第 18 卷　第 34 期　2018 年 12 月
1671—1815(2018)034-0259-04

科　学　技　术　与　工　程
Science Technology and Engineering

Vol. 18　No. 34　Dec. 2018
ⓒ 2018　Sci. Tech. Engrg.

引用格式:李文伟, 王令飞, 艾力·斯木吐拉. 高原公路纵断面线形与肌电平均功率频率的试验分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(34): 259—262

Li Wenwei, Wang Lingfei, Eli Ismutulla. Experimental analysis of relationship between the vertical alignment of plateau highway and driver mean power frequency signals[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(34): 259—262

高原公路纵断面线形与肌电平均功率频率的试验分析

李文伟　王令飞　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　为了了解驾驶员在高原低氧路段行车时,道路纵断面线形对肌电特性指标平均功率频率 MPF 的影响,使用生物反馈检测仪记录在高原公路行车驾驶员的肌电信号,结合 G314 路线纵断面图,分析在高原公路行车驾驶员的 MPF 的变化规律。定量分析 MPF 与海拔高度、竖曲线半径以及坡差间的关系。研究表明:在高原公路行车时,海拔高度是影响驾驶员 MPF 值变化的主要因素;其与坡差呈负相关;海拔高度与竖曲线半径存在共线性关系,伴随海拔高度的升高和竖曲线半径的减小,MPF 值迅速减小。

关键词　驾驶员　高原公路　纵断面线形　平均功率频率(MPF)

中图法分类号　X912;　　**文献标志码**　B

高原公路因为其独特的自然环境和地理条件的限制,驾驶员通常需要频繁的操控汽车,改变汽车的运动状态和运动轨迹。因此,驾驶员在行车过程中长期的保持高驾驶负荷,容易出现肌肉疲劳的现象。目前,国内肌电信号的研究主要集中在人机交互、模拟仿生、运动学以及医学等方面,在仿生模拟、机器人的研发提供、运动损伤和治疗以及检查和治疗疾病等方面得到广泛的应用[1—3]。但将肌电信号应用到驾驶员驾驶负荷与道路线形的研究仍处于起步阶段。王宏鹏等[4,5]分析了高原公路驾驶员肌电特性与道路线形的关系以及使用肌电指标分析高原公路驾驶员的疲劳程度。王琳等[6]结合生物力学给出了颈腰部肌电信号和头部脑电信号对驾驶疲劳状态的判别的数学模型。目前,国外研究多集中在道路路基路面方向以及使用肌电信号表征肌肉疲劳[7,8]。研究表明,平均功率频率(MPF)随人体活动的变化最为显著[9]。

高原公路海拔高度的改变导致公路出现较多的竖曲线组合方式,极大地增加了驾驶员的操作负担,基于此,结合道路纵断面线形,通过肌电特性指标 MPF 来定量分析驾驶驾驶员在高原公路行车过程中肌电信号变化规律。

1　试验方案

1.1　试验路段选取

行车实验路段选取国道 314 线。道路线形条件复杂,最低点海拔 3 000 m,满足高原驾驶实验需求。选取典型路段 K1740 +940 ~K1683 +100 进行实地行车试验,试验路段全长约 59 km,行驶时间为 45 min,平均行驶速度为 78 km/h。

1.2　设备、受测人员及数据采集

试验采集设备、车辆、驾驶人员以及相关辅助设备等均与课题组实验仪器相同详见文献[10]。

2　肌电评价指标及影响因素选取

2.1　肌电特性指标

目前对于肌电特性指标的研究集中在时域、频域两方面[11]。平均功率频率(mean power frequency,MPF)是肌电特性指标的常用频域分析指标,MPF 可以通过对原始数据进行数据变换,通过 MATLAB 的编程进行快速傅氏变换,实现数据去噪以及积分。其计算公式为

$$\mathrm{MPF} = \int_0^{\infty} fp(f)\,\mathrm{d}f \Big/ \int_0^{\infty} p(f)\,\mathrm{d}f \qquad (1)$$

2018 年 7 月 24 日收到　　国家自然科学基金(71761032)和新疆研究生科研创新项目(XJGRI2017064)资助

第一作者简介:李文伟(1992—),男,汉族,甘肃庆阳人,硕士研究生。研究方向:高原公路驾驶员驾驶负荷与道路线形关系。E-mail:858611385@qq.com。

*通信作者简介:艾力·斯木吐拉(1958—),男,新疆伊犁人,教授,硕士研究生导师。研究方向:特殊环境地区道路交通安全。E-mail:ismutulla@163.com。

式(1)中：$p(f)$ 为信号功率谱密度函数；f 为频率。

2.2 道路纵断面线形指标

高原公路与其他道路差异间的一个重要因素就是海拔高度的上升。对于首次进入高原公路的驾驶员，可能会出现头疼、呕吐、心慌、食欲减退等一系列临床症状[12]，故需要考虑海拔高度对于 MPF 的影响。驾驶员需要根据道路线形的变化及时改变车辆的运动状态和运动轨迹的附近。因此，纵断面线形中选取竖曲线半径与坡差变化量描述变坡点周围的道路线形变化。实验路段变坡点个数共 170 个，各点的海拔高度、竖曲线半径 r、坡差变化量以及在变坡点附近的 MPF 值如表 1 所示。

表 1 部分纵断面数据

Table 1 Partial vertical alignment data

变坡点	桩号	海拔 H/m	竖曲线半径 r/m	坡差变化量 ω/%	MPF/Hz
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
80	K1713 + 180	3 381.26	9 000	−1.8	181.503 4
81	K1712 + 880	3 387.35	9 000	−1.185	180.928 8
82	K1712 + 500	3 390.57	9 750	1.214	180.626 2
83	K1712 + 150	3 397.78	6 000	1.748	179.951 4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

3 数据处理

使用生物监测仪获得实地的驾驶员在高原行车过程中肌电变化。为了研究 MPF 与道路纵断面线形之间的关系，根据驾驶员的平均反应时间，选取驾驶员经过变坡点时前后 4 s 的肌电数据。肌电采集频率为 200 Hz，共 800 个数据，将数据导入 Excel，使用 MATLAB 通过编程的方式对数据进行功率谱积分，并利用傅氏变换对数据进行降噪去噪处理。使用 SPSS 进行所选取道路线形参数与 MPF 之间的相关性分析。

4 诸因素对驾驶员肌电特性指标 MPF 的影响分析

4.1 偏相关性分析

使用 SPSS 对高程、竖曲线半径、绝对坡差与 MPF 进行偏相关分析，如表 2 所示。可知，MPF 与高程的相关性最大且呈现负相关，系数为 −0.872，其次是竖曲线半径与坡差绝对值，相关系数分别为 0.733、−0.662。

4.2 海拔高度 H 与 MPF 的关系

通过对海拔高度和 MPF 的分析，得到了 MPF 随海拔高度的变化关系图。从图 1 可得知，海拔高度从 3 000 m 变化到 3 600 m 的过程中，随着海拔高度的上升，MPF 总体呈现出下降的趋势。MPF 在 150 ~ 220 Hz 的范围内变化；海拔从 3 600 m 变化到 4 200 m的过程中，下降趋势减缓，MPF 在 150 Hz 左右变化。表明 MPF 随海拔高度的上升逐渐降低，在海拔上升到 4 200 m 的过程中，上升逐渐减缓。利用 SPSS 分析软件建立海拔高度与 MPF 的关系模型：

$$Y_1 = 338.1e^{-2\times10^{-4}H} \quad (2)$$

式(2)中：Y_1 表示驾驶员的肌电特性指标 MPF，Hz；H 为海拔高度，m；式(2)适用范围为 3 000 m < H < 4 200 m。

表 2 各影响因素与 MPF 的偏相关分析

Table 2 Partial correlation analyses between the MPF and effect factors

项目	海拔/m	竖曲线半径/m	绝对坡度/%
相关系数	−0.872	0.733	−0.662
显著性(双侧)	0	0	0
自由度 df	166	166	166

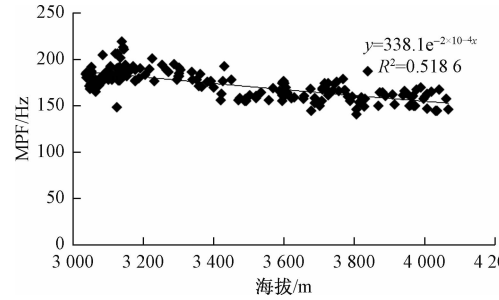

图 1 海拔高度与 MPF 的关系

Fig. 1 Relationship between the MPF and altitude

4.3 竖曲线半径与 MPF 的关系

通过对竖曲线半径 r 和 MPF 的分析，得到 MPF 随海拔高度的变化关系图。从图 2 可得知，当 0 ≤ r ≤ 20 000 m 时，MPF 从 150 上升到 200 左右，在竖曲线半径较小时，MPF 迅速上升；当 20 000 m ≤ r ≤ 40 000 m 时，MPF 的变化趋于稳定，既随着线半径的继续增大，驾驶员肌电特性指标 MPF 的变化不大。

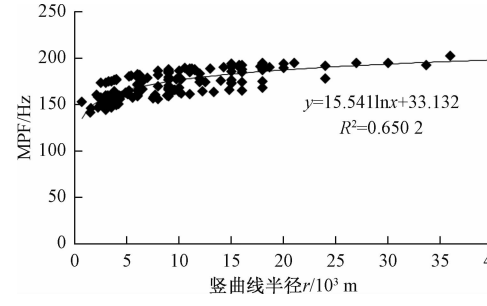

图 2 竖曲线半径与 MPF 的关系

Fig. 2 Relationship between the MPF and vertical curve radius

利用 SPSS 分析软件建立竖曲线半径 r 与 MPF 的关系模型:

$$Y_2 = 15.541\ln r + 33.132 \quad (3)$$

式(3)中:Y_2 表示驾驶员的 MPF,Hz;r 为竖曲线半径,m;式(3)的适用范围为 $0 < r < 40\ 000$ m。

4.4　坡差变化量与 MPF 的关系

通过对坡差、绝对坡差和 MPF 的分析,得到 MPF 随坡差与绝对坡差的变化关系图。从图 3、图 4 可以得知,MPF 值随坡差的变化趋势一致,为了便于研究,对坡差取绝对值,做绝对坡差与 MPF 的变化趋势图。从图 3、图 4 中可以看出,当 $-4\% < \omega < 4\%$ 时,MPF 值随坡差变化,迅速减小。随着坡差继续增大,MPF 值减小速度减缓,趋于平稳。

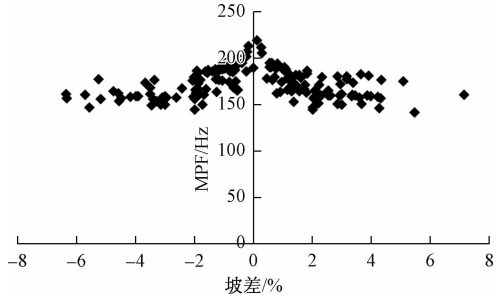

图 3　坡差与 MPF 的关系

Fig. 3　Relationship between the MPF and slope change value

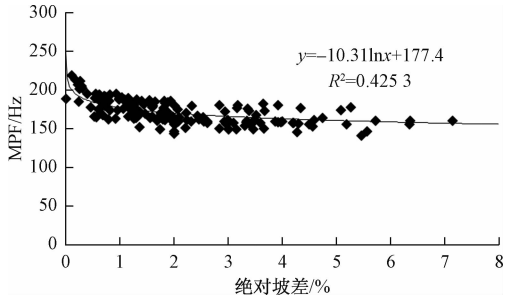

图 4　绝对坡差与 MPF 的关系

Fig. 4　Relationship between the MPF and absolute value of slope change

利用 SPSS 建立绝对坡差与 MPF 的关系模型:

$$Y_3 = -10.31\ln|\omega| + 177.4 \quad (4)$$

式(4)中:Y_3 表示受测驾驶员 MPF,Hz;ω 为坡差,%;式(4)适用范围为 $-8\% < \omega < 8\%$。

4.5　诸因素共同作用下的驾驶员肌电特性指标 MPF 变化分析

通过上述分析可知,驾驶员肌电特性指标 MPF 与海拔高度、竖曲线半径、坡差之间的相关性较为明显。利用 SPSS 做回归分析,道路纵断面线形与几点特性指标 MPF 存在共线性问题。控制坡差变量,建立三者间得三维模型,如式(5);将式(2)、式(3)代入式(5)得式(6)。

$$Y = -110.247 + 0.826Y_1 + 0.829Y_2 \quad (5)$$

$$Y = -120.098 + 394.754e^{-2\times10^{-4}H} + 17.341\ln r \quad (6)$$

式中:Y 为海拔高度与竖曲线半径 r 共同作用下的 MPF 值;H 为海拔高度,m;r 为竖曲线半径,m。相关性系数大于 0.85,模型显著相关。

为了更直观地反映三者间的关系,使用 MATLAB 建立它们的三维关系图(图 5)。由图 5 可知,控制海拔高度不变,MPF 值随 r 的增大而增大;控制 r 不变,MPF 值随海拔增大而减小;在 r 减小和海拔高度 H 增大时,MPF 值下降趋势明显。

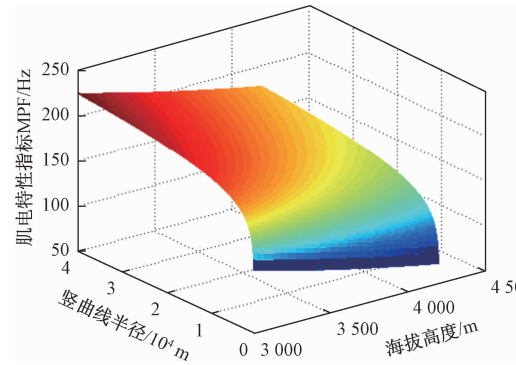

图 5　海拔高度、竖曲线半径与 MPF 的关系

Fig. 5　Relationship between the MPF, altitude and vertical curve radius

5　结论

通过对实地行车试验获取的驾驶员肌电信号 MPF 与高原公路纵断面线形关系进行分析,结果如下。

(1)MPF 与海拔高度 H、竖曲线半径 r、坡差 ω 之间存在较强的相关性,其顺序依次为 $\omega < r < H$。

(2)MPF 与 H 呈负相关,与 r 呈正相关。表明 H 增大、r 减小时,对驾驶员的驾驶驾驶行为影响越明显。

(3)MPF 与 $|\omega|$ 的变化呈负相关,表明随着坡差绝对值的减小,驾驶员的操控行为带来的肌体疲劳感逐渐增强。

(4)建立 MPF 与 H、r 间的三维关系模型发现,在海拔高度上升和竖曲线半径减小的综合作用下,驾驶员肌电特性指标 MPF 的变化更为明显。

参　考　文　献

1　丁其川,熊安斌,赵新刚,等. 基于表面肌电的运动意图识别方法研究及应用综述. 自动化学报,2016;42(1):13—25
Ding Qichuan, Xiong Anbin, Zhao Xingang, *et al*. A review on researches and applications of sEMG-based motion intent recognition methods. Acta Automatica Sinica, 2016;42(1):13—25

2　李　阳. 智能仿生手臂肌电信号-运动模型化与模式识别理论方

法研究. 长春:吉林大学,2012
Li Yang. Movement model and pattern recognition studies on sEMG of intellignet bionic arm. Changchun: Jilin University,2012

3 宋春霞,谢增辉,何芳梅,等. 神经肌电图对特发性面瘫治疗及预后评估的研究. 中风与神经疾病杂志,2012;29(4):349—352
Song Chunxia, Xie Zenghui, He Fangmei, *et al*. Study of EMG on the treatment and prognosis of idiopathic facial paralysis. Apoplexy and Nervous Diseases,2012;29(4):349—352

4 王宏鹏,艾力·斯木吐拉. 高原公路线形对驾驶员肌电特性影响试验分析. 科学技术与工程,2016;16(36):249—254
Wang Hongpeng, Eli Ismutulla. Analysis of the influence of plateau highway line-type on driver EMG characteristic. Science Technology and Engineering,2016;16(36):249—254

5 王宏鹏,艾力·斯木吐拉. 基于表面肌电信号的高原公路驾驶员颈部疲劳试验分析. 科学技术与工程,2016;16(26):323—328
Wang Hongpeng, Eli Ismutulla. Analysis of the fatigue of drivers' neck in plateau highway based on SEMG. Science Technology and Engineering, 2016;16(26):323—328

6 王 琳,化成城,姜 鑫,等. 基于颈腰部肌电及脑电信号的疲劳驾驶检测. 东北大学学报(自然科学版),2018;39(1):102—107
Wang Lin, Hua Chengcheng, Jiang Xin, *et al*. Investigation on driver fatigue testing based on the combination of cervical-lumbar EMG and EEG. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2018;39(1):102—107

7 Sommerich C M, Joines S M B, Hermans V, *et al*. Use of surface electromyography to estimate neck muscle activity. Journal of Electromyography and Kinesiology,2000;10(6):377—398

8 Sheng Y, Cao Y B, Li J, *et al*. Characteristics of permafrost along highway G214 in the Eastern Qinghai-Tibet Plateau. Journal of Mountain Science, 2013;12(5):1135—1144

9 王 坤,王成俊,罗二平,等. 基于幅频联合分析法对肌肉疲劳状态下表面肌电信号时、频域变化规律的研究. 中国医学物理学杂志,2010;27(4):2030—2033,2038
Wang Kun, Wang Chengjun, Luo Erping, *et al*. The study of thesurface electromyography variation in time and frequency domain when fatigue in muscle takes place based on joint analysis of spectrum and amplitude. Chinese Journal of Medical Physics,2010; 27(4):2030—2033,2038

10 艾力·斯木吐拉,李岩岩,伊力扎提·艾力. 高原公路驾驶员生理特性动态试验分析. 中国安全科学学报,2016;26(5):7—12
Eli Ismutulla, Li Yanyan, Ilzat Eli. Dynamic test based analysis of physiological characteristics of driver driving on plateau highway. China Safety Science Journal, 2016;26(5):7—12

11 皮喜田,陈 峰,彭承琳,等. 利用表面肌电信号评价肌肉疲劳的方法. 生物医学工程学杂志,2006;(1):225—229
Pi Xitian, Chen Feng, Peng Chenglin, *et al*. Methods applied to muscle fatigue assessment using surface myoelectric signals. Journal of Biomedical Engineering, 2006;(1):225—229

12 黄庆愿,高钰琪,刘福玉,等. 急性高原反应相关因素的多元线性回归分析. 第三军医大学学报,2006;(12):1269—1272
Huang Qingyuan, Gao Yuqi, Liu Fuyu, *et al*. Analyzing physiological factors related to acute mountain sickness with multivariate regression. Acta Academi Medicinae Miltaris Tertiae, 2006;(12):1269—1272

Experimental Analysis of Relationship between the Vertical Alignment of Plateau Highway and Driver Mean Power Frequency Signals

LI Wen-wei, WANG Ling-fei, ELI Ismutulla*
(School of Machinery and Traffic, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

[**Abstract**] In order to understand the driver's influence on the myoelectric characteristic index MPF when driving on the plateau low-oxygen section, the longitudinal profile of the road, the myoelectric signal of the driver on the plateau road was recorded using a biofeedback detector. Combining the longitudinal profile of the road G314 route, the change law of MPF in the driving of the plateau highway was analyzed. Quantitative analysis of the relationship between MPF and altitude, vertical curve radius and slope were given. Research shows that altitude is the main factor affecting the change of driver's MPF value when driving on highland highways; it is negatively correlated with the slope difference; there is a collinear relationship between altitude and vertical curve radius; with the increase of altitude and the decrease of vertical curve radius, MPF value decreases rapidly.

[**Key words**] driver plateau highway profile line mean power frequency (MPF)