



引用格式:王进州,艾力·斯木吐拉. 基于驾驶员生理负荷的高原公路转角值安全风险评价[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(7): 2939-2943
Wang Jinzhou, Aili·simutula. Safety risk assessment of plateau highway corner value based on driver's physiological load[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(7): 2939-2943

基于驾驶员生理负荷的高原公路转角值安全风险评价

王进州, 艾力·斯木吐拉*

(新疆农业大学交通与物流工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要 为了解在高原公路上行车时平曲线转角值对驾驶员生理负荷的影响,选取国道314线海拔3 000~4 030 m区间段作为试验路段,选取心率增长率、脉搏血容(pulse blood volume, BVP)作为驾驶员生理变化的评价指标,并且通过MATLAB编程给心率增长率和脉搏血容分配系数,得到K作为驾驶员生理负荷的评价指标,通过实测数据的对比分析,定量分析心率增长率、BVP与K随平曲线转角值得变化规律,并建立回归模型。结果表明:心率增长率、BVP值和K值都与平曲线转角值存在较强的相关性,并且K值随平曲线转角值的增加而减小,尤其在转角值0°~10°内变化显著;在海拔与转角值的双重影响下,随着转角值越小,海拔越高,K值越大,驾驶员生理负荷越高,交通安全风险越高。

关键词 高原公路; 转角值; 驾驶员生理负荷; 心率增长率; 脉搏血容; 交通安全

中图法分类号 X912; 文献标志码 B

Safety Risk Assessment of Plateau Highway Corner Value Based on Driver's Physiological Load

WANG Jin-zhou, Alli·Simutula*

(Transportation and Logistics Engineering School, Xinjiang Agricultural University, Urumchi 830052, China)

[Abstract] In order to understand the influence of the flat curve angle value on the driver's physiological load on the plateau highway, the National Highway 314 line in the interval of 3 000~4 030 m was selected as the test section, and the heart rate growth rate and pulse blood volume (BVP) were as the driver's physiology. The evaluation index of change, and the heart rate growth rate and pulse blood volume distribution coefficient were programmed by MATLAB, and the K was obtained as the evaluation index of the driver's physiological load. Through the comparative analysis of the measured data, the heart rate growth rate, BVP and K were quantitatively analyzed. The flat curve corner was worth changing and a regression model was established. Results show that there is a strong correlation between the heart rate growth rate, the BVP and the K and the flat curve rotation angle, also the K decreases with the increase of the flat curve rotation angle value, especially in the range of the rotation angle value of 0°~10°. Under the dual influence of altitude and corner value, as the corner value is smaller, the higher the altitude, the larger the K, the higher the driver's physiological load, and the higher the traffic safety risk.

[Key words] plateau highway; corner value; driver physiological load; heart rate growth rate; pulse blood volume; traffic safety

道路安全是由人、车、路、环境四者的协调决定的,若四者不协调将增加交通风险,并且发生交通事故的主要原因是人因素导致^[1]。随着高原公路海拔的升高,压强减小,空气中氧气含量减小,驾驶环境越来越差,在道路线形和高原低氧环境的双重影响下,驾驶员心率变化显著^[2-3]。潘晓东等^[4]分析了在山区公路行驶过程中平曲线半径与驾驶员心率变化规律。乔建刚^[5]分析了心率变化与驾驶员紧张度的关系,提出驾驶员紧张和恐惧心理状态下对应的心率增长率阈值

分别为30%和40%。李岩岩等^[6]研究了高原公路驾驶员β频段脑电波随海拔与道路线形组合值的变化规律。张娟等^[7]研究了心率增长率随着上下坡的平曲线半径的变化规律,并给出合理取值范围。夏可等^[3]研究了心率变化在高原低氧环境和弯道的双重影响下,随着平曲线所处海拔越高、半径越小,驾驶员心理紧张度变化越明显。李鑫磊^[8]在软件仿真的基础上,通过重点对驾驶员方向控制的研究,建立综合仿真模型,并进行了直角转弯试验,通过对方向盘转角等指标

收稿日期: 2019-06-05; 修订日期: 2019-08-15

基金项目: 国家自然科学基金(71761032)

第一作者: 王进州(1993—),男,汉族,河北石家庄人,硕士研究生。E-mail: 602423683@qq.com。

*通信作者: 艾力·斯木吐拉(1958—),男,维吾尔族,新疆伊犁人,博士,教授。E-mail: ismutula@163.com。

的分析验证了仿真结果的合理性。Godley 等^[9]对车道宽度的研究发现较窄车道容易导致驾驶负荷的增加。Ronan 等^[10]通过对直线段行车过程中的心率变异率研究,发现在直线段行车时驾驶员更容易放松警惕。Spacek^[11]研究发现在弯道上行车,不同驾驶员的车辆轨迹保持行为是不同的。但很少有学者研究在道路线形设计的转角值大小对驾驶员生理负荷变化的影响。故选取 K 作为驾驶员生理负荷的评价指标,分析平曲线转角与 K 的变化规律,以期为高原公路线形宽容性设计提供理论依据。

1 驾驶试验

1.1 试验段道路简介

行车试验路段选取国道 314 线,二级公路,起点为奥依塔格一桥,终点为苏巴士六、七桥,全程 73 km。该路段的最低点高程约 3 000 m,最高点高程约 4 030 m。双向两车道,无护栏,无中央分隔带,车流较少,其他车辆的影响较小,路基宽度为 12 m 和 8.5 m。该路段包含约 80 个转角值,可以较好地反映出驾驶员心生理随着道路线形转角值和海拔的变化规律。

1.2 试验人员及试验车辆

本试验选取 3 名无高原公路驾驶经验的驾驶员和 1 名经常在高原公路行车的驾驶员,4 名驾驶员年龄在 23~56 岁不等;试验车辆为中型运动型实用汽车(sport utility vehicle, SUV)。

1.3 试验设备及数据获取

采用 biofeedback 2000 X-pert 型生物反馈仪测取驾驶员行车过程中心率变化、脉搏血容等生理数据;采样率为 200 Hz^[12];用全球定位系统(global positioning system, GPS)记录车辆行驶的实时位置。

1.4 天气及驾驶员健康状况

本次试验在夏季进行,行车试验当天天气晴朗、微风。4 名驾驶员身体健康状况良好,测试前一天睡眠质量良好,无较大情绪波动。

2 评价指标的选取

2.1 驾驶负荷评价指标的选取

2.1.1 心率增长率

心率增长率是业界公认的可以表征人体生理状态的评价指标,是某一段时间内的心率变化率;心率会受个体差异影响,大小不一,但心率增长率可以反映心率的变化幅度^[13]。在行车过程中驾驶员面对外界环境、道路线形的变化显示出

不同的变化幅度,通过变化幅度来判断驾驶员的生理变化。将心率数据通过式(1)转化为心率增长率。

$$N = 100(n_2 - n_1)/n_1 \quad (1)$$

式(1)中: N 为驾驶员心率增长率,%; n_1 为各驾驶员静态平均心率,次/min; n_2 为各驾驶员动态平均心率,次/min。

2.1.2 脉搏血容(BVP)

脉搏血容是反应驾驶员心跳强度的评价指标,当心脏收缩时,体表的毛细血管充盈,此时其透光率增加;当心脏舒张时,体表毛细血管处于收缩状态,透光性能降低,它反映的是驾驶员心搏力量的大小^[14]。

2.1.3 驾驶员生理负荷(K)

在高原公路行车过程中,驾驶员生理心理指标同时发生变化,各指标侧重点不同,心率增长率表征心率变化的快慢,BVP 表征驾驶员心跳的强度,通过 MATLAB 编程给心率增长率和 BVP 分配权重,得到 K , K 可以更全面地表征驾驶员生理负荷变化。

2.2 道路平曲线转角值

平曲线转角值是平面曲线切线旋转的角度;平曲线转角值与曲线长度、缓和曲线长度和半径均有密切联系;驾驶员在高原公路上行车时,随着平曲线转角值的增加,在通过曲线段时方向盘转动幅度会不断增加,并且需要保持的时间也会增加,所以选择道路平曲线转角值作为道路线形评价指标。道路转角与曲线长度、缓和曲线长度、平曲线半径的关系见式(2)。

$$\alpha = 180(L - L_s)/R\pi \quad (2)$$

式(2)中: α 为平曲线转角值,(°); L 为曲线长度,m; L_s 为缓和曲线长度,m; R 为曲线半径,m。

3 数据处理及分析

本试验仪器数据采集的频率为 200 Hz,通过取 200 个数据的平均值合并为 1 个数据/s;取前 10 min 数据的平均值作为驾驶员静态数据(n_1),(通过 MATLAB 短时傅里叶变换 FFT)变换对数据进行降噪处理,将动态数据中误差较大的数据剔除,通过 MATLAB 数据编程对心率增长率和 BVP 进行权重分配,心率增长率分配系数为 0.578 8,BVP 分配系数为 0.421 2,得到驾驶员生理负荷 K ,见式(3),进一步分析转角与 K 的关系。部分数据见表 1。

$$K = 0.578 8N + 0.421 2B \quad (3)$$

式(3)中: K 为驾驶员生理负荷值; B 为 BVP 值,μV。

表1 部分转角值分析数据

Table 1 Partial corner value analysis data

里程桩号/m	海拔/m	转角值/(°)	N/%	BVP/μV	K
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
K1658 + 500	3 647	4	38.067 4	49.299	42.798 15
K1683 + 044	3 951	4	37.891 04	49.481 81	42.773 07
K1686 + 606	4 029	7	34.468 68	49.588 31	40.837 07
K1686 + 367	4 038	8	27.154 03	49.253 07	36.462 15
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4 转角值对驾驶负荷的影响分析

4.1 偏相关性分析

利用 SPSS 软件对数据进行偏向关分析,控制海拔因素,分别对心率增长率、BVP、K 与转角的偏相关分析,由表 2 可以明显看到,驾驶员在高原公路上行驶时,控制海拔因素的影响条件下,心率增长率和 BVP 与转角的相关系数分别为 -0.492 和 -0.517,说明相关性显著,经过 MATLAB 分配给两个指标权重后的 K 相关系数为 -0.503。

4.2 转角值单因素影响下驾驶员心理生理变化关系分析

4.2.1 心率增长率与转角的关系

图 1 为高原公路上行驶时心率增长率与转角值的关系曲线图,在海拔 3 000 ~ 4 030 m 内,转角值 0° ~ 168° 内,心率增长率变化区间为 40% ~ 20%。心率增长率随转角值的增加而减小,在转角值取值 0° ~ 10° 内心率增长率较高,处于紧张甚至恐惧的状态,且随转角值的增加快速减小,10° 以上心率增长率变化速率减慢,并且心率增长率保持在合理范围内。

利用 SPSS 建立平曲线转角值与心率增长率的关系模型,见式(4)。

$$N = -2.211 \ln \alpha + 37.126 \quad (4)$$

式(4)中: α 为转角,(°)。相关系数为 -0.492,相关性显著, $R^2 = 0.469$,拟合度较好;适用范围:海拔 3 000 ~ 4 030 m。

4.2.2 BVP 与转角的关系

图 2 为高原公路上行车时 BVP 与转角的曲线关系图,在海拔 3 000 ~ 4 030 m 内,转角 0° ~ 168°

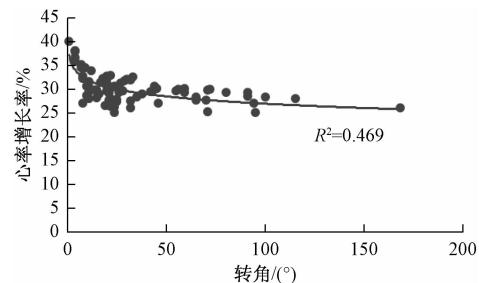


图 1 心率增长率与转角关系

Fig. 1 The relationship between heart rate growth rate and corner

内,BVP 在 49.6 ~ 48.8 内。 BVP 随着转角值的增大而减小,转角值在 0° ~ 10° 内, BVP 较高,心跳强度较大,不利于行车安全,且随转角值的增加快速减小,在转角值增加到 10° 以上时 BVP 增加越来越慢。

利用 SPSS 建立平曲线转角值与 BVP 的关系模型,见式(5)。

$$B = 49.474 \alpha^{-0.002} \quad (5)$$

相关系数为 -0.517,相关性显著, $R^2 = 0.350 4$,拟合度较好;适用范围:海拔 3 000 ~ 4 030 m。

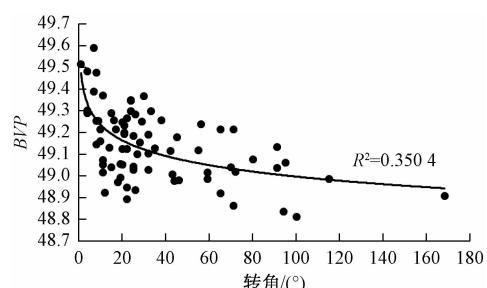


图 2 BVP 与转角关系

Fig. 2 Relationship between BVP and corner

4.2.3 K 值与转角值的关系

图 3 为高原公路上行车时 K 与转角的曲线关系图,在海拔 3 000 ~ 4 030 m 内,转角 0° ~ 168° 内, K 在 35 ~ 44 内。 K 随转角的增加而减小,当转角在 0° ~ 10° 时, K 较高,说明此时驾驶员生理负荷较高,不利于行车安全。

利用 SPSS 建立平曲线转角值与 K 的关系模型,见式(6)。

$$K = -1.324 \ln \alpha + 42.327 \quad (6)$$

表2 在控制海拔因素下转角值与驾驶员生理负荷的偏相关分析

Table 2 Analysis of the partial correlation between the corner value and the driver's physiological load under the control of altitude factors

N			BVP			K		
相关系数	显著性(双侧)	自由度(df)	相关系数	显著性(双侧)	自由度(df)	相关系数	显著性(双侧)	自由度(df)
-0.492	0	74	-0.517	0	74	-0.503	0	74

相关系数为 -0.503 , 相关性显著, $R^2=0.4828$, 拟合度较好; 适用范围: 海拔 $3\,000\sim4\,030\text{ m}$ 。

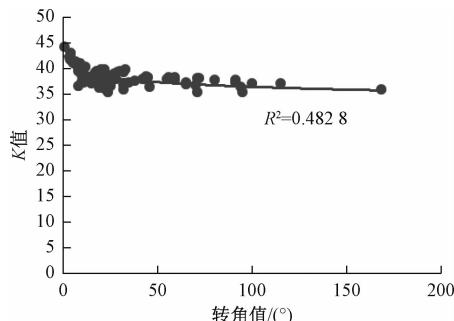


图3 K 值与转角值关系

Fig. 3 Relationship between K value and corner value

4.3 转角值和海拔的双重因素影响下驾驶员驾驶负荷变化关系分析

通过以上分析得出, 相比于心率增长率和BVP单一指标来说, 驾驶员生理负荷 K 与转角的关系表现出明显的相关性和拟合度, 故本节重点分析在转角值和海拔的双重因素影响下驾驶员生理负荷 K 值的变化规律, 鉴于夏可等^[3]、李岩岩等^[12]已经充分研究了驾驶员心理生理指标与海拔的关系, 故不再赘述。利用MATLAB软件建立转角值、海拔和 K 的三维图, 见图4。由图4可以明显看出, 在转角值和海拔的双重影响下, K 的变化更加显著。

利用SPSS建立平曲线转角、海拔和 K 的关系模型, 见式(7)。

$$K = 42.336 + 4.822 \times 10^{-19} \exp(H/100) - 1.338 \ln \alpha \quad (7)$$

$R^2 = 0.484$, 拟合度较好; 适用范围: 海拔 $3\,000\sim4\,030\text{ m}$ 。

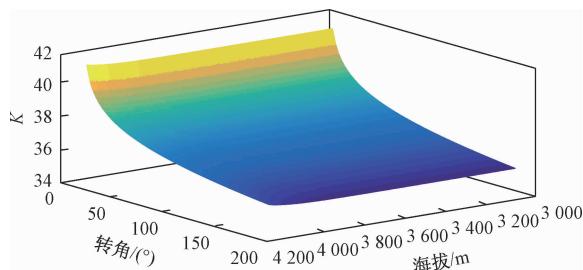


图4 转角值和海拔与 K 值的关系

Fig. 4 Relationship between the angle value and altitude and K value

5 结论

通过对高原公路道路平曲线转角值与驾驶员生理负荷关系的分析, 得出以下结论。

(1) 道路平曲线转角值对驾驶员心率增长率、BVP及 K 的影响显著, 相关性显著。

(2) 高原公路行车过程中, 驾驶员心率增长率和脉搏血容随转角的增加而减小, 且减小趋势由快到慢。

(3) 高原公路行车过程中, 转角值在 $0^\circ\sim10^\circ$ 内, K 较高, 驾驶员生理负荷较高, 不利于行车安全。

(4) 从转角值和海拔与驾驶员生理负荷 K 的三维关系模型中发现, 在海拔与转角值的双重影响下, 随着转角越小, 海拔越高, K 越大, 驾驶员生理负荷越高, 交通风险越高。

参 考 文 献

- 姚娜, 戚春华, 朱守林. 草原二级公路事故多发区域路段驾驶员心率变化研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2010, 31(1): 182-186.
Yao Na, Qi Chunhua, Zhu Shoulin. Study on the change of driver heart rate in the road area of the second-level highway accident in grassland[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition), 2010, 31(1): 182-186.
- 黄勇, 方靖, 张元才. 高寒、高海拔地区道路安全运营管理应用技术[J]. 公路交通科技, 2012, 29(6): 98-104.
Huang Yong, Fang Jing, Zhang Yuancai. Application technology of road safety operation management in high cold and high altitude areas[J]. Journal of Highway and Transportation, 2012, 29(6): 98-104.
- 夏可, 艾力·斯木吐拉. 驾驶员心率变化与高原公路平曲线关系的试验研究[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(11): 36-41.
Xia Ke, Eli Ismutulla. Experimental study on the relationship between driver heart rate change and flat curve of plateau highway[J]. Chinese Journal of Safety Science, 2014, 24(11): 36-41.
- 潘晓东, 杨軒, 朱照宏. 驾驶员心率和血压变动与山区公路曲线半径关系[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005(7): 900-903.
Pan Xiaodong, Yang Zhen, Zhu Zhaohong. The relationship between driver heart rate and blood pressure change and curve radius of mountain road[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2005(7): 900-903.
- 乔建刚. 基于驾驶员因素的山区双车道公路关键参数研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2006.
Qiao Jiangang. Research on key parameters of mountain two-lane highway based on driver factors[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2006.
- 李岩岩, 艾力·斯木吐拉, 伊力扎提·艾力. 驾驶员脑电特性与高原公路线形关系的试验分析[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(9): 3-7.
Li Yanyan, Eli Ismutulla, Yilizati Aili. Experimental analysis of the relationship between driver's EEG characteristics and highway highway linear shape[J]. Chinese Journal of Safety Science, 2015, 25(9): 3-7.
- 张娟, 刘浩学, 陈君, 等. 连续长坡路段驾驶员心率与平曲线半径关系研究[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(4): 140-143.
Zhang Juan, Liu Haoxue, Chen Jun, et al. Study on the relationship between driver's heart rate and flat curve radius in continuous long slope section[J]. Journal of Safety and Environment, 2015, 15(4): 140-143.

- 8 李鑫磊. 基于车辆行驶仿真的道路线形安全评价研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2016.
- Li Xinlei. Research on road line shape safety evaluation based on vehicle driving simulation [D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2016.
- 9 Godley S T, Triggs T J, Fildes B N. Perceptual lane width, wide perceptual roadcentre markings and driving speeds [J]. Ergonomics, 2004, 47(3): 237-256.
- 10 Oron-Gilad T, Ronen A. Road characteristics and driver fatigue: a simulator study [J]. Traffic Injury Prevention, 2007, 8 (3): 281-289.
- 11 Spacek P. Track behavior in curve areas: attempt at typology[J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(9): 9-11.
- 12 李岩岩, 艾力·斯木吐拉. 基于生物反馈试验的高原公路驾驶员生理特性研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(8): 150-155.
- Li Yanyan, Eli Ismutulla. Study on physiological characteristics of high altitude highway drivers based on biofeedback test[J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(8): 150-155.
- 13 李岩岩. 高原公路线形组合路段驾驶员生理特性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- Li Yanyan. Study on physiological characteristics of drivers on linear section of plateau highway [D]. Ulumchi: Xinjiang Agricultural University, 2016.
- 14 夏可. 基于驾驶员心、生理反应的行车紧张性与高原公路平曲线关系研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
- Xia Ke. Research on the relationship between driving tension based on driver's heart and physiological response and plateau highway curve[D]. Ulumchi: Xinjiang Agricultural University, 2015.