

重氣體在大氣紊流場中之擴散模式預測

The Prediction of a Heavy Gas Dispersions Model into a Turbulent Atmosphere

計畫編號: NSC 89-2212-E-168-007

執行期限: 88年08月01日至89年7月31日

主持人: 黃景良 崑山科技大學機械工程系

一、中文摘要

本研究擬以理論分析來預測重氣體在大氣紊流場中之傳播擴散特性。紊流統御方程式則以控制體積為基礎的有限差分法配合紊流 K-理論模式來求解。研究的參數包括噴口大小、噴口處氣體速度、重氣體的種類以及風速。對於數值預測的速度向量以及濃度場將作進一步的探討。

關鍵詞: 重氣體, 擴散, 紊流。

Abstract

This study involves a mathematical model of heavy gas dispersions into turbulent atmosphere. The turbulent governing equations are solved by a control-volume based on finite-difference method combined with turbulence K-theory model. The parameters studied include the effluent size, effluent velocity, heavy gas sort and wind velocity distribution. The predictions of velocity vector, and concentrations fields will be discussed in detail.

Keywords: heavy gas, diffusion, turbulence

二、計畫原由及目的

自從二次世界大戰後, 由於科技之進步一

日千里, 尤其化學工業之迅速發展。新的製造方法及大量化的產量, 使工廠設備體積增大, 製造過程也日趨複雜, 操作條件走向高壓, 高溫及高流量。同時大量的使用可燃液化氣體及有毒高壓氣體, 諸如液化煤氣、液化石油氣、液化乙烯、一氣化碳與氧氣等作為燃料或化工製造原料。而可燃及有毒高壓氣體之儲存都需在高壓和低溫情況下。基於生產的大量化, 工廠設備必須增大, 因此大型高壓容器之設置勢在必備。同時在運輸、供應及儲存過程之危險性亦日趨嚴重。近幾年來, 這些有毒高壓氣體在運輸, 供應及儲存過程中, 發生容器之破裂和外洩, 在大氣中造成爆炸、燃燒及污染環境之不幸事件不斷的增加。故對液化氣體之儲存與運輸等技術問題之探討, 逐漸為世人所注意。尤其這些有毒可燃高壓氣體由裂縫往外噴出時, 對生活環保造成可能的污染與危險地區之預測, 已為各先進國家之政府所重視。一般有毒及可燃高壓液化氣體由破裂之容器外洩時, 其溫度較週圍的大氣為低, 密度較高, 故稱為重氣體。為解決上述問題, 重氣體在大氣中傳播擴散之精確計算日益重要。在大氣流場中, 當重氣體垂直向上噴出時, 由於大氣流動對於重氣體的剪力作用, 使重氣體往風力下游方向運動, 而大氣流場內的擾動亦與重氣體之傳播擴散息息相關。用拉格蘭茲法來分析中性上升氣體之擾流擴散, 仍不失為可用的方法。

利用高斯煙柱模型來處理點源或線源之擾流擴散問題，已被許多學者發展並應用。噴流之噴入流場中，在工程實務上相當重要，因此對此主題有許多相關的實驗，分析與數值的研究。有關噴流之噴入側向流之交互作用之數值計算在文獻中是較為有限的。以控制體積為基礎的有限差分法在熱流領域之應用相當廣泛，本文擬以理論分析來預測重氣體在大氣擾流場中的傳播擴散特性，以流體力學之觀點，利用控制體積所導出的紊流統制方程式(即質量、動量、能量及濃度之平衡方程式)，以有限差分法配合紊流模式並配合邊界條件來求解。研究的參數包括噴口大小，噴口處氣體速度，重氣體的種類、空氣的密度、風速及大氣擴散等級等對於數值預測的速度向量以及濃度場的影響將作探討。本研究之成果將對目前相當重視的環保科技中有關污染擴散的問題相當重要。

三、理論分析

3-1 數學模型

重氣體與輕氣體在大氣擾流場中的傳播擴散，理論上是類似的，其主要的不同在於如何處理動量方程式中的重力(或浮力)項，以下將討論重氣體在大氣中傳播擴散之數學處理過程。統制方程式之推導如下：

利用歐拉座標系統，由質量不減律得

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot \rho \vec{v}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\nabla \cdot c \vec{v}$$

由動量不減律得

$$\frac{\partial (\rho v)}{\partial t} = -\nabla \cdot \rho v \vec{v} - \nabla \cdot (\tau + P) + \rho g$$

其中： ρ =重氣體與空氣混合物之密度，

t =時間， \vec{v} =速度向量， c =重氣體濃度，

τ =應力張量， P =壓力， g =重力向量。利

用 K 理論及一階閉合法和取適當的參數可由以上三式得無因次紊流統制方程式。其控制區間和邊界條件如圖一所示。

3-2 擴散係數

K 理論主要的困難是如何決定擾流擴散係數之值，本文係引用 SAI (1977) 之實驗數據及經驗公式，在 SAI 之文獻內，假設擾流舒密特數 $S_C^T \cong 1.0$ 。

四、數值分析

本文係應用有限差分法中之上游法 (upstream scheme) 作數值分析。

五、結果與討論

因 $n=1/7$ 之乘冪速度分佈在地面附近的誤差較大，因此本文假設在地面附近之速度分佈以線性變化來模擬並探討其差異。由數值計算結果可得下列結論：

(一)、等濃度曲線如圖二所示在噴口前緣急劇上升，在噴口上方稍偏下游處到達最高點，以後由於噴出之重氣體對流場的剪應力之影響，下降由急趨緩，經一反曲點後，由於重力的作用，下降由緩趨急，到與地面接觸為止。為符合質量不減律，濃度較低之等濃度曲線，在到達噴口上方的最高點後，被迫往上升，但到達較遠的適當距離後仍應下降到地面。

(二)、等流綫函數圖如圖三所示，在圖三中 b 表噴口寬度，噴口中心位於 $x=40m$ 處。等流綫函數在上游處沿 x 方向緩慢上升，至噴口前緣，由於噴出之重氣體對流場的剪應力效應，曲線急劇上升，在噴口上方稍偏下游處到達最高點，此後下降由急趨緩，到下游漸趨水平，但仍較上游為高，此一現象符合質量不減律，因在穩流狀態時，入口流體與噴出之重氣體質量之和必須與下游流出之質

量相等，亦即下游之速度必須高於上游之速度。

(三)由於篇幅所限，無法一一列出所有結果並以圖示出。以下僅以文字描述其他結果：

- 1、當重氣體噴出之速度增大時，等濃度曲線隨之增高，且傳播較遠。
- 2、請參閱表一所列的帕斯奎爾-吉佛擴散級，當大氣擴散級各為 D、E、F 時，由於水平擴散係數 $D < E < F$ ，故等濃度曲線之下降斜率 $D > E > F$ ，以傳播距離而言， $D < E < F$ ，此結果符合物理現象。
- 3、當重氣體之分子量愈大，其重力的作用更明顯，等濃度曲線之下降斜率亦愈大。
- 4、當側風的速度愈小，則流場對噴出氣體之剪應力效應減小，故噴得較高，傳播較遠。
- 5、當噴口寬度增大時，噴得較高且傳播較遠。
- 6、當上游速度分佈在地面附近作線性變化時，由於地面附近之風速減小，故噴得較高且等濃度曲線下降之斜率較大。

References

1. Lucas, D.H., The Atmospheric Pollution of Cities, Int. J. Air Poll. Vol. 1, pp. 71, 1958.
2. Turner, D.B., A Diffusion Model for an Urban Applied Meteorol, Vol. 3, pp. 83-91, 1964.
3. Hilist, G.R. The Development of a Simulation Model for Air Pollution Over Connecticut, A final report to the Connecticut Research Commission, Vol. I and II, The Travelers Research Center, Hartford, Conn. 1967.
4. Csanady, G., Crosswind Shear Effects on Atmospheric Diffusion, Atmos. Environ., vol. 6, pp. 221-232, 1972.

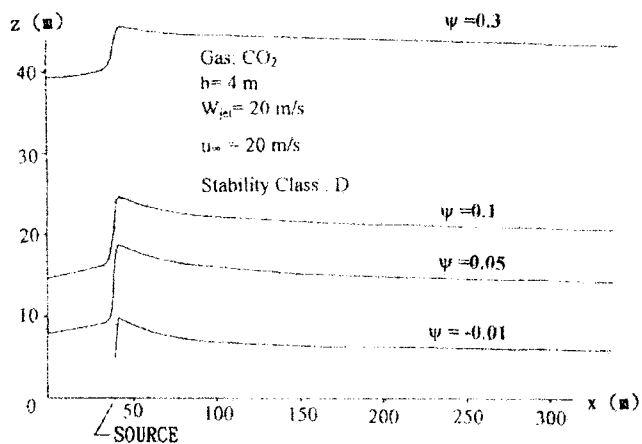
表一、帕斯奎爾-吉佛擴散級

日晒/雲層		地面風速(m/sec)				
		<2.0	<3.0	<5.0	<6	>=6
白天	強日	A	A-B	B	C	C
	晴朗	A-B	B	B-C	C-D	D
	弱日	B	C	C	D	D
白天或晚上 陰暗		D	D	D	D	D
晚上	稍微陰暗或 ≥ 0.5 雲層	—	E	D	D	D
	≤ 0.4 雲層	—	F	E	D	D

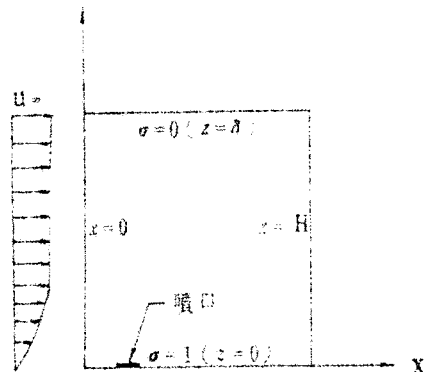
註：1. 強日指陽光照射與地面之夾角 $\geq 60^\circ$

2. 弱日指陽光照射與地面之夾角在 $15^\circ \sim 35^\circ$ 之間

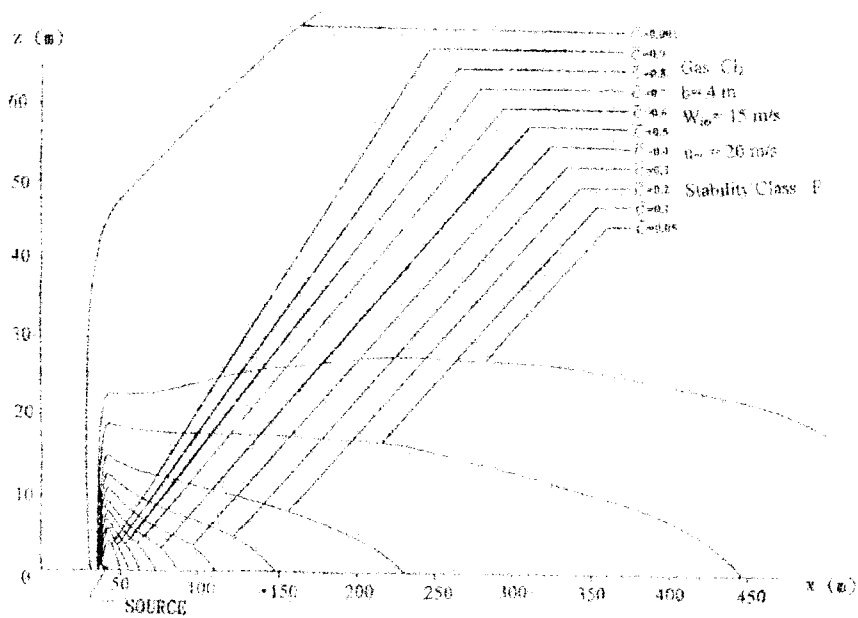
3. 在晴朗的晚上，地面風速小於 2.0m/sec 時可劃分為 G 級



圖三 CO₂ 在 $n=1/7$ 之乘幂速度分佈之等流線函數線圖



圖一 控制區間圖示



圖二 Cl₂ 在 $Z > 10m$ 為 $n=1/7$ 之乘幂律速度變化 $Z \leq 10m$ 速度為線性變化之等濃度曲線圖