



RRPB88050493

(5.P)

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

公路隧道通風實測系統之通盤理論分析研究

Theoretical Study of the Ventilation Measurement System for
Road Tunnels

計畫編號：NSC 88-2212-E-034 -002 -

主持人：張鴻明 私立中國文化大學機械工程學系

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

公路隧道通風實測系統之通盤理論分析研究

Theoretical study of the Ventilation Measurement System for Road Tunnels

計畫編號：NSC 88-2212-E-034 -002 -

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：張鴻明 私立中國文化大學機械工程學系

一、中文摘要

本研究依據目前可得之北二高福德隧道車流實測數據，將傳統之公路隧道通風數值模式[1,2]作進一步研發使其成為可將隧道內暫態車流融入其中之新模式，而此一新模式可按隧道內暫態車流為我們推算出隧道內之暫態風速、沿隧道軸線上各剖面之平均暫態壓力、溫度、相對濕度、和一氧化碳濃度等之氣流數據。而這些由理論模式所推算得到之氣流數據又一與相關之實測數據進行比對。藉此使我們可以更清楚了解隧道內實際車流與氣流之間的密切關係，亦同時可對實測系統進行通盤分析檢視，並進而歸納出有助於改進現有實測技術之重要結論。

關鍵詞：公路隧道、實測系統、理論模式、感測器之精度

Abstract

In this study a widely used theoretical model for road tunnel ventilation [1,2] is further developed to involve the traffic flow data which were measured at the Fu-De Tunnel on the Northern Second Freeway. According to these measured data, this new model can provide us the computed values of most of the important properties of the tunnel airflow, including the transient wind speed in the tunnel, and the distributions of transient temperature, pressure, relative humidity, and CO-concentration along the tunnel axis. The comparison of the calculated and the corresponding measured data reveals the intimate relation between the vehicular traffic and the properties of the airflow inside tunnel. In the meantime the precision of each kind of sensor is also investigated and some conclusions are made, which we may rely on to improve the measurement system in the future.

Keywords : road tunnel, measurement system, theoretical model, sensor precision

二、緣由與目的

在多山的台灣本島上，隧道乃交通建設中不可或缺的一環。而隧道通風系統對平常交通狀況下通風品質之確保能力以及對特殊交通狀況的應變能力皆攸關著用路人健康與生命安全。因此，隧道通風之軟硬體皆必須確實可靠，而這又相當程度地依賴著一系列穩健紮實之相關研究的進行。使我們對各類可能潛藏於隧道內之通風問題的本質清楚而具體之認知且能事先備妥對策。

由於隧道內車流狀況與其內空氣品質好壞息息相關，而車流狀況事實上是瞬息萬變的，欲將如此複雜的真實車流納入理論模式中進行相關研究，就目前可用方法中則以一維理論模式配合實測技術最為可行。本計畫即是基於此一理念來改進傳統之一維理論模式使盡可能納入隧道內之真實暫態車流，再配合適當之車流與氣流實測技術與數據以探討確立實際車流與隧道內空氣品質之關係和其間的通風機制。並同時藉以通盤分析檢視實測系統，最後歸納出有助於改進現有實測技術之重要結論。

三、結果與討論

本研究主要引用台大應力所於福德隧道測得的通風相關數據為樣本來進行研究。此處討論將以1997/7/26 6:00-12:00之全套實測數據與相關之理論分析結果為核心。

圖1之實測車流量數據主要顯示當時通過隧道之車輛以小型車為主，車流由6:00左右起隨上班潮快速增加而於7:30左右達道高峰，之後即呈緩和下降之趨勢。另外的車速實測資料指出大部分車輛之車速大多皆維持在80km/hr和100km/hr之間，這顯示當時福德隧道即使在上班潮時段車流仍是相當順暢。依據上述這些實測車流數據(包含大小

三類車輛量每10秒通過隧道出口之數目與相應之平均車速) , 我們首先以自行研發之車流分析軟體推算出各型車在6:00到12:00期間於隧道沿線之車流密度和車速分佈。由於該數據極為龐大, 在此我們僅以圖2與圖3分別顯示小型車介於8:08:00和8:09:40間之該等數據。由圖上可約略看出隧道內車輛分佈隨時間變化頗大但車速則相當均勻。接入下來我們將這些隧道內之暫態車流數據引入一維通風模式中即可算出隧道內之暫態風速(圖4)、壓力(圖5)、溫度(圖6)、相對濕度(圖7)、和CO濃度(圖8)等空氣品質指數。

圖4顯示暫態風速之計算值與實測值在相位或數值上皆極為一致, 這反應出車流在相鄰車道正確地描述了一維通風模式的正當性。而風速計之精度 $\pm 0.3m/s$ 已顯得相當合用。由圖5所示沿隧道軸線之壓力之最小值位於入口處, 在風機開啟後最低壓點則移至首部。另外由於車流之暫態變動使隧道內各點壓力亦隨之舞動但其變動量約僅20Pa, 由這些分析可知欲精確量出公路隧道內之氣壓變動所必需之壓力感測器之精度必須相當高, 遠遠高於目前所使用者($\pm 135Pa$)。

圖6顯示理論模式在計算時若設定隧道壁在絕熱狀況, 則於測點上所算得的溫度值與實測值將頗為吻合。此結果亦顯示了所用溫度感測器之精度 $\pm 0.4^{\circ}C$ 是恰當的。隧道內溫度在空間上愈下游愈高, 而在時間上則愈接進中午愈高, 另外亦會隨上班車潮而些微升降。隧道壁之熱傳情況對隧道內氣流的溫度分佈有決定性影響, 雖本研究範圍內的結果顯示福德隧道之隧道壁幾近於絕熱狀況, 但這或許並不能延用於通過含豐沛水量之岩層之隧道(例如: 坪林隧道)。因此當隧道內氣溫是考量重點時, 其實測系統佈置中可能應包含隧道壁內熱傳或隧道壁表面溫度的監測。

基本上圖7顯示, 不管理論計算或實測皆指出在同一時刻整條隧道內相對濕度之變化不大, 大體而言下游會稍低, 其中離出口50m之感測器測得之值顯然太高, 這很可能由於該感測器與另兩感測器乃不同時期安裝於校正上有偏差所致。另外亦可發現愈近午時隧道內相對濕度也愈低, 而上班車潮時段絕對濕度雖會升高但相對濕度則並不明顯, 這主要因當時溫度也升高了。因所使用相對濕度感測器之精度僅為 $\pm 2.5\%$, 這是不足用來分辨同時刻上下游不同位置之相對濕度, 但卻足以用來監測一天當中隧道內該量的變動情形。

由圖8清楚可見不管是計算或實測CO濃度皆隨上班車潮增減而增減和愈往隧道下游濃度愈高的特徵。這段時間由於車流相當順暢其最高濃度僅及9ppm, 而變動範圍僅約

1ppm。目前感測器之精度為 $\pm 5ppm$, 這對在順暢車流情況測得之該項數值應僅足以顯現其變動趨勢, 至於其數值則僅具參考性。但對於堵車或意外等可能出現的高CO濃度的情況則應當就具有相當的可靠性了。離出口50m之感測器與另兩處者乃於不同時期安裝其校正上可能存在偏差。因此我們嘗試地將該處之計算值將該感測器測值統一加上去0.6ppm當成修正量, 以便與計算值比對變動趨勢和幅度, 結果顯示在這兩方面實測與計算值尚稱吻合。

由實測數據中我們可發現有些時段感測器測得數值出現的悖離常理(相對於理論模式計算結果所顯示的合理趨勢而言)的情況, 這可能是因為感測器裝設位置過於靠近照明設備或某些附屬設備, 當該等設備起動時短段即會對某些測值產生影響。因此, 佈置實測系統時亦應慎選感測器的安裝位置。

由以上分析我們對福德隧道在順暢車流情形下的通風光景及其與車流變化間的密切關連性得到了明確的認識。而對於量測系統所用各感測器精度的要求、感測器佈置的一些注意事項做了分析。這些有助於改進現有實測系統或作為實測系統之重要參考依據。

四、成果自評

在本研究中, 有更多的實測數據被使用於仔細測試於文獻[3]所初步研發之車流分析軟體以及對其一維通風模式做了修正和進步研發。結果顯示這兩套軟體目前對於順暢車流狀況可以進行相當準確的分析。至於其他型態車流情況的分析能力則有賴更多相關實測數據的取得。

實測工作是瞭解問題真相的主要依據, 而一維模式則是釐清諸多實測數據間互動關係最方便實用的方法, 本研究經由實測數據與一維通風模式計算結果的比對中, 指出感測器安裝前細心統一校正的重要處和感測器精度要求以及其對實測數據的影響所在。因此, 對於公路隧道實測技術的提升必有相當助益。

五、參考文獻

- [1] Huang, Kao-Huah, Transient Analysis of the Dispersion of Vehicle Pollution within a Highway Tunnel, Master Thesis, The University of Tennessee, Knoxville, Dec. 1980.
- [2] Akisato Mizuno, "An Optimal Control with Disturbance Estimation for the Emergency Ventilation of a Longitudinally Ventilated Road Tunnel", ASME, Flucome'91, Book No. I00315-1991, (1991)
- [3] 陳發林, 張鴻明, 「隧道通風實測與理論分析之比較研究」, 交通部台灣區國道新建工程局, 研究報告096-1, 1997。

圖 1: 每十秒於出口處測得各型車數目 1997/7/26

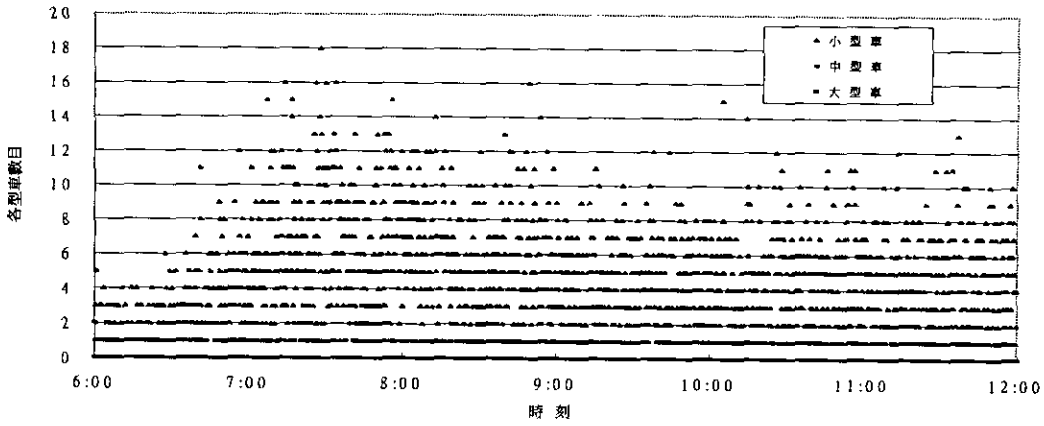


圖 2: 隧道內小型車暫態車流密度分佈 1997/7/26

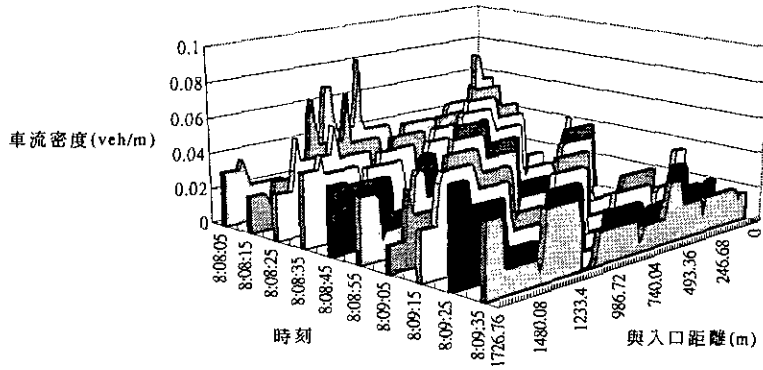


圖 3: 隧道內小型車暫態車流速度分佈 1997/7/26

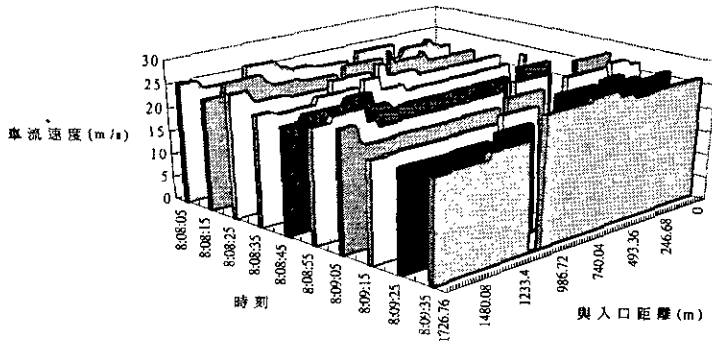


圖 4: 隧道內暫態風速之理論值與實測值比較 1997/7/26

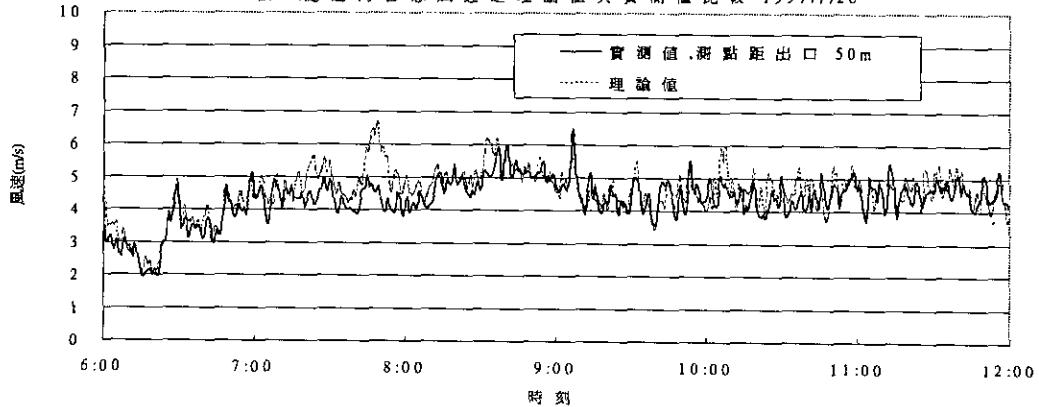


圖 5.沿隧道軸之理論暫態壓力分佈 1997/7/26

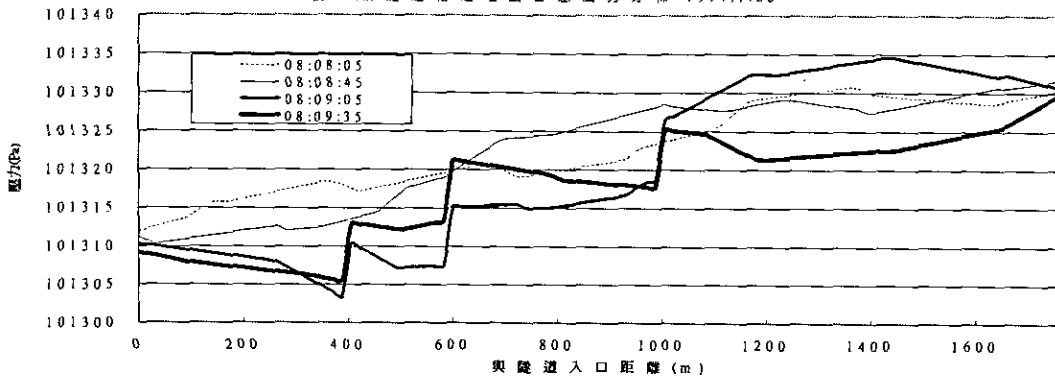


圖 6:隧道內暫態溫度之理論值與實測值比較 1997/7/26

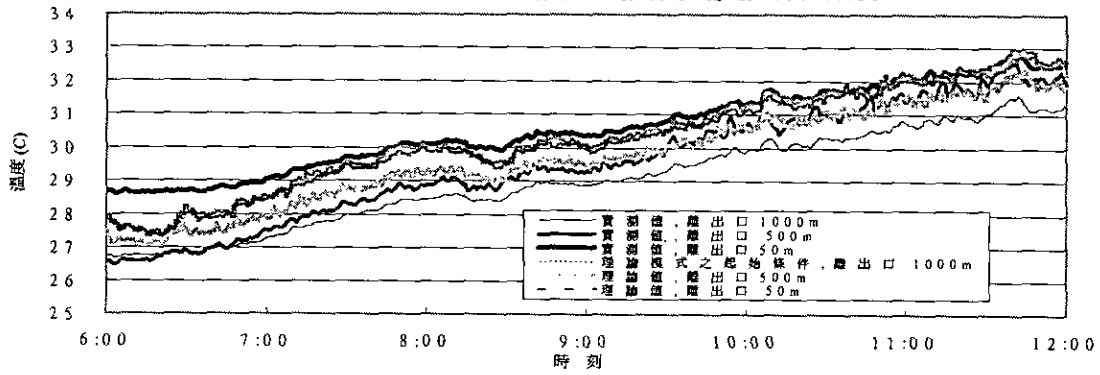


圖 7:隧道內暫態相對濕度之理論值與實測值比較 1997/7/26

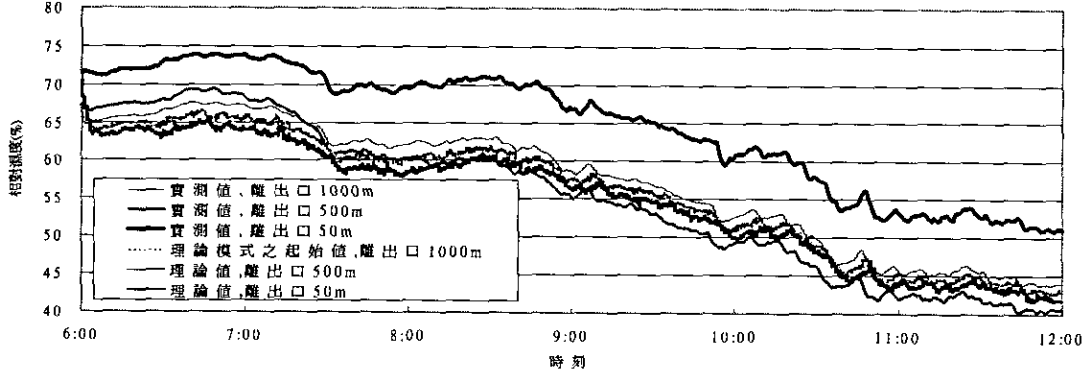


圖 8:隧道內暫態CO濃度之理論與實測值比較 1997/7/26

