

基于速度管理的城市道路交通安全应用*

孙超^{1,2}, 陈小鸿¹, 张红军^{1,3}, 李文斌²

- (1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804;
- (2. 深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司//深圳市交通信息与交通工程重点实验室, 广东 深圳 518021;
- (3. 美国加州大学戴维斯分校土木与环境工程系, 美国 加州 CA 95616)

摘要: 速度是道路交通安全最关键性的风险因素, 更高的速度和速度变化增加了事故数量和伤亡的概率。国内亟需制定比较清晰的速度管理框架和系统的速度管理措施。通过速度与事故关系的实证研究发现限速高的道路事故致死率更高, 且在快速路主辅接入口、城市道路出入口等速度切换的区域事故多发、事故后果严重。以深圳市为例, 借鉴发达国家城市道路速度管理经验, 提出城市道路的交通安全速度管理框架, 重点围绕更安全的速度和更安全的速度变换两个环节从路段限速调整、快速路速度管理、道路接入速度管理三个方面制定了应用对策, 有效地提升道路交通安全水平。

关键词: 交通安全; 速度管理; 速度切换; 限速街区; 道路接入管理; 容错设计

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2018) 03-0155-09

Application of road traffic safety based on speed management

SUN Chao^{1,2}, CHEN Xiaohong¹, ZHANG Hongjun^{1,3}, LI Winbin²

- (1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;
2. Shenzhen Urban Transport Planning Center Co. Ltd. // Shenzhen Key Laboratory for Traffic Information and Traffic Engineering, Shenzhen 518021, China;
3. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California Davis, California, CA 95616, USA)

Abstract: Speed is the most critical factor of road safety, higher speed and speed changes increase the number of accidents and the probability of casualties. There is an urgent need in China to develop a relatively clear speed management framework and system speed management measures. Through the empirical study of the relationship between speed and accident, it is found that higher speed limit road is more likely to cause higher mortality rates, and speed shifting areas including accesses of expressway and other urban roads are inclined to cause accidents and serious consequences. Taking the speed management methods in developed countries as reference, speed management framework was proposed in Shenzhen, including two aspects, namely safer speed and safer speed change, the key measures under this framework mainly contains speed limit adjustment of road segments, expressway speed management and access speed management, which can effectively improve the level of road traffic safety.

Key words: traffic safety; speed management; speed switching; speed limit zone; access management; fault-tolerant design

* 收稿日期: 2017-08-17

基金项目: 国家自然科学基金 (71641005)

作者简介: 孙超 (1985年生), 男; 研究方向: 交通运输规划与管理; E-mail: sunc@sutpc.com

通信作者: 陈小鸿 (1961年生), 男; 研究方向: 交通运输工程; E-mail: Tongjicxh@163.com

速度是道路交通安全最关键性的风险因素, 约 40% 的死亡事故与速度有关, 尤其在混有行人、骑车人等弱势道路使用者的区域, 速度更是最大威胁^[1]。一方面速度越高, 事故发生风险越大, 造成的伤害也越大^[1-4]; 另一方面速度离散性越大, 不同速度的车辆碰撞发生的概率及伤害也越大^[5-8]。在大规模的道路交通基础设施建设完成后, 欧美等发达国家以“人的生命健康高于一切”为宗旨, 于上世纪 90 年代先后采取道路限速管理、道路接入管理等一系列管理措施提升交通安全水平, 提出交通事故“零死亡”的发展愿景, 并制定了系统的速度管理框架和措施^[1], 如: 瑞典的“零死亡愿景”、荷兰的“可持续安全”和澳大利亚的“安全系统”等^[9-13]。近年来, 越来越多的国家开始以交通安全为目标, 逐步完善速度管理对策, 力求将事故严重程度降至最低。这些国家通常根据道路功能等级及道路周边环境综合考虑设置限速, 一般在城市道路限速 30 ~ 50 km/h; 在有大量行人、非机动车、农用车或畜力车、道路线形标准低或危险路侧环境的道路采用更低的限速^[6, 14-18]; 在住宅区、学校及游乐区等特殊地区通常采用交通宁静化措施管理车速^[19-21]。为增加道路交通安全性, 德国从 1970 年代开始实施将住宅区限速由 50 降至 30 km/h, 有效地减少了住宅区交通事故。挪威在首都奥斯陆城市中心区实施 30 km/h 的限速, 法国巴黎 37% 的街道限速在 32 km/h 以下, 日本在有行人穿越的生活性道路实施 30 km/h 的限速, 美国阿拉斯加州在城市 CBD 实施 32 km/h 的限速, 使道路交通安全性得到了提高。在道路接入管理方面, 以美国为代表形成了可操作性强的道路出入口管理手册^[22], 道路交通安全提升效果显著。

国内在城市道路速度管理和道路接入管理方面的研究较少, 较侧重于公路 (包括高速公路) 方面的速度管理研究^[23-26], 包括引入智能的先进理念和管理手段^[27-29] (比如车辆定速巡航、车速诱导和可变限速管理等), 但对城市道路和街区的速度管理研究不够。这主要归纳为 3 个方面的原因: 1) 国内城市道路速度管理往往根据功能等级机械制定限速标准, 忽视周边环境、交通状况、交通事故率等综合因素^[30]; 2) 对于作为重特大交通事故重灾区的城市快速路的速度管理研究较少, 大多借鉴公路的相关理论方法^[23-26]。近年来, 部分学者提出了结合城市快速路交通流特点、道路线性条件及周边环境等综合因素进行快速路限速引导和优化管理^[31-33]; 3) 忽视对速度变换环节的管控。国

内目前还没有出台道路出入口管理方面的规范, 现有相关规范《城市道路交叉口规划规范》和《城市道路交叉口设计规程》对支路及出入口接入干路的方式缺乏可操作性的明确指引。随着我国大城市 (尤其是超大、特大城市) 道路设施供应和道路网络结构性完善均十分有限的现实条件下, 城市道路交通安全已进入“管理为本”的阶段, 速度管理作为改善道路交通安全的重要手段, 亟需建立清晰的速度管理框架和系统的速度管理措施。本文以深圳为例, 通过对速度与事故关系的实证研究, 借鉴先进国家和地区速度管理经验, 从更安全的速度和更安全的速度变换两个环节着手, 探讨了路段限速管理、快速路速度管理、道路接入速度管理等城市道路交通安全的速度管理对策, 以便为国内其他城市的道路交通安全管理提供参考和借鉴。

1 速度与事故关系研究

根据功率模型 (power model), 当平均速度增加 5% 时, 事故总量增加 10%, 死亡事故数量增加 20%^[1, 9], 如图 1 所示。行人和车辆碰撞速度与死亡概率正相关, 尤其当车速超过 30 km/h 时, 行人遭受致命伤害的可能性迅速增加^[1, 9], 如图 2 所示。相关研究还进一步提出了相对死亡风险曲线, 用以描述速度及速度变化对交通事故参与者死亡风险的影响^[2]。

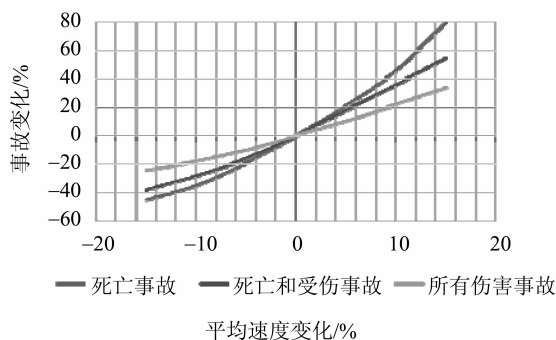


图 1 速度变化与事故数量的关系曲线 (功率模型)
Fig. 1 Relationship between speed variation and the number of accidents (power model)

1.1 速度与事故严重性关系实证研究

快速路致死率远高于其他等级的城市道路, 凌晨 (夜间) 时段致死率远高于其他时段。以深圳为例, 城市快速路全天、夜间 (18:00 - 6:00) 和凌晨 (2:00 - 6:00) 的致死率分别是其他城市道路平均致死率的 1.7、2.2 和 1.8 倍。深圳约

70%的重特大交通事故发生在高快速路上，超速事故约占快速路死伤事故总数的80%，可见致死率高与超速密切相关。凌晨（或夜间）速度管理薄弱，超速现象更普遍，致死率更高。根据统计，深圳凌晨时段（2：00-6：00）发生了13%的交通事故数量，却承担了21%的事故死亡人数，如图3所示。

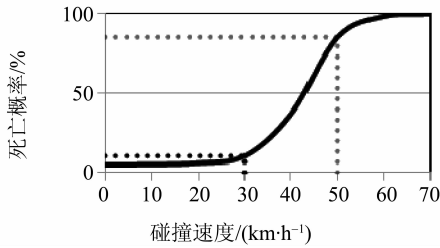


图2 行人死亡概率与碰撞速度的关系曲线
Fig. 2 Relationship between Pedestrian death probability and Collision speed

目前，深圳主要在高快速路和限速60 km以上的交通性干道上查处超速，对生活性主干道、次支路的速度管理较为薄弱。生活性道路超速现象普

遍，致死率较高，承担了主要的死亡和重伤事故。2011-2016年，深圳主、次干道承担了81%死亡与重伤事故（主干道承担58%，次干道承担23%），主干道单位长度死亡人数为1.17人/km，次干道为0.61人/km，远高于其他等级城市道路，详见表1。

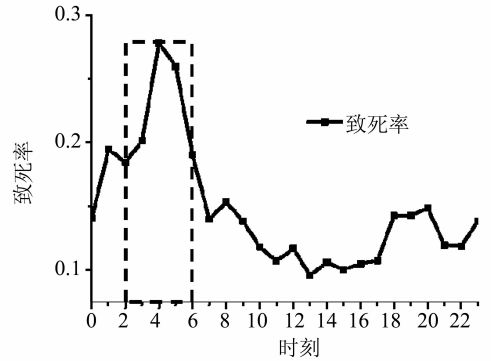


图3 深圳市道路交通事故时间分布特征图
(来源：深圳市交警局)

Fig. 3 Time distribution diagram of Shenzhen road traffic accidents
(Source: Shenzhen Traffic Police Bureau)

表1 深圳市道路交通事故在各种道路类型上的分布（2011-2016年）（来源：深圳市交警局）

Table 1 Shenzhen road traffic accidents distribution in various types of roads (Source: Shenzhen Traffic Police Bureau)

道路等级	全天致死率	死亡人数/人	重伤人数/人	道路长度/km	单位长度死亡人数/(人·km ⁻¹)
快速路	0.22	138	75	419	0.33
主干道	0.15	1407	1346	1204	1.17
次干路	0.14	600	600	980	0.61
支路	0.13	827	792	3765	0.22
所有道路	0.14	2972	2813	6368	0.47

1.2 速度切换与事故发生关系实证研究

高低等级（不同限速值）道路接入时的速度转变、单位出入口接入城市道路时的速度转变导致交通事故多发，同样应值得关注。根据统计，深圳市快速路的主辅出入口（含辅道）事故数量约占快速路全部事故的70%，其中辅道占59%，且快速路出口的事故数量是入口的6倍，即高速向低速转变时更容易引发交通事故。机动车与行人及机动车与自行车事故是快速路交通伤害的主体，约占73%。

根据统计，深圳市主干道与支路交叉口、次干道与支路交叉口承担了全部交叉口交通事故（死亡+重伤）的62.8%，其中49%发生于速度差较大的主干道与支路交叉口，详见表2。实际上，这种分布特点与深圳市道路等级结构不匹配有关，深圳的快速路、主干道、次干道、支路长度比为1.0:2.9:2.3:9.0，可见次干路规模不足，导致大量主路与支路直接衔接现象，因而交叉口交通事故（死亡+重伤）主要分布在主干路一支路交叉口。

表2 交叉口死亡及重伤事故分布表（来源：深圳市交警局）

Table 2 Distribution table of deaths and serious injuries at intersections

交叉口类型	快-快	快-主	快-次	主-主	主-次	主-支	次-次	次-支	支-支
死亡重伤事故所占比例/%	0.1	2.5	1.3	12.8	13.1	49.0	2.8	13.8	4.7

根据统计,深圳道路出入口影响区(本文界定为单位出入口上下游 30 m 范围和交叉口上下游 50 m 范围)的事故数量约占全部交通事故的 60%,路段事故数量占比约 40%,由此可见在道路接入的地点更容易发生交通事故。

2 基于速度管理的道路交通安全应用对策

借鉴先进国家或地区的速度管理经验,提出面

向交通安全的速度管理框架,主要包括更安全的速度、更安全的速度切换。本文以深圳为例,重点围绕速度和速度转变两个环节从路段限速调整、加强快速路速度管理、加强道路接入的速度管理 3 个方面探讨城市道路交通安全改善对策。

2.1 基于道路功能和环境的路段限速管理

通过多年的观测,发现发达国家在降低道路限速值或设置限速街区后,道路交通安全均有显著的提升^[14],具体的限速效果见表 3。

表 3 发达国家的限速效果

Table 3 The speed limit effect in some developed countries

国家	道路等级	初始限速值/(km·h ⁻¹)	修订限速值/(km·h ⁻¹)	事故变化情况
瑞典	高速公路	110	90	死亡交通事故下降 21%
瑞士	高速公路	130	120	死亡交通事故下降 12%
丹麦	城市道路	60	50	伤害交通事故下降 9%
澳大利亚	高速公路/乡村公路	110	100	伤害交通事故下降 19%
英国	高速公路	100	80	交通事故数量降低 14%
德国	城市道路	60	50	交通事故数量下降 20%

2.1.1 调整路段限速 高速公路、快速路、交通性主干道原则上实行较高限速,生活性主干道、次干道和支路实行较低限速,具体限速值的确定应结

合道路沿线行人过街需求、交通事故率及交通环境综合因素采取合理的限速值,建议深圳各等级道路限速值见表 4。

表 4 深圳道路限速建议值

Table 4 Shenzhen road speed limit recommended values

道路等级	高速公路	快速路	交通性主干道	生活性主干道	次干路	支路	内部道路
限速/(km·h ⁻¹)	90~120	60~80	60	30~50	30~40	20~30	5~10

2.1.2 推行限速街区试点 借鉴发达国家城市的限速街区和交通宁静化做法,首批在深圳中心区、沙头角地区等人流活动较集中的地区试行限速街区(30 km/h)。限速区内交通性道路原则上仍实行较高限速,具体可结合沿线行人穿越需求及周边环境采用合理限速值。试点街区较试点前交通事故率均有不同程度的降低,以深圳沙头角安宁街区为例,在实施限速后,街区平均车速从实施前的 34.6 下降至 28.5 km/h,降幅 17.6%,交通事故率下降 28.5%,效果显著。

2.2 快速路速度管理

2.2.1 全路段限速管理 加强快速路低峰期(夜间)限速管理,增设超速抓拍设施(单点测速),增设区间测速区段,增加移动执法,将快速路主线车速严格控制在 60~80 km/h 以下,局部段具体限速可根据实际情况确定,如图 4 所示。考虑对惯犯及屡犯者加重处罚,且违法记录与个人征信挂钩。

以北环大道快速路为例,在实施全路段限速和监控后,凌晨 2:00-6:00 全路段平均运行速度从 77.6 km/h 下降至 70.1 km/h,降幅 9.7%;早晚高峰时段全路段平均运行速度从 60.8 km/h 下降至 53.2 km/h,降幅 12.5%;交通事故率尤其重特大交通事故明显减少,近 3 年尚未发生重特大交通事故。

2.2.2 局部段限速管理 在线形条件差、纵坡较大或急弯区域施划视觉减速标线、压缩车道宽度,以达到提醒减速的目的。以北环大道皇岗立交为例,通过对局部路段的速度管理,该路段车速明显降低,根据出租车浮动车数据,改造后该路段平均车速从改造前的 65.2 km/h 下降至 52.7 km/h,下降 19.2%。事故率也明显降低,改造前北环大道(皇岗立交段)年平均造成 2 人死亡,1 人重伤;改造后近 5 年未发生交通事故。春风快速路高架罗湖中学段由于线形条件差,急弯区域采用纵向视觉

减速带在视觉上压缩车道宽度，同时实施 30 km/h 限速，较实施前事故率下降 49%，如图 5 所示。

2.2.3 拉链式秩序管理 在快速路合流路段实施拉链式秩序管理，以改善交通秩序，提高交通安全水平。以滨河大道与春风路高架衔接段实施拉链式管理为例，实施拉链式交替通行段限速 30 km/h，实施后虽然通行效率下降了 18.9%，但交通事故率下降 43%，如图 6 所示。目前全市 40 个拉链式交替通行点在试行，总体效果较好。

2.2.4 快速路辅道速度管理 针对快速路辅道事故多发及人车事故是辅道交通事故伤害主体的特点，在辅道接入点处增设速度提示和抓拍设施，控制接入后车速，降低人车冲突发生概率及碰撞伤害。在快速路服务建成区，辅道空间资源除兼顾车流通行需求外，应综合人行路径和车行流线优先考虑公交站点、天桥及接入点的协调布设，降低人车冲突，提升辅道安全性，如图 7 所示。

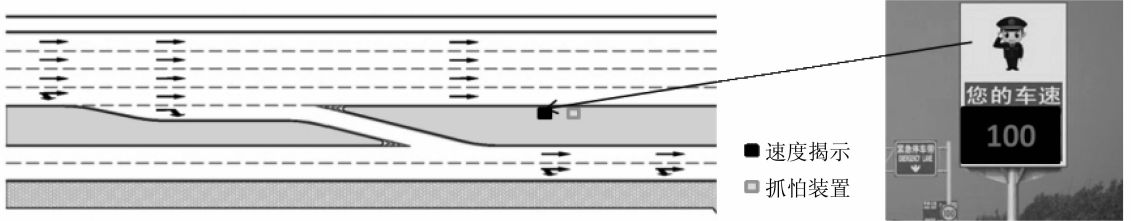


图 4 快速路主线速度提示及抓拍设施

Fig. 4 Freeway mainline speed tips and capture facilities



图 5 北环大道（皇岗立交段）快速路及春风快速路高架罗湖中学段增设纵向视觉减速标线示意

Fig. 5 Additional longitudinal deceleration visual marking in North Central Avenue (Huanggang Interchange Section) and Chunfeng Expressway Elevated Section

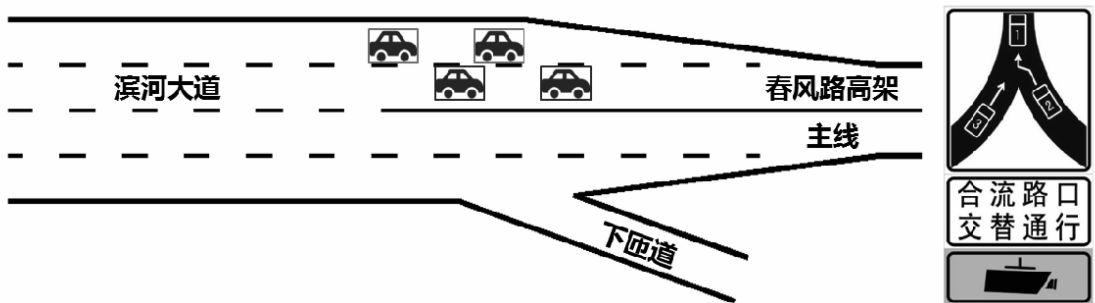


图 6 滨河大道与春风高架衔接段拉链式交替通行

Fig. 6 Zipper order management for Binhe Avenue and Chunfeng Road

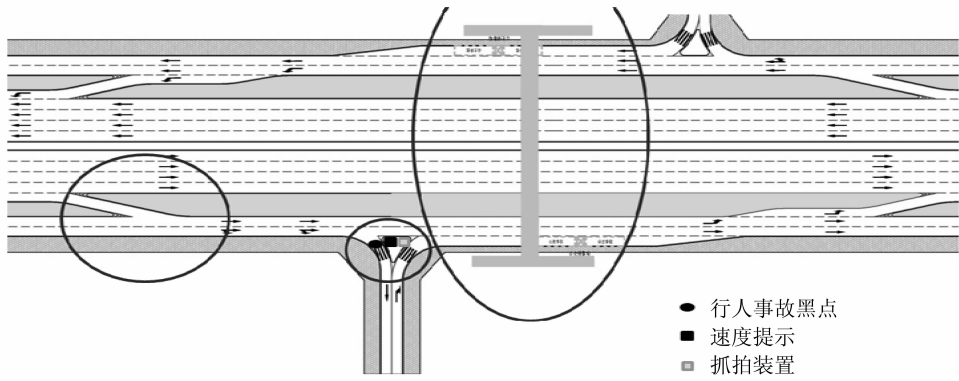


图 7 快速路辅道人车事故安全改善措施

Fig. 7 Measures for improving traffic safety in expressway auxiliary road

2.3 道路接入的速度管理

2.3.1 快速路主辅接入口的速度管理 快速路接入点会在直行交通和转向交通间产生潜在的冲突点，通过工程手段减少冲突点数量可以有效降低事故发生的概率。针对快速路主辅出入口事故多发、出口事故多于入口事故的特点，制定快速路主辅出

入口接入的速度管理措施。首先，通过交通管理手段和工程技术手段，将快速路出口设置为速度控制区，将该区的车速控制在 60 km/h 以下。具体措施包括超速抓拍设施、交通宁静化设施等，如图 8 所示。

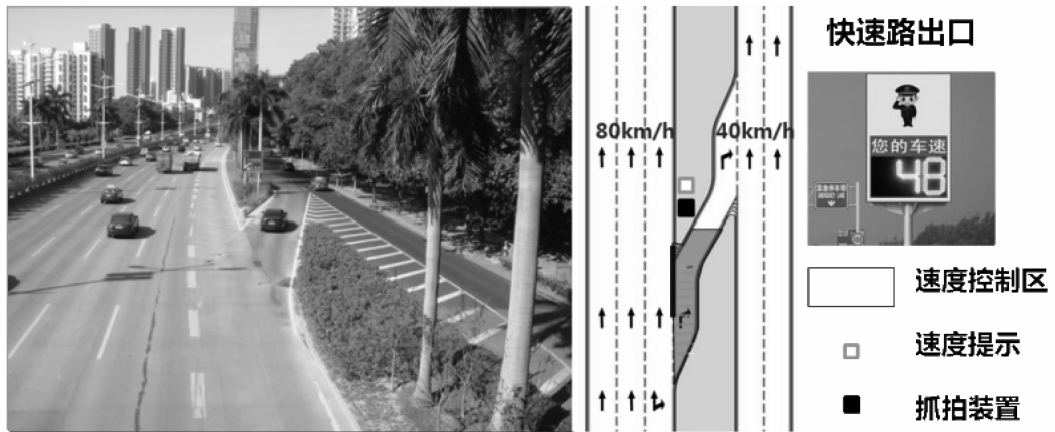


图 8 快速路主线接入车速控制

Fig. 8 Speed control at expressway main line access

其次，减少快速路主辅道的交通冲突和交织。具体措施包括：在主辅出入口加减速车道施划加长实线；增设加速车道，避免加速不足情况下变线造成侧碰及追尾事故；增设减速车道，避免紧急变线引起的加塞侧碰或追尾事故^[25-28]，如图 9-10 所示。

最后，对快速路主辅出入口的交通语言系统进行容错设计。在车流离开主线进入辅道前，通过指路标志多次提醒出入口的目的地及距离，减少出口处因紧急变道引起的事故，如图 11 所示。指路标志设计需满足人性化、易读性、冗余、协调有序和

国际化设计原则^[34-35]。

2.3.2 支路及单位出入口接入干路的速度管理

针对支路-干路交叉口交通事故集中的特点，在接入规划层面应遵循道路相邻衔接原则，优化道路等级体系，尽量避免支路直接接入主干路。当支路必须接入干路时，建议《城市道路交叉口规划规范》和《城市道路交叉口设计规程》等规范对接入方式进行明确：支路与主干路必须衔接时，应采取硬质隔离形式的渠化岛或局部展宽等方式接入，而非仅推荐右转进出的交通组织方式；当进出交通流量较大或支路交通服务性功能较强时，可采取信号



图 9 出入口处施划实线

Fig. 9 At the entrance to delimit the solid line

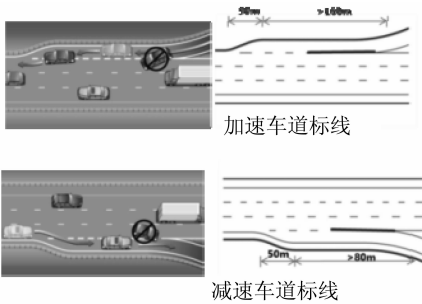


图 10 增设加减速车道

Fig. 10 Additional acceleration and deceleration lane at the entrance

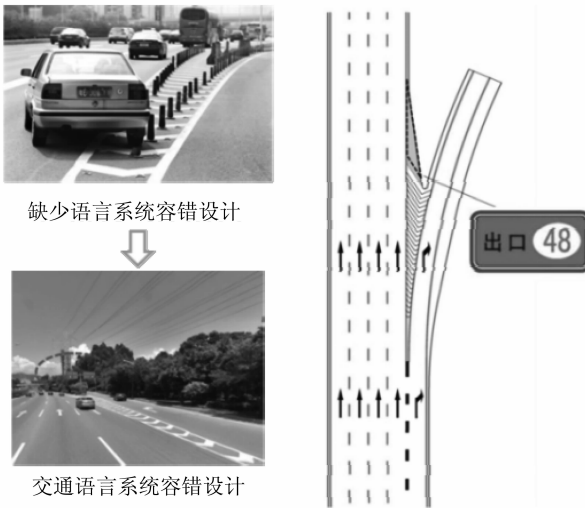


图 11 快速路主辅主入口的交通语言系统容错设计

Fig. 11 Fault-tolerant design of transportation language system at freeway primary and secondary entrance

控制方式接入，以提高接入安全性。鉴于单位出入口事故多发的特点，建议《城市道路交叉口规划规范》、《城市道路交叉口设计规程》对单位出入口接入干路进行明确：即应采取硬质渠化岛或局部展宽等方式接入。建议将建设项目的出入口交通安全评价纳入《深圳经济特区道路交通安全管理条例》。

当出入口开设形式受限且对交通安全影响不大时，可以考虑采取直接接入的方式。应严格控制主路开设出入口数量，出入口处应设置限速标志（限速 20 km/h），推荐采用出入口处局部展宽或渠化展宽或单进单出的接入方式。

3 结 语

以深圳为例，借鉴发达国家速度管理的先进经验，在国内提出了面向交通安全的速度管理技术框架，重点围绕速度和速度转变两个环节从路段限速管理、快速路速度管理、道路接入速度管理三个方面制定了城市道路交通安全应用对策。以深圳为例进行的探索能够向全国城市进行示范推广，为其他城市或地区的道路交通安全管理提供参考和借鉴。

参考文献：

[1] 何勇. 速度管理:一本为决策者和从业者制定的道路交通安全手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2008.
HE Y. Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners to develop [M]. Beijing: Communications Press, 2008.

[2] KROYERA H R G, THOMAS J, ANDRAS V. Relative fatality risk curve to describe the effect of change in the impact speed on fatality risk of pedestrians struck by a motor vehicle [J]. Accident Analysis and Prevention, 2014(62): 143 - 152.

[3] SOLOMON D. Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle [M]. Washington: United States Bureau of Public Roads, 1964.

[4] BOWIE N N, WALZ M. Data analysis of the speed-related crash issue [J]. Auto & Traffic Safety, 1994, 1(2): 31 - 38.

[5] JOKSCH H C. An empirical relation between fatal accident involvement per accident involvement and speed [J]. Accident Analysis & Prevention, 1975, 7(2): 129 - 132.

[6] ALLSOP R, MAYCOCK G, FULLER R, et al. Contributions to the symposium “reducing speed-related casualties: the role of the European Union” [C] //SWOV Institute for Road Safety Research. Proceedings of “reducing speed-related casualties: the role of the European Union” symposium. Brussels: European Transport Safety Council ETSC, 1995:90.

[7] 张杰, 刘小明, 贺玉龙, 等. 美国对车辆速度的管理 [J]. 城市交通, 2007(2): 25 - 28.
ZHANG J, LIU X M, HE Y L, et al. US management of

- vehicle speed[J]. *Urban Transport of China*, 2007(2): 25–28.
- [8] OECD/ECMT Transport research center. Speed management report[R]. Paris:WHO, 2006;5.
- [9] NILSSON G. Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety[M]. *Bulletin; Lund Institute of Technology and Society, Traffic Engineering*, 2004.
- [10] Swedish Road Administration. Vision zero -from concept to action [M/OL]. Borlange: The Swedish Transport Administration,2000 [2015-12-20]. https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/20131211_1_sweden.pdf.
- [11] Swedish Road Administration. Safety Traffic Vision Zero on the move[M/OL]. Borlange: The Swedish Transport Administration, 2002[2015-12-20]. https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/20151210_1_sweden.pdf.
- [12] WEGMAN F, AARTS L, BAX C. Advancing sustainable safety: national road safety outlook for 2005–2020 [J]. *Safety Science*, 2008, 46(2):323–343.
- [13] Australian transport council. National road safety strategy 2011–2020 [M/OL]. Melbourne: Public Transport Users Association, 2011 [2017-08-20]. http://ptua.org.au/files/2011/national_road_safety_strategy_2011-02-18.pdf.
- [14] 应朝阳. 美国关于行车交通安全的研究(下)[J]. *汽车与安全*, 2006(7):66–71.
YING C Y. U S study on road traffic safety (Volume II) [J]. *Automotive Security*, 2006(7):66–71.
- [15] ALEXANDER T, VERA T. Clarification on requirements of travel speed management for vehicles in winter period [J]. *Transportation Research Procedia*, 2017(20):643–648.
- [16] MARIA G A, PAOIA C, SALVATORE Greco. Dominance-based rough set approach; an application case study for setting speed limits for vehicles in speed controlled zones[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2015, 89: 288–300.
- [17] KURT R S. Using four-year speed inventories to measure the impact of urban speed management programs in Washington, DC[D]. Howard University, 2011.
- [18] WHO. Global status report on road safety 2015[R]. Italy: World Health Organization, 2015.
- [19] MD T I, KARIM E B. An integrated speed management plan to reduce vehicle speeds in residential areas- implementation and evaluation of the Silverberry action plan [J]. *Journal of Safety Research*, 2013,45:85–93.
- [20] LINA Kattan, RICHARD Tay, SHANTI Acharjee. Managing speed at school and playground zones [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2011,43:1887–1891.
- [21] 张萌. 城市居住区交通静化设计研究[D]. 西安:长安大学, 2010.
ZHANG M. Research on traffic calming design of urban residential area [D]. Xi'an: Changan University, 2010.
- [22] Texas Department of Transportation. Access-management-manual[R]. Charleston: Design Divisior, 2011.
- [23] 钟小明, 张世文, 贾嘉, 等. 速度管理技术研究[J]. *中国公路学报*, 2010(S2):99–104.
ZHONG X M, ZHANG S, JIA J, et al. Research on speed management technology [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2010(S2):99–104.
- [24] 贺玉龙, 汪双杰, 孙小端, 等. 中美公路运行速度与交通安全相关性对比研究[J]. *中国公路学报*, 2010, 23(增刊):73–78.
HE Y L, WANG S J, SUN X D, et al. A comparative study on the correlation between highway operation speed and traffic safety in China and the United States [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2010, 23(Suppl):73–78.
- [25] 孔令才, 高海龙, 刘兴旺, 等. 速度管理技术及应用 [J]. *公路交通科技:应用技术版*, 2008(11):24–27.
KONG L C, GAO H L, LIU X W, et al. Speed management technology and application [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development: Applications Edition*, 2008(11):24–27.
- [26] 聂永成, 许学勇, 孙家凤. 哈同高速公路佳哈段速度管理方案研究[J]. *公路交通科技:应用技术版*, 2008(S1):60–61.
NIE Y C, XU X Y, SUN J F. Speed management scheme on hatong highway jiaha segment [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development: Applications Edition*, 2008(S1):60–61.
- [27] 刘志强, 张建华, 王运霞, 等. 基于 ITS 的道路速度管理方法研究[J]. *公路交通科技:应用技术版*, 2008(6):39–41.
LIU Z Q, ZHANG J H, WANG Y X, et al. Road speed management methods based on ITS [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development: Applications Edition*, 2008(6):39–41.
- [28] 高敏. 浅谈速度管理的新理念和新技术[J]. *城市公共交通*, 2010(9):42–44.

- GAO M. Talking about new ideas and new technologies on speed management [J]. *Urban Public Transport*, 2010(9):42-44.
- [29] 刘蓉晖. 智能速度顺应系统:一种先进的车速管理方法[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2005(4):95-104.
- LIU R H. Intelligent speed adaptation: an advanced speed management methods [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2005(4):95-104.
- [30] 李沙沙. 城市道路限速标准与速度控制技术研究 [D]. 重庆:重庆交通大学,2015.
- LI S S. Study on urban road speed limit standard and speed control technology [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University,2015.
- [31] 张金超. 城市快速路合理限速的研究 [D]. 西安:长安大学,2015.
- ZHANG J C. Study on reasonable speed limitation of urban expressway [D]. Xi'an: Changan University,2015.
- [32] 司魁. 城市快速路速度限制优化设计研究 [D]. 天津:河北工业大学,2013.
- SI K. Study on optimization design of urban expressway speed limitation [D]. Tianjin: Hebei University of Technology,2013.
- [33] 陈大山,孙剑,李克平. 基于 SPEA2 的城市快速路速度引导多目标优化 [J]. *公路交通科技*, 2011, 28(10):92-95.
- CHEN D S, SUN J, LI K P. Multi-objective optimization of urban expressway speed guidance based on SPEA2 [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*,2011, 28(10):92-95.
- [34] 胡立伟. 公路交通设施驾驶容错能力分析研究方法 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2012.
- HU L W. Analysis method for highway infrastructure driving fault tolerance [D]. Harbin: Harbin University of Technology, 2012.
- [35] 李雪. 基于容错理念的快速路指路标志设置方法研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2011.
- LI X. Study on design methods of freeway guide signs based on the concept of fault tolerance [D]. Harbin: Harbin University of Technology, 2011.