

快速路匝道汇入方案优化及软件仿真

何福男

(苏州工业职业技术学院 软件与服务外包学院, 江苏 苏州 215104)

摘要:针对城市快速路交通压力日益增长, 匝道汇入处经常形成拥堵、交通事故频发等现状, 结合当前城市快速路现状, 通过理论计算和仿真实验方法, 对现有汇入方案进行分析和优化, 提出了“限速增道”汇入方案. 方案在匝道汇入处采取隔离和限制措施, 适当减少主、匝道车道宽度, 降低车辆速度, 引主导、匝道车辆各行其道, 减少相互干扰, 最终达到提高汇入处通行能力的目的. 仿真实验数据显示, 方案的单位时间车流量、通行速度、排队长度等交通指标均明显优于其它方案, 效果明显. “限速增道”方案在现有车道宽度较宽的城市快速路上可以采用.

关键词:公路运输; 匝道汇入方案; 限速增道; 快速路; 通行能力

中图分类号: U412.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9102(2013)03-0083-05

随着经济快速发展, 城市交通压力不断增加^[1], 为此各大中城市纷纷建设城市轨道交通和快速道路, 以缓解交流压力, 满足市民的日常出行需求. 但是事实证明, 快速道路也普遍存在着拥挤和堵塞现象. 匝道入口、匝道出口和出口下游连接区域是快速路的瓶颈区域, 也是拥堵现象的高发区. 如何在已建成快速路的现有条件下, 通过改善汇入汇出方案、车道设置来提高城市快速路的通行能力, 成为一个非常现实的课题. 文献[2]等对高架道路匝道位置与路网性能的关系进行了研究, 并证实匝道位置影响路网性能; 文献[3]等通过控制入口匝道车辆数量, 来维持干线最大流量, 并尽可能地减少匝道车辆排队长度.

本文通过研究已建成快速路的主要技术指标, 提出新的快速路匝道汇入方案, 以期提高快速路汇入区的通行能力.

1 城市快速路现状分析

1.1 建设标准高

上海、广州、杭州、苏州等城市快速路普遍采用较高的道路标准建设, 一般高架道路都为双向六车

道或八车道. 以苏州为例, 高架部分为双向六车道, 路宽 26 m, 单向车道净宽 11.25 m, 绝大多数路段的单车道宽度达 3.75 m; 地面快速路为双向八车道, 单向机动车道净宽 15.5 m, 平均每车道宽达 3.85 m^[4]. 这些指标大都高于美国等发达国家.

1.2 匝道密集

城市快速路是城市道路的拓展, 它必需要与需市现有路网相联. 因此往往在城市的主干道、城乡结合部交通枢纽等处设置汇入和汇出道口. 城市快速路 2 个汇入口或 2 个汇出口之间的距离一般都在 3~5 km 之内, 以苏州市已建成快速路为例, 全长近 70 km, 共有入口匝道 27 个、出口匝道 26 个, 平均 2.5 km 就有一个出口或入口. 2 个相邻入口和出口之间的距离更近, 往往只有 200~500 m 左右^[1]. 城市快速路的匝道密集特征, 使得汇入、汇出车流间的相互影响很大, 这种近似高速公路的高车速和城市道路的密集车流综合在一起, 往往导致高事故率. 一旦发生交流事故, 又会很快导致交通堵塞, 使城市快速路的通行能力急剧下降.

1.3 通行压力大

城市快速路已成为各城市交通的主干道, 承担

收稿日期: 2013-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(61272258)

通信作者: 何福男(1968-), 男, 江苏苏州人, 副教授, 主要从事智能算法、智能教学、智能交通研究. E-mail: hefnn@siit.cn

着巨大的交通压力.以苏州为例,环城高速日均通行车辆数已超 50 万辆^[5],平均每入口的日均通行车辆数超 1.85 万辆,每入口流量已超 770 pcu/h,因此在高峰时段出现拥堵现象也就不足为奇了.

2 汇入方案

随着城市快速路流量的上升,其交通压力日益增强,交通事故频发,交通拥堵现象时有发生.快速路交通事故主要发生在入道、出道口,合计占 90%^[6],因此入道、出道口附近是快速路拥堵现象的主要形成点.可见优化汇入、汇出方案,对改善快速路通行能力有重要意义.

本文将通过改变匝道入口的汇入方案,来改善快速路的通行状况.

2.1 自然汇入

自然汇入方法如图 1 所示,是指入口匝道直接与主干道相联,除必要的交通标识线之外,对主干道、匝道车辆不采取任何限制措施.这种汇入方法在高速公路、早期快速路上被广泛采用.随着交通流量的增加,匝道车流对主干道车流干扰逐渐增加,使匝道口成为追尾、碰擦事故高发地和交通拥堵形成点.

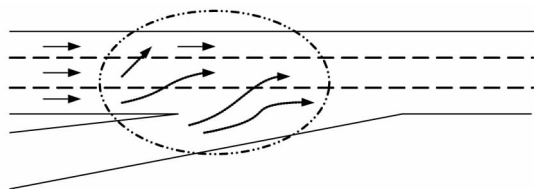


图 1 自然汇入
Fig. 1 Natural import

2.2 限流汇入

限流汇入如图 2 所示,是指在匝道与主干道交接处,设置隔离桩,使匝道车辆合成一股后,于匝道路口的尾端进入主干道外侧车道.这种方法也被部分城市命名为喇叭口汇入法^[5].与自然汇入法相比,这种方法能减少匝道车流对主干道车流的干扰,但是,这种方法并不能完全消除干扰,主干道车辆为避让匝道车辆,势必会使主干道车辆依次从外侧挤向内.此方案在主干道和匝道上均有交通拥堵形成点.

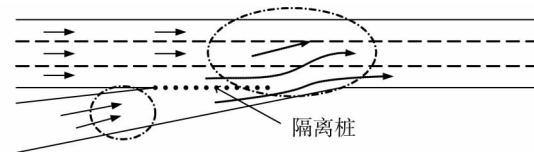


图 2 限流汇入(喇叭口汇入)
Fig. 2 Limiting import (horn import)

2.3 限速增道汇入

经对多地多外城市快速路及其匝道的实地考察

和测量,参照近几年相关研究成果,本文提出限速增道汇入方法,如图 3 所示.

此法针对汇入、汇出区车速本身较慢的特点,在匝道口附近,适当压缩主干道的车道宽,努力在主干道挤出一条“新”车道供匝道汇入车辆使用.

收窄车道,可使主干道车速适当降低;同时采取了隔离措施,可避免匝道车流对主干道车流产生直接影响.两者结合,当可有效降低车辆碰擦的概率.但是,它与限流汇入一样,对匝道车辆依旧使用限流措施,因此,在匝道上依旧会形成拥堵点.

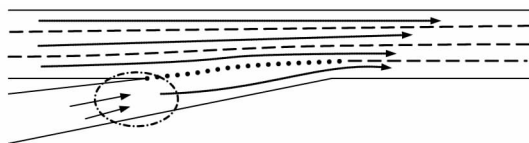


图 3 限速增道汇入

Fig. 3 Speed limits and Increasing Lane import

3 可行性分析

要实现限速增道汇入方案,首先要有足够的道路宽度,在保证道路畅通的情况下增加一条以上车道.正如前文所述,上海、南京、苏州等大中城市的城市快速路普遍采用较高的建设标准,一般都为双向六车道以上,绝大多数路段的单车道宽度达 3.75 m.这使得城市快速路设计车速可以达到 80 km/h.

对于原来三车道每道宽 3.75 m 的道路,如果改为四车道,每道宽度将是 2.812 5 m,这样的道宽能否保证车辆正常通行呢?大量的研究和事实证明了这种设想的可行性和可靠性.

我国现有公路的车道宽度,一般设计时速在 40 km/h 以上时,道宽取 3.75 m,时速在 40 km/h 以上时,道宽取 3.5 m^[7].这一标准的依据是波良可夫公式:

$$\begin{aligned} x &= 0.7 + 0.02(v_1 + v_2)^{0.75}; \\ d &= 0.7 + 0.02v^{0.75}; \\ c &= 0.4 + 0.02v^{0.75}. \end{aligned} \quad (1)$$

式中: x 为对向行车的横向安全距离(m); d 为同向行车的横向安全距离(m); c 为车辆与路缘石之间的横向安全距离(m); v_1, v_2, v 为车速(km/h).

此公式提出时,无论是车辆构成、还是车辆性能都无法和当今相比,此公式所适用的车辆也与大型车为主,显然,将此式应用于以小型车为主的城市快速路并不科学,更不经济.众多学者纷纷提出了改良的波良可夫公式,其中文献[8]用数码摄像方式进行实地统计,并提出修正公式:

$$\begin{aligned} x &= 0.9 + 0.06(v_1 + v_2)^{0.5}; \\ d &= 0.6 + 0.06v^{0.5}; \\ c &= 0.3 + 0.005v. \end{aligned} \quad (2)$$

文献[9]主要对中间车道宽度和路边缘车道宽

度运用统计学和散点分布图进行最小二乘拟合法提出了修正公式:

$$d = 0.58 + 0.0589v^{0.509};$$

$$c = 0.3 + 0.05v. \quad (3)$$

按该文献观点,城市生活性主干道小型车车道宽度仅需 2.6~2.65 m(小型车宽以 1.6 m 计, V_{85} 为 45 km/h).

北京市在多年前已将局部道路车道宽度由 3.75 m 改成 2.8 m,且经实践证明通行能力增强^[10].文献[11]对上海市 11 个左转车道的实际测量,得到了一组非常有意思的数据:最大的实测饱和流量出现在最窄的、道宽仅 2.8 m 车道上,达到了 1 830 pcu/h.文献[12]对上海市高架路匝道进行实际测量,得出在道宽 2.8 m,车流量 1 200 pcu/h 时, V_{85} 达到了 59.6 km/h.

世界很多国家的车道宽度普遍低于我国,如美国曾将休斯顿 59 号州际公路的车道宽度降为 3.2 m,高峰时段通行能力反而提高了近 6%^[13].埃及学者对埃及曼努菲亚省 12 条农村双车道路段数据进行研究^[14],发现车道宽度对通行能力的影响要远低于道路的曲线半径.

可见众多的理论研究和实际情况证明了适当缩小道宽,能有效提高道路通行能力.本文方法仅在匝道入口处适当减少道宽,增加车道,应是非常有针对性的措施,能有效缓解汇入口的交通压力.

4 仿真

为验证以上方案的有效性,本文使用 VISSIM

软件进行了仿真. VISSIM 是由德国 PTV 公司开发的微观交通流仿真系统.在业内广泛使用,仿真结果接近现实,具有高可靠性.

本文以苏州北环快速路桐径北路西侧入口为原型进行仿真设置,该入口交通需求量大,以往在没有采取措施时,主干道经常发生拥堵现象;在采取汇入口匝道限流汇入措施后,主干道拥堵现象有所缓解,但是匝道上却产生了严重的堵塞现象.

仿真路网设置为:考虑到一般性,匝道与主干道汇入口有效宽度 L_b 为 100 m,匝道长、主干道上游长 L_a 为 150 m,主干道下游长为 100 m;主干道为双向六车道,每车道宽 3.75 m;匝道为两车道,道宽 3.5 m.详见图 4.

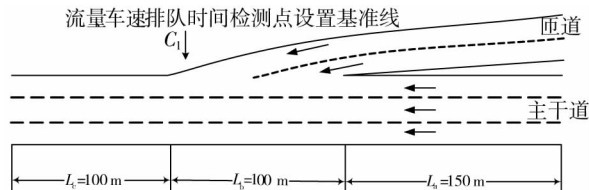


图 4 仿真道口基本情况

Fig. 4 The basic situation of the simulation crossing

仿真在汇入口的尾端设置数据检测点(图 4 中的 C_1 线),仿真时长 600 s.由于快速路车速总体较快,因此采用 Wiedemann 99 跟车模型,考虑到安全性,将最小时距设为 2.5 s.

车流量、车速、排队时间仿真的结果表 1 和表 2.

表 1 3 种汇入方案流量、车速、排队时间仿真结果

Tab.1 The simulation results of flow, speed, queuing time of different schemes

| 车辆输入量/(pcu/h) | | 汇入方案 | 车流量/辆 | | | 车速/(km/h) | |
|---------------|-------|--------|-------|-----|-----|-----------|------|
| 主干道 | 匝道 | | 主干道 | 匝道 | 合计 | 主干道 | 匝道 |
| 4 500 | 2 400 | 自由汇入 | 396 | 240 | 636 | 20.2 | 20.4 |
| | | 限流汇入 | 428 | 197 | 625 | 21.8 | 15.5 |
| | | 限速增道汇入 | 522 | 252 | 774 | 39.4 | 21.4 |
| 3 600 | 2 400 | 自由汇入 | 400 | 239 | 639 | 21.2 | 20.0 |
| | | 限流汇入 | 426 | 196 | 622 | 22.4 | 16.4 |
| | | 限速增道汇入 | 513 | 252 | 765 | 40.9 | 20.4 |
| 3 000 | 2 000 | 自由汇入 | 397 | 239 | 636 | 24.1 | 23.4 |
| | | 限流汇入 | 428 | 197 | 625 | 24.2 | 17.1 |
| | | 限速增道汇入 | 472 | 270 | 742 | 44.8 | 24.6 |
| 2 400 | 1 600 | 自由汇入 | 375 | 239 | 614 | 48.2 | 48.6 |
| | | 限流汇入 | 401 | 202 | 603 | 39.3 | 19.4 |
| | | 限速增道汇入 | 377 | 256 | 633 | 50.4 | 48.8 |

由于主干道单车道输入量在 1 500 pcu/h 以上时,实验数据变化不大,所以为节约篇幅,相关数据没有列入.

从表 1 可知,3 种汇入方案中,限流汇入方案的

主干道通行能力高于自由汇入,但是总体通行能力低于自由汇入,限流汇入方案对匝道的压制作用太大,即便是单车道交通输入量降为 800 pcu/h 时,其速度远低于另 2 种方案,而排队时间远高于另 2 种

方案. 限速增道汇入方案主干道和匝道的车流量都优于另外 2 种方案, 在不同的交通输入量下, 该方案

的车速明显高于另 2 种方案, 排队时间远远低于另 2 种方案.

表 2 3 种汇入方案排队情况仿真结果
Tab. 2 The simulation results of queue of different schemes

| 车流输入量/(pcu/h) | | 汇入方案 | 车道 | 排队长度/m | | 停车次数 |
|---------------|-------|--------|-----|--------|-----|------|
| 主干道 | 匝道 | | | 平均 | 最大 | |
| 4 500 | 2 400 | 自由汇入 | 主干道 | 65 | 160 | 132 |
| | | | 匝道 | 89 | 160 | 199 |
| | | 限流汇入 | 主干道 | 62 | 158 | 100 |
| | | | 匝道 | 113 | 160 | 278 |
| | | 限速增道汇入 | 主干道 | 0 | 11 | 3 |
| | | | 匝道 | 67 | 160 | 127 |
| 3 600 | 2 400 | 自由汇入 | 主干道 | 75 | 161 | 174 |
| | | | 匝道 | 81 | 165 | 210 |
| | | 限流汇入 | 主干道 | 57 | 159 | 89 |
| | | | 匝道 | 104 | 160 | 272 |
| | | 限速增道汇入 | 主干道 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 匝道 | 68 | 161 | 175 |
| 3 000 | 2 000 | 自由汇入 | 主干道 | 59 | 165 | 125 |
| | | | 匝道 | 60 | 160 | 167 |
| | | 限流汇入 | 主干道 | 53 | 160 | 81 |
| | | | 匝道 | 98 | 161 | 261 |
| | | 限速增道汇入 | 主干道 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 匝道 | 49 | 161 | 113 |
| 2 400 | 1 600 | 自由汇入 | 主干道 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 匝道 | 0 | 0 | 0 |
| | | 限流汇入 | 主干道 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 匝道 | 91 | 161 | 227 |
| | | 限速增道汇入 | 主干道 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 匝道 | 0 | 0 | 0 |

表 2 数据可归纳为以下 2 点:

1) 限流汇入方案略优于自由汇入方案. 在不同车辆输入量下, 限流汇入方案的主干道排队长度略低于自由汇入方案, 但差别不大; 相比排队长度, 限流汇入方案的停车次数相比自由汇入方案减少了 30% 以上; 匝道排队指标则是限流汇入方案明限劣于自由汇入方案, 增加比例在 25% 以上.

2) 限速增道汇入方案优势明显. 在实验所涉及的交通压力下, 限速增道汇入方案的主干道通行能力几乎不受匝道影响, 几乎不存在排队现象; 匝道在输入量大的情况下, 有排队现象, 但相比自由汇入减少约 20%, 相比限流汇入减少量达 50%.

5 结论

众多前期研究证明, 车道宽从 3.75 m 下降到 3.2 m 左右, 对通行能力的影响不大; 城市快速路的匝道入口处, 高峰时段的车速在 45 km/h 以下, 因此

将入口处的主干道道宽压缩到 2.8 m 左右, 对主干道通行能力没有负面影响.

本文多组实验数据表明, 限速增道汇入方案相比另 2 种方案, 主干道的通过车辆数和车速明显提高, 排队长度、排队时间和停车次数明显减少; 匝道排队长度有限, 通行能力也优于另 2 种方案.

因此综合前人研究结果和本文仿真实验验证, 限速增道汇入方案非但可行, 而且能有效改善匝道入口处的交通状况, 对提升城市快速道路通行能力效果明显.

本文方法只适用于原本车道较度, 经压缩增道后每车道宽仍在 2.8 m 以上的城市快速路, 对车道宽小于 2.8 m 的, 本文没有涉及. 此外, 平峰、低峰时段, 平均车速在 60 km/h 以上, 不排除个别车辆会超过 80 km/h 的上限, 此时 2.8 m 道宽对行车安全性的影响有待进一步研究和验证.

参考文献:

- [1] 陈连进. 轨道交通规划与城市空间发展协调互动研究—以泉州市轨道交通规划为例[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2010,25(3):115-120.
Chen L J. Studying the coordination between orbital transportation planning and the development of urban space - taking Quanzhou city's orbital transportation planning for example [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2010,25(3):115-120.
- [2] 王华,张小宁. 走廊通道高架道路匝道设计模型[J]. 交通运输系统工程与信息,2012,12(5):163-173.
Wang H,Zhang X N. Ramp design model for elevated road network in corridor[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2012,12(5):163-173.
- [3] 高万宝,吴坚,邹娇. 基于实时密度的入口匝道控制算法研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2012,4(2):151-155.
Gao W B,Wu J,Zou J. On - ramp metering algorithm based on real - time density [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2012,4(2):151-155.
- [4] 朱荣军. 苏州城市快速路系统介绍[EB/OL]. [2012-03-01]. <http://wenku.baidu.com/view/5000898f6529647d27285215.html>.
Zhu R J. Introduction of Suzhou city expressway system[EB/OL]. [2012-03-01]. <http://wenku.baidu.com/view/5000898f6529647d27285215.html>.
- [5] 吴诚,范群. 苏州高架“潮汐时代”即将来临-匝道漏斗设计缓解高架拥堵[N]. 姑苏晚报,2012-04-24.
Wu C,Fan Q. Suzhou elevated "tide" era is coming - ramp funnel design to alleviate the congestion problem[N]. Gusu Evening,2012-04-24.
- [6] 龙科军. 城市立体交叉交通规划与设计基础问题研究[D]. 上海:同济大学,2005.
Long K J. Research on intersection traffic planning and design problems of city[D]. Shanghai:Tongji University,2005.
- [7] 北京市市政设计研究院. CJJ 37-90 城市道路设计规范[S]. 北京,1990.
Beijing Municipal Engineering Design Institute. CJJ 37-90 City road design standard[S]. Beijing China,1990.
- [8] 蒋乐,赵宪尧,周俊,等. 武汉市城市道路机动车车道宽度研究[J]. 城市道桥与防洪, 2007,5(5):83-86.
Jiang L,Zhao X Y,Zhou J,et al. Study of motor vehicle lane width for urban road in wuhan city [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2007,5(5):83-86.
- [9] 李军,李俭全,李剑. 城市道路车道宽度计算模型的修正研究[J]. 西部交通科技. 2010,8(37):7-11.
Li J, Li J Q, Li J. Research on municipal road width calculation modeling [J]. Western China Communication Science & Technology, 2010,8(37):7-11.
- [10] 张玉轻. 北京城市道路横断面设计有关问题的探讨[J]. 市政技术, 2004,7(4):247-252.
Zhang Y Q. Inquire into the problems of urban road's cross - section design in Beijing[J]. Municipal Engineering Technology, 2004,7(4):247-252.
- [11] 吴震,杨晓光. 车道宽度、转弯半径对左转饱和和流量的影响研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2009,10(5):997-999.
Wu Z,Yang X G. Research on left - turning saturation flow with different lane widths and turning radiuses [J]. Journal of Wuhan University of Technology(Transportation Science & Engineering), 2009,10(5):997-999.
- [12] 薛行健,宋睿,晏克非. 城市快速路匝道合流区车速限制研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012,44(6):144-148.
Xue X J,Song R,Yan K F. Speed restriction on ramp merging area of urban expressway[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012,44(6):144-148.
- [13] Institute of Transportation Engineers. Guidelines for urban major street design[S]. Washington USA,1990.
- [14] HASHIM Ibrahim Hassan, ABDEL - WAHED Talaat Ali. 公路几何特征对通行能力影响分析[J]. 交通运输系统工程与信息. 2012,12(5):65-75.
Hashim I H, Abdel - wahed T A. Effect of highway geometric characteristics on capacity loss[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology,2012,12(5):65-75.

Urban expressway ramp afflux plan optimization and simulation

HE Fu - nan

(Department of Software and Service Outsourcing, Suzhou Institute of Industrial Technology, Suzhou 215104, China)

Abstract: For the growing pressure of the urban freeway traffic, the frequently congestions and traffic accidents in the ramp afflux area, the plan of speed limiting and road increasing was proposed, after analyzing and optimizing the current existing afflux plan by using theoretical calculations and simulation experiment methods. Some quarantine and restrictions measures were taken in the ramp afflux area, the width of the primary and ramp lane was reduced appropriately, the vehicles speed was limited, and the vehicles were guided to go their own way, then the mutual interference could be less. Through the above measures, the traffic capacity of the ramp afflux was increased. The data of simulation experiments shows that this proposal excelle other proposals and is very effective based on the following traffic indicators, such as the traffic flow per unit time, the traffic speed and the queue length of vehicles etc. The proposal of "Speed Limiting and Road Increasing" is used in the urban express way with wide traffic lane.

Key words: highway transportation; ramp afflux plan; speed limiting and road increasing plane; expressway; traffic capacity