

# 職場整體換氣性能規範之探討

## **The Guideline and Performance of General Ventilation in Workplace**

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

# 職場整體換氣性能規範之探討

## **The Guideline and Performance of General Ventilation in Workplace**

研究主持人：陳春萬、謝書榮

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 97 年 3 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所  
中華民國 98 年 3 月

# 摘要

在控制作業場所有害物質的方法中，工業通風是職業衛生上常見的控制方法。除了能夠控制污染物濃度在容許濃度以下，亦可維持舒適的溫濕條件，提供足夠新鮮空氣以防止作業環境空氣品質惡化而影響健康。設計得當的通風系統能夠將作業場所中有害物質有效的排除，同時也能改善作業環境的空氣品質，使作業人員能夠有一個安全而又舒適的工作環境。法規上對於危害物之預防控制，也常見有通風設置之要求，並原則性規範應該適當設計與維持適當性能。但對於實際之設計與管理作法，並未有明確規定，事業單位實際落實常希望提供更多建議，檢查機構執行法令，也希望能夠有更明確判斷準則。

計畫探討各國如何規範整體換氣，評估在台灣職業衛生規範下，事業單位對於現行整體換氣通風管理作法如何落實，研擬與試行可行之評估技術，可實際評估整體換氣之效益。另計畫也於實驗室利用示蹤氣體濃度衰減法，測定空間中的障礙物對通風換氣之影響，評估整體換氣性能之相關影響參數。

各國職業衛生規範對於整體換氣並無嚴格要求，而在台灣則要求適當換氣率，也要求測定及維持一定之二氧化碳濃度，特別在室內空氣品質要求下，二氧化碳濃度更受到重視，因此計畫研擬以二氧化碳測定為主通風換氣評估為輔之「整體換氣管理制度草案」，提出作業環境整體換氣管理與評估準則，建議採用分段方式進行，第一階段以作業環境內  $\text{CO}_2$  濃度作為指標，以不超過 1000ppm 為初步標準。如果有超過此標準之作業環境再進行第二階段更精確，使用示蹤氣體進行測試與分析，評估換氣率與通風狀況，未來期盼可供事業單位評估作業環境整體換氣性能之參考依據。

另透過全尺寸實驗分析結果顯示，以示蹤氣體濃度衰減法之初始釋放濃度並不會影響整體通風換氣率的測試結果。而空間中的障礙物對通風換氣氣流阻礙面積大小會影響空間中空氣交換效率，研究歸納出一混合因子  $K$  與障礙物所形成之受風面積大小之間的關係。而取樣點之點數與位置亦會因是否在氣流路徑上而影響換氣率之分析結果。

關鍵詞：作業環境、整體換氣、性能評估

# Abstract

Industrial ventilation is a common method in industrial hygiene reducing the hazardous substances in workplaces, it can not only prevent the escape contaminants into the workplaces below the permissible exposure level (PEL), but also can maintain a comfortable temperature and humidity conditions and supply enough fresh air preventing air pollutants in workplaces. A well designed ventilation system can effectively protect employees from exposures to potentially hazardous substances and also improve air quality in workplaces, and most important of all, it gives the workers a safe and pleasant working environment. Laws about controlling hazardous substances usually request companies in principle to set up and maintain a well designed ventilation system. There is no clear definitions about how to design and maintain, companies need more advices when actually set up ventilation systems, and inspectors need more definite standards.

The purpose of this program is to investigate the general ventilation problem and technology that company faced and needed under the current regulations. International standards and technologies about how to design and maintain an effective general ventilation system, and qualifications and systems of a professional will also be collected as a reference of modifying or making laws.

The project used tracer gas to evaluate the general ventilation efficiency in a full scale chamber. The results show that the initial CO<sub>2</sub> concentration did not influence the ventilation efficiency but the obstacle area will impact the ventilation efficiency. The K factors will response the real efficiency. However, the sample point number and location will also affect the ventilation efficiency.

The general ventilation management and strategy will provide and two stages test procedures are stated detailedly. The first stage will adopt 1000ppm CO<sub>2</sub> as the standard value for test. When the CO<sub>2</sub> level in an air-conditioning environment exceeded the standard value then it needs to do a second stage test for further investigated the ventilation efficiency. The comments and results are provided for authority's references.

Key Words: workplace, general ventilation, performance analysis

# 目錄

摘要.....	i
Abstract .....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vii
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 目的.....	3
第三節 研究架構.....	4
第二章 整體換氣性能評估.....	6
第一節 室內空氣污染源特性.....	6
第二節 整體換氣室內空氣品質問題診斷與控制策略.....	10
第三節 整體換氣相關性能規範.....	13
第四節 整體換氣性能評估方法介紹.....	18
第三章 測試（實驗）規劃.....	23
第一節 實驗目的.....	23
第二節 實驗操作流程.....	27
第三節 實驗設備說明.....	33
第四章 實驗結果與討論.....	36
第一節 整體換氣下 CO <sub>2</sub> 示蹤氣體濃度衰減之實驗結果.....	36
第二節 CO <sub>2</sub> 示蹤氣體評估整體換氣之局部通風率 ACH.....	49
第三節 初始釋放濃度對整體換氣性能評估結果比較.....	55
第四節 示蹤氣體不同採樣點配置對整體換氣性能測試影響分析.....	57
第五章 整體換氣管理策略分析.....	58
第一節 障礙物對作業環境整體換氣性能評估之影響.....	58
第二節 整體換氣性能評估方式與管理制度之建議.....	58

第三節 作業環境整體換氣通風性能現場測試.....	63
第六章 結論與建議.....	67
第一節 結論.....	67
第二節 一建議.....	68
誌謝.....	69
參考文獻.....	70
附錄一 CO <sub>2</sub> 等濃度輪廓線圖.....	72
附錄二 CO <sub>2</sub> 與 SF <sub>6</sub> 示蹤氣體換氣性能測試比較.....	90

# 圖目錄

圖 1 示蹤氣體之自然對數值與時間之線性關係示意圖.....	21
圖 2 實驗室空間尺寸示意圖.....	23
圖 3 實驗室空間採樣點配置圖.....	24
圖 4 出風口尺寸示意圖.....	24
圖 5 回風口尺寸示意圖.....	24
圖 6 實驗空間與儀器連線示意圖.....	25
圖 7 作業環境中室內障礙物之配置（垂直於氣流路徑上）.....	25
圖 8 作業環境中室內障礙物之配置（平行於氣流路徑上）.....	26
圖 9 實驗操作流程圖.....	27
圖 10 案例名稱說明.....	28
圖 11 實驗室空間實際外觀圖.....	33
圖 12 無段變頻式風機（回風）.....	34
圖 13 實驗組別 A 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	37
圖 14 實驗組別 B 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	38
圖 15 實驗組別 C 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	39
圖 16 實驗組別 D 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	40
圖 17 實驗組別 E 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	41
圖 18 實驗組別 F 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	42
圖 19 實驗組別 G 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	43
圖 20 實驗組別 H 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	44
圖 21 實驗組別 I 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	45
圖 22 實驗組別 J 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	46
圖 23 實驗組別 K 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	47
圖 24 實驗組別 L 之不同障礙物高度下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減情形.....	48
圖 25 無障礙物下 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	49
圖 26 障礙物高度下起 1/5 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	49
圖 27 障礙物高度下起 2/5 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	50
圖 28 障礙物高度下起 3/5 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	50
圖 29 障礙物高度下起 4/5 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	51

圖 30 障礙物高度上起 1/5 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	51
圖 31 障礙物高度上起 2/5 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	52
圖 32 障礙物高度上起 3/5 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	52
圖 33 障礙物高度上起 4/5 CO <sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH.....	53
圖 34 CO <sub>2</sub> 不同初始濃度(2000PPM)(3000PPM)濃度衰減比較圖(無障礙物) .....	55
圖 35 CO <sub>2</sub> 不同初始濃度(2000PPM)(3000PPM)濃度衰減之局部通風率 ACH 比較圖.....	56
圖 36 整體換氣管理策略流程圖 .....	59
圖 37 辦公室室內配置及採樣點圖 .....	63
圖 38 作業環境通風效率現場檢測狀況圖 .....	64
圖 39 作業環境之 SF <sub>6</sub> 濃度衰減之 ACH 圖 .....	65
圖 40 作業環境通風換氣效率現場測試狀況圖 .....	66



# 表目錄

表 1 室內空氣污染源與主要污染物質 .....	7
表 2 二氧化碳濃度與人體生理狀況之關係 .....	8
表 3 二氧化碳濃度空氣污染指標 .....	8
表 4 NIOSH 調查室內空氣品質問題之型態 .....	10
表 5 不同的作業環境訂出了最小通風率的建議 (ASHRAE) .....	13
表 6 美國 UBC 法規中有關自然通風與機械通風量法規條文 .....	14
表 7 美國 NBC 建築法規中機械通風量法規條文 .....	14
表 8 機械通風系統通風量 .....	15
表 9 一般常用示蹤氣體與偵測範圍 .....	18
表 10 實驗規劃表 .....	28
表 11 實驗組別規劃表 .....	36
表 12 障礙物垂直於氣流路徑 設計換氣次數 6 次與 12 次之實測濃度衰減 ACH .....	54
表 13 障礙物平行於氣流路徑 設計換氣次數 6 次與 12 次之實測濃度衰減 ACH .....	54
表 14 障礙物垂直於氣流路徑，不同採樣點配置下 設計換氣次數 6ACH 之實測局部 通風率 ACH 之比較 .....	57
表 15 室內環境障礙物受風面積大小與 K 值之關係表 .....	58
表 16 第一階段初檢測試紀錄表 .....	61
表 17 第二階段覆檢測試紀錄表 .....	62
表 18 作業環境整體換氣通風性能測試紀錄表 .....	64
表 19 主要工作區域之通風換氣效率 .....	65

# 第一章 計畫概述

## 第一節 前言

在控制作業場所有害物質的方法中，工業通風是一種職業衛生常見之控制方法。除能夠控制污染物濃度在容許濃度以下，亦可維持舒適的溫濕條件，提供足夠新鮮空氣以防止作業環境空氣品質惡化而影響健康。設計得當的通風系統能夠將作業場所中有害物質有效的排除，同時也能改善作業環境的空氣品質，使作業人員能夠有一個安全而又舒適的工作環境。

我國「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」[1]對作業環境空氣中有害物濃度的容許值（包括八小時日時量平均濃度、短時間時量平均濃度與最高容許濃度）均有所規範，以確保勞工身處安全的工作環境。另外「勞工安全衛生設施規則」[2]中規定在工作場所中每一勞工佔有多少立方公尺體積時，則每分鐘需有相當量之新鮮空氣，故作業場所必須提供一定量以上的換氣量，以調節新鮮空氣、溫度及降低有害物濃度。此外在「有機溶劑中毒預防規則」[3]中亦有提供計算方法，規定整體換氣裝置應依有機溶劑或其混存物之種類，計算每分鐘所需之換氣量，以確保作業環境中有機溶劑的濃度能維持在容許濃度之下。在「鉛中毒預防規則」[4]中亦規定於通風不良之場所從事軟焊作業時，其整體換氣裝置之換氣量，應為每一位從事鉛作業勞工平均每分鐘需有 1.67 平方公尺以上之換氣量。在「粉塵危害預防標準」[5]中規定對從事粉塵作業之室內作業場所，為防止粉塵之發散，應設置整體換氣裝置。故由上述各項標準及規則可說明整體換氣實為整體環境控制的主要來源。

隨著科技的進步，通風控制觀念及技術有明顯的改變，在國際上，關於通風管理制度與技術的法規也有所修改，以期給勞工在工作上有更完整的保護。修改後之鉛中毒預防規則[6]第三十條為「雇主設置之局部排氣裝置，應於鉛作業時間內有效運轉，並降低空氣中鉛塵濃度至勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準以下。」第三十一條為「雇主設置密閉設備、局部排氣裝置或整體換氣裝置者，應由專業人員妥為設計，並維持其有效性能。」。

但法規對於“專業人員”之資格與“有效運轉”並沒有明確的定義。對於如何實際落實，如何進行進行通風設計與管理，應進行探討，期能提供勞工行政與事業單位參

考。

另我國勞委會勞工安全衛生處辦理 95 年度職業衛生實驗室認證制度業務工作計畫期中審查案[7]，審查事項(八)之 1 內容有關「事業單位除依規定委託作業環境測定機構辦理環境測定，並應加強作業場所通風改善工程，可研議事業單位之通風工程設計，施工前經專業認證或驗證辦理，確保通風效果，使勞工暴露低於容許濃度。」一項，其中通風改善工程之專業認證制度在國內並無明確之規定。

法規上對於危害物之預防控制，常見有通風設置之要求，並原則性規範應該適當設計與維持適當性能。對於實際之設計與管理作法，並未有明確規定，事業單位實際落實常希望提供更多建議，檢查機構執行法令，也希望能夠有更明確判斷準則。因此本會勞工衛生處要求本所提供前開國外相關通風改善工程之專業認證制度或資訊，以做為法規落實與管理之參考。

在美國 OSHA 制定的職業安全與衛生的標準中，1910.94(a)(4)有關於排氣通風系統(Exhaust ventilation systems)[8]的標準中，規定在建造、安裝、檢驗與維護上必須遵照 American National Standard Fundamentals Governing the Design and Operation of Local Exhaust Systems, Z9.2-1960,與 ANSI Z33.1-1961 所提出的原則與要求。而針對某些特定化學物質，有另行制定規範，例如鉛，在 1910.1025(e)(4)中有規定，當使用通風系統來控制暴露時，通風性能確效評鑑指標，例如 capture velocity、duct velocity 或 static pressure 等必須每三個月做一次檢測；而系統若在製程、產出或暴露控制上有任何改變可能會影響員工的暴露情形，則必須要在 5 天內完成通風系統評鑑[9]。而美國 ASHRAE(The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)則有針對特定的通風系統，例如實驗室的化學排氣櫃，提供定性與定量的性能確效評方法[10]。1975 年 1 月 1 日日本政府公佈作業環境量測原則，此量測標準包括對作業環境有害物質之(1)量測設計規劃(2)量測取樣及(3)分析等方法。簡單來說此量測原則主要是去規範特定程級之作業環境能維持一定之環境品質並且致力去創造較好且較舒適之作業環境。可見得在國外關於通風系統相關規定均有很明確的規範，對於檢查機構與事業單位在執行上均會有一個清楚的判斷準則。

近年來針對作業環境中有害物排除及控制技術之研究已有相當之成果，同時也累積了許多作業現場應用之通風技術。1988 年時 Chen[11]等學者在研究室內通風時著重

於在不同換氣率中，其氣流場、溫度場以及污染物分佈的情況，配合使用數值模擬軟體 PHOENICS 來預估，並將數值運算的結果與實驗數據作比較，研究結果指出增加換氣率可提升換氣的效率，且數值模擬的結果與實驗值接近，有不錯的精確度。顯示數值模擬軟體 PHOENICS 可以用來作為評估室內流場變化之工具。

1994 年 Shen 與 Chang[12]發表一篇有關室內空氣品質的論文，文中提到若只是增加新鮮空氣之進氣量並無法提高或改善室內之空氣品質，該研究並以不同之進/排氣口配置做實驗，來觀察換氣作業時不同的進氣口配置與不同的排氣口配置是否會改變室內的空氣品質，結果顯示不同的進/排氣口對室內空氣品質會造成影響，可提供作為欲改善室內空氣品質時之參考。

1989 年至 1991 年期間 Garrison 等人[13][14][15]以 N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、SF<sub>6</sub> 等不同的氣體進行實驗量測，其研究結果顯示密度較空氣大的 CO<sub>2</sub>、SF<sub>6</sub> 等氣體會較高的濃度值殘留在實驗空間的底部，且以供氣方式的通風效率比吸氣式來的高，尤其研究結果顯示通風效率的好壞決定於進/排氣位置的佈置與流量的選擇，因此作業環境之排氣出口宜儘量選擇接近污染源的位置，可降低有害氣體擴散於室內不易排出。

2000 時年國內的鍾基強教授[16]在全尺寸通風實驗室中，應用示蹤氣體技術與二氧化碳(污染物)濃度衰退法去評估室內換氣率與通風效率，同時利用不同進/排氣口配置的情形，在等溫條件下採用不同的進氣速度來觀察通風效率的變化，結果顯示進/排氣口分佈的位置是影響通風效率的主要因素，且不同進/排氣口的配置其對通風效率的影響比空氣換氣率對通風效率的影響要大的多。

## 第二節 目的

一般室內的作業環境，因為人為活動、製程加工、產品製作等會產生污染源而影響到室內環境之空氣品質，長時間暴露於此種環境中將對身心健康造成嚴重傷害。對於室內環境污染物的排放控制，通風系統是非常重要的設備，尤其是當無法從排放源方面直接加以改善時其地位更是重要，不論是用來控制污染物排放的局部排氣設備，或是改善室內環境的整體通風設備，適當的通風設備是有效改善室內環境的主要方法之一。

不同的作業環境會因為單位面積人數、人員活動新陳代謝、製程作業特性而會產

生不同污染源及污染源濃度，及相對應污染源之允許暴露臨界值等，因此不同作業環境會有不同最小通風換氣之需求，以維持作業環境內人員之健康與安全。

各事業單位依其所屬作業環境相關通風換氣效率之建議進行設計、規劃、設置通風設備，其在進行通風效能確效、驗收，或是檢查機構進行勞工安全衛生稽查，確認作業場所通風性能是否符合需求時，通風換氣效率性能如何確效、通風換氣有效運轉之認定標準，國內目前似乎沒有明訂相關依據及明確的定義。

目前國內作業環境之通風換氣效率往往以排氣量或進氣量作為驗收測試之標準，但往往忽略進/排氣口位置、空氣年齡甚至是間隙風等因素，常常發現雖然送風量或排氣量很大，但室內污染物濃度依然很高，因此對整體換氣設備之性能確效，實需採用更科學方法來驗收或確認作業環境內之整體換氣效率。

目前作業環境整體換氣效率量測方法尚無較統一及準確方法，且一般作業環境內皆有大小高度不同之障礙物，此部分是否對整體換氣效率量測結果有所影響尚未有系統研究。由於作業環境類型涵蓋廣泛，因此本研究計畫先針對具有中央空調之作業環境進行探討，透過全尺寸實驗分析嘗試以示蹤氣體濃度衰減法進行整體換氣性能評估分析，並找出室內空間障礙物或量測取樣點數及位置與初始釋放濃度可能對量測評估結果造成影響，並提出初步的整體換氣管理與評估準則，希冀能提供事業單位、檢查機構評估作業環境整體換氣性能之參考依據。

### 第三節 研究架構

作業環境整體換氣性能之優劣，攸關室內環境之空氣品質與身處其中人員之健康，因此整體換氣系統其性能之量測、確效，可進一步確認作業環境之通風安全性能是否足夠與否。

以示蹤氣體技術(Tracer gas techniques)量測室內通風設備之換氣效率已為各界採用多年[17] [18]。尤其以衰退法(STEP-DOWN)，因其所需設備簡單且經濟，我們不需去控制示蹤氣體之流量，因此廣泛被用來量測室內環境之通風換氣效率。然而利用示蹤氣體技術進行室內通風性能之量測時，其氣體採樣點的位置與數量、初始釋放濃度及作業環境中存在之櫥櫃、機械設備或辦公桌椅等障礙物均可能會對實測結果造成影響。

因此本計畫之研究內容以實驗研究為主，採用“衰退法”來建立基本之量測準則探討示蹤氣體技術進行通風換氣效率量測時可能面臨的問題及不準度，所研究探討之影響變數如下：

(1) 測量數目、(2) 空間中障礙物、(3) 設計之換氣次數

上述各個參數皆為測量法中相當重要但在目前量測整體換氣效能時並無一定之標準，以下針對各個項目在詳細說明：

(1) 測量數目：氣體採樣點數目與量測空間有直接關係因此將在所欲量測控制空間中以十字分佈狀況，分別採用 8 點、4 點與 2 點，在障礙物前後均勻分布配置，進行三種不同採樣點配置進行量測結果比較分析。

(2) 空間中障礙物：一般作業環境中常有不同體積大小之障礙物於量測空間中，因此在本研究計畫中於一固定截面設置不同高度之障礙物進行量測之採樣分析。

(3) 設計之換氣次數：在量測研究過程中嘗試以 2 種不同設計之換氣次數(6 次與 12 次)以瞭解在相同操作條件下，整體換氣效率之改變，同時希望能找出在不同換氣次數下換氣效率提升之效果。

研究架構可概要的分為三大項：

1. 整體換氣性能要求資料收集整理及整體換氣性能評估技術比較。
2. 透過實際全尺寸實驗探討作業環境進行整體換氣性能評估時，相關影響因素分析探討，以提供評估確效時適當之量測驗證方法、測試流程與相關限制條件等。
3. 研擬可行之整體換氣管理與評估策略，並嘗試訂定相關整體換氣管理標準作業流程(SOP)及性能評估測試方法與步驟。

## 第二章 整體換氣性能評估

### 第一節 室內空氣污染源特性

#### 一、室內空氣污染物

室內的空氣污染源主要來自外氣、室內人員、燃燒器具與日用品，另建築材料、傢俱與有機物(如腐敗之食物)亦會產生空氣污染物，室內空氣污染物來源與其主要污染物質[19]如表 1 所示，由此表可知室內一氧化碳來源有外氣、燃燒與抽煙三項；二氧化碳除燃燒與抽煙外，室內的主要污染來自人體代謝作用；粉塵的污染源具多樣性，而各種污染源排放的粉塵種類不同。

如何排除室內空氣污染物是維持室內空氣品質之主要，一般降低室內空氣污染物的作用主要有下列三項：

- 1.藉由通風設備排除於室外大氣中
- 2.藉化學反應而轉化成無害之物質
- 3.吸附於物質表面

至於何種作用則須視污染物的性質、環境條件及通風換氣作用而定；因此控制室內空氣品質，須對污染物的特性有透徹的瞭解，才能在事先控制某發生量；事後擬定正確而有效率的控制對策。

茲針對一氧化碳、二氧化碳與粉塵等室內常見之空氣污染物的特性說明如下：

#### 1.一氧化碳

一氧化碳是一種無色、無味的氣體，低濃度情況下便有毒，主要是燃燒不完全而產生。一氧化碳性質相當安定不易變化，在陽光下的分解速率約  $0.001\text{hr}^{-1}$ ，不易以吸附作用消除。

#### 2.二氧化碳

二氧化碳( $\text{CO}_2$ )是一種無色無味的氣體，性質安定不易變化，為碳原子(C)進行氧化作用後的產物，綠色植物行光合作用的主要元素之一，這也是自然消除  $\text{CO}_2$  的主要作用。因此  $\text{CO}_2$  在室外並非空氣污染物，但在室內由於濃度過濃將會造成人體不適的現象，因此針對室內可將其視為空氣污染物。

#### 3.浮游粉塵

浮游粉塵是具有複雜的化學組成的微粒，其化學成份是對人體產生不良影響的主因，如溶有毒性氣體的液態微粒或纖維狀粉塵；其具有與它種物質表面(如壁體、器具)或粒子間互相結合之現象，謂之附著作用；而水滴或與帶靜電物體亦易吸附粉塵；除此之外，浮游粉塵尚有因自重而沉澱之特性，使粉塵濃度自然降低， $10\ \mu m$  以下之微粒自然沉澱率約為  $0.05hr^{-1}$ 。

本研究將以二氧化碳當作室內空氣污染指標，因此對其特性與對人體健康的影響必須要有基本的認識，才不至於造成疏失，影響身體健康與實驗結果的錯誤。以下就針對其性質與對人體健康的影響做一簡單的敘述。

二氧化碳基本上不具毒性，在性質上對人體無害，但在門窗關閉、換氣不良的室內，室內人員多數聚集的場所，二氧化碳濃度升高，血液變酸而易疲倦，使工作效率降低。因此針對室內而言， $CO_2$  可以視為污染物，為了人體健康著想必須考量其濃度值在合理範圍之內。

表 1 室內空氣污染源與主要污染物質

來源類別	污染來源	污 染 物 質
滲入外氣	汽機車排放廢氣	一氧化碳、粉塵、氮氧化物、硫氧化物、鉛、臭氧
	工廠	一氧化碳、粉塵、氮氧化物、硫氧化物、光化學性高氧化物(臭氧)、鉛
	營建工地及其它	粉塵、細菌、花粉粒、濕氣
室內人員	人體	體臭、二氧化碳、氨、水蒸氣、頭皮屑、細菌
	人員活動	砂塵、纖維、黴菌、細菌
	香煙	粉塵、一氧化碳、二氧化碳、氨、氮氧化物、碳氫化合物、各種致癌物質
空調系統	空調箱(過濾網)	霉菌、虱蚤類、細菌、臭味
	風管	粉塵、纖維、霉菌、虱蚤類、細菌
燃燒器具與用品	事務機器(影印機、清靜機等)	氨、臭氧、溶劑類、塵粒、粉墨粒
	燃燒器具(瓦斯爐、熱水器等)	二氧化碳、一氧化碳、氮氧化物、碳氫化合物、粉塵、煙粒子、燃燒核
	殺蟲劑類	噴射劑，殺蟲劑、殺菌劑、殺鼠劑、防蠅劑



建築材料	室內建築材料	甲醛、石棉纖維、接著劑(苯類)、油漆(苯類)、地毯纖維毛絮、黴菌、浮游細菌、壁蝨
	維修保養	溶劑、洗劑、砂塵、臭菌
有機物質	室內有機物質	腐壞食物(黴菌、臭味)、植物花草(花粉粒)、潮濕物(黴菌、臭味)、排泄物(細菌、臭味)

表 2 是室內二氧化碳濃度與人體生理狀況之關係。CO<sub>2</sub> 濃度在 600ppm 以下室內人員不會產生不適的症狀，而 1000ppm 以上則常有頭痛、昏睡等症狀發生；此外，CO<sub>2</sub> 濃度增高，可能該室之空氣亦已污濁，含大量其它空氣污染物，因此易引起呼吸器官疾病或神經中樞之傷害。表 3 是 CO<sub>2</sub> 濃度空氣污染指標，顯示一般室內空氣中二氧化碳濃度常以 700~1000ppm 或 1000ppm 以下作為基準。

表 2 二氧化碳濃度與人體生理狀況之關係

二氧化碳濃度(ppm)	對人體生理之影響
≤ 600	無
600~1000	偶而抱怨頭痛、昏睡、悶熱
1000~10000	呼吸系統、循環系統及大腦之機能上受到影響
10000~30000	呼吸增大及臉上有溫熱感
30000~40000	耳鳴、頭痛及血壓上升
40000~60000	皮膚血管擴張、噁心、嘔吐
70000~80000	精神活動混亂、呼吸困難
80000~100000	意識混濁而發生呼吸停止
100000~200000	中樞傷害的發生，構成生命的危險

表 3 二氧化碳濃度空氣污染指標

濃度(ppm)	意義
700	多數人長時間在室內的濃度限制
1000	一般場合之濃度限制
1500	在換氣計算使用之濃度限制
2000~5000	被認為相當不良之濃度值
5000 以上	被認為有害的濃度
備註	非 CO <sub>2</sub> 自身有害之濃度，而是假定空氣的物理性狀、化學性狀與 CO <sub>2</sub> 濃度成比例之污染濃度限制標準

## 二、室外空氣污染物

室外空氣污染物亦是影響室內空氣品質主要因子之一，尤其隨著經濟迅速發展，無論是工業生產所產生之污染物或是汽機車廢氣排放所造成的汙染，對於座落於附近的建築物進行室內外空氣交換過程中，室外空氣污染物影響相當大，往往造成室內空氣品質不良。

空氣中含有固定量的氮(78%)氧(21%)氫(0.9%)與會隨著地方不同而改變數量的二氧化碳(約 0.03%)，還包括一些微量的惰性氣體(氖、氬、氦、氡...等等)。除了上述列出的這些氣體之外通常我們都視為空氣污染物，這些污染物濃度幾乎都很小但是可能會對於建築室內人員和建築材料或內部物質有嚴重的影響，而去除這些污染物氣體或是避免其進入建築物室內影響空氣品質對於我們而言相形重要且必須。

傳統上，室內氣體污染物透過通風方式所引進之室外空氣加以稀釋與控制，但是有時因為建築物所處位置（工業區或交通密集區）或是外氣進風口位置設計不當的關係，造成所引進利用的室外空氣也可能包含超過危害臨界濃度的氣體污染物。因此在引進外氣進行空調通風換氣之前需要藉由氣體污染物移除設備來處理這些污染物，除此之外，也可利用最小的外氣引進量再利用較大量的循環回風和過濾來達到節約能源的效果[20]。

## 三、氣體污染物

空調通風區域或人員所在空間中之空氣含有有害或是對人有影響之氣體，是我們從空氣氣流中移除氣體污染物的主要原因。不同的汙染物在不同的濃度條件下會有顯著不同的影響。一般氣體污染物具有四種有害的狀況：包括毒性、氣味、刺激及材料損害。在大部份的情形下，氣體污染物對人類到達具危害性的臨界值之前，即會因為其臭味或是刺激性造成人員不舒服。

但也有例外，有些氣體污染物在到達具危害性的臨界值之前是很難去察覺，例如具潛在致命毒性之一氧化碳氣體本身並無氣味。其它非工業污染物的來源包括：典型香菸所產生的主要汙染物—煙、建築材料產生的氣體汙染物、室內燃燒設備產生之氣體汙染物及人體散發氣體汙染物等。

## 第二節 整體換氣室內空氣品質問題診斷與控制策略

### 一、室內空氣品質之問題

在非工業用途的建築物當中之室內空氣品質問題通常是通風換氣量提供不足以致無法稀釋或移除在室內的空氣污染物。除此之外，儘管提供一定外氣通風量，但因為污染物控制方法設計不當或通風空調配置不佳也可能造成室內空氣品質問題。

造成室內空氣品質問題的因素很多，依據美國職業安全衛生協會（National Institute for Occupational Safety and Health；NIOSH）[19]對於建築物室內空氣品質評估調查結果，將引起室內空氣品質問題進行分類，如表 4 所示。

表 4 NIOSH 調查室內空氣品質問題之型態

問題型態	建築物數量	所佔比例%
通風設計不當	280	53
室內污染物	80	15
室外污染物	53	10
微生物之染物	27	5
建築材料產生之污染物	21	4
未知	68	13
總和	529	100

而在進行氣體污染物的控制設計必須對欲控制之氣體污染物其特性與濃度分布狀況有正確了解。要能正確的掌握氣體污染物的特性或是其濃度等資訊，可以從分析計算污染物產生源之強度或相關數學模式或進行直接量測污染物獲得。不幸地，利用評估計算進行設計的可靠度往往不足，因此設計者常常需要配合觀察、經驗與實際判斷，補充作為設計資料的參考。

一般控制室內空氣品質之通風空調設計有二種情況：

(1)在新的建築物中設計新的通風系統控制室內空氣品質，而室內氣體污染物之負荷必須進行估計或量測。

(2)修正原有通風系統解決特定室內空氣品質問題。

對於第一種情形，必須使用先前描述的數學模式。確定污染物產生的行為、估算並且加入建築物內的產生源，同時確認室外的空氣污染物。

對於第二種情形，可能需要進行實際測量來確認污染物。空氣品質問題的評估可

能變成室內空氣品質調查，包括進行建築物檢驗、人員問券調查與局部採樣和分析。一旦瞭解污染物種類特性和其負荷，相關通風空調設計即能開始。

有關污染物負荷之估算部份，針對特定場所或時間進行取樣與分析來確認污染物之濃度。很多的實際量測上在進行污染物與時間的量測分析時會有重疊或是間斷的情形發生，因此通常採用整體污染負荷之估算。

## 二、室內空氣品質控制策略

一般用來改善建築物室內空氣品質的四個控制策略有：(1)移除污染物來源(2)使用氣罩進行局部排氣或潔淨循環空氣(3)利用增加整體通風換氣加以稀釋與(4)潔淨整體通風換氣。前三者通常最可行，而利用潔淨整體換氣之控制策略來改善空氣品質通常會很難達成。

### 1.來源去除

去除空氣污染物來源對於改善室內空氣品質往往最有效且通常花費最低。例如，在建築物內禁止吸煙或隔離吸煙區在有限的區域內，可以大量降低室內空氣污染。

### 2.局部來源控制

當建築物室內空間存在有分散的污染源或產生數量相當可觀的氣體污染物時，局部排氣控制比整體通風控制有效。如果這些污染物具有毒性、刺激性、或具有強烈難聞氣味時，必須利用局部通風控制配合室外排氣來加以控制。浴室、廚房是最普遍的例子，排氣量的大小有時候需針對局部排氣相關法規來設計。最小排氣速度需考量能捕集較大的氣膠粒子將其控制並移除，此部分的設計考量與控制氣體污染源有所不同。

局部排氣通常是由排氣風扇透過管路系統與室外排氣塔來把氣體排出室外。相關法規要求有些使用局部控制策略之情況，其排出之氣體必須先進行過濾以防止有毒氣體污染物直接釋放至室外。有時候使用局部控制策略所排出之氣體也可以經過過濾處理後再回到室內空間，如此可以節省對外氣加熱和冷卻所耗費之能源。由於過濾器有故障的風險存在，因此上述情況必須侷限在局部控制策略所排出的氣體污染物是無毒且無害。

### 3.透過整體通風稀釋

在一般住宅和商業用途大樓裡，主要會在廚房、浴室內和如印表機一樣非連續性產生氣體污染源等之位置使用局部污染源控制策略。沒有局部控制污染源裝置的室內空間，則利用整體通風系統透過稀釋來控制污染物。整體通風系統往往必須提供室內空間熱負荷之需求並符合污染物控制標準。且儘可能達到室內空間空氣完全混合與提供室內每個人員有相同空氣量之目的。

### 第三節 整體換氣相關性能規範

環顧世界各國主要整體換氣性能規範或建議值大都出自於建築與勞安主管部門或相關研究機構，而通風換氣規範主要針對主要建築物用途或人員密度加以區分，以換氣率 ACH 或以人數之換氣量需求訂定之。以下列出各國或研究單位主要整體通風換氣規範或建議。

#### 一、美國冷凍空調學會

美國冷凍空調學會（American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers；ASHRAE）[21] 對於不同的作業環境訂出了最小通風率的建議，如表 5 所示。

表 5 不同的作業環境訂出了最小通風率的建議（ASHRAE）

室內環境型態	換氣率	外氣需求	外氣率
一般辦公室	4 ~ 10	20 cfm 每人	--
教室	6 ~ 20	15 cfm 每人	--
走廊	--	0.1 cfm	--
大中庭	4 ~ 15	15 cfm	--
餐館	12 ~ 15	12 cfm	--
醫院病房	4	--	1/3
醫院隔離室	15	--	1/3
醫院感染病房	6	--	1/3
生化實驗室	4 ~ 10	--	1/3
動物實驗室	4 ~ 10	--	100%
解剖室	12	--	1/6
化學品儲藏室	6	--	1/3

註： 1.換氣率：供氣量與室內體積比（Air Change per Hour，ACH）

2.外氣率：外氣量與供氣量之比

3.cfm：流量的單位（cubit ft per min）

#### 二、美國 UBC 法規

美國 UBC 法規為為美國 ICBO[22] (International Conference of Building Officials) 所制訂，多為美東地區各洲、市政府建築管理機關所採用。此法規將建築物依其用途特性劃分為七大類 (Group A, B, E, H, I, M, R)，分別就各個不同的類別定義其所屬的自然通風與機械通風法規條文，茲節錄部份條文內容如表 6 所示。

由於此法規將多種用途空間歸納成一大類，例如 R 群中 (GROUP R) 就包含了酒吧、商業廚房、賣場、印刷場、辦公室、工場、封閉式車庫等用途空間，同一群中並無依用途空間的不同分別而訂定其所需之機械通風量，過度粗略的量值引用往往造成某些特殊用途空間其通風量值與一般空間相同，並未對其特殊性作額外之考量。

表 6 美國 UBC 法規中有關自然通風與機械通風量法規條文

類別 Group	空間用途	機械通風量	
R	臥室、客房、宿舍	0.4 ACH	
R	上述之浴室／廁所	5 ACH	
A	集會堂	5CFM/人	
B	辦公室、酒吧、廚房、印刷場、工場	5CFM/人	
B	私人車庫	1.5CFM/ft <sup>2</sup> 或 14000CFM/車	
E	小學、托嬰所	5 CFM/人	
A	廁所	集會堂	4 ACH
B		辦公室	4 ACH
E		小學	4 ACH

### 三、美國 NBC 法規

美國國家建築法規(National Building Code)為美國 BOCA[23](Building Official & Code Administrators)所訂定，多為美西地區各洲、市政府建築管理機關所採用。NBC 法規中有關通風條文之架構與內容大抵上皆遵循美國 ASHRAE STANDARD 62-1989 之規定，如表 7 所示。

表 7 美國 NBC 建築法規中機械通風量法規條文

空間用途		必須通風量 CFM/人
辦公室	會議室	35
	辦公空間	20

	印刷室	0.5 CFM/ft <sup>2</sup>
住宅	臥室	10 (CFM per room)
	廚房	100 (CFM per room)
餐飲業	酒吧	50
	速食店	35
	餐廳	35
	廚房	30
戲院	觀眾席	35
	大廳	35
	放映室	20

#### 四、我國建築技術規則

我國「建築技術規則」[24]中之建築設備編有針對通風系統通風量進行規範，針對建築物供各種用途使用之空間，設置機械通風設備時，最小通風量需求。相關規範如表 8。

表 8 機械通風系統通風量

房間用途		樓地板面積每平方公尺所需通風量 (立方公尺/小時)	
臥室、起居室、私人辦公室等容納人數不多者。		8	8
辦公室、會客室		10	10
工友室、警衛室、收發室、詢問室。		12	12
會議室、候車室、候診室等容納人數不多者。		15	15
展覽陳列室、理髮美容院。		12	12
百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等康樂活動室、灰塵較少之工作室、印刷工場、打包場。		15	15
吸菸室、學校及其他指定人數使用之餐廳		20	20
營業用餐廳、酒吧、咖啡館。		25	25
戲院、電影院、演藝場、集會堂之觀眾席。		75	75
廚房	營業用	60	60
	非營業用	35	35
配膳室	營業用	25	25
	非營業用	15	15
衣帽間、更衣室、盥洗室、樓地板面積大於 1.5 平方公尺之發電或配電室		—	10
茶水間		—	15



住宅內浴室或廁所、照相暗室、電影放映機室	—	20
公共浴室或廁所，可能散發毒氣或可燃氣體之作業工場	—	30
蓄電池間	—	35
汽車庫	—	25

### 五、我國室內空氣品質建議值

依據中華民國 94 年 12 月 30 日行政院環境保護署環署空字第 0940106804 號，相關內容如下：

1. 為改善及維護室內空氣品質，維護國民健康及生活環境，特訂定本建議值。
2. 本建議值除勞工作業場所依室內空氣污染物濃度標準外，其他室內場所空氣污染物及濃度如下：

項目	建議值	單位		
		第 1 類	第 2 類	
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	8 小時值	第 1 類	600	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	1000	
一氧化碳 (CO)	8 小時值	第 1 類	2	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	9	
甲醛 (HCHO)	1 小時值		0.1	ppm (體積濃度百萬分之一)
總揮發性有機化合物(TVOC)	1 小時值		3	ppm (體積濃度百萬分之一)
細菌(Bacteria)	最高值	第 1 類	500	CFU/m <sup>3</sup> (菌落數/立方公尺)
		第 2 類	1000	
真菌(Fungi)	最高值		1000	CFU/m <sup>3</sup> (菌落數/立方公尺)
粒徑小於等於 10 微米 (µm) 之懸浮微粒 (PM <sub>10</sub> )	24 小時值	第 1 類	60	µg/m <sup>3</sup> (微克/立方公尺)
		第 2 類	150	
粒徑小於等於 2.5 微米(µm) 之懸浮微粒 (PM <sub>25</sub> )	24 小時值		100	µg/m <sup>3</sup> (微克/立方公尺)
臭氧 (O <sub>3</sub> )	8 小時值	第 1 類	0.03	ppm (體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	0.05	

3. (一) 1 小時值：指 1 小時內各測值之算術平均值或 1 小時累計採樣之測值。

(二) 8 小時值：指連續 8 個小時各測值之算術平均值或 8 小時累計採樣測值

(三) 24 小時值：指連續 24 小時各測值之算術平均值或 24 小時累計採樣測值。

(四) 最高值：依檢測方法所規範採樣方法之採樣分析值。

4. (一) 第 1 類：指對室內空氣品質有特別需求場所，包括學校及教育場所、兒童遊樂場所、醫療場所、老人或殘障照護場所等。

(二) 第 2 類：指一般大眾聚集的公共場所及辦公大樓，包括營業商場、交易市場、展覽場所、辦公大樓、地下街、大眾運輸工具及車站等室內場所。

5. 中央各目的事業主管機關及地方政府為改善室內空氣品質得另訂較嚴格之標準值。

## 六、我國勞工安全衛生設施規則

中華民國 96 年 2 月 14 日行政院勞工委員會勞安 2 字第 0960145104 修正，第 12 章第 3 節通風及換氣相關內容如下：

◆ **第三百零九條**：雇主對於勞工經常作業之室內作業場所，除設備及自地面算起高度超過四公尺以上之空間不計外，每一勞工原則上應有十立方公尺以上之空間。

◆ **第三百一十條**：雇主對坑內或儲槽內部作業，應設置適當之機械通風設備。但坑內作業場所自自然換氣能充分供應必要之空氣量者，不在此限。

◆ **第三百一十一條**：雇主對於勞工經常作業之室內作業場所，其窗戶及其他開口部分等可直接與大氣相通之開口部分面積，應為地板面積之二十分之一以上。但設置具有充分換氣能力之機械通風設備者，不在此限。雇主對於前項室內作業場所之氣溫在攝氏十度以下換氣時，不得使勞工暴露於每秒一公尺以上之氣流中。

◆ **第三百一十二條**：雇主對於勞工工作場所應使空氣充分流通，必要時，應依下列規定以機械通風設備換氣：

(一) 應足以調節新鮮空氣、溫度及降低有害物濃度。

(二) 其換氣標準如下：

工作場所每一勞工所佔立方公尺數	5.7 以下	5.7~14.2	14.2~28.3	28.3 以上
每分鐘每一勞工所需之新鮮空氣之立方公尺數	0.6 以上	0.4 以上	0.3 以上	0.14 以上

## 第四節 整體換氣性能評估方法介紹

現場進行整體換氣性能評估、測定，可進一步確認作業環境整體通風換氣是否符合相關環境需求，要如何有效進行整體換氣性能評估、量測是相當重要的課題。實際上，針對實際建築空間通風換氣效能檢測方法，包括ASHRAE美國冷凍空調學會之空調規範、壓力滲漏量量測法以及示蹤氣體量測法。其中，以示蹤氣體量測方法進行現場室內通風換氣效能測量或相關通風換氣性能分析已廣為被使用。

本研究整體換氣評估主要採用示蹤氣體“濃度衰減法”來建立基本之量測準則，與所需之量測儀器。既然是採用示蹤氣體，因此對氣體種類之選擇為第一個課題，所選氣體所搭配的儀器不能太貴重，否則失去其經濟效益。

### 一、示蹤氣體選定與量測應用

#### 1. 示蹤氣體之選定

氣體進入室內之方式為自然通風或機械通風，雖然經由直接量測進氣口之風速可以換算成室內應有之換氣量，但卻無法考量建築結構上許多無法得知之缺口與縫隙，亦無法同時量測具備多種通風方式與開口之案例，但是利用示蹤氣體技術可量測整體建築於日常使用中之通風現況，其利用示蹤氣體之送入，針對示蹤氣體於空間中之擴散速率、濃度增長或衰減、分佈狀態、進氣量等進行量測，可將室內氣流與通風狀況描述清晰，而一般常用示蹤氣體有很多種類如表 9 所示，而本研究採用二氧化碳當作示蹤氣體。

表 9 一般常用示蹤氣體與偵測範圍

示蹤氣體	危險濃度	分子量
二氧化碳(CO <sub>2</sub> )	5000ppm	44
氧化亞氮(N <sub>2</sub> O)	25ppm	44
六氟化硫(SF <sub>6</sub> )	1000ppm	146
氟氯化物(PFTs)	—	200-400

為了達成方便追蹤與量測之目的，室內所有人員正常工作時能準確且安全進行示蹤氣體實際量測，示蹤氣體必須具備下列之氣體與量測之特性：

- (1) 具備與空氣相似之密度(Similar density to air)

- (2)於室內外環境中不常存在(Not normally present in the atmosphere)
- (3)不具備毒性(No toxicity)
- (4)不具爆炸性與可燃性(Neither be flammable nor explosive)
- (5)不易被其他物質吸收或吸附(Not easily be absorbed or sink)
- (6)偵測與量測容易(Easily be detected at low concentration)
- (7)具備可靠之低濃度量測精度(To a good order of accuracy)

## 2.示蹤氣體量測方式

運用示蹤氣體評估作業環境整體換器性能有三種方式可供應用：濃度衰減法(Concentration-Decay Method)、定量釋放量法(Constant-Emission Method)與定濃度法(Constant-Concentration Method)，茲分述如下：

### (1)濃度衰減法

這是利用示蹤氣體量測換氣率以及短時間內量測不同換氣量值之最基本方式，此法乃先將示蹤氣體釋放一定的量，並利用風扇促使室內濃度快速均勻混和，待靜置一段時間後進行通風量測，由於室內氣體之流動與稀釋帶出，室內示蹤氣體之濃度會隨之而衰減，利用計算此衰減率便可得出室內換氣量值。其計算方式如下式所示。由於同一狀態下換氣量值應相同，故於不同初始濃度狀態下進行之結果應相同。

$$\text{Air change rate, } N = \frac{\ln C(t_1) - \ln C(t_2)}{\Delta t}$$

### (2)定量釋放量法

此法主要應用於單一空間之長時間連續性量測室內換氣率狀態，或是使用於量測風管(Ventilation duct)氣流擴散狀態。當使用此法進行量測時，示蹤氣體定速定量釋放於空間中必須完全混和，則示蹤氣體每單位時間內供給量相同，量測單位時間內室內之濃度值，並計算供給量與室內濃度之差值便為單位時間內之換氣量。

### (3)定濃度法

此種方式使用於在一個或多個空間中連續換氣率量測，其能更有效應用於室內空間使用分析。當使用定濃度法進行時，其示蹤氣體是利用多點氣體釋放

控制儀進行釋放與量測，爲了要保持其固定濃度，需將實測值傳送至控制示蹤氣體釋放量之儀器，同時並需使用風扇以幫助示蹤氣體與室內空氣之混合；但在多數的案例中，每個區域中的空氣並不需要充分的混合。但如同定量釋放法般須考量其示蹤氣體之消耗量。

表 9 所列的各種可用示蹤氣體又以 CO<sub>2</sub> 爲價格最經濟，採樣器便宜且不具毒性爲其優點。但其較受背景環境之影響，爲其缺點，但衡量其優缺點，本計劃初步建議採用 CO<sub>2</sub> 爲示蹤氣體進行研究，但輔以 SF<sub>6</sub> 及 particle 進行校正，找出其差異性。

### 3.換氣率計算方式：

應用一示蹤氣體在一大氣壓下釋放並將之均勻混合(complete mixing)於一密閉空間內，則由質量守恆方程式(mass balance equation)可得下列式子：

$$V \frac{dC}{dt} + QC - QC_{in} = F \quad (1)$$

其中 V：室內有效體積(m<sup>3</sup>)

C：空間內示蹤氣體瞬時濃度

C<sub>in</sub>：進入空間之示蹤氣體濃度

Q：空氣流量(m<sup>3</sup>/s)

F：示蹤氣體釋放率(m<sup>3</sup>/s)

t：時間(s)

本研究採用示蹤氣體濃度衰減法以評估室內空間之通風效率，考慮一定量的示蹤氣體均勻分佈於一空間內，其濃度將達到一尖峰值(peak level)C<sub>(0)</sub>。當氣體均勻分佈後，令氣體釋放率 F=0。則示蹤氣體被進入之外氣所稀釋時，示蹤氣體的濃度將逐漸地衰減。此時，(1)式積分可得下式。因此，換氣率(Q/V)可由示蹤氣體隨時間之濃度衰減曲線取對數的斜率加以求得。

$$C_{(t)} = C_{in} - [C_{in} - C_{(0)}] e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (2)$$

其中 C<sub>(0)</sub>：示蹤氣體初始濃度

C<sub>(t)</sub>：示蹤氣體在時間 t 時的濃度

由方程式(2)，以示蹤氣體濃度之自然對數值爲縱軸，取時間爲軸，將所得之濃度

與時間關係繪圖(圖 1)，並透過線性迴歸演算法可得：

$$\Rightarrow \frac{\ln|C_{in} - C_{(t)}|}{\ln|C_{in} - C_{(0)}|} = \frac{-Q}{V} t$$

$$\Rightarrow \frac{\ln[(C_{in} - C_{(t)})/(C_{in} - C_{(0)})]}{t_1 - t_2} = -\frac{Q}{V} = -At + b \quad (3)$$

上式中：

A：斜率，其負值為換氣率

b：截距

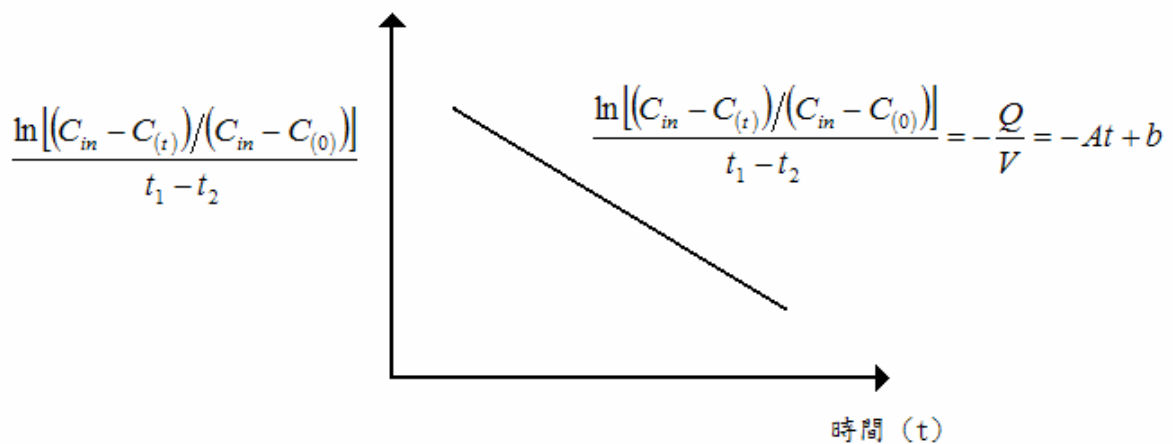


圖 1 示蹤氣體之自然對數值與時間之線性關係示意圖

而後續本實驗換氣率將使用此線性迴歸方式(3)求得。

## 二、整體換氣空氣混合因子

整體換氣係將一特定空間內所有空氣排出，同時導入外氣以補充排出的空氣，藉此達到通風的目的。由於自外界導入的空氣與室內的污染物混合，降低了污染物的濃度，再藉由排氣的方式將稀釋後的污染空氣排出並補入新的空氣，因此整體換氣亦被稱為稀釋通風。然而整體換氣透過進氣口引進新鮮外氣進入作業環境與空間中局部位置處(測點)之進行新舊空氣交換、稀釋污染物會因為空氣於空間中各點的混合程度不同而有所差異，空間中局部點位置稀釋污染物的能力通稱為局部通風率，亦稱為實際換氣率(ACH<sub>f</sub>)。

而進入(或流出)特定空間空氣流量與該特定空間的容積之比值則稱為局部換氣率，亦稱為設計換氣率(ACH<sub>r</sub>)。由於特定空間可能有障礙物(傢俱、桌椅或櫥櫃等)、

洩漏縫隙，導致空氣交換攜式混合不均勻，因此局部換氣率通常大於等於局部通風率。

而實際現場量測可由量測出風口風量除以空間容積而得到局部換氣率；局部通風率則可利用示蹤氣體量測特定點位置之濃度衰減率而得。

另可就局部換氣率  $ACH_r$  與局部通風率  $ACH_t$  之比值定義為空氣混合因子  $K$ ，如(4)式所示。可藉由此混合因子了解作業環境內實際空氣交換稀釋程度。

$$K = \frac{\text{局部換氣率}ACH_r}{\text{局部通風率}ACH_t} \quad (4)$$

### 第三章 測試（實驗）規劃

#### 第一節 實驗目的

本研究將利用一全尺寸多功能通風實驗室探討利用示蹤氣體濃度衰減法進行通風效率量測時可能面臨的問題與不準度。

通風實驗室大小為 4.28m(L)×2.5m(W)×2.5m(H)，空間尺寸，如圖 2 所示。實驗採用二氧化碳當作示蹤氣體，實驗室空間中將放置 CO<sub>2</sub> 探測器作為採樣點，如圖 3-1-2 所示，再依序改變採樣點之數量、配置，以探討採樣點數量對通風效率量測結果之影響。

進行示蹤氣體濃度衰減法進行作業環境整體換氣性能量測，在室內釋放定量的 CO<sub>2</sub>，經過濃度感測器測量，感測二氧化碳濃度衰減狀況，進一步改變採樣點數量與位置、空間障礙物配置及不同設計之換氣次數等，進行數據比較分析，評估相關參數對於示蹤氣體技術進行通風效率量測時可能造成之差異與不準度。

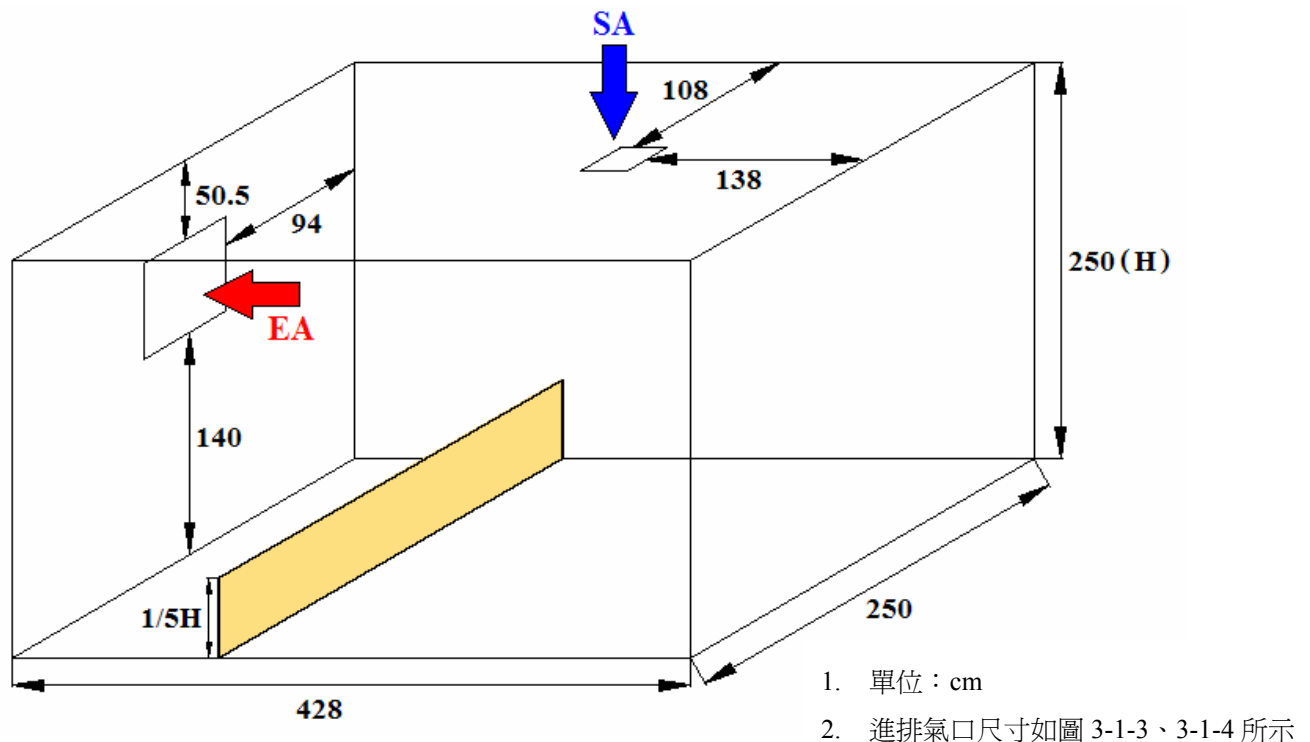


圖 2 實驗室空間尺寸示意圖



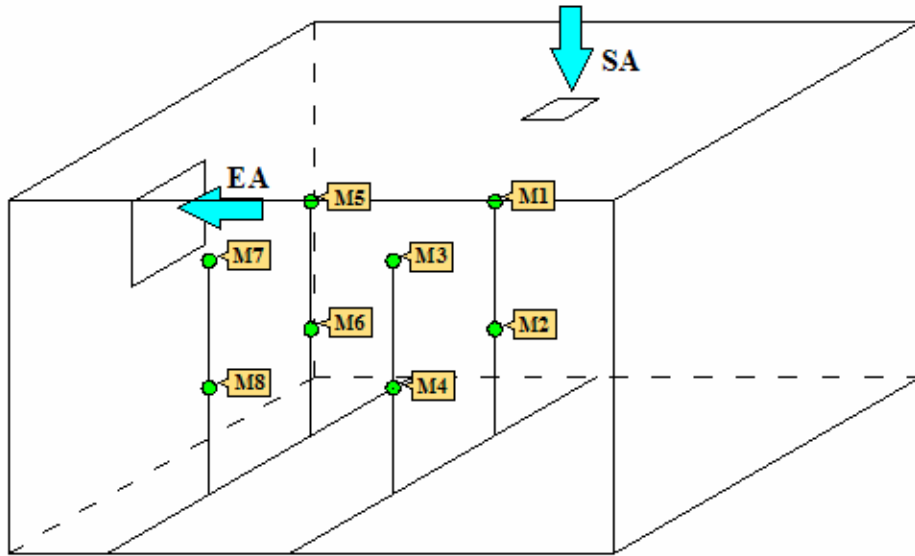


圖 3 實驗室空間採樣點配置圖

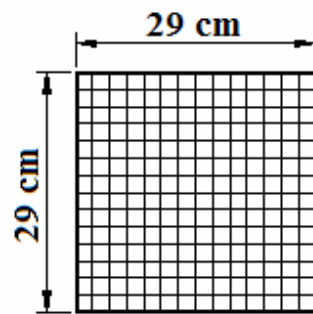


圖 4 出風口尺寸示意圖

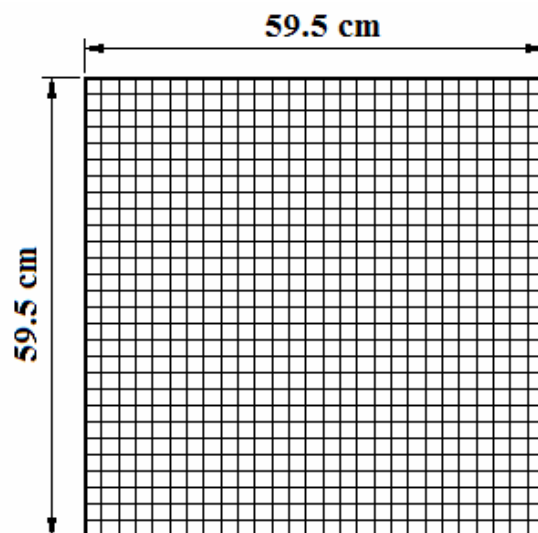


圖 5 回風口尺寸示意圖

本研究主要以 CO<sub>2</sub> 為示蹤氣體進行整體換氣通風性能評估方法，因此整體換氣性能評估系統包括 CO<sub>2</sub> 氣體釋放系統、CO<sub>2</sub> 氣體偵測器、資料擷取系統與電腦設備。如圖 6 所示。

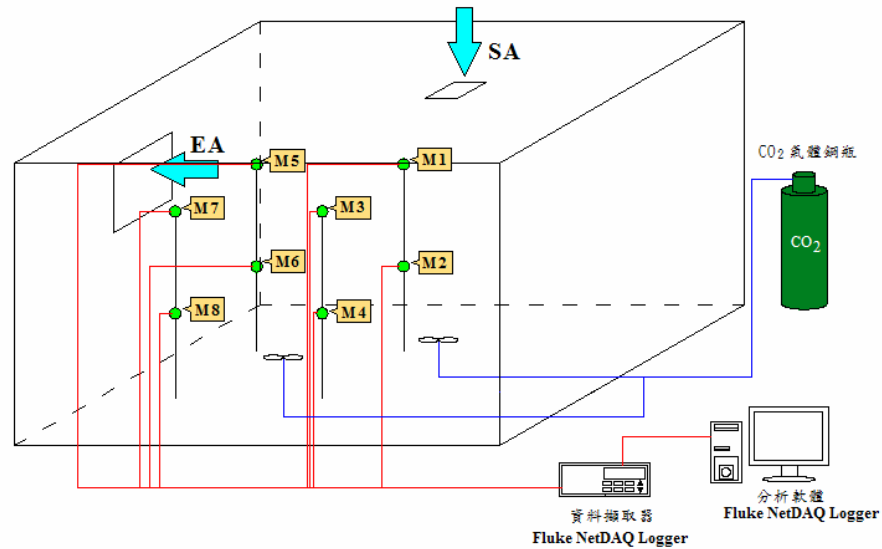


圖 6 實驗空間與儀器連線示意圖

另外為分析一般作業環境中具有不同體積大小的障礙物，可能會對通風效率量測之準確度造成影響，由於障礙物位在通風口所形成之氣流路徑上將會造成污染物移除效率顯著影響，因此規劃兩個系列障礙物配置來模擬室內障礙物之情形，分別是障礙物橫向與縱向放置在氣流路徑上，如圖 7 與圖 8 所示。並改變其高度（空間高度百分比）探討對示蹤氣體量測技術與通風污染物移除效率之影響。

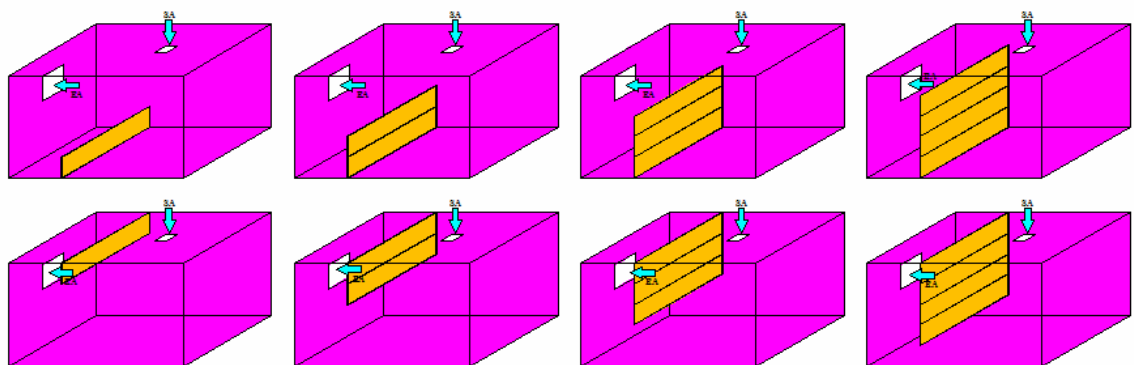


圖 7 作業環境中室內障礙物之配置（垂直於氣流路徑上）

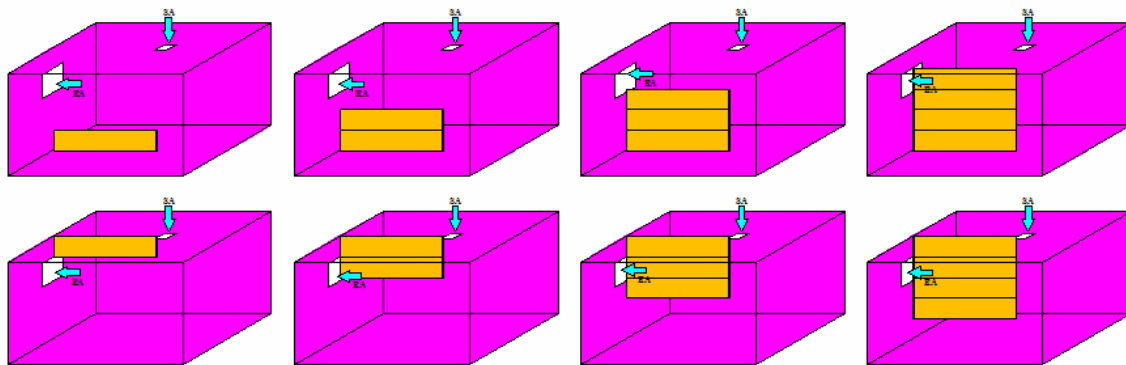


圖 8 作業環境中室內障礙物之配置（平行於氣流路徑上）

## 第二節 實驗操作流程

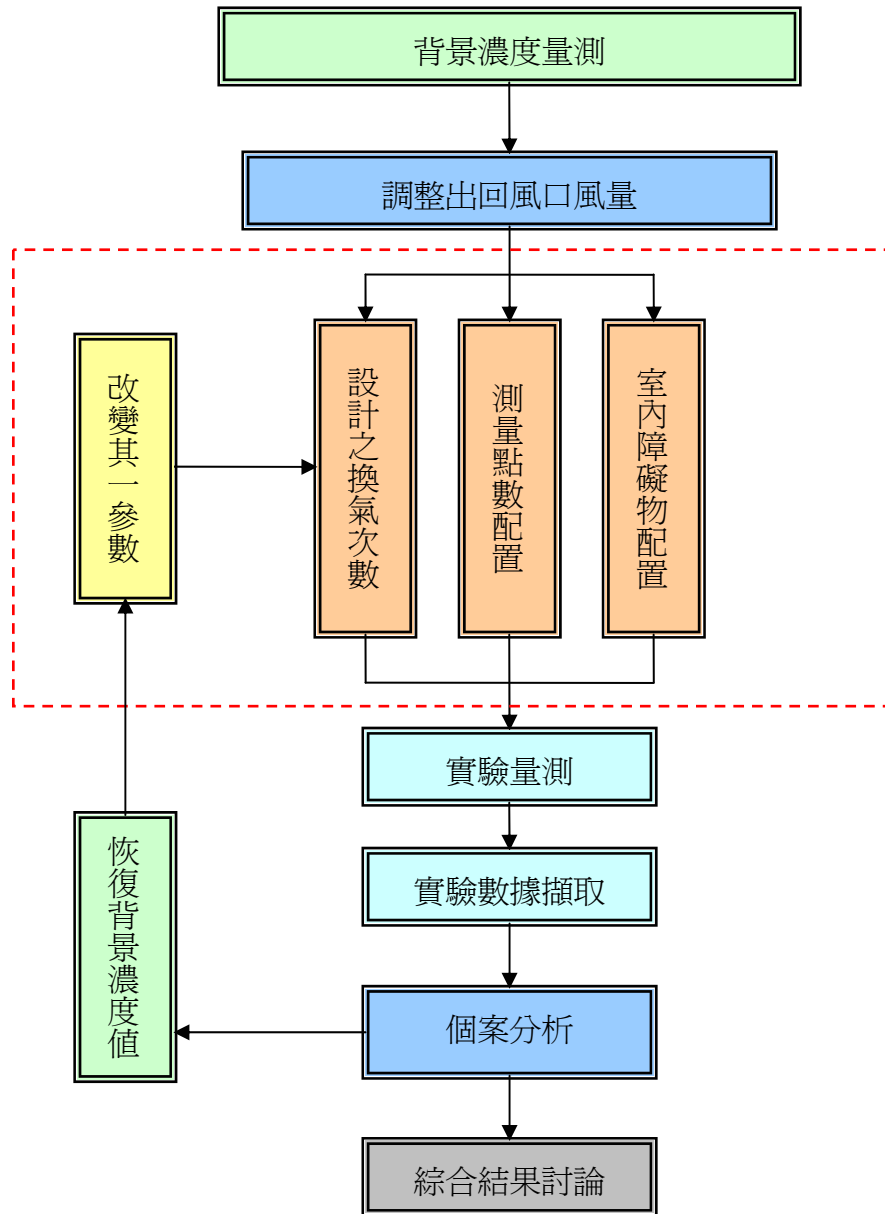


圖 9 實驗操作流程圖

實驗組數說明

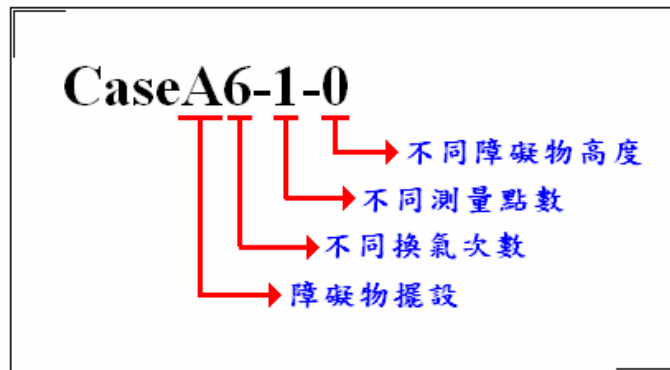


圖 10 案例名稱說明

表 10 實驗規劃表

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
8	CaseA6-1-0	無障礙物	6	無障礙物	
	CaseA6-1-1	垂直障礙物	6	下起 1/5H	
	CaseA6-1-2	垂直障礙物	6	下起 2/5H	
	CaseA6-1-3	垂直障礙物	6	下起 3/5H	
	CaseA6-1-4	垂直障礙物	6	下起 4/5H	
	CaseA6-1-5	垂直障礙物	6	上起 1/5H	
	CaseA6-1-6	垂直障礙物	6	上起 2/5H	
	CaseA6-1-7	垂直障礙物	6	上起 3/5H	
	CaseA6-1-8	垂直障礙物	6	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
8	CaseB6-1-0	無障礙物	6	無障礙物	
	CaseB6-1-1	平行障礙物	6	下起 1/5H	
	CaseB6-1-2	平行障礙物	6	下起 2/5H	
	CaseB6-1-3	平行障礙物	6	下起 3/5H	
	CaseB6-1-4	平行障礙物	6	下起 4/5H	
	CaseB6-1-5	平行障礙物	6	上起 1/5H	
	CaseB6-1-6	平行障礙物	6	上起 2/5H	
	CaseB6-1-7	平行障礙物	6	上起 3/5H	
	CaseB6-1-8	平行障礙物	6	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
8	CaseA12-1-0	無障礙物	12	無障礙物	
	CaseA12-1-1	垂直障礙物	12	下起 1/5H	
	CaseA12-1-2	垂直障礙物	12	下起 2/5H	
	CaseA12-1-3	垂直障礙物	12	下起 3/5H	
	CaseA12-1-4	垂直障礙物	12	下起 4/5H	
	CaseA12-1-5	垂直障礙物	12	上起 1/5H	
	CaseA12-1-6	垂直障礙物	12	上起 2/5H	
	CaseA12-1-7	垂直障礙物	12	上起 3/5H	
	CaseA12-1-8	垂直障礙物	12	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
8	CaseB12-1-0	無障礙物	12	無障礙物	
	CaseB12-1-1	平行障礙物	12	下起 1/5H	
	CaseB12-1-2	平行障礙物	12	下起 2/5H	
	CaseB12-1-3	平行障礙物	12	下起 3/5H	
	CaseB12-1-4	平行障礙物	12	下起 4/5H	
	CaseB12-1-5	平行障礙物	12	上起 1/5H	
	CaseB12-1-6	平行障礙物	12	上起 2/5H	
	CaseB12-1-7	平行障礙物	12	上起 3/5H	
	CaseB12-1-8	平行障礙物	12	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
4	CaseA6-2a-0	無障礙物	6	無障礙物	
	CaseA6-2a-1	垂直障礙物	6	下起 1/5H	
	CaseA6-2a-2	垂直障礙物	6	下起 2/5H	
	CaseA6-2a-3	垂直障礙物	6	下起 3/5H	
	CaseA6-2a-4	垂直障礙物	6	下起 4/5H	
	CaseA6-2a-5	垂直障礙物	6	上起 1/5H	
	CaseA6-2a-6	垂直障礙物	6	上起 2/5H	
	CaseA6-2a-7	垂直障礙物	6	上起 3/5H	
	CaseA6-2a-8	垂直障礙物	6	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
4	CaseA6-2b-0	無障礙物	6	無障礙物	
	CaseA6-2b-1	垂直障礙物	6	下起 1/5H	
	CaseA6-2b-2	垂直障礙物	6	下起 2/5H	
	CaseA6-2b-3	垂直障礙物	6	下起 3/5H	
	CaseA6-2b-4	垂直障礙物	6	下起 4/5H	
	CaseA6-2b-5	垂直障礙物	6	上起 1/5H	
	CaseA6-2b-6	垂直障礙物	6	上起 2/5H	
	CaseA6-2b-7	垂直障礙物	6	上起 3/5H	
	CaseA6-2b-8	垂直障礙物	6	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
4	CaseB6-2a-0	無障礙物	6	無障礙物	
	CaseB6-2a-1	平行障礙物	6	下起 1/5H	
	CaseB6-2a-2	平行障礙物	6	下起 2/5H	
	CaseB6-2a-3	平行障礙物	6	下起 3/5H	
	CaseB6-2a-4	平行障礙物	6	下起 4/5H	
	CaseB6-2a-5	平行障礙物	6	上起 1/5H	
	CaseB6-2a-6	平行障礙物	6	上起 2/5H	
	CaseB6-2a-7	平行障礙物	6	上起 3/5H	
	CaseB6-2a-8	平行障礙物	6	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
4	CaseB6-2b-0	無障礙物	6	無障礙物	
	CaseB6-2b-1	平行障礙物	6	下起 1/5H	
	CaseB6-2b-2	平行障礙物	6	下起 2/5H	
	CaseB6-2b-3	平行障礙物	6	下起 3/5H	
	CaseB6-2b-4	平行障礙物	6	下起 4/5H	
	CaseB6-2b-5	平行障礙物	6	上起 1/5H	
	CaseB6-2b-6	平行障礙物	6	上起 2/5H	
	CaseB6-2b-7	平行障礙物	6	上起 3/5H	
	CaseB6-2b-8	平行障礙物	6	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
4	CaseA12-2a-0	無障礙物	12	無障礙物	
	CaseA12-2a-1	垂直障礙物	12	下起 1/5H	
	CaseA12-2a-2	垂直障礙物	12	下起 2/5H	
	CaseA12-2a-3	垂直障礙物	12	下起 3/5H	
	CaseA12-2a-4	垂直障礙物	12	下起 4/5H	
	CaseA12-2a-5	垂直障礙物	12	上起 1/5H	
	CaseA12-2a-6	垂直障礙物	12 <td 上起 2/5H		
	CaseA12-2a-7	垂直障礙物	12	上起 3/5H	
	CaseA12-2a-8	垂直障礙物	12	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
4	CaseA12-2b-0	無障礙物	12	無障礙物	
	CaseA12-2b-1	垂直障礙物	12	下起 1/5H	
	CaseA12-2b-2	垂直障礙物	12	下起 2/5H	
	CaseA12-2b-3	垂直障礙物	12	下起 3/5H	
	CaseA12-2b-4	垂直障礙物	12	下起 4/5H	
	CaseA12-2b-5	垂直障礙物	12	上起 1/5H	
	CaseA12-2b-6	垂直障礙物	12	上起 2/5H	
	CaseA12-2b-7	垂直障礙物	12	上起 3/5H	
	CaseA12-2b-8	垂直障礙物	12	上起 4/5H	

量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
4	CaseB12-2a-0	無障礙物	12	無障礙物	
	CaseB12-2a-1	平行障礙物	12	下起 1/5H	
	CaseB12-2a-2	平行障礙物	12	下起 2/5H	
	CaseB12-2a-3	平行障礙物	12	下起 3/5H	
	CaseB12-2a-4	平行障礙物	12	下起 4/5H	
	CaseB12-2a-5	平行障礙物	12	上起 1/5H	
	CaseB12-2a-6	平行障礙物	12	上起 2/5H	
	CaseB12-2a-7	平行障礙物	12	上起 3/5H	
	CaseB12-2a-8	平行障礙物	12	上起 4/5H	



量測點數	案例名稱	氣流路徑	換氣次數	障礙物設置	測量點位置
4	CaseB12-2b-0	無障礙物	12	無障礙物	
	CaseB12-2b-1	平行障礙物	12	下起 1/5H	
	CaseB12-2b-2	平行障礙物	12	下起 2/5H	
	CaseB12-2b-3	平行障礙物	12	下起 3/5H	
	CaseB12-2b-4	平行障礙物	12	下起 4/5H	
	CaseB12-2b-5	平行障礙物	12	上起 1/5H	
	CaseB12-2b-6	平行障礙物	12	上起 2/5H	
	CaseB12-2b-7	平行障礙物	12	上起 3/5H	
	CaseB12-2b-8	平行障礙物	12	上起 4/5H	

### 第三節 實驗設備說明

#### 一、多功能通風系統實驗空間

本研究探討不同設計之換氣次數、障礙物之配置及採樣點之數量對通風效率的影響，為求實驗之準確性必須考慮實驗空間的密閉性，因此針對此點本實驗即選擇在一環境控制良好的空間中進行，其尺寸大小為：4.2m(長)×2.5m(寬)×2.5m(高)，實際外觀如圖 11 所示。



圖 11 實驗室空間實際外觀圖

#### 二、整體換氣通風設備


整體換氣通風設備之排氣口使用一組無段變頻式風機，排除含有污染物質的氣體；無段變頻式風機的實體如圖 12 所示。




圖 12 無段變頻式風機（回風）

### 三、風速、風量及溫濕度量測設備


本實驗有關風速、風量與溫溼度的設備與規格如下表列：


TSI 風速/溫濕度計	規格	內容
	型號	Model 8386A
	風速量測範圍	0~50m/s
	解析度	0.01m/s
	精確度	3.0%
	溫度量測範圍	-17.8~93.3°C ±0.3°C
	濕度量測範圍	0~95% RH ± 1%

ALNOR 風罩式風量計	規格	內容
	型號	APM 150 Meter
	風量量測範圍	50~2000CFM ± 3%
	解析度	1CFM

#### 四、二氧化碳濃度量測與釋放設備

本實驗有關濃度量測的設備為奧地利 E+E CO<sub>2</sub> 濃度感測器，分別放置在 M1 至 M8 的量測點與進排風口處，如圖 12 所示；感測器為類比輸出，CO<sub>2</sub> 濃度量測範圍在 0 至 5000ppm，對應 0 至 10 伏特的電壓訊號輸出；此感測器需與資料擷取器及電腦設備連結來讀取紀錄量測數值；有關資料擷取器的型號為 Fluke NetDAQ Logger Model 2640A 型，資料擷取器提供 20 組的信號輸入，可用來收集直流電壓、交流電壓、頻率、電阻以及溫度信號。有關 CO<sub>2</sub> 濃度釋放設備為 CO<sub>2</sub> 氣體鋼瓶，釋放方式是採定濃度釋放，當空間內之 CO<sub>2</sub> 濃度到達 2000ppm 時停止釋放。

奧地利 E+E CO <sub>2</sub> 濃度感測器	規格	內容
	型號	EE80-5CT3-D04
	CO <sub>2</sub> 濃度量測範圍	0~5000 ppm ± 1.5%
	解析度	1 ppm
	溫度量測範圍	-5 ~ 45°C ±0.5°C

資料擷取器 Fluke NetDAQ Logger	輸入類型	量測範圍	解析度	精確度
	DC Volts	90mV to 150/300V	0.3uv to 1mV	0.01%
	AC Volts	300mV to 150/300V	10uV to 10mV	0.3%
	Resistance	300 ohm to 3M ohm	1m ohm to 10 ohm	0.015%
	Frequency	15Hz to 1MHz	0.01Hz to 100Hz	0.05%
	RTD(Pt100)	-200 to 600°C	0.003°C	0.06°C
	T/C type J	-100 to 760°C	0.02°C	0.35°C

## 第四章 實驗結果與討論

本研究利用示蹤氣體技術進行進行整體通風換氣性能評估，並探討不同室內障礙物高度配置對室內通風效率影響，同時探討取樣點數及不同換氣次數對示蹤氣體技術進行整體通風換氣性能之影響。實驗藉由量測空間內設置之示蹤氣體(CO<sub>2</sub>)濃度感測器量測空間內示蹤氣體濃度隨時間變化情形，而室內濃度感測器設置分別平均置放於障礙物前後，濃度變化之情形則取量測點數之平均值來作為比較，此次實驗分別改變進、排氣量，量測點數及障礙物高度（障礙物設置垂直與平行氣流方向），共 12 組來做為結果綜合分析討論，如表 11 所示。

### 第一節 整體換氣下 CO<sub>2</sub> 示蹤氣體濃度衰減之實驗結果

依據表 11 規劃實驗由 A 組~L 組，分別改變設計換氣次數 6ACH 與 12ACH，採樣點數分別為 4 點與 8 點平均配置於障礙物前後，改變不同障礙物型態測得之 CO<sub>2</sub> 濃度隨時間衰減狀況，如圖 13 至 24 所示。

濃度隨時間衰減趨勢越快，代表室內採樣點位置空氣稀釋、交換程度越好，局部通風率越佳。

表 11 實驗組別規劃表

實驗組別	初始濃度	ACH	氣流路徑	測量點位置
A	2000	6	垂直	8 點(M1~M8)
B	2000	6	垂直	4 點(M1、M3、M5、M7)
C	2000	6	垂直	4 點(M2、M4、M6、M8)
D	2000	6	平行	8 點(M1~M8)
E	2000	6	平行	4 點(M1、M3、M5、M7)
F	2000	6	平行	4 點(M2、M4、M6、M8)
G	2000	12	垂直	8 點(M1~M8)
H	2000	12	垂直	4 點(M1、M3、M5、M7)
I	2000	12	垂直	4 點(M2、M4、M6、M8)
J	2000	12	平行	8 點(M1~M8)
K	2000	12	平行	4 點(M1、M3、M5、M7)
L	2000	12	平行	4 點(M2、M4、M6、M8)

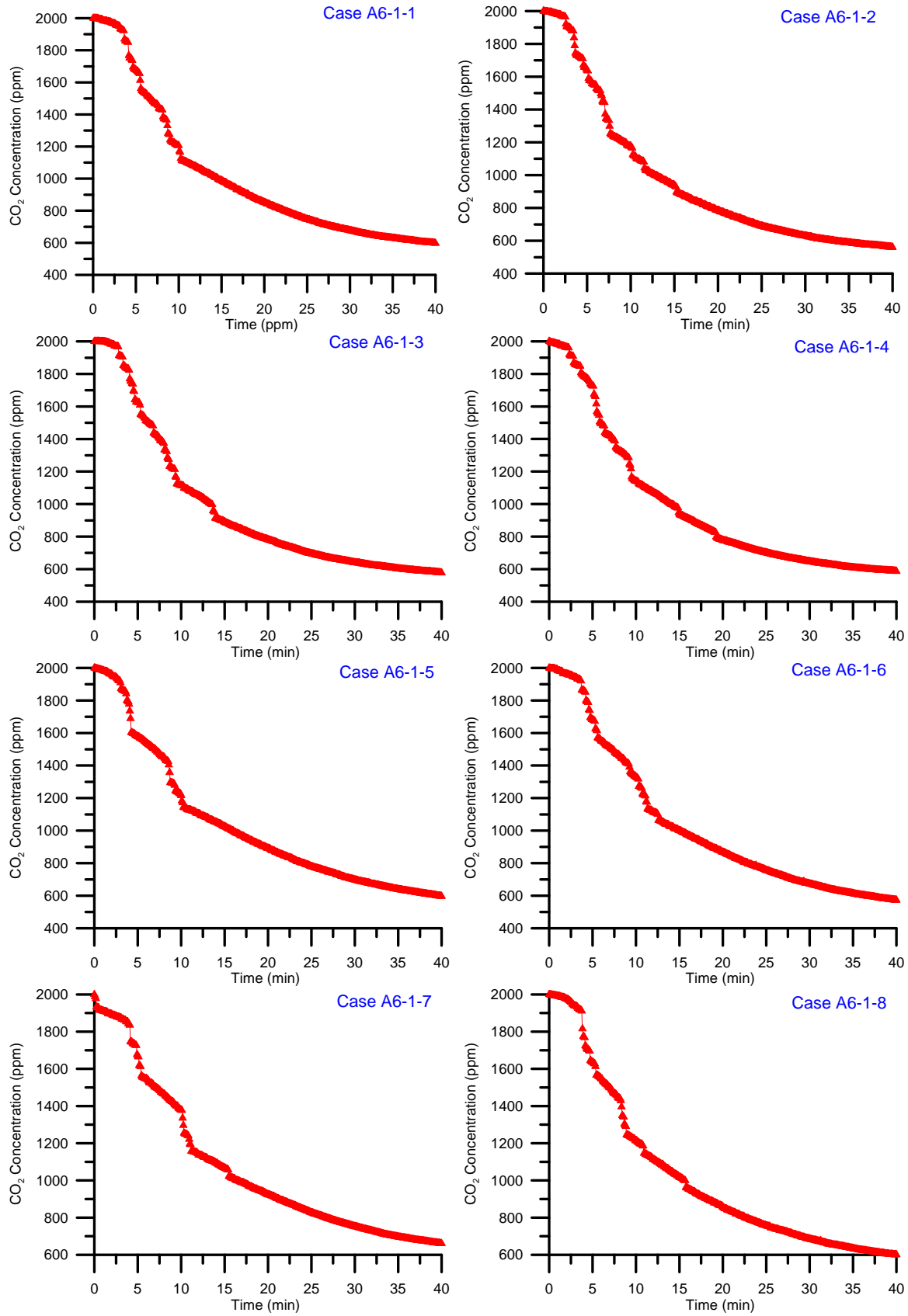


圖 13 實驗組別 A 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

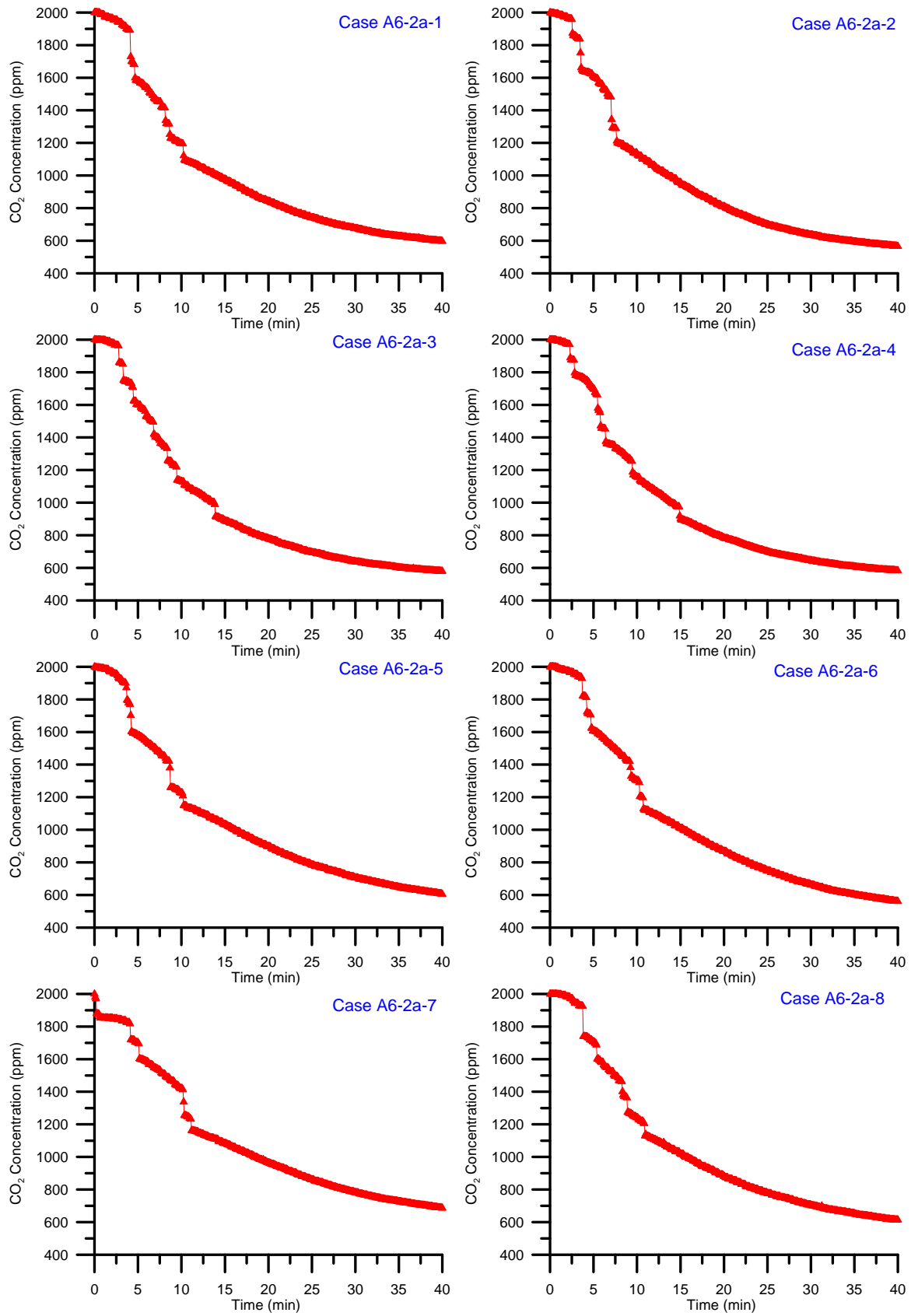


圖 14 實驗組別 B 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

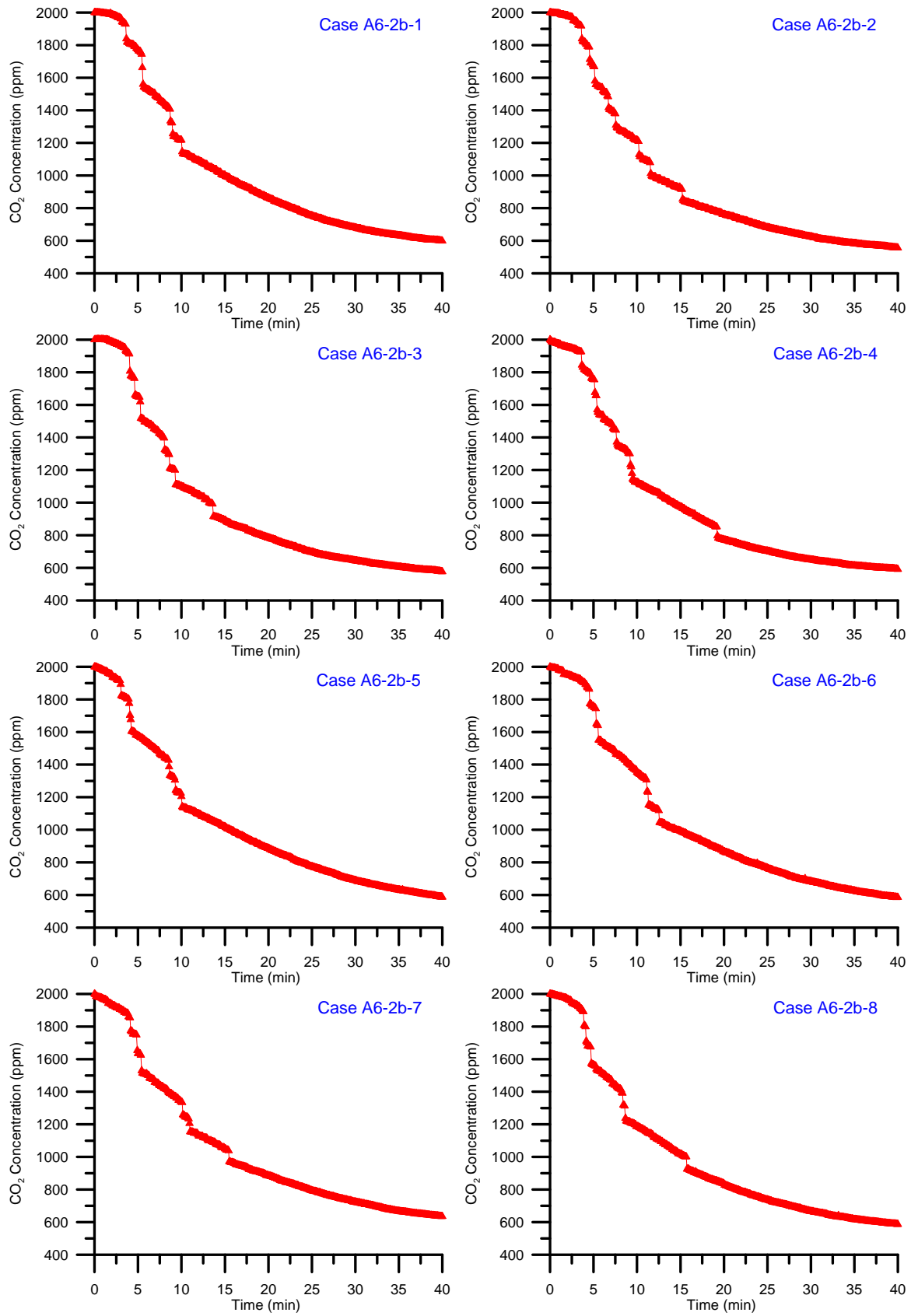


圖 15 實驗組別 C 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形



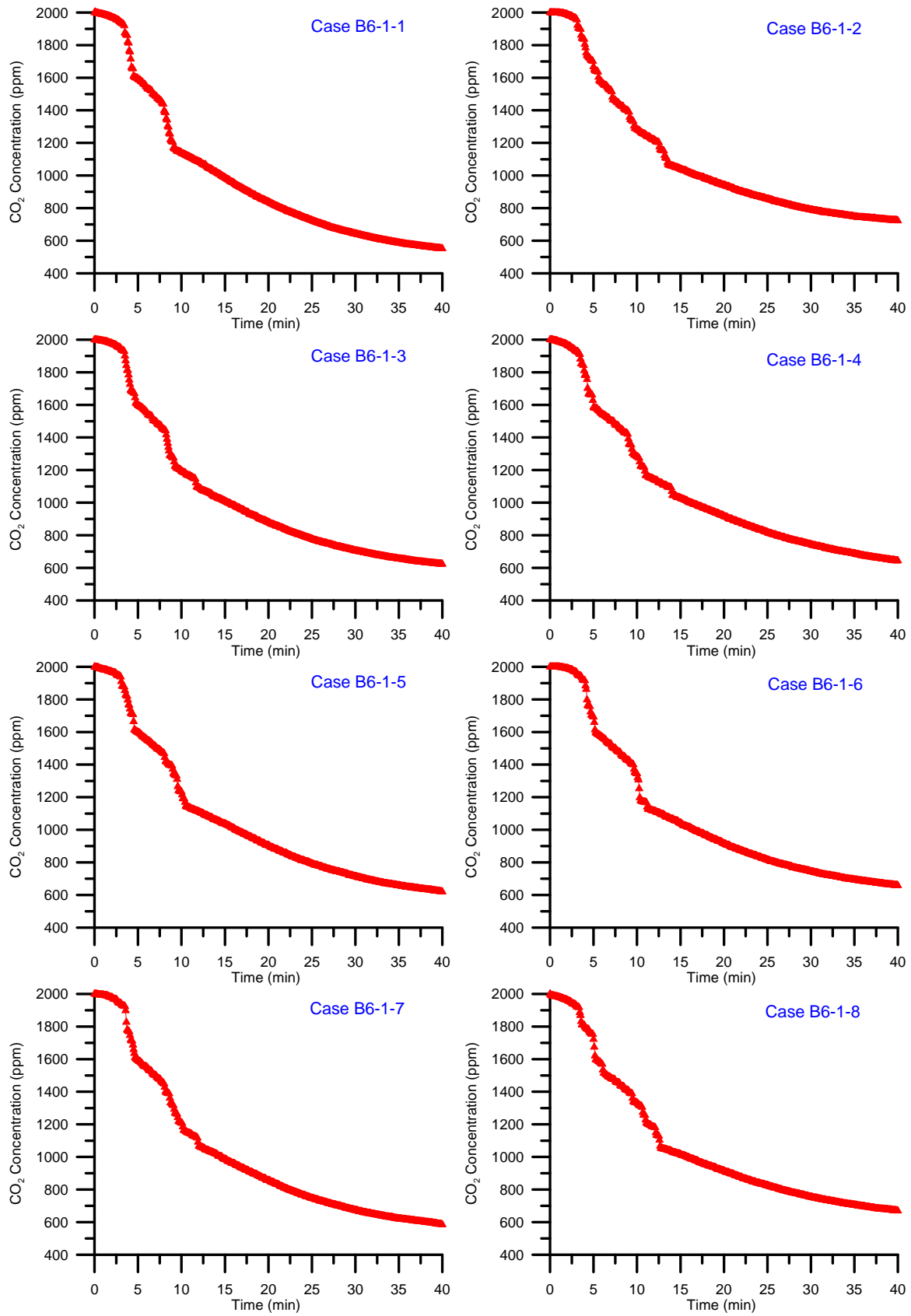


圖 16 實驗組別 D 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

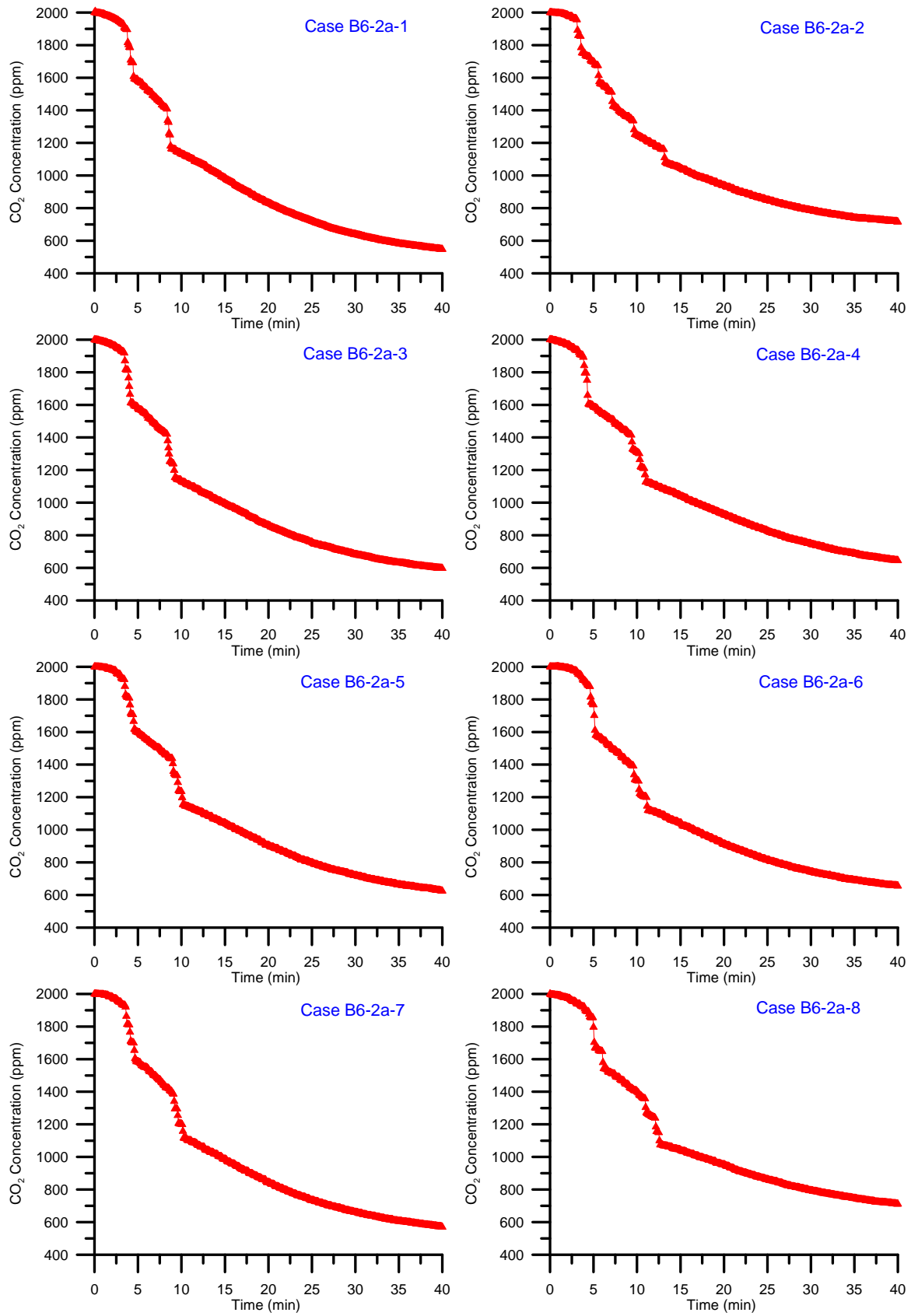


圖 17 實驗組別 E 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

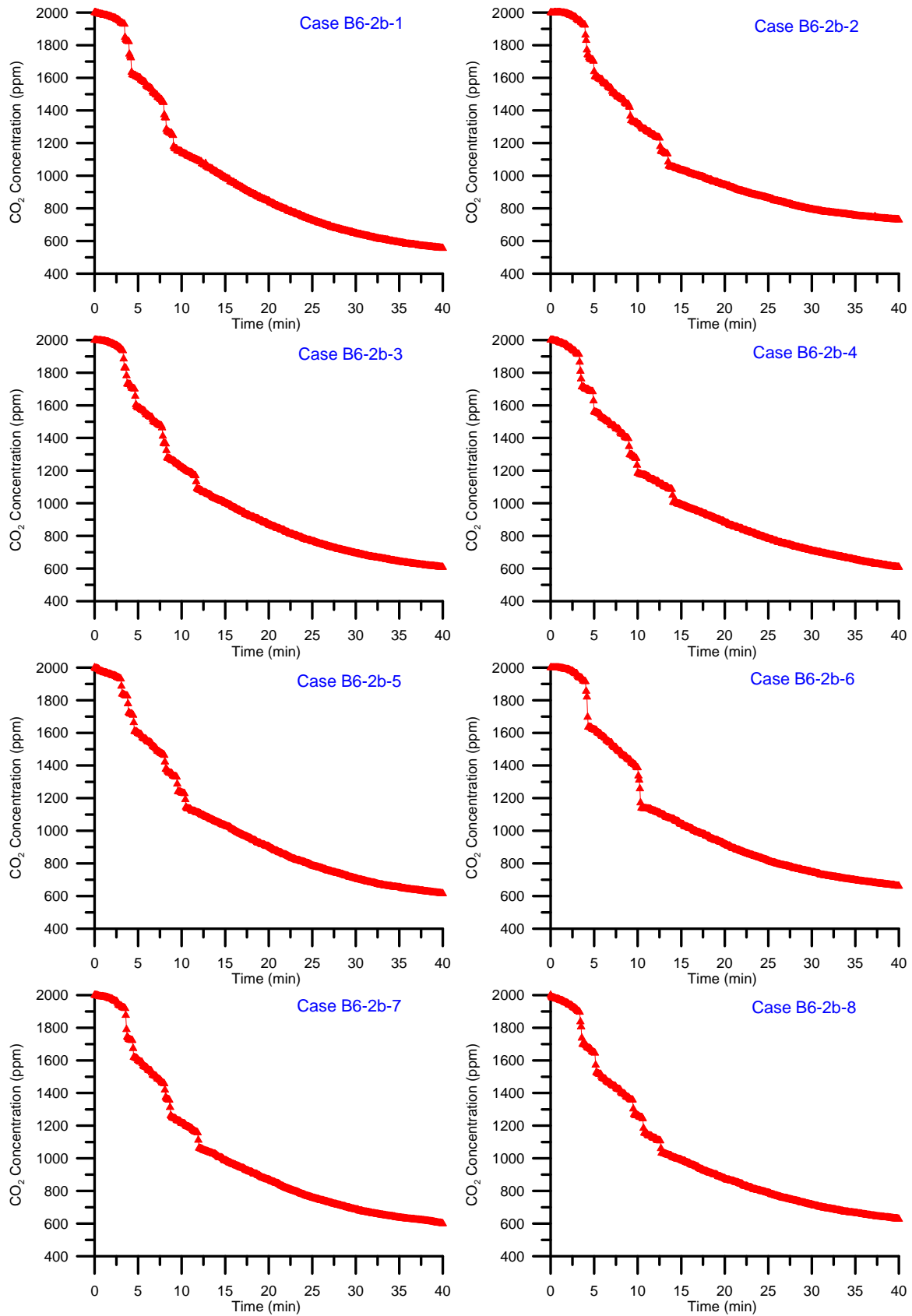


圖 18 實驗組別 F 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

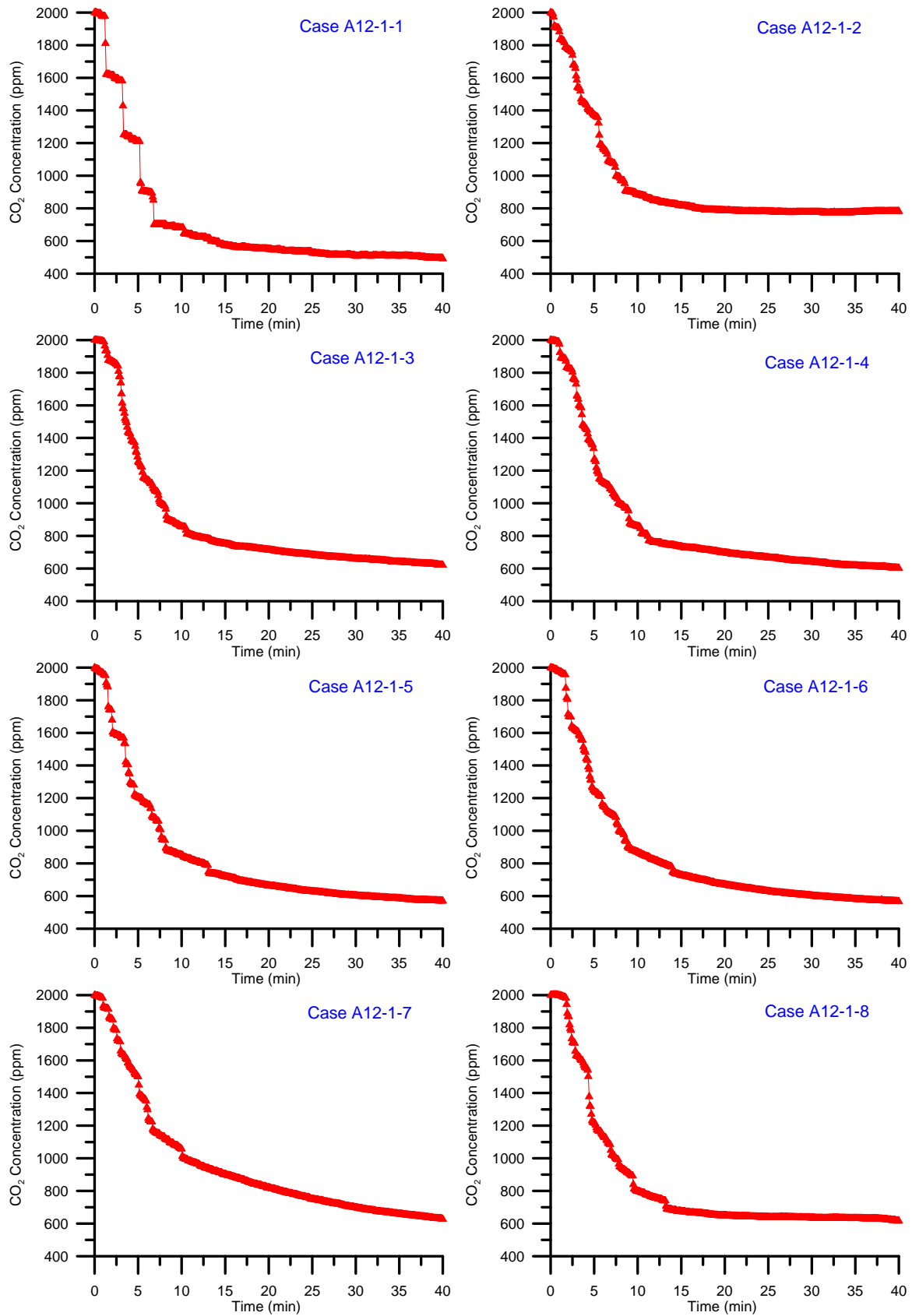


圖 19 實驗組別 G 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

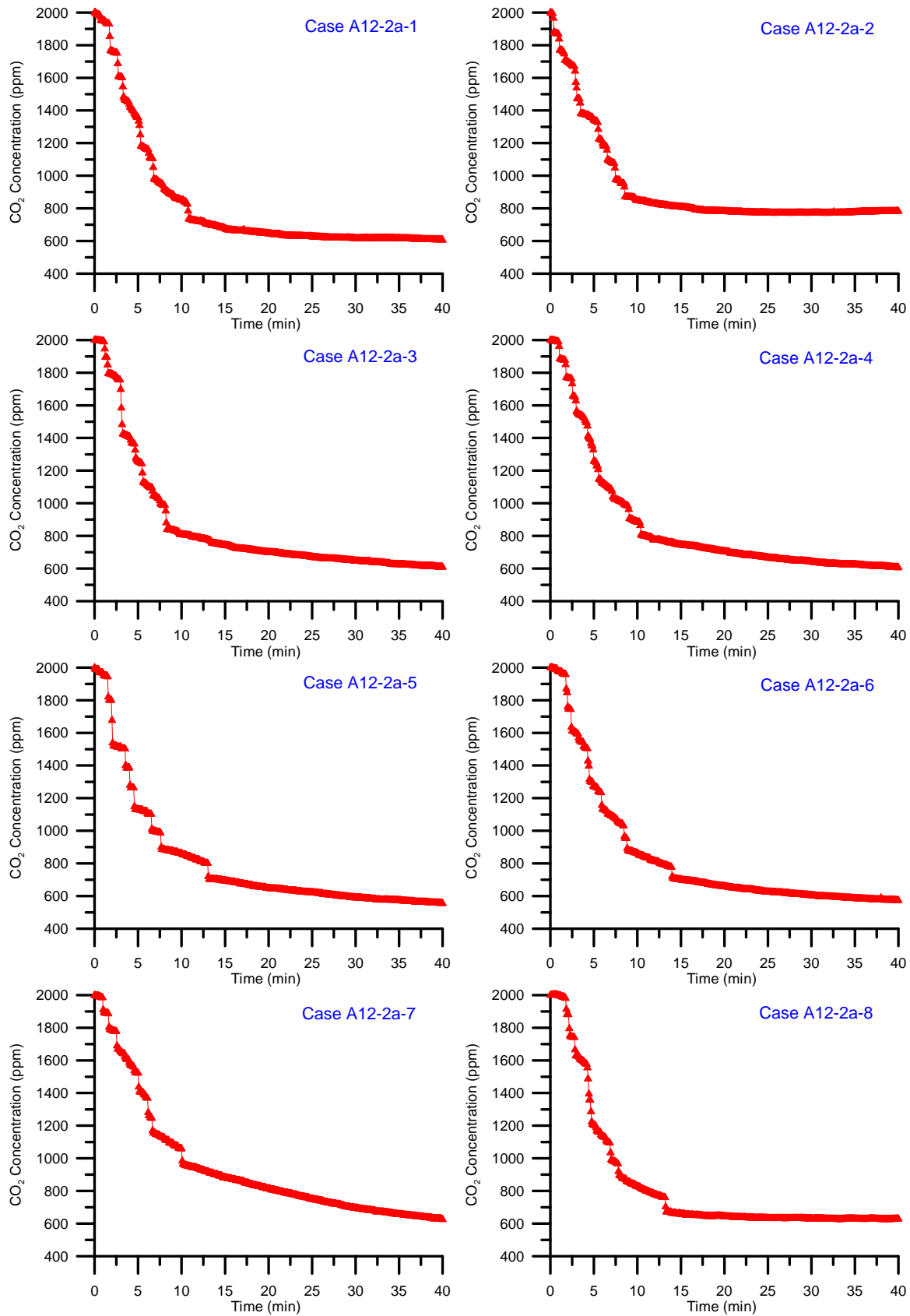


圖 20 實驗組別 H 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

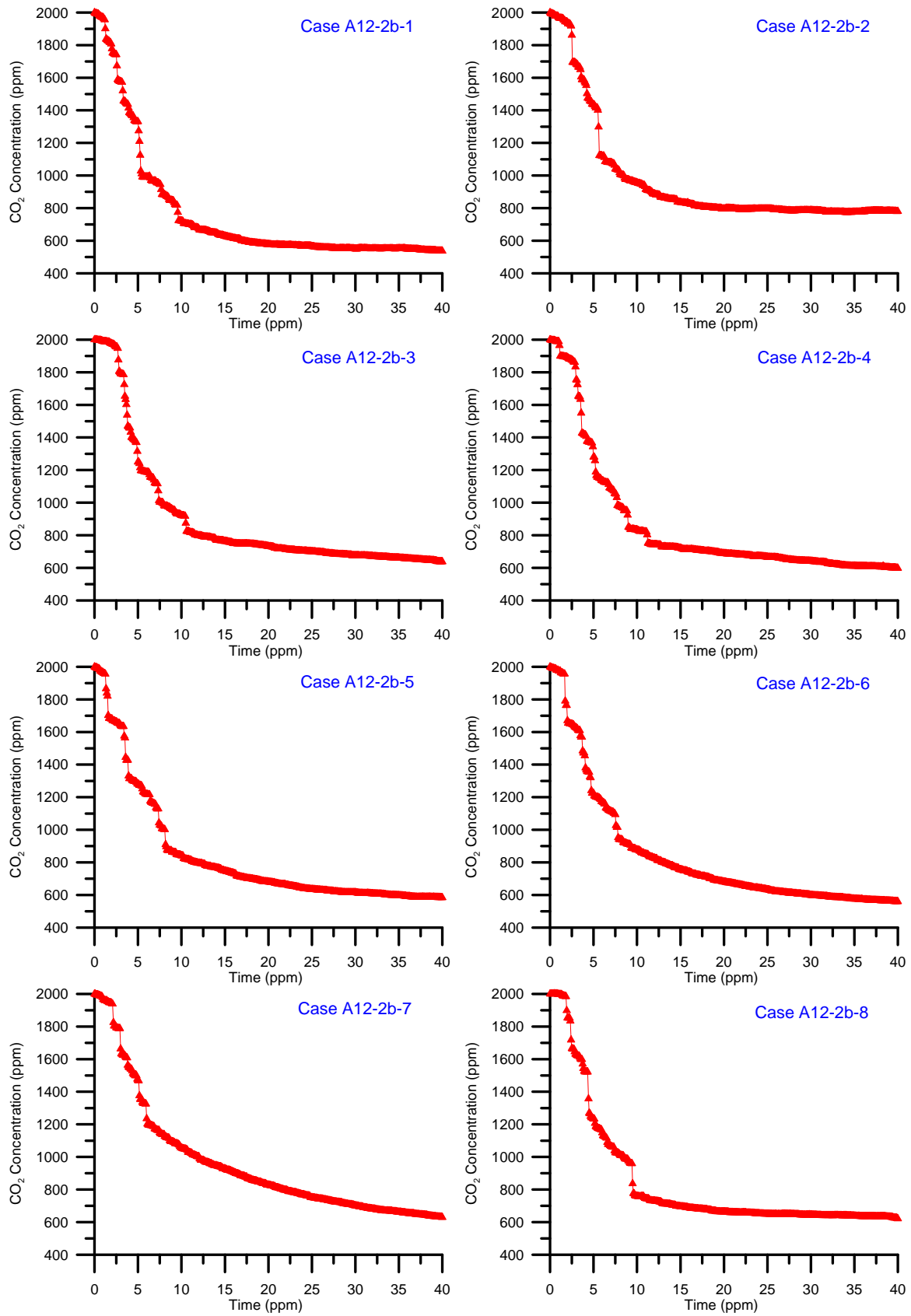


圖 21 實驗組別 I 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

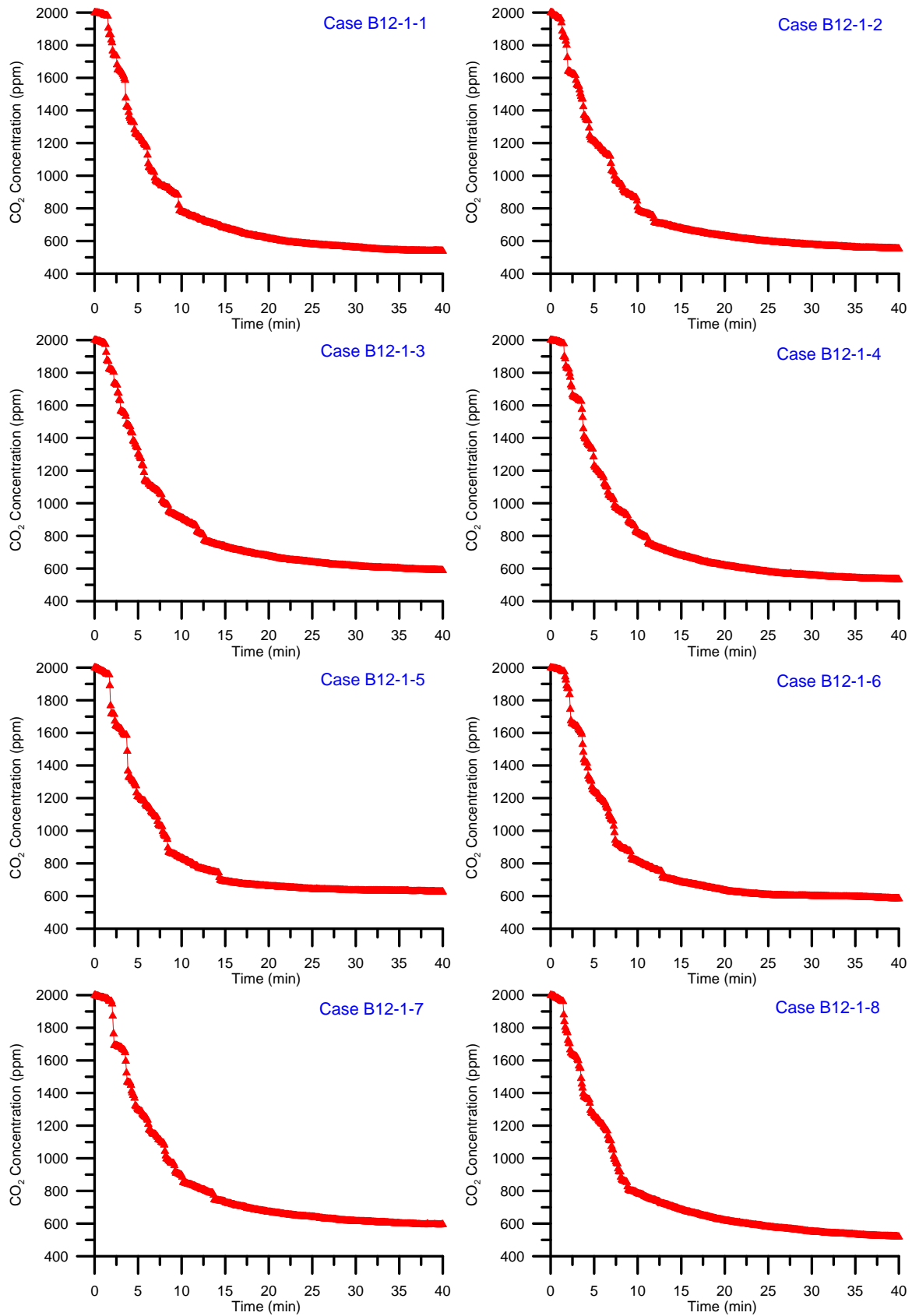


圖 22 實驗組別 J 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

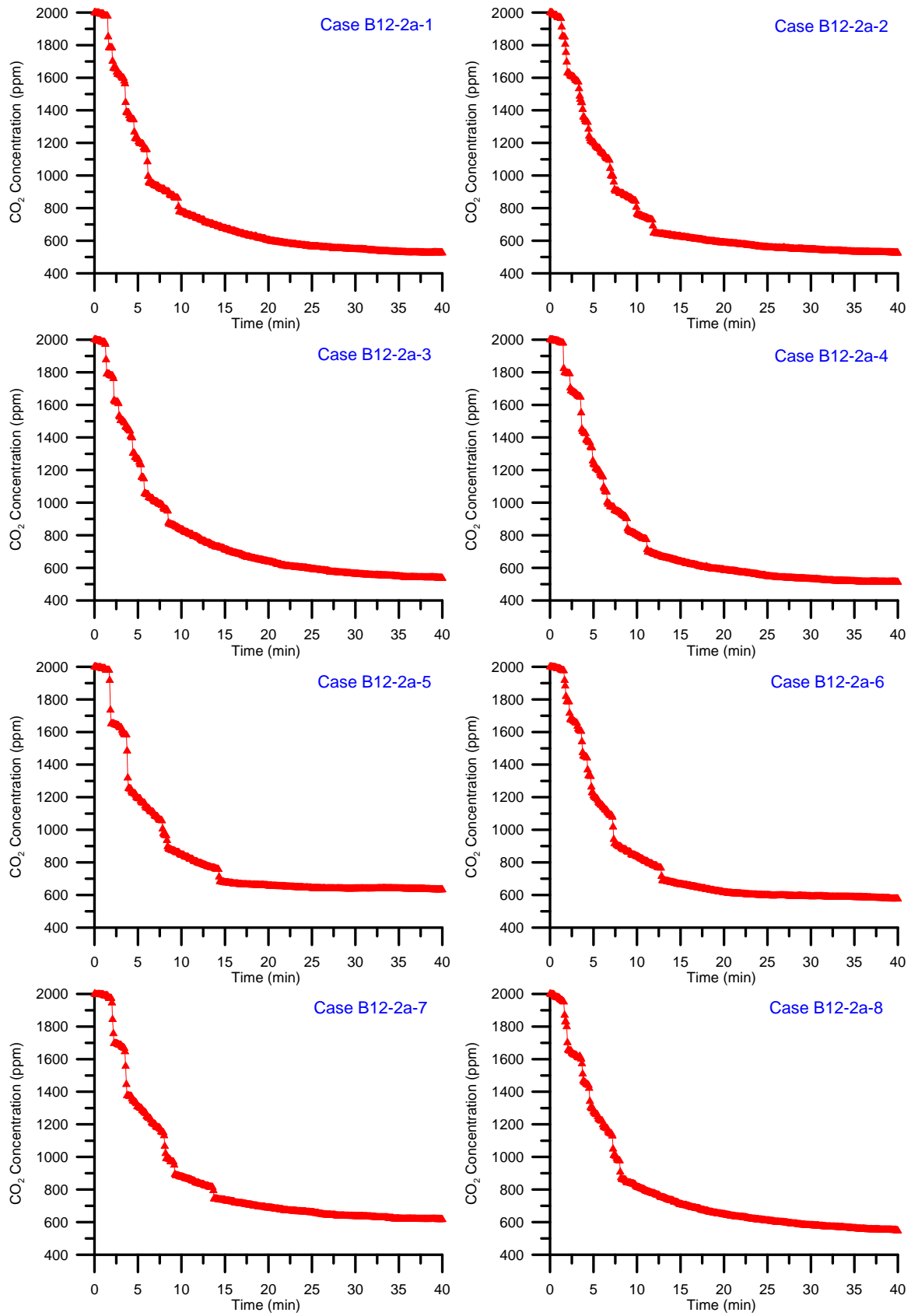


圖 23 實驗組別 K 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形



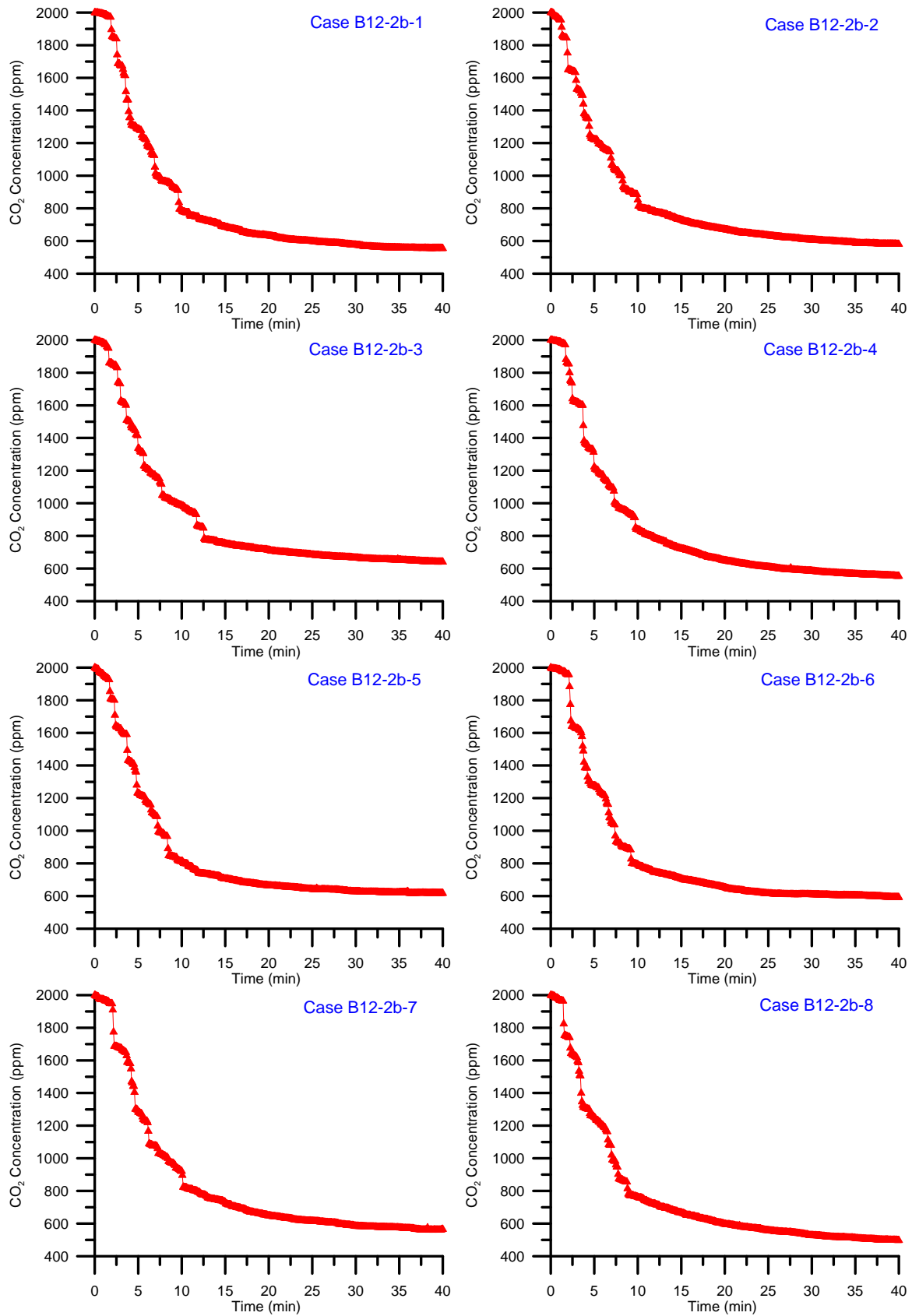


圖 24 實驗組別 L 之不同障礙物高度下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減情形

## 第二節 CO<sub>2</sub> 示蹤氣體評估整體換氣之局部通風率 ACH

我們將上一節 CO<sub>2</sub> 濃度隨時間衰減狀況依據第二章中方程式(2)示蹤氣體濃度衰減法計算局部通風率 ACH。其中設計換氣次數 6ACH、8 個採樣點、不同障礙物高度垂直於氣流方向所得之局部通風率 ACH 如圖 25~33 所示。

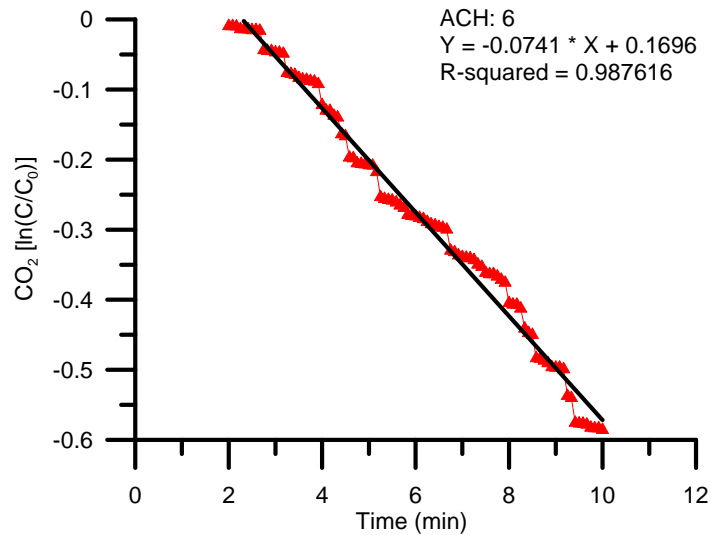


圖 25 無障礙物下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 25 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、無障礙物情況下，其實測換氣率為  $4.44\text{hr}^{-1}(0.0741 \times 60)$ 。

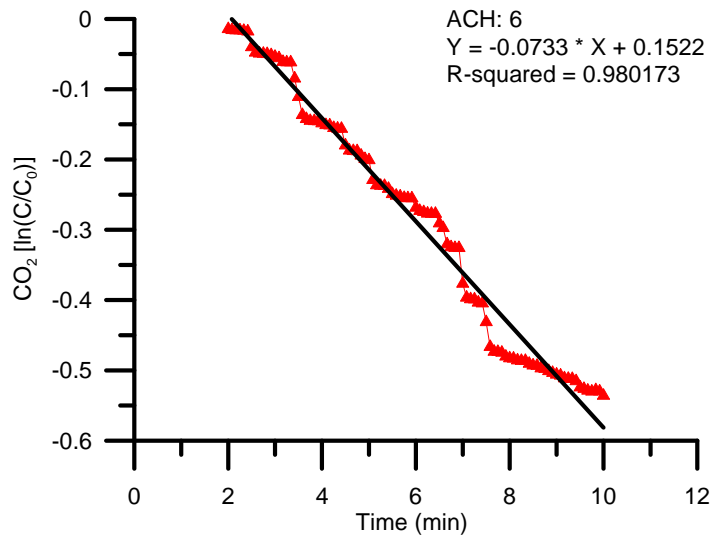


圖 26 障礙物高度下起 1/5 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 26 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、障礙物垂直氣流路徑下起 1/5 高

度情況下，其實測換氣率為  $4.40\text{hr}^{-1}(0.0733 \times 60)$ 。

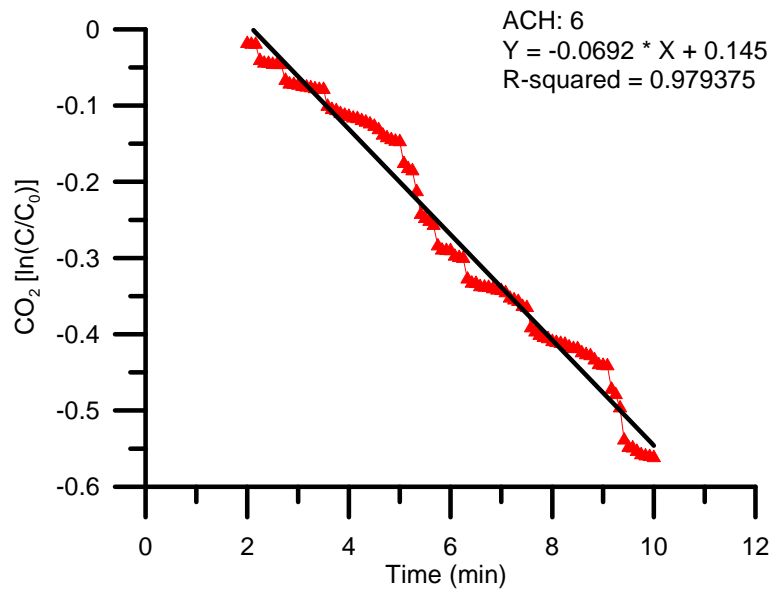


圖 27 障礙物高度下起 2/5 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 27 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、障礙物垂直氣流路徑下起 2/5 高度情況下，其實測換氣率為  $4.15\text{hr}^{-1}(0.0692 \times 60)$ 。

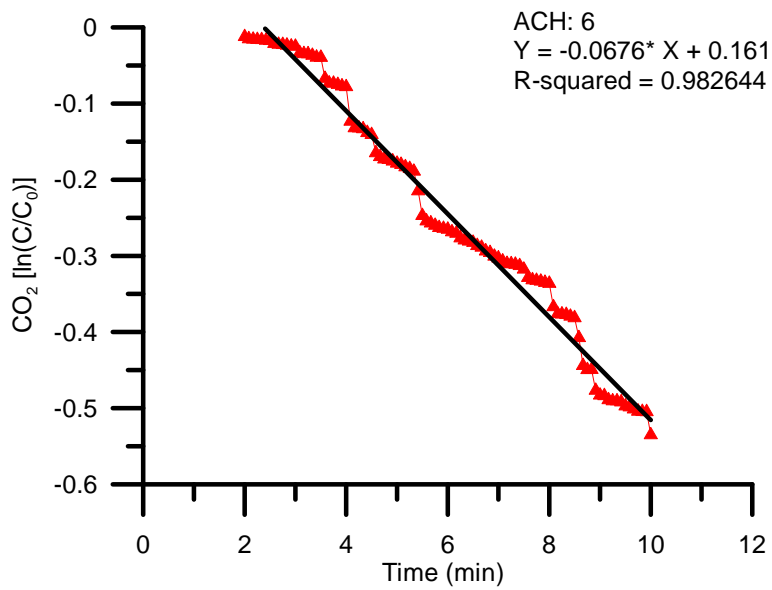


圖 28 障礙物高度下起 3/5 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 28 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、障礙物垂直氣流路徑下起 3/5 高度情況下，其實測換氣率為  $4.06\text{hr}^{-1}(0.0676 \times 60)$ 。

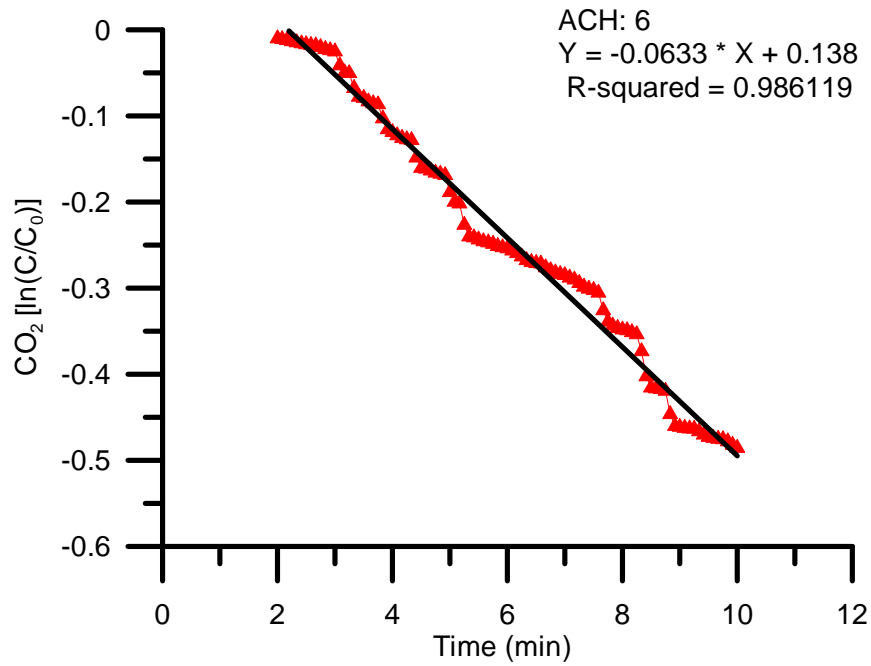


圖 29 障礙物高度下起 4/5 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 29 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、障礙物垂直氣流路徑下起 4/5 高度情況下，其實測換氣率為  $3.8\text{hr}^{-1}(0.0633 \times 60)$ 。

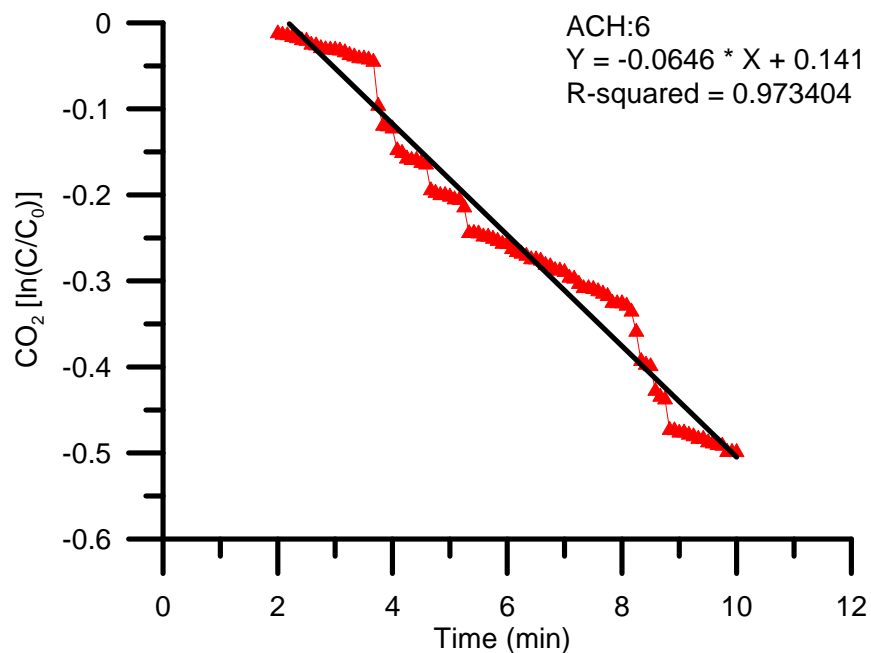


圖 30 障礙物高度上起 1/5 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 30 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、障礙物垂直氣流路徑上起 1/5 高度情況下，其實測換氣率為  $3.87\text{hr}^{-1}(0.0646 \times 60)$ 。

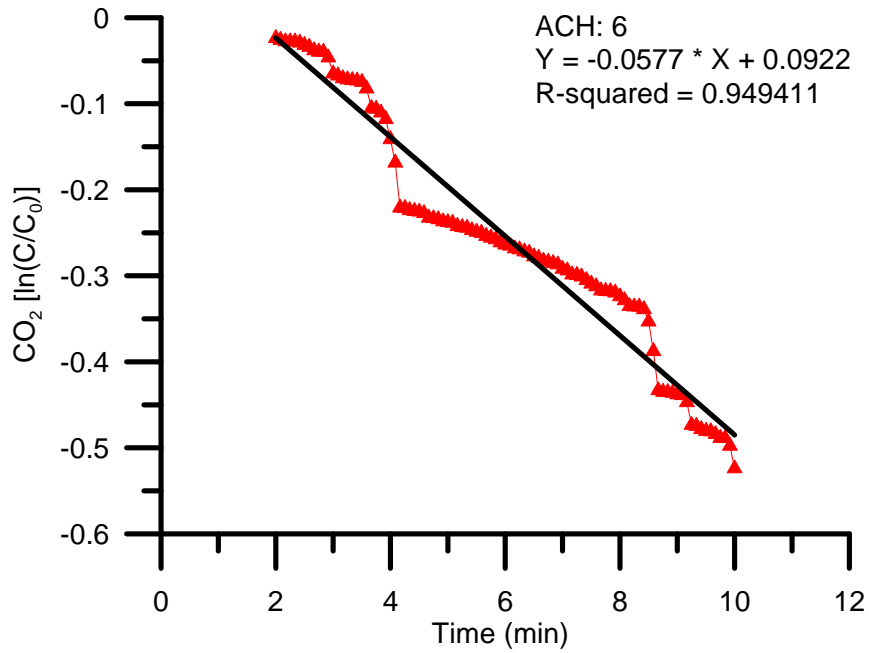


圖 31 障礙物高度上起 2/5 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 31 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、障礙物垂直氣流路徑上起 2/5 高度情況下，其實測換氣率為  $3.46\text{hr}^{-1}(0.0577 \times 60)$ 。

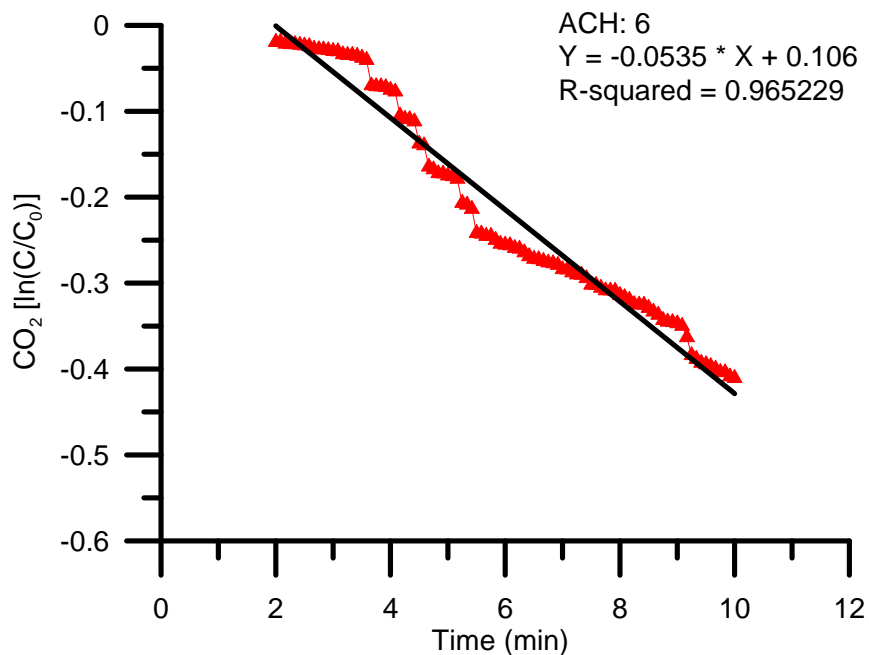


圖 32 障礙物高度上起 3/5 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 32 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、障礙物垂直氣流路徑上起 3/5 高度情況下，其實測換氣率為  $3.21\text{hr}^{-1}(0.0535 \times 60)$ 。

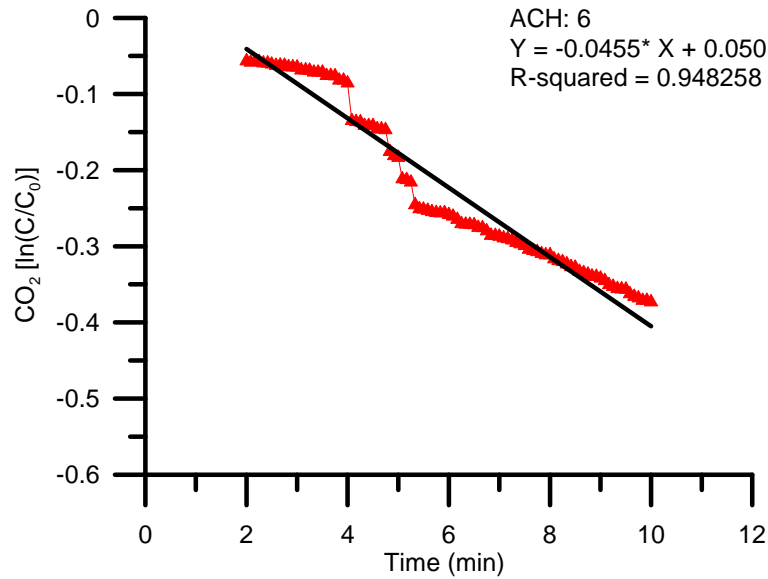


圖 33 障礙物高度上起 4/5 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之局部通風率 ACH

由圖 33 所示在設計換氣次數 6 次的氣流型態、障礙物垂直氣流路徑上起 4/5 高度情況下，其實測換氣率為  $2.73\text{hr}^{-1}$  ( $0.0455 \times 60$ )。

由圖 25 至圖 33 結果顯示，障礙物受風面積大小對於實際室內通風換氣率是有影響的，且與障礙物於氣流路徑上所阻礙之受風面積大小有關，阻礙面積越大所得之室內局部通風率越小。且可以發現由上方垂直往下的障礙物比由下方往上的障礙物影響更為顯著。

此外，由於障礙物平行於氣流路徑擺設，阻礙通風換氣氣流之受風面積不大，所以在障礙物平行氣流路徑上室內之局部通風率差別並不受太大影響，除了障礙物由上往下時會阻礙部分出風口面積而造成 CO<sub>2</sub> 濃度稀釋移除變慢，造成局部通風率變小。

表 12 為障礙物垂直於氣流路徑利用示蹤氣體濃度衰減法所得之局部通風率。

表 13 為障礙物平行於氣流路徑利用示蹤氣體濃度衰減法所得之局部通風率。

表 12 障礙物垂直於氣流路徑 設計換氣次數 6 次與 12 次之實測濃度衰減 ACH

障礙物高度	案例名稱	濃度衰減之 ACH	案例名稱	濃度衰減之 ACH
無	CaseA6-1-0	4.44	CaseA12-1-0	6.3
下起 1/5H	CaseA6-1-1	4.30	CaseA12-1-1	6.24
下起 2/5H	CaseA6-1-2	4.15	CaseA12-1-2	5.95
下起 3/5H	CaseA6-1-3	4.06	CaseA12-1-3	5.89
下起 4/5H	CaseA6-1-4	3.8	CaseA12-1-4	5.35
上起 1/5H	CaseA6-1-5	3.87	CaseA12-1-5	6.24
上起 2/5H	CaseA6-1-6	3.46	CaseA12-1-6	5.44
上起 3/5H	CaseA6-1-7	3.21	CaseA12-1-7	5.39
上起 4/5H	CaseA6-1-8	2.73	CaseA12-1-8	4.5

表 13 障礙物平行於氣流路徑 設計換氣次數 6 次與 12 次之實測濃度衰減 ACH

障礙物高度	案例名稱	濃度衰減之 ACH	案例名稱	濃度衰減之 ACH
無	CaseB6-1-0	4.44	CaseB12-1-0	6.3
下起 1/5H	CaseB6-1-1	4.41	CaseB12-1-1	6.24
下起 2/5H	CaseB6-1-2	4.37	CaseB12-1-2	6.24
下起 3/5H	CaseB6-1-3	4.27	CaseB12-1-3	6
下起 4/5H	CaseB6-1-4	3.85	CaseB12-1-4	5.94
上起 1/5H	CaseB6-1-5	4.39	CaseB12-1-5	6.21
上起 2/5H	CaseB6-1-6	3.92	CaseB12-1-6	6.12
上起 3/5H	CaseB6-1-7	3.63	CaseB12-1-7	5.7
上起 4/5H	CaseB6-1-8	3.47	CaseB12-1-8	5.46

### 第三節 初始釋放濃度對整體換氣性能評估結果比較

為確認利用示蹤氣體濃度衰減法進行整體換氣通風性能測試時，初始釋放濃度是否會影響實驗測試結果，因此分別進行初始釋放濃度 2000ppm 與 3000ppm 之測試分析，圖 34 為初始釋放濃度分別為 2000ppm 與 3000ppm 在無障礙物，設計換氣次數 6ACH 的情況下所得之濃度隨時間變化情形。

由濃度衰減趨勢換算之局部通風率 ACH，如圖 35 所示，在 CO<sub>2</sub> 初始濃度 2000ppm 下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減所得之局部通風率 ACH 值為 4.45 (0.0741×60)和初始濃度 3000ppm 下 CO<sub>2</sub> 濃度衰減所得之 ACH 值為 4.44 (0.074×60)趨近，證明初始釋放濃度並不會影響示蹤氣體濃度衰減法進行整體換氣通風性能測試的結果，初始釋放濃度僅會影響 CO<sub>2</sub> 濃度降低之時間，對於衰減速率在相同通風條件下趨於一致。

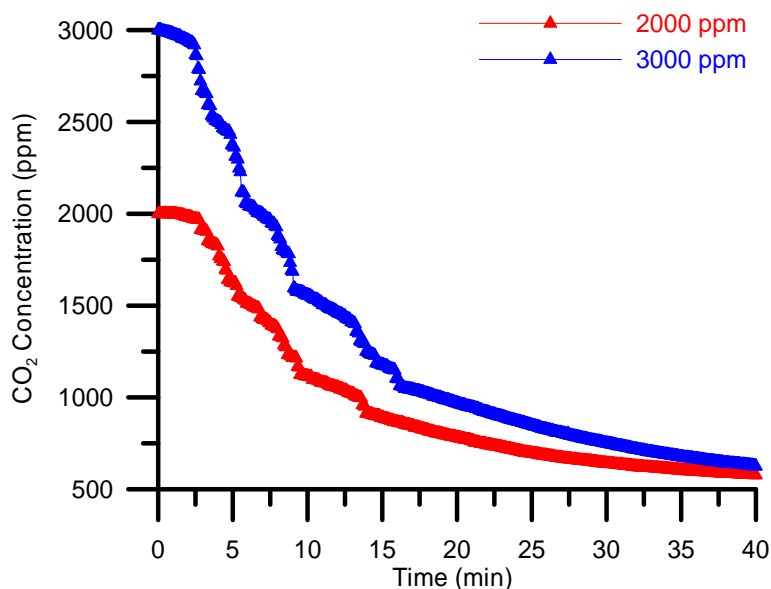


圖 34 CO<sub>2</sub> 不同初始濃度(2000ppm)(3000ppm)濃度衰減比較圖(無障礙物)



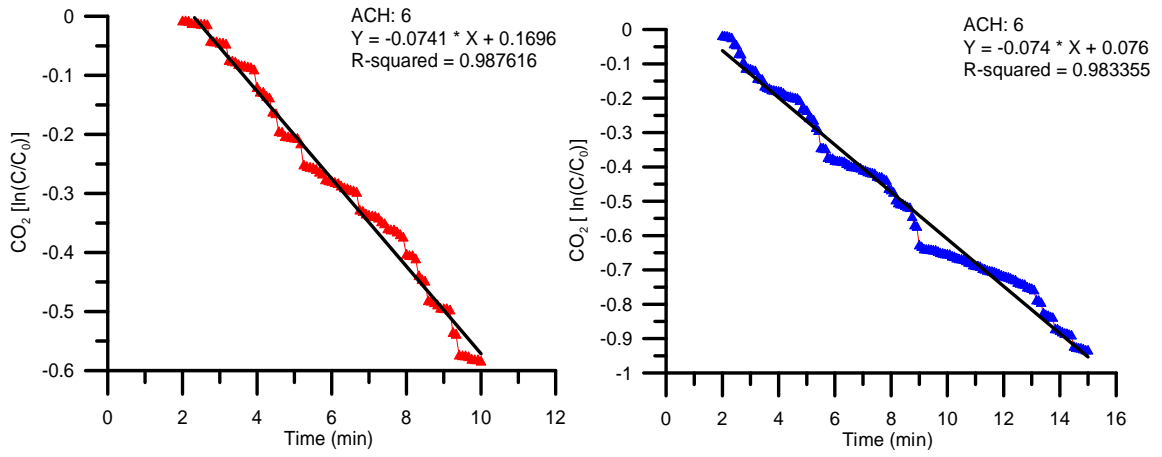


圖 35 CO<sub>2</sub> 不同初始濃度(2000ppm)(3000ppm)濃度衰減之局部通風率 ACH 比較圖

#### 第四節 示蹤氣體不同採樣點配置對整體換氣性能測試影響分析

為瞭解利用示蹤氣體濃度衰減法進行整體換氣通風性能測試時，採樣點數及其位置對於整體換氣性能實驗測試結果是否有影響，因此分別規劃 8 個採樣點數與 4 個採樣點數，並改變 4 個採樣點數之位置進行測試結果比較分析。

表 11 為設計換氣次數 6ACH 下，採樣點 8 點與採樣點為 4 點(M2、M4、M6、M8)及 4 點(M1、M3、M5、M7)下所得之局部通風率。

由表 11 結果可知，採樣點數量與其位置對實驗所得之局部通風率 ACH 皆有影響，尤其當測試點靠近通風系統之風口時，其影響會呈現較不規則狀態，變動亦較顯著。

表 14 障礙物垂直於氣流路徑，不同採樣點配置下 設計換氣次數 6ACH 之實測局部通風率 ACH 之比較

障礙物高度	濃度衰減之 ACH 採樣點 8 點(M1-M8)	濃度衰減之 ACH 採樣點 4 點(M1 M3 M5 M7)	濃度衰減之 ACH 採樣點 4 點(M2 M4 M6 M8)
無	4.44	4.14	4.74
下起 1/5H	4.41	4.48	4.32
下起 2/5H	4.37	3.97	4.32
下起 3/5H	4.27	4.11	4
下起 4/5H	3.85	3.89	3.7
上起 1/5H	4.39	3.69	4.06
上起 2/5H	3.92	3.57	3.36
上起 3/5H	3.63	3.19	3.24
上起 4/5H	3.47	2.27	3.18

## 第五章 整體換氣管理策略分析

### 第一節 障礙物對作業環境整體換氣性能評估之影響

根據上一章結果可以發現，作業環境中障礙物對室內 CO<sub>2</sub> 濃度分布情形會造成影響，相對也會影響作業環境實際之有效通風換氣率。本研究結果顯示對於單一空間、具有單一進、排風口整體換氣之作業環境中垂直於氣流方向之障礙物與平行於氣流方向之障礙物其受風面積與 K 值（進風口風量所得之 ACH 與使用示蹤氣體測試所得之 ACH 的比值；如方程式(4)定義）可歸納出其關係，如表 15 所示。由表中數據可瞭解當換氣量愈大時，K 值愈高。一般而言靠近天花板上部之障礙物影響氣流較下半部障礙物嚴重，障礙物面積愈大，則 K 值愈高，在 6ACH 時 K 值可加值 3%或 6%，而 12ACH 之 K 值可加值 1 至 4%。

表 15 室內環境障礙物受風面積大小與 K 值之關係表

障礙物與氣流方向垂直 (6ACH)		障礙物與氣流方向垂直 (12ACH)	
占受風面積比例	K 值	占受風面積比例	K 值
0%	1.35	0%	1.9
下起 20%	1.39	下起 20%	1.92
下起 40%	1.45	下起 40%	2.02
下起 60%	1.48	下起 60%	2.04
下起 80%	1.58	下起 80%	2.24
上起 20%	1.55	上起 20%	1.923
上起 40%	1.73	上起 40%	2.2
上起 60%	1.87	上起 60%	2.23
上起 80%	2.2	上起 80%	2.67

### 第二節 整體換氣性能評估方式與管理制度之建議

研究發現各國職業衛生規範對於整體換氣並無嚴格要求，而在台灣則要求適當換氣率，也要求測定及維持一定之二氧化碳濃度，特別在室內空氣品質要求下，二氧化碳濃度更受到重視，因此所研擬之「整體換氣管理制度草案」，管理策略建議採用分段方式進行，以二氧化碳測定對受測場所加以區分，也可與室內空氣品質管理辦法草案接軌，第一階段以作業環境內 CO<sub>2</sub> 濃度作為指標，以不超過 1000ppm 為初步標準。再者以通風換氣評估為輔，第一階段作業環境如果有超過標準，再進行第二階段更精

確，使用示蹤氣體進行測試與分析。詳細整體換氣管理策略流程圖，如下圖 36 所示。

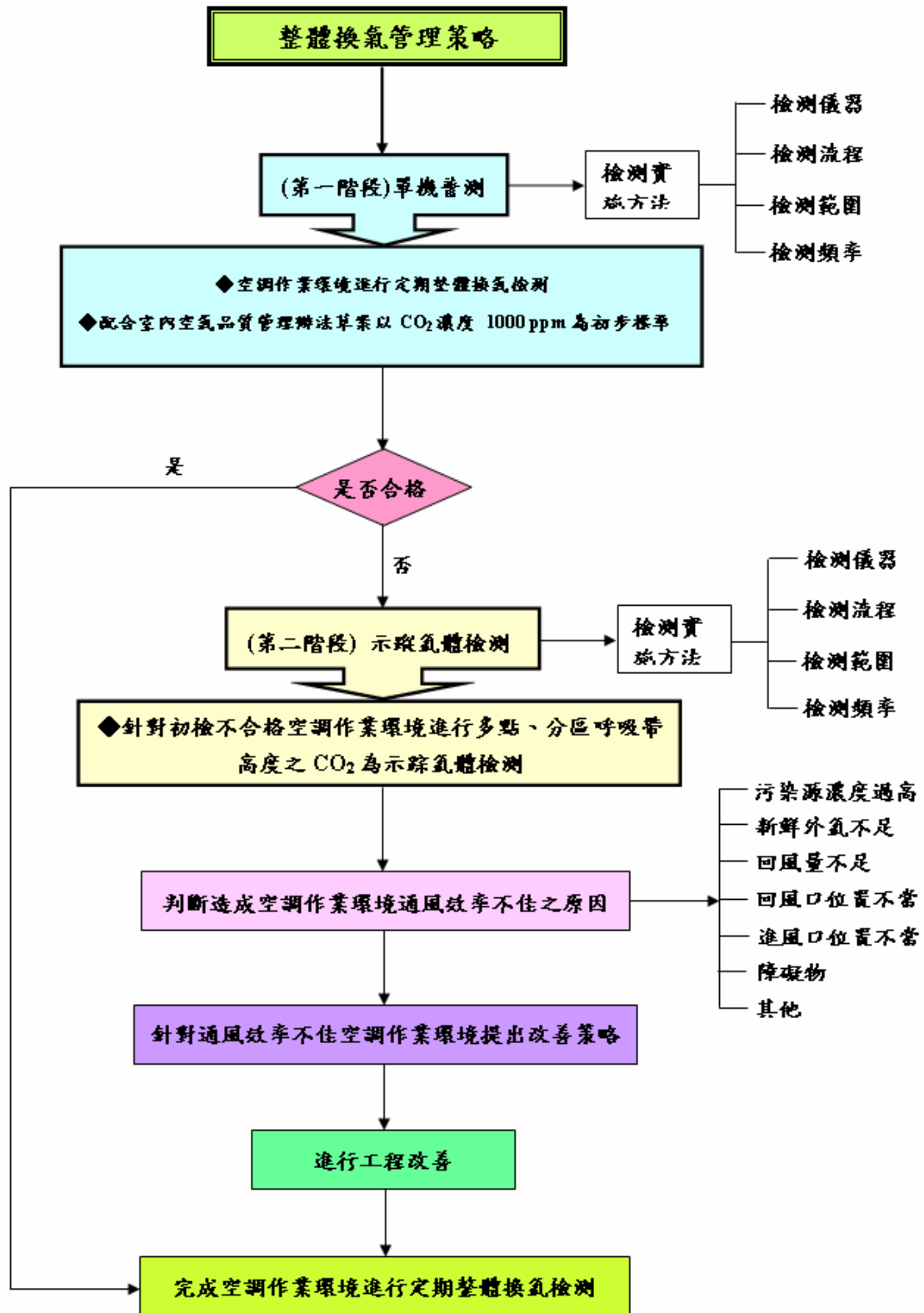


圖 36 整體換氣管理策略流程圖

其中作業環境整體通風換氣通風性能之管理制度與測試方法之建議如下：

1. 測試場所、對象：以中央空調作業環境為主。
2. 檢測流程：第一階段測試以作業環境內 CO<sub>2</sub> 濃度不超過 1000 ppm 為上限作為整體換氣通風換氣良宥之篩檢判斷（檢測方法及儀器設備於後詳述），如有濃度超過 1000 ppm 標準則顯示通風換氣不良，則需進行第二階段覆檢。

**(1)第一階段初檢說明：**

- a. 初檢目的：瞭解一般中央空調作業環境之整體換氣通風性能是否符合性能要求。
- b. 測試採樣方法：避開進風口附近，以直讀式 CO<sub>2</sub> 偵測儀器進行採樣分析，建議以呼吸帶高度將受測面積等分，以 5~8 m<sup>2</sup> 取一測試值，同時記錄室外 CO<sub>2</sub> 背景值。
- c. 儀器設備：有記錄功能之直讀式 CO<sub>2</sub> 感測器（建議精度：0~5000 ppm ± 2%測試值；解析度：10 ppm）。
- d. 測試時間：一般工作時間。
- e. 測試紀錄表格：如表 16 所示。

**(2)第二階段覆檢說明：**

- a. 覆檢目的：當初檢不合格表示受測環作業環境之通風效率不佳，須找出原因加以改善，因此進行覆檢。
- b. 測試採樣方法：以多點、分區進行呼吸帶高度之測試，以 CO<sub>2</sub> 為示蹤氣體進行量測，量測其換氣效率與 ACH 進行比較分析，找出通風效率不佳之原因並加以改善。考量儀器設備之限制，建議每次以 4 點以上測點進行測試為主，每點涵蓋面積 5~8 m<sup>2</sup>。必要時針對作業環境通風之進風口進行通風量之量測。
- c. 儀器設備：有記錄功能之多點直讀式 CO<sub>2</sub> 感測器（建議精度：0~5000 ppm ± 2%測試值；解析度：10 ppm....）、全罩式風量計，全罩式風量計（建議精度：0.7 to 70 m<sup>3</sup>/min±3% 測試值；解析度：0.1cfm）。
- d. 測試時間：一般工作時間。
- e. 測試紀錄表格：如表 17 所示。

表 16 第一階段初檢測試紀錄表

作業環境整體換氣通風性能測試紀錄表（初檢用）

受測單位名稱（機關或公司）			
受測單位地址			
受測環境營業別		受測建築物編號	
測試時間		受測面積大小	
使用儀器規格			
是否有特殊製程		□無 □有_____	
室外 CO <sub>2</sub> 背景濃度			
測試點 1(ppm)		測試點 7(ppm)	
測試點 2(ppm)		測試點 8(ppm)	
測試點 3(ppm)		測試點 9(ppm)	
測試點 4(ppm)		測試點 10(ppm)	
測試點 5(ppm)		測試點 11(ppm)	
測試點 6(ppm)		測試點 12(ppm)	
作業環境平面圖		測試採樣點位置圖	
進排氣口位置圖		主要污染源位置圖	
<p>注意事項：1.測試採樣時應避開進風口附近。                  2.採樣時取呼吸帶高度，以 5~8m<sup>2</sup> 取一測試點。</p>			

直接主管或陪同受測人員：

檢測人員：

表 17 第二階段覆檢測試紀錄表

作業環境整體換氣通風性能測試紀錄表（覆檢用）

受測單位名稱（機關或公司）					
受測單位地址					
受測環境營業別		受測建築物編號			
測試時間		受測面積大小			
使用儀器規格					
是否有特殊製程		□無 □有_____			
室外 CO <sub>2</sub> 背景濃度					
第一區	進風口總風量(m <sup>3</sup> /hr)		第二區	進風口總風量(m <sup>3</sup> /hr)	
	排氣口總風量(m <sup>3</sup> /hr)			排氣口總風量(m <sup>3</sup> /hr)	
	受測區域容積(m <sup>3</sup> )			受測區域容積(m <sup>3</sup> )	
	局部通風率 ACH			局部通風率 ACH	
第二區	進風口總風量(m <sup>3</sup> /hr)		第四區	進風口總風量(m <sup>3</sup> /hr)	
	排氣口總風量(m <sup>3</sup> /hr)			排氣口總風量(m <sup>3</sup> /hr)	
	受測區域容積(m <sup>3</sup> )			受測區域容積(m <sup>3</sup> )	
	局部通風率 ACH			局部通風率 ACH	
作業環境平面圖			測試採樣點位置圖		
進排氣口位置圖			主要污染源位置圖		
<p>注意事項：1.測試採樣時應避開進風口附近。</p> <p>2.採樣時以分區進行，取呼吸帶高度，建議每次 4 測點，每 5~8m<sup>2</sup> 取一測試點測試，並由濃度衰減速率計算局部通風率 ACH。</p>					

直接主管或陪同受測人員：

檢測人員：

### 第三節 作業環境整體換氣通風性能現場測試

本節利用上一小節所擬定之整體換氣性能評估方式與管理制度進行現場整體換氣性能實地測試，以下說明現場測試情形：

1. 檢測地點：一般辦公室（區域 1、2、3、4）中央空調作業環境。
2. 檢測流程：測試作業環境之室內溫溼度、進風口風量，量測工作環境之 CO<sub>2</sub> 背景濃度，如圖 37，其 CO<sub>2</sub> 濃度未超過 1000ppm 之標準，再以示蹤氣體 SF<sub>6</sub> 在主要工作區域（區域 1、2、3、4）進行室內通風換氣效率與 ACH 比較分析如圖 37 所示，並找出通風換氣不佳之原因進行改善。

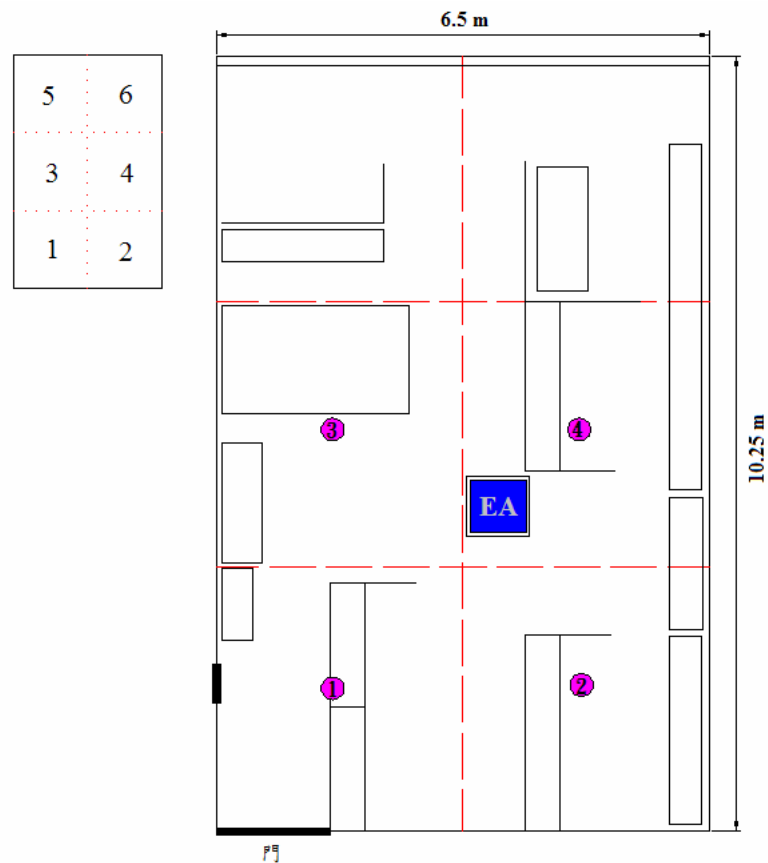


圖 37 辦公室室內配置及採樣點圖



表 18 作業環境整體換氣通風性能測試紀錄表

受測單位名稱（機關或公司）		一般辦公室	
受測單位地址		台中縣太平市中山路一段 215 巷 35 號	
受測環境營業別		辦公行政類	受測建築物編號 E212
測試時間		98.02.06	受測面積大小 66.625m <sup>2</sup>
使用儀器規格		環境專用 IAQ 測棒、風罩式風量計	
是否有特殊製程		■無 □有_____	
室外 CO <sub>2</sub> 背景濃度		431ppm	
測試點 1(ppm)	536	測試點 4(ppm)	501
測試點 2(ppm)	490	測試點 5(ppm)	503
測試點 3(ppm)	507	測試點 6(ppm)	499



圖 38 作業環境通風效率現場檢測狀況圖

2.第二階段覆檢：此辦公室室內 CO<sub>2</sub> 濃度於低一階段檢測低於 1000ppm 之標準，通風換氣效率無不良之情況，但本次實驗仍然以示蹤氣體 SF<sub>6</sub> 於作業環境內進行第二階段覆檢，針對其通風換氣效率與 ACH 之討論分析。

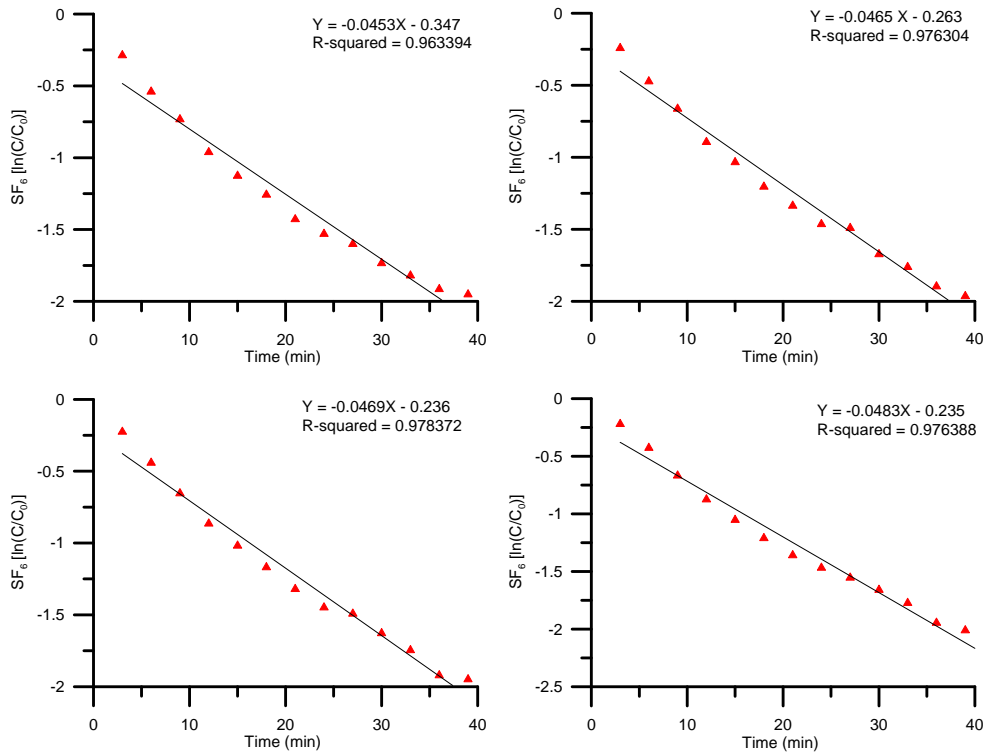


圖 39 作業環境之 SF<sub>6</sub> 濃度衰減之 ACH 圖

表 19 主要工作區域之通風換氣效率

使用儀器	SF <sub>6</sub> 氣體分析儀
室內進風口風量	1020CMH
受測區域容積	186.55m <sup>3</sup>
區域 1 (ACH)	2.72
區域 2 (ACH)	2.79
區域 3 (ACH)	2.81
區域 4 (ACH)	2.90



圖 40 作業環境通風換氣效率現場測試狀況圖

## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

研究發現各國職業衛生規範對於整體換氣並無嚴格要求，而在台灣則要求適當換氣率，也要求測定及維持一定之二氧化碳濃度，特別在室內空氣品質要求下，二氧化碳濃度更受到重視，因此計畫研擬以二氧化碳測定為主通風換氣評估為輔之「整體換氣管理制度草案」，提出作業環境整體換氣管理與評估準則，建議採用分段方式進行，第一階段以作業環境內 CO<sub>2</sub> 濃度作為指標，以不超過 1000ppm 為初步標準。如果有超過此標準之作業環境再進行第二階段更精確，使用示蹤氣體進行測試與分析，評估換氣率與通風狀況，未來期盼可供事業單位評估作業環境整體換氣性能之參考依據。

另透過全尺寸實驗分析結果顯示，示蹤氣體技術進行通風換氣效率量測時可能面臨的問題及不準度，結果整理如下：

1. 利用示蹤氣體濃度衰減法進行整體通風換氣性能測試時，在相同作業環境、通風配置及空間障礙物下，示蹤氣體初始釋放濃度在 2000ppm 與 3000ppm 時得到相同之通風換氣率，因此示蹤氣體初始釋放濃度並不會影響測試結果。
2. 作業環境中之障礙物對整體換氣效能之影響，透過實驗發現室內有效通風率會因空間中之障礙物而降低，尤其以垂直於氣流路徑上之障礙物影響更為顯著，位於氣流路徑上之障礙物占受風面積越大，影響越顯著，混合因子 K 值越小。

利用示蹤氣體濃度衰減法進行整體通風換氣性能測試時，示蹤氣體的取樣點之數量與位置將會影響結果，主要與取樣點位置是否位於氣流路徑上有關，整體而言採樣點應儘可能均於放置作業環境中，且應避開通風換氣風口附近。

## 第二節 建議

研究期盼能提供事業單位落實整體換氣通風管理之有效制度，包括建立簡單、可行且價格低廉的整體換氣通風性能確效方法，及檢討通風換氣有效運轉之認定標準，以便提供各事業單位進行設計、確效及工務部門檢查，有效管理整體換氣通風性能。研究所研擬之「整體換氣管理制度草案」，已二氧化碳測定為初步篩選，超過一定標準後，在進行通風換氣評估。但許多想法皆是以控制環境測試為出發點，未來工作建議需按照所研擬之流程進行實際作業環境之整體換氣效率之測試，以瞭解當管理單位依據草案執行時，可能面臨到窒礙難行之問題，然後依據現場問題在回頭進行管理策略之修正，如此才可落實作業環境整體換氣之管理策略。

## 誌謝

本研究計畫參與人員除本所勞工衛生組陳春萬研究員、謝書榮助理研究員外，另包括雲林科技大學鍾基強教授及勤益科技大學吳友烈博士協助實驗進行，謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] 行政院勞工委員會：勞工作業環境空氣中有害物容許標準。2003。
- [2] 行政院勞工委員會：勞工安全衛生設施規則。2002。
- [3] 行政院勞工委員會：有機溶劑中毒預防規則。2003。
- [4] 行政院勞工委員會：鉛中毒預防規則。2002。
- [5] 行政院勞工委員會：粉塵危害預防標準。2003。
- [6] 行政院勞工委員會：鉛中毒預防規則部分條文 91 年修正總說明。2002。
- [7] 行政院勞工委員會：勞工作業環境測定實施辦法。2004。
- [8] U.S. Department of Labor, “Regulations (Standards – 29 CFR), Ventilation. – 1910.94”.
- [9] U.S. Department of Labor, “Regulations (Standards – 29 CFR), Lead – 1910.1025”.
- [10] ASHRAE, 1995 ; ”Standard 110-Method of Testing Performance of Laboratory Fume Hoods”, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc.
- [11] Chen, Q., Kooi, J.V.D., and Meyers, A. , 1988 ; “Measurements and computations of ventilation efficiency and temperature efficiency in a ventilated room”, Energy and Building, Vol.12, pp. 85-89.
- [12] Shen, J., and Chang, T. , 1994 ; “Improve indoor air quality in air clean rooms”, 12<sup>th</sup> International Symposium on Contamination Control., pp. 203-208.
- [13] Garrison, R., Nabar P. N. and Erig, M. , 1989 ; “Ventilation to Eliminate Oxygen Deficiency in a Confined Space-Part I : A Cubical Models”, Appl. Ind. Hyg. Vol.4, pp. 1-11.
- [14] Garrison, R., Nabar P. N. and Erig, M. , 1989 ; “Ventilation to Eliminate Oxygen Deficiency in a Confined Space-Part II : Noncubical Models”, Appl. Ind. Hyg. Vol. 4, pp. 260-268.
- [15] Garrison, R., Nabar P. N. and Erig, M., , 1991 ; “Ventilation to Eliminate Oxygen Deficiency in a Confined Space-Part III : Heavier-Than-Air Characteristics”, Appl. Occup. Environ. Hyg., Vol. 6, pp. 131-140.
- [16] 鍾基強, 進排氣口配置對室內氣流與污染物分佈之影響 工安科技季刊。

- [17] W. J. Fisk, R. J. Prill and O. Seppanen. , 1989 ; “A multi-tracer technique for studying rates of ventilation, air distribution patterns, and air exchange efficiencies, in Proceedings of Building Systems”,Room Air and Air Contaminant Distribution, ASHRAE, Atlanta, GA, pp.237-240.
- [18] W. J. Fisk, J. Binenboym, H Kaboli, D. T. Grimsrud, A. W. Robb and B. J. Weber , 1985 ; “Multi-tracer system for measuring ventilation rates and ventilation efficiencies in large mechanically ventilated buildings”, Proceedings of the 6th AIVC Conference Ventilation Strategies and Measurement Techniques, Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry. pp. 69-93.
- [19] NIOSH. , 1989. Congressional testimony of J. Donald Millar, M.D., Director, before the Subcommittee on Superfund, Ocean and Water Protection, Committee on Environment and Public Works, U.S. Senat.
- [20] ASHRAE. 2007. ASHRAE Handbook – HVAC Application, Control of Gaseous Indoor Air Contaminants. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc
- [21] ASHRAE , 2001 ; “ANSI/ASHRAE STANDARD 62-2001-Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality”, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- [22] ICBO Building Code , 2000.
- [23] BOCA. , 1999 ; “ The BOCA National Building Code”,Building Officials and Code Administration International, Inc. , 2000.
- [24] 內政部營建署：建築技術規則。2005。



## 附錄一 CO<sub>2</sub> 等濃度輪廓線圖

圖 1 無障礙物 CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	72
圖 2 垂直氣流路徑 障礙物高度下起 1/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	73
圖 3 垂直氣流路徑 障礙物高度下起 2/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	74
圖 4 垂直氣流路徑 障礙物高度下起 3/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	75
圖 5 垂直氣流路徑 障礙物高度下起 4/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	76
圖 6 垂直氣流路徑 障礙物高度上起 1/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	77
圖 7 垂直氣流路徑 障礙物高度上起 2/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	78
圖 8 垂直氣流路徑 障礙物高度上起 3/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	79
圖 9 垂直氣流路徑 障礙物高度上起 4/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	80
圖 10 水平氣流路徑 障礙物高度下起 1/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	81
圖 11 水平氣流路徑 障礙物高度下起 2/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	82
圖 12 水平氣流路徑 障礙物高度下起 3/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	83
圖 13 水平氣流路徑 障礙物高度下起 4/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	84
圖 14 水平氣流路徑 障礙物高度上起 1/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	85
圖 15 水平氣流路徑 障礙物高度上起 2/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	86
圖 16 水平氣流路徑 障礙物高度上起 3/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	87
圖 17 水平氣流路徑 障礙物高度上起 4/5H CO <sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖.....	88

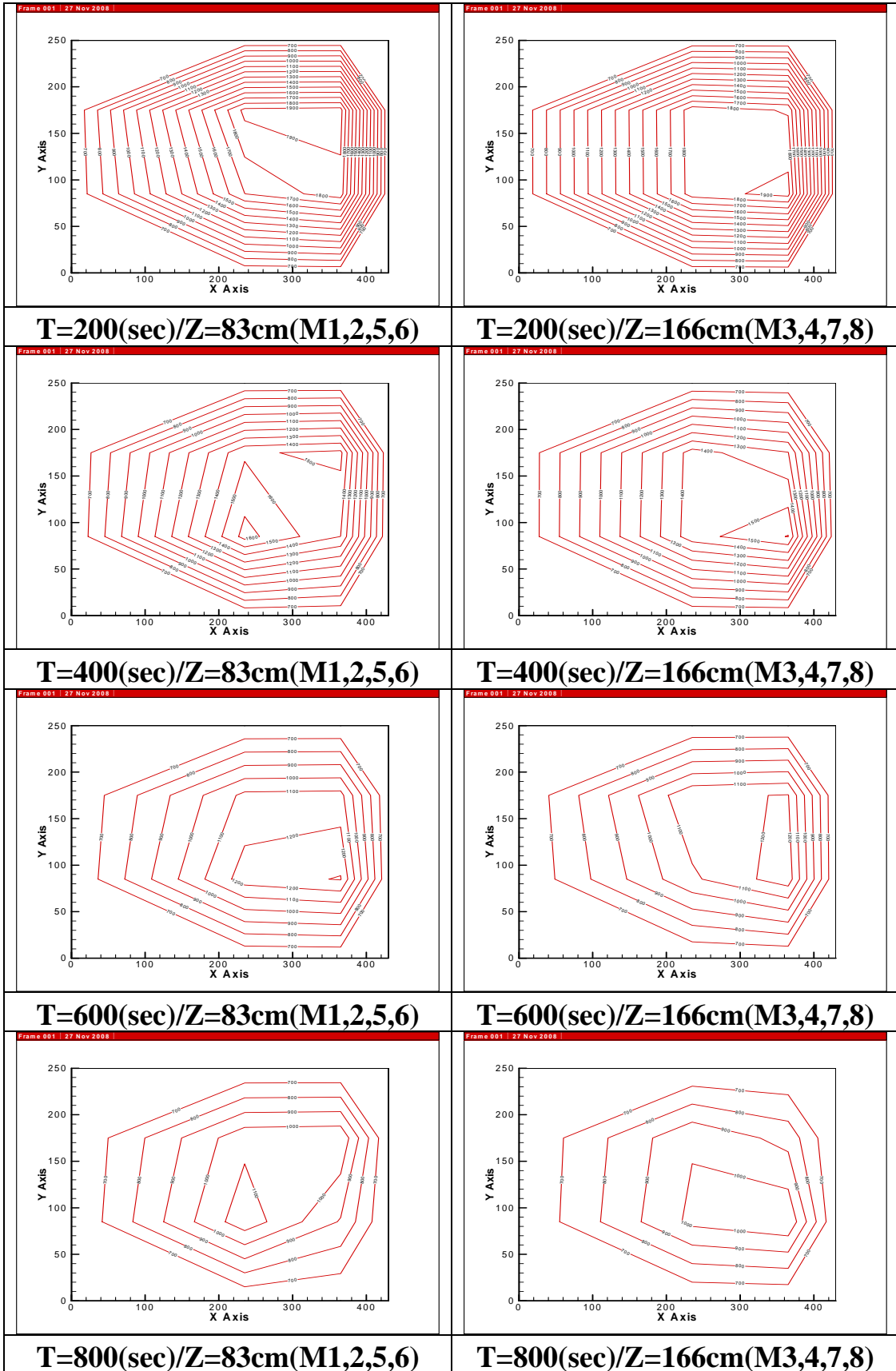


圖 1 無障礙物 CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

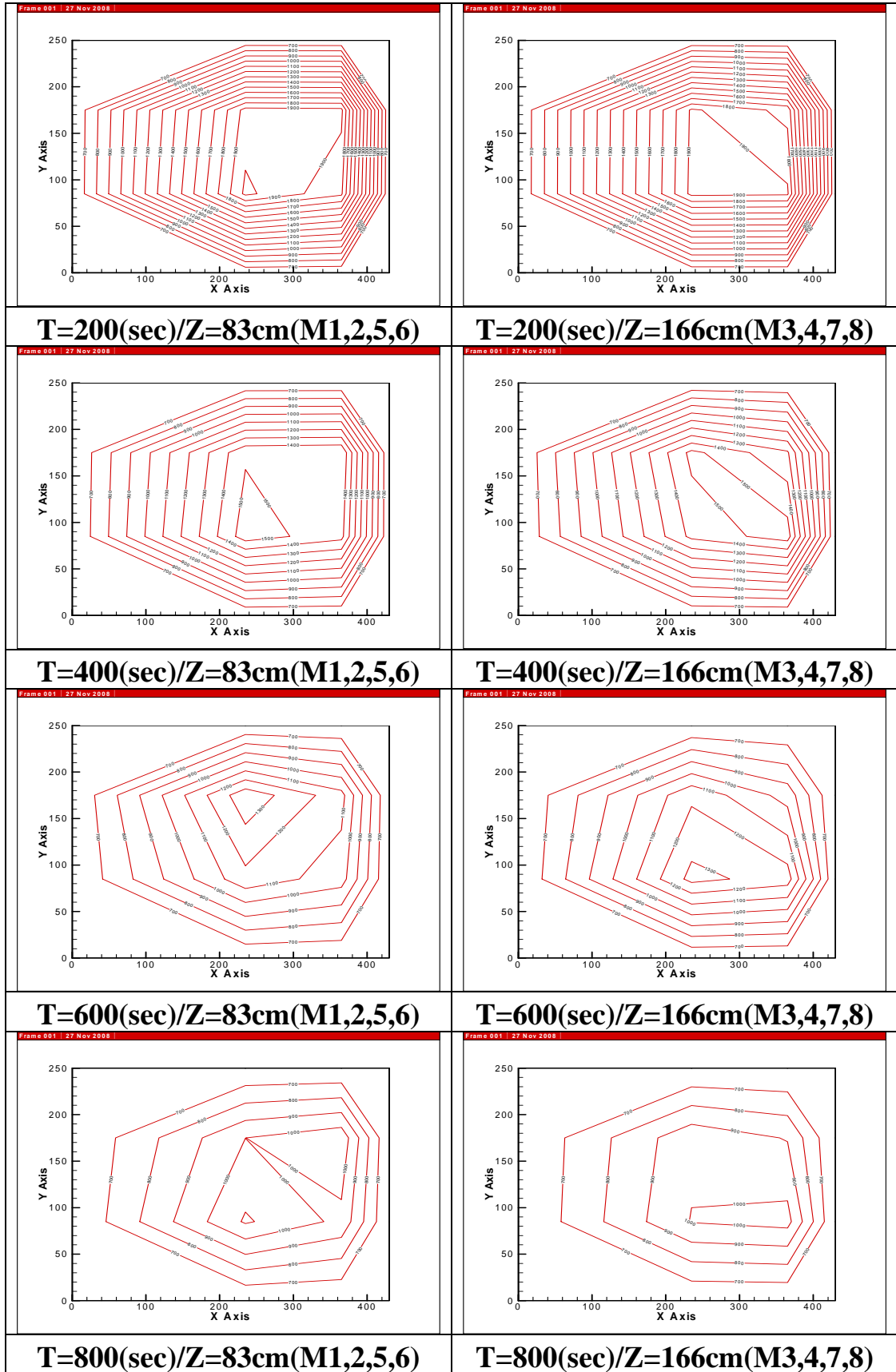


圖 2 垂直氣流路徑 障礙物高度下起 1/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

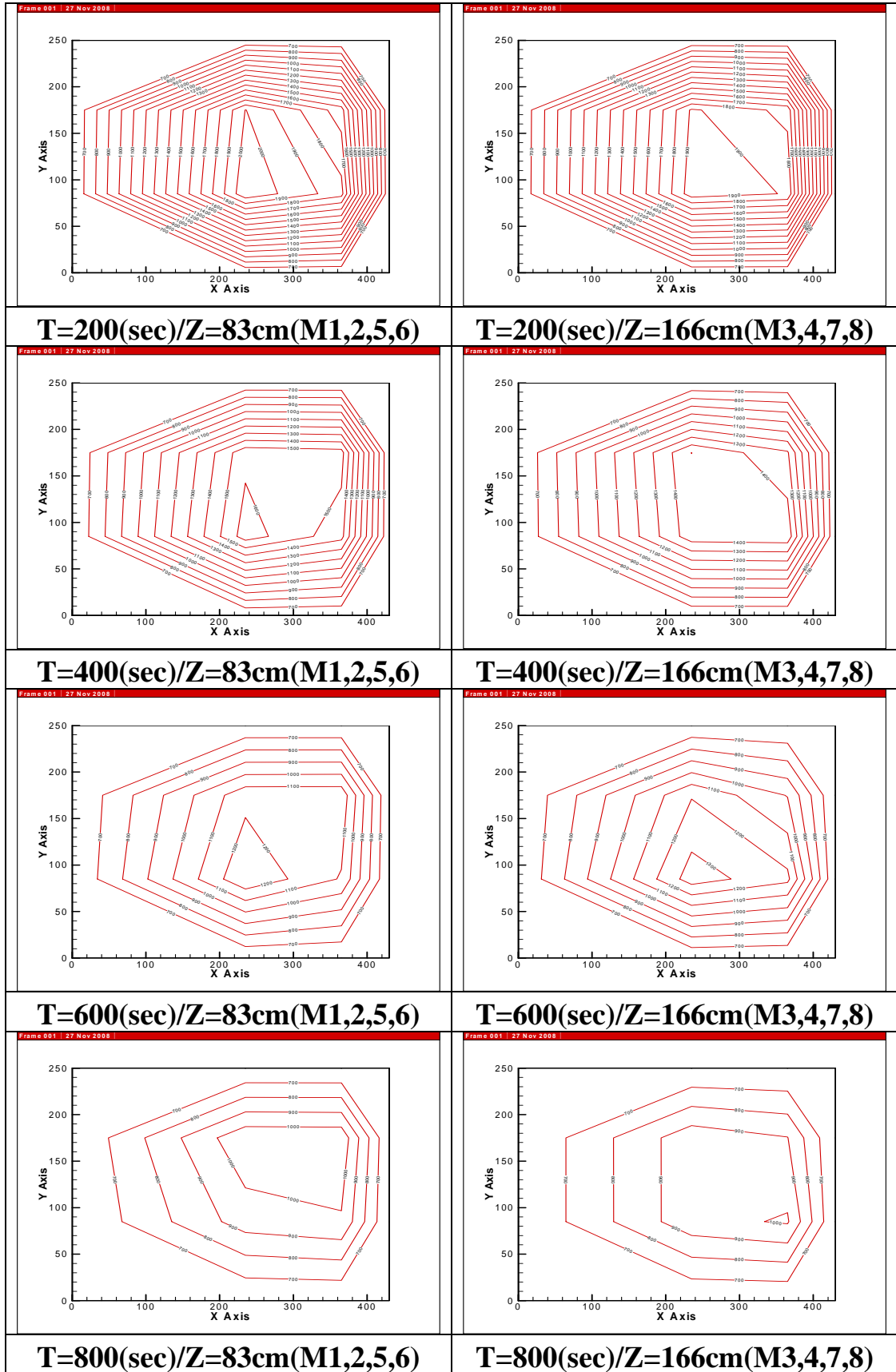


圖 3 垂直氣流路徑 障礙物高度下起  $2/5H$   $CO_2$  濃度等輪廓線圖

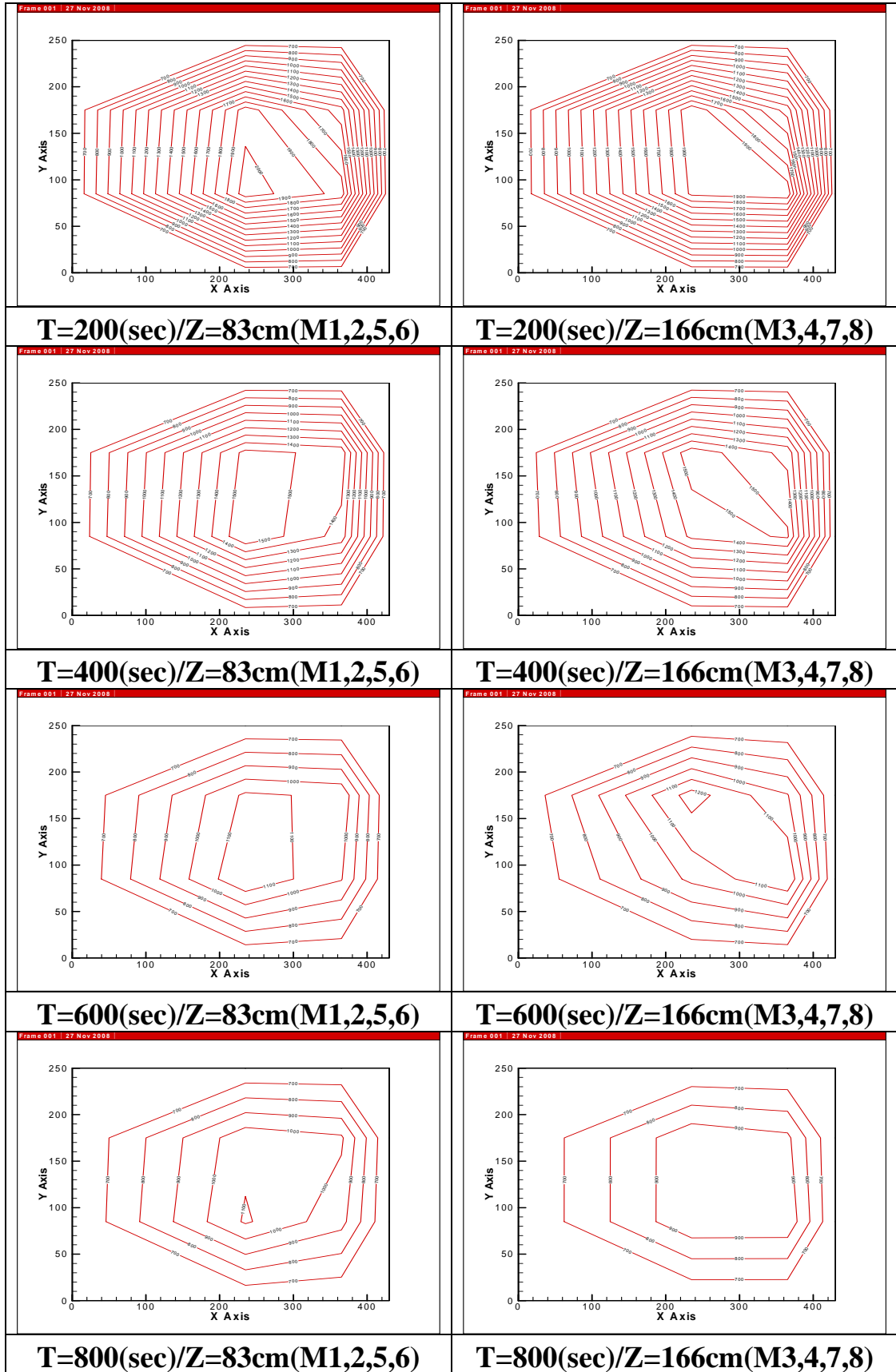


圖 4 垂直氣流路徑 障礙物高度下起 3/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

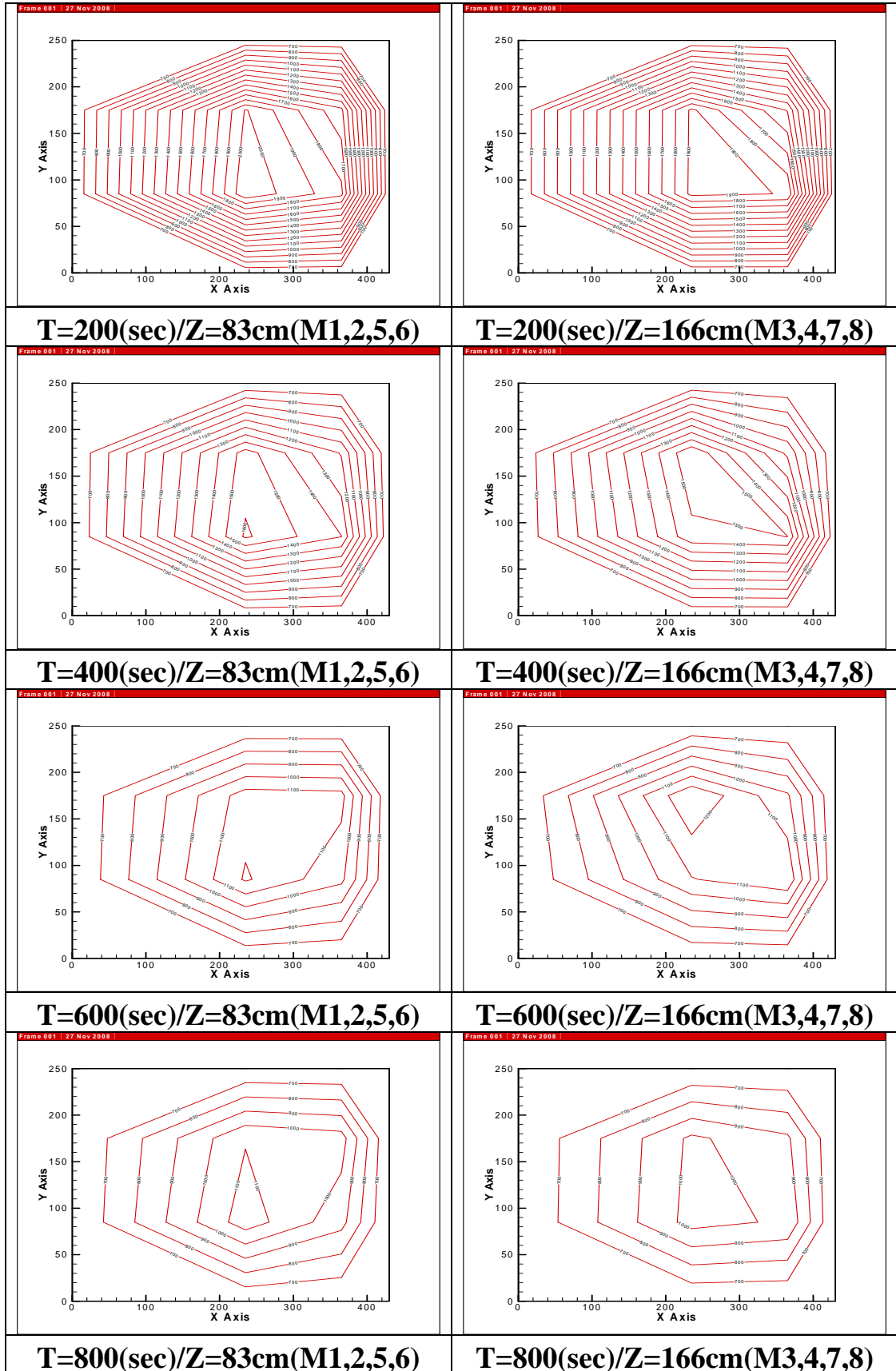


圖 5 垂直氣流路徑 障礙物高度下起 4/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

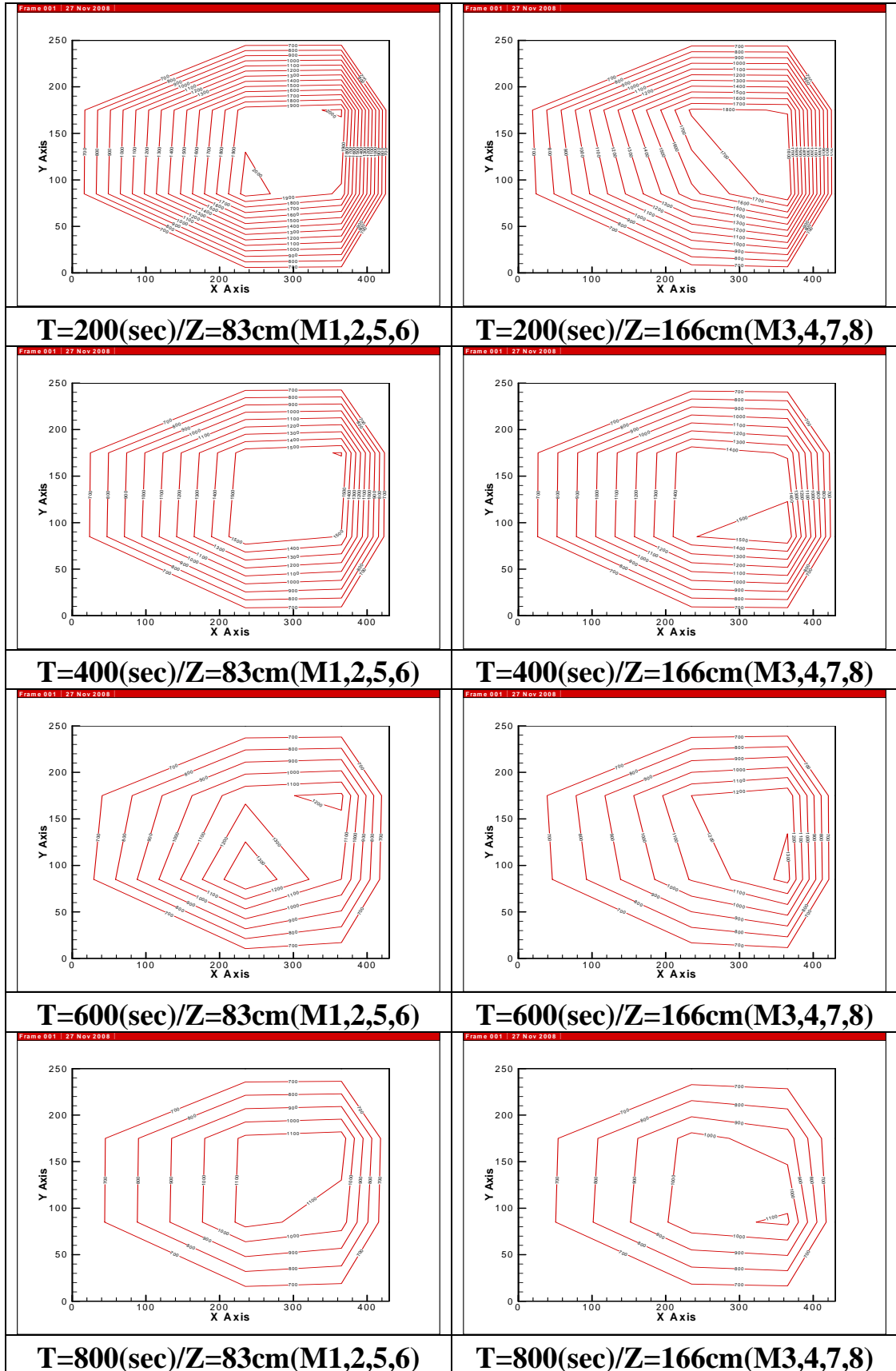


圖 6 垂直氣流路徑 障礙物高度上起 1/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

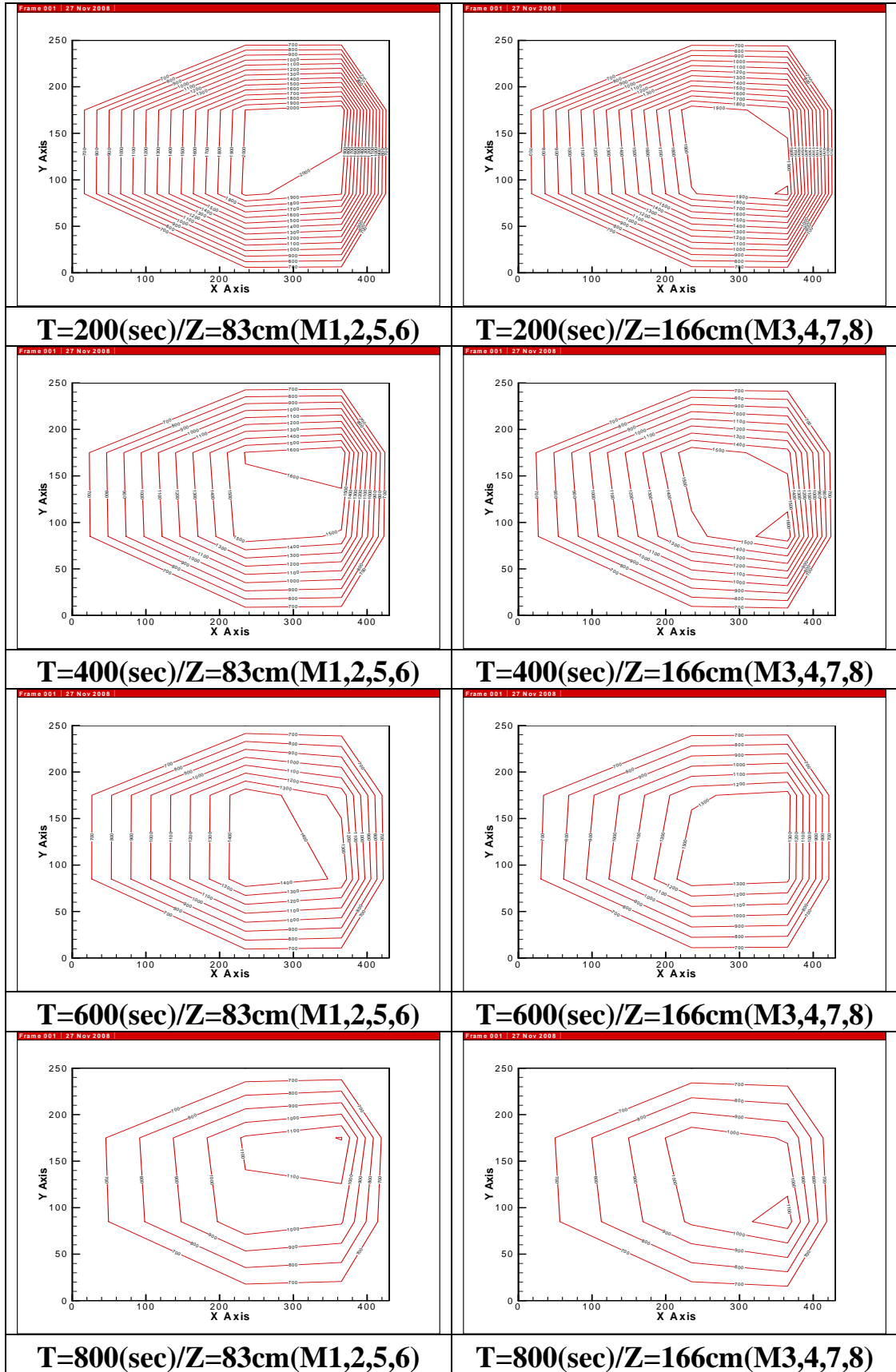


圖 7 垂直氣流路徑 障礙物高度上起 2/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖



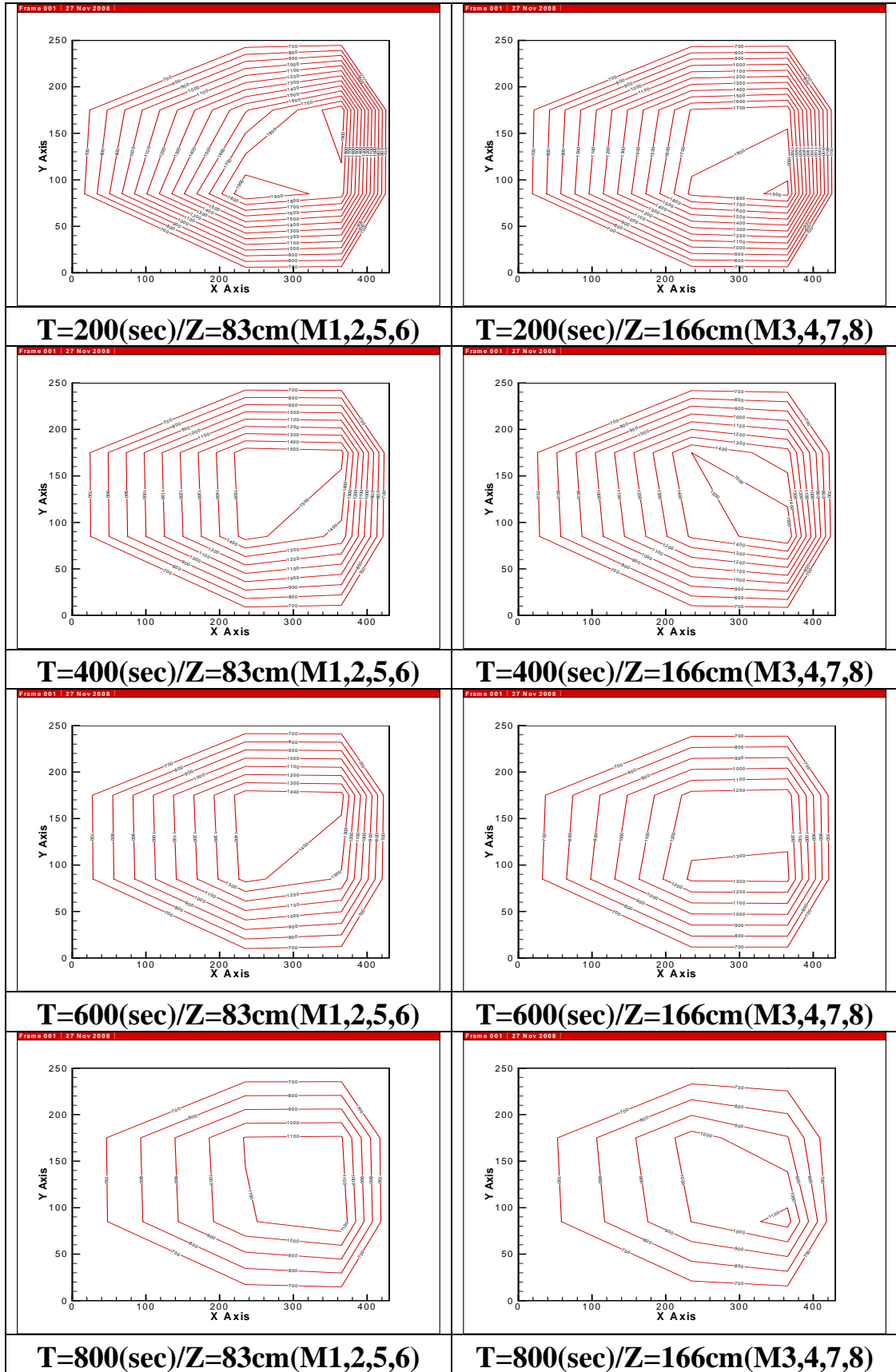


圖 8 垂直氣流路徑 障礙物高度上起 3/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

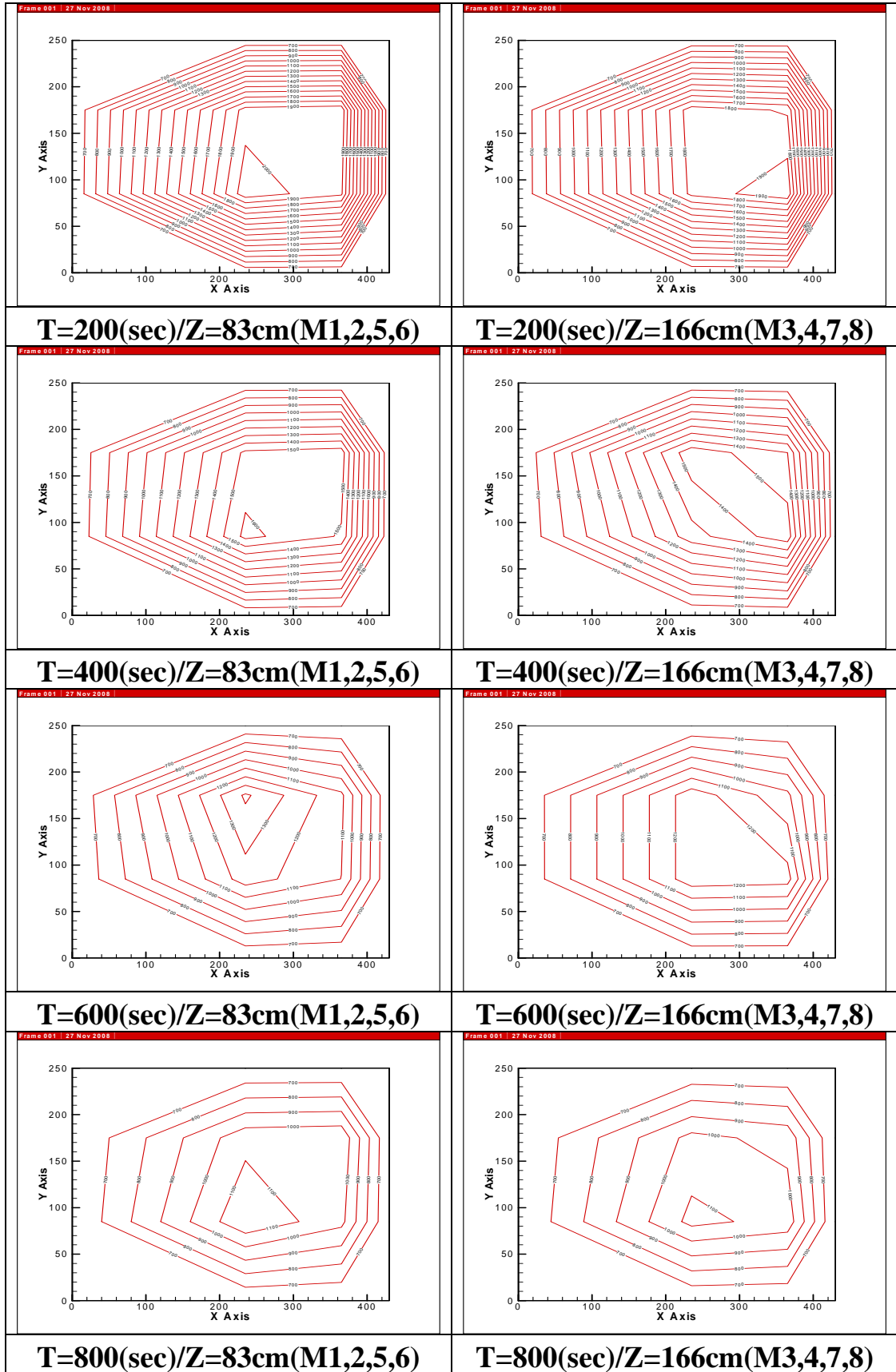


圖 9 垂直氣流路徑 障礙物高度上起 4/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

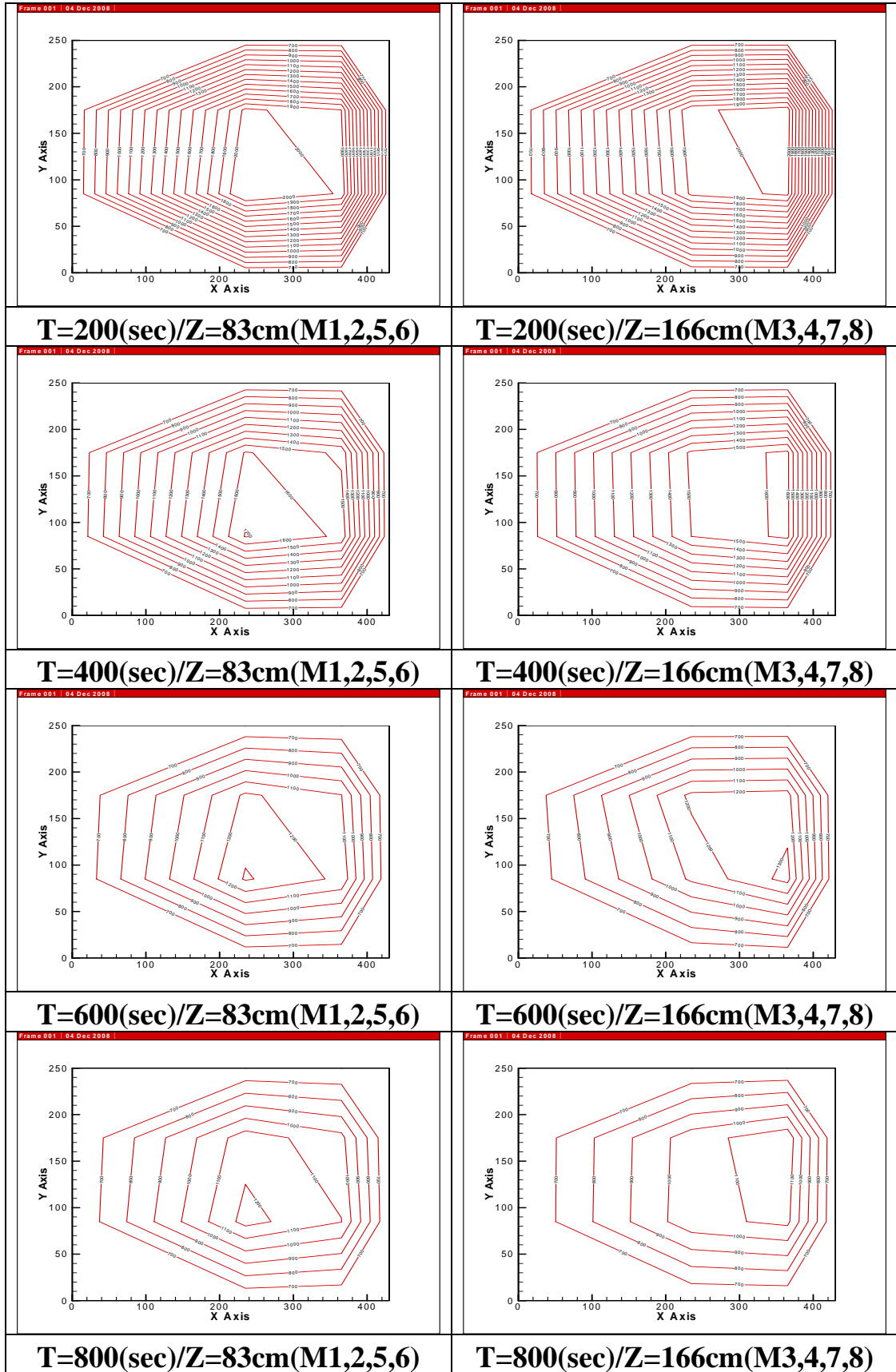


圖 10 水平氣流路徑 障礙物高度下起 1/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

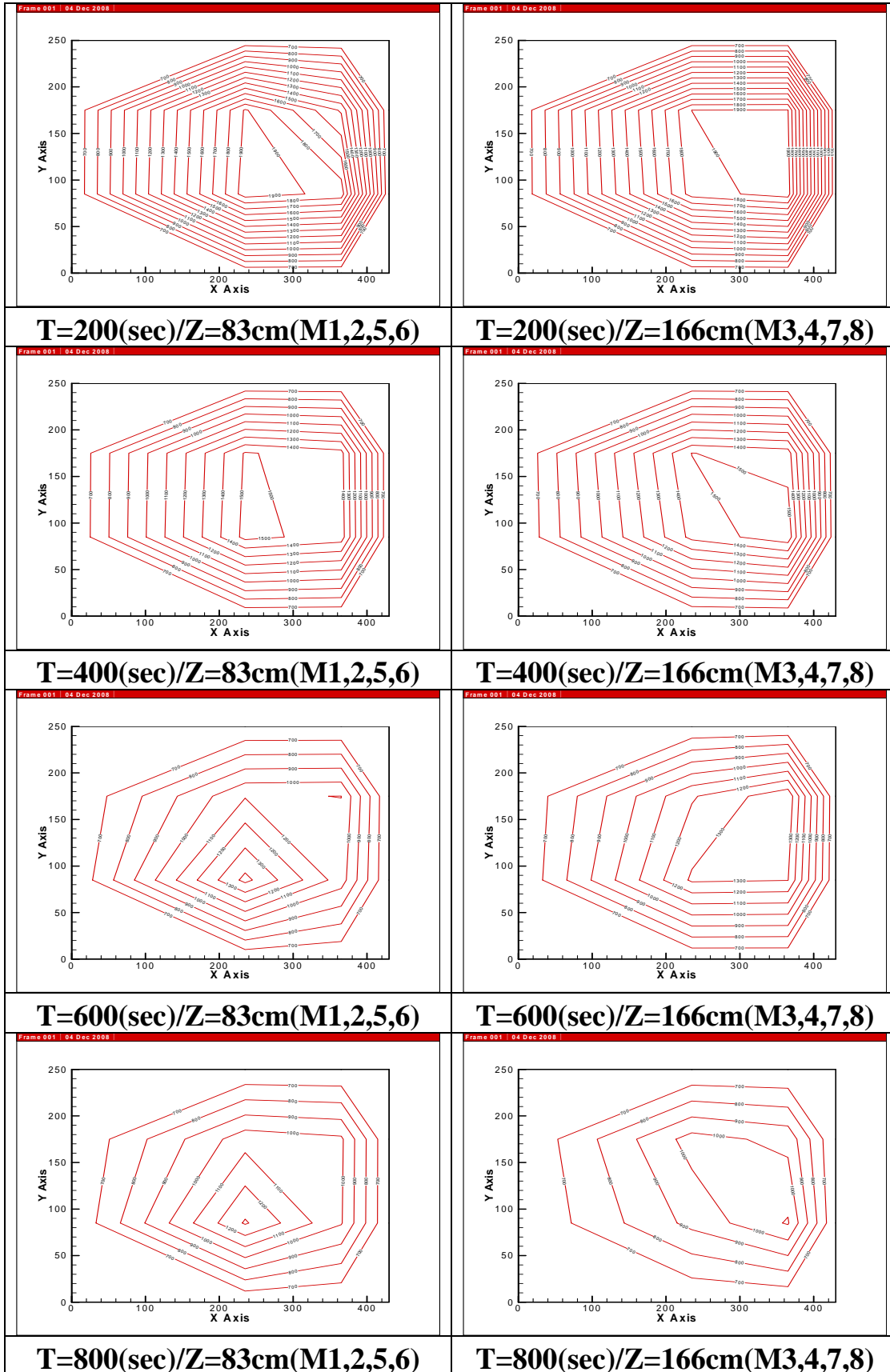


圖 11 水平氣流路徑 障礙物高度下起 2/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

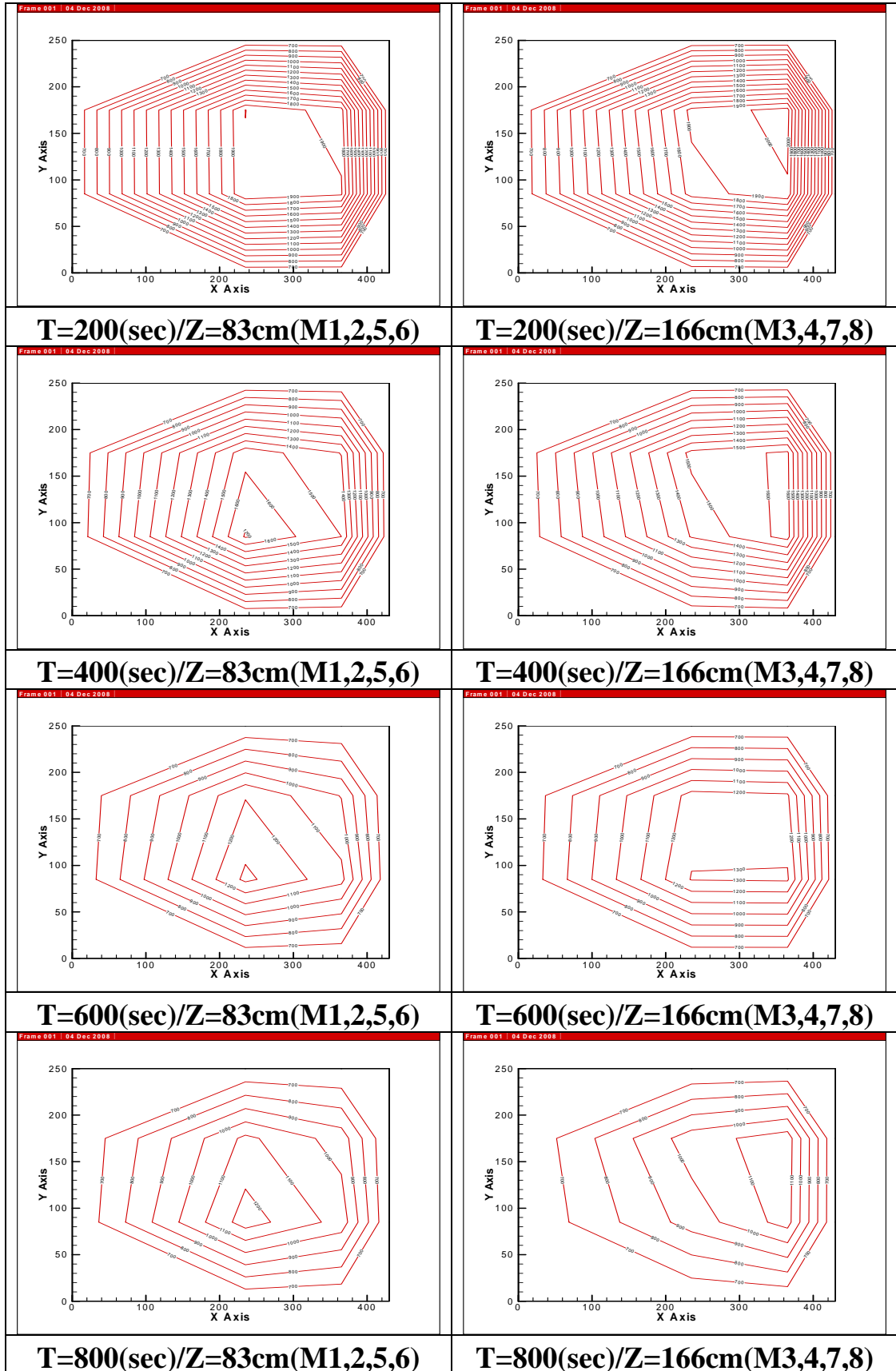


圖 12 水平氣流路徑 障礙物高度下起 3/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

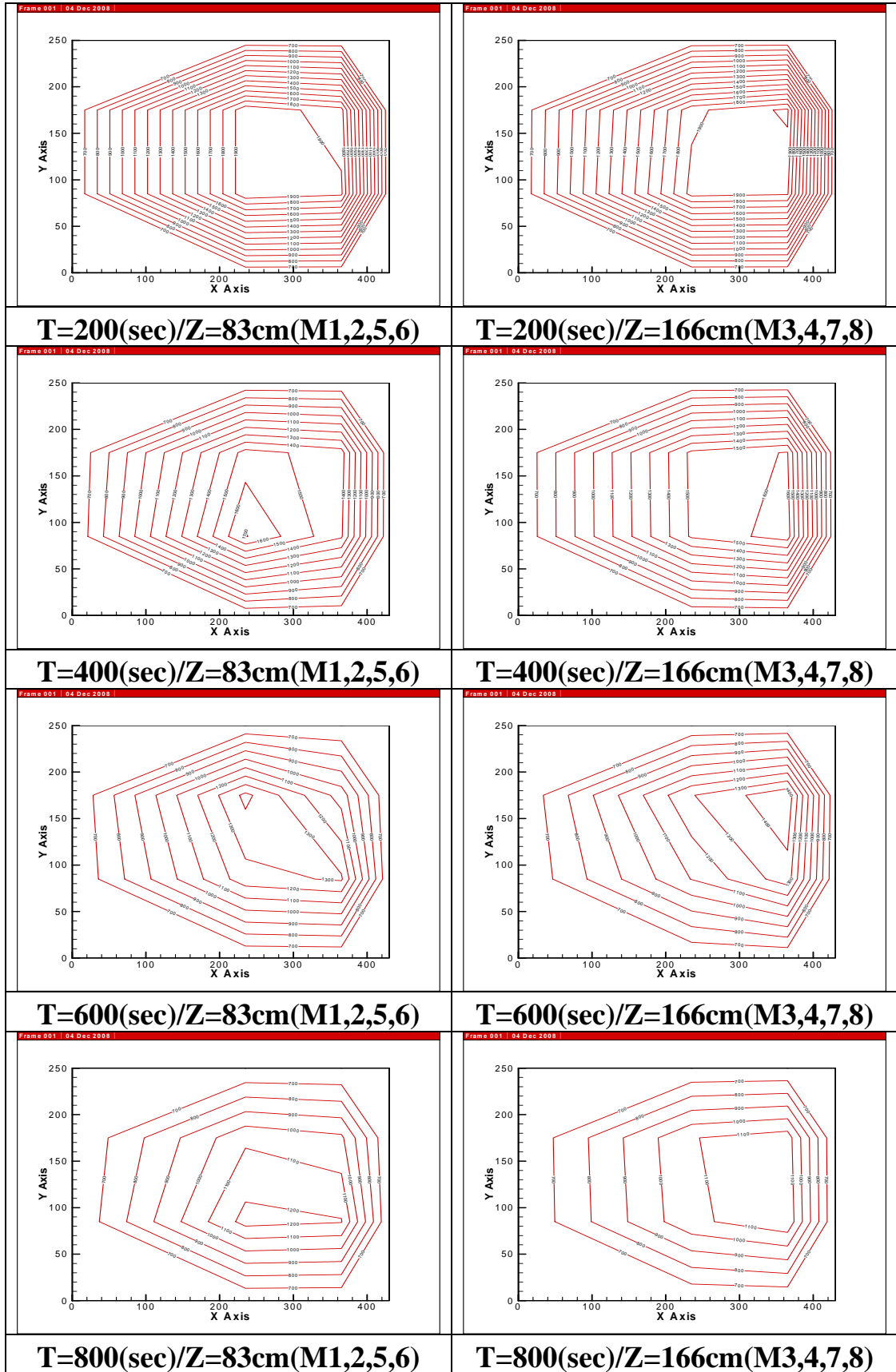


圖 13 水平氣流路徑 障礙物高度下起 4/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

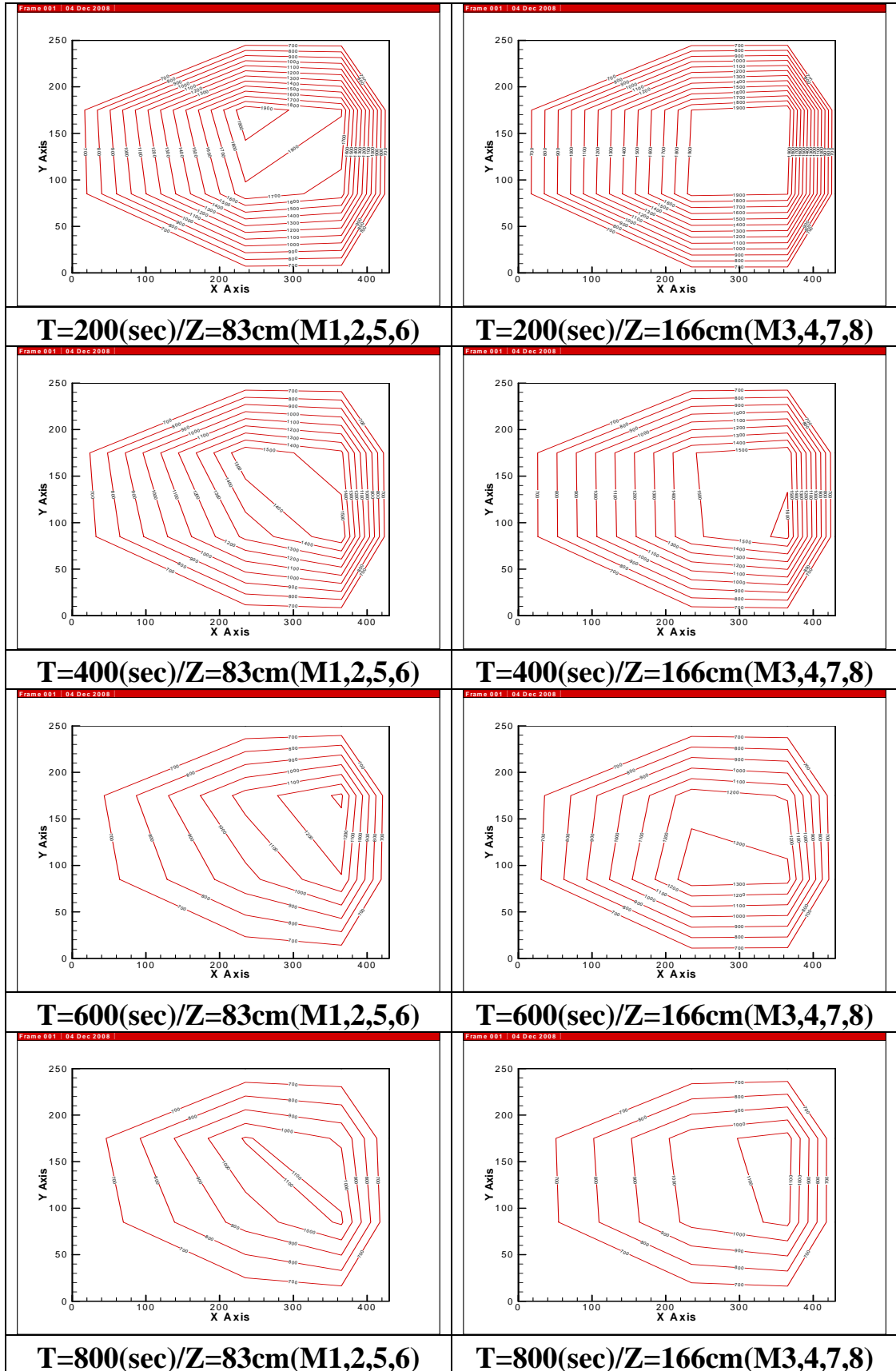


圖 14 水平氣流路徑 障礙物高度上起 1/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

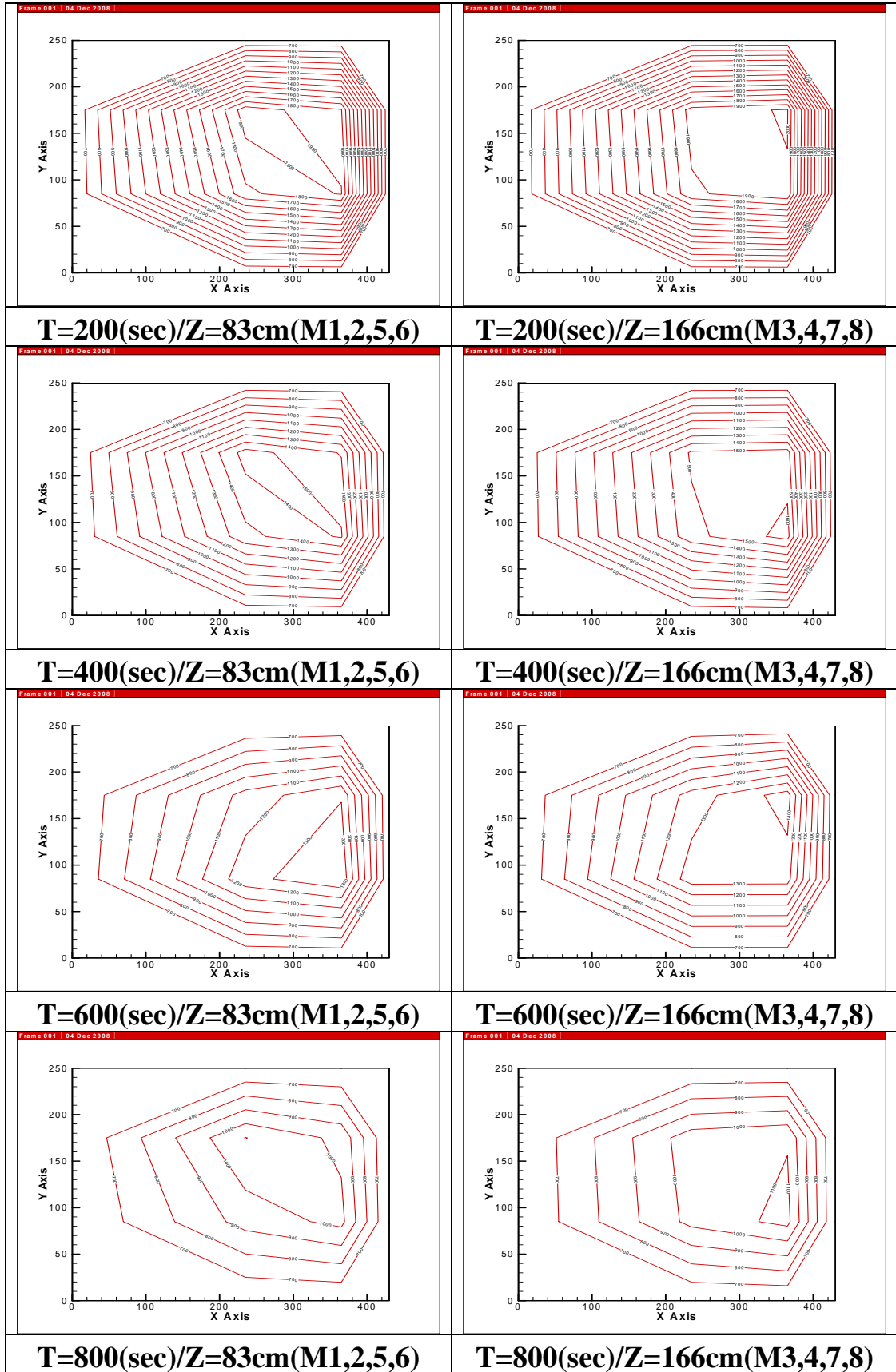


圖 15 水平氣流路徑 障礙物高度上起 2/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖



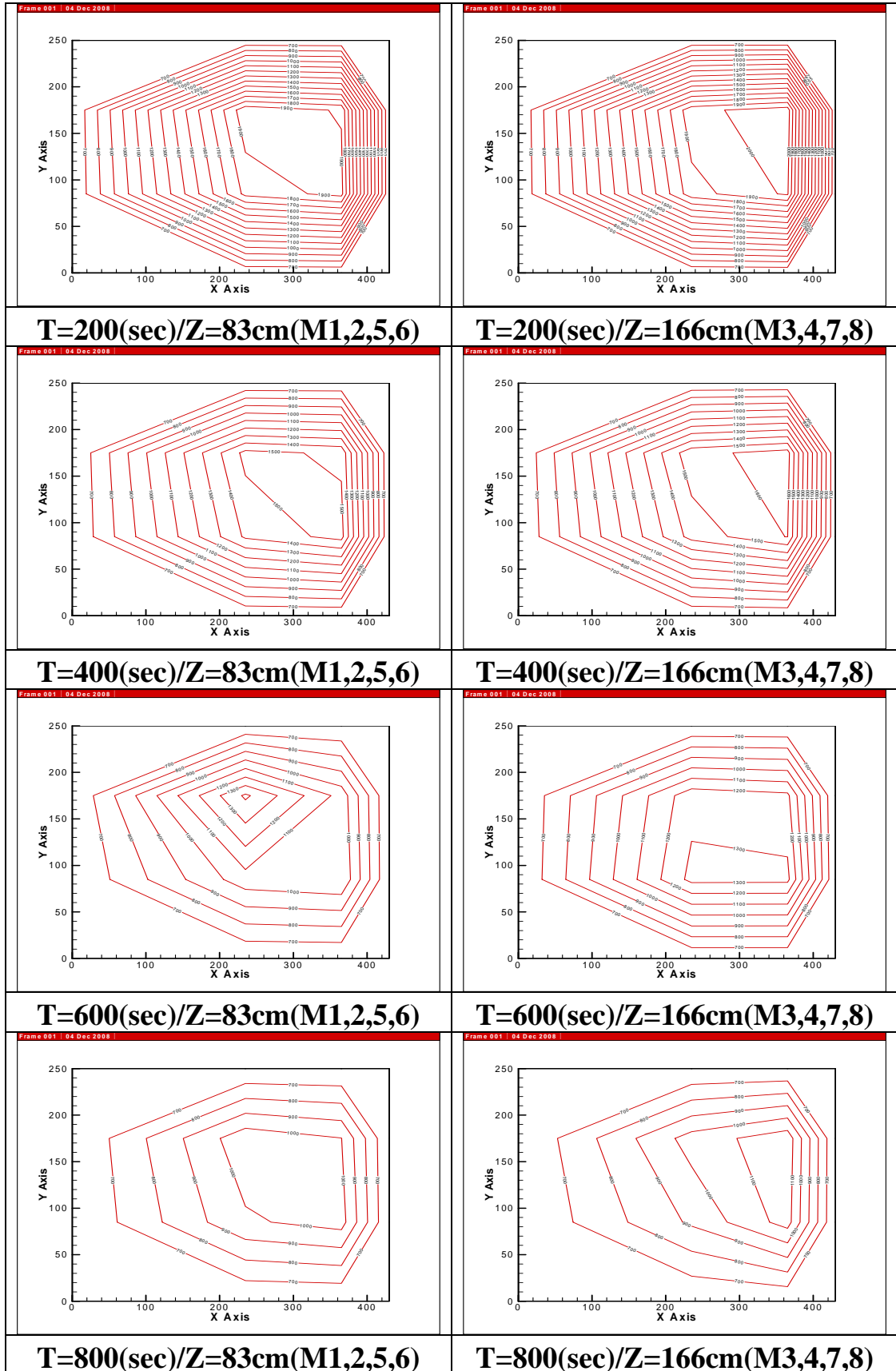


圖 16 水平氣流路徑 障礙物高度上起 3/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

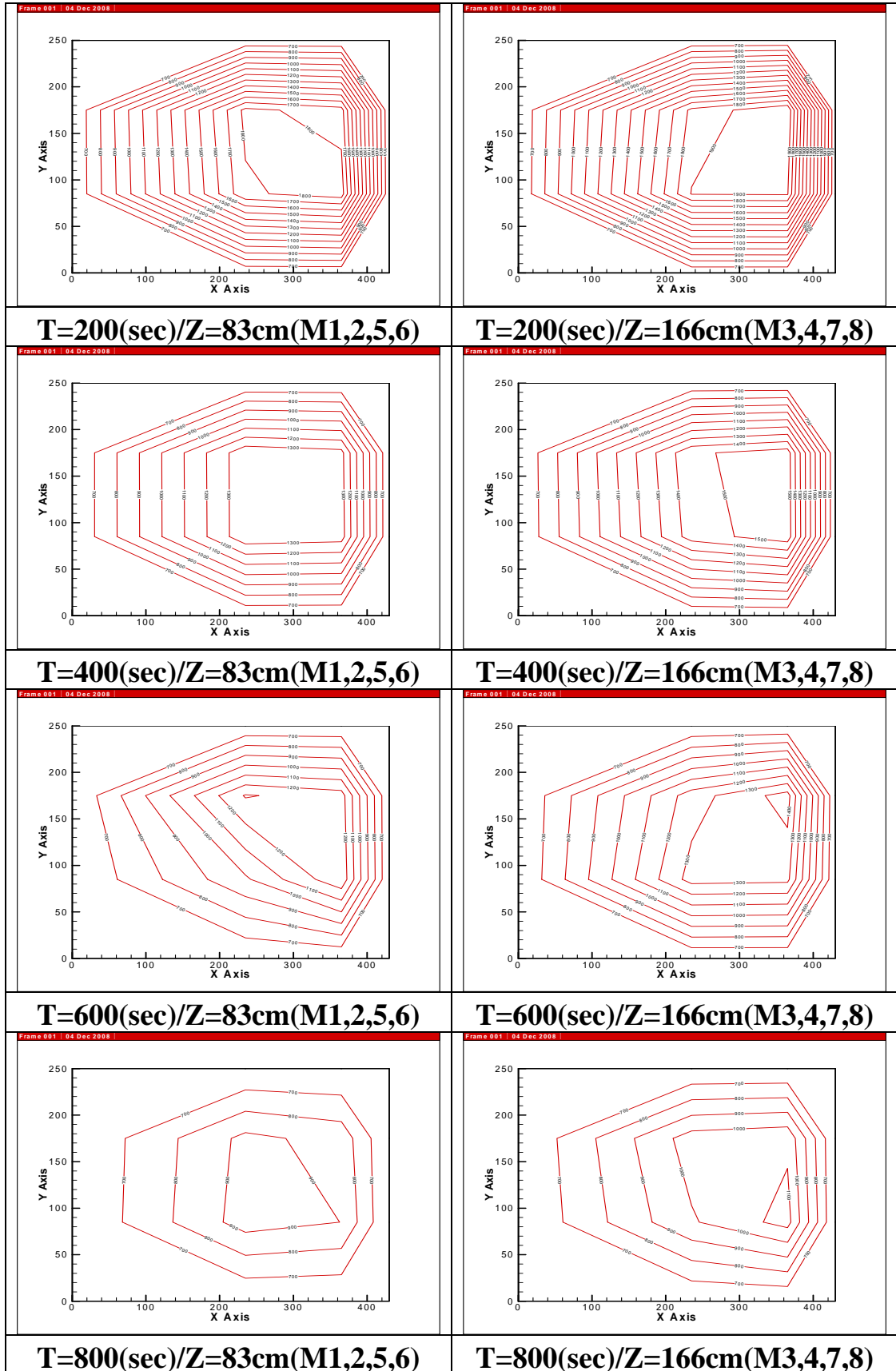


圖 17 水平氣流路徑 障礙物高度上起 4/5H CO<sub>2</sub> 濃度等輪廓線圖

## 附錄二 CO<sub>2</sub> 與 SF<sub>6</sub> 示蹤氣體換氣性能測試比較

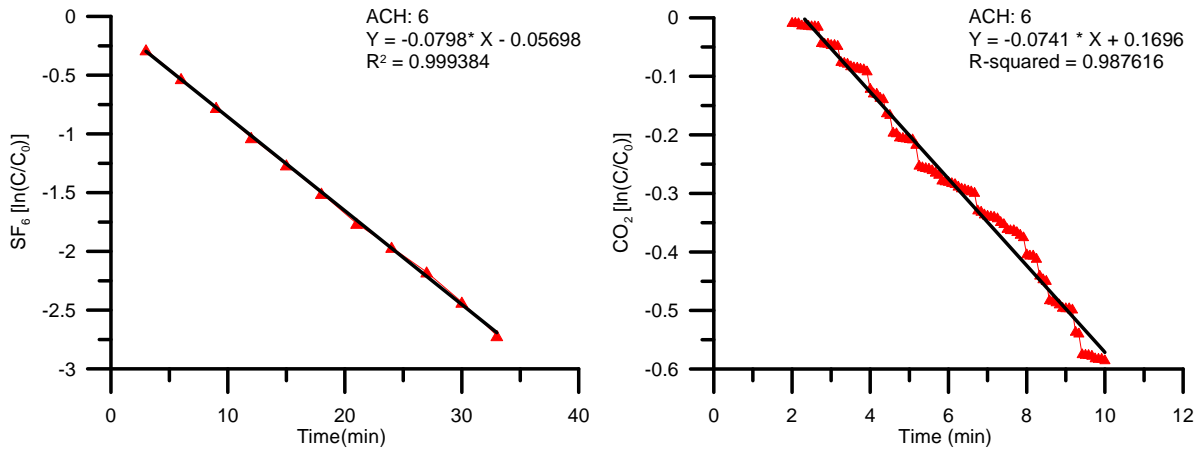


圖 18 無障礙物下 SF<sub>6</sub> 與 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之 ACH 比較圖

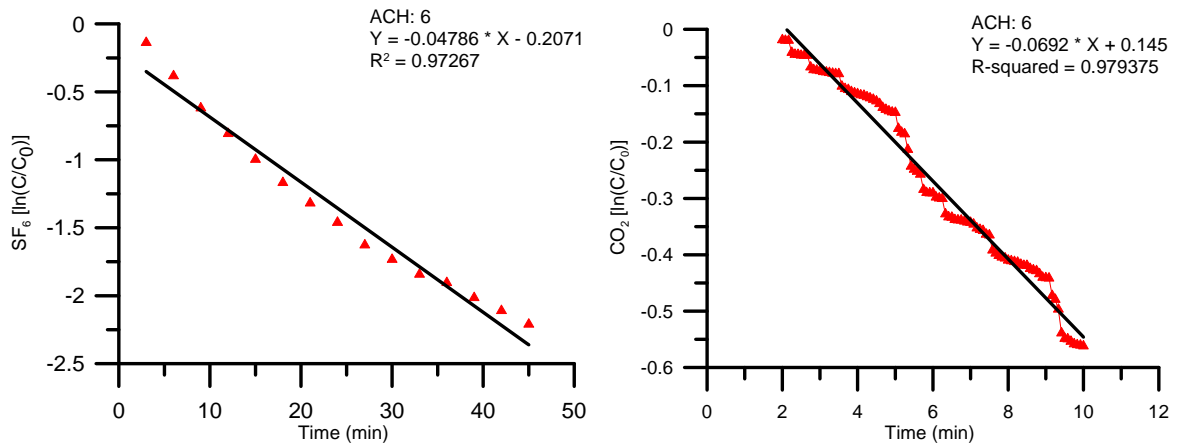


圖 19 Case A6-1-2 SF<sub>6</sub> 與 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之 ACH 比較圖

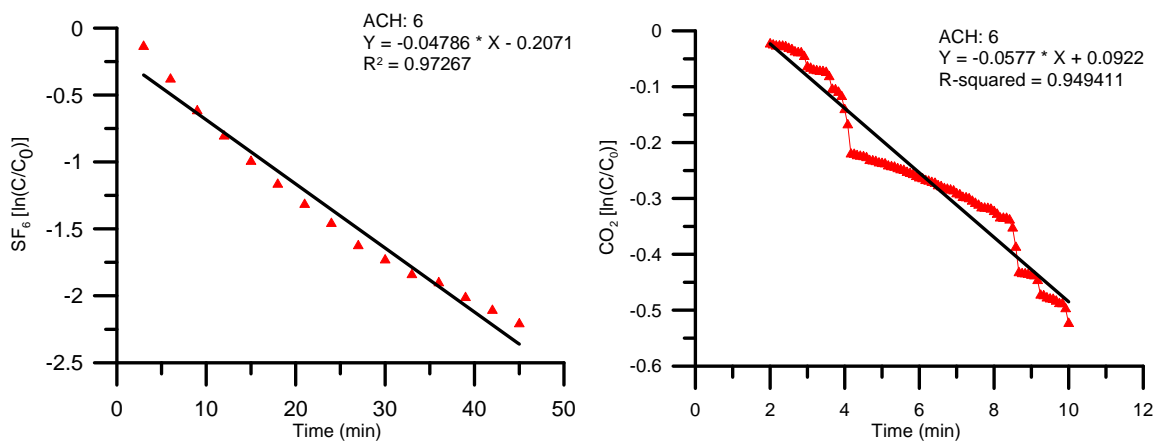


圖 20 Case A6-1-6 SF<sub>6</sub> 與 CO<sub>2</sub> 濃度衰減之 ACH 比較圖

職場整體換氣性能規範之探討

著（編、譯）者：陳春萬、謝書榮

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600      <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 98 年 3 月

版（刷）次：1 版 1 刷

定價：200 元

展售處：

五南文化廣場

台中市中區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為 <http://www.iosh.gov.tw/>。
- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

**【版權所有，翻印必究】**

GPN: 1009800720