

山区农村公路路侧安全保障技术

许金良,周育名,杨宏志

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘要:为了研究山区农村公路路侧安全影响因素、安全评价方法及安全保障措施,对陕西咸阳市地区农村公路进行了实地调查,并结合专家意见,应用层次分析法和灰色理论进行了相关分析。结果表明:影响山区农村公路路侧安全的因素有交通量、交通组成、路侧特征及线形特征;适用于山区农村公路路侧安全评价的 10 个指标为平曲线变量、竖曲线变量、白天平均小时交通量、摩托车比重、路侧事故数、路侧伤亡事故数、路侧净区满足率、路侧深度、离散危险物密度及横向距离;山区农村公路路侧危险度宜划分为 3 个等级:Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级,且不同危险度等级应采用不同的安全防护对策。

关键词:道路工程;山区;农村公路;路侧安全;评价指标;保障措施

中图分类号:U412.362

文献标志码:A

Roadside safeguard technique of rural highway in mountainous area

XU Jin-liang, ZHOU Yu-ming, YANG Hong-zhi

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: There are many influence factors on the roadside safety of mountainous rural highway, but no specific safety evaluation and safety measures. To resolve these problems, an on-site roadside safety investigation was done in Xianyang area. The investigating datum were analyzed with experts' markings, analytic hierarchy process and grey theory evaluation method. Results show that: the influence factors on roadside safety are traffic volume and compositions, roadside features and road alignment. The evaluation indicators of roadside safety were put forward which contain horizontal curve variable, vertical curve variable, AHT (average hourly traffic) during daytime, motor proportion, numbers of roadside accident, casualties of roadside accident, fill rate of roadside recover distance, depth of roadside, closeness and lateral separation of discrete obstacles. The roadside hazard should be classified into three levels which are class I, II and III, and different safeguard measures should be defined to suit for different hazards. 5 tabs, 8 figs, 10 refs.

Key words: road engineering; mountainous area; rural highway; roadside safety; evaluation index; safeguard measure

0 引言

山区农村公路一般是指山区双车道公路,多为

三、四级以及等外公路,设计行车速度为 40 km/h 以下,路基宽度为 6.5 m 或 4.5 m(单车道),主要起集散、联通与运输作用。本文所指的农村公路,包括

县道、乡道和村道。截止到 2009 年底,中国的农村公路里程已达到 336.91×10^4 km,比 2008 年增加了 12.47×10^4 km,全国通公路的乡(镇)占全国总数的 99.60%,已通公路的建制村占全国总数的 95.77%^[1]。长期以来,由于路侧原因引起的交通事故在山区农村公路上较为显著,据公安部发布的交通事故白皮书,对 2003~2005 年路侧事故(翻车、坠车和撞固定物 3 种形态的事故)进行统计,结果显示,路侧事故约占总数的 8%,但却造成了约 12% 的死亡人数。根据北京和贵州地区 31 条双车道公路(总里程约 740 km)的事故资料统计显示,路侧事故数约占全部事故的 25%,却造成了 40% 的死亡率和超过 50% 的重伤^[2]。路侧安全研究始于 1960 年 Stonex 的“路侧安全设计”论文^[3]。美国各州公路和运输工作者协会(AASHTO)在 2002 年出版的 *Roadside Design Guide* 是目前较为成熟的路侧设计指南^[4]。2003 年,英、法、德等 9 国联合启动了“更安全的欧洲道路路侧基础设施”计划(“RISER”计划),旨在通过收集、分析路侧安全有关数据,提出和获取路侧设计和养护的成熟经验和有益做法,提高路侧的安全性。

中国对路侧安全的研究始于 20 世纪 80 年代,主要集中在路侧防护设施的开发与正确使用。在交通运输部西部交通建设科技项目《公路路侧安全评估及防护方法》的研究成果——《公路路侧安全指南》中,给出双车道等级公路路侧安全的设计及评估等建议^[2]。陈乐生等研究了山区一般公路路侧危险度的划分^[5]。由于上述文献对山区农村低等级公路的路侧安全研究较少,为此,本文以陕西咸阳农村公路安全保障技术项目为依托,对山区农村公路路侧安全影响因素、危险度的划分以及相应防护措施做出相关分析。

1 山区农村公路路侧安全影响因素

对收集的陕西咸阳农村公路资料进行分析,并结合现场调查结果及山区农村公路特点,得出山区农村公路路侧安全影响因素主要有以下几个方面。

1.1 交通量及组成

交通量越大,交通组成越复杂,发生事故的几率就越大。对咸阳农村公路 16 个路段的交通量及组成调查(图 1),在调查过程中虽未发生交通事故,但在交通量大、交通组成复杂的路段,交通冲突数明显偏多,而在一定程度上交通冲突也能表征交通安全状况^[6]。农村公路交通流特点是,夜晚道路交通量

很小。夜晚事故原因一般与车辆、驾驶人及道路条件等因素有关,因此只考虑白天交通量与路侧事故的关系。将平均小时交通量与交通冲突的关系进行线性拟合,如图 2 所示。图 2 中: x 为白天平均小时交通量; y 为交通冲突数,二者呈线性关系;判定系数 $R^2=0.927$,拟合度较高。由此可知,农村公路的白天平均小时交通量与交通安全的关系很大。

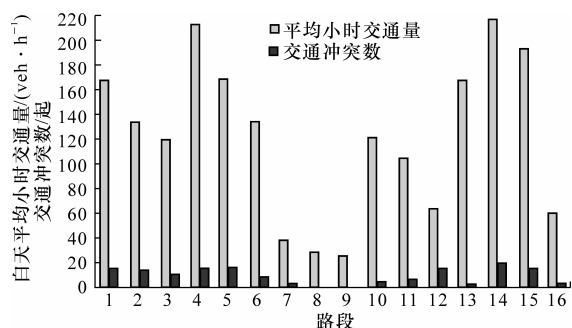


图1 16个路段的白天平均小时交通量及交通冲突数

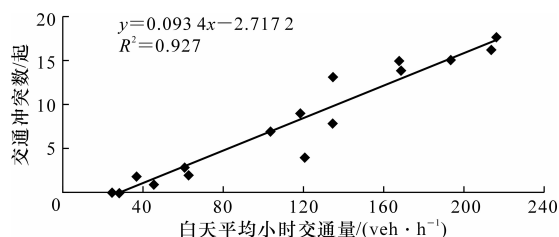


图2 交通冲突数与白天平均小时交通量的关系

将以上各路段对应类型车辆数相加,得到表示农村公路的交通组成,如图 3 所示。

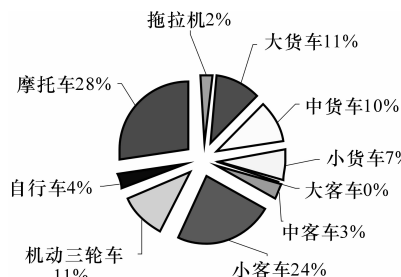


图3 农村公路交通组成

从图 3 中可以看出,在山区农村公路中,摩托车、小客车所占比例较大,摩托车占总交通量 1/4 还多。在对咸阳地区某路段的交通事故调查中发现,2008 年 4~6 月,淳(化)卜(家)线上 2 个月内发生的 6 起交通事故中,全部与摩托车有关:2 起是 2 轮摩托车侵线超速与 3 轮摩托车相撞;2 起是 2 轮摩托车撞行人;1 起是两辆 2 轮摩托车相撞;1 起是 2 轮摩托车与农用车相撞。其他路段的交通事故,有死伤发生的也多与摩托车相关。由此可见,摩托车是影响山区农村公路安全的主要车型;而小客车一

般在农村公路上超速行驶幅度不大,且性能较好,因此,小客车相对较安全。《路侧安全设计指南》中提出,货车比重对路侧事故有一定影响;但 Zegeer 等提出,在低交通量的道路上,货车比例与事故率没有明显关系^[7-8]。因此,在山区农村公路上,本文将摩托车比例作为一个主要指标。

1.2 路侧特征

(1)路侧净区。由于地形条件以及车辆性能的差异,世界各国对路侧净区的宽度都有不同的规定。中国高等级公路对路侧安全距离有相应的要求,但对山区低等级公路却没有相关规范。为了节约土地资源,山区农村公路路侧净区宽度往往达不到理想的要求。

(2)路堤路堑。路堤一侧为深沟陡崖时,虽然采用护栏等安全防护,但也会给人造成恐惧感,影响行车安全;路堑一侧凸出的粗糙岩壁往往靠近车道,侧向净空小,容易造成车辆与岩质边坡发生刮擦或者撞击。

(3)边坡坡度。公路路堤边坡可分为可返回边坡、不可返回边坡和危险边坡。可返回边坡指坡度缓于 1:4 的边坡,这种情况下车辆驶离车道进入净区后,可以停车或减速后驶回行车道;不可返回边坡指坡度为 1:3~1:4 的边坡,大多数车辆驶入后无法停车或返回行车道,车辆通常会驶回坡底;危险边坡指坡度大于 1:3 的边坡,如图 4 所示。车辆驶入此类边坡时,驾驶人无法控制车辆,车辆发生颠覆的可能性较大。山区农村公路边坡较多属于不可返回边坡,或者危险边坡。

山区公路路堑边坡坡度多陡于 1:3,为不可返回边坡,因此路堑边坡坡度与路侧安全关系较小。

(4)边沟、护栏、标志、安全设施杆柱和行道树等障碍物。边沟形式主要为矩形或梯形,采用开放式,且常常较深较宽,很容易使车轮卡在边沟里;护栏的长度、端部处理、高度以及硬件缺损等问题均影响护

栏整体功能的发挥。实地调查发现,农村公路路侧危险物主要为行道树、电线杆、护栏端头、堆放物以及体积较大的石头、残断构筑物等。这些障碍物使本来等级低、宽度窄的农村公路更加不安全。

1.3 线形

农村公路由于受资金的制约,其线形标准较低,为保证通达,许多路段路线往往采用极限指标甚至更低的指标,为农村公路的交通安全埋下了隐患。农村公路主要线形问题有小半径曲线、视距不良、长下坡和不良线形组合等。

(1)平曲线。国内外研究资料表明,当平曲线半径小于 400 m 时,事故发生率就明显增大^[9]。山区农村公路尤其是乡道、村道,曲线半径小于 100 m 的占 3/4 以上,是造成车辆冲出路外交通事故的主要原因。

(2)长下坡。根据近几年中国交通事故统计数据可看出,发生在道路纵坡路段的交通事故非常多,在平原地区占 7%,在丘陵地区占 18%,在山区占 25%^[10]。山区农村公路最大纵坡甚至达到 10%。农村公路上车辆常常由于年久失修,性能较差,存在刹车等功能欠佳的问题。长下坡路上的车辆如果不能采取有效措施降低速度,很容易与对向车辆相撞或冲出路外,尤其在雨雪等恶劣气候条件下,冲出路外的事故发生率更高。

(3)暗弯。暗弯不良视距一般也是由小半径曲线造成的,如图 5 所示。在暗弯路段,驾驶人不能及时发现对向车辆,影响驾驶人对危险的判断,容易引起对向撞车或躲避对撞而引发的路侧事故。

(4)不良线形组合。山区农村公路的不良线形组合主要有:凸(凹)形竖曲线顶(底)部设小半径平曲线起点;凸形竖曲线顶部或凹形竖曲线底部设反向平曲线拐点;一个平曲线内有几个变坡点或一个竖曲线内有几个平曲线。这些组合会使视线不平衡,驾驶人容易发生错误判断。



图 4 陡峭的路堤边坡



图 5 小半径曲线且视距不良

2 山区农村公路路侧安全评价

2.1 安全指标

通过对咸阳地区农村公路路侧安全影响因素的分析,在参照《路侧安全设计指南》中现有公路路侧安全评价指标的基础上,给出了山区农村公路路侧安全评价指标,如图 6 所示。

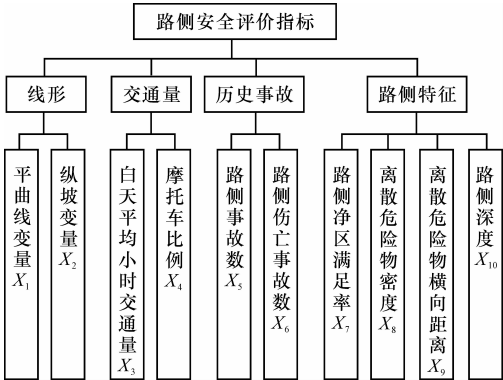


图 6 山区农村公路路侧安全评价指标体系
路侧净区满足率 X_7 , 按式(1) 计算。

$$X_7 = 1 - \frac{D}{W} \times 100\%$$
 (1)

式中: D 为评价路段的实际路侧净区宽度; W 为评价路段的路侧净区宽度下限值, $W = \alpha W_a$, α 为折减系数,取值为 0.6~0.8,农村公路取最小值 0.6, W_a 为直线路段的路侧净区宽度下限值。

参照美国的路侧设计指南^[4],依据评价路段的边坡比率、交通量和设计速度,确定路侧净区宽度的设置值。如果有断面运行速度调查值 V_{85} ,则以其代替设计速度。在评价路段为曲线时,则路侧净区建议值则需要乘以相应的调整因子,见式(2);若评价路段内存在多个平曲线,可采用加权的方法确定调整后的净区宽度 W'_a ,见式(3)。

$$W'_a = W_a k$$
 (2)

$$W'_a = W_a \sum_i (k_i \frac{l_i}{L})$$
 (3)

式中: W'_a 为圆曲线段路侧净区下限值宽度; k 为评价路段圆曲线的净区调整因子; k_i 为评价路段第 i 个圆曲线的净区调整因子(表 1); l_i 为第 i 个圆曲线的长度; L 为评价路段的长度。

农村公路技术标准低,设计速度小,因此在这里对圆曲线外侧净区宽度调整因子进行补充。

评价方法中的各变量的权重由层次分析法确定。在权重确定的过程中,采用专家经验打分法,计算出分数矩阵的特征根,最大特征根对应的正规化特征向量的分量即为变量的权值。层次单排序中 4

个因素 Y_i 权重值为括号中的数值(表 2),层次总排序中 10 个变量 X_i 权重值表示为 η_i ,具体计算过程从略,各变量权重见表 2。

表 1 农村公路圆曲线的净区宽度调整因子 k

圆曲线 半径 /m	不同设计速度(km·h ⁻¹) 的 k				
	20	30	40	50	60
500		1.1	1.1	1.1	1.1
450		1.1	1.1	1.1	1.2
400		1.2	1.2	1.2	1.2
350	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2
300	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
250	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
200	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
150	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
100	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5
50	1.2	1.3	1.4	1.5	
30	1.3	1.4	1.5		
15	1.4				

表 2 路侧安全等级评估指标变量权重值

X_i	层次单排序				层次总 排序 值 η_i
	线形 Y_1 (0.189 5)	交通 量 Y_2 (0.102 1)	历史 事故 Y_3 (0.284 7)	路侧 状况 Y_4 (0.423 7)	
平曲线变量 X_1	0.5				0.094 8
纵坡变量 X_2	0.5				0.094 8
白天平均小时交通 量 X_3		0.286 7			0.029 3
摩托车比例 X_4		0.713 3			0.072 8
路侧事故数 X_5			0.166 7		0.047 5
路侧伤亡事故数 X_6			0.833 3		0.237 2
路侧净区满足率 X_7				0.500	0.211 9
离散危险物密度 X_8				0.084	0.035 6
离散危险物横向距 离 X_9				0.116	0.049 1
路侧深度 X_{10}				0.300	0.127 1
\sum	1	1	1	1	1

注: X_1 对应的层次总排序权重值 $\eta_1 = X_1 Y_1 = 0.5 \times 0.189 5 = 0.094 8$; X_3 对应的层次总排序权重值 $\eta_3 = X_3 Y_2 = 0.286 7 \times 0.102 1 = 0.029 3$;其他权重值计算依此类推。

2.2 危险度划分

根据一般路侧安全等级划分,结合山区农村公路现状,将农村公路路侧危险度划分为 3 个等级,见下页表 3。由于山区农村公路本身技术标准低,等级差别不大,因此 3 种危险度的划分可以满足对路侧安全的评价。

2.3 评价方法

对于采集的数据,采用灰色理论对路侧安全进行评价。通过概率统计方法确定评价标准,将指标数

表 3 不同路侧危险度的等级划分依据

危险度等级	I 级	II 级	III 级
路肩	有	有	无
路肩宽 /m	0.75 ~ 1.00	0.50 ~ 0.75	
边坡坡度	≤ 1 : 3	1 : 3 ~ 1 : 1	> 1 : 1
路侧返回净区 /m	2.0	0.5 ~ 2.0	< 0.5
危险物	无障碍或者存在直径不超过 10 cm 的行道树、少量标志或电线杆柱	路侧净区内存在距车道较近的孤石、行道树、设施杆柱或连续的电线杆柱等	路侧存在江河等水域、陡峭的岩壁或者路侧为深沟、陡崖

据进行量纲一处理后,绘制累积百分频率曲线,在曲线上确定不同累积百分频率所对应的数值,将其作为灰类的白化值。对于 3 种危险度分级,构造相应的灰类白化函数,确定聚类权对评价对象进行分析,从而确定聚类对象的安全状况。

农村公路路侧安全等级评估流程如图 7 所示。

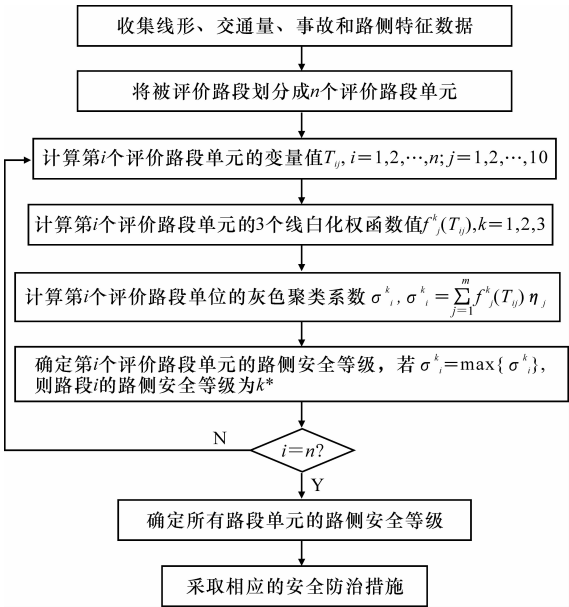


图 7 路侧安全等级评估流程

3 山区农村公路路侧安全保障措施

对某省 2007 年农村公路交通事故进行了分析,结果见表 4。由表 4 可以看出,路侧安全事故与路侧安全保障设施的设置有密切联系,交通事故发生在无防护路上的数量明显高于设置了安全防护设施的道路。不同的路侧防护措施有不同的效果,通过改善路侧安全设计和安全设施,能在很大程度上遏制路侧交通事故,减轻事故的严重程度。

确定路段的路侧危险等级后,则根据不同的分级,采取不同的安全防护措施(表 5)。对于轻微事

故,可作一般性处置;对于重大事故,需要特别关注,采取综合性和安全性更高的技术对策。

表 4 交通事故与路侧防护设施的关系

路侧防护设施	事故数 / 起	死亡人数 / 人	受伤人数 / 人	直接经济损失 / 万元
防撞墙	4	8	24	3.15
防护墩	13	19	18	6.83
无防护	499	258	550	154.62
其他防护设施	51	54	51	22.34

表 5 不同的路侧危险度对应的安全防护措施

路侧危险度等级	状况描述	发生事故严重度	采用的安全措施
I 级	路侧设置路肩,净区宽度一般能达到 2 m 以上,坡度缓于 1 : 3,无障碍物或只有少量直径较小的树木	车辆驶出路外,在紧急采取刹车措施后能够及时停止,不会发生事故	不需要进行防护,进行定期道路养护即可
II 级	路侧设置路肩,净区宽度较小,边坡坡度陡于 1 : 3 但小于 1 : 1,路侧净区内存在距车道较近的障碍物,道路存在视距不良、陡下坡等	车辆驶出后不能驶回公路,冲出路外车辆一般能够得到有效控制,事故严重度较轻,发生翻车事故的几率也不大	一般性防护,可设置视线诱导标志、危险提示,进行路肩硬化处治,在特殊地区设置可解体的杆柱设施
III 级	路侧净区只有路肩宽,路侧为陡峭的岩壁、江河等水域或者路侧为深沟、陡崖	车辆驶离车道,会直接翻车或者撞车,事故严重度较大,多为事故多发路段或事故隐患路段	重点防护,应设置危险提示、减速标志,采用防护等级较高的护栏,设施需定期养护

路侧安全防护措施主要包括主动防护措施和被动防护措施。主动防护措施能够起到预防车辆驶离车道冲向路侧的作用;而被动防护措施则是保障车辆冲向路侧后能否将伤害减到最小。农村公路路侧安全保障设施的设置流程如下页图 8 所示。

确定所需安全措施后(一般 2 种以上),在设置之前对措施方案进行比选,选择经济性最佳的方案,并且一般在安全设施设置后要对其安全效果进行评价。经过对多种方法的对比分析,最终选择效益费用比 BCR(benefit cost ratio)的方法(式(4))来确定山区农村公路路侧安全设施的设置情况。

$$B/C = (B_1 - B_2)/(C_2 - C_1) \tag{4}$$

式中: B 为收益; C 为成本; B_1 、 B_2 分别为方案 1、方案 2 各年事故数或社会损失; C_1 、 C_2 分别为方案 1、

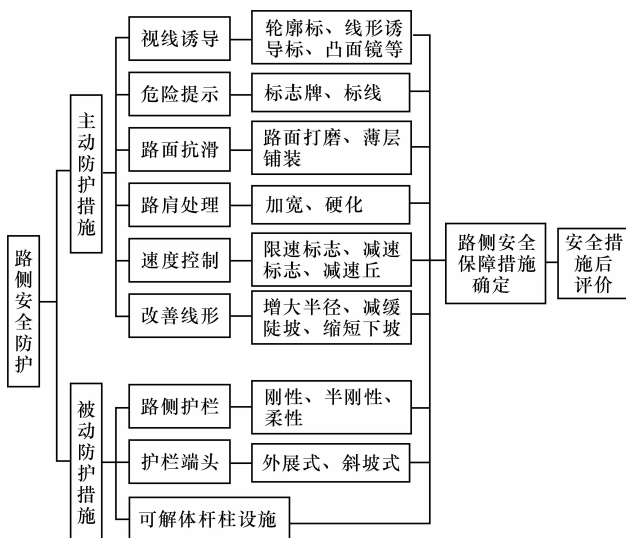


图8 路侧安全防护措施

方案2的年投入总额。

如果 B/C 值大于1,则表明方案2优于方案1,减少事故损失和社会成本比起增大直接成本的效果更佳。

式(4)中事故成本的确定是效益费用分析法的关键,中国尚没有简便可行的用于路侧安全状况评估和辅助路侧安全改善项目实施的方法。在中国此效益费用分析法的应用,尤其是在山区低等级公路上应用,只能依靠国外的相关数据,而美国的农村公路与中国有很大的差别。因此,只有收集足够的山区低等级公路事故资料以及地形条件资料,建立起适合中国的事事故成本分析法,才能更好地应用该模型。

4 结 语

(1)通过对陕西咸阳地区农村公路交通量及组成、交通事故的实地调查,得到影响山区农村公路路侧安全的交通量及组成因素,主要包括白天平均小时交通量和摩托车的比例。

(2)提出山区农村公路路侧安全的评价指标,主要包括平曲线变量、纵曲线变量、白天平均小时交通量、摩托车比例、路侧事故数、路侧伤亡事故数、路侧净区满足率、路侧深度、离散危险物密度及横向距离共10个因素,并通过专家打分及层次分析法确定了每种因素的权重。

(3)将山区农村公路路侧危险度划分为3个等级;采用基于费用效益的BCR方法确定最佳路侧安全防护措施。

(4)路侧安全的各影响因素与路侧事故的关系较为复杂,本文中2个新指标(白天平均小时交通

量、摩托车比例)的提出,均是以陕西咸阳农村公路现场调查与事故调查数据为基础,由于数据量有限,指标的适用性还有待于取得更多地区的大量数据后,再进一步研究确定。

参考文献:

References:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 2009年公路水路交通运输行业发展统计公报[R]. 北京:中华人民共和国交通运输部,2010.
- [2] 高海龙,李长城. 路侧安全设计指南[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [3] Stonex K A. Roadside design for safety[C]//Transportation Research Board Business Office. Highway Research Board Proceedings. Washington DC: Highway Research Board,1960:120-156.
- [4] 1-56051-132-X, Roadside design guide[S].
- [5] 陈乐生,游宏,李永江,等. 山区一般公路路侧危险度划分方法研究[J]. 公路,2005(11):159-163. CHEN Le-sheng, YOU Hong, LI Yong-jiang, et al. Research on classified method on danger degree of roadside of ordinary highways in mountainous areas [J]. Highway,2005(11):159-163.
- [6] 罗石贵,周伟. 路段交通冲突的调查技术[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(1):71-75. LUO Shi-gui, ZHOU Wei. Survey way of road-traffic-conflict technique[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2003,23(1):71-75.
- [7] Zegeer C V, Stewart R, Council F, et al. Accidents relationships of roadway width on low-volume roads [C]//Transportation Research Board Business Office. Highway Research Record. Washington DC: Transportation Research Board,1994:60-168.
- [8] Zegeer C V, Reinfurt D W, Hunter W W, et al. Accident effects of sideslope and other roadside features on two-lane road[C]//Transportation Research Board Business Office. Highway Research Record. Washington DC: Transportation Research Board,1988:33-47.
- [9] 江进龙. 农村公路安全设计研究[D]. 西安:长安大学,2009.
- [10] 许金良,叶亚丽,苏英平,等. 双车道二级公路纵坡段车辆运行速度预测模型[J]. 中国公路学报,2008,21(6):31-36. XU Jin-liang, YE Ya-li, SU Ying-ping, et al. Operating speed prediction model on gradient section for two-lane secondary highway [J]. China Journal of Highway and Transport,2008,21(6):31-36.