

文章编号:1671-1637(2012)01-0063-09

山区公路事故率与平面线形的关系

郭应时¹, 付锐^{1,2}, 袁伟¹, 李玉亮¹, 马勇¹, 王畅¹

(1. 长安大学汽车学院, 陕西西安 710064;

2. 长安大学汽车运输安全保障技术交通行业重点实验室, 陕西西安 710064)

摘要:统计了2条山区公路的交通事故数据与平面线形数据,采用角度变化率作为平面线形的表征参数,对样本路段区间内的事故率与角度变化率进行回归分析,分别计算了当前样本路段向前0.25、0.50、0.75、1.00、1.50 km等多个计算区间上的平均角度变化率。对角度变化率进行二次处理,利用最小二乘法拟合了事故率与角度变化率之间的曲线关系。分析结果表明:路段1、2区间内的事故率与角度变化率的拟合判定系数较低,分别为0.414 2和0.120 8;在当前样本路段向前0.50 km的计算区间上,事故率与平均角度变化率的正二次抛物线关系均最明显,拟合判定系数分别为0.966 1和0.790 8;当平均角度变化率大约在 $0.002\ 0\ (^{\circ})\cdot\text{km}^{-1}$ 时,事故率最低。

关键词:交通安全;山区公路;平面线形;事故率;角度变化率;回归分析;最小二乘法

中图分类号:U491.31

文献标志码:A

Relation between accident rate and horizontal alignment for mountain highway

GUO Ying-shi¹, FU Rui^{1,2}, YUAN Wei¹, LI Yu-liang¹, MA Yong¹, WANG Chang¹

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Automotive Transportation Safety Technology of Ministry of Transport, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The traffic accident data and horizontal alignment data of two mountain highways were collected, the curvature change rate was regarded as the characteristic parameter of horizontal alignment, the regression analysis between accident rate and curvature change rate on current sample section was carried out, and the average curvature change rates of those several calculation intervals were respectively calculated, which were 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 and 1.50 km upward of current sample section. The secondary treatment on the curvature change rate was carried out, and the relations between the accident rates and the curvature change rates were fitted by using least square method. Analysis result shows that the fitting determination coefficients between the accident rates and the curvature change rates on sections 1 and 2 are lower, are about 0.414 2 and 0.120 8 respectively. While on the calculation intervals that are 0.5 km upward of current sample sections, their positively secondary parabolic relations both are the most significantly, and the fitting determination coefficients are 0.966 1 and 0.790 8 respectively. While the average curvature change rate is about $0.002\ 0\ (^{\circ})\cdot\text{km}^{-1}$, the accident rate is lowest. 6 tabs, 12 figs, 23 refs.

Key words: traffic safety; mountain highway; horizontal alignment; accident rate; curvature change rate; regression analysis; least square method

收稿日期:2011-09-24

基金项目:国家自然科学基金项目(51178053,50678027);“十一五”国家科技支撑计划项目(2009BAG13A05)

作者简介:郭应时(1964-),男,辽宁凌海人,长安大学教授,工学博士,从事道路交通安全研究。

Author resume: GUO Ying-shi(1964-), male, professor, PhD, +86-29-82334722, guoys@chd.edu.cn.

0 引 言

道路交通事故统计资料表明,道路线形是影响事故发生的重要因素之一^[1-3],道路线形对事故的影响主要体现在纵面线形与平面线形方面^[4-5]。相对于纵面线形,平面线形更加复杂,这主要是因为其不仅包含圆曲线、直线与缓和曲线,而且描述平面线形的参数也比较多,如圆曲线半径、缓和曲线长度、直线长度与平面线形转角等^[6-7]。

平面线形是常用的道路线形,可以调整路线前进的方向,以适应地形、地物的变化,但车辆在弯道上行驶时要受到离心力的作用,弯道离心力的大小又与弯道的半径和车辆的行驶速度有关^[8]。如果车速过快,加上驾驶员的偶尔疏忽、车辆质心偏高与路面条件不好等均可能导致在弯道上行驶的车辆发生危险^[9-10]。邹健将重庆市几条主干道的交通事故率与弯道个数的关系绘成散点图,分析发现单位长度的弯道个数(即弯道密度)与交通事故率有很强的相关关系,判定系数达到了 0.99,弯道密度增大或减小都会导致事故率上升,弯道密度随地理环境和道路等级的变化而变化^[11];Vogt 等在 1991 年提出了一个事故预测模型用以预测平面线形上的事故数量,认为平面线形路段上的事故数量随着曲线长度与曲率的增大而增大,随着缓和曲线的设置与行车道宽度的增大而减少^[12];Glennon 等以理论假设为基础,利用数据统计分析提出了一个平面线形事故预测模型,发现平面线形路段的预测事故数是平直路段事故数与曲线特征系数的组合,与道路曲率与交通量指标成正比^[13];景天然对道路要素与事故之间的关系进行了研究,得到了道路平均事故率与平面线形半径的关系^[14];黄进等收集了湖南某国道的事事故数据和线形资料,对 312 个圆曲线路段的数据进行拟合,得到了事故数量与圆曲线长度、曲线角度与缓和曲线长度的关系^[15]。

以上这些研究分别以不同平面线形评价指标为研究对象,分析了路段事故率与平面线形指标之间的关系。然而,表征平面线形特征的指标众多,不同指标对事故的影响程度也不同,采用单一指标研究平面线形与事故率之间的关系,不能深入挖掘平面线形整体特征与事故率之间的关系,存在局限性。针对此类问题,本文通过对实际道路平面线形指标和既往事故

数据的采集和分析,探讨不同路段事故率与角度变化率的关系。

1 平面线形参数的选择与均值化

在平面线形上,由地形引起路线的变化体现在路线的方位角上^[16-17],道路曲线偏角的大小表征了路线的弯曲程度。Fitzpatrick 等在研究车辆运行速度与平面线形要素的相互关系时,提出了平面线形安全评价方法^[18-19]

$$R = \frac{1}{L} \left(\sum_i \frac{Q}{r} + \sum_j \frac{S}{2r} \right) \quad (1)$$

式中: R 为角度变化率($^{\circ} \cdot \text{km}^{-1}$),是相似特征路段上每单位长度的角度变化之和; L 为路段总长度(m); Q 为相似特征连续路段内圆曲线 i 的长度(m); S 为相邻缓和曲线 j 的长度(m); r 为圆曲线 i 的半径(m)。

由式(1)可知,角度变化率是路段长度内平均单位长度的偏角变化,包含了所研究路段内圆曲线长度、圆曲线半径、缓和曲线长度与直线段长度,并且考虑到了相邻曲线间的相互作用,反映了平面线形的总体特征。采用式(1)对 2 条路段的平面线形参数进行计算,得到事故率 y 与角度变化率 R 之间的散点分布,基于最小二乘法对事故率与角度变化率进行二次多项式拟合,过程如下^[20-23]。

令事故率与角度变化率之间的二次多项式为

$$y = aR^2 + bR + c \quad (2)$$

式中: a 、 b 、 c 均为待定系数。

统计所有事故率与角度变化率的数据总数,记为 m ,参考式(2),误差方程为

$$\omega_a = y_a - aR_a^2 - bR_a - c \quad (3)$$

式中: α 为正整数,且 $\alpha \in [1, m]$; ω_a 为误差值; y_a 为统计得到的事故数据; R_a 为 y_a 对应的角度变化率。

根据残差平方和最小条件,求解系数 a 、 b 、 c 的最优解,并计算拟合精度。然而如果直接采用式(1)~(3)计算事故率与角度变化率的关系,拟合精度不高,主要原因在于所选取的样本长度为各个平面线形长度,而单个样本长度容易受到纵面线形、构造物(桥梁、隧道)等的影响,为达到平衡和淡化其他因素对事故率的影响,突出事故率与角度变化率的关系,本文使用样本均值化方法对角度变化率进行二次处理,并重新使用最小二乘法进行二次曲线拟合,过程

如下。

Step 1 以 $0.001\ 0\ (^{\circ})\cdot\text{km}^{-1}$ 为单位对原样本进行划分,如果某范围内的原样本过多时,采用 $0.000\ 5\ (^{\circ})\cdot\text{km}^{-1}$ 为单位进行划分,划分出 n 个新样本,分别为 R_1, R_2, \cdots, R_n 。

Step 2 从 $0.000\ 1\ (^{\circ})\cdot\text{km}^{-1}$ 开始,分段计算区间内的事故率指标值

$$y_{\beta} = \frac{\sum_{\gamma=0}^p t_{\gamma}}{p} \tag{4}$$

式中: y_{β} 为对应角度变化率区间 β 内的事故率; t_{γ} 为 β 事故数区间第 γ 个事故数量; p 为 β 区间总的事故数量。

Step 3 为考察相邻路段线形对样本事故率的影响,本文向前延伸样本长度,即分别对当前样本路段向前 $0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50\ \text{km}$ 的平均事故率与角度变化率之间的关系进行统计分析,计算方法与式(4)相同。

Step 4 使用最小二乘法对 Step 2、3 得到的事故率与角度变化率进行二次多项式拟合,分别得到拟合式与拟合精度。

2 拟合结果分析

路段 1 为山岭重丘区二级公路,双向二车道,设计行车速度为 $40\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,路基宽度为 $12\ \text{m}$,路段长度为 $8.8\ \text{km}$;弯多且急,累计弯道数为 22 个,半径小于 $200\ \text{m}$ 的弯道数为 13 个,转角大于 100° 的弯道数有 2 个,弯道密度为 $2.54\ \text{个}\cdot\text{km}^{-1}$;道路一侧为峭壁,另一侧为深沟,交通事故频发。在 24 个月的统计期内,路段 1 上共发生事故 108 起,造成 29 人死亡,110 人受伤,部分事故分布统计数据见表 1。

路段 2 为二级公路,路段长度为 $33.2\ \text{km}$;有一段约长度为 $9.0\ \text{km}$ 的峡谷地带,道路坡陡弯急,沿线地势险要,分布有 5 个隧道;另有一段长度为 $6.8\ \text{km}$ 的多弯道路段,分布了 29 个弯道,弯道密度为 $4.26\ \text{个}\cdot\text{km}^{-1}$,有一段距离较长的连续的小半径弯道是事故的高发路段。在 29 个月的统计期内,该路段共发生事故 437 起,造成 62 人死亡,242 人受伤,部分事故分布统计数据见表 2。

根据式(4)对所有样本区间进行计算,依次得到每个平面线形区间内的角度变化率以及当前样本路段向前 $0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50\ \text{km}$ 等计算区间(分别计为 A、B、C、D、E 五个区间)上的平均角度变化率,部分数据分别见表 3、4。

表 1 路段 1 平面线形参数与事故分布
Tab. 1 Horizontal alignment parameters and accident distribution of section 1

平面线形 序号	事故 数量/起	圆曲线 长度/m	圆曲线 半径/m	缓和曲线 长度/m	平面线形 总长度/m
1	1	144	262	55	254
2	3	119	180	50	219
3	1	213	280	55	323
4	4	193	600	60	313
5	3	100	300	55	210
6	1	146	250	50	246
7	2	44	300	55	154
8	1	177	125	45	267
9	1	82	145	45	172
10	1	48	150	45	138
11	6	70	166	45	160
12	0	68	250	50	168

表 2 路段 2 平面线形参数与事故分布
Tab. 2 Horizontal alignment parameters and accident distribution of section 2

平面线形 序号	事故 数量/起	圆曲线 长度/m	圆曲线 半径/m	缓和曲线 长度/m	平面线形 总长度/m
1	0	80	160	55	190
2	0	60	303	50	160
3	1	67	100	70	207
4	2	146	805	0	146
5	3	194	650	0	194
6	2	176	900	0	176
7	1	63	230	60	183
8	0	87	125	63	213
9	3	49	100	40	129
10	2	61	72	50	161
11	9	52	176	50	152
12	4	66	141	50	166
13	9	83	130	60	203
14	3	73	200	70	213
15	5	62	83	50	162
16	11	88	169	70	228
17	3	42	65	57	99
18	3	61	71	60	121
19	8	47	189	50	147
20	6	130	600	0	130

由表 3、4 计算路段 1、2 区间内的事故率与角度变化率的二次多项式拟合关系,结果分别见图 1、2。

表 3 路段 1 事故数量与角度变化率

Tab. 3 Accident numbers and curvature change rates of section 1

平面线形 序号	事故数量/ 起	区间内角度变化率/ [$^{\circ}$] \cdot km $^{-1}$]	计算区间上的角度变化率/[$^{\circ}$] \cdot km $^{-1}$]				
			A	B	C	D	E
1	1	0.002 983	0.003 793	0.002 257	0.001 757	0.001 318	0.001 550
2	3	0.004 287	0.001 878	0.000 939	0.000 626	0.001 198	0.001 212
3	1	0.002 963	0.001 914	0.001 559	0.001 200	0.000 970	0.000 958
4	4	0.001 347	0.000 843	0.000 422	0.000 970	0.000 728	0.001 069
5	3	0.002 460	0.001 033	0.001 051	0.001 390	0.001 114	0.000 990
6	1	0.003 187	0.001 568	0.001 261	0.000 963	0.000 892	0.000 595
7	2	0.002 143	0.000 660	0.000 500	0.000 447	0.000 335	0.000 290
8	14	0.007 795	0.007 176	0.006 385	0.004 127	0.005 095	0.003 577
9	1	0.006 652	0.006 432	0.004 166	0.004 097	0.003 073	0.002 457
10	1	0.005 088	0.002 990	0.003 495	0.002 330	0.002 089	0.001 622
11	1	0.004 493	0.003 999	0.002 000	0.001 790	0.001 472	0.001 704
12	6	0.004 312	0.001 380	0.002 401	0.001 072	0.001 030	0.001 007
13	0	0.002 806	0.000 944	0.001 065	0.001 097	0.001 130	0.001 007

表 4 路段 2 事故数量与角度变化率

Tab. 4 Accident numbers and curvature change rates of section 2

平面线形 序号	事故数量/ 起	区间内角度变化率/ [$^{\circ}$] \cdot km $^{-1}$]	计算区间上的角度变化率/[$^{\circ}$] \cdot km $^{-1}$]				
			A	B	C	D	E
1	0	0.004 441	0.001 688	0.002 938	0.001 287	0.002 336	0.001 756
2	0	0.002 263	0.003 850	0.002 938	0.002 310	0.001 383	0.001 354
3	1	0.006 618	0.002 740	0.003 284	0.001 034	0.001 165	0.000 949
4	2	0.001 241	0.005 244	0.000 298	0.000 363	0.000 389	0.000 620
5	3	0.001 538	0.000 597	0.000 792	0.001 173	0.002 080	0.002 146
6	2	0.001 111	0.000 391	0.000 927	0.002 443	0.002 253	0.002 960
7	1	0.002 922	0.001 221	0.002 466	0.003 157	0.002 607	0.004 560
8	0	0.005 634	0.004 190	0.002 124	0.002 320	0.003 207	0.004 793
9	4	0.004 950	0.004 371	0.003 087	0.002 301	0.002 226	0.003 392
10	9	0.005 419	0.002 499	0.002 453	0.001 847	0.003 019	0.004 274
11	3	0.003 357	0.001 430	0.002 777	0.004 638	0.005 412	0.004 277
12	5	0.008 312	0.002 733	0.003 922	0.007 234	0.005 084	0.003 666
13	11	0.004 097	0.006 631	0.006 045	0.005 838	0.004 775	0.002 905
14	3	0.015 155	0.006 190	0.007 306	0.005 128	0.003 990	0.002 382
15	3	0.013 907	0.007 978	0.006 914	0.003 198	0.002 399	0.001 599
16	8	0.003 483	0.009 022	0.006 840	0.001 038	0.001 301	0.001 459
17	6	0.001 667	0.001 253	0.001 872	0.001 249	0.000 937	0.001 762

根据表 3 中 5 个计算区间上的事故数量和对应的角度变化率,得到路段 1 上 5 个计算区间的事故率与角度变化率的散点关系,分别见图 3(a)~7(a),再进一步均值化处理后,事故率与平均角度变化率的拟合曲线分别见图 3(b)~7(b)。根据

表 4 中的 5 个计算区间事故数量和对应的角度变化率,得到路段 2 上事故率与角度变化率的散点关系,分别见图 8(a)~12(a),再进一步均值化处理后,事故率与平均角度变化率的拟合曲线分别见图 8(b)~12(b)。

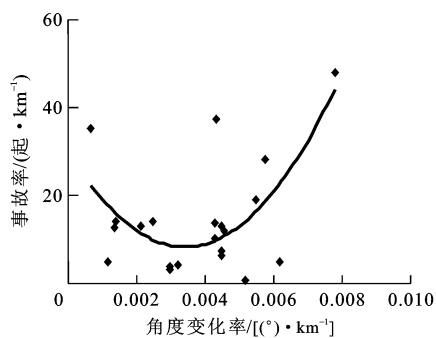


图 1 路段 1 事故率与角度变化率的关系

Fig. 1 Relation between accident rate and curvature change rate of section 1

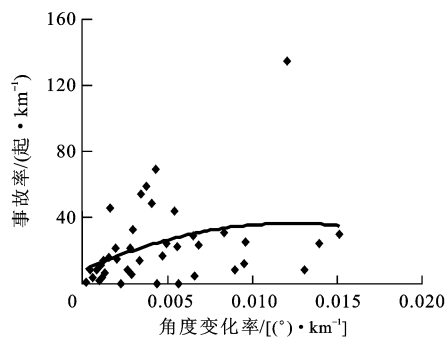


图 2 路段 2 事故率与角度变化率的关系

Fig. 2 Relation between accident rate and curvature change rate of section 2

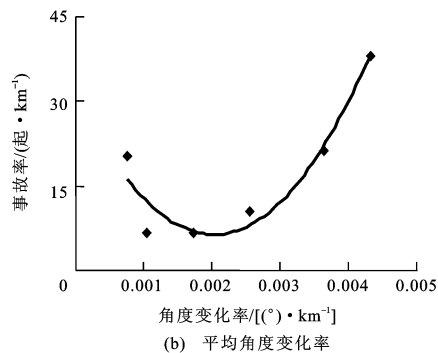
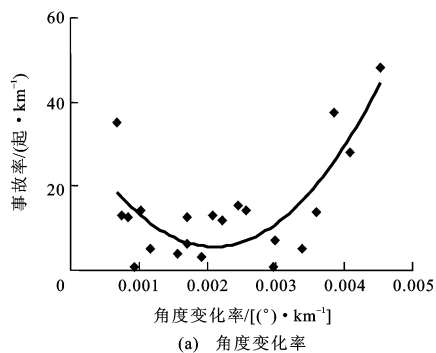


图 3 路段 1 中 A 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 3 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval A on section 1

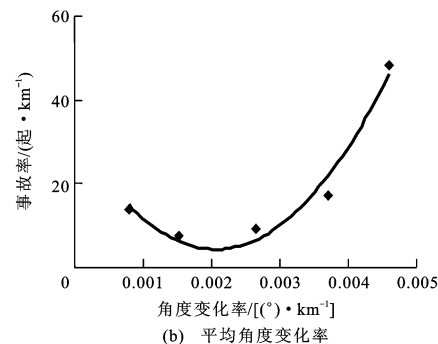
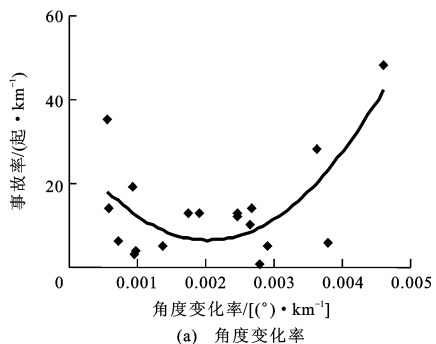


图 4 路段 1 中 B 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 4 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval B on section 1

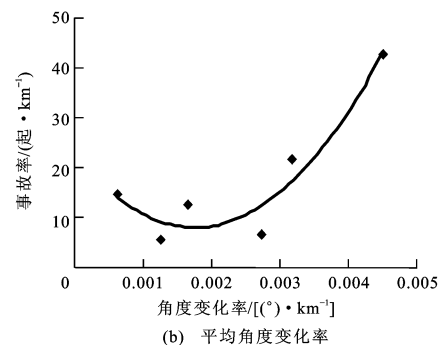
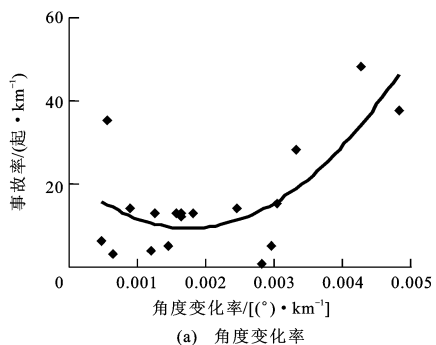


图 5 路段 1 中 C 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 5 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval C on section 1

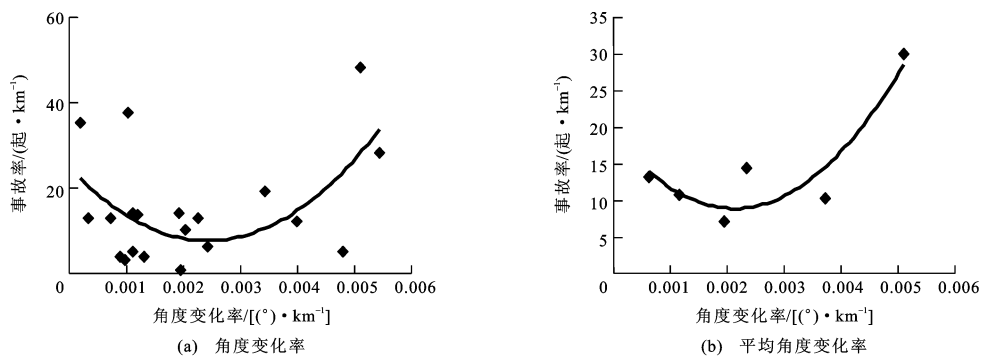


图 6 路段 1 中 D 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 6 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval D on section 1

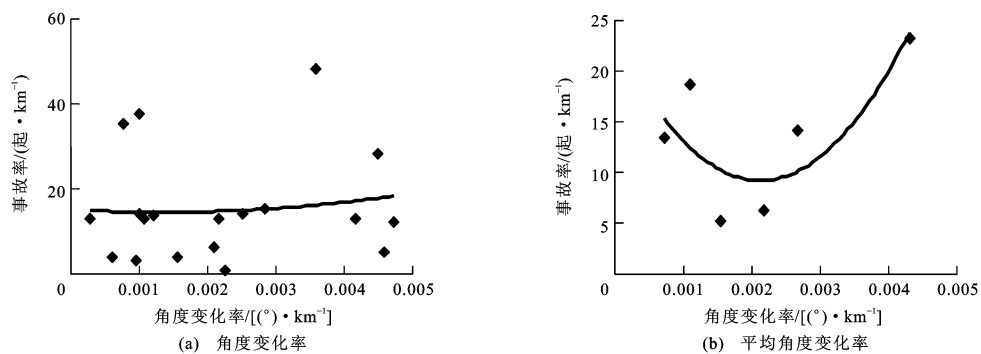


图 7 路段 1 中 E 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 7 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval E on section 1

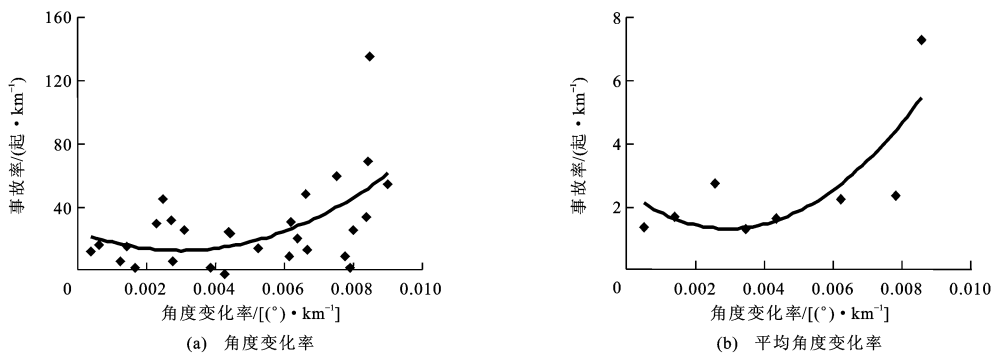


图 8 路段 2 中 A 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 8 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval A on section 2

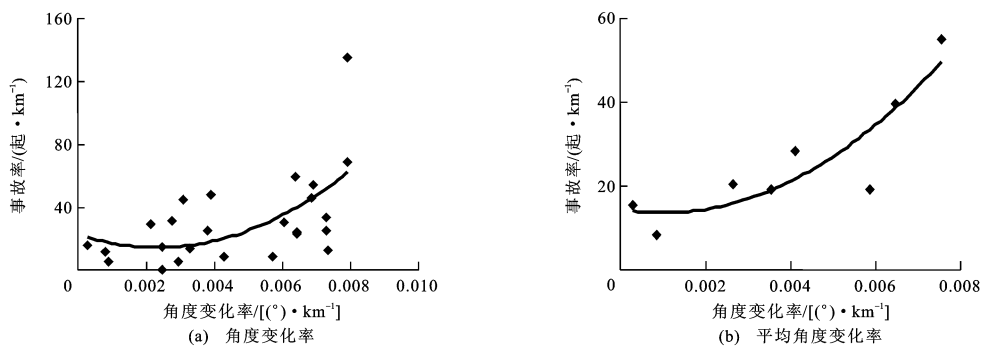


图 9 路段 2 中 B 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 9 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval B on section 2

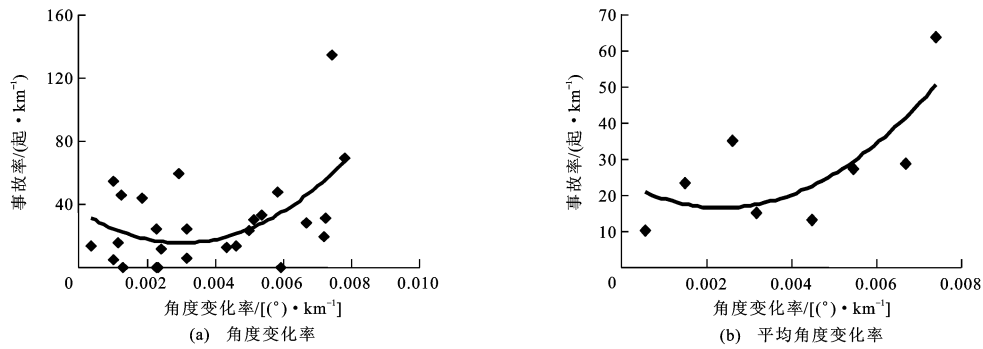


图 10 路段 2 中 C 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 10 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval C on section 2

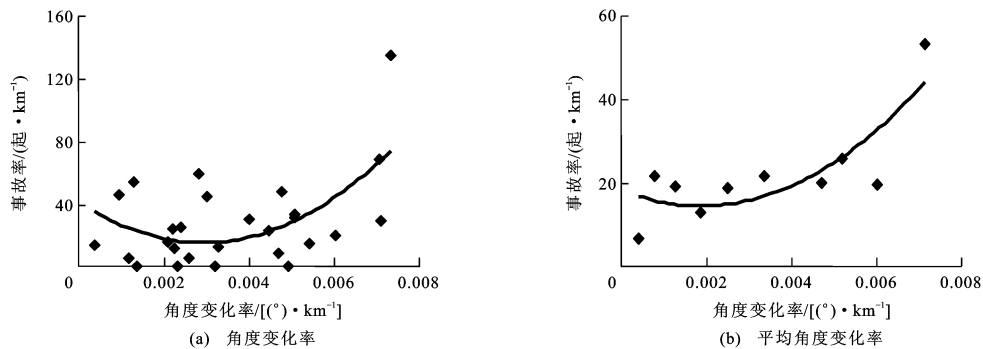


图 11 路段 2 中 D 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 11 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval D on section 2

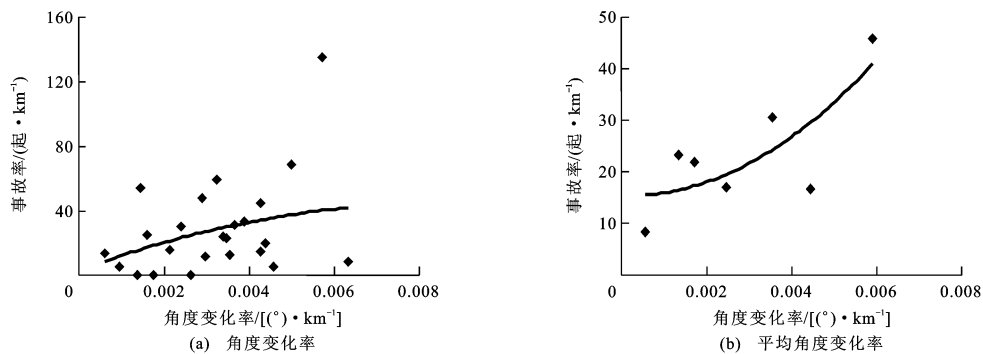


图 12 路段 2 中 E 计算区间上事故率与角度变化率的关系

Fig. 12 Relations between accident rates and curvature change rates of calculation interval E on section 2

运用式(2)、(3)分别计算图 3~12 回归方程,并得到相应的拟合判定系数,路段 1、2 拟合结果分别见表 5、6。由图 1、2 可知,路段 1、2 区间内的拟合结果分别为

$$y_1 = 2 \times 10^6 R_1^2 - 12\,713 R_1 + 29.961$$

$$y_2 = -2 \times 10^6 R_2^2 - 4\,704 R_2 + 7.654$$

对应的判定系数分别为 0.414 2 与 0.120 8, y_1 、 R_1 与 y_2 、 R_2 分别为路段 1 与路段 2 的事故率与角度变化率。

由图 1、3~7 可知,路段 1 四个计算区间的事故率与角度变化率之间呈现正的二次多项式关系,但

在 E 计算区间上,事故率与平均角度变化率之间不呈现该分布规律。在 B 计算区间上,该规律最为显著,以 $0.001\,0\,(\text{°}) \cdot \text{km}^{-1}$ 为单位对角度变化率进行重新划分,对每个区间的样本求平均值得到新样本,当平均角度变化率为 $0.002\,2\,(\text{°}) \cdot \text{km}^{-1}$ 时,事故率最低。在表 5 中,判定系数也表明当在 B 计算区间上时,拟合精度最高,达到了 0.966 1;带下标的 y 、 R 、 \bar{R} 分别为路段 1 上相应区间 A~E 上的事故率、角度变化率与平均角度变化率。

由图 2、8~12 可以看出,路段 2 四个计算区间上的事故率与角度变化率之间也呈现正的二次抛物

表 5 路段 1 拟合结果

Tab. 5 Fitting result of section 1

计算区间	角度变化率拟合方程	判定系数	平均角度变化率拟合方程	判定系数
A	$y_{1A} = 7 \times 10^6 R_{1A}^2 - 27\,429 R_{1A} + 34\,364$	0.606 6	$y_{1A} = 6 \times 10^6 \bar{R}_{1A}^2 - 24\,635 \bar{R}_{1A} + 31\,250$	0.925 7
B	$y_{1B} = 5 \times 10^6 R_{1B}^2 - 22\,065 R_{1B} + 28\,887$	0.496 9	$y_{1B} = 6 \times 10^6 \bar{R}_{1B}^2 - 26\,878 \bar{R}_{1B} + 32\,150$	0.966 1
C	$y_{1C} = 4 \times 10^6 R_{1C}^2 - 13\,946 R_{1C} + 21\,617$	0.530 9	$y_{1C} = 5 \times 10^6 \bar{R}_{1C}^2 - 16\,356 \bar{R}_{1C} + 22\,506$	0.906 0
D	$y_{1D} = 3 \times 10^6 R_{1D}^2 - 13\,997 R_{1D} + 24\,706$	0.311 8	$y_{1D} = 2 \times 10^6 \bar{R}_{1D}^2 - 9\,398 \bar{R}_{1D} + 15\,856$	0.833 3
E	$y_{1E} = 3 \times 10^6 R_{1E}^2 - 885 R_{1E} + 15\,092$	0.010 8	$y_{1E} = 3 \times 10^6 \bar{R}_{1E}^2 - 13\,098 \bar{R}_{1E} + 23\,186$	0.618 4

表 6 路段 2 拟合结果

Tab. 6 Fitting result of section 2

计算区间	角度变化率拟合方程	判定系数	平均角度变化率拟合方程	判定系数
A	$y_{2A} = 1 \times 10^6 R_{2A}^2 - 8\,055 R_{2A} + 24\,010$	0.296 2	$y_{2A} = 1 \times 10^6 \bar{R}_{2A}^2 - 7\,841 \bar{R}_{2A} + 24\,488$	0.624 1
B	$y_{2B} = 2 \times 10^6 R_{2B}^2 - 7\,226 R_{2B} + 22\,572$	0.350 0	$y_{2B} = 8 \times 10^6 \bar{R}_{2B}^2 - 1\,706 \bar{R}_{2B} + 14\,455$	0.790 8
C	$y_{2C} = 2 \times 10^6 R_{2C}^2 - 13\,675 R_{2C} + 35\,211$	0.265 5	$y_{2C} = 1 \times 10^6 \bar{R}_{2C}^2 - 6\,280 \bar{R}_{2C} + 23\,903$	0.548 5
D	$y_{2D} = 3 \times 10^6 R_{2D}^2 - 18\,003 R_{2D} + 41\,406$	0.341 9	$y_{2D} = 1 \times 10^6 \bar{R}_{2D}^2 - 4\,012 \bar{R}_{2D} + 18\,256$	0.656 9
E	$y_{2E} = -6 \times 10^6 R_{2E}^2 - 9\,710 R_{2E} + 3\,016$	0.099 5	$y_{2E} = 7 \times 10^6 \bar{R}_{2E}^2 - 177 \bar{R}_{2E} + 15\,335$	0.588 3

线关系,但在 E 计算区间上,事故率与平均角度变化率之间不呈现该分布规律。在 B 计算区间上,该规律最显著,以 $0.001\,0\, (^{\circ}) \cdot \text{km}^{-1}$ 为单位对角度变化率进行重新划分,对每个区间的样本求平均值得到新样本,当平均角度变化率为 $0.001\,8\, (^{\circ}) \cdot \text{km}^{-1}$ 时,事故率最低。在表 6 中,判定系数也表明在 B 计算区间上,拟合精度最高,达到了 0.790 8;带下标的 y 、 R 、 \bar{R} 分别为路段 2 上相应区间 A~E 上的事故率、角度变化率与平均角度变化率。

由此可见,路段 1、2 基本呈现了相同的规律性,即在 B 计算区间上,事故率与平均角度变化率呈现的正二次抛物线关系最为强烈,当平均角度变化率大约为 $0.002\,0\, (^{\circ}) \cdot \text{km}^{-1}$ 时,事故率最低。

3 结 语

(1) 本文选取的 2 个研究路段均为山区二级公路,设计行车速度为 $40\, \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$,弯道密度较大,不包含长直线路段。如果研究对象的道路技术等级与设计车速高,且平面线形更为平缓,则本文的研究结论可能不适用。

(2) 由于样本量的原因,本文得到的具体量化值,适用范围和普遍性受到一定限制,但用角度变化率表征平面线形特征,研究平面线形和事故的关系,反映的曲线特征具整体性。

(3) 在单一曲线内的事故发生不仅受该平面线形的影响,而且还受到相邻路段线形,特别是事故发生之前路段线形的影响。

参 考 文 献 :

References :

- [1] 杨宏志,叶亚丽,许金良,等. 高速公路单车事故建模方法[J]. 交通运输工程学报,2011,11(1):89-94.
YANG Hong-zhi, YE Ya-li, XU Jin-liang, et al. Single-vehicle accident modeling method on freeway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(1): 89-94. (in Chinese)
- [2] 陈 斌,袁 伟,付 锐,等. 连续长大下坡路段交通事故特征分析[J]. 交通运输工程学报,2009,9(4):75-78.
CHEN Bin, YUAN Wei, FU Rui, et al. Analysis of traffic accident characteristic on continuous long downgrade section[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009, 9(4): 75-78. (in Chinese)
- [3] 崔洪军,魏连雨,朱敏清,等. 公路平面设计中有关问题的探讨[J]. 中国公路学报,2002,15(1):22-25.
CUI Hong-jun, WEI Lian-yu, ZHU Min-qing, et al. Study of some horizontal curve design problems[J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(1): 22-25. (in Chinese)
- [4] FU Rui, GUO Ying-shi, YUAN Wei, et al. The correlation between gradients of descending roads and accident rates[J]. Safety Science, 2011, 49(3): 416-423.
- [5] 孟祥海,关志强,郑 来. 基于几何线形指标的山区高速公路安全性评价[J]. 中国公路学报,2011,24(2):103-108.
MENG Xiang-hai, GUAN Zhi-qiang, ZHENG Lai. Safety evaluation of mountainous expressway based on geometric alignment indexes[J]. China Journal of Highway and Transport, 2011, 24(2): 103-108. (in Chinese)
- [6] 符铎砂,龙 昱. 公路线形安全性模糊综合评价[J]. 公路,2008(6):88-92.
FU Xin-sha, LONG Yu. Fuzzy synthetic evaluation of highway alignment safety[J]. Highway, 2008(6): 88-92. (in Chinese)

- Chinese)
- [7] 程文,郭忠印,孔令旗.路线线形与道路安全关系的研究[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2002,25(5):703-706.
CHENG Wen, GUO Zhong-yin, Kong Ling-qi. Research on the relation between road line features and road safety[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2002, 25(5): 703-706. (in Chinese)
- [8] 郭凤香.道路线形安全分析与评价[D].昆明:昆明理工大学,2005.
GUO Feng-xiang. Safety analysis and evaluation of road alignment[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2005. (in Chinese)
- [9] 王华荣,孙小端,贺玉龙,等.山区双车道公路尾随相撞事故与道路线形的关系[J].北京工业大学学报,2010,36(9):1236-1241.
WANG Hua-rong, SUN Xiao-duan, HE Yu-long, et al. Effects of geometric features of rear-end crash accidents on mountainous two-lane highways[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2010, 36(9): 1236-1241. (in Chinese)
- [10] 陈永胜,高耀华.高速公路纵面设计微观事故预测模型研究[J].公路交通科技,2001,18(2):5-8.
CHEN Yong-sheng, GAO Yao-hua. Study on microcosmic accident-predict model focused on vertical design of expressway[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2001, 18(2): 5-8. (in Chinese)
- [11] 邹健.浅谈道路线形设计对交通安全的影响及改善措施[J].公路,2002(6):42-47.
ZOU Jian. Research on effect and improvement measures of road alignment design on road traffic safety[J]. Highway, 2002(6): 42-47. (in Chinese)
- [12] VOGT A, BARED J G. Accident models for two-lane rural roads: segments and intersections [R]. Mclean: Federal Highway Administration, 1998.
- [13] GLENNON J C, NEUMAN T R, LEISCH J E, et al. Safety and operational considerations for design of rural highway curves[R]. Mclean: Federal Highway Administration, 1985.
- [14] 景天然.交通事故与公路条件的关系[J].同济大学学报:自然科学版,1991,19(3):287-294.
JING Tian-ran. Relation between traffic and highway and highway conditions[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 1991, 19(3): 287-294. (in Chinese)
- [15] 黄进,方守恩.平曲线路段事故数目与线形元素的关系[J].公路,2002(12):76-79.
HUANG Jin, FANG Shou-en. Relationship between accident number and alignment elements of horizontal curve sections[J]. Highway, 2002(12): 76-79. (in Chinese)
- [16] KARLAFTIS M G, GOLIAS I. Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates[J]. Accidents Analysis and Prevention, 2002, 34(3): 357-365.
- [17] 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):10-16.
YANG Hong-zhi, HU Qing-yi, XU Jin-liang. Safety design and evaluation method of long-steep downgrade sections for expressway [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(3): 10-16. (in Chinese)
- [18] FITZPATRICK K, ELEFTERIADOU L, HARWOOD W, et al. Speed prediction for two-lane rural highways [R]. Mclean: Federal Highway Administration, 2000.
- [19] WAING J C. Quantifying the relationship between geometric design consistency and road safety [D]. Vancouver: The University of British Columbia, 2002.
- [20] 杜水友,章皓,郑永军,等.最小二乘法拟合压力传感器二次曲线及精度分析[J].中国计量学院学报,2005,16(3):185-187.
DU Shui-you, ZHANG Hao, ZHENG Yong-jun, et al. The secondary order curve of pressure sensors decided by the least square and accuracy analysis[J]. Journal of China Jiliang University, 2005, 16(3): 185-187. (in Chinese)
- [21] 林雨,杨轸,潘晓东.缓和曲线长度对车辆行驶轨迹的影响[J].西南交通大学学报,2011,46(2):200-204.
LIN Yu, YANG Zhen, PAN Xiao-dong. Effect of spiral transition curve length on vehicle path[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2011, 46(2): 200-204. (in Chinese)
- [22] 章锡俏,李松龄,杨龙海.寒冷地区设超高公路圆曲线半径设计仿真研究[J].武汉理工大学学报,2011,33(6):64-67.
ZHANG Xi-qiao, LI Song-ling, YANG Long-hai. Simulation analysis of superelevation highway circular curve radius design in cold regions[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(6): 64-67. (in Chinese)
- [23] 潘晓东,方青,蒋宏.基于驾驶视觉需求的山区公路平曲线安全评价[J].同济大学学报:自然科学版,2010,38(12):1763-1766.
PAN Xiao-dong, FANG Qing, JIANG Hong. Driving visual demand-based safety evaluation of mountainous highway horizontal curve [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2010, 38(12): 1763-1766. (in Chinese)