

行政院國家科學委員會

八十八年度石油暨石化產業科技學術合作研究計畫

化學品意外排放之擴散研究
——物理與數值模擬

中華民國八十九年一月

化學品意外排放之擴散研究

--物理與數值模擬

期末報告

委託單位：中國石油股份有限公司

計畫類別：

計畫編號：88-CPC-E-032-016

執行期間：87年8月1日至88年12月31日

計畫主持人：江旭程

共同主持人：吳國昌、鄭啟明、盧博堅

執行單位：淡江大學 水資源及環境工程學系

摘 要

關鍵字：重質氣體、風洞實驗、模式驗證

本研究利用淡江大學之大型邊界層風洞進行重質氣體擴散之物理模擬試驗。首先，發展一套代表低度開發城市之邊界層流；然後進行平坦地形的擴散，以檢定物理模擬重煙流之能力；最後，在山脊後方及於釋放源周遭放置方塊物體，以探討地形變化及建築尾流影響對重質氣體擴散的影響。

由物理模型實驗我們發現：

- (i) 進行地面釋放之被動源流擴散實驗時，體積通量比(U_H/W)應注意保持在 20 以上，保證動量效應可忽略性。
- (ii) 在有地形尾跡影響之下的擴散行為模擬，雷諾數應保持在最低 8,000 至 10,000 以上。
- (iii) 在同一流場中進行重煙流之擴散實驗模型縮尺比例之扭曲至 1.3 擴散濃度之分佈尚無明顯的影響。

此一研究我們選擇 DEGADIS 和 SLAB 兩種模式，輸入與風洞實驗相同的條件，進行模擬，求出擴散後的濃度分佈，並與風洞實驗結果比較，以評估模式的表現。結果發現，在平坦地形模式計算值與風洞實驗值比較相當吻合，然而如有障礙物存在時，DEGADIS 和 SLAB 兩種模式所求出的地面煙流中心濃度明顯低估。在複雜地形，類似 DEGADIS 和 SLAB 之類簡單的模式並無法模擬複雜地形的亂流特性，也因此無法得到正確的結果。

ABSTRACT

key words : Dense gas, Wind tunnel Experiments, Model validation

A series of wind tunnel experiments were carried out in Tamakng University Wind Tunnel Laboratory to study the dispersion of dense gas caused by accidental release. A boundary layer was developed in the wind tunnel to simulate an urban situation. The dispersions in the flat terrain were investigated at the first stage, in order to evaluate our experimental ability. Then, a triangular ridge and a square block were added in front of the source. The effects of terrain variation and wake generated by building on the dispersion of dense gas were studied.

Results from physical modeling studies includes:

- (i) in ground–release passive-plume studies, U_H/W must be kept larger than 20 to ensure the negligibility of momentum effect;
- (ii) under the influence of topography and/or wale effects, minimum R_e requirement is 8,000~10,000;
- (iii) a length scale distortion factor of 1.3 is permissible.

Two mathematical models, DEGADIS and SLAB, were chosen to carry out a series of numerical experiments. The parameters used by wind tunnel tests were input to the mathematical models to compute the concentration distributions. Then, the results of mathematical simulations were compared with the data of the physical experiments. For the flat terrain situations, the performances of SLAB and DEGADIS are pretty well when compared with the experimental data. However, the ground-level centerline concentrations were significantly

underestimated for the cases with obstacles or ridge. The simple models, such as SLAB and DEGADIS, cannot properly model the turbulence characteristics in a complex terrain, and hence, their results are incorrect.

目 錄

摘 要-----	I
ABSTRACT-----	II
目 錄-----	目錄 I
表目錄-----	目錄 III
圖目錄-----	目錄 IV
章 節	
第一章 前言-----	1-1
第二章 大氣擴散物理模擬之理論依據-----	2-1
2.1 大氣邊界層運動之模擬-----	2-1
2.1.1 對模擬參數之考慮-----	2-3
2.1.2 邊界層逼近流之相似性-----	2-6
2.2 煙流運動之物理模擬-----	2-8
2.2.1 煙流運動之近似模擬-----	2-10
第三章 實驗設計、實驗設備及儀器配置-----	3-1
3.1 風洞設備-----	3-1
3.2 流場之模擬與量測-----	3-2
3.2.1 逼近流之模擬方法-----	3-2
3.2.2 風速之量測-----	3-2
3.3 煙流之模擬與量測-----	3-4
3.3.1 煙源-----	3-4
3.3.2 釋放系統及採樣點之佈設-----	3-4
3.3.3 示蹤氣體之採樣與分析-----	3-5
3.4 煙流可視化方法-----	3-6
3.5 地形、地物之模擬-----	3-7

第四章 數學模式-----	4-1
4.1 DEGADIS 模式-----	4-1
4.2 SLAB 模式-----	4-2
第五章 結果與討論-----	5-1
5.1 模擬邊界層逼近流評估及擴散特性之檢定-----	5-1
5.2 被動煙流擴散之測試結果-----	5-3
5.2.1 煙源之動量效應 (Momentum Effect) -----	5-3
5.2.2 雷諾數之不變性 (獨立性) -----	5-4
5.3 煙流的擴散特性-----	5-5
5.3.1 地形地物之影響-----	5-6
5.3.2 不同密度比之影響-----	5-7
5.3.3 流場長度尺度扭曲之煙流相似性-----	5-7
5.4 平坦地形風洞實驗與模式模擬結果比較-----	5-8
5.5 有障礙物存在時，風洞實驗與模式模擬之比較-----	5-10
第六章 結果與建議-----	6-1
參考文獻-----	Ref-1
附錄 A-----	A-1

表目錄

表 3.1.1 主要開放式風洞一覽表-----	3-8
-------------------------	-----

圖目錄

圖 2.2.1 紊流頻譜之雷諾數變化特性(摘自 Neff,1989)	2-13
圖 3.1.1 淡江大學第一號邊界層風洞平立面圖	3-9
圖 3.2.1 邊界層流場配置方式(圓盤前緣為流場擴散特性檢驗之煙囪)	3-10
圖 3.2.2 風速量測系統	3-10
圖 3.3.1 (a)示蹤氣體採樣點配置圖	3-11
圖 3.3.1 (b)示蹤氣體採樣點示意圖	3-1
圖 3.3.2 示蹤氣體採樣及分析系統	3-12
圖 4.1.1 DEGADIS 模式中二次污染源和擴散模擬示意圖	4-6
圖 4.1.2 DEGADIS 模式中二次污染源擴張示意圖	4-7
圖 4.2.1 SLAB 模式中連續煙流擴散模擬	4-8
圖 4.2.2 SLAB 模式中陣噴(puff)擴散模擬	4-8
圖 5.1.1 平均風速剖面圖	5-11
圖 5.1.2 平均風速剖面圖(指數律方式)	5-12
圖 5.1.3 平均風速剖面圖(90% of δ)	5-12
圖 5.1.4 平均風速剖面圖(對數律方式)	5-13
圖 5.1.5 水平方向平均風速剖面圖	5-14
圖 5.1.6 縱向紊流強度剖面圖	5-15
圖 5.1.7 垂向紊流強度剖面圖	5-15
圖 5.1.8 縱向擾動風速頻譜(高度 2.5cm, $U > 0.58\text{m/sec}$)	5-16
圖 5.1.9 縱向擾動風速頻譜(高度 2.5cm, $U < 0.58\text{m/sec}$)	5-16
圖 5.1.10 橫向擴散濃度分佈剖面圖	5-17
圖 5.1.11 估計風洞擴散係數(σ_y)與標準 Psquill Gifford 值之比較	5-17
圖 5.2.1 被動煙流中線上之無因次化濃度衰減迴歸結果	5-18
圖 5.3.1 縮尺 (1/285) 密度比 (1.0) 固定, 不同地形地物之濃度係數分佈	5-19
圖 5.3.2 縮尺 (1/260) 密度比 (1.0) 固定, 不同地形地物之濃度係數分佈	5-20

圖 5.3.3 縮尺 (1/235) 密度比 (1.0) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-21
圖 5.3.4 縮尺 (1/205) 密度比 (1.0) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-22
圖 5.3.5 縮尺 (1/285) 密度比 (1.2) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-23
圖 5.3.6 縮尺 (1/260) 密度比 (1.2) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-24
圖 5.3.7 縮尺 (1/235) 密度比 (1.2) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-25
圖 5.3.8 縮尺 (1/205) 密度比 (1.2) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-26
圖 5.3.9 縮尺 (1/285) 密度比 (1.35) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-27
圖 5.3.10 縮尺 (1/260) 密度比 (1.35) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-28
圖 5.3.11 縮尺 (1/235) 密度比 (1.35) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-29
圖 5.3.12 縮尺 (1/205) 密度比 (1.35) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-30
圖 5.3.13 縮尺 (1/285) 密度比 (1.53) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-31
圖 5.3.14 縮尺 (1/260) 密度比 (1.53) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-32
圖 5.3.15 縮尺 (1/235) 密度比 (1.53) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-33
圖 5.3.16 縮尺 (1/205) 密度比 (1.53) 固定，不同地形地物之濃度係數分佈	5-34
圖 5.3.17 平坦地形之煙流可視化 (上視圖)	5-35
圖 5.3.18 平坦地形之煙流可視化 (側視圖)	5-35
圖 5.3.19 二維方塊之煙流可視化 (上視圖)	5-36
圖 5.3.20 二維方塊之煙流可視化 (側視圖)	5-36
圖 5.3.21 三維山脊方塊之煙流可視化 (上視圖)	5-37

圖 5.3.22 三維山脊之煙流可視化 (側視圖)	5-37
圖 5.3.23 縮尺 (1/285) 地形地物 (flat) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-38
圖 5.3.24 縮尺 (1/285) 地形地物 (block) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-39
圖 5.3.25 縮尺 (1/285) 地形地物 (mountain) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-40
圖 5.3.26 縮尺 (1/260) 地形地物 (flat) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-41
圖 5.3.27 縮尺 (1/260) 地形地物 (block) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-42
圖 5.3.28 縮尺 (1/260) 地形地物 (mountain) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-43
圖 5.3.29 縮尺 (1/235) 地形地物 (flat) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-44
圖 5.3.30 縮尺 (1/235) 地形地物 (block) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-45
圖 5.3.31 縮尺 (1/235) 地形地物 (mountain) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-46
圖 5.3.32 縮尺 (1/205) 地形地物 (flat) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-47
圖 5.3.33 縮尺 (1/205) 地形地物 (block) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-48
圖 5.3.34 縮尺 (1/205) 地形地物 (mountain) 固定, 不同密度比之濃度係數分佈	5-49
圖 5.3.35 密度比 (1.0) 地形地物 (flat) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-50
圖 5.3.36 密度比 (1.2) 地形地物 (flat) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-51
圖 5.3.37 密度比 (1.35) 地形地物 (flat) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-52
圖 5.3.38 密度比 (1.53) 地形地物 (flat) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-53

圖 5.3.39 密度比 (1.0) 地形地物 (block) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-54
圖 5.3.40 密度比 (1.2) 地形地物 (block) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-55
圖 5.3.41 密度比 (1.35) 地形地物 (block) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-56
圖 5.3.42 密度比 (1.53) 地形地物 (block) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-57
圖 5.3.43 密度比 (1.0) 地形地物 (mountain) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-58
圖 5.3.44 密度比 (1.2) 地形地物 (mountain) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-59
圖 5.3.45 密度比 (1.35) 地形地物 (mountain) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-60
圖 5.3.46 密度比 (1.53) 地形地物 (mountain) 固定, 不同縮尺之濃度係數分佈	5-61
圖 5.4.1 平坦地形, 模式模擬時假設地面粗糙度為 0.3m, 風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-62
圖 5.4.2 平坦地形, 模式模擬時假設地面粗糙度為 0.1m, 風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-63
圖 5.4.3 平坦地形, 模式模擬時假設地面粗糙度為 0.01m, 風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-64
圖 5.4.4 粗糙度為 0.3m 時, 平坦地形地區, 不同密度比的實驗和模式計算結果之比較	5-65
圖 5.4.5 粗糙度為 0.1m 時, 平坦地形地區, 不同密度比的實驗和模式計算結果之比較	5-66
圖 5.4.6 粗糙度為 0.01m 時, 平坦地形地區, 不同密度比的實驗和模式計算結果之比較	5-67
圖 5.5.1 實驗時有方塊, 模式模擬時假設地面粗糙度為 0.3m, 風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-68
圖 5.5.2 實驗時有方塊, 模式模擬時假設地面粗糙度為 0.1m, 風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-69
圖 5.5.3 實驗時有方塊, 模式模擬時假設地面粗糙度為 0.01m, 風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-70

圖 5.5.4 實驗時有山脊，模式模擬時假設地面粗糙度為 0.3m，風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-71
圖 5.5.5 實驗時有山脊，模式模擬時假設地面粗糙度為 0.1m，風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-72
圖 5.5.6 實驗時有山脊，模式模擬時假設地面粗糙度為 0.01m，風洞實驗結果和模式模擬值之比較	5-73
圖 5.5.7 為不同障礙物對地面中心濃度之影響	5-74
圖 A-1 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-1
圖 A-2 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-2
圖 A-3 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-3
圖 A-4 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-4
圖 A-5 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-5
圖 A-6 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-6
圖 A-7 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-7
圖 A-8 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-8
圖 A-9 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-9
圖 A-10 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-10
圖 A-11 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-11
圖 A-12 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/285, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-12
圖 A-13 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-13
圖 A-14 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面	A-14

	(scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	
圖 A-15	流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-15
圖 A-16	流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-16
圖 A-17	流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-17
圖 A-18	流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-18
圖 A-19	流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-19
圖 A-20	流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-20
圖 A-21	流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-21
圖 A-22	流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-22
圖 A-23	流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-23
圖 A-24	流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/260, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-24
圖 A-25	流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-25
圖 A-26	流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-26
圖 A-27	流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-27
圖 A-28	流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-28
圖 A-29	流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-29
圖 A-30	流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-30
圖 A-31	流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-31

圖 A-32 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-32
圖 A-33 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-33
圖 A-34 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-34
圖 A-35 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-35
圖 A-36 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/235, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-36
圖 A-37 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-37
圖 A-38 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-38
圖 A-39 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.0$)	A-39
圖 A-40 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-40
圖 A-41 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-41
圖 A-42 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.2$)	A-42
圖 A-43 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-43
圖 A-44 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-44
圖 A-45 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.35$)	A-45
圖 A-46 流經三維方塊模型濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-46
圖 A-47 流經平坦地形濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-47
圖 A-48 流經二維山脊模型，濃度係數之側風方向分布剖面 (scale=1/205, $\rho_s/\rho_a=1.53$)	A-48