



模型隧道內空氣動力特性及汽車廢氣擴散之研究  
Investigations of Aerodynamic Characteristics and  
the Distribution of Vehicle Exhausts in Vehicle Model Tunnel

計畫編號：NSC89-2212-E-032-015

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：陳增源 淡江大學航太系

計畫參與人員：陳振強、廖之安 淡江大學航太系

### 一、中文摘要

本研究係利用縮尺模型隧道，實驗探討在單獨噴射風扇與噴射風扇及車行混合效應下，隧道內之空氣動力特性。模型隧道、噴射風扇、模型汽車根據1/20比例縮尺製作；模型隧道模擬一雙車道隧道，全長18公尺，並利用旋轉皮帶帶動模型汽車模擬車行效應；噴射風扇之模擬利用圓管配合鼓風機模擬風扇之吸氣及排氣。研究中主要量測隧道內斷面之速度分佈，藉以了解噴射風扇在隧道通風中扮演之角色。實驗參數包括有噴射風扇之出口風速、懸掛位置及車速等。

關鍵詞：隧道通風、噴射風扇、車行效應  
Abstract

This research investigated aerodynamic characteristics in vehicle model tunnel by jet fans and moving vehicles. The model tunnel, jet fan, model vehicle were constructed according to 1/20 scale. The model tunnel is 18 meter long with a real tunnel-like cross section. It simulates a two-way, one-lane or a one-way, two lane vehicle tunnel. The moving vehicle is simulated by a rotating belt with model vehicles stuck on the belt. Two round pipes were connected to the inlet and outlet of a blower to simulate a jet fan. Velocity distribution measurements inside the tunnel were conducted. The experimental parameters included the exit velocity of jet fan, the hanging location of the jet fan and the vehicle velocity.

Keywords: Tunnel Ventilation, Piston effect  
Jet Fan

### 二、緣由與目的

隧道通風之目的係在降低隧道內車輛所排放污染物之濃度，以提供用路人及隧道維修人員之安全使用及工作環境。在長

度較短之隧道中，藉由隧道口兩端之壓差（自然風）及車輛之行進（即車行活塞效應），常足以造成足夠之氣流，使隧道內污染物排出；而在較長之隧道中，除自然風及活塞效應外，往往需藉助於機械設備，如噴射風扇，集塵裝置及豎井等，才足以達到降低隧道內污染物之目標。本研究為噴射風扇及車行活塞效應對隧道內空氣動力特性之探討。有關隧道通風之研究主要可參考 International Symposium on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels 所發表之論文。在隧道通風中，車行活塞效應及噴射風扇為最常見之通風方式，因此，引起廣泛之探討。例如，Strom [1] 數值研究隧道內車輛之空氣阻力以及動力需求。Vardy [2] 數值探討隧道內一維向流場及污染物濃度分佈情形，並與實驗值比較。Baker [3] 等人利用 1/10 縮尺之隧道模型，配合流場視流法及溫度衰減法，探討加拿大 Northumberland Straits 隧道之新鮮及污濁空氣之分佈及混合情形。Hayward [4] 等人利用 1/15 縮尺之隧道模型探討風扇對隧道通風之效應，以及相臨兩隧道間污濁空氣之迴流問題。Ohashi [5] 等人作實場量測，以探討在噴射風扇作用下，隧道通風之特性。Rohne [6] 探討並聯之四個風扇與單一風扇於相同總推力下對隧道壁之摩擦阻力及風扇效率。Dayman [7] 利用 3% 模型隧道探討車行效應所造成之流場，以及兩隧道之迴流問題。Baha 及 Ishida [8] 等人則比較使用低風速及高風速噴射風扇之經濟效益。主持人等 [9] 在國道新建工程局的研究案中，分別利用 1/20 及 1/10 縮尺隧道模型，探討隧道內車行效應所造成之定量流場分佈及在噴射風扇作用下汽車污染物之定性分佈。

在一般隧道通風之研究中，常假設為

一維向流場，亦即探討隧道速度、濃度等隨隧道軸向之變化，較少重視在隧道斷面之分佈情形。由先前之研究結果[9]知，車行效應主要在車子附近造成較大之氣流，因此，汽車排放之廢氣亦可能侷限在隧道底部，由定性流場觀測，可了解隧道內行進中汽車廢氣在車行效應以及車行、噴射風扇混合效應下之擴散情形。雖然噴射風扇係在提供氣流以增加隧道內之平均風速，但由於噴射風扇係懸掛於隧道頂部，其所產生之氣流係限於隧道頂部才逐漸向底部擴散，由文獻五知其需達 60 米至 100 米之距離才能擴散至隧道底部，同時由文獻九知噴射風扇之作用有將靜止汽車所排放廢氣侷限於隧道底部之現象，因此就汽車廢氣擴散而言，噴射風扇在隧道通風所扮演之角色，在本研究計畫中將藉由車輛行進中及噴射風扇作用下，量測隧道內不同斷面之速度分佈探討之。由 Baha [8] 等人之研究知，低速風扇亦可達到通風之目的，並可節省經費，因此，本研究對噴射風扇風速及懸掛位置等在相同風扇推力下，對隧道通風之效應亦將作一探討。

## 二、研究設備

本研究設備如圖一所示，主要包括 1/20 縮尺模型隧道、噴射風扇系統及車行模擬。模型隧道係根據一兩車道隧道，所設計，全長 18 公尺，隧道斷面寬 45 公分，高 36.5 公分，模擬 7.3 公尺高，9 米寬(包含兩一米寬之人行道)之雙車道隧道某特定段。模型出口處設置有兩 10 匹馬力馬達，轉輪等，可分別帶動黏置有汽車模型之兩皮帶轉動；最高車速可達每小時 40 公里以上。噴射風扇之模擬以鼓風機配合彎管模擬之，其係以兩 5.5 公分直徑之彎管，分別接到鼓風機之出風口及進風口，出風口之彎管朝向車流方向，進風口之彎管則背向車流方向；噴射風扇之風速可藉由調整鼓風機之轉速，最高出口平均風速可達 25 米/秒。隧道內流場分本質上係為三維之流場，但就縱向通風目的而言，隧道軸向之流場為達成隧道通風之主因，因此，本研究主要係量測在不同噴射風扇出口速度，噴射風扇在隧道頂部之懸掛位置，以及不同車速下隧道不同斷面之軸向速度分

佈及噴射風扇所造成之隧道平均速度。速度之量測以一維向熱線測速儀進行之，其平均速度係由量測斷面 189 位置速度值平均而得。

## 三、結果與討論

在單獨噴射風扇作用下(車速為 0 公里/時)時，不同風扇懸掛位置，風扇所提供之推力與所造成之隧道內平均風速，如圖二所示，風扇間之軸向距離為 9.2 米。風扇之推力係由  $\rho AV^2$  計算所得，其中  $\rho$  為空氣密度， $A$  為風扇斷面積， $V$  為風扇出口平均速度。此圖顯示隧道內平均速度與風扇推力呈非線性之關係，風扇推力為 1.27 牛頓(風扇出口速度為 23 米/秒)時，隧道內平均速度為 3.19 米/秒，風扇推力為 0.094 牛頓(風扇出口速度為 6.25 米/秒)時，隧道內平均速度為 0.86 米/秒；在相同風扇總推力下，懸掛單一風扇於隧道頂及兩風扇分別於車道上方時，所得到之隧道內平均速度相近，顯示風扇個數與所造成之隧道內平均風速無明顯之關聯。表一為在懸掛兩單一風扇距離為 9.2 米，兩風扇間不同軸向距離之隧道斷面流場分佈，風扇出口平均風速為 23 米/秒。表一 A 顯示在距風扇出風口 2.3 米時，氣流仍較侷限於隧道上方而逐漸向下擴散，上方最大風速為平均風速之 2.36 倍，而隧道底部之風速僅達平均風速之 20%；在距風扇出風口 4.6 米時，隧道斷面速度分佈已較為平均，上方最大風速為平均風速之 1.23 倍，而隧道底部之風速達平均風速之 60%，如表一 B 所示；而在距風扇出風口 6.9 米時，隧道斷面速度分佈更為平均，但隧道上方之風速仍較隧道下方之風速為大，如表一 C 所示。懸掛兩風扇分別於車道上方時，在不同軸向距離之隧道斷面流場分佈，其情形與懸掛單一風扇相似；此結果顯示，在相同風扇推力下，懸掛兩風扇或單一風扇對隧道內之空氣動力特性並未造成明顯之差異。圖三為車行效應及車行、噴射風扇混合效應下，所造成之隧道平均風速關係圖。此圖顯示在單獨車行效應下，車速與所誘導之隧道斷面平均速度約呈線性之關係，車速為 30 公里/小時下，隧道之平均風速約為 2.589 米/秒。在車行、噴射風扇混合效應下，風扇

出口速度為 23 米/秒時，車速、噴射風扇混合效應與所誘導之隧道斷面平均速度亦呈線性之關係，車速為 30 公里/小時，風扇出口速度為 23 米/秒，隧道平均風速約為 4.502 米/秒。此圖中有一點值得注意的是在車子、噴射風扇混合效應下，其所造成之隧道平均風速較分別由車行及風扇所造成之風速總合為小，且此差異在車速愈大時愈明顯。如在車速 7.5 公里/小時、風扇風速 23 米/秒，其誘導之隧道平均風速為 3.5623 米/秒，單獨車子造成之風速為 0.665 米/秒，而單獨風扇造成之風速為 3.194 米/秒，車子、噴射風扇混合效應所造成之隧道平均風速僅為車子、風扇個別效應下之 92%；而在車速 30 公里/小時，則只為 78%；在固定風扇推力(風速)下，車速愈大則車行、風扇混合效應對隧道內平均風速效果愈差。

#### 計畫成果自評

本研究探討模型隧道內噴射風扇、噴射風扇與車行混合效應下，隧道內空氣動力特性，包括隧道內之平均風速、隧道斷面之速度分佈等。相關之研究很少見於文獻中，本研究所得之結果可供設計者及操作者參考，為應用研究。研究內容已涵蓋大部分計畫書內容。

#### 參考文獻

- [1] C.R. Strom, "Aerodynamic analysis of vehicles in tunnels", Proc. 1st Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, April, 1973.
- [2] A. Vardy, "On semi-transverse ventilation systems", Proc. 7th Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, April, 1991.
- [3] P. J. Baker and B. E. A. Jacobs, "Model ventilation study for the Northumberland Straits road and rail tunnel", Proc. 1st Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, April, 1973.
- [4] A. T. J. Hayward and L. M. MacDonald, "Ventilation tests on a model road tunnel", Proc. 1st Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, April, 1973.
- [5] H. Ohashi, T. Kawamura and T. Baba, "A

study on a longitudinal ventilation system using enlarged jet fans", Proc. 2nd Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, March, 1976.

- [6] E. Rohne, "The friction losses on walls caused by a row of four parallel jet flows", Proc. 6th Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, April, 1988.
- [7] B. Dayman, "Small-scale Aerodynamic testing for highway tunnels", Proc. 4th Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, March, 1982.
- [8] T. Baba and M. Ishida, "Possibilities for the reduction of total costs of the ventilation system with low velocity jet fans", Proc. 5th Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, May, 1985.
- [9] T. Y. Chen, Y. T., Lee and C. C. Hsu, "Investigations of piston-effect and jet fan-effect in model vehicle tunnels", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 73, 1998, pp. 99-110.



圖一：模型隧道、車行及噴射風扇模擬

