

高速公路连续下坡路段线形质量评价方法研究^{*}李大¹, 郑柯², 周乾¹

(1.湖南省交通规划勘察设计院, 湖南 长沙 410008; 2.福州大学, 福建 福州 350116)

摘要: 针对高速公路连续下坡路段交通事故频繁发生, 而设计规范对该类路段线形设计又没有制定特别标准的状况, 通过分析高速公路连续下坡路段线形指标的特点构造线形质量评价参数, 通过收集国内多条高速公路 10 个连续下坡路段的线形几何指标、交通事故数、交通量等数据, 应用统计分析方法, 建立了连续下坡路段线形评价参数与亿车公里事故率之间的关系模型, 通过分析线形评价参数与亿车公里事故率之间关系曲线的拐点及事故多发的阈值, 确定了线形质量评价参数的行车安全区间, 为高速公路连续下坡路段线形设计提供指导。

关键词: 交通安全; 高速公路; 连续下坡路段; 线形质量评价; 弯坡组合值; 行车安全分区

中图分类号: U412.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)03-0020-04

随着中国高速公路建设不断向山区挺进, 高速公路连续下坡路段越来越多。高速公路连续下坡路段的线形与一般路段相比具有特殊性, 由于在行车过程中较长时间受到一个重力分力的作用, 驾驶员在车速与制动上不易把握, 从而形成了潜在不安全因素。因此, 在《公路路线设计规范》对连续下坡路段线形设计方法没有作特别规定的情况下, 应从安全出发建立连续下坡路段线形质量评价模型对设计线形质量进行评价, 使设计线形更具安全性。

1 连续下坡路段线形质量评价指标确定

1.1 连续下坡路段线形平纵指标及其组合

描述平面线形质量的最主要指标是平曲线半径或平曲线曲率, 描述纵面线形质量的最主要指标是纵坡, 它们各自对行车安全造成影响。但道路线形是一条空间线形, 大多是平面线形与纵面线形的组合, 即平曲线与纵坡的组合, 要研究一条道路的线形是否安全, 需研究各特征路段平纵线形组合指标与交通事故的关系。设组合指标为 W , 计算公式为:

$$W = \frac{a}{R} + i \quad (1)$$

式中: a 为系数; R 为平曲线半径(m); i 为纵坡值(%)。

系数 a 的确定: 国外一般用曲度描述平曲线中圆弧的弯曲程度, 如果圆弧的曲度用 D 表示, 则按 $D = 1\,746.4/R$ 来表达曲度, $a = 1\,746.4$ 。

1.2 基于行车安全性的线形质量评价指标

山区高速公路上很难找到单一的直坡路段或平坡路段, 绝大部分属于弯坡组合路段。对于连续下坡路段, 从单个平曲线(也称特征单元)来看, 其弯坡组合值 W 越大, 则行车付出的努力越多, 路段越不安全。同理, 在连续下坡路线上, 对于一个包含多个平曲线的路段, 与另一个包含多个平曲线的路段相比, 其平均弯坡组合值 \bar{W} 越大, 则该路段越不安全。另外, 连续下坡路线中一个包含多个平曲线的路段内, 沿行车方向从标准高的线形到标准低的线形, 其弯坡组合值的平均差值 $\Delta\bar{W}$ 越大, 则该路段越会引起驾驶操纵及运行速度不稳定, 行车越不安全。

通过上述分析, 如果一个包含多个特征单元的路段的平均弯坡组合值 \bar{W} 及相邻特征单元弯坡组合值的平均差值 $\Delta\bar{W}$ 与另一个路段相比更大, 则该路段的行车安全性更差。因此, 可考虑建立 \bar{W} 、 $\Delta\bar{W}$ 与交通事故的关系, 并用这种关系来评价各路段线形质量和行车安全性。 \bar{W} 、 $\Delta\bar{W}$ 的表达式如下:

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

$$\Delta\bar{W} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (W_{i+1} - W_i) \quad (3)$$

式中: n 为一个路段中特征单元的个数; m 为一个路段中沿行车方向从标准高的线形到标准低的线形弯坡组合值之差的个数。

一条路段线形质量的优劣受 \bar{W} 、 $\Delta\bar{W}$ 两指标的影响, 设评价线形质量优劣的参数为 F , 并拟定 F

^{*} 基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(200731800003)

越大线形质量越好,反之则质量越差。根据 \overline{W} 和 $\Delta\overline{W}$ 的含义,可采用下列模型表示它们之间的关系:

$$F=Ae^{-B(\overline{W}+\Delta\overline{W})} \tag{4}$$

式中: A 和 B 为待定系数,通过试算及根据 F 值与交通事故指标值的匹配来确定, $A=80,B=0.12$ 。

由此得:

$$F=80e^{-0.12(\overline{W}+\Delta\overline{W})} \tag{5}$$

2 基于行车安全的连续下坡路段线形质量评价

2.1 评价模型的建立

以亿车公路事故率 H 作为交通事故指标,根据收集到的各连续下坡路段的长度、单位时间内发生的交通事故数及单位时间内通过的交通量计算得到。这里取的单位时间为一年。

在全国多条高速公路上进行连续下坡路段线形及交通数据采集,其中 10 个连续下坡路段的交通事故、路段线形指标及交通量数据见表 1。

表 1 10 个连续下坡样本路段线形指标及事故率数据

路段 编号	路段 长度/m	最小半 径/m	最大纵 坡/%	亿车公路事故率 H / [次·(亿车·km) ⁻¹]
1	2 589	350	3.50	23.00
2	2 643	250	3.00	38.10
3	2 777	303	3.00	42.30
4	2 505	700	4.90	26.80
5	2 977	255	4.50	73.28
6	2 497	350	4.00	26.88
7	2 900	254	4.60	25.03
8	3 004	250	3.95	44.67
9	3 094	440	4.00	32.57
10	4 829	255	4.50	52.13

表 2~4 为 1~3 样本路段(因篇幅有限,其他路

表 2 第 1 路段各特征单元平纵指标及弯坡组合值

半径 R /m	纵坡 i /%	曲度 D	弯坡组合值 W
∞	0.50	0.00	0.50
600	0.50	2.91	3.41
600	3.50	2.91	6.41
470	3.50	3.72	7.22
470	2.50	3.72	6.22
∞	2.50	0.00	2.50
∞	1.00	0.00	1.00
∞	1.00	0.00	1.00
350	3.10	4.99	8.09
350	3.10	4.99	8.09

段省略)各特征单元的平纵线形指标及根据平纵指标计算出的弯坡组合指标 W 。

表 3 第 2 路段各特征单元平纵指标及弯坡组合值

半径 R /m	纵坡 i /%	曲度 D	弯坡组合值 W
250	2.40	6.99	9.39
∞	2.40	0.00	2.40
810	2.40	2.16	4.56
810	3.00	2.16	5.16
580	3.00	3.01	6.01
∞	3.00	0.00	3.00
260	3.00	6.72	9.72
∞	3.00	0.00	3.00

表 4 第 3 路段各特征单元平纵指标及弯坡组合值

半径 R /m	纵坡 i /%	曲度 D	弯坡组合值 W
393	3.00	4.44	7.44
393	2.80	4.44	7.24
600	2.80	2.91	5.71
∞	2.80	0.00	2.80
600	2.80	2.91	5.71
600	0.30	2.91	3.21
∞	0.30	0.00	0.30
350	0.30	4.99	5.29
350	2.30	4.99	7.29
∞	2.30	0.00	2.30
303	2.30	5.76	8.06
500	2.30	3.49	5.79

根据各路段的线形指标,按式(6)可得到每个连续下坡路段沿下坡方向从标准高的线形到标准低的线形中相邻特征单元的弯坡组合值之差。表 5 为 1~3 样本路段各弯坡组合值之差计算结果。

$$\Delta W_j=W_{i+1}-W_i$$

$$(i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,m) \tag{6}$$

表 5 各连续下坡路段线形标准从高到低相邻特征单元弯坡组合值之差

路段编号	各弯坡组合值之差
1	2.89;3.00;0.81;4.97;2.10;2.75
2	2.14;0.60;0.85;6.70;2.57
3	2.89;4.97;2.00;5.75;3.90

根据表 2~5,可计算得到每个连续下坡路段的平均弯坡组合值 \overline{W} 及线形标准从高到低相邻特征单元平均弯坡组合值之差 $\Delta\overline{W}$,再由式(5)计算得到

每个连续下坡路段的线形质量评价参数 F ; 每个连续下坡路段的交通事故率 H 由所收集的资料计算得到(见表1)。由此得到每个连续下坡路段对应的 \bar{W} 、 $\Delta\bar{W}$ 、 F 和 H (见表6)。

表6 10个连续下坡样本路段对应的 \bar{W} 、 $\Delta\bar{W}$ 、 F 和 H

路段 编号	弯坡均 值 \bar{W}	弯坡差均 值 $\Delta\bar{W}$	线形质 量参数 F	亿车公里事故率 H / [次·(亿车·km) ⁻¹]
1	4.95	2.75	31.74	23.00
2	5.41	2.57	30.69	38.10
3	5.10	3.90	27.16	42.30
4	4.10	1.92	38.85	26.80
5	7.44	2.32	24.80	73.28
6	5.01	2.82	31.25	26.88
7	4.76	2.46	33.63	25.03
8	6.01	2.15	30.06	44.67
9	4.16	2.76	34.88	32.57
10	6.49	2.59	26.90	52.13

对10个连续下坡路段的线形质量评价参数 F 和亿车公里事故率 H 进行回归分析,得到两参数间的关系曲线(见图1)。

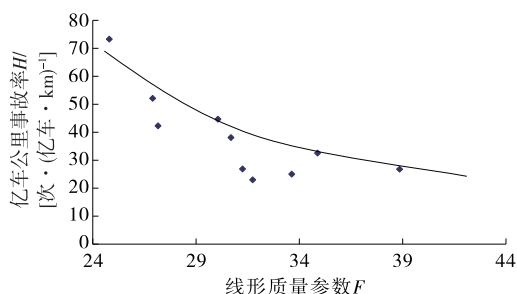


图1 F 与 H 的回归曲线

两者的关系式为:

$$H = 0.382 \cdot 10^{-5} F^2 - 27.122 F + 506.07, R^2 = 0.844 \quad (7)$$

从图1可以看出: $F=33$ 是连续下坡路段线形安全与较安全的分界; $F>33$ 时,连续下坡路段上亿车公里事故率 H 处于恒定的低水平,即事故率不随 F 的变化而变化,这样的连续下坡路段的线形安全性好; $F<33$ 时,随着 F 值的减小,亿车公里事故率 H 快速增大。

2.2 事故多发阈值确定及线形质量评价参数分区

根据10个连续下坡样本路段单位时间内发生的交通事故在各路段的分布,以每公里长度为单元,找出每个单元单位时间内不发生事故,发生1起、2

起事故等的单元数,求得不发生事故,发生1起、2起事故等的频率及其累积频率曲线。另一方面,每个单元单位时间内不发生事故,发生1起、2起事故等也可用亿车公里事故率来表达,单位时间内发生的事故起数乘以 10^8 再除以单位时间内该路段上通过的交通量即得到与事故起数对应的亿车公里事故率。表7为从10个连续下坡样本路段整理得到的亿车公里事故率与发生事故累积频率,图2为亿车公路事故率的累积频率曲线。

表7 亿车公路事故率与累积频率之间的关系

亿车公路事故 率 H /[次· (亿车·km) ⁻¹]	发生事故 累积频率/ %	亿车公路事故 率 H /[次· (亿车·km) ⁻¹]	发生事故 累积频率/ %
0.00	26.01	67.13	95.95
16.78	56.07	83.91	98.27
33.56	80.34	100.69	99.42
50.35	92.49	117.47	100

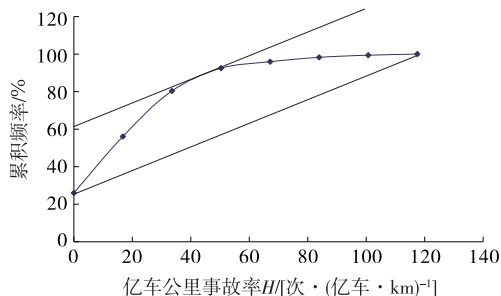


图2 亿车公路事故率的累积频率曲线及其切点位置

用直线连接亿车公路事故率的累积频率曲线的起、终点,得到该曲线连接起、终点的一条割线,根据拉格朗日中值定理,能找到一条平行于该割线并与曲线相切的一条切线,从而求得切点的坐标(见图2)。以该点的 X 坐标值即对应的亿车公里事故率作为路段是否事故多发的分界拐点值。图2中累积频率曲线的拐点对应的亿车公里事故率 $H=45.52$ 次/(亿车·km),对应的 $F=28.12$ 。

通过上述分析,可将连续下坡路段线形质量评价参数分成3个区域(见表8)。

表8 基于路段线形质量参数的行车安全分区

线形质量评价参数 F	行车安全性状况
$F \geq 33$	行车安全区域
$28 \leq F < 33$	行车较安全区域
$F < 28$	行车有安全风险区域

3 结语

该文通过分析连续下坡路段线形指标的特点,构造了线形质量评价参数,通过收集国内多条高速公路10个连续下坡路段的线形几何指标、交通事故数、交通量等数据,建立了连续下坡路段线形评价参数与亿车公里事故率之间的关系模型,通过分析线形评价参数与亿车公里事故率之间关系曲线的拐点及事故多发的阈值,确定了线形质量评价参数的行车安全区间,使评价模型和评价方法具有较普遍的应用价值。

具体应用时,对应一段设计好的高速公路连续下坡路段,总是可以通过式(2)、式(3)计算出其线形平均弯坡组合值 \bar{W} 及相邻特征单元弯坡组合值的平均差值 $\Delta\bar{W}$,应用式(5)计算出其线形质量评价参数 F ,根据 F 值和表8评价其线形质量的优劣并确定是否需要优化。

参考文献:

- [1] 吴德华,方守恩.高速公路线形设计的质量量化评价模型[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(11).
- [2] 阎莹,刘浩学.山区公路纵坡路段线形指标对驾驶员心理生理影响研究[J].武汉理工大学学报,2008,32(6).

(上接第19页)

程方案比选中,借助相关理论,通过对改建项目特征年交通量的预测确定项目建设技术等级标准,利用TransCAD技术方案评价功能对干线公路的影响范围进行确定,得到影响范围内可达性较好的方案;再利用基尼系数对方案公平性进行比较,通过绘制洛伦兹曲线,得到公平性较好的方案。算例结果表明,采用该方法选择的路线方案,无论是从可行性上,还是从人均道路占有面积上都切实可行。该评价方法可为干线公路改建项目提供理论支持,减少决策者的主观臆断。

参考文献:

- [1] 贺倩倩,方曾利,代小瑞.城市化进程中干线公路绕城选线方案评价研究[J].公路与汽运,2014(1).
- [2] 单勇兵.基于GIS的徐州公路交通网络可达性研究[J].徐州师范大学学报,2010,28(2).
- [3] 高升,卢锐.基于空间可达性的路网结构优化研究:以宁波北仑区为例[J].规划师,2010(增刊2).

- [3] Kay F, Mark D W, Omer T, et al. Alternative design consistency rating methods for two-lane rural highways[R]. Federal Highway Administration, 2000.
- [4] Krammes R A, Brackett R Q, Shafer M A, et al. Horizontal alignment design consistency for rural two-lane highways[R]. US Department of Transportation Association of Canada, 1999.
- [5] JTGD20—2006,公路路线设计规范[S].
- [6] Ottesen J L, Krammes R A. Speed-profile model for a design-consistence evaluation procedure in the United States[R]. Transportation Research Board, 2000.
- [7] 闫莹.公路长大下坡路段线形指标对驾驶员心理生理影响的研究[D].西安:长安大学,2006.
- [8] 屠书荣.道路线形理论与设计方法[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [9] 崔二娟,袁黎,周志将.长下坡公路交通安全诊断与改善设计研究[J].公路与汽运,2012(3).
- [10] 韩跃杰,许金良,刘永福,等.连续长下坡路段的安全坡长[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(5).
- [11] 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].道路与安全,2009,9(1).
- [12] 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].交通运输工程学报,2010,10(3).

收稿日期:2017-01-12

- [4] 刘少丽,顾小平,费友法.徐州市避震疏散场所的可达性与公平性[J].经济地理,2012,32(3).
- [5] 马辉,王建军,付会萍,等.基于公平性的干线公路网布局方法[J].长安大学学报:自然科学版,2013,33(1).
- [6] 闫小勇,刘博航.交通规划软件实验教程[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [7] 刘世铎,吴群琪.基于运输需求的公路网可达性研究[J].长安大学学报:社会科学版,2010,12(1).
- [8] 陈方,戴晓峰,张宏达.城市化进程中交通公平的研究进展[J].人文地理,2014(6).
- [9] 张小宁,曹津.交通拥挤收费的社会公平性分析[J].同济大学学报:自然科学版,2010,38(11).
- [10] 盖春英,费玉龙.公路建设项目可行性研究中交通量预测方法[J].交通运输工程学报,2002,2(1).
- [11] 吴茂林,曹凯.基于基尼系数的交通公平性定量评价[J].交通科技与经济,2011(1).
- [12] 石京,周念.交通公平性评价指标的选取原则与方法[J].铁道工程学报,2010(9).

收稿日期:2016-11-22