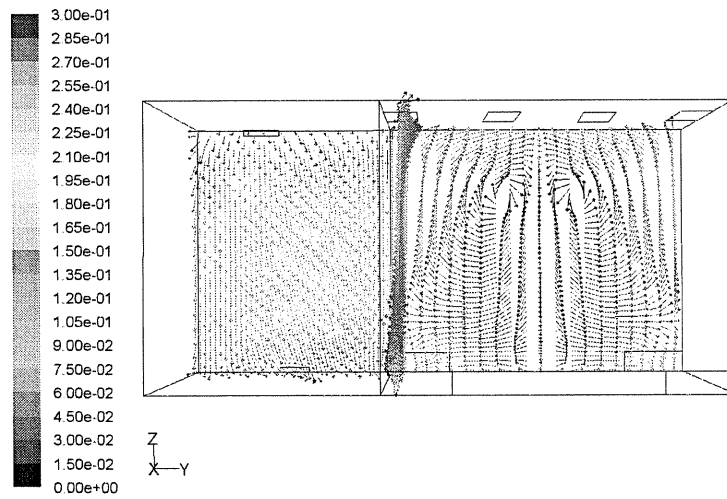


圖 4.24a case2 於 600s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

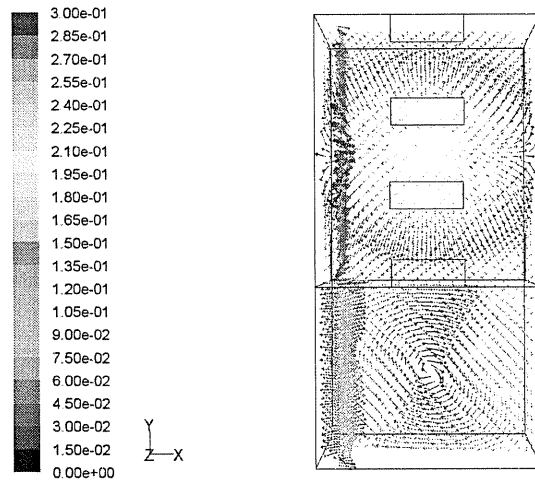
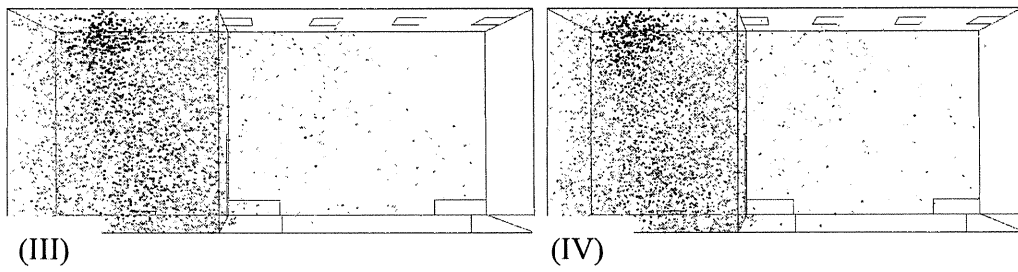
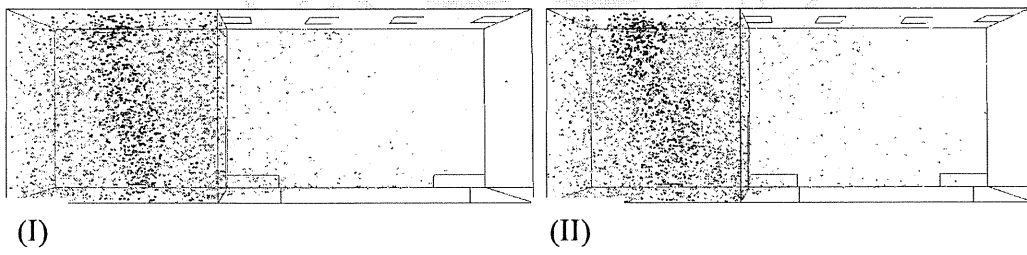
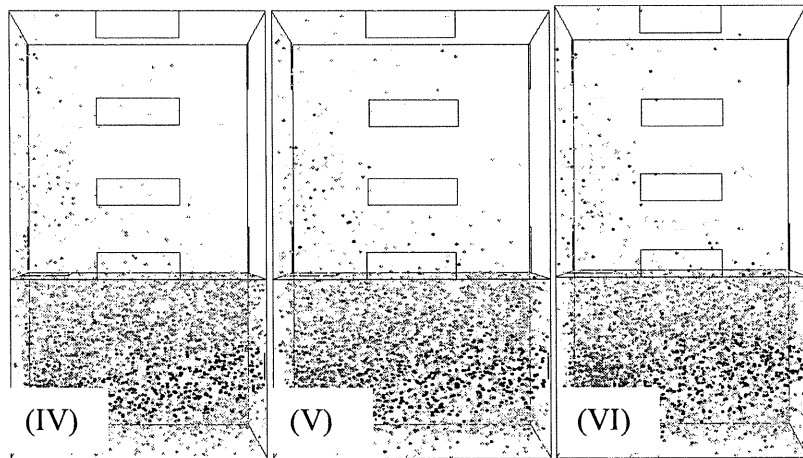
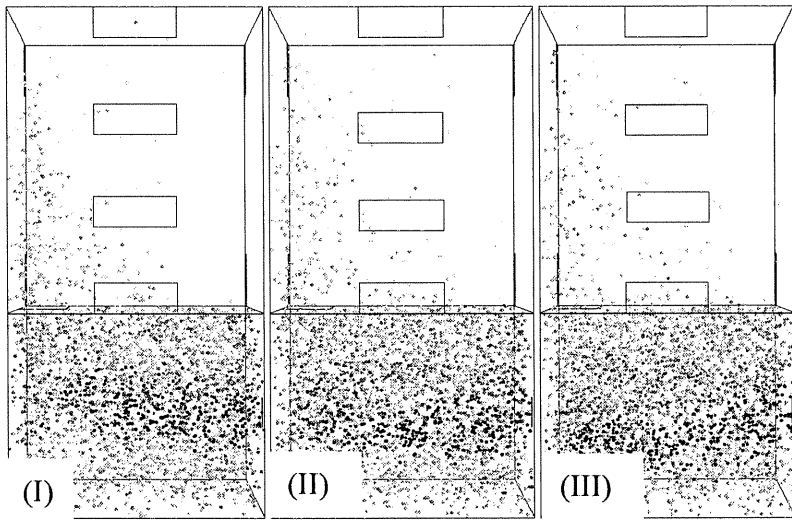


圖 4.24b case2 於 600s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

此時段中，所有粒子依然受到中間進風之速度向量的影響，持續往四方擴散，且依氣體的流動方向從四個角落的排風口排除。雖然，在開門時進入較多的粒子，但在關門後仍然可以有效的將粒子排除。





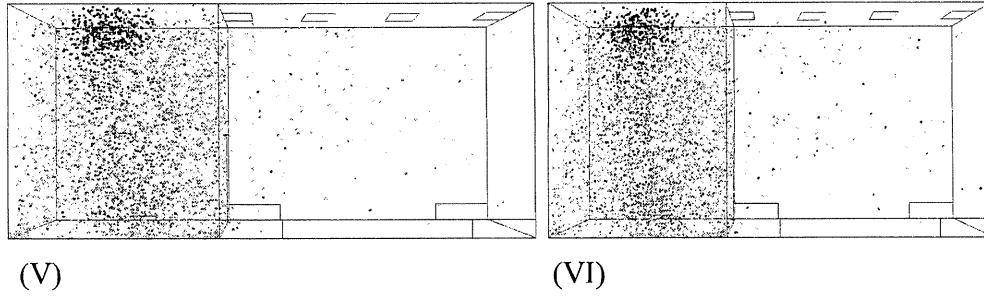


圖 4.25 case2 之污染粒子於(I)525s (II)540s (III)555s  
(IV)570s(V)585s(VI)600s 之分佈情況

本時段內，上一時段所殘餘之 495 顆粒子，經由 outlet 1、outlet 2 及 outlet 3 共排除之 260 顆，約佔空間總粒子數之 52.53%。

綜合以上討論，將各時間區段、各排風口排除之污染粒子數整理如表 2。

表 2 case 2 粒子統計表(顆/百分比)

	outlet1 排除之 污染物數量	outlet2 排除之 污染物數量	outlet3 排除之 污染物數量	outlet4 排除之 污染物數量	該時段通過 門之總粒子 數	該時段空間 之初始粒子 數	該時段最後 殘餘之粒子 數
240~270	75(35.55)	0	0	0	211	0	136(64.45)
270~300	29(21.32)	0	0	0	0	136	107(78.68)
300~360	197(44.98)	1(0.23)	0	0	331	107	240(54.79)
360~420	73(30.42)	18(7.5)	1(0.42)	0	0	240	148(61.66)
420~510	412(42.74)	40(4.15)	15(1.56)	2(0.21)	816	148	495(51.34)
510~600	188(37.98)	63(12.73)	9(1.82)	0	0	495	235(47.47)
Total	974(71.72)	122(8.98)	25(1.84)	2(0.15)	1358		235(17.30)

### 4.3 進風口遠離門(case3)

Case3 中的氣流方向大致與 case1 的氣流方向相反，僅於開門時門口附近有部分差異，故此節僅針對門口附近之情況來討論其效果。首先，由於 case3 不像 case1 可藉由進風口之進風，將進入空間後部份之汙染粒子直接帶至排風口。Case3 是從後方進風，所以到門口附近時，由於產生之渦漩，會產生向上的氣流，但卻剛好與門口進入的氣流衝突，使得開門時排除粒子的比例低於 case1。

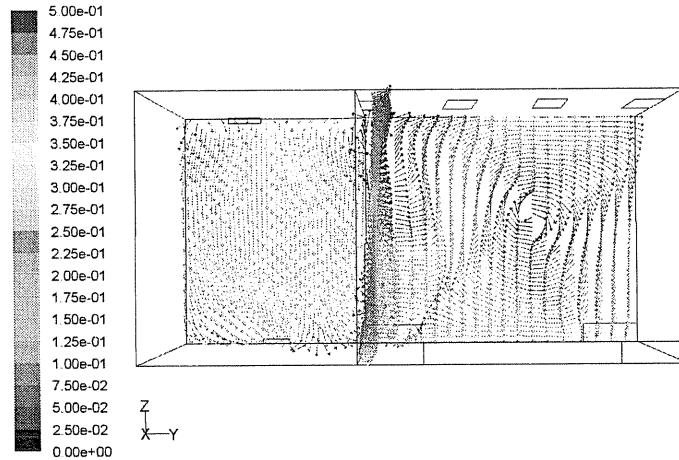


圖 4.26a case 3 於 270s 時， $x=50\text{cm}$  及  $y=460\text{cm}$  兩平面之速度向量

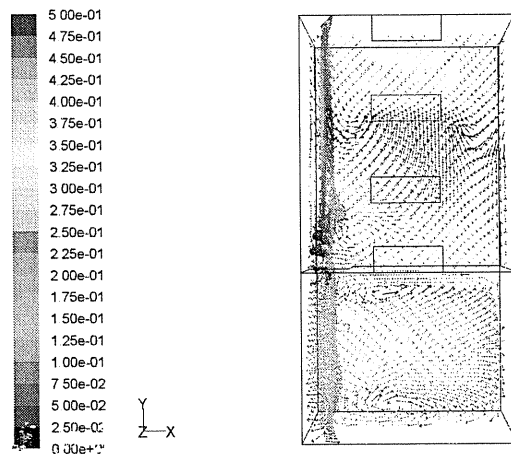


圖 4.26b case 3 於 270s 時， $x=50\text{cm}$  及  $z=250\text{cm}$  兩平面之速度向量

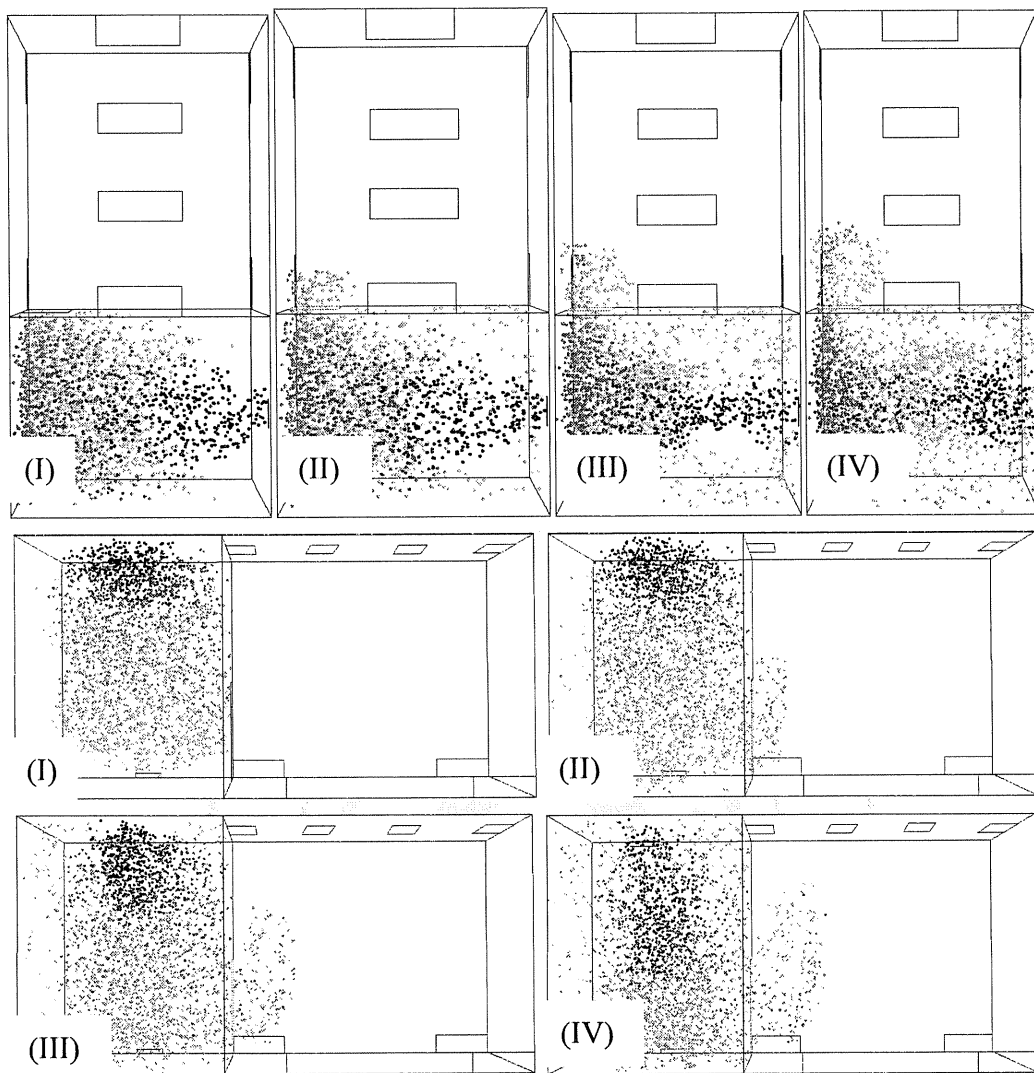
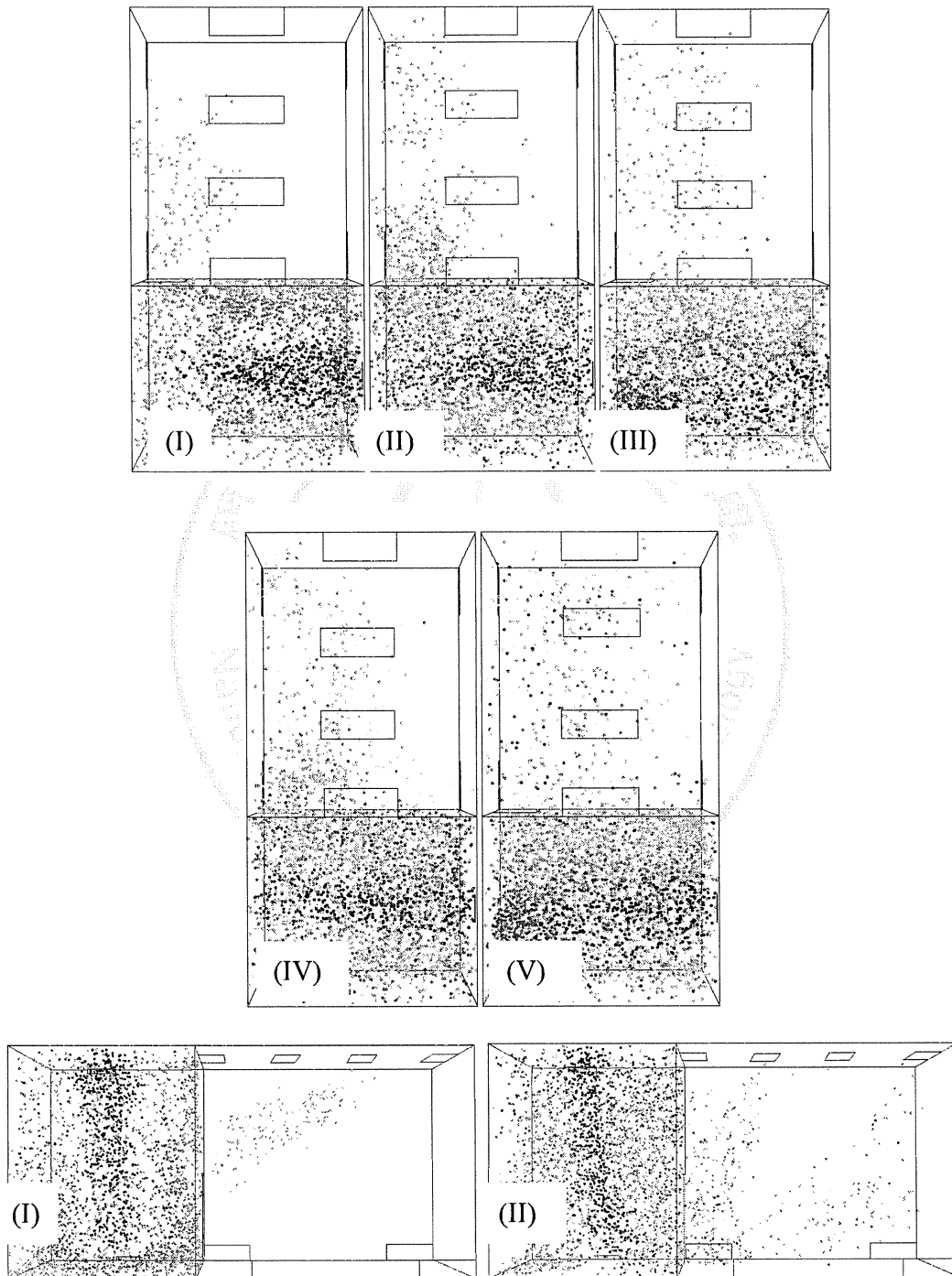


圖 4.27 case3 之污染粒子於  
(I)240s (II)250s (III)260s (IV)270s 之分佈情況

從圖 4.27 可以看出，污染粒子在門開啟時，由於氣流是由空間深處流至門口，所以粒子被帶至高處。門開啟時，粒子進入空間的情況與 case2 大致相同。前兩個章節提及，case1 於開門時可以抑制較多的粒子進入空間，卻無法使進入空間之粒子有效排除。然而，case2 於門開啟時，無法有效減少粒子進入，卻可以將進入空間之粒子排除，而 case3 則是綜合前兩個 case 之缺點。

圖 4.28 為粒子於 300s、360s、420s、510s、600s 時的分佈情況。

況。



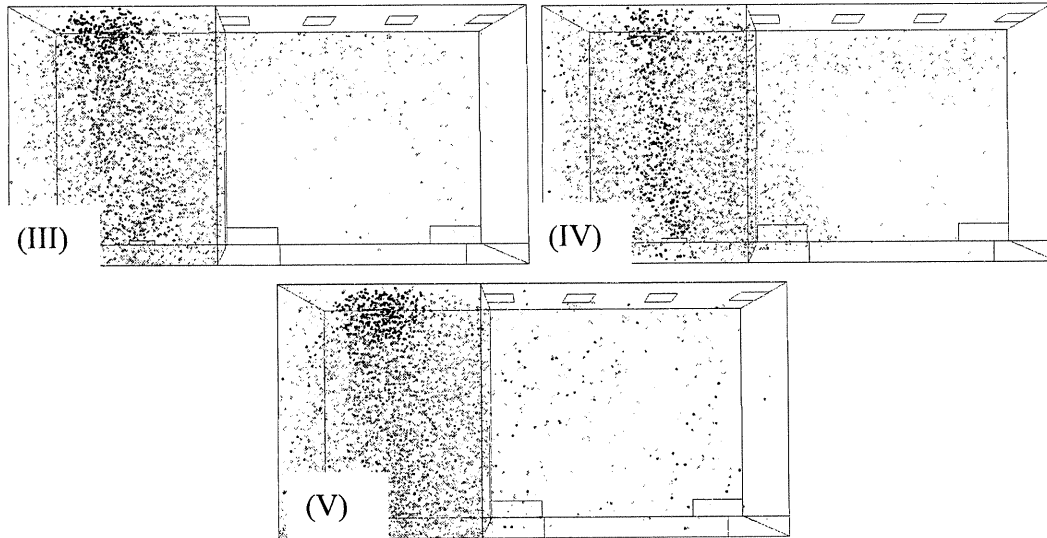


圖 4.28 case3 之污染粒子於 (I)300s (II)360s (III)420s (IV)510s(V)600s 之分佈情況

從各時間點之粒子分佈不難發現，case3 相當容易將粒子散佈至整個空間，卻又不像 case2 可以將污染粒子帶至四個角落的排風口，如此循環，使得空間中含有大量污染粒子。

綜合以上討論，將各時間區段、各排風口排除之污染粒子數整理如表 3。

表 3 case3 粒子統計表(顆/百分比)

	outlet1 排除之 污染物數量	outlet2 排除之 污染物數量	outlet3 排除之 污染物數量	outlet4 排除之 污染物數量	該時段通過 門之總粒子 數	該時段空間 之初始粒子 數	該時段最後 殘餘之粒子 數
240~270s	131(40.81)	0	0	0	321	0	190(59.19)
270~300s	41(21.58)	0	0	0	0	190	149(78.42)
300~360s	159(28.39)	14(2.5)	0	0	411	149	387(69.11)
360~420s	105(27.13)	16(4.13)	0	0	0	387	266(68.74)
420~510s	376(37.34)	63(6.26)	13(1.29)	5(0.50)	741	266	550(54.61)
510~600s	59(10.73)	41(7.45)	3(0.55)	13(2.36)	0	550	434(78.91)
Total	871(59.13)	134(9.10)	16(1.09)	18(1.22)	1473		434(29.46)

#### 4.4 不同粒徑粒子的流動狀態

本節針對各個不同粒徑大小的粒子，探討其流動的狀態，研究空間中於門關閉及開啟時的流場流動狀態，如圖 4.29 及圖 4.30 所示。圖 4.29 為研究空間中門關閉時之氣流狀態，送風口設置在研究空間中之中央位置時，氣流垂直衝擊地面而向研究空間周圍形成多道輻射狀軸向對稱之氣流，研究空間中散佈的粒子將會隨氣流流動，而被帶到四個角落之排風口排除。然而，研究空間中於門開啟時之氣流狀態，大致上相同，但由於門開啟後，室內為負壓而造成一股由前室經過門向研究空間內流動之氣流，如圖 4.30 所示。粒子從前室因研究空間內負壓所造成之流動而被帶入研究空間中，由於重力效應的關係，大部分沉澱在地面上之粒子，因 1 號排風口設置之位置，而將會直接從 1 號排風口排除，其他散佈在空中未被排除之粒子，會漸漸隨氣流流動被帶到研究空間內，而由其他排風口排除。

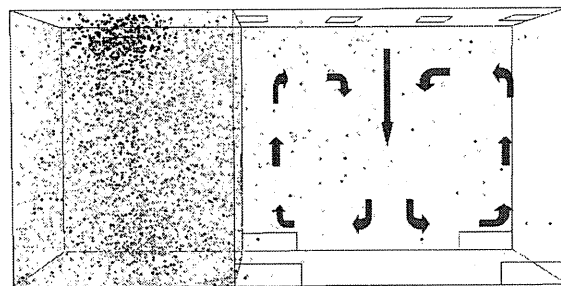


圖 4.29 門關閉時粒子的散佈狀況與氣流狀態

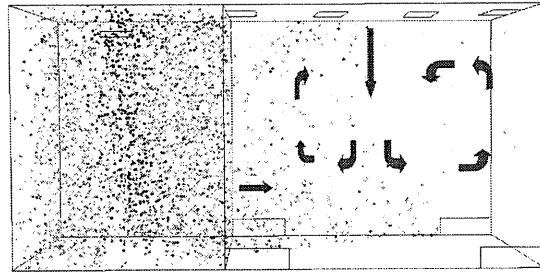


圖 4.30 門開啟時粒子的散佈狀況與氣流狀態

#### 4.5 不同粒徑大小粒子，對抑制率的影響

抑制率 ( $R_{res}$  %)之定義公式為  $R_{res} = (1 - N_p/N_f) \times 100\%$ ， $N_p$  為通過門之粒子總數， $N_f$  為微塵粒子之總數(包括前室之粒子)。經統計後，不同粒徑大小之抑制率，如表 4 所示。由表 4 可看出，在時段 II 門開啟時，因為開啟時間不夠長，數據並沒有明顯的趨勢。在時段 IV 與 VI 時，因重力效應的影響，直徑較大的粒子較容易沉澱在前室之地面上，當門開啟時亦較容易進入研究空間內，因此研究空間之進風口對粒子的抑制率較低。實驗顯示，粒子粒徑大小與進入研究空間之粒子數量成正比，因此其抑制率下降(因通過門之粒子總數上升，故抑制率下降)。若忽略重力效應，則進入研究空間之粒子數量為最少，抑制率為最佳。



表 4 不同粒徑大小粒子之抑制率

時段	通過門進入實驗室之粒子總數 $N_p$						包含前室粒子之粒子總數 $N_f$						抑制率 $R_{res}$ (%)					
	30	25	20	15	10	忽	30	25	20	15	10	忽	30	25	20	15	10	忽
	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	略	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	略	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	$\mu m$	略
I	0	0	0	0	0	0	2623	2654	2619	2666	2524	2601	100	100	100	100	100	100
II	221	142	58	168	211	345	2761	2779	2753	2788	2676	2756	92.0	94.9	97.9	94.0	92.1	87.5
III	0	0	0	0	0	0	2770	2876	2981	2893	2708	2655	100	100	100	100	100	100
IV	618	605	547	482	331	320	3356	3429	3520	3412	2947	3238	81.6	82.4	84.5	85.9	88.8	90.1
V	0	0	0	0	0	0	3326	3398	3496	3498	3490	3489	100	100	100	100	100	100
VI	1184	1184	1087	912	816	666	4213	4270	4308	4270	4178	4160	71.9	72.3	74.8	78.6	80.5	84.0
VII	0	0	0	0	0	0	3907	3997	4075	4200	4220	4300	100	100	100	100	100	100
Total	2023	1931	1692	1562	1358	1331	5052	5017	4913	4920	4720	4825	60.0	61.5	65.5	68.4	71.2	72.4

如表 4，若忽略重力效應，在經過一次完整的開關門程序 600 秒後，粒徑大小分別為  $30 \mu m$ 、 $25 \mu m$ 、 $20 \mu m$ 、 $15 \mu m$ 、 $10 \mu m$  之總抑制率  $R_{res}$ ，如圖 4.31 所示。

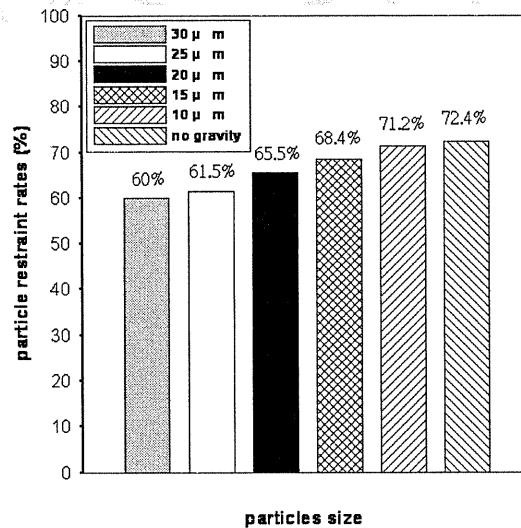


圖 4.31 不同粒徑大小粒子之抑制率

#### 4.6 不同粒徑大小粒子，對移除率的影響

移除率 ( $R_{rem}$  %) 之定義公式為  $R_{rem} = N_r/N_l \times 100\%$ ， $N_r$  為移除之總粒子數， $N_l$  為進入實驗室之總粒子數，不同粒徑大小之移除率統計，如表 5 所示。由表 5 可看出，在時段 II 門開啟時，亦因開門時間不夠長，數據並沒有明顯的趨勢。然而，時段 IV 與 VI 時，在重力效應的影響，較大粒徑的粒子較容易沉澱在地面上，亦較容易從研究空間中的排風口排除。反之，粒徑較小的粒子因其較容易受氣流之影響漂浮在研究空間中。從表 5 亦可看出，移除率因粒徑大小而成正比上升。當粒徑小於  $15\mu m$  時，移除率明顯下降，而忽略重力效應影響效果之移除率為最差。

表 5 不同粒徑大小粒子之移除率

時段	排除粒子總數 $N_r$						進入實驗室粒子總數 $N_l$						移除率 $R_{rem}$ (%)					
	30 $\mu m$	25 $\mu m$	20 $\mu m$	15 $\mu m$	10 $\mu m$	忽 略 重 力	30 $\mu m$	25 $\mu m$	20 $\mu m$	15 $\mu m$	10 $\mu m$	忽 略 重 力	30 $\mu m$	25 $\mu m$	20 $\mu m$	15 $\mu m$	10 $\mu m$	忽 略 重 力
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100
II	174	104	42	123	75	120	221	142	58	168	211	345	78.7	73.2	72.4	73.2	35.5	34.8
III	47	35	10	24	29	38	47	38	16	45	136	225	100	92.1	62.5	53.3	21.3	16.9
IV	459	401	357	250	198	167	618	608	553	503	769	507	74.3	66.0	64.6	49.7	25.7	32.9
V	138	180	161	189	92	109	159	207	196	253	240	340	87.0	86.8	82.1	74.7	38.3	32.1
VI	914	816	742	600	469	426	1205	1211	1122	976	964	897	75.9	67.4	66.1	61.5	48.7	47.5
VII	256	348	306	239	260	210	291	395	380	376	495	471	88.1	88.0	80.5	63.6	52.5	44.6
Total	1988	1884	1618	1425	1123	1070	2023	1931	1692	1562	1358	1331	98.3	97.6	95.6	91.2	82.7	80.4

若忽略重力效應，經過一次完整的開關門程序 600 秒後，粒徑大小分別為  $30\ \mu\text{m}$ 、 $25\ \mu\text{m}$ 、 $20\ \mu\text{m}$ 、 $15\ \mu\text{m}$ 、 $10\ \mu\text{m}$  之總移除率  $R_{rem}$ ，如圖 4.32 所示。

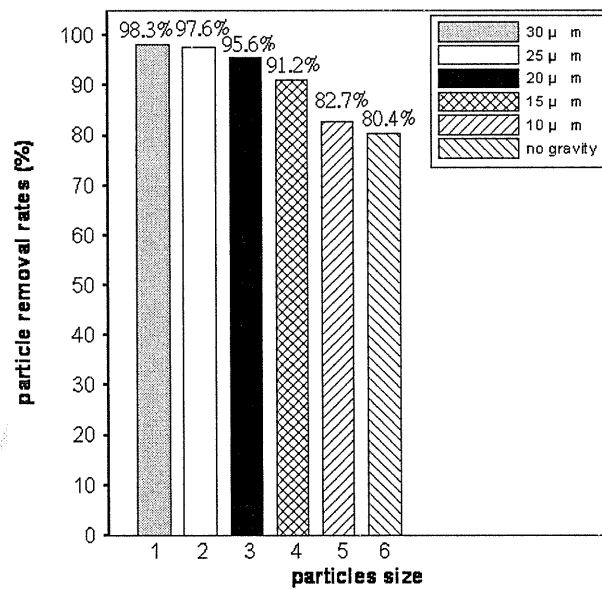


圖 4.32 不同粒徑大小粒子之移除率

#### 4.7 各個排風口的移除率

從 0 秒到 600 秒，各排風口移除粒子所佔比例，如表 6 所示。由於 1 號排風口之位置較靠近於門邊，故粒子進入研究空間後，亦容易隨氣流直接從此位置排出研究空間，因此不論粒徑大小，從 1 號排風口排除比例較其他三個位置高出許多。進入研究空間的粒子隨著粒徑大小的不同，較小之粒子較容易隨氣流飛到遠處，而從 2，3，4 號排風口排出。當粒徑為  $25\ \mu\text{m}$  或更大時，幾乎不會從 4 號排風口排除。

各粒徑大小在各排風口之移除比例，如圖 4.33 所示。

表 6 600 秒後，不同粒徑大小粒子在各排風口的移除率

粒子大小	各個排風口的移除率 $R_{rem}$ (%)			
	1	2	3	4
30 $\mu\text{m}$	88.5	7.3	2.4	0.0
25 $\mu\text{m}$	85.5	9.6	2.5	0.0
20 $\mu\text{m}$	82.8	10.1	2.6	0.1
15 $\mu\text{m}$	81.0	9.1	1.1	0.1
10 $\mu\text{m}$	71.7	9.0	1.8	0.2
忽略重力	70.2	7.6	1.9	0.7

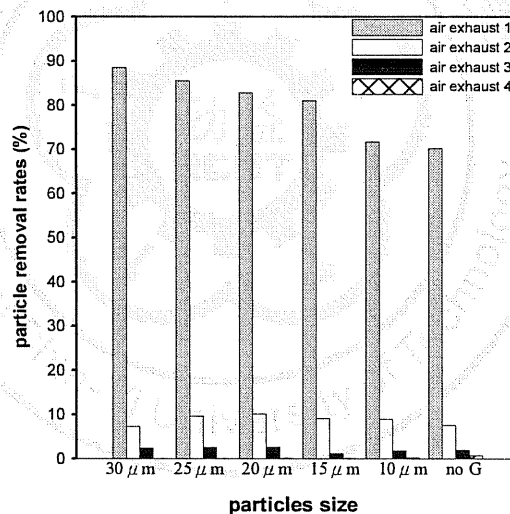


圖 4.33 600 秒後不同大小粒子在各排風口之移除率

不同粒徑大小之淨空時間以及剩下粒子排除狀態，如表 7 所示。

由表 7 可見，隨著粒徑大小愈小，淨空時間愈久，此係因粒徑小的粒子較易受氣流影響而漂浮在半空中，較重之粒子則較易沉澱在地面

上，隨氣流而從排風口排除。各粒徑大小之淨空時間，如圖 4.34 所示。

表 7 不同粒徑大小的淨空時間與 600 秒後剩餘粒子之排除狀態

粒子大小	淨空時間 (sec)	剩餘粒子在各排風口移除之粒子總數 $N_i$			
		1	2	3	4
30 $\mu\text{m}$	700	13	2	20	0
25 $\mu\text{m}$	1060	19	2	26	0
20 $\mu\text{m}$	1200	43	15	2	14
15 $\mu\text{m}$	2020	58	48	27	4
10 $\mu\text{m}$	2520	105	59	33	38
忽略重力	2490	123	58	42	38

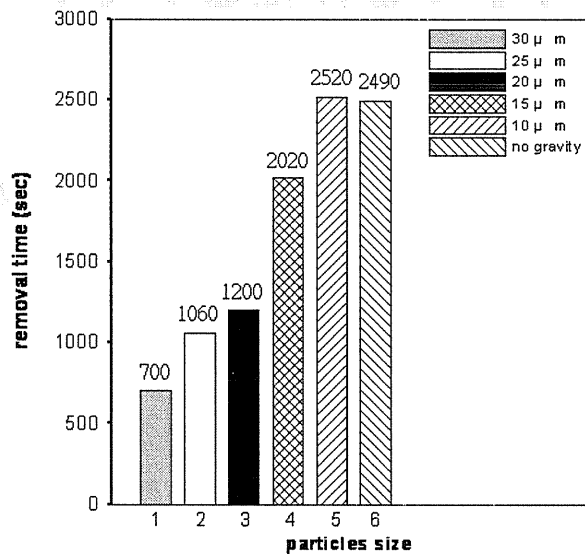


圖 4.34 不同粒徑大小粒子之淨空時間

不同粒徑大小粒子在研究空間內淨空後的移除比例，如表 8 與圖 4.35 所示。由圖表中比較後可發現其趨勢是幾乎相同的，只因粒徑

大小而數量有所變動，移除率高低順序為 1>2>3>4 號排風口。

表 8 不同粒徑大小粒子淨空後在各排風口之總移除率

粒子大小	總移除率 $R_{rem}$ (%)	各排風口之移除率 $R_{rem}$ (%)			
		1	2	3	4
30 $\mu\text{m}$	100	89.2	7.4	3.4	0.0
25 $\mu\text{m}$	100	86.4	9.7	3.8	0.0
20 $\mu\text{m}$	100	85.3	11.0	2.7	1.0
15 $\mu\text{m}$	100	84.7	12.1	2.8	0.3
10 $\mu\text{m}$	100	79.5	13.3	4.3	3.0
忽略重力	100	79.5	12.0	5.0	3.5

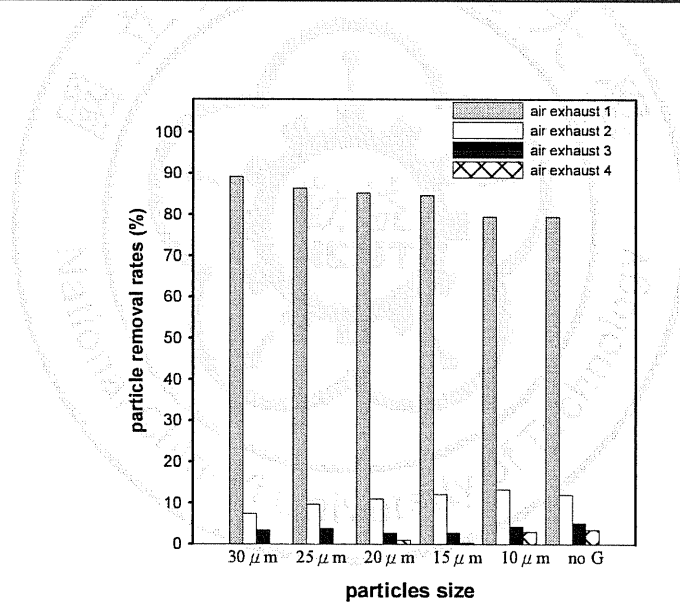


圖 4.35 研究空間淨空後各個排風口之總移除率

## 第五章 結論

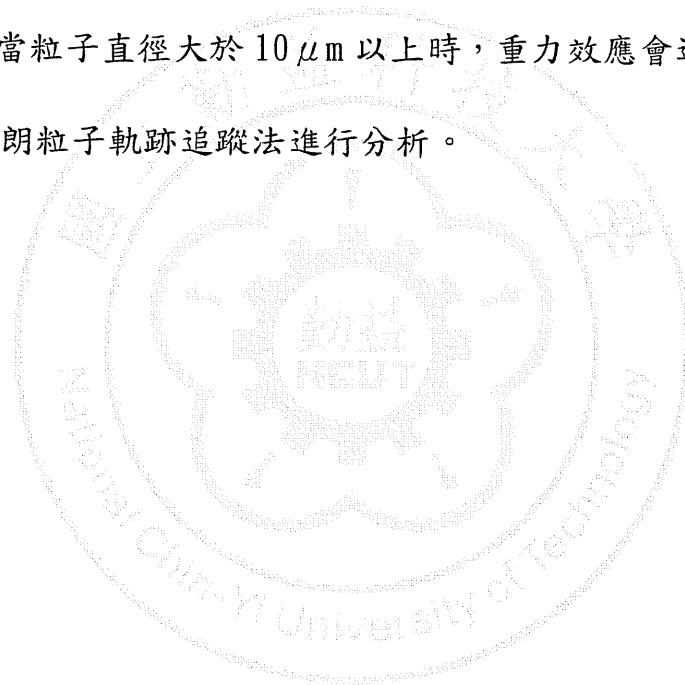
本研究發現，若以由門進入空間之粒子總數來做比較，在門開啟的時段，以 case 1 抑制污染粒子由門進入研究空間的能力為最佳，case 2 次之，case 3 最差。

若以排除之粒子與殘餘之粒子來做比較，雖然 case 1 進入空間之粒子總數最少，但其污染物排除之比例卻沒有比較高，約佔 76.62%。由此可知，case 1 雖可抑制污染粒子由門進入，但在粒子進入空間後，卻無法有效的將污染粒子排除。case 2 進入空間之粒子數雖然少於 case 3，但其粒子排除之比例相較於另外兩個 case 要來的高，約佔 82.70%。此結果是由於進風口放置於中間，可將進入空間之污染帶至角落的四個出風口，及門口處的旋轉的氣流所導致。case 3 則不論是進入空間之粒子數，或是排除之百分比，皆比其他兩個 case 來的差。

所以在進風口位置的選擇上，最好選擇 case 2，即進風口位於中間為優先選擇；若因其他特殊考量，再考慮使用 case 1，將進風口置於靠門處；case 3 在此則完全不建議使用。

利用 CFD 模擬氣流狀態，探討粒子之移除率與抑制率之結果顯示，送風口愈靠近門的位置，其抑制率就愈好，就像是形成一道風門，擋住粒子進入實驗室。而，送風口愈遠離門的位置，其形成風門的氣

流愈不明顯，粒子亦較容易進入實驗室，抑制率則降低。若將送風口設置在研究空間之中央位置，可行成一對稱之氣流，粒子較容易隨氣流從四個排風口排除，且由粒子的抑制率、移除率的效果來看，當粒子直徑小於或等於  $10\ \mu\text{m}$  時，其抑制率或移除率的效果均與忽略重力效應時的效果相當。因此，當粒子直徑小於  $10\ \mu\text{m}$  且在忽略重力效應之因素下，分析粒子的分佈時，可由濃度分佈方程式來進行分析即可。然而，當粒子直徑大於  $10\ \mu\text{m}$  以上時，重力效應會逐漸明顯，此時應以拉格朗日粒子軌跡追蹤法進行分析。





## 參考文獻

- [1] Hua Qian, Yuguo Li, Peter V. Nielsen, Carl E. Hyldgaard, “Dispersion of exhalation pollutants in a two-bed hospital ward with a downward ventilation system”, *Building and Environment* 43 (2008) 344-354.
- [2] Bin Zhao, Jun Wu, “Particle deposition in indoor environments: Analysis of influencing factors”, *Journal of Hazardous Materials* 147 (2007) 439-448.
- [3] Bin Zhao, Ping Guan, “Modeling particle dispersion in personalized ventilated room”, *Building and Environment* 42 (2007) 1099-1109.
- [4] Farhad Memarzadeh, Jane Jiang, “Methodology for minimizing risk from airborne organisms in hospital isolation rooms”, *ASHRAE Transactions: Symposia Vol.106, pt2, 2000*, 731-747.
- [5] 邱正吉, “隔離病房內部動態氣流模擬分析”, 碩士論文, 國立台北科技大學, 2004.
- [6] Ooi Yongson, Irfan Anjum Badruddin, Z.A. Zainal, P.A. Aswatha Narayana, “Airflow analysis in an air conditioning room”, *Building and Environment* 42 (2007) 1531-1537.
- [7] Xu Jie, Kang Yan Ming, Zhong Ke, “Numerical simulation of the concentration variation under different pollutant sources in a displacement ventilating room”, *洁净与空调技术 CC&AC 2008 年第一期*, p.12-p.16.
- [8] T.T. Chow, A. Kwan, Z. Lin, W. Bai, “Conversion of operating theatre from positive to negative pressure environment”, *Journal of Hospital Infection* (2006) 64, 371-378.
- [9] N.P. Gao, J.L. Niu, “Modeling particle dispersion and deposition in indoor environments”, *Atmospheric Environment* 41 (2007) 3862-3876.
- [10] Z. Zhang, Q. Chen, “Experimental measurements and numerical simulations of particle transport and distribution in ventilated rooms”, *Atmospheric Environment* 40 (2006) 3396-3408.
- [11] FLUENT 6.3 User’s Guide.