

干线公路与城镇道路过渡段组合式速度管理方案研究

涂圣文, 郑克梅, 赵咏财, 曾利兴, 王昌林

(贵州师范大学 材料与建筑工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:为改善干线公路与城镇道路过渡段机动车减速过程的突变性,该文基于交通稳静化的设计理念,提出了一种组合式的速度管理方案。该方案将过渡段划分为过渡感知区、强制减速区和稳速入城区3个互相衔接的路段,各路段内分别采用纵向标线、振动标线、层次景观法、中央分隔岛、车道变窄、门式通道及视觉宽度等减速技术,将机动车车速逐级地从干线上较高车速降至城镇路段目标车速。驾驶模拟试验表明:该文提出的速度管理方案,与仅设置简单限速标志的控速方案相比,机动车的加速度数据变化值很小,在 $-0.1 \sim -0.6 \text{ m/s}^2$ 之间,减速过程均匀、平顺。同时还能分别减少机动车油耗和 CO_2 排放量约14.6%和14.3%,具有一定的节能减排效应。

关键词:交通工程;过渡段;交通稳静化;驾驶模拟

中国很多城镇都是沿着干线公路发展起来的,但是随着城镇不断扩大,交通量增加,过境交通与城镇内部交通冲突加大,导致干线公路城镇段上交通事故发生率显著提高。为改善干线公路穿越城镇路段的安全性,国内外学者一直都比较注重干线公路与城镇道路过渡段的速度管理方案研究。在国外,设置在公路与城镇道路过渡段的速度管理措施主要有小型环交口、中央分隔岛、车道缩窄、门式通道、视觉宽度等。如David Gilmore等研究表明,与不设其他减速设施相比,设置在公路与城镇道路过渡区域的小型环交口能增加约15%的减速效果;Forbes等研究发现,中央分隔岛的设计能够减少公路与城镇道路过渡区段超速行为约20%,是一种有效的速度控制措施;Ewing等研究了车道缩窄的减速效果,其研究发现车道缩窄的设计大致能降低车速约4.2 km/h;Dixon等研究表明:门式通道能降低道路上车辆的85位车速约4.8 km/h,降低车辆平均速度约8.9 km/h。张铁军等针对公路穿越村镇路段复杂的交通环境,提出了确定限速标志距离危险区域前置长度的分析方法;张志清等根据驾驶员离散驾驶行为理论和心生理特性,研究了穿越村镇公路警告标志的前置距离问题;占劲松等研究了国省干线公路城镇段警示性、半强制性、强制性三类常用

减速设施的尺寸及布局设计要点;高振鑫等对减速标线、橡胶减速垄、比利时路面等典型减速设施进行了减速效能试验与分析,提供了选择双车道公路减速设施及确定其具体设置参数的理论依据。

虽然已有不少学者对干线公路与城镇道路过渡段速度管理措施进行了一定的研究工作,但采用的控速方案大都较为单一。这种单一的控速方案在一些降速幅度较大的场合(如公路车速为80 km/h,城镇段限速为30~40 km/h),容易产生速度突变,不仅影响车辆行驶的舒适性,也易造成交通事故。为改进这种弊端,该文拟在国内外相关研究的基础上,基于交通稳静化的设计理念,构造一种组合式的速度管理方案,以提升干线公路与城镇道路过渡段车辆减速过程的平顺性和安全性。

1 过渡段速度管理方案设计思路

欧美及日本等国家对干线公路穿越城镇段的处理思路主要是基于交通稳静化的设计理念。交通稳静化是一系列道路工程设计方法的总称,其目的是在城镇街道上限制机动车行驶速度,降低机动车对居民生活质量及环境的负效应,以期达到安全、和谐的交通运行

收稿日期:2018-08-02

基金项目:贵州省科技厅-贵州师范大学联合基金项目(编号:黔科合LH字[2016]7225号);贵州省研究生教育创新计划项目(编号:GZZ2017010);贵州师范大学2015年博士基金项目(编号:201510005);2017年国家级大学生创新创业训练计划项目(编号:201710663058)

作者简介:涂圣文,男,博士,副教授.E-mail:79418129@qq.com

环境。基于交通稳静化的设计理念,干线公路与城镇道路过渡段速度管理方案的制定原则包含逐级降速、可靠性与容错性相结合、舒适性与生态性优先 3 个方面。

(1) 逐级降速的原则

过渡段设置的主要目的是给机动车提供一个足够长的减速路段,让机动车车速逐级、均匀地从干线公路上较高车速降至城镇路段的低车速,以改善减速过程的平顺性,提高车辆行驶的舒适性,减小交通事故的发生率,降低机动车的油耗排放量。

(2) 可靠性与容错性相结合的原则

过渡段的速度管理方案,既要能在设计区段强制让机动车减速到限制区间,也要考虑到驾驶者个体的差异,对那些没有按限速标志完成减速的车辆采取补偿减速手段,确保所有进城车辆都能有效完成减速。

(3) 舒适性与生态性优先的原则

中国常用的一些减速措施如橡胶减速垄虽然减速效果明显,但对机动车的行驶舒适性也影响很大。为构建人性化的行车环境,过渡段应尽量采用“柔和”形的减速技术,在诱导机动车减速的同时,不影响驾驶人的驾乘感受。同时,减速方案的设计应尽量采用绿化岛、种植带等生态方式,做到既达到减速效果,也能改善城镇出入口区域的生态环境质量。

2 过渡段速度管理方案

根据上述设计原则,该文将干线公路与城镇道路过渡段设置为过渡感知区、强制减速区和稳速入城区 3 个区段,各区段的减速目标、设计思路和技术手段分述如下。

2.1 过渡感知区

过渡感知区的设计目的是让驾驶人意识到前方城镇的存在,并完成第一次减速过程。过渡感知区主要以提醒、警示作用为主,减速手段可采用警告标志、限速标志和减速效果较轻的视觉类减速设施。该文采用纵向减速标线作为过渡感知区的主要技术措施,设计效果图如图 1 所示。

2.2 强制减速区

强制减速段为主要的减速区段,在此区间机动车行驶速度需降至城镇段限制车速标准。基于可靠性与容错性相结合的原则,将强制减速段设置为二次减速段和补偿减速段两个子区间。

(1) 二次减速段

二次减速段与过渡感知段相衔接,其设计目的是

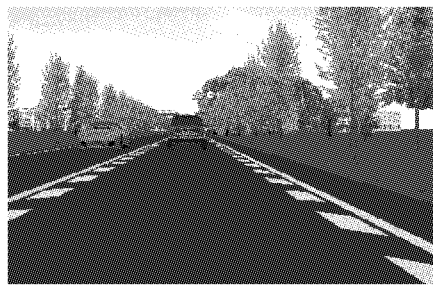


图 1 纵向减速标线设置效果图

让车辆在过渡感知段一次减速的基础上,进一步降低车速,直至达到城镇段的目标车速。二次减速段为强制性减速段,需要采用减速效果较强的技术措施让机动车辆主动减速,该文在该区段采用 3 种减速技术相结合的组合减速方案:车道变窄、振动标线和层次景观法。

根据国内外速度管理相关研究成果,车道变窄是控制车速比较有效的方法。考虑到此处机动车辆速度还较高,可仅将每车道用标线形式压缩 0.25 m。振动标线是中国公路上常用的一种强制性减速措施,通过一组外观呈凹凸形的黄色标线,用于警告车辆驾驶人前方应减速慢行。路侧层次景观的设计是国外公路上使用的一种“警示”型控速措施,其不仅能增强路边环境的美感,也能有效提高驾驶员对环境的感知程度,与其他减速措施相结合使用,能发挥更好的组合效应。层次景观设计中,植物根据高度分组布置,较小的植物靠近公路放置,高的植物放置在距离公路稍远的地方。综合运用车道变窄、振动标线和层次景观法 3 种减速措施的二次减速段最终效果图如图 2 所示。



图 2 二次减速段设计效果图

(2) 补偿减速段

补偿减速段的设置主要基于可靠性与容错性相结合的设计原则,即对在过渡感知段和二次减速段尚未按规定完成减速的部分车辆,提供补充的强制减速条件。由于该路段离城区更近一些,因此需要更严格的减速设施,确保所有进城车辆在该路段都能完成减速。

该文采用在道路上设置中央分隔岛的方案,来控制该路段车辆的行驶速度。中央分隔岛减速方法由 Berger 和 Linauer 提出,其主要原理是通过中央岛的设置,让机动车行驶路径产生强制偏移,从而达到限速的目的。实际应用中,中央岛还可以进行专门的园林景观设计,以增强城镇出入口区域的生态环境效果,也为设置标志、路灯、建筑小品等设施提供了空间场所(图 3)。

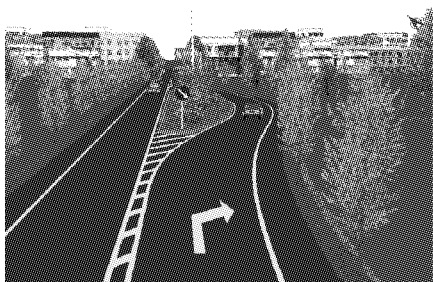


图 3 中央岛设计效果图

2.3 稳速入城区

机动车经过过渡感知区和强制减速区,车速基本可以降到城镇段的限速标准,但根据交通心理学原理,驾驶员经过连续减速操作后,进城前应为其提供一段心理缓冲的路段,让其能从紧张的减速心理过渡到平静的驾驶心态进入城镇,这对减少交通事故的发生至关重要。

稳速入城区主要解决两个方面的问题:① 让驾驶员感知前方即为城镇环境;② 要巩固前述几个区段的减速成果。设计中可采用限速标志、欢迎标志、车道变窄、门式通道和视觉宽度等几种速度控制措施。

其中,门式通道是通过道路上和路侧一系列的处理措施,构造一个门式的走廊空间,强制车辆按规定的车速行驶,如图 4 所示。根据国外学者的研究,门式通道一般设置在两种不同道路特征环境的衔接转换区段。将其运用在速度过渡段的终点区域,可以让驾驶者感觉踏入了城镇的门槛,强化其对城镇道路环境的感知。在门式通道的前方可设置欢迎标志,告知驾驶者前方城镇的相关信息。

为保证门式通道的应用效果,除了采用车道缩窄的措施外,还可运用视觉宽度设计思想。视觉宽度的概念是基于改变道路两侧垂直元素高度 H 与道路宽度 W 之间物理关系来控制驾驶者速度的原理, H/W 值越小,驾驶者越容易高速行驶; H/W 值越大,则可控制驾驶人按较低速度行驶。该文采用在公路两侧土路肩、边坡上密植高大乔木的方式,构造较大的 H/W

值,与门式通道形成组合设计方案,以保证机动车能够低速、稳速进城。

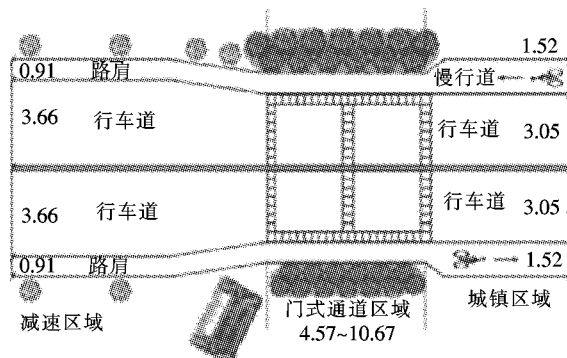


图 4 门式通道示意图(单位:m)

综合运用上述各措施的稳速入城段设计效果图如图 5 所示。

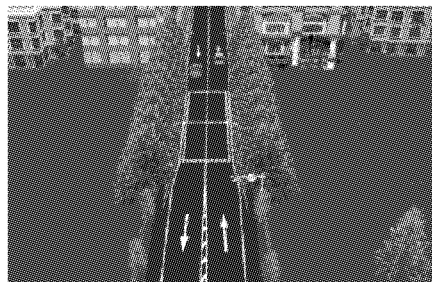


图 5 稳速入城段设计效果图

综上所述,该文提出的干线公路与城镇道路过渡段过渡感知区、强制减速区及稳速入城区 3 个区段的控速目标、设计思路和技术手段汇总于表 1。

3 参数设计

运用最新的技术标准和规范,分别拟定上述 3 个区段的设计参数如下文所述。

3.1 过渡段公路及城镇道路的车速标准

从公路等级上,该文所提出的过渡段设计方案主要适用于一级公路和二级公路。三、四级公路因其设计车速较低(20~40 km/h),不考虑专门的速度过渡段设计。一级公路中的 100 km/h 车速标准适用于干线功能的公路,一般不会直接穿过城镇,也不予考虑。因此,该文所考虑的公路等级主要是一级、二级公路中 80、60 km/h 两个车速标准,对应的城镇段限速标准分别为 40、30 km/h。

3.2 各区段设计参数拟定

(1) 过渡感知区(一次减速段)和二次减速段参数
根据上述设计方案,过渡感知区主要减速措施是

表 1 速度过渡段设计思路及技术方法汇总

项目	过渡感知区	强制减速区		稳速入城区
控速目标	一次减速	二次减速	补偿减速	匀速
设计思路	让驾驶者感知前方存在城镇,并完成初始减速	主要的减速区段,采用强制性高的减速手段,让驾驶者减速至限制车速	将前两阶段未完成的减速的车辆进一步强制减速	让完成减速的车辆匀速进入城镇段
技术手段	警告标志、限速标志、纵向减速标线	警告标志、限速标志、振动减速标线、道路变窄、层次景观	中央分隔岛	限速标志、欢迎标志、道路变窄、门式通道、视觉宽度

纵向减速标线,二次减速段主要减速措施是车道变窄、振动标线和层次景观法,其中纵向减速标线和振动标线主要设计参数是标线的设置长度。减速标线设置的总长度 D 和总减速时间 T 可由式(1)、(2)确定:

$$D=(V_1^2-V_2^2)/(26a) \tag{1}$$

$$T=(V_1-V_2)/(3.6a) \tag{2}$$

式中: D 为减速标线设置的总长度(m); T 为减速总时间(s); V_1 为减速标线起点车速(km/h); V_2 为减速标线终点车速(km/h); a 为减速度(m/s^2)。

根据式(1)、(2)以及现行相关规范,可求得两种控速等级下过渡感知区和二次减速段的主要设计参数如表 2 所示。

表 2 过渡感知区和二次减速段设计参数

公路等级	公路设计车速/ ($km \cdot h^{-1}$)	城镇段限速标准/ ($km \cdot h^{-1}$)	过渡感知区设计参数			二次减速段设计参数				
			起点车速/ ($km \cdot h^{-1}$)	终点目标车速/ ($km \cdot h^{-1}$)	纵向减速标线设置长度/m	起点车速/ ($km \cdot h^{-1}$)	终点目标车速/ ($km \cdot h^{-1}$)	车道宽度/m	振动标线设置长度/m	振动标线设置道数
一级	80	40	80	60	110	60	40	3.50	86	5
二级	60	30	60	50	60	50	30	3.25	60	4

(2) 补偿减速段和稳速入城区设计参数

补偿减速段主要设计参数有分隔岛车道侧向偏移距离 d 、分隔岛曲线半径 $R1 \sim R3$ 、减速段长度 L , 稳速入城区主要设计参数有车道宽度 B 、减速段长度 $L2$ 、前后渐变段长度 $L1$ 、 $L3$, 如图 6 所示。其中分隔

岛车道侧向偏移距离 d 和减速段长度 L 可由下式确定:

$$V_m=14.797Ln[L/(2d)]+19.779 \tag{3}$$

式中: V_m 为分隔岛目标车速(km/h); L 为分隔岛和渐变段总长度(m); d 为车道侧向偏移距离(m)。

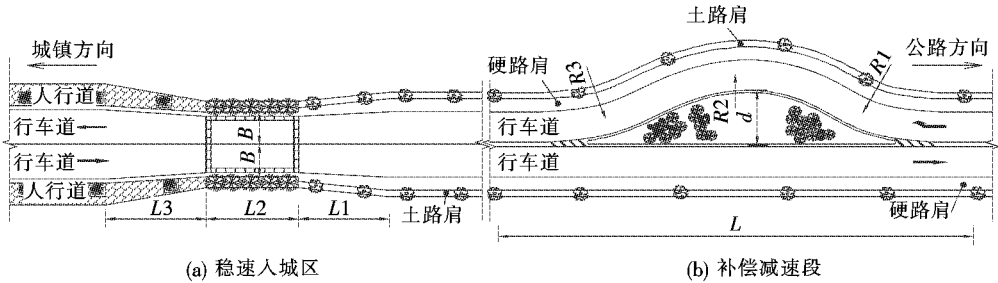


图 6 补偿减速段和稳速入城区设计参数示意图

分隔岛曲线半径 $R1 \sim R3$ 可根据分隔岛的目标车速,依据 JTG D20—2017《公路路线设计规范》,选用目标车速对应的一般最小半径和极限最小半径。其余设计参数均可依据现行相关规范选取,补偿减速段和

稳速入城区主要设计参数如表 3 所示。

按上述参数构建一典型过渡段速度管理方案,其平面示意图如图 7 所示(图中干线公路为二级路,设计车速 80 km/h,路基宽度 12 m,城镇段限速为 40 km/h)。

表 3 补偿减速段和稳速入城区设计参数

公路 等级	公路设 计车速/ (km·h ⁻¹)	城镇段限 速标准/ (km·h ⁻¹)	补偿减速段设计参数						稳速入城区设计参数				
			目标 车速/ (km·h ⁻¹)	d/ m	R1/ m	R2/ m	R3/ m	L/ m	目标 车速/ (km·h ⁻¹)	B/ m	L1/ m	L2/ m	L3/ m
一级	80	40	40	15	100	60	60	60	40	3.25	20	20	20
二级	60	30	30	10	65	30	30	50	30	3.00	15	20	15

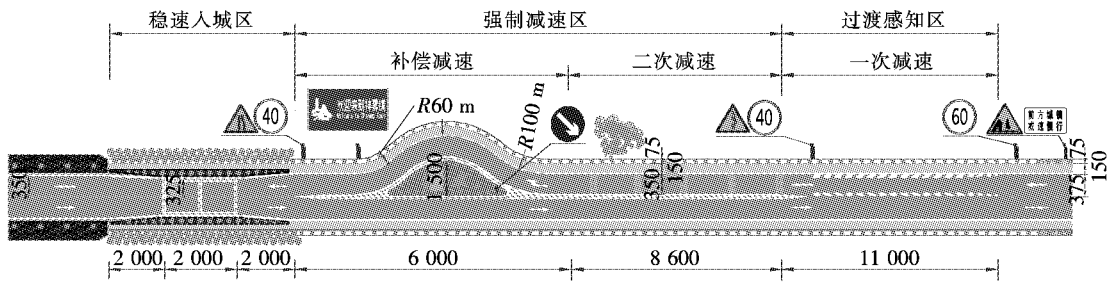


图 7 过渡段速度管理方案平面示意图(单位:cm)

4 仿真试验

为验证该文提出的速度管理方案的有效性,运用道路交通虚拟现实软件 UC-win/Road,设计了以下两种试验场景:① 采用该文所提的过渡段速度管理方案,以下简称“有过渡段”;② 未采用专门的速度管理措施,仅设置简单的限速标志,以下简称“无过渡段”。同时,运用配套的驾驶模拟设备对两种场景各长约 800 m 路段进行了 5 次平行的驾驶模拟对比试验。

试验路段采用的技术标准和 UC-win/Road 三维道路模型均与图 7 所示一致。试验中采用的试验车辆为小汽车,试验起点离城镇约 500 m,机动车初始速度为 70 km/h,不考虑道路纵坡等其他因素对车速的影响,得到车辆行驶中实时的速度、加速度、油耗及排放物等数据。

有、无过渡段设计的驾驶模拟试验全程机动车的加速度、速度数据分别如图 8、9 所示。

从图 8、9 可以看出:设置了速度过渡段后,机动车的加速度数据变化值很小,在-0.1~-0.6 m/s²之间变化,减速均匀、平顺。无过渡段设计的驾驶模拟试验中,车辆的加速度则局部路段达到-4~-6 m/s²,减速过程有明显的速度突变现象。

驾驶模拟试验中同时采集了机动车的油耗及排放量数据。5 次平行试验机动车的油耗和 CO₂排放量对比数据如图 10 所示。

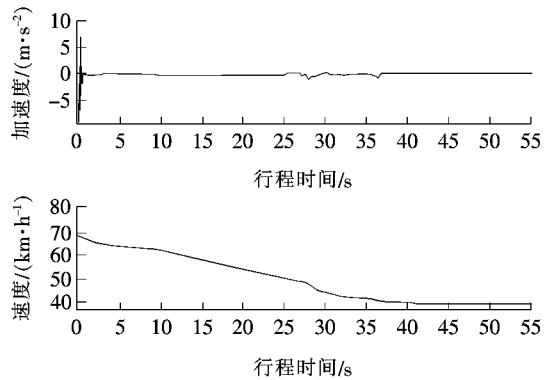


图 8 有过渡段典型试验加速度、速度数据图

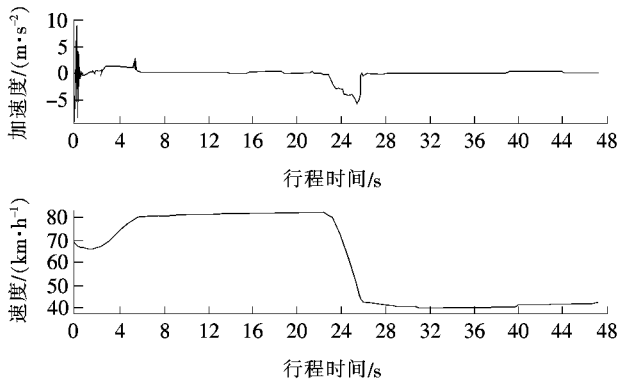
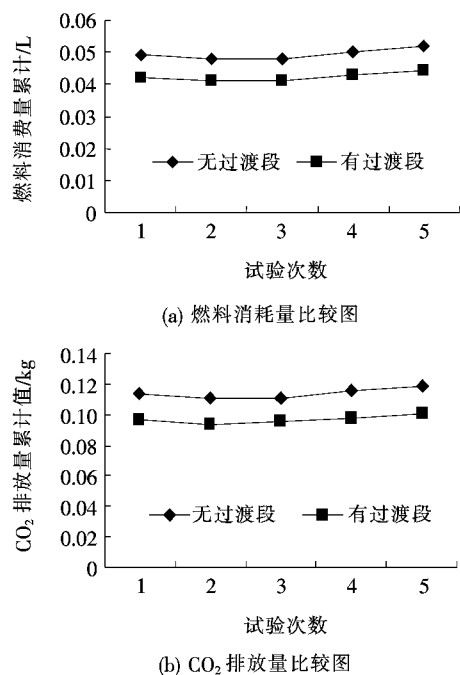


图 9 无过渡段典型试验加速度、速度数据图

从图 10 可以看出:设置了速度过渡后,机动车的油耗和 CO₂排放量均能有效降低,5 次平行试验,机动车在试验路段油耗和 CO₂排放量分别能降低约 14.6% 和 14.3%,因此,过渡段速度管理方案对机动车节能减排也有一定的改进效果。

图 10 有、无过渡段机动车油耗量、CO₂排放量试验数据

5 结 语

在中国,干线公路穿越城镇的现象较为普遍,由于缺乏有效的速度管理措施,机动车从公路进入城镇时容易产生速度突变,不仅影响车辆行驶的舒适性,也存在一定的安全隐患。为改进这种弊端,该文在国内外相关研究的基础上,基于交通稳静化的设计理念,提出了一种组合式的速度管理方案,将干线公路与城镇道路过渡段划分为过渡感知区、强制减速区和稳速入城区 3 个互相衔接的路段,各路段内分别采用纵向标线、振动标线、层次景观法、中央分隔岛、车道变窄、门式通道及视觉宽度等舒适型和生态型减速技术,将机动车车速逐级地从干线公路上较高车速降至城镇路段目标车速。驾驶模拟试验结果表明:该文提出的速度管理方案,与仅设置简单限速标志的控速方案相比,不仅能让减速过程变得均匀、平顺,还能有效减少机动车的油耗和污染物排放量。

今后的研究中,将结合实际工程项目,将该类设计方案应用于实际项目,根据实测交通流数据不断检验和修正设计方案,让速度管理方案更加优化。

参考文献:

[1] 张铁军,刘文恒,尹心怡.城镇化发展形势下公路穿村镇路段交通安全分析及对策[J].公路交通科技(应用技术版),2017(3).

[2] Darren J. Torbic, David K. Gilmore, Karin M. Bauer, et al. NCHRP REPORT 737: Design Guidance for High-Speed to Low-Speed Transition Zones for Rural Highways[R]. Washington, D. C.: Transportation Research Board, 2012.

[3] David Gilmore, Karin Bauer, Darren Torbic, et al. Treatment Effects and Design Guidance for High-Speed to Low-Speed Transition Zones for Rural Highways[J]. Transportation Research Record, 2013, 2348: 47-57.

[4] Forbes G., et al. NCHRP Synthesis Report 412: Speed Reduction Techniques for Rural 10 High-Speed to Low-Speed Transitions[R]. Washington, D. C.: Transportation Research Board, 2011.

[5] Ewing R., Impacts of Traffic Calming[J]. Transportation Quarterly, 2001, 55: 33-45.

[6] Dixon K. H., Zhu J., Olge J. O., et al. Determining Effective Roadway Design Treatments for Transitioning from Rural Areas to Urban Areas on State Highways [R]. Oregon: Oregon Department of Transportation, 2008.

[7] 张铁军,尹心怡,肖贵平.公路穿村镇路段速度管理设施设置位置研究[J].公路,2017(10).

[8] 张志清,贾岩,周海生,等.穿村镇公路警告标志前置距离研究[J].交通信息与安全,2011(2).

[9] 占劲松,闵强,汤乾斌.国省干线公路减速设施设置技术研究[J].公路与汽运,2015(1).

[10] 高振鑫,杨宏志,芦薇.双车道公路典型减速设施安全评价[J].长安大学学报(自然科学版),2016(2).

[11] Elvik R. Area-Wide Urban Traffic Calming Schemes: A Meta-Analysis of Safety Effects[J]. Accident Analysis and Prevention, 2001, 33(3): 327-336.

[12] Taylor David, Tight Miles. Public Attitudes and Consultation in Traffic Calming Schemes[J]. Transport Policy, 1997, 4(3): 171-182.

[13] 王树盛.以人为本,推进落实交通稳静化[J].江苏城市规划,2011(1): 43-44.

[14] Berger W. J., M. Linauer. Raised Traffic Islands at City Limits—Their Effect on Speed[C]. Proceedings of 1998 Meeting of the International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety. Budapest, 1998.

[15] National Roads Authority (NRA). Guidelines on Traffic Calming for Towns and Villages on National Routes (REV B) [R]. Dublin, Ireland, 2005.

[16] GB 51038—2015 城市道路交通标志和标线设置规范[S].

[17] GB 5768—2009 道路交通标志和标线[S].

[18] JTG D81—2017 公路交通安全设施设计规范[S].

[19] JTG/T D81—2017 公路交通安全设施设计细则[S].

[20] JTG D20—2017 公路路线设计规范[S].