

## 邊界層流中點式煙流延散之研究

方富民<sup>1</sup> 莊秉潔<sup>2</sup> 陳鉅昌<sup>3</sup> 宋邦壽<sup>4</sup> 許志祥<sup>5</sup>

關鍵詞：煙流延散、水洞試驗。

### 摘 要

本研究藉水洞實驗的方式探討鄉村、市郊與都市三種形式的風況中點式污染源的延散機制。實驗中於不同地表高程處以針管釋放螢光染料，並配合雷射切光的視化技術，將各瞬間之數位化濃度場存入電腦資料庫中，據以統計分析平均濃度場中煙流橫向尺度(水平及垂直兩個方向)與濃度質心之空間變化。

## PLUME DISPERSION FROM AN ELEVATED POINT SOURCE WITHIN TURBULENT BOUNDARY LAYERS

Fuh-Min Fang<sup>1</sup>, B. J. Tsuang<sup>2</sup>, J. C. Chen<sup>3</sup>, P. S. Soong<sup>4</sup> and J. S. She<sup>5</sup>

*Department of Civil Engineering  
National Chung-Hsing University  
Taichung, Taiwan 40227, R.O.C.*

**Key words:** Plume dispersion, Water tunnel testing.

### ABSTRACT

The mechanisms of elevated point-source dispersion were investigated in a water tunnel within three types of turbulent boundary layers, corresponding respectively to rural, suburb and urban ground conditions. In the experiments, the pollutant was produced by injecting a nonbuoyant fluorescent solution into the flow at various elevations within the shear flows. By adopting an image technique, the instantaneous concentration fields, in forms of laser-sheet profiles, were monitored and digitized. They were further analyzed to obtain the variations of the transverse dispersion scales (horizontal and vertical) and the concentration centroids.

### 一、前言

剪力流流場 (Shear Flow) 中點式污染源之煙流延

散 (Plume Dispersion) 是空氣與水污染的領域中一個重要的研究課題。在一個平坦地面的平衡 (Equilibrium)

<sup>1</sup> 國立中興大學土木工程研究所副教授  
<sup>2</sup> 國立中興大學環境工程研究所副教授  
<sup>3-5</sup> 國立中興大學土木工程研究所研究生

邊界層流中，惰性且無懸浮性點式煙流之延散機制與地表狀況(粗糙程度)、污染源釋放高度及下風距離等因素息息相關。就現象而論，當煙流釋放時，由於流場中紊流擴散(Diffusion)與對流(Convection)效應之雙重作用，其橫向延散尺度(Transverse Dispersion Scale)一般隨著下風距離之增加而增長。當煙流在地表附近釋放時，於垂直方向之增長則會受到地面之局限，致使煙流在橫方向之濃度分佈呈現不對稱的形態。

在水洞試驗中，Willis等[1-3]於模擬的非穩定(Unstable)邊界層流中使用無懸浮性油滴作為追蹤物，並以影像記錄中油滴數量在空間之分佈表徵濃度場之變化。結果發現，傳統使用對稱形態的高斯模式(Gaussian Model)對煙流垂直向濃度分佈之描述與實際情況相比有顯著之出入。Robins[4]根據梯度-傳輸理論(Gradient-Transport Theory)、相似理論(Similarity Theory)及統計原理，分別採用解析、數值模擬及風洞試驗三種方法探討不具浮力的地面點式污染源在中性穩定(Neutrally Stable)大氣邊界層流況中之延散作用。結果顯示，橫向延散尺度隨著下風距離之增加約呈線性之變化。此外，都市與鄉村地表流況中煙流之延散行為大致相若，但前者相應之延散尺度顯較後者為大。Poreh等[5]於大氣風洞的試驗裡使用熱線流速儀(Hot-Wire Anemometer)以及氣體層析儀(Gas Chromatograph)檢視對流邊界層(Coective Boundary Layer)中煙流流場與濃度場之關係，其獲致之結果與其他相關水洞試驗並無二致。研究中另一結論是，由於受到地面效應之影響，在地表釋放點源之水平向延散尺度較高程釋放點源者大。Roberts等[6]在風洞實驗研究中以甲烷為點污染源，檢視中性大氣條件下地表狀況與延散作用的關係，結果顯示地表粗糙度(Roughness Height)對水平與垂直方向之煙流延散尺度深具影響。

## 二、研究目的與方法

本研究係藉水洞視化實驗的方法檢視三種(鄉村、市郊與都市)形式流況中點式污染源的延散機制，並依據系統化的試驗結果探討煙流橫向尺度(水平及垂直兩個方向)、濃度質心之空間變化與點式煙流釋放高程之關係。實驗中濃度場之量度乃應用影像數位化的視化技術，以一個較為簡易的方式檢視煙流之延散特性。

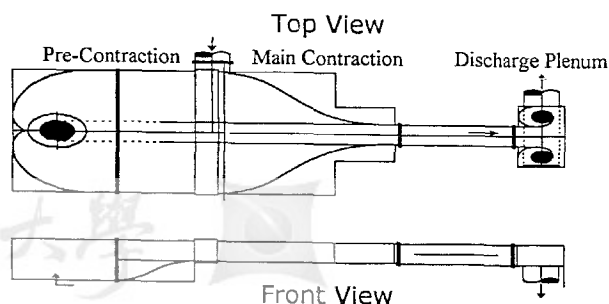
水洞之模擬試驗係於三組大氣邊界層速度分布剖面的來流情況下進行。在濃度的量測方面，係應用影像視化技巧及影像數位化處理方法來獲取點污染源濃度場之量化分佈，以便進一步地從事數據的統計分析。試驗過程中首先將螢光鈉染料釋入邊界層流場內以模擬點污染源之排放，並以雷射沿著染料釋放軸之水平面(y方向)及垂直面(z方向)進行切光及攝影。攝取後之影像經由電腦影像處理後先轉換成一系列之瞬間影像檔，再經由數位化處理後成為濃度分佈之數值檔，據以統計分析三個紊流(Turbulent)邊界層流場中濃度分佈之特性。

## 三、實驗設備

### 1. 循環式水洞設施

視化試驗係於中山科學研究院之水平循環式水洞(圖一)中進行。本系統試驗段截面為60cm×60cm，設施最前端為進水槽，水流首先流經一多孔鋼板，以降低紊流強度，再進入漸縮比為2:1的前置收縮段(Pre-Contraction)及蜂巢整流器，以提昇流場的均勻度，繼而進入整流室再次降低紊流強度後，最後再通過一個漸縮比為6:1的主收縮段(Main Contraction)，使得下游試驗段內呈現高均勻度低紊流強度之流況。試驗段係以鋼架及三面強化玻璃構成，以利雷射切光與段內流場與濃度場觀測之進行。

本水洞之試驗段(Test Section)總長為3.6m(試驗區為下游之1.0m段)，流速最大為3m/s，而流速可由位於進水槽之節流閥進行粗調，進而以四個人工控制之旁通閥(Bypass Valve)進行微調。為達最佳之流場觀測效果，試驗中所採用之邊界層來流中之層緣速度(Edge Velocity)為0.3m/s。



圖一、水洞設施管路配置圖

### 2. 染料釋放系統

包括滴瓶及口徑2mm之釋放針管；螢光鈉

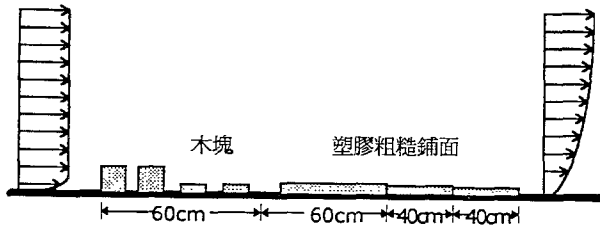
( $C_{20}H_{10}Na_2O_5$ ) 染料釋放系統採用固定水頭之釋放方式水平排放(針孔釋放速度 0.003m/s)，以保持恆定之染料排放量。為獲取較佳之視化效果，釋放染料之標定濃度 ( $C_s$ ) 取用  $0.4Kg/m^3$ 。

3. 雷射切光系統

本項含五瓦特之雷射、光纖電纜線及切光棒，其中雷射部份另包括冷卻水系統及不斷電與穩壓系統。

4. 地表粗糙物

視地表狀況之不同，採用木塊排列配合塑膠粗糙鋪面(總長 2.0m)以模擬出三種不同之邊界層來流(圖二)。



圖二、粗糙地表配置示意圖

5. 攝影及影像轉換與處理系統

包括 V8 攝影機、個人電腦及周邊系統(動態影像擷取卡及數化處理軟體)。

四、實驗程序與分析方法

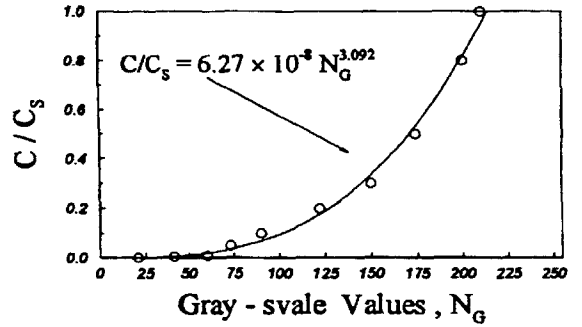
一、濃度與顏色灰度關係率定曲線之建立

試驗中首先須建立濃度與灰度值 (Gray-Scale Value ;  $N_G$ ) 之率定關係，以為濃度場分佈之轉換依據。率定時係於流場中將已知濃度之染料釋放於流場中，並以均勻光度之雷射沿著染料釋放軸之水平面 ( $y$  方向) 及垂直面 ( $z$  方向) 進行切光，同時另以攝影機拍攝濃度圖像，經由影像擷取後將不同標準染料濃度轉換成以灰度值表示之影像檔。率定過程中取用相應於標定濃度 ( $C_s$ ) 十種不同比例 (100、80、50、30、20、10、5、1、0.5 及 0.1%) 之染料，藉以獲取濃度與灰度值間之迴歸關係(圖三)。

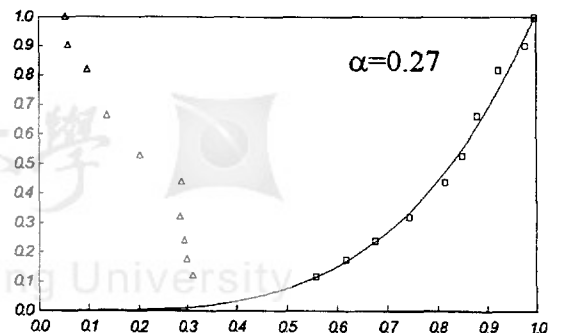
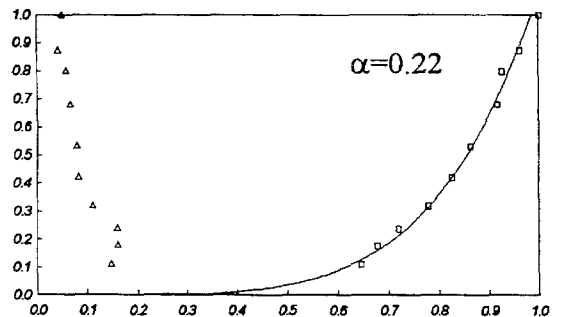
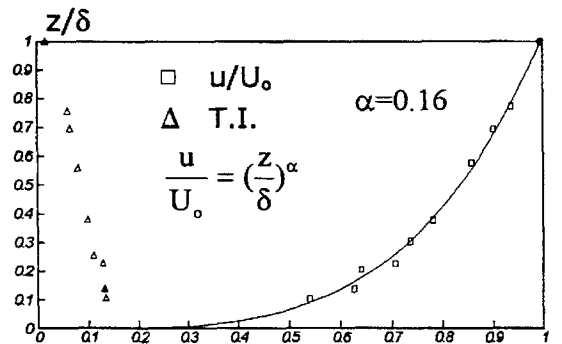
二、來流之模擬

試驗中於試驗段前預置不同組合之粗糙鋪面以製造三種不同情況之紊流邊界層來流，其相應於指數律之指數 ( $\alpha$ ) 各為 0.16、0.22 及 0.27，分別代表鄉村、市郊及都市地區之典型流況。圖四顯示三種邊界層

流之平均流速與紊流強度 (Turbulence Intensity ; T.I.) 之剖面分佈，其相應之邊界層厚度 ( $\delta$ ) 為 0.3m，層緣速度 (Edge Velocity ;  $U_o$ ) 為 0.3m/s。細部檢視結果顯示，量測範圍內速度剖面之縱向相對差異低於 4%。



圖三、濃度—灰度值率定關係



圖四、三種紊流邊界層流速度剖面圖

### 三、污染擴散行為之模擬與記錄

待標定濃度之染料釋放後，由雷射切光攝影而得之灰度分佈影像經影像擷取系統記錄成影像檔後，再應用電腦軟體將影像檔轉換成數值檔，此數值檔即相應於某一瞬間濃度之數化分佈。在每一試驗個案中，瞬間濃度場之採樣頻率為每秒取兩個影像檔，總記錄歷時為 2 分鐘 (共計 240 張瞬間濃度圖檔)，以為每個試驗個案濃度場特性統計結果之計算依據。進一步的驗證顯示，此影像分析採用之頻率與時段長度已滿足試驗精度之需求。

### 四、統計分析方法

除了平均值外，其他相關之濃度場特性變數之獲取係根據高斯煙流擴散模式之統計分析方法，其相關公式分列如下：

$$Y_c = \frac{\iint y c dy dz}{\iint c dy dz}, \quad (1)$$

$$Z_c = \frac{\iint z c dy dz}{\iint c dy dz}, \quad (2)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\iint (y - Y_c)^2 c dy dz}{\iint c dy dz}, \quad (3)$$

$$\sigma_z^2 = \frac{\iint (z - Z_c)^2 c dy dz}{\iint c dy dz}, \quad (4)$$

其中  $y$  及  $z$  分別為水平及垂直方向座標值 (原點為釋放點中心位置)； $Y_c$  及  $Z_c$  分別為水平方向及垂直方向之濃度擴散質心位置； $c$  為相應之濃度值； $\sigma_y$  與  $\sigma_z$  分別為水平與垂直方向濃度之標準偏差值。

由於試驗中記錄之圖像檔乃經過雷射切光而得，因此前述各積分式在垂直於切光方向之積分可視為單位寬度而改寫為

$$Y_c = \frac{\int y c dy}{\int c dy}, \quad (5)$$

$$Z_c = \frac{\int z c dz}{\int c dz}, \quad (6)$$

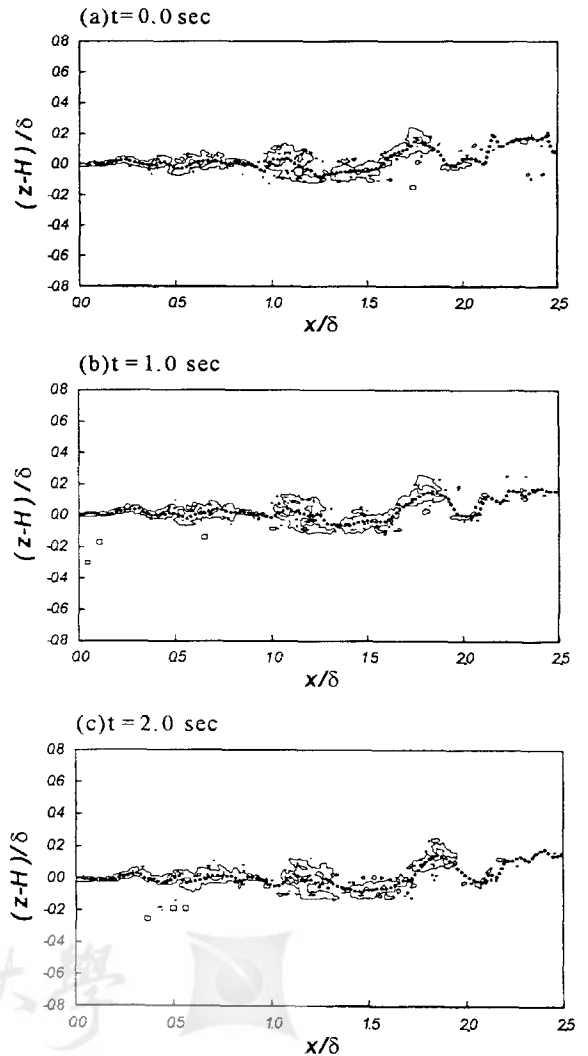
$$\sigma_y^2 = \frac{\int (y - Y_c)^2 c dy}{\int c dy}, \quad (7)$$

$$\sigma_z^2 = \frac{\int (z - Z_c)^2 c dz}{\int c dz}. \quad (8)$$

式 (5) 至式 (8) 即為研究中濃度質心位置與濃度延散尺度之計算公式。

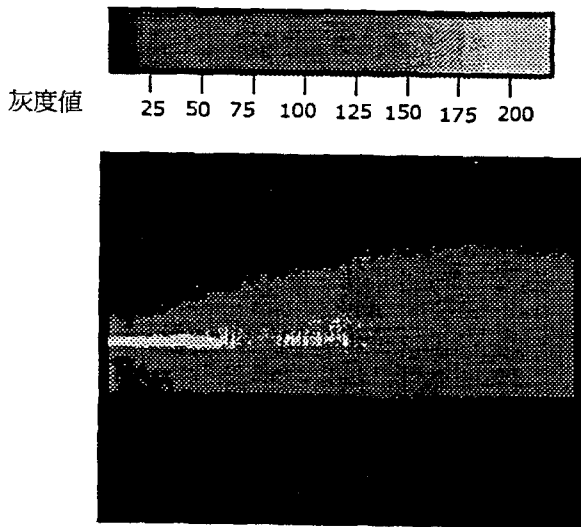
## 四、實驗結果

在三個不同地表狀況相應之來流下，試驗中於十種不同高程 ( $H$ ；自地表起算) 處釋放染料，分別進行水平及垂直兩個平面上污染物擴散行為之觀測。以表面粗糙情況  $\alpha = 0.27$  及點源釋放高度  $H = 3.0$  公分的情況為例，根據濃度-灰度值率定曲線之轉換後，圖五顯示三個典型瞬間之濃度場等值圖 (圖中粗虛線表示濃度擴散質心位置)。在此紊流流場中各瞬間之擴散情形雖然有所差異，然經長時段平均 (Time-Average) 後的結果 (見圖六之時段平均濃度影像圖及圖七之時均濃度等值圖)，則呈現極為合理之分佈型態。

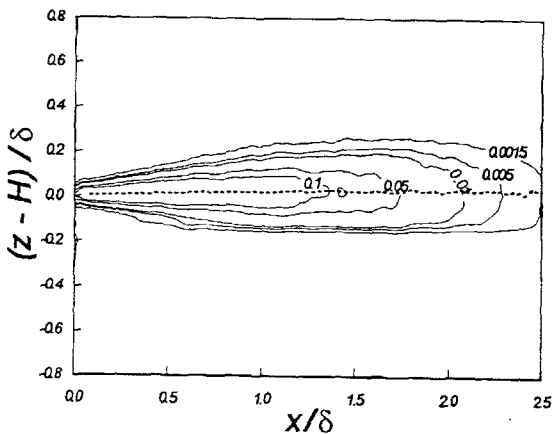


圖五、典型瞬間濃度等值圖

( $H/\delta = 0.12$ ,  $\alpha = 0.27$ )



圖六、時均濃度影像圖  
( $H/\delta = 0.12$  ,  $\alpha = 0.12$ )



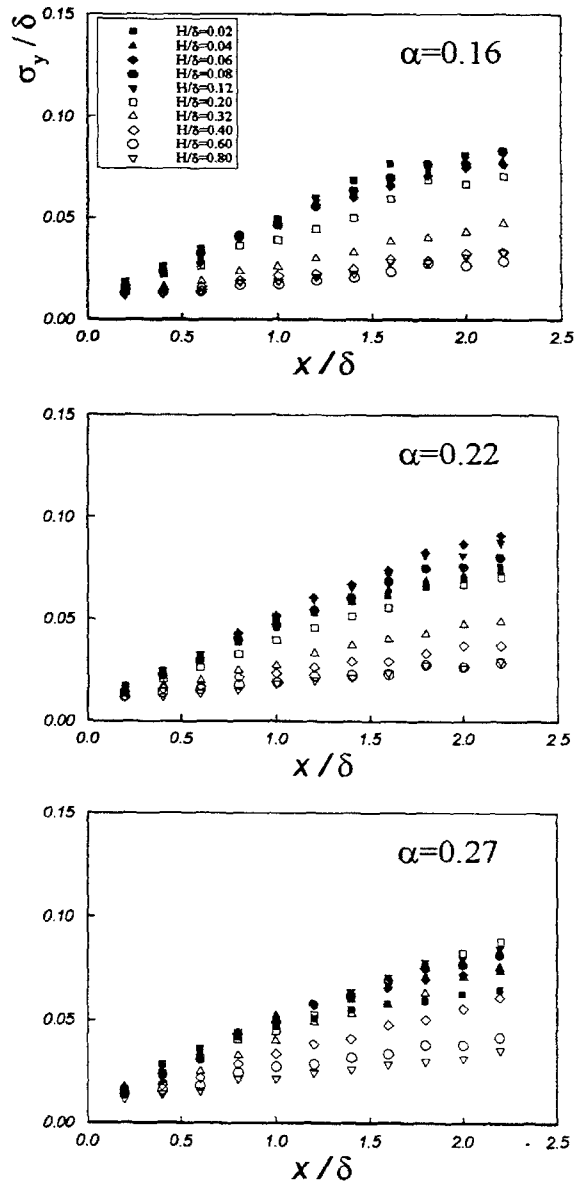
圖七、時均濃度 ( $c/C_s$ ) 等值圖  
( $H/\delta = 0.12$  ,  $\alpha = 0.12$ )

遵循同樣之程序，即可獲取各來流狀況 ( $\alpha = 0.16$ 、 $0.22$  及  $0.27$ ) 在不同釋放高程 ( $H$ ) 於兩個橫方向 (水平及垂直) 相應之濃度分佈狀態。經整合每一個案試驗時段中所有的瞬間濃度場結果後，其相應之延散尺度及質心位置則可依據 (5) 至 (8) 式計算而得。

### 一、橫向延散尺度與點源下風距離之關係

根據實驗結果，三種不同地表粗糙狀況下水平延散尺度 ( $\sigma_y$ ) 與下風距離 ( $x$ ) 的關係整理如圖八所示。由圖中可見無論在何種地表狀況與點源釋放高程時，水平方向擴散尺度皆隨點源下風距離之增加而約呈線性的增加，且其增長程度隨點源釋放高程之增加有先

增再減之勢。在垂直方向延散尺度方面 (圖九)，雖然亦大致隨著下風距離之增加而增加，然其增長主要發生於釋放點下游的近場區 (Near Field)，至於與點源釋放高度間之相應關係則不易由結果據以評讀。

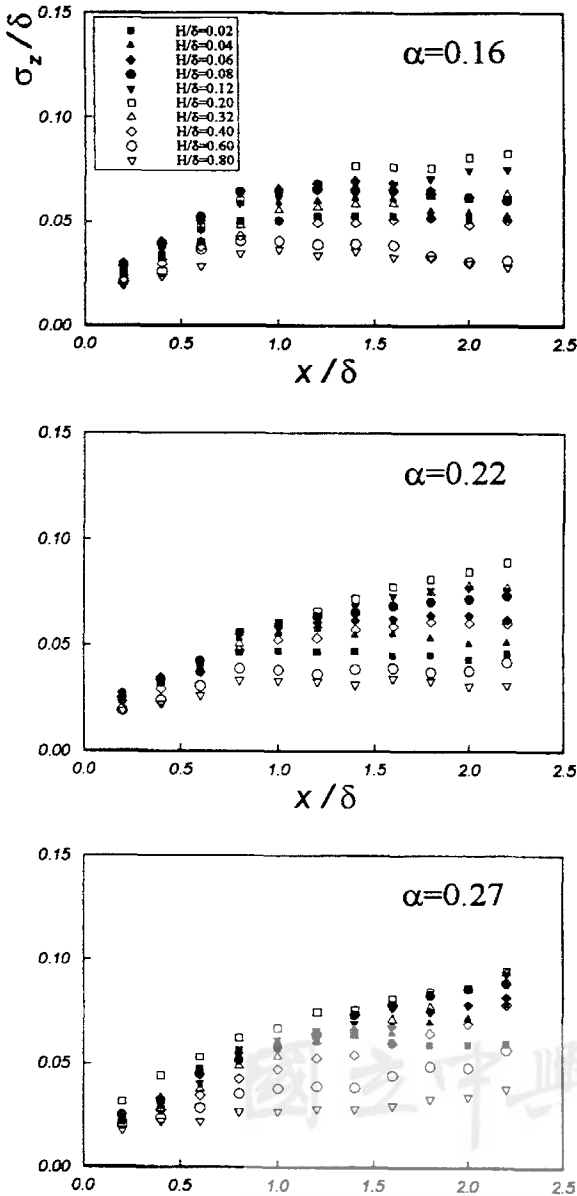


圖八、水平延散尺度與下風距離之關係

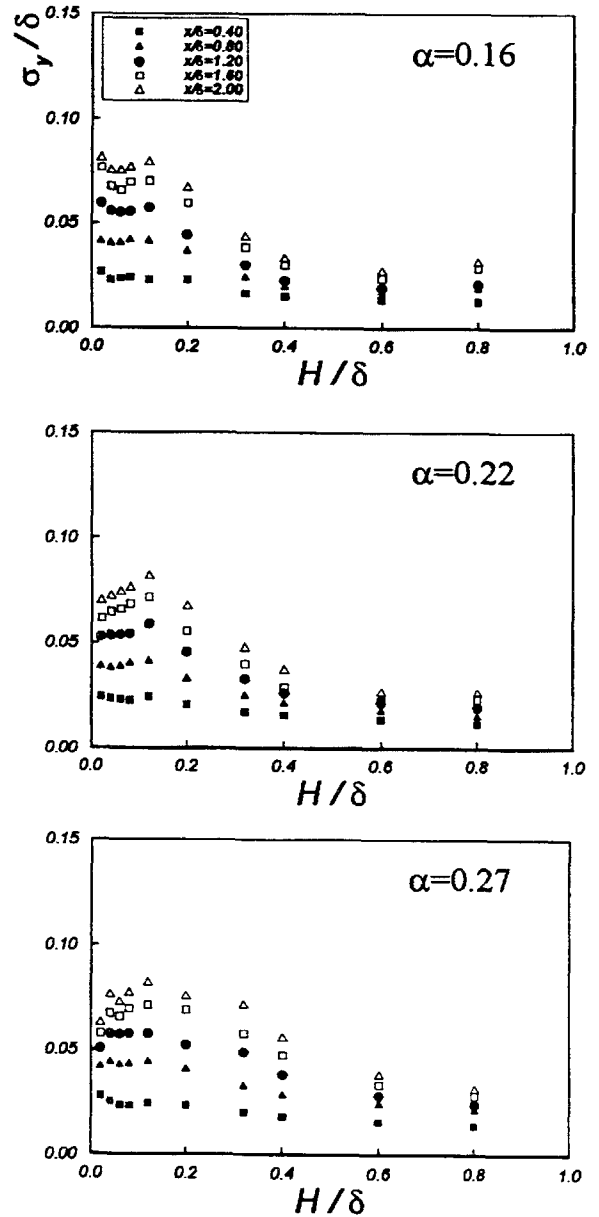
### 二、橫向延散尺度與點源釋放高程之關係

若由橫向延散尺度與點源釋放高程的關係 (圖十) 來看，在鄉村形態的流況中 ( $\alpha = 0.16$ )，水平延散尺度在接近地表附近 ( $H/\delta$  小於  $0.12$  時) 約保持不變，之後再隨釋放點高程之增加而遞減，直至  $H/\delta$  大於約  $0.4$  後則呈微量遞減或保持不變；此變化形態隨著下風

距離之增加而愈趨明顯。在市郊與都市形態的流況中 ( $\alpha = 0.22$  與  $0.27$ )，水平延散尺度和點源釋放高程亦有類似之關係，與前者 ( $\alpha = 0.16$ ) 稍有不同的， $\sigma_y$  對點源釋放高程之變化則為先增後減，且約於  $H/\delta = 0.12$  的情況時發生最大值。整體而論，點源釋放高程對水平延散尺度變化程度之影響隨著  $\alpha$  值之增加而逐漸趨於緩和。

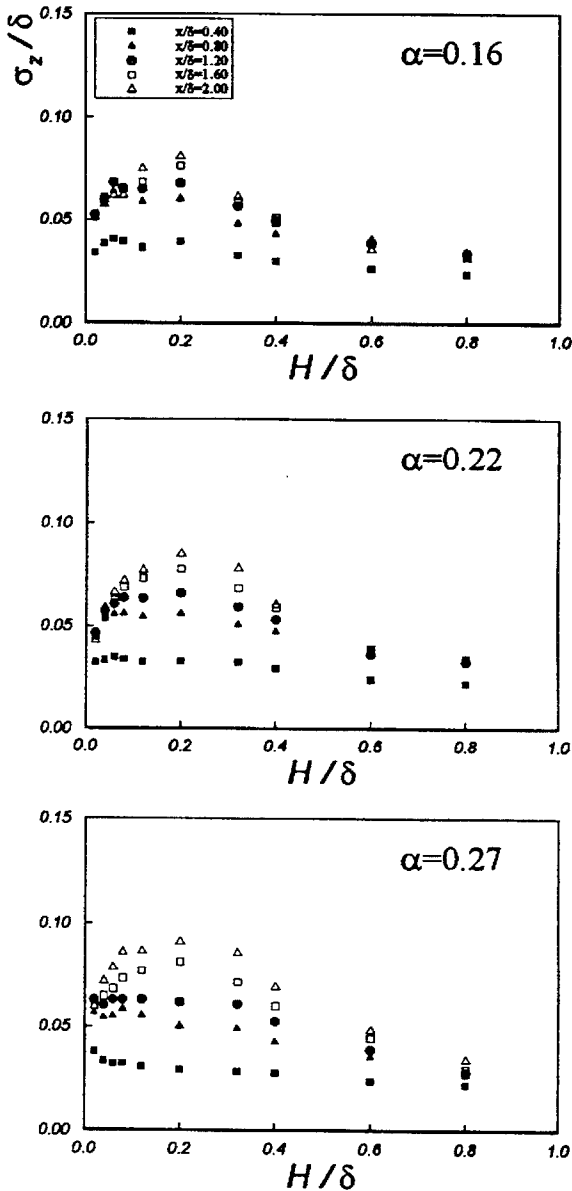


圖九、垂直延散尺度與下風距離之關係

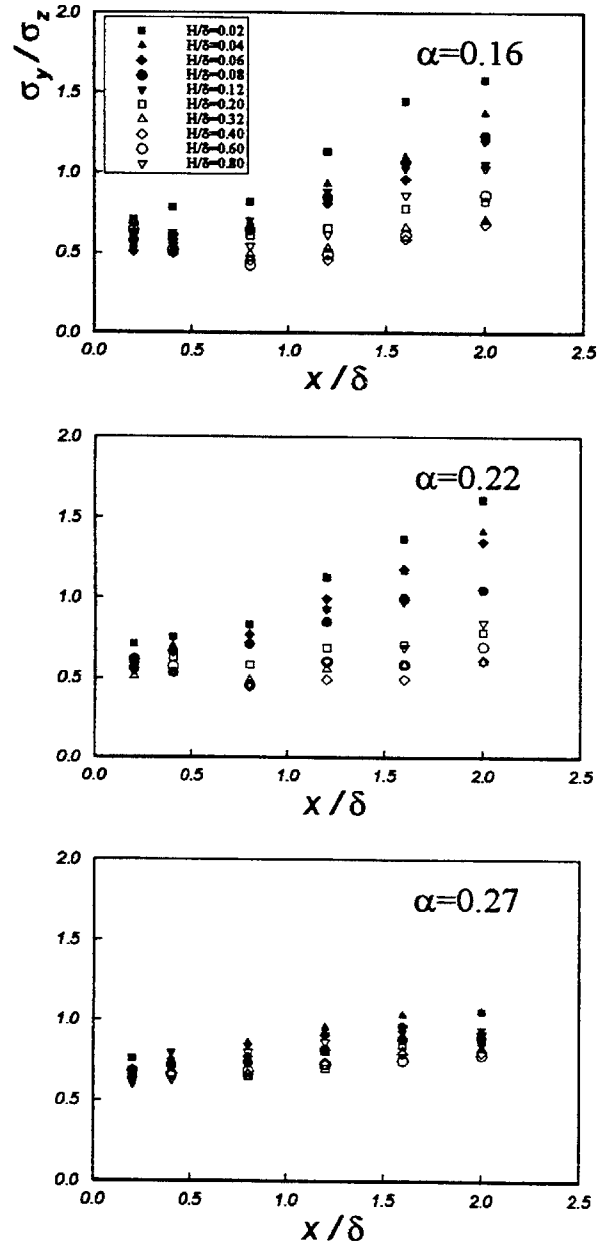


圖十、水平延散尺度與點源釋放高度之關係

在垂直延散尺度方面，圖十一顯示在點源釋放的初始階段 ( $x/\delta < 0.8$ )  $\sigma_z$  約保持緩和遞減。在  $x/\delta$  大於 1.2 後，所有情況均顯示垂直延散尺度隨釋放點高程之增加先增後減。當點源於地表附近釋放時 ( $H/\delta < 0.2$ )，垂直延散尺度大致隨點源釋放高程之增加而增加，繼而再隨釋放高程之增加而遞減，直到  $H/\delta$  大於約 0.6 後此遞減情勢即趨緩。一般而言，隨著下風距離之增加，此變化趨勢愈形明顯。此外，結果亦顯示， $\sigma_z$  與釋放高程之關係和流場中紊流強度剖面分佈頗為相關。



圖十一、垂直延散尺度與點源釋放高度之關係

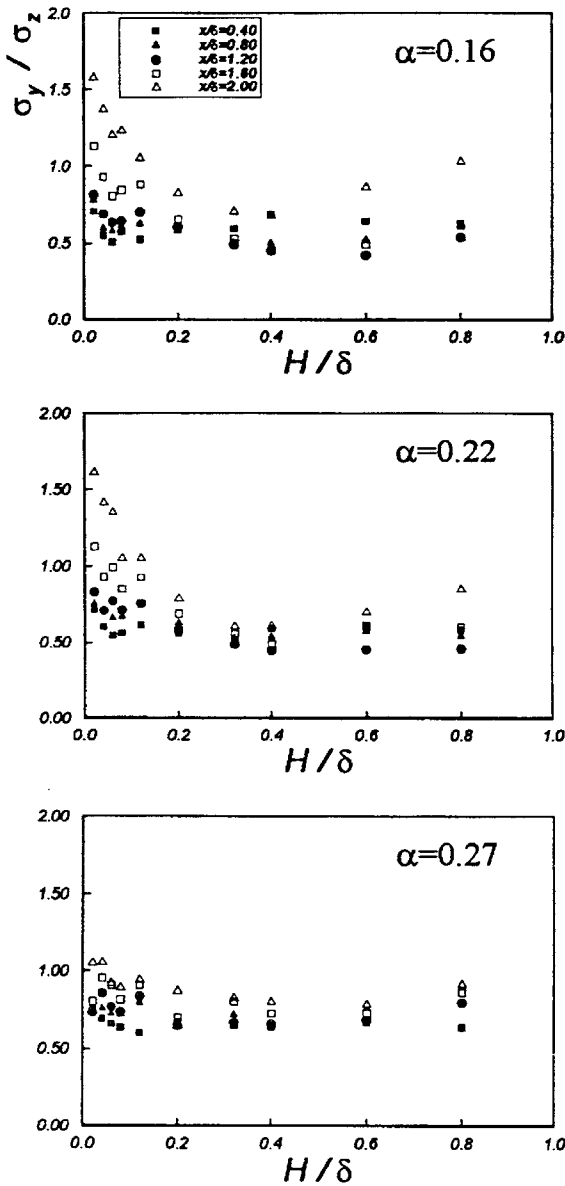


圖十二、延散尺度比值與下風距離之關係

### 三、延散尺度比值 ( $\sigma_y/\sigma_z$ ) 之變化

在兩個地表較為平滑之情況 ( $\alpha = 0.16$  及  $0.22$ ) 中，圖十二顯示當  $H/\delta < 0.2$  時，延散尺度之比值並未隨著下風距離之增加而有明顯之變化；但當點源釋放處愈接近地面時，此比值隨下風距離之增加率則更為顯著。在都市地況 ( $\alpha = 0.27$ ) 中， $\sigma_y/\sigma_z$  之比值亦隨下風距離之增加而漸增，然其變化程度顯較其他兩種地況緩和。

若由延散尺度比值與點源釋放高程之關係 (圖十三) 來看， $\sigma_y/\sigma_z$  之比值隨著  $H/\delta$  之增加有先減後增之傾向；同時，隨著下風距離之增加，其對點源釋放高程之變化程度則更明顯。相對於兩個地表較為平滑之情況，當  $\alpha = 0.27$  時， $\sigma_y/\sigma_z$  之變化對釋放高程之改變顯得並不敏感。



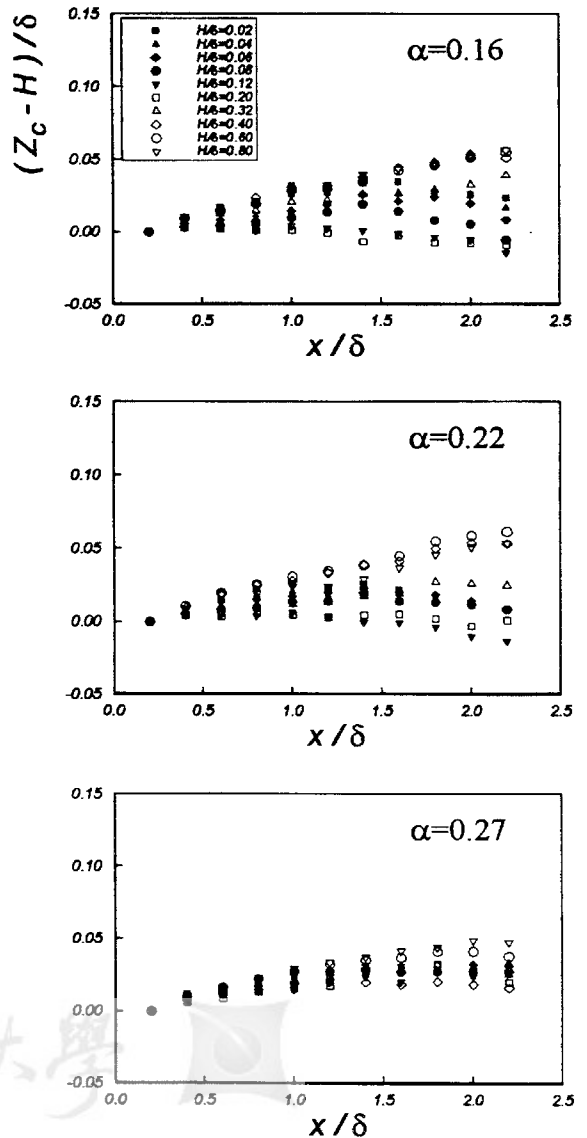
圖十三、延散尺度比值與點源釋放高度之關係

四、濃度質心位置之變化

圖十四顯示垂直方向濃度質心位置與下風距離之關係。在鄉村與市郊的情況 ( $\alpha = 0.16$  及  $0.22$ ) 中，當點源釋放高程較低時 ( $H/\delta < 0.08$ )，濃度質心位置隨著下風距離之增加先微揚而後緩慢下降；點源釋放高程較高時 ( $H/\delta > 0.40$ )，濃度質心隨點源下風距離之增加而呈上昇之勢；而當  $H/\delta$  介於 0.12 與 0.32 之間時，濃度質心隨下風距離之增加約略呈持平。在都市

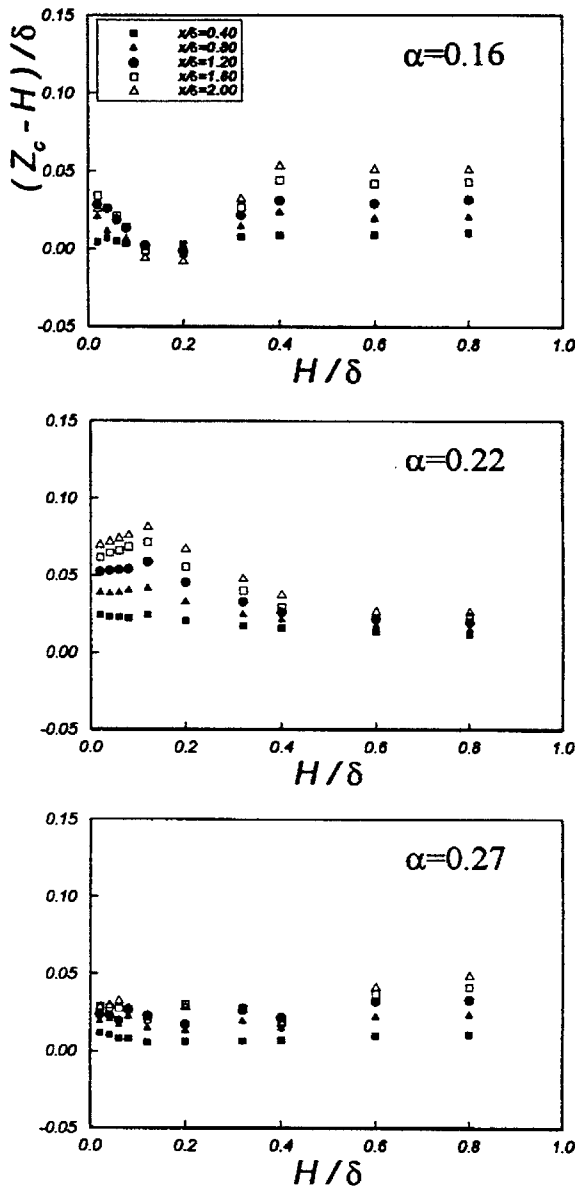
地況 ( $\alpha = 0.27$ ) 時，其質心位置之變化趨勢相對地較為緩和，然其濃度擴散質心於各種釋放高程中均隨下風距離之增加大都呈現微昇的趨勢。

從另一個角度來看，圖十五顯示在  $\alpha = 0.16$  及  $0.22$  的情況中濃度質心有隨著釋放高程先下移再上昇的趨勢，而當約  $H/\delta = 0.12$  時濃度質心處於最低點。整體而言，在所有的流況中，濃度質心較原源釋放高程為高。



圖十四、濃度質心與下風距離之關係





圖十五、濃度質心與點源釋放高度之關係

## 五、討論

對一連續排放之點源(如大型工廠之煙囪)而言，其污染延散行為受到許多複雜因素的影響，而本研究僅就中性穩定大氣邊界層內之情況進行試驗。在一個中性穩定之大氣邊界層裡，由於沒有熱對流引起的效應，故於其中發生之擴散行為主要由不同地表粗糙狀況所產生的機械紊流效應所控制。紊流流場中存在許多大小不同的渦流(Eddy)，這些渦流各含帶不同的能量，分別對污染物之擴散(Diffusion)產生不同程度的作用。若以渦流尺度與污染團尺度之相對大小的關係來說明渦流對污染物擴散之效應，一般而論，當渦流

尺度遠小於污染團尺度時，小渦流對污染物的擴散作用相當於濃度梯度所引起的分子擾動擴散，故擴散趨勢較為緩和；而當渦流尺度遠大於瞬間污染團尺度時，大渦流對污染之擴散效應乃將污染團帶離原所在位置，形成煙流瞬間擴散時之甩動與扭曲形狀，故大渦流僅提供之推移作用而遠較分子擴散作用為強。由試驗結果可以看出，研究個案中煙流延散之主要機制應屬後者。

Davenport[7]曾指出，在紊流邊界層中紊流強度為地表粗糙狀況、密度成層穩定及距離地表高程的函數。然在本實驗僅考慮中性穩定的流場條件下，紊流之能量主要由流場中流體經過地表粗糙物所產生的摩擦與擾動剪應力之效應所造成，也因此存在於紊流邊界層中之紊流強度隨著距離地表之高程的增加而逐漸減弱(如見圖四)。在沒有水平方向固定邊界限制的影響下，水平方向(y方向)之紊流強度可自由地作雙向發展，僅於非常靠近地表處因粗糙面或黏滯性的牽制作用，才會稍微減弱。而垂直方向之紊流強度因會受地表邊界的影響而有不同之發展，故在極接近地面處祇能作限制性的單向延散。不過，隨著距離地表高程的增加，地表邊界之影響性會逐漸減小，雙向發展的空間則逐漸加大。由此可知，水平及垂直兩個方向之煙流延散尺度與流場紊流強度之垂直剖面分佈息息相關，而此二個橫方向之煙流延散尺度與點源釋放高程的變化關係存在明顯的差異。

從另外的一個角度來看，在一個中性穩定的邊界層流中，紊流效應之強弱取決於地況(地表粗糙度或 $\alpha$ 值)與高程。在近地表處，大尺度之渦流因地面之局限而使得垂直向的紊流強度受到抑制。另一方面，基於流體的連續性(Continuity)，在水平方向的紊流強度則相對地增加。就研究中三種地表狀況而言，隨著 $\alpha$ 值的增加，除了表示其平均流場中於地表附近具有較強之對流(Convection)效應外，更因有較大之紊流強度之作用而助長了局部區域內之擴散行為。故由試驗結果可見，此對垂直向延散特性的影響比水平向大。此外，在都市形態的流況中，較強的紊流強度亦促使了垂直方向紊流尺度的增加，導致流場中高紊流(或高度擴散)區域幅員之擴大，也相對地降低了延散結果在空間分佈的差異程度。在所有都市流況的結果中，其變化趨勢均較其他兩個流況緩和的原因即在於此。

試驗中發現流場中水平延散尺度隨著下風距離而約呈線性的增長(圖八)，隨著點源釋放高程之增加，

其增長率有先保持緩增再逐漸遞減之傾向，且此趨勢愈向下游處愈為顯著(圖十)。究其原因，除了是因為延散自然增長的作用外，地面對擴散的局限應為另一重要的影響因素。

在垂直延散尺度方面，地面邊界與紊流強度剖面分佈之影響則更為直接與顯著，雖然其大致亦隨著下風距離而增長，但主要的增長過程發生於近場的下風區域中( $x/\delta < 0.8$ ，見圖九)。點源釋放高程對本尺度之影響相當明顯(圖十一)，當點源於紊流強度最大的高程處釋放時，則導致垂直延散尺度最大值的發生，此現象與 Willis 及 Deardorff [2-3] 之研究結果頗為吻合。

由尺度比值的結果(圖十二、圖十三)可見，隨著  $\alpha$  值的增加，流場中紊流之空間均勻度(Uniformity)與等向性(Isotropy)愈佳，故在都市流況中，下風距離與點源釋放高程對此比值之影響都不大，尤其在下風遠場處維持在 1.0 附近，顯示此時濃度剖面趨於對稱的分佈。但在鄉村與市郊流況裡，當煙流係於地表附近釋放時， $\sigma_y/\sigma_z$  則有隨著釋放高程之增加呈先減後增的趨勢。

於垂直方向濃度質心位置關係圖中(圖十四)可以發現，當染料於地表附近釋放時( $H/\delta < 0.80$ )，由於污染物向下游擴散而與地表接觸，使得擴散之幅員受到限制並使濃度聚集於地表附近，導致垂直方向之濃度質心隨著下風距離有先上揚而後下傾之現象。當釋放高程較大時，由於地表影響程度之式微，沿下游方向濃度質心則為緩升之趨勢。整體觀之，濃度擴散質心隨著下風距離之增加呈現微昇的趨勢，此乃由於地面紊流能量向上方傳遞的緣故。

## 六、結論

本研究以水洞視化實驗的方法，檢視中性穩定邊界層流中點式污染源的延散機制。研究中採用的視化與影像轉換處理的技術與程序，此一簡易且精確的濃度場量度方法，可供爾後類似研究之參考與借鏡。其中因雷射切光之不均勻性、密度福祿數(Densimetric Froude Number)效應、染料釋放動量、邊界層流之平衡(Equilibrium)程度等因素對試驗結果造成之誤差，則應進一步深入地探討。

依據實驗之結果，獲得如下三點結論：

(1) 中性穩定的邊界層流中，點源之延散機制與流場中之紊流程度息息相關。在粗糙的地表流況中(如都

市形態)，由於紊流強度的空間分佈較為均勻且等向性較佳，除了煙流係於地面附近釋放的情況外，其橫向延散尺度的變化趨於對稱分佈。在地表較平滑的流況中，若煙流係於地面附近釋放時，其橫向延散行為則漸不對稱，此現象隨著釋放處愈接近地面愈為突顯。

- (2) 水平延散尺度隨著下風距離約呈線性增長，但垂直延散尺度之增長主要發生於釋放點下游的近場區。故而，隨著點源釋放高程之增加， $\sigma_y/\sigma_z$  之比值有先減後增之傾向。
- (3) 在地表較為平滑的流況中，當點源釋放高程較低時，濃度質心位置隨著下風距離之增加先微揚而後緩慢下降；點源釋放高程較高時，濃度質心隨點源下風距離之增加而呈上昇之勢；介於二者之間時，濃度質心則約呈現持平。整體而言，濃度質心位置大都高於釋放點，此乃由於地面紊流能量向上方傳遞的緣故。

## 七、誌謝

本研究承行政院環保署補助(計畫編號：EPA 84-E3E1-09-03 與 EPA 85-E3E1-09-04)及中山科學研究院第一研究所提供硬體設備，使工作得以順利完成。研究中並承中科院一所氣動組林坤鑑副組長、徐榮男、鍾武錕先生的指導，在此一併誌謝。

## 參考文獻

1. Wills, G.E. and Deardorff, J.W., "A laboratory model of the unstable planetary boundary layer," *J. Atmospheric Science*, Vol.31, pp. 1297-1307 (1974).
2. Wills, G.E. and Deardorff, J.W., "A laboratory study of dispersion from an elevation source within a modeled convective planetary boundary layer," *Atmospheric Environment*, Vol.12, pp. 1305-1311 (1978).
3. Wills, G.E. and Deardorff, J.W., "A laboratory study of dispersion from a source within in the middle of the convective mixed layer," *Atmospheric Environment*, Vol.15, pp. 109-117 (1978).
4. Robins, A.G., "Plume dispersion from ground

- level sources in simulated atmospheric boundary layers," *Atmospheric Environment*, Vol.12, pp. 1033-1044 (1978).
5. Poreh, M., Technion, Haifa, A., Isreal, H. and Cermak, J.E., "Wind tunnel simulation of diffusion in a convective boundary layer," *Boundary-Layer Meteorology*, Vol.30, pp. 431-455 (1984).
6. Roberts, P., Fryer, F. and Hall, D.J., "Wind tunnel studies of roughness effects in gas dispersion," *Atmospheric Environment*, Vol.28, pp. 1861-1870 (1994).
7. Davenport, A.D., "The relationship of wind structure to wind loading, Proc. Symp. On Wind Effect on Buildings and Structures, U.S.A., pp. 338-350 (1965).

論文收稿日期：87年2月21日

論文修訂日期：87年4月14日

論文接受日期：87年4月29日

國立中興大學 

National Chung Hsing University