

长大下坡路段安全评价方法研究

高伟¹, 石红星², 李迎春³, 董月振²

(1. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074; 2. 北京城建道桥建设集团有限公司, 北京 100124;

3. 广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院, 广西 南宁 530011)

摘要:通过对长大下坡路段行车安全影响因素的分析,确定了以年公里事故数、年公里死亡人数、百万车年公里事故率及百万车年公里死亡率作为长大下坡路段安全评价指标,并提出了相应的计算模型。采用安全度作为各评价指标的综合指数对长大下坡路段的安全水平进行评价,得到的结果与实际情况一致。

关键词:山区高速公路;长大下坡;安全影响因素;评价指标;安全度

中图分类号: U 491.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7767(2016)05-0017-04

Evaluation Method of Long Downhill Roads

Gao Wei, Shi Hongxing, Li Yingchun, Dong Yuezhen

近年来,山区高速公路得到快速发展,公路里程不断增加。受地形条件、地质地貌和复杂天气条件的限制,为降低工程造价、保护生态景观,山区高速公路设计过程中不可避免地会采取一些极限指标,其中平纵线形指标的选取是较为突出的问题。为克服高差,设计人员往往会采取较长陡坡接较短缓坡的形式,形成长下坡。车辆在连续长大下坡路段行驶时,因为长时间使用行车制动,制动器温度急剧上升,制动“热衰退”现象突出,严重时车辆制动能力完全丧失,从而导致重特大交通事故的发生。

国内学者对长大下坡路段货车的温升模型、小客车的速度预测模型、避险车道的设置等进行了大量的研究。郭鑫^[1]等选取引道长度、与主线交角、视距条件、制动床长度、坡度、集料类型、集料深度等9个指标评价了避险车道的安全性;廖军洪^[2]等研究了一种基于制动器温度的纵坡设计方法,结果表明连续长大下坡路段应尽可能采用单一坡度展线,相邻坡段采用不同纵坡坡度时坡差不宜过大;廖军洪^[3]等建立了驾驶员心率增长率与车辆驶离连续长大下坡路段起点的距离、车辆所在坡段的曲率和车辆运行速度的关系模型;陈斌^[4]等运用数理统计与回归分析方法,研究了连续长大下坡路段交通事故与道路纵断面参数之间的关系;杨宏志^[5]等建立了小客车运行速度预测模型和货车制动毂温度预测模型,小客车可采用运行速度作为安全评价指标,而货车可采用坡长与制动毂温度作为安全评

价指标;史扬^[6]等根据加速度变化量与交通安全之间的关系,提出以加速度的变化量作为下坡路段评价的量化指标;杜智民^[7]等利用主成分-聚类分析法计算出交通安全综合评价指标,对长下坡路段的交通安全状况进行了定量评价;李迎春^[8]等采用汽车行驶动力学、仿真计算等技术手段对长下坡路段的安全水平评价方法进行了系统研究。综上可知,国内对采用事故数、事故率等定量研究长大下坡路段安全的方法较少。

笔者针对长大下坡路段严峻的安全形势,从长大下坡路段事故安全机理出发,对长大下坡路段合理安全指标、安全设计和评价方法与安全改善对策进行研究,以期提高长大下坡路段的安全水平,降低交通事故发生的几率。

1 长大下坡路段行车安全影响因素分析

1.1 坡度、坡长对行车安全的影响

长大下坡路段的交通事故多为重载车辆刹车失灵后造成的。美国曾对质量/功率=0.1 t/kW的中型重载汽车在下坡路段行驶时的车速分布情况做过现场调查,如图1所示。

图1体现了车辆在坡道上的行驶特性,量化了坡度、坡长与行驶速度三者之间的关系。当速度增加到期望值时,驾驶员将根据车辆的性能和出于对安全的考虑,保持稳定的行车速度。在驾驶员为控制因下坡不断增加的车速而频繁踩刹车进行制动的过程中,大量的动能将转化为制动器的热能并导致制动器温度升

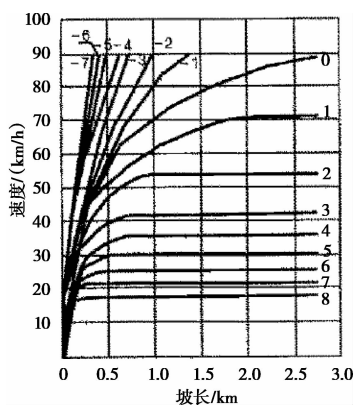


图1 重载汽车在坡道上的速度分布

高。当温度过高时,制动器就会出现“热衰退”现象,使车辆的制动性能下降甚至失效,最终导致车速无法控制而引起交通事故。

1.2 车辆条件对行车安全的影响

影响制动器温度的因素包括制动器的材料和构造、车辆的装载质量、制动时间和制动次数。其中,制动器材料和构造是由各汽车制造厂家根据一定的技术标准选择和设计的,对于固定的车型一般是不变的,但是随着使用时间的增长,刹车片和制动鼓的厚度会发生变化(逐渐减小),其温度会更容易升高;制动器的构造在一定程度上影响了温度分布形式和散热效果。

另外,车辆质量对制动器温度的影响也很大。图2为进入避险车道的各种车辆质量所占比例的统计结果。

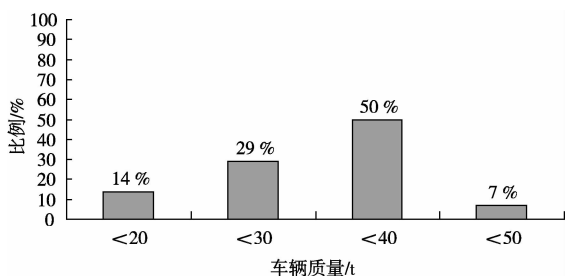


图2 进入避险车道的车辆质量所占比例

从图2所知,出现制动失效的车辆多为质量大的车辆,说明车辆质量也是制动失效事故的关键影响因素之一。

1.3 平曲线对行车安全的影响

受地形条件影响,在实际道路中连续下坡路段往往设有平曲线,并且平曲线的半径可能较小,这样就导致车辆通过时存在横向稳定性的问题。车辆在平曲线路段的横向受力与车速、平曲线半径及横向超高有

着直接关系,当车辆以正常的安全速度驶入平曲线路段时,不会出现安全问题,但连续下坡可能使车辆(特别是重载货车)的速度增幅较快,当车速超出平曲线的安全通过速度时,可能导致翻车、碰撞安全设施等事故的发生。

1.4 驾驶员心理与行为对行车安全的影响

在利益驱动下,驾驶员在驾驶车辆时往往期望车辆的速度较高,在通过长大下坡路段时,大多数司机很少采用低档下坡,而是让车辆加速,达到一定速度后再采取制动措施将速度控制在一定的范围内,频繁的制动易导致车辆刹车失灵,增加事故概率。另外,在速度较快的行驶状态下,驾驶员遇到突发情况后往往来不及采取措施,也更容易导致事故发生。

1.5 避险车道对行车安全的影响

根据国内外应用经验,避险车道是对连续长大下坡路段刹车失灵车辆的有效防护设施,是长大下坡路段安全行车的重要保障,合理设置避险车道可以大大降低长大下坡路段的交通事故率。

2 安全评价指标

交通事故是行车安全最直观的表现形式,但交通事故是一个综合的宏观指标,包含了事故次数、伤亡人数和经济损失等基本指标参数,其中事故次数又是最基本的指标,伤亡人数和经济损失均受事故次数的影响。

目前交通管理部门公布的交通安全统计数字中包含了4项具体指标:年事故次数、年死亡人数、年受伤人数和年直接经济损失。其中,年事故次数和年死亡人数指标常被用于对道路安全性的评价,但对于某条高速公路或其中某一路段来说,这2个指标并不能真实地反映其安全水平,因为这2个指标均没有考虑道路长度和交通量等因素的影响。

如果综合考虑路段长度和交通量的影响,则可采用以下4项指标评价长大下坡路段的行车安全程度:年公里事故数、百万车年公里事故率、年公里死亡人数、百万车年公里死亡率。

2.1 年公里事故数

年公里事故数表示评价路段上每年平均每公里长度范围内发生的刹车失灵交通事故的次数,其计算公式^[9]为:

$$X_1 = \frac{N_E}{L} \quad (1)$$

式中: X_1 为年公里事故数; N_E 为计算路段的年事故次数,次/年; L 为计算路段的长度,km。

对于已建公路来说,年事故次数可通过实际的事 故调查结果获得;对于在建公路来说,则主要通过预 测获得。根据相关研究和应用经验来看,坡度、坡长、车 辆质量、车辆下坡速度和避险车道对长大下坡路段刹 车失灵交通事故的影响最为关键,因此,在年事故次 数预测时主要考虑这些影响因素。

2.2 百万车年公里事故率

百万车年公里事故率由年公里事故数经派生计算 获得,其计算公式^[9]为:

$$X_2 = \frac{X_1 \times 10^6}{\sum Q_j} \quad (2)$$

式中: X_2 为百万车年公里事故率; Q_j 为年交通量,辆/年。

2.3 年公里死亡人数

年公里死亡人数表示评价路段上每年平均每公 里长度范围内发生的交通事故的死亡人数,其计算公 式^[9]为:

$$X_3 = \frac{N_D}{L} \quad (3)$$

式中: X_3 为年公里死亡人数,人/(年·km); N_D 为计算路 段的年事故总死亡人数,人/年。

对于已建公路,事故总死亡人数可通过事故资料 获得;对于新建公路或没有详尽的调查数据时,可通 过以往单次事故的死亡率由公式(4)估算^[9]:

$$N_D = \beta \times N_E \quad (4)$$

式中: β 为平均单次事故的死亡率,人/次; N_E 为计算路 段的年总事故次数,次/年。

由于刹车失灵导致的大量死亡事故中,大多数情 况并非单车事故,而是双车或多车事故,包括货车与 货车、货车与大客车、货车与小客车之间的事故,因此 单起事故的死亡率不能仅考虑货车,而应综合考虑各 种车型。另外,这些事故形态各异,且无规律,也就要求 确定单起事故死亡率时应考虑各类事故形态。笔者取 平均值作为单次事故的死亡率,即 $\beta=0.21$ 人/次。

2.4 百万车年公里死亡率

百万车年公里死亡率是在年公里死亡人数的基 础上考虑了交通量的影响,其计算公式^[9]为:

$$X_4 = \frac{X_3 \times 10^6}{\sum Q_j} \quad (5)$$

式中: X_4 为百万车年公里死亡率。

3 安全评价模型及评价标准

3.1 长大下坡路段划分

我国现行的 JTG B01-2014《公路工程技术标准》^[10]

中规定的最大纵坡坡度和坡长取值情况如表 1 所示, 该规定主要是从车辆的爬坡动力性能方面考虑,缺少 对下坡行车安全性的考虑。

表 1 不同纵坡的最大坡长 m

纵坡坡度/ %	设计速度/(km/h)						
	120	100	80	60	40	30	20
3	900	1 000	1 100	1 200			
4	700	800	900	1000	1 100	1 100	1 200
5		600	700	800	900	900	1 000
6			500	600	700	700	800
7					500	500	600
8					300	300	400
9						200	300
10							200

从表 1 可以看出,当某一路段的平均纵坡坡度 $\geq 3\%$ 时,该路段内将出现连续的下坡,且将会存在大坡 度的坡段。从安全的角度考虑并结合实际情况,将满足 下列条件要素的路段称为连续长大下坡路段:

- 1)该路段内的所有坡段均为下坡;
- 2)该路段的累计下坡坡长大于 4 km;
- 3)该路段的平均纵坡大于 3%。

3.2 评价模型与标准

1)评价模型

安全评价就是对道路安全程度的判断。4 项评价指 标的取值越大,则安全度越低;当不发生事故时,则安全 度最高。因此,可将安全度指数取值范围定义为(0,1], 则各评价指标与安全度指数的关系^[11]可表示为:

$$D(X_j) = e^{-k_j X_j} \quad (6)$$

式中: $D(X_j)$ 为各评价指标对应的分项安全度; X_j 为各 评价指标,即 X_1, X_2, X_3 和 X_4 ; k_j 为各评价指标下的待定 系数。

根据公安部交通管理局发布的《2010 年道路交 通事故统计年报》,可以计算出全国高速公路的 4 项评价 指标的平均值,这组评价指标的取值即为全国道路安 全度的平均水平,相应安全度指数取 0.5,从而可计算 出各评价指标下的 k_j 值,如表 2 所示。

表 2 待定系数 k_j 的取值

项目	X_1	X_2	X_3	X_4
2010 年均值	0.138 4	0.037 4	0.091 2	0.026 3
k_j 值	5.009	18.538	7.598	26.376

根据单一评价指标的安全度难以对路段的安全水平作出准确的评价,因此还需采用各评价指标的分项安全度的加权平均和作为路段安全水平的综合评价指数,即综合安全度,其计算公式^[11]为:

$$D = \sum c_j D(X_j) \quad (7)$$

式中: D 为综合安全度; c_j 为各分项安全度的权值,取专家问卷调查结果的多数, $c_1=c_2=0.2, c_3=c_4=0.3$ 。

2) 评价标准

安全度指数的取值区间为 $(0, 1]$,参照公路安全运行的限速特征值划分原则(15%位车速、中位车速和85%位车速),将综合安全度水平划分为4个区间,同时结合我国公路安全水平的实际状况,根据这4个区间将路段安全水平划分为4个等级,如表3所示。

表3 安全水平等级标准

安全水平等级	综合安全度
一级(安全)	$0.85 < D \leq 1.00$
二级(较安全)	$0.50 < D \leq 0.85$
三级(不安全)	$0.15 < D \leq 0.50$
四级(很不安全)	$0 < D \leq 0.15$

3) 评价检验

为了检验评价方法是否符合实际,采用该评价方法分别对福建漳龙高速、北京八达岭高速和广西百罗高速等长大下坡路段进行了评价,且对百罗高速上行方向长下坡坡顶至罗村口路段(一般路段)进行了评价,如表4所示。评价结果表明,长大下坡路段的安全水平远低于一般路段,这与公路的客观现状相符。

表4 评价检验结果

项目	X_1	X_2	X_3	X_4	综合安全度	评价结果
百罗高速一般路段	0.166	0.287	0.000	0.000	6.9×10^{-1}	较安全
百罗高速长大下坡	1.200	0.110	4.210	0.390	2.65×10^{-2}	很不安全
漳龙高速长大下坡	7.678	3.510	0.644	0.294	2.38×10^{-3}	很不安全
八达岭高速长大下坡	5.152	2.350	1.303	0.594	1.51×10^{-5}	很不安全

另外,检验结果显示,长大下坡路段的综合安全度计算值很小(趋近于0),这主要是因为相对于一般路段,长大下坡路段的事故率和死亡率比较高,交通安全状况很差。虽然综合安全度的数值趋近于0,但在计算时不应直接用0来代替,以便在进行不同路段的安全程度比较时,根据综合安全度的相对大小来判断路段的安全性优劣。

4 结论

1)通过对长大下坡路段行车安全影响因素的分析,确定了长大下坡路段的安全评价指标为年公里事故数、年公里死亡人数、百万车年公里事故率及百万车年公里死亡率,并提出相应的计算模型。

2)提出采用安全度作为各评价指标的综合指数进行长大下坡路段安全水平的评价,并根据国内实际安全状况建立了安全度与各评价指标之间的关系模型。

3)根据我国公路安全水平的实际情况,划分了长大下坡路段的4个安全水平等级。

参考文献:

[1] 郭鑫,徐阳,刘明文,等.长大下坡路段避险车道安全评价研究[J].中国安全科学学报,2014,24(4):152-158.
[2] 廖军洪,邵春福,邬洪波,等.考虑制动器温度的连续长大下

坡纵坡设计方法[J].哈尔滨工业大学学报,2014,46(12):114-119.
[3] 廖军洪,邵春福,邬洪波,等.连续长大下坡心率与线形指标关系模型[J].交通运输系统工程与信息,2012,12(4):184-189.
[4] 陈斌,袁伟,付锐,等.连续长大下坡路段交通事故特征分析[J].交通工程学报,2009(4):75-78,84.
[5] 杨宏志,胡庆谊,许金良.高速公路长大下坡路段安全设计与评价方法[J].交通工程学报,2010(3):10-16,40.
[6] 史扬,陈永胜.下坡路段的道路线形设计安全评价方法研究[J].道路交通与安全,2009(1):32-35.
[7] 杜智民,王恩东,王玉兰.长大下坡路段交通安全评价方法[J].公路,2008(12):49-54.
[8] 李迎春,覃文辉,刘小勇.高速公路连续长大下坡路段安全评价与整治措施研究[J].西部交通科技,2013(6):8-13.
[9] 徐吉谦.交通工程总论[M].北京:人民交通出版社,2002:55-57.
[10] 交通部公路司,中国工程建设标准化协会公路工程委员会.公路工程技术标准:JTG B01-2014[S].北京:人民交通出版社,2015.
[11] 郭忠印,方守恩,等.道路安全工程[M].北京:人民交通出版社,2002:99-100.

收稿日期:2016-04-06

基金项目:广西交通科技项目《公路避险车道设计规范》(2014-0247)

作者简介:高伟,男,在读硕士研究生,主要研究方向为道路安全和环境理论与技术。