

页眉不用
添加

黑体2号

基于心率变异性的振动式压路机驾驶员 疲劳分析与试验研究

楷体小4号

宋体4号

秦伟

(内蒙古建筑职业技术学院 市政与路桥工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010070)

黑体小
5号

楷体小
5号

摘要: 为研究压路机驾驶员的疲劳变化规律, 采用RM6240的多通道生理信号采集处理系统, 在洛阳产LSS218A型振动式压路机上进行驾驶疲劳实驾实测试验, 心电数据采集时间为150min。选择心率变异(HRV heart rate variability)指标中的时频域分析指标进行分析, 找出变化规律, 确定连续碾压作业疲劳发生的时间, 并对疲劳时间段内生理指标与碾压作业过程驾驶疲劳度进行灰色关联分析。结果表明: 在碾压作业驾驶疲劳阶段, 压路机驾驶员生理指标与连续碾压作业驾驶疲劳度之间的灰色关联程度呈现先增加后减小的趋势; 压路机驾驶员出现疲劳状态时间为45min; 随着碾压作业时间的增长, 压路机驾驶员的疲劳程度加深时间出现在94min; 连续碾压作业时间继续增长时, 压路机驾驶员生理指标变化波动频率不明显, 说明压路机驾驶员已经达到疲劳状态, 从而会影响其驾驶安全。

关键词: 公路安全; 压路机; 驾驶疲劳; 心率变异; 灰关联

中图分类号: X911; X912

文献标志码: A

文章编号: (2018) 01-28-08

横线不用
加

0 引言

标题阿拉伯数字编号, 一级标题黑体5号, 上下各空1行

振动式压路机是公路及市政公用工程中常用的碾压机械。振动式压路机作业环境噪声大, 振动开启时颠簸现象较为严重, 当遇到工期紧张时, 压路机驾驶员的连续工作时间较长, 会导致驾驶员产生驾驶疲劳现象, 严重时可引发工程安全生产责任事故^[1,2]。目前, 压路机生产企业也只是注重自身产品的使用性能和质量, 忽略了使用过程中会出现的安全事故, 而科研人员对如沙漠地区、草原地区和山区等交通环境下的汽车驾驶员疲劳研究较多, 但对压路机等工程机械驾驶员疲劳的研究成果较少, 仅仅处于起步阶段。

力和精神疲劳情况^[3]。相比之下, 能综合反映驾驶员的体力疲劳和精神疲劳情况, 从而分析出驾驶疲劳对驾驶员的影响。首先通过对受试人员进行疲劳检测, 确定压路机驾驶员的主观疲劳区间, 其次对压路机驾驶员心率变异性(HRV)进行检测与分析, 找出压路机驾驶员连续碾压作业时间与驾驶疲劳度之间的关系, 结合驾驶员的主观疲劳与心率变异指标判出的疲劳区间进行分析, 最终判断压路机驾驶员的疲劳程度。

正文宋体5号, 分两栏, 行间距18磅

1 HRV 分析方法

心电信号(ECG)是周期性的人体生物电信号, 也是最早应用于临床医学的生物电信号之一, 在某种程度上可以反映心脏所处的工作状态。在一个心动周期的心电信号中, P波、QRS波群和T波, 其中QRS波群变化较为剧烈, 是反映心脏电活动的主要从

页边距左右2厘米

标识为黑体小5号

横线不用加

此部分内容放在文后

基金项目: 内蒙古建筑职业技术学院2015-2016年度教学改革项目YC1564。

收稿日期: 2018-01-20

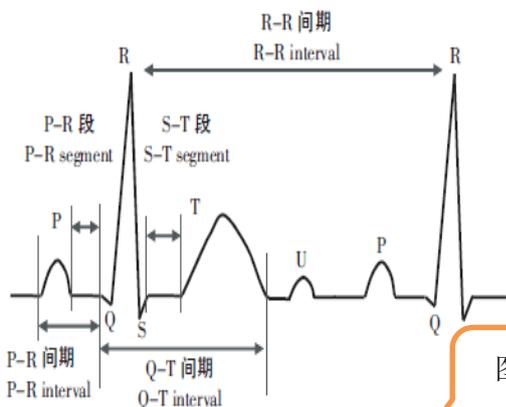
作者简介: 秦伟(1983-9), 男, 江苏省沛县, 硕士研究生, 讲师。研究方向: 道路桥梁方向。

波形图的幅高、宽窄、陡峭等方面进行研究。近年来相关专家学者对于心率变异性 (HRV) 能够准确反映心脏交感神经和迷走神经的重要指标研究已经取得了较大进步。HRV是指心脏波动周期,即R-R间期存在细微变化的现象,并可以描述人的体力和脑力疲劳情况。其分析方法有时域分析法、频域分析法、线性分析法和非线性分析法,因线性分析方法不是成熟的检测项目,故不具备研究意义。非线性分析方法的研究处于起步阶段,在相关领域中无法正常应用。时域分析法

二级标题

1.1 时域分析方法

时域分析方法是统计学的方法分析心电信



图示 黑体小5号

图1 心电信号波形图

号图中 R-R 间期的统计学指标和几何指标,该方法简单、直观,且易于为研究者接受。其主要统计学指标有:SDANN (ms):正常窦性 R-R 间期标准差,反映 HRV 中慢变化的成分;r-MSSD(ms):相邻正常窦性 R-R 间期差值的均方根值或标准差,反映 HRV 中快变化的成分;MeanRR (ms):R-R 间期序列的平均值,反映了 HRV 中的平均水平;PNN50:相邻 R-R 间期差值大于 50ms 的 R-R 间期数与全部 R-R 之比,反映迷走神经的活动;RRCV:心电图变异系数;NN50 (个):相邻 R-R 间期差值>50 ms 的心跳数^[3]。

1.2 频域分析方法

频域分析方法是利用频域方法或谱分析方法将 R-R 期间变化曲线转换到频域上进行分析的一种方法,一般分为短时程和长时程分析2种^[6]。因压路机驾驶员连续作业驾驶疲劳所需长时间进行碾压工作,

故选用长时程频域指标进行分析研究,具体指标如下:TP——总功率 (ms²);VLF——极低频段功率 (ms²);LF低频段功率—— (ms²);LFnorm—— LF 功率标化单位 (Nu);HFnorm——高频段功率Nu);HF功率标化单位;LF/HF:低频高频均衡比^[7-11]。

2 试验方法与数据处理

2.1 试验人员与试验路段

压路机驾驶员因其职业的特点,往往男性驾驶员居多。根据现场实际调查,压路机驾驶员的驾驶年龄直接影响着碾压效果,驾龄短的驾驶员碾压作业过程中,耗时耗油且碾压效果较差,驾龄在10年以上的驾驶员较少,施工现场5年左右驾龄的压路机驾驶员较多,且多为碾压作业的主力。

交通行业中驾驶员的气质性与驾驶行为密切相关,胆汁质驾驶员所表现的驾驶行为较显著,驾驶不稳定;多血质和混合型驾驶员驾驶行为较为稳定;抑郁质型驾驶员的驾驶行为变化不大。故本试验也采用比较成熟的陈会昌编制的调查表进行气质类型

调查结果用来确定受试驾驶员的气质类型^[12]。首先对驾龄在3年以上的司机进行测试,选取多血质和混合型气质性驾驶员,具有较好的驾驶经验和处理突发事件的能力。同时为了避免由于驾龄、性别以及身体健康状况等因素对试验数据产生的影响,采用分层随机法将试验人员进行分类,选取驾龄4-6年的10名男性试验人员进行实驾实测试验,如表1所示,要求试验人员无心脏病、神经性等重大疾病史,且受试前24h内不含有咖啡因类的饮料,保证休息充足。

表头 黑体小5号

表1 试验人员信息

驾驶员编号	性别	驾龄	健康状况	碾压路段情况
1	男	5	良好	初次碾压
2	男	6	良好	
3	男	5	良好	
4	男	6	良好	初次碾压

简单表格 用三线

宋体小5号

5	男	4	良好	初次碾压
6	男	5	良好	初次碾压
7	男	6	良好	初次碾压
8	男	4	良好	初次碾压
9	男	6	良好	初次碾压
10	男	5	良好	初次碾压

试验路段选在庆元黄坛至菊水及55省道菊水至松源段公路改建工程第2标段，试验选取里程桩号为K0+000至K1+000，压路机碾压层为土方路基填筑层。

2.2 试验仪器及要求

试验压路机采用洛阳产LSS218A型，额定功率125kw，生产能力18T，轴距616.mm，工作宽度2130mm，振幅2.0//1.0。

试验测试仪器采用RM6240多通道生理信号采集处理系统进行采集，仪器参数如表2所示，试验过程中应对采集仪的数据线进行加长，避免因数据过短而影响驾驶员操作，导致试验数据有误差。试验过程中，对于压路机行驶速度不作限制，但应符合碾压标准及技术要求。

表2 多通道生理信号采集仪参数值

生物电	采样频率(Hz)	扫描速度(ms/div)	灵敏度(μV)	时间常数(s)	滤波频率(Hz)	50H陷波(开/关)
心电	1000	80	500	0.2	30	开

2.3 试验方法

试验时间选择在天气晴朗的上午8:00-10:30，同时应符合相关施工技术标准要求。受试驾驶员提前1小时到达试验路段，试验人员应告知其注意事项，并正确粘贴电极^[6]。电极片正极贴在左腋前线第四肋间；负极贴在右侧锁骨中点下缘；参考极导线贴在剑突下偏右，且在粘贴之前将受试者粘电极片处进行消毒去油脂等处理。

试验设备连接测试好后，要求受试驾驶员静坐

在压路机驾驶位上，试验人员测得静止10min的相关心理指标，以便后续进行对比分析。同时，试验开始前填写疲劳调查问卷，在试验过程中压路机不开振动，每间隔10min进行1次调查问卷询问并记录。

2.4 试验数据预处理

实驾试验结束后，对采集到150min的驾驶员心电图数据进行分段处理，每小段5min，共计30段。分段后采用Matlab中bior5.5小波进行8尺度的小波分析消除噪声，除去工频干扰和基线漂移；通过对QRS波群的检测后，计算出R-R间期的相关数据进行数据分析。

3 试验结果与分析

3.1 压路机驾驶员疲劳主观评价分析

在所选用的调查问卷中，将驾驶疲劳程度分为5个等级：舒服、有点舒服、正常状态、有点疲劳、疲劳，对应的分值为-20、-10、0、10、20，每位受试驾驶员需完成调查问卷，总计10份。试验完毕后取算术平均值汇总如图2所示：

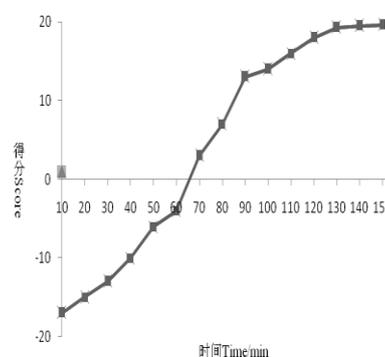


图2 主观疲劳程度调查结果

由图2可以看出，压路机驾驶员的主观疲劳程度呈现出先快后慢再快再慢的趋势。作业时间从0min至50min增长较快；作业时间在50min至60min增长较慢；作业时间在60min至100min增长又再次加快；100min以后疲劳程度呈现缓慢增长阶段。通过现场询问及压路机驾驶员主观疲劳分析得出：压路机驾驶员在连续作业50min时开始出现疲劳状况，100min时已经感到疲劳。

3.2 压路机驾驶员心率变异指标分析

通过对心率变异性指标与主观调查问卷评分结果进行相关性分析得到：皮尔逊相关系数为-0.835，显著性水平为0.006，说明两者之间的相关性显著，可采用压路机驾驶员的心率变异指标进行疲劳分析。

在时域分析指标中，SDNN 作为研究的时间段较短的数据较显著，压路机驾驶员驾驶疲劳所需试验时间较长，对于完整试验而言，驾驶员出现驾驶疲劳期间属于相对较短的区间。SDANN 可应用于全程指标分析。NN50 只是反映相邻 R-R 间期差值大于 50ms 的个数，研究由于碾压作业时间增长引起疲劳的相关问题时，该项指标较难分析规律，且受外界干扰因素较大。RRCV 可以用来计算驾驶疲劳程度^[3]。因此，本文采用 SDNN、MeanRR、SDANN、r-MSSD、PNN50 等 5 个指标进行研究。

频域分析指标中，LFnorm 和 HFnorm 是 LF 和 HF 的标准化单位，因此选 LF 和 HF 作为分析指标即可。LF/HF 为均衡比，通过研究 LF 和 HF 的变化趋势可以直接分析出该项指标，可以不作过多分析。故本文选择 VLF、LF、HF 等 3 项指标作为基础进行驾驶疲劳研究。

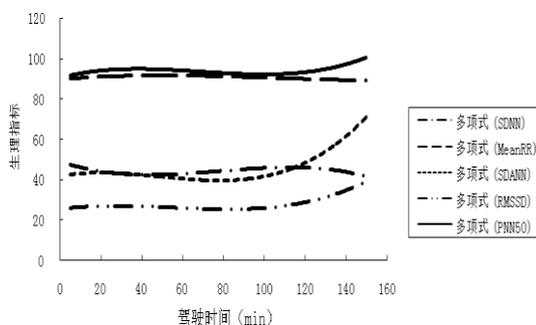


图3 时域分析指标随驾驶时间变化图

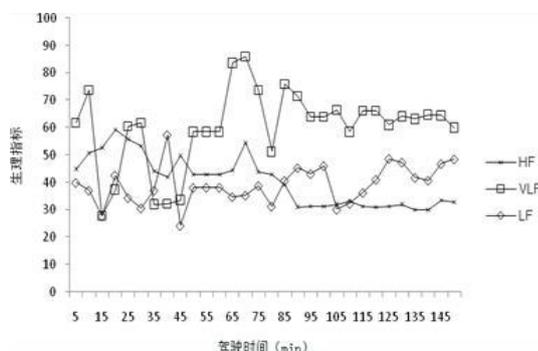


图4 频域分析指标随驾驶时间变化图

用RM6240多通道生理信号采集处理系统以 5min 为基准导出试验全程的心率数据汇总，计算出

受试的10名驾驶员的心率变异指标中时域分析指标及频域分析指标，并绘制曲线，如图3和图4所示。

由图3和图4可以看出，时域分析指标在碾压作业开始至40min时变化成一定规律性，尤其是SDNN呈现上升趋势，这也验证了SDNN能够反映驾驶疲劳加深过程这一说法。在连续作业40min左右时出现拐点，频域分析指标同样也在此时间段出现拐点，且变化较大。40-60min时各项指标均处于平缓变化区段，60-90min时各项指标的波动较为明显。连续作业90min以上时，时域分析指标波动更为明显，而频域分析指标变化相对均匀，其中，LF总体呈下降趋势。出现该现象主要由于驾驶员开始作业时，由正常状态转入到工作状态，生理指标由平缓转向紧张，导致各项指标变化较大。随着作业时间的推移、施工规范要求及控制行进速度的要求等方面的影响，工作的相对单一性逐渐体现，导致各指标处于较慢的波动范围。同时由于作业时间的增加，驾驶员的疲劳程度逐渐影响着驾驶行为，出现驾驶疲劳的症状较为明显，最终导致驾驶员处于非常疲劳状态。

3.3 驾驶疲劳发生时间的确定

驾驶疲劳度是反应驾驶疲劳的程度，可以通过驾驶员的心电信号计算得出具体的数值，以此来反映驾驶员的驾驶状态。具体计算公式1如下^[13-15]：

$$\begin{aligned} \text{驾驶疲劳度} &= \frac{RRCV}{RRCV_{\text{初始值}}} = \frac{\frac{RR\text{间期标准差}}{RR\text{间期平均值}}}{\frac{RR\text{间期标准差}_{\text{初始值}}}{RR\text{间期平均值}_{\text{初始值}}}} \\ &= \frac{\frac{RR\text{间期标准差}}{RR\text{间期平均值}}}{\frac{RR\text{间期标准差}_{\text{初始值}}}{RR\text{间期平均值}_{\text{初始值}}}} \\ &= \frac{RR\text{间期标准差相对变化率}}{RR\text{间期平均值相对变化率}} \end{aligned} \quad \text{公式1}$$

本文采用灰色关联的分析方法，对驾驶员的心率变异指标与碾压作业驾驶疲劳度之间进行灰关联分析^[16]。因为人体各项生理指标出现驾驶疲劳现象，故首先选取主观调查问卷中出现疲劳症状前10min的心率变异指标进行分析，即连续作业时间为40-50min和90-100min之间的驾驶员生理指标，与压路机驾驶员驾驶疲劳度进行灰色关联分析。由公式1计算得出2个时间段每分钟时间节点的驾驶疲劳度，如表3所示。每个时间节点的心率变异性指标与驾驶疲劳度的关联度计算结果如表4至表7所示。

由表4和表5可以分析出，压路机驾驶员的频域分析指标和时域分析指标与驾驶疲劳的灰色关联程度较高，尤其在连续碾压作业时间为45min时，呈现出关联程度加大，说明此时驾驶员的各项生理指标表明驾驶员驾驶疲劳程度有据可依。由表6和表7可以分析出，在连续碾压作业为94min时，出现关联度较大的情况，故可得出在此时驾驶员已经处于非常疲劳状态。

笔者通过对压路机驾驶员疲劳度与主观调查问卷评分结果进行相关性分析得到：显著性水平为0.008，说明两者之间的相关性显著，结果表明，采用驾驶疲劳度反映压路机驾驶员疲劳有据可依。

结合对压路机驾驶员疲劳主观调查问卷进行分析：压路机驾驶员在连续碾压作业50min时出现疲劳感觉，在连续碾压作业时间为100min时出现疲劳加重显现状况。与驾驶员的生理指标分析得出的疲劳时间有一定的差别，这是因为主观调查问卷结果显示的时间与心电信号导出的时间有所差异，导致驾驶员已经出现疲劳现象，最终出现调查问卷得出的疲劳出现时间节点比压路机驾驶员生理指标出现疲劳状况滞后的情况。

表3 驾驶疲劳度统计表

驾驶时长 (min)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
疲劳度	0.91	0.89	0.72	0.85	0.65	1.01	1.03	0.78	0.68	0.91	0.88
驾驶时长 (min)	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
疲劳度	0.86	0.75	0.78	1.12	1.14	0.77	0.97	0.91	1.21	1.07	1.02

表4 连续碾压作业时间 40-50min 时域分析指标与驾驶疲劳灰关联度计算结果

K	SDNN	MeanRR	SDANN	r-MSSD	PNN50	r0n
$g_{01}(K)$	0.78	0.63	0.34	0.67	0.71	0.31
$g_{02}(K)$	0.80	0.93	0.66	0.75	0.55	0.37
$g_{03}(K)$	0.80	0.94	0.67	0.89	0.86	0.42
$g_{04}(K)$	0.82	0.96	0.69	0.70	0.86	0.40
$g_{05}(K)$	0.82	0.83	0.81	0.94	0.92	0.43
$g_{06}(K)$	0.83	0.87	0.89	0.87	0.524	0.40
$g_{07}(K)$	0.843	0.97	0.68	0.749	0.60	0.38
$g_{08}(K)$	0.89	0.70	0.75	0.68	0.55	0.36
$g_{09}(K)$	0.89	0.70	0.66	0.83	0.77	0.39
$g_{10}(K)$	0.92	0.79	0.59	0.82	1.00	0.41

注：表中 $g_{0n}(K)$ 为连续作业时间段40-50min中，每分钟内驾驶员生理指标与驾驶疲劳度的关联系数； r_{0n} 为时域分析指标关联度均值，K为心率变异指标。

表 5 连续碾压作业时间 40-50min 频域分析指标与驾驶疲劳关联度计算结果

K	VLF	LF	HF	r_{0n}
$g_{01}(K)$	0.61	0.69	0.77	0.39
$g_{02}(K)$	0.89	0.81	0.96	0.42
$g_{03}(K)$	0.78	0.79	0.93	0.37
$g_{04}(K)$	1.00	0.65	0.73	0.36
$g_{05}(K)$	1.00	0.84	0.93	0.46
$g_{06}(K)$	0.96	0.90	0.51	0.38
$g_{07}(K)$	0.70	0.78	0.66	0.38
$g_{08}(K)$	0.83	0.68	0.97	0.37
$g_{09}(K)$	0.96	0.64	0.76	0.36
$g_{10}(K)$	0.58	0.65	0.70	0.35

注:表中 $g_{0n}(K)$ 为连续作业时间段40-50min中, 每分钟内驾驶员生理指标与驾驶疲劳度的关联系数;
 r_{0n} 为频域分析指标关联度均值, K为心率变异指标。

表 6 连续碾压作业时间 90-100min 时域分析指标与驾驶疲劳关联度计算结果

K	SDNN	MeanRR	SDANN	r-MSSD	PNN50	r_{0n}
$g_{01}(K)$	0.89	0.74	0.45	0.78	0.82	0.42
$g_{02}(K)$	0.94	0.79	0.50	0.83	0.87	0.47
$g_{03}(K)$	0.97	0.82	0.53	0.86	0.90	0.50
$g_{04}(K)$	1.03	0.88	0.59	0.92	0.96	0.56
$g_{05}(K)$	1.15	1.00	0.71	1.04	1.08	0.68
$g_{06}(K)$	1.06	0.91	0.62	0.95	0.99	0.59
$g_{07}(K)$	1.10	0.95	0.66	0.99	1.03	0.63
$g_{08}(K)$	1.12	0.97	0.68	1.01	1.05	0.65
$g_{09}(K)$	1.00	0.84	0.93	0.88	0.91	0.46
$g_{10}(K)$	0.89	0.81	0.96	0.89	0.63	0.42

注:表中 $g_{0n}(K)$ 为连续作业时间段90-100min中, 每分钟内驾驶员生理指标与驾驶疲劳度的关联系数;
 r_{0n} 为时域分析指标关联度均值, K为心率变异指标。

表 7 连续碾压作业时间 90-100min 频域分析指标与驾驶疲劳灰关联度计算结果

K	1	2	3	r_{0n}
$g_{01}(K)$	0.64	0.72	0.80	0.42
$g_{02}(K)$	0.92	0.84	0.99	0.45
$g_{03}(K)$	0.81	0.82	0.96	0.40
$g_{04}(K)$	1.04	1.12	1.00	0.72
$g_{05}(K)$	1.08	0.95	0.66	0.63
$g_{06}(K)$	0.96	0.90	0.51	0.38
$g_{07}(K)$	0.7	0.78	0.66	0.38
$g_{08}(K)$	0.76	0.84	0.72	0.44
$g_{09}(K)$	0.89	0.97	0.85	0.57
$g_{10}(K)$	0.89	0.70	0.75	0.36

注：表中 $g_{0n}(K)$ 为连续作业时间段 90-100min 中，每分钟内驾驶员生理指标与驾驶疲劳度的关联系数； r_{0n} 为频域分析指标关联度均值，K 为心率变异指标。

4 结论

(1) 压路机驾驶员的时频域分析指标与连续碾压作业驾驶疲劳度之间的灰色关联程度呈现先增加后减小的趋势。

(2) 通过分析压路机驾驶员疲劳程度主观调查问卷，并根据受试驾驶员生理指标随时间变化的规律及灰色关联分析得出：当连续碾压作业时间在 45min 时，驾驶员出现疲劳状态；随着作业时间的增加，当达到 94min 时，驾驶员疲劳程度加深，并随着作业时间的再次增加，驾驶员的生理指标波动不大，说明驾驶员已经达到疲劳状态，若继续进行碾压作业，可能会导致出现安全生产事故。

(3) 本文通过对压路机驾驶员驾驶疲劳的分析，能有效降低交通土建行业安全生产责任事故发生的概率，并为后续研究其他特种作业操控员的疲劳问题，提供了基础性研究评价方法。

参考文献

- [1] 罗仕鉴. 基于生物学反应的驾驶舒适度研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [2] 徐冬青. 草原公路环境下连续驾驶时间对疲劳的影响研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [3] 秦伟, 朱守林, 秦艳, 等. 时频域分析指标与驾驶疲劳灰关联分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2014, 33(6): 142-145.
- [4] 王琳虹, 李世武, 高振海, 等. 基于粒子群优化与支持向量机的驾驶员疲劳等级判别[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014, 46(12): 102-107.
- [5] 祝荣欣, 王金武, 唐汉, 等. 基于心率变异性的联合收割机驾驶员疲劳分析与评价[J]. 农业工程学报, 2016, 32(01): 77-83.
- [6] 秦伟. 驾驶员生理指标对行车疲劳响应的敏感性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [7] 崔玉鹏, 洪峰. 表面肌电图在人体运动研究中的应用[J]. 首都体育学院学报, 2005, 17(01): 102-104.
- [8] Chen Xiaojing, Qi Chunhua, Zhu Shoulin. On study of

学术期刊

- driver' s shoulder fatigue in manual and automatic driving [J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2005, 15(2): 266-274.
- on grassland highway[J]. Advanced Materials Research, 2014, 3470 (1030): 2054 -2060.
- low level monotonous task performance during car driving [J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2005, 15(2): 266-274.
- [9]许士丽. 基于生理信号的驾驶疲劳判别方法研究[D]. 北京:北京工业大学, 2012.
- [10]Lal saroj K L,Craig A. A critical review of the psychophysiology of driver fatigue.Biological Psychology, 2001: 55(3):173—194
- [11]殷艳红. 基于脑电波与眨眼的驾驶员疲劳模拟实验研究 [D]. 上海:同济大学, 2008
- [12]赵永超. 基于表面肌电的拖拉机驾驶员作业疲劳试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2009
- [14]赵永超,孔德刚,刘立意. 基于表面肌电信号的拖拉机驾驶员颈部疲劳研究[J]. 农机化研究, 2010, (02):129—132.
- [15]邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉:华中理工大学出版社. 1986.

学位论文

专著