

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以波動方程式探討汽機車混合車流行為

The Study of Motorcycles and Vehicles Mixed Traffic Flow Behavior by Wave Equation

計畫編號：NSC 87-2415-H-009-004

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：卓訓榮 國立交通大學運工管系 教授

一、中文摘要

車流理論在交通運輸之研究領域中占有一重要的地位。在進行公路運輸系統之規劃、設計與運作管理時，我國採用歐美各國發展之車流理論及附屬之應用軟體。但是台灣地區公路均呈汽、機車混合行進的混合車流型態，國內的機車駕駛行為與歐美各國又有極大的差異，所以使用其模式或軟體進行預測或模擬時，會出現公路流量容量比 (V/C) 大於1的不合理現象，造成車流行為預測不準確。儘管多年來有許多研究，但是仍跳脫不出跟車理論以及當量轉換的窠臼。Whitham, Lightwill, Richard 等人由流體現象將波動方程式引入交通領域。描述動態車流變化以及車隊追逐行為，所以本研究擬以數學分析方法構建一以高階波動方程式為基礎的混合車流模式，並藉此動態巨觀車流模式可從另一個角度來描述混合車流的優點，將傳統以當量轉換討論車流之方式，引入不同之定義域討論。

關鍵詞：車流理論、混合車流、波動方程。

Abstract

Traffic flow theory is an important research field of traffic and transportation. In Taiwan, we always use traffic flow theory and applied software developed by other

countries. But there is a extreme difference of traffic behavior between other countries and Taiwan. Because there are motorcycles traveling between vehicles on roadway in Taiwan. If we use the traffic flow theory and applied software, we will get serious errors such as ratio of volume and capacity on the road greater than one ($V/C > 1$). Thus we can't plan, design, and operate roadway systems right. Although there were many research devoted in the field, they still can't be applied in real world. Whitham, Lightwill, and Richard applied the wave equation to traffic flow theory in 1955. Because the wave equation can describe dynamic flow, we prefer it to establish mixed traffic flow model. This study is going to build a mixed traffic flow model by wave equations and establish a solvable algorithm. Besides we are going to conduct a survey to calibrate and verify the model.

Keywords: traffic flow theory, mixed flow, wave equation

二、緣由與目的

經由交通車流理論對交通車流特性的描述與分析技巧，可描述現有交通系統和環境之間的關係、進行環境影響評估與未來運輸系統修正與規劃案、系統服務水準之評估與設計、檢驗系統是否運作順暢，以擬定營運或操作改進計劃。歐美各國多

年以來車流理論已發展成熟完備，並依據其理論基礎應用到規劃、設計、運作等方面，如：號誌時制設計、路口平面交叉設計與規劃...等。我國在進行公路運輸系統之規劃、設計與運作管理時，亦採用其理論及附屬之應用軟體，但是臺灣地區除了高速公路之外，不論城際或城內公路均呈汽、機車混合行進的混合車流型態，國內的機車駕駛行為與歐美各國又有極大的差異，所以使用其模式或軟體進行預測或模擬時，會出現流量大於容量的不合理現象。本研究擬討論具有中央分隔單一車道無交叉路口且沒有路邊干擾路段的擁擠混合車流狀況。

本研究之目的在於以數學分析方法構建一以高階波動方程式為基礎的混合車流模式。混合車流方面之研究，儘管多年來有許多研究，但是仍跳脫不出跟車理論以及當量轉換的窠臼，因此與實際之應用還有段距離。本研究以波動方程式來描述，期望從另一個角度來描述混合車流，而不要採用密度或流量這些需要轉換至同一衡量基準的方法。若能成功避免使用當量轉換的困擾。本研究之目的可簡要的歸納為以下幾點：

1. 深入探討波動方程式之優缺點與應用範圍。
2. 以波動方程式建立動態混合汽機車車流模式並分析求解。
3. 將傳統以當量轉換討論車流之方式，引入不同之定義域(domain)討論。
4. 提供未來可進行或延伸之研究範圍。

三、結果與討論

本研究提出之模式為方程組：

$$\begin{aligned} k_t + q'(k)k_x &= x \\ q(k) &= Q(k) - vk_x \end{aligned}$$

$$u = u_f \left(j - \frac{k}{k_j} \right)$$

經由簡化可得到

$$c_t + cc_x = vC_{xx}$$

上述方程式可經由推導與起始條件、邊界條件得到解析解，經由實際調查較估參數得波速函數，較估方法如下圖

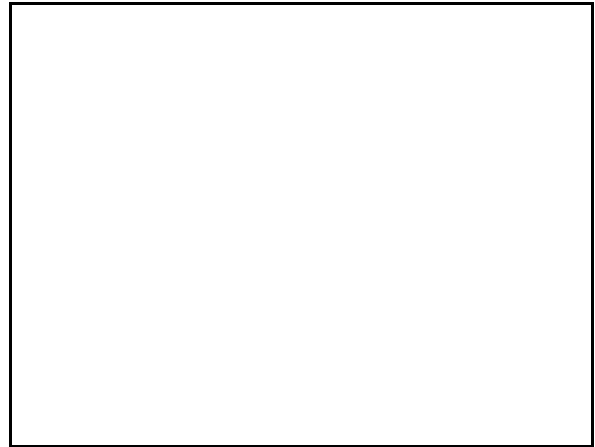


圖 1 參數較估流程

$$c(x,t) = \frac{(2.243x - 0.6013)}{(2.243t + 1)}$$

由波速與密度之關係

$$\begin{aligned} k(x,t) &= 469.73 - 5.834 \times c(x,t) \\ &= 469.73 - \frac{13.086x - 3.508}{2.243t + 1} \end{aligned}$$

本研究調查之路段選定新竹縣竹東鎮中興路三段，與民權路及民族路交叉口之間(竹東鎮中興路三段 320 號~410 號)為調查出波速，需要路段中多個地點的流量。又攝影機每部約可拍攝 60 公尺，為方便判讀，因此每部攝影機有效的拍攝範圍為 40 公尺。調查範圍共 120 公尺。攝影區段距離上游交叉路口 100 公尺，距下游路口 150 公尺，因此車輛行進速度不受號誌路口停等之影響。調查之時間為民國八十七年七月二十二日星期三下午五時十二分至七時十二分，共計兩小時。當日為晴天。

將預測結果與調查結果作一比較，在調查時間內調查密度與估計密度的 R^2 為

0.080103，相關係數為-0.28303；若各位置之調查密度平均與估計密度平均， R^2 為0.3815，相關係數為-0.6176。如表4.1所示。速度方面，在調查時間內調查速度與估計速度的 R^2 為0.001849，相關係數為-0.043；若各位置之調查速度平均與估計速度平均， R^2 為0.0576，相關係數為0.24002。由資料與現場調查時可知，調查路段的車流狀況幾乎為均勻車流，並無衝擊波之發生。儘管如此，密度與速度之變化仍然有相當的振動，行為離散，因此模式解釋與預測的能力不如理想中好。其次，模式中所用的密度速度關係式解釋能力亦不高僅有0.33，可能也是造成漸行漸遠的原因。還有，即是僅用前30分鐘的資料較估，預測後90分鐘的情況可能有所不足。另外，模式求解後未轉換為流量資料，主要原因在於轉換出之流量為前述之混合流量，如果沒有混合比例則無法確知汽車流量與機車流量分別是多少，所以意義不大，僅以密度與速度作為比較依據。然而經過實際調查比較，模式預測的能力不如理想中好。主要原因如下：

1. 參數並未隨時調整，僅用一前段時間的資料為較估依據。
2. 密度速度關係式之適用性。可能因為密度速度關係式之解釋度低而影響預測結果。關於此一方面，為巨觀模式之缺點，也就是無法對密度速度關係式的選擇給予具體行為的意義。本研究之後續研究（八十八年度之國科會計畫-流量、動量與能量守恆之車流模式）則著眼於此，期望能導出據解釋能力之巨觀模式，而非由統計數字說明。
3. 機車之行進行為為二維空間中的行為。

四、計畫成果自評

1. 本研究完全依照計畫進行，在假設車道中汽、機車混合後之車流視作另一種運

具之車流的情況下。以不因車種影響的變因「波速」，建立模式並求解分析，討論整體車流波速的變化情形。再藉由流量-密度-速度之關係，反推得密度函數。與傳統混合車流相關研究之差異在於：不需要預先知道機車之小汽車當量數即可利用模式進行動態混合車流預測。

鑑於本研究之不足，提出幾項未來之研究方向：

1. 進行多次的調查，確認模式的描述能力。以本研究之經驗，調查與資料判讀耗費的人力、物力甚巨。因此，發展可辨識汽、機車的偵測器或發展影像處理工具亦為一為來值得發展的重要課題。
2. 參數的適用延時，參數會隨著流入路段的車流型態變化而變化，若從開始就僅用一組參數，無法有效掌握動態變化。
3. 密度速度關係式之適用性。
4. 機車之行進行為為二維空間中的行為。

應用模式之發展。本研究為均勻車流之模式，僅能作為描述車流狀況而用，尚無法作為號誌設計等交通控制之應用。因此，發展相關之應用模式亦為一未來之重要研究課題。

五、參考文獻

- [1] Beltrami, E. J., Mathematics for Dynamic Modeling, San Diego, Academic Press Inc., 1987.
- [2] Brekhorskikh, L. M., and Goncharov, V., Mechanics of Continua And Wave Dynamics, New York, Springer-Verlag Inc., 1994.
- [3] Daganzo, G. F., "A Finite Difference Approximation of The Kinematics Wave Model of Traffic Flow", Transportation Research B, Vol.29B, No.4, pp.261-276, 1995.
- [4] Daganzo, G. F., "Requiem for Second-Order Fluid Approximations of Traffic Flow", Transportation Research B, Vol.29B, No.4, pp.277-286, 1995.

- [5] Gerlough, D. L., and Huber, M. J., Traffic Flow Theory, Washington, D. L., Transportation Research Board National Research Council, 1975.
- [6] Haberman, R., Mathematical Models-Mechanical Vibrations, Population Dynamics, and Traffic Flow, New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1977.
- [7] Hirsch, M. W., and Smale, S., Differential Equations, Dynamical Systems, And Linear Algebra, University of California, Berkeley, 1970.
- [8] Leutzbach, W., Introduction to the Theory of Traffic Flow, New York, Springer-Verlag Inc., 1988.
- [9] Lighthill, M. J., and Whitham, G. B., “*On Kinematics Waves I. Flood Movement in Long Rivers*”, London, Proceedings Royal Society, A229, pp. 281-316, 1955.
- [10] Lighthill, M. J., and Whitham, G. B., “*On Kinematics Waves II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Road*”, London, Proceedings Royal Society, A229, pp. 317-345, 1955.
- [11] May, A. D., Traffic Flow Fundamentals, New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1990.
- [12] Newell, G. F., Theory of Highway Traffic Flow 1945-1965, Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley.
- [13] Newell, G. F., “*A Simplified Theory of Kinematics Waves in Highway Traffic, Part I: General Theory*”, Transportation Research B, Vol. 27B, No. 4, pp. 281-287, 1993.
- [14] Newell, G. F., “*A Simplified Theory of Kinematics Waves in Highway Traffic, Part II: Queueing at Freeway Bottlenecks*”, Transportation Research B, Vol. 27B, No. 4, pp. 289-303, 1993.
- [15] Newell, G. F., “*A Simplified Theory of Kinematics Waves in Highway Traffic, Part III: Multi-Destination Flows*”, Transportation Research B, Vol. 27B, No. 4, pp. 305-313, 1993.
- [16] Payne, H. J., “Models of freeway traffic and control”, Math. Models Publ. Sys. Simul. Council Proc., 28, 51-61. (1971).
- [17] Smoller, J., Shock Waves And Reaction-Diffusion Equation, New York, Springer-Verlag Inc., 1983.
- [18] Tu, Pierre N. V., Dynamical Systems: An Introduction with Applications in Economics And Biology, Springer-Verlag Inc., 1994.
- [19] Whitham, G. B., Linear and Nonlinear Wave, New York, John Wiley and Sons Inc., 1974.
- [20] 吳水威, “混合車流之模擬”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1975。
- [21] 吳作炯, “混合車流特性調查分析及右轉車當量模擬研究”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1983。
- [22] 胡守任, “混合車流路段車隊擴散模式之研究”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1991。
- [23] 郭敏能, “慢車道混合車流特性之研究”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1976。
- [24] 陳志偉, “混合車流在圓環交叉路口之模擬研究”, 國立交通大學交通運輸研究所碩士論文, 1987。
- [25] 陳世泉, “混合車流中機車駕駛行為之分析”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1993。
- [26] 黃國平, “混合車流二維座標模擬模式之建立及驗證”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1983。
- [27] 游淑玲, “混合車流駕駛行為對道路容量及服務水準影響之研究”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1993。
- [28] 葉梓銓, “混合車流狀況下公車進出車站對交叉路口容量影響之研究”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1988。
- [29] 魏建宏, “混合車流狀況下市區道路V/C比值與車流延滯關係研究”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1984。
- [30] 顏上堯, “混合車流狀況下市區號誌交叉口車流運轉特性及容量參數之研究”, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文, 1987。