

文章编号:1673-9469(2008)02-0017-04

## 快速路入口匝道控制对交通系统的影响分析

郑建湖,伍雄斌,文子娟

(闽江学院 汽车系,福建 福州 350108)

**摘要:**快速路是城市交通系统的一个重要组成部分,随着交通量的不断增长,快速路交通拥挤现象屡见不鲜。入口匝道控制是缓解城市快速路交通拥挤最为有效的措施之一。本文阐述了快速路入口匝道控制的基本作用,指出了影响入口匝道调节率的主要因素,分别从入口匝道控制对快速路、地面道路和交通通道可能产生的影响进行全面的分析,并提出了相应的控制策略。

**关键词:**匝道控制;集成控制;交通拥挤;快速路

**中图分类号:** U491.5+4

**文献标识码:** A

### Analysis of on-ramp metering impact on transportation system

ZHENG Jian-hu, WU Xiong-bin, WEN Zi-juan

(Department of Automotive Engineering, Minjiang University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** Freeway is a key component of urban transportation system. With the rapid growth of traffic volume, traffic congestion occurs frequently. Ramp metering is one of the most effective measures to combat traffic congestion on urban freeway. The fundamental function of ramp metering of urban freeway is expounded, and the key factors which determine the metering rate are pointed out. The impacts of ramp metering on freeway, surface road and traffic corridor are analyzed completely. Meanwhile, corresponding control strategies are put forward.

**Key words:** ramp metering; intelligent control; traffic congestion; freeway

城市快速路是指位于城市内适应机动车快速通行的道路。它具有全程无交叉口,以互通式立体交叉或进出口匝道与城市地面道路相连接,且匝道间距比城市间高速公路短、只允许机动车行驶、车辆行驶速度高等特点。按照设计标准,城市快速路应能为车辆提供快速、高效、舒适、安全的行驶环境,但随着经济的快速发展,机动车辆急剧增多,加上快速路对出行者的吸引力,大量车流涌入快速路,致使快速路交通需求超过交通供给,交通阻塞现象屡见不鲜。入口匝道控制被公认为是解决快速路交通拥挤最为有效的措施之一,在许多国家已得到广泛地应用。

快速路交通系统是整个城市交通系统的一个组成部分,实施入口匝道控制势必对其它交通状况产生一定的影响。实践表明,采用合理的入口匝道控制策略对改善快速路和普通道路的交通状

况都有益处。因此,对入口匝道控制可能产生的交通影响问题进行分析,进而采取相应的控制策略,对改善城市交通系统具有十分重要的意义。

### 1 入口匝道控制的基本作用

城市快速路入口匝道控制的作用主要有两种不同的观点,一种观点认为入口匝道控制非常重要,能在很大程度上提高快速路的利用效率,从而提高整个城市交通网络的运行效率。另一种观点则对入口匝道控制的作用持怀疑态度。

城市快速路入口匝道一般都与地面道路的交叉口相衔接,实施入口匝道控制导致部分交通流从快速路向地面道路分流,使地面道路的交通负荷增加,从而加剧了地面道路交叉口的交通拥挤,抵消了快速路上所取得的成效。再就是会造成入

收稿日期:2007-11-26

基金项目:福建省青年人才项目(2007F3078);福建省资助省属高校项目(2007F5083)

作者简介:郑建湖(1975-),男,福建福州人,工学博士,讲师,从事交通信息工程及控制的研究。

口匝道车辆排队延误的增加,从而抵消了快速路上所取得的成效。

其实,入口匝道控制对交通系统产生的作用主要取决于控制策略的好坏,一个合理的匝道控制策略概括起来有以下几个作用:

- 1)减少或消除交通拥挤的发生。
- 2)降低事故率,提高交通安全。
- 3)减少总的旅行时间,提高服务水平。
- 4)有效的使用道路容量,改善整个城市交通系统。

### 2 入口匝道控制对交通系统的影响

快速路是整个城市交通系统的一个组成部分,实施入口匝道控制势必对其它交通状况产生一定的影响。为了更有效地实施入口匝道控制,对入口匝道控制可能对其它交通状况产生的影响问题进行分析,并指出其原因,以便采取相应的管理和控制措施。

#### 2.1 影响调节率的主要因素

入口匝道调节率的大小主要受两个因素的影响,即快速路主线交通状况和入口匝道处的车辆排队长度:

1)从入口匝道控制的原理看出,当快速路交通流量比较低时采用比较大的调节率;当快速路交通比较拥挤时采用较小的调节率;当快速路交通等于或已经超过它的通行能力时,原则上入口匝道调节率应为零,即关闭匝道。但实践经验表明,入口匝道控制必须设定一个最小调节率,原因是当入口匝道调节率小于某一个固定值时,车辆在入口匝道的等待时间将超过驾驶员的承受能力,此时驾驶员可能认为信号灯故障而强行进入快速路,最小调节率一般大于或等于 180 辆/小时·车道。

2)入口匝道排队长度也是影响入口匝道调节率大小的一个主要因素,当入口匝道车辆排队长度较长时,应采用较大的调节率。

#### 2.2 匝道控制对快速路交通的影响

图 1 为一个简单的快速路交通系统,假设  $d_i$  为交通需求,  $s_i$  为从快速路流出的交通量(流出量)。

在一天内快速路交通系统的交通需求之和等于从交通系统流出的交通量之和,即流量守恒定律,可得  $\sum_{i=0}^n d_i = \sum_{i=0}^n s_i$ 。

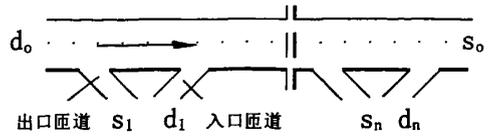


图1 快速路交通系统  
Fig.1 Freeway transportation system

因此,车辆越早离开快速路交通网络,车辆所花费的总时间就越少。入口匝道控制的目的是增加整个快速路系统的流出量,从而达到减少总的花费时间。车辆在快速路系统内总的花费时间  $T_s$  可用式(1)来表示

$$T_s = T \sum_{k=1}^K N(k) \tag{1}$$

式中  $N(k)$ — $k$  时段内快速路系统的车辆总数;  
 $T$ —控制周期。

根据流量守恒定律

$$N(k) = N(k-1) + T[d(k-1) - s(k-1)] =$$

$$N(0) + T \sum_{k=0}^{k-1} [d(k) - s(k)] \tag{2}$$

联合式(1)和式(2)可得系统总的花费时间  $T_s$

$$T_s = T \sum_{k=1}^K [N(0) + T \sum_{k=0}^{k-1} d(k) - T \sum_{k=0}^{k-1} s(k)] \tag{3}$$

式(3)的前两项不受交通控制措施的影响,因此最小化系统总的花费时间相当于最大化快速路系统的流出量。

当快速路上游交通需求  $q_{in}$  与入口匝道交通需求  $d$  之和小于快速路路段的交通容量  $q_{cap}$ ,快速路不会产生交通拥挤,也就不需要交通控制。

这里研究入口匝道在快速路交通拥挤的情况下,即  $q_{in} + d > q_{cap}$ ,入口匝道控制对减少系统总的花费时间所产生的作用。在快速路交通拥挤的情况下,如果没有入口匝道控制,快速路主线将产生交通拥挤,如图 2 所示。

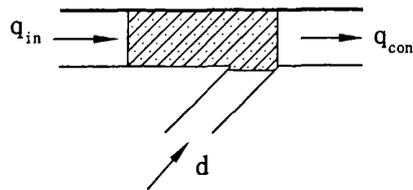


图2 无控制时快速路交通拥挤示意图  
Fig.2 Illustration of freeway congestion without control

快速路交通拥挤导致快速路服务水平下降,快速路的实际通行能力  $q_{con}$  小于  $q_{cap}$ 。在施加入口匝道控制的情况下,由于入口匝道控制限制进入

快速路的交通量,使快速路上的交通运行在最佳状态附近,快速路主线不会产生交通拥挤,此时入口匝道将产生排队现象,如图3所示。

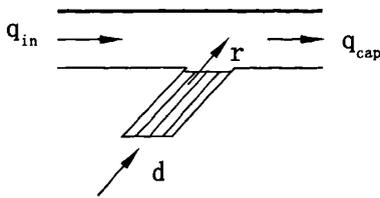


图3 有控制时快速路交通拥挤示意图

Fig. 3 Illustration of freeway congestion with control

单匝道控制是通过限制进入快速路的交通量,使得快速路主线上的交通流不超过其临界状态,从而保证交通流运行在最佳状态附近。图4为快速路交通拥挤示意图,假设在第 $i$ 个入口匝道附近产生交通拥挤,如图中的阴影部分所示,此时通常采取的措施是减小第 $i$ 个入口匝道调节率,由于从第 $i$ 个入口匝道进入快速路的交通还存在一定的需求,此时又不得不采用一定的入口匝道调节率,于是快速路主线上的交通拥挤逐渐向上游扩散,直至第 $i-1$ 入口匝道,或者扩散到更上游的几个入口匝道。

单匝道控制仅根据自身匝道周围的交通状况来确定入口匝道调节率,而没有考虑快速路上其它入口匝道交通状况的相互影响。事实上,快速路各匝道间的交通状况是相互影响,互相作用的,因此实施多匝道协调控制是十分必要的。

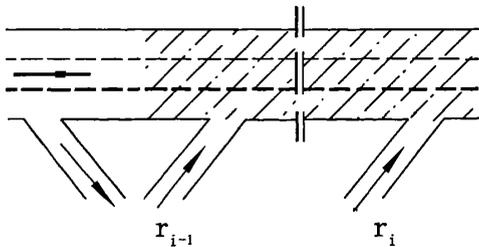


图4 交通拥挤形成示意图

Fig. 4 Illustration of congestion formation

### 2.3 匝道控制对地面交通的影响

入口匝道控制是以减少快速路上的行驶时间来补偿在受控匝道上的车辆延误时间,虽然交通系统中局部交通可能恶化,但对整个交通系统来说却有显著的改善,匝道控制的效果取决于快速路和替换路线的交通状况。入口匝道控制对地面

道路交通的影响是两面的。

1)入口匝道控制通过限制进入快速路的交通量,导致部分驾驶员不选择快速路而选择地面道路行驶,增加了地面道路的交通负荷,从而造成地面道路交通的拥挤。

2)采用有效的入口匝道控制策略使得快速路上的交通运行在良好的状态,快速路的流出量将增大,这会从地面道路吸引更多的车辆利用快速路,减少了地面道路的交通负荷,从而减轻了整个交通系统的拥挤。

在交通高峰时,由于入口匝道控制导致入口匝道车辆排队现象,给地面道路带来一定的负面影响。但是由于快速路的高效利用,使得快速路能承担更多的交通需求,从而吸引更多的地面道路车辆驶向快速路,这样良性循环,导致整个交通系统得到改善。在巴黎的环城高速公路现场实验表明:入口匝道控制对快速路的总花费时间改善8.1%,对地面道路的总花费时间改善达6.1%,对整个交通系统的总花费时间改善为6.9%。

城市快速路是整个城市交通大系统的一个重要组成部分,由于其构造特点,决定了城市快速路的交通状况受进出口匝道以及与之关联的地面道路交通状况的影响,主要体现在以下两个方面:

第一,由于进口匝道处的车辆超长排队,甚至延伸至地面道路上,严重地影响地面道路的正常交通。第二,因出口匝道的流出需求大于与之关联的地面道路所能接受的服务能力时,出口匝道处出现排队甚至延伸到主线上,造成快速路主线交通阻塞问题。

由此可见,入口匝道控制必须与地面道路交叉口的信号控制进行有效的集成,才能使整个城市交通系统获得最佳的交通性能。集成控制的基本思想是当入口匝道出现超长排队现象时,一方面增大入口匝道调节率,另一方面可延长交叉口通往入口匝道方向的车流相位红灯时间,或缩短该相位的绿灯时间。

### 2.4 匝道控制对整个交通通道的影响

城市快速路是整个城市交通大系统的一个重要组成部分,由于其构造上的特点,决定了城市快速路的交通状况受进出口匝道以及与之关联的地面道路交通状况的影响。快速路交通的恶化使得地面道路能从入口匝道进入快速路的车辆减少,从而导致地面道路交通恶化。反之,地面道路交通的恶化,使得快速路能从出口匝道进入地面道

路的车辆减少,从而导致快速路交通进一步恶化,如此循环,导致整个城市交通系统不断恶化,运行效率难以得到充分的发挥。因此,为了有效地解决城市快速路的交通问题,必须从整个快速路交通通道出发,综合采用各种交通控制措施,对快速路交通通道进行有效的集成控制。

交通通道集成控制策略就是要综合考虑主线交通控制、入口匝道控制、路线诱导以及地面道路交叉口的信号控制等交通控制方法。通过对地面道路、出入口匝道及快速路的交通状况分析,向驾驶员提供路径选择方案,使驾驶员朝着通行能力更富余的路线行驶,从而保证整个快速路交通通道内的交通运转比较均衡。

Diakaki 提出了一种包括入口匝道控制、地面道路信号控制和路径诱导相结合的通道集成控制策略,其中入口匝道控制采用 ALINEA 算法,地面道路信号控制采用改进的定时控制方法,路径诱导采用的是基于用户最优的动态反馈算法。仿真结果表明,单独采用入口匝道控制可以减少总旅行时间达 15%,采用入口匝道控制和路径诱导能减少总旅行时间达 19%,采用入口匝道控制、地面道路信号控制和路径诱导相结合的集成控制,可减少总旅行时间达 26%。在 Glasgow 的实际应用中也取得了良好的控制效果,但该控制策略并没有考虑各控制方式之间的相互影响和协调。1994 年 Papageogiou 提出了理论上完全集成的控制策略,但由于集成控制问题的高度复杂性,真正意义上的通道集成控制策略还没有在实际中得到应用。

由于通道集成控制需要大量的交通数据,对这些数据的融合与计算有相当大的困难。但是随着检测、通信、计算机技术的不断进步,获取实时交通信息的手段不断完善,一些重要的交通数据,如 O-D 矩阵,行车速度,车辆类型,转弯概率等,都可通过检测到的交通数据进行估算,这些数据为实现快速路交通通道集成控制奠定了基础。

### 3 结语

1)从匝道控制对快速路主线交通的影响分析可知,当快速路主线产生交通拥挤时,交通拥挤会逐渐向上游扩散,直至扩散到更上游的几个入口匝道,可见入口匝道间的交通状况是相互影响的。因此,仅根据某个匝道周围的交通状况来确定入口匝道调节率,对缓解快速路交通拥挤具有一定

的局限性,实施多匝道协调控制才能取得更好的控制效果。

2)匝道控制对地面道路的交通会产生一定的影响,入口匝道控制必须与地面道路交叉口信号控制相协调,保证快速路与地面道路上的交通均衡,从而提高交通运行效率。

### 参考文献:

- [1] LIPP L, CORCORAN L, HICHMAN G. Benefits of central computer control for denver ramp - metering system [J]. Transportation Research Record, 1991, 1320: 3 - 6.
- [2] PAPAGEORGIU M, HADJ SALEM H. Middelham ALINEA local ramp metering - summary of field results[J]. Transportation Research Record, 1998, 1603: 90 - 98.
- [3] PAPAGEORGIU M, APOSTOLOS KOTSIALOS. Freeway ramp metering: an overview[J]. IEEE Transactions on Intelligent, Transportation Systems, 2002, 3(4):1 - 28.
- [4] HADJ SALEM H, PAPAGEOGIOU M. Ramp metering impact on urban corridor traffic: field results [J]. Transportation Research A, 1995, 29A (4): 303 - 319.
- [5] REBECCA PEARSON, JUSTIN BLACK, JOE WANAT. Intelligent transportation systems - ramp metering [N/OL]. <http://www.calccit.org/itsdecision/serv-and-tech/Ramp-metering/ramprep-print.htm#r-intro>
- [6] 陈德望,李灵犀,刘小明,等. 城市高速道路交通控制方法研究的回顾与展望[J]. 信息与控制, 2002, 31(4):341 - 345.
- [7] VAN AERDE M. A review of candidate of freeway - arterial corridor traffic models [M]. Transportation Research Record, 1987.
- [8] HAN B, REISS R. Coordinating ramp meter operation with an upstream intersection traffic signal [C]. 73rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D C, 1994.
- [9] CHRISTINA DIAKAKI, PAPAGEOGIOU M. Simulation studies of integrated corridor control in Glasgow [J]. Transportation Research Part C, 1997, 5(3/4):211 - 224.
- [10] PAPAGEOGIOU M, MESSMER A. Dynamic network traffic assignment and route guidance via feedback regulation [J]. Transportation Research Record, 1991, 1306:49 - 58.
- [11] DIAKAKI C, PAPAGEOGIOU M, MCLEAN T. Application and evaluation of the integrated traffic responsive urban control strategy IN - TUC in Glasgow [C]. The 78th Annual Meeting of the TRB, Warshington, D. C., USA, 1999.
- [12] PAPAGEOGIOU M. An integrated control approach for traffic corridors [J]. Transportation Research Part C, 1995, 3(1):19 - 30.

# 快速路入口匝道控制对交通系统的影响分析

作者: 郑建湖, 伍雄斌, 文子娟, ZHENG Jian-hu, WU Xiong-bin, WEN Zi-juan  
作者单位: 闽江学院, 汽车系, 福建, 福州, 350108  
刊名: 河北工程大学学报(自然科学版)   
英文刊名: JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING (NATURAL SCIENCE EDITION)  
年, 卷(期): 2008, 25 (2)

## 参考文献(12条)

1. LIPP L;CORCORAN L;HICHMAN G [Benefits of central computer control for denver ramp-metering system](#) 1991
2. PAPAGEORGIOU M;HADJ SALEM H [Middelham ALINEA local ramp metering-summary of field results](#) 1998
3. PAPAGEORGIOU M;APOSTOLOS KOTSIALOS [Freeway ramp metering:an overview](#) 2002(04)
4. HADJ SALEM H;PAPAGEOGIOU M [Ramp metering impact on urban corridor traffic:field results](#)[外文期刊] 1995(04)
5. REBECCA PEARSON;JUSTIN BLACK;JOE WANAT [Intelligent transportation systems-ramp metering](#)
6. 陈德望;李灵犀;刘小明 [城市高速道路交通控制方法研究的回顾与展望](#)[期刊论文]-[信息与控制](#) 2002(04)
7. VAN AERDE M [A review of candidate of freeway-arterial corridor traffic models](#) 1987
8. HAN B;REISS R [Coordinating ramp meter operation with an upstream intersection traffic signal](#) 1994
9. CHRISTINA DIAKAKI;PAPAGEOGIOU M [Simulation studies of integrated corridor control in Glasgow](#)[外文期刊] 1997(3-4)
10. PAPAGEOGIOU M;MESSMER A [Dynamic network traffic assignment and route guidance via feedback regulation](#) 1991
11. DIAKAKI C;PAPAGEOGIOU M;MCLEAN T [Application and evaluation of the integrated tragic responsive urban control strategy IN-TUC in Glasgow](#) 1999
12. PAPAGEOGIOU M [An integrated control approach for traffic corridors](#)[外文期刊] 1995(01)

## 本文读者也读过(10条)

1. 聂磊, 杨晓光, 庄斌, 杨晓芳, 汪涛, NIE Lei, YANG Xiaoguang, ZHUANG Bin, YANG Xiaofang, WANG Tao [快速路入口匝道控制适应性研究](#)[期刊论文]-[交通与计算机](#)2006, 24(3)
2. 郑建湖, 董德存, 陈洪, Zheng Jianhu, Dong Decun, Chen Hong [城市快速路入口匝道控制策略比较分析](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#)2006, 14(2)
3. 胡兴华, 杨继明, HU Xing-hua, YANG Ji-ming [城市快速路入口匝道控制方案研究](#)[期刊论文]-[西华大学学报\(自然科学版\)](#) 2009, 28(4)
4. 陆克丽霞, 杜豫川, 孙立军, LUKE Lixia, DU Yuchuan, SUN Lijun [上海快速路入口匝道自动控制系统设计及评价](#)[期刊论文]-[交通与计算机](#)2008, 26(1)
5. 陈小峰, ZHENG Jian-hu, CHEN Xiao-feng, ZHENG Jian-hu [城市快速路入口匝道控制系统](#)[期刊论文]-[陕西理工学院学报\(自然科学版\)](#) 2008, 24(2)
6. 张永忠, 石宇航, 李正熙, Zhang Yongzhong, Shi Yuhang, Li Zhengxi [一种城市快速路入口匝道控制改进算法](#)[期刊论文]-[北方工业大学学报](#)2008, 20(3)
7. 陈学文, 田傲霜, CHEN Xue-wen, TIAN Ao-shuang [基于ANN城市快速路入口匝道控制](#)[期刊论文]-[辽宁工业大学学报](#)2008, 28(5)
8. 田晟, 许伦辉, 廖燃焜, 杨亚琛, Tian Sheng, Xu Lun-hui, Liao Ran-kun, Yang Ya-zao [优先放行的环形快速路入口](#)

匝道控制[期刊论文]-华南理工大学学报（自然科学版） 2010, 38(3)

9. 陆克丽霞, 杜豫川, 孙立军, LU Kelixia, DU Yuchuan, SUN Lijun 基于ALINEA算法的上海快速路入口匝道控制方法  
[期刊论文]-同济大学学报（自然科学版） 2009, 37(2)
10. 崔仲远 快速路入口匝道控制评价[学位论文]2008

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hbjzkjxyxb200802005.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200802005.aspx)