

基于脑电信号的草原公路驾驶疲劳研究

王玉化 朱守林* 戚春华 高明星

(内蒙古农业大学能源与交通工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要 草原公路单调枯燥的驾驶环境容易使驾驶员产生驾驶疲劳, 严重威胁到行车安全。通过草原二级公路实驾试验, 监测驾驶员的脑电信号, 探索真实驾驶环境下驾驶员驾驶时的 EEG 特征。结果表明: β 波和 $(\alpha + \theta)/\beta$ 这两项指标对驾驶员疲劳反应最为敏感, 可以把这两项指标作为表征草原公路驾驶员疲劳的脑电指标; 在草原公路 150 min 的驾驶过程中, 驾驶员出现较明显疲劳症状时间段是: 20 ~ 30 min, 80 ~ 90 min, 90 ~ 100 min, 100 ~ 110 min。其中, 在 90 ~ 110 min 这个时间段内疲劳趋势尤为明显。结果可为草原公路驾驶疲劳预警提供部分理论支撑。

关键词 草原公路 驾驶疲劳 疲劳时间 脑电信号

中图法分类号 U491.31; **文献标志码** B

草原公路一般具有途径村镇较少、交通流量低、平曲线半径大、长直线多、视距大和景观单一等特点。驾驶员在草原公路行车时受到的交通环境干扰小, 路域景观环境变化对驾驶员的刺激弱, 这种单调枯燥的驾驶环境使得驾驶员操作转换频率降低和注意力不集中, 导致交通事故的发生^[1,2]。目前驾驶疲劳已经成为引发交通伤亡事故的重要原因之一, 而对驾驶疲劳研究一个重要的发展方向是观察驾驶人的生理特征变化, 如脑电、眼电、心电、肌电等。国外 Saroj 等认为评价驾驶疲劳的众多人体生理指标中, EEG 是最适合作为疲劳评价的信号^[3]; Mark A 试图使用脑电信号功率记录模拟驾驶过程中驾驶员的表现, 结果表明脑电信号的变化与驾驶员注意力的变化一致^[4]; 国内房瑞雪等人采用驾驶模拟试验, 通过检测驾驶员的脑电信号, 研究驾驶员在疲劳状态下脑电信号的变化规律^[5,6]。总体而言, 近年来对于驾驶疲劳的研究取得了显著成果。然而, 此类研究一般采用驾驶模拟试验, 没有考虑模拟驾驶与实际驾驶的环境存在的差异性, 其采集数据与分析结果仍存在一些局限性。以草原二级公路实驾试验中驾驶员的脑电信号为研究对象, 探索真实驾驶环境下驾驶员驾驶疲劳时的 EEG 特征及驾驶疲劳在行车时间内的分布情况。为进一步深入研究简单景观环境下的驾驶疲劳提供了一种有效的研究方法, 其结果可为草原公路驾驶疲劳预警提供部

分理论支撑。

1 实验

1.1 实验设备与人员

试验选用国产本田思域轿车。驾驶员脑电数据采集使用美国 BIOPAC 公司生产的 MP150 多导生理记录仪及其专用的数据线和电极片采集记录, 通过与之配套的 AcqKnowledge 软件进行数据提取。该套设备和软件是目前国际上人机工程领域研究通用的, 能够保证实验数据的可靠性。

实验人员为健康状况良好的 6 名教师, 其自身及其直系亲属无神经病和心脏病史, 每人均具有法定的驾驶执照, 对试验路段的熟悉情况均为一般。在实验前驾驶员保证充足的睡眠, 24 h 内不得从事饮酒、吃药、喝茶和咖啡等对心脏有刺激性的活动; 实验前 1 h, 禁止抽烟和做剧烈运动。

1.2 实验流程

实验路段选择在内蒙古锡林浩特市境内的省道 S101 的 K278-K424 段。该路段由于其里程长、覆盖地域广, 景观单一, 属于典型的草原公路。

为保证实验环境的一致性, 实验在每天相同时间内进行。试验中, 关闭车载音频、视频、手机, 禁止交谈, 禁止摇动车窗和调节车载空调, 尽量保持车内的微环境相同, 以减少对驾驶员和实验采集系统的干扰。

正规试验前进行初探性试验, 检测测试仪器的有效性。在试验前让每位驾驶员熟悉实验设备, 以避免每位驾驶员对设备的不适应。为避免因限定驾驶员行车速度而造成的心理负担, 驾驶员根据道路与交通环境状况, 在道路限速和保证驾驶安全的条件下, 自由选择行车速度, 在指定路段分次行驶。试

2014 年 4 月 30 日收到 国家自然科学基金项目(51168036)资助
第一作者简介: 王玉化(1986—), 男, 河南省宝丰县人, 硕士研究生。
研究方向: 公路交通人机环境。E-mail: kushusheng1995@163.com。

* 通信作者简介: 朱守林, 教授, 博士生导师。E-mail: zhushoulin@126.com。

验中除对驾驶过程中车速、脑电数据测定外,还记录了途中经过研究路段一些特殊位置(起、终点、里程碑点)以及特殊交通状况(超车、会车)的时刻。

1.3 数据采集

本实验采用 BIOPACMP150 多导生理仪作为测量和记录生理指标的仪器,采集脑电信号,信号采样率为 500 Hz^[5]。采用单级导联法测量实验者的脑电信号,参考电极选用双耳垂接法,测试电极置于额头^[7]。脑电信号采集使用 EEG100C 放大器,以及 LEAD110 屏蔽导线 2 根、LEAD100 非屏蔽导线 1 根和一次性贴片电极 3 个。实验时,放大器增益设置在 5 000,高通滤波器设置在 0.5 Hz,低通滤波器设置在 35 Hz ON。为测量和记录生理指标的仪器,采集脑电信号,对采集到的数据进行预处理,分析和剔除伪迹是在 MP150 生理记录仪配套软件 AcqKnowledge 离线分析下完成的,去除抖动比较大的错误记录段,接着去除眼电、肌肉和出汗等伪迹。

2 脑电指标的选取

脑电信号蕴含着丰富的大脑活动信息,通过脑电图深入地了解大脑的功能状态及活动规律,从而获得所需信息。进一步对脑电信号的分析和处理,有效地从脑电信号中提取出可靠的特征参量来反映脑的功能状态^[8]。在基于脑电信号的疲劳驾驶的研究中,最常用的频带为 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波^[9]。一般与脑电相关的指标都与这 4 个频带的绝对能量或能量比值有关。

相关研究表明,驾驶疲劳时脑电信号的变化主要表现在脑电 α 波(7.5 ~ 12.5 Hz)中 10 ~ 12.5 Hz 的脑电显著增加,而 β 波(12.5 ~ 35 Hz)中 18 ~ 22 Hz 的脑电都相对减少^[10]。殷艳红研究表明,随驾驶疲劳的加深,EEG 的三个比率指标 $(\alpha + \theta)/\beta$, θ/β , α/β 呈现明显的上升趋势^[11]。吴绍斌等人利用生理检测仪采集驾驶员的脑电波,对比分析脑电信号不同频带信号功率谱值和驾驶员的主观疲劳评测之间的关系,发现主观疲劳评测与脑电信号中功率谱值的变化相对应,脑电功率谱的比值 $(\alpha + \theta)/\beta$ 越大,疲劳等级越高^[7]。

由于本实验是在真实驾驶环境下进行,驾驶员疲劳程度没有达到瞌睡时的深度疲劳状态,而脑电信号出现 δ 波是在成年人处于深度疲劳,出现瞌睡时,此时已不适宜驾车,所以不对 δ 波变化进行分析^[12]。

在参考相关文献的基础上,结合本试验的实际情况,选取 θ 、 α 、 β 波以及它们的组合指标 $(\alpha + \theta)/\beta$, θ/β , α/β 为脑电评价指标。

3 实验结果及分析

将经过预处理后 6 位驾驶员所有脑电数据按照驾驶时间每隔 10 min 截取一段^[13],一共分为 15 个区段,计算 θ (4 ~ 8 Hz)、 α (8 ~ 14 Hz)、 β (14 ~ 30 Hz)的平均功率及各个脑电波的比率值 $(\alpha + \theta)/\beta$, θ/β , α/β 。然后对数据进行整理分析,通过研究脑电信号及其组合指标与驾驶疲劳之间的关系,探索真实驾驶环境下驾驶员驾驶时的 EEG 特征。

3.1 脑电指标随时间的变化规律

通过软件计算得出的 6 位驾驶员的脑电信号 θ 、 α 、 β 每 10 min 的平均功率,将脑电信号 θ 、 α 、 β 和 α/β 、 $(\alpha + \theta)/\beta$ 、 θ/β 随时间的变化趋势绘制如图 1 ~ 图 6 所示。

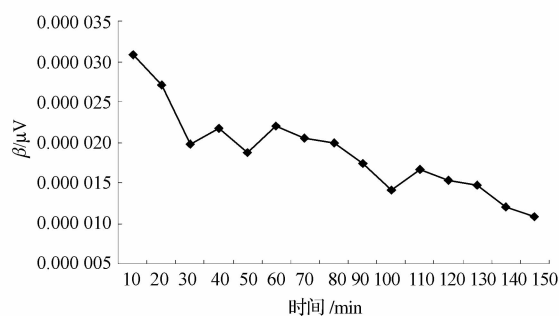


图 1 β 变化规律

Fig. 1 Change law of β

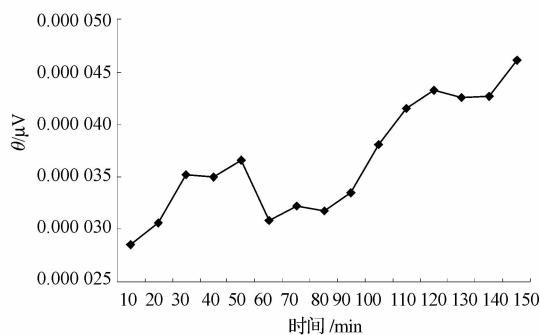


图 2 θ 变化规律

Fig. 2 Change law of θ

相关研究表明,大脑皮层处于兴奋状态时的主要波形是 α 和 β 波, δ 和 θ 慢波是大脑皮层处于抑制状态时电活动的主要表现^[14]。从图中可以发现,驾驶员开车的前 20 min 内各脑电指标的平均功率变化较小,这段时间可以认为驾驶员此时大脑思维活跃,还没有出现疲劳症状。在 20 ~ 30 min 内, θ 波的平均功率增强比较明显,同时 α 和 β 波的平均功率减弱的较为突出,说明驾驶员此时已出现疲劳的症状。总体而言,随着驾驶时间的延长, α 和 β 波呈现下降趋势,而 θ 波和 α/β 、 $(\alpha + \theta)/\beta$ 、 θ/β 等指标

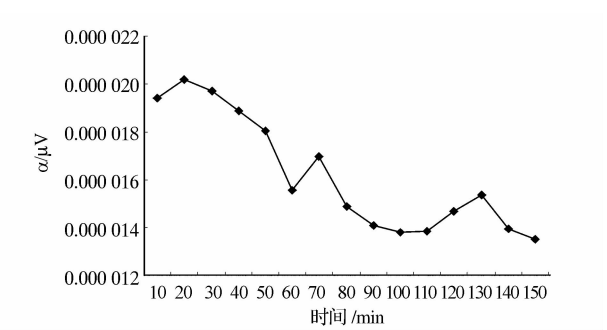


图3 α变化规律
Fig. 3 Change law of α

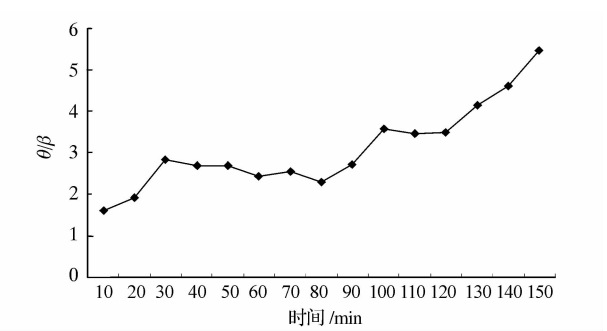


图4 θ/β变化规律
Fig. 4 Change law of θ/β

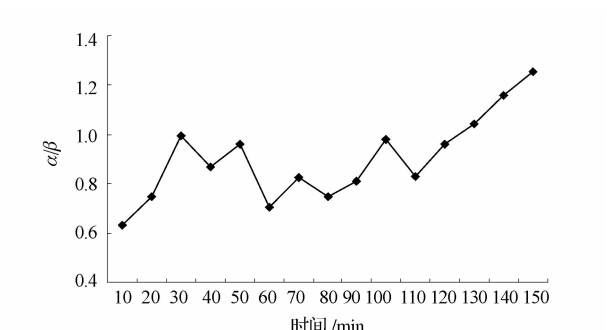


图5 α/β变化规律
Fig. 5 Change law of α/β

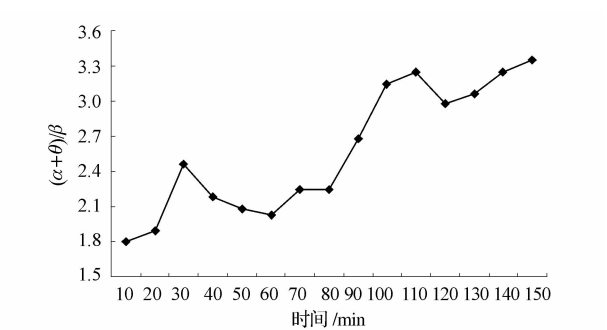


图6 (α + θ)/β变化规律
Fig. 6 Change law of (α + θ)/β

数据呈上升趋势,这表明驾驶员的大脑受抑制程度逐渐增强,驾驶员逐渐进入疲劳的状态。

利用 SPSS17.0 软件,采用 Pearson correlation 计

算了各脑电指标与驾驶时间的相关性,见表 1。

表 1 驾驶员各脑电指标和时间的相关性

Table 1 Correlation between EEG and time

	α	β	θ	θ/β	(α+θ)/β	α/β
pearson correlation	-0.893 **	-0.912 **	0.858 **	0.817 **	0.909 **	0.706 **
Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003

**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

结果表明,α 和 β 波与驾驶时间有显著地负相关,而 θ 波和 α/β、(α + θ)/β、θ/β 等指标与驾驶时间成正相关。其中 β 波以及(α + θ)/β 与驾驶时间的相关系数很高,说明在草原公路行车时,这两项指标对驾驶员疲劳反应最为敏感。在今后的研究中,可以把这两项指标作为表征草原公路驾驶员疲劳的脑电指标。

3.2 草原公路驾驶疲劳高发时间段

对驾驶员脑电指标中的 β、(α + θ)/β 指标做单样本 K-S 检验,结果表明驾驶员 β(N = 15, Kolmogorov-Smirnov Z = 0.540, sig. = 0.932 > 0.05) 和 (α + θ)/β(N = 15, Kolmogorov-Smirnov Z = 0.744, sig. = 0.638 > 0.05) 均为正态分布。

将 150 min 的实验数据按每 10 min 分为一组,共分 15 段,依次标记为(t₁, t₂, t₃, ..., t₁₅)。由于驾驶员驾驶过程中第一个 10 min 的脑电信号趋于稳定状态,因此将该时段数据 t₁ 作为参考值,对驾驶员驾驶过程中各个时段与该时段的 β、(α + θ)/β 指标采用配对 t 检验,分析其在草原公路驾驶环境下随着驾驶时间的变化以及哪个时期的指标的变化更为显著,从而确定草原公路驾驶疲劳高发时间段。

表 2 β 不同时期配对 t 检验表

Table 2 T test diagrams of β in different periods

配对样本	t 值	P 值	显著性	配对样本	t 值	P 值	显著性
t ₁ - t ₂	1.993	0.103		t ₁ - t ₉	2.693	0.043	*
t ₁ - t ₃	2.628	0.047	*	t ₁ - t ₁₀	4.276	0.008	**
t ₁ - t ₄	2.435	0.059		t ₁ - t ₁₁	4.177	0.009	**
t ₁ - t ₅	2.002	0.102		t ₁ - t ₁₂	2.503	0.054	
t ₁ - t ₆	1.828	0.127		t ₁ - t ₁₃	2.570	0.050	
t ₁ - t ₇	2.084	0.092		t ₁ - t ₁₄	2.500	0.055	
t ₁ - t ₈	2.424	0.060		t ₁ - t ₁₅	2.536	0.052	

* 表示差异显著 (sig < 0.05), ** 表示差异非常显著 (sig < 0.01)。

从表中可以看出,以 β 和 (α + θ)/β 作为评价疲劳指标时,在草原公路 150 min 的驾驶过程中,驾驶疲劳的高发时间段有:20 ~ 30 min, 80 ~ 90 min, 90 ~ 100 min, 100 ~ 110 min。其中,在 90 ~ 110 min

这个时间段内两个指标变化更为显著。

表3 $(\alpha + \theta)/\beta$ 不同时期配对 t 检验表
Table 3 T test diagrams of $(\alpha + \theta)/\beta$ in different periods

配对 样本	t 值	P 值	显著性	配对 样本	t 值	P 值	显著性
$t_1 - t_2$	-1.745	0.133		$t_1 - t_9$	-2.716	0.041	*
$t_1 - t_3$	-2.628	0.047	*	$t_1 - t_{10}$	-4.305	0.008	**
$t_1 - t_4$	-1.430	0.212		$t_1 - t_{11}$	-4.927	0.004	**
$t_1 - t_5$	-1.325	0.262		$t_1 - t_{12}$	-1.703	0.142	
$t_1 - t_6$	-1.041	0.346		$t_1 - t_{13}$	-2.125	0.070	
$t_1 - t_7$	-1.859	0.123		$t_1 - t_{14}$	-2.500	0.054	
$t_1 - t_8$	-1.968	0.106		$t_1 - t_{15}$	-2.636	0.051	

* 表示差异显著 ($\text{sig} < 0.05$), ** 表示差异非常显著 ($\text{sig} < 0.01$)。

由于本试验路段为典型的草原二级公路,其交通流量较小,路域景观环境单一,而且本试验要求禁止交谈和听音乐,驾驶员在行车时的操作转换频率低,所受到的环境刺激少,这种单调和枯燥的驾驶环境使得驾驶员在行驶 20 ~ 30 min 时产生一定的心理疲劳。

随着驾驶时间的延长,驾驶员大脑思维活动的活跃度降低,脑电信号中 θ 波的能量逐渐增强,而 α 波和 β 波能量逐渐减弱。这表明驾驶员的大脑受抑制程度逐渐增强,在 90 ~ 110 min 时间段内进入了疲劳的状态。

4 结论

通过分析草原公路驾驶过程中,驾驶员的脑电信号随时间的变化规律可以得到以下几个结论。

(1) 本试验研讨了各脑电指标随驾驶员驾驶时间增加时的变化规律,确定了在草原公路行车时, β 波和 $(\alpha + \theta)/\beta$ 这两项指标对驾驶员疲劳反应最为敏感,在今后的研究中,可以把这两项指标作为表征草原公路驾驶员疲劳的脑电指标。

(2) 在草原公路 150 min 的驾驶过程中,驾驶员出现较明显疲劳症状时间段是:20 ~ 30 min, 80 ~ 90 min, 90 ~ 100 min, 100 ~ 110 min。其中,在 90 ~ 110 min 这个时间段内疲劳趋势尤为明显。

参 考 文 献

- 郝晓红. 基于驾驶员生理心理反应的草原公路线形研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010
Hao X H. Research the alignment of grassland road based on driver's physiological and psychological reflection. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010
- 徐冬青. 草原公路环境下连续驾驶时间对疲劳的影响研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011
Xu D Q. Research on the longest straight line length of prairie high-

- way based on driver's psychological and physiological reaction. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011
- Lal saroj K L, Craig A. A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, 2001;55(3):173—194
- Sehier M A. Changes in EEG alpha power during simulated driving: a demonstration international. *Journal of Psychophysiology*, 2000;37(2):155—162
- 房瑞雪, 赵晓华, 荣建, 等. 基于脑电信号的驾驶疲劳研究. 公路交通科技, 2009;S1:124—126, 141
Fang R X, Zhao X H, Rong J, et al. Study on driving fatigue based on EEG signals. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2009;S1:124—126, 141
- 许士丽. 基于生理信号的驾驶疲劳判别方法研究. 北京: 北京工业大学, 2012
Xu S L. The Studay on the discriminating method of driving fatigue based on physiological signal. Beijing: Beijing University of Technology, 2012
- 吴绍斌, 高利, 王刘安. 基于脑电信号的驾驶疲劳检测研究. 北京理工大学学报, 2009;12:1072—1075
Wu S B, Gao L, Wang L A. Detecting driving fatigue based on electroencephalogram. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2009;12:1072—1075
- 杨仁桓. 脑电信号的数据采集与分析研究. 桂林: 广西师范大学, 2007
Yang R H. EEG signals acquiring and processing & analysis. Guilin: Guangxi Normal University, 2007
- 陈炎, 胡江碧, 荣建, 等. 脑电技术在驾驶行为分析中的应用. 道路交通与安全, 2006;09:15—17
Chen Y, Hu J B, Rong J, et al. EEG's appliance in analyzing driver behavior. *Road Traffic & Safety*, 2006;09:15—17
- 彭军强, 吴平东, 殷罡. 疲劳驾驶的脑电特性探索. 北京理工大学学报, 2007;07:585—589
Peng J Q, Wu P D, Yin G. Exploring the characters of electroencephalogram for fatigued drivers. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2007;07:585—589
- 殷艳红. 基于脑电波与眨眼的驾驶员疲劳模拟实验研究. 上海: 同济大学, 2008
Yin Y H. Research on driver's fatigue state based on analyzing EEG eye blink in stimulated driving environment. Shanghai: Tongji University, 2008
- 王福旺, 王宏. 长途客车驾驶员疲劳状态脑电特征分析. 仪器仪表学报, 2013;05:1146—1152
Wang F W, Wang H. EEG characteristic analysis of coach bus drivers in fatigue state. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2013;05:1146—1152
- 李君羨, 潘晓东. 基于脑电分析的连续驾驶疲劳高发时间判断. 交通科学与工程, 2012;04:72—79
Li J X, Pan X D. High-risk period of fatigue in long-time driving based on EEG. *Journal of Transport Science and Engineering*, 2012;04:72—79
- 王利, 艾玲梅, 王四万, 等. 驾驶疲劳脑电信号节律的特征分析. 生物医学工程学杂志, 2012;04:629—633
Wang L, Ai L M, Wang S W, et al. Analysis of rhythm features of EEG for driving fatigue. *Journal of Biomedical Engineering*, 2012;04:629—633

Research on the EEG of Driving Fatigue on Prairie Highway

WANG Yu-hua, ZHU Shou-lin^{*}, QI Chun-hua, GAO Ming-xing

(College of Energy and Traffic Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, P. R. China)

[**Abstract**] Driver fatigue easily due to the boring driving conditions on prairie highway, which threaten the traffic safety seriously. This article monitors drivers' electroencephalogram (EEG) during real driving test, and explores the driver fatigue characteristics of EEG in real driving conditions. The results show that: these two indicators β waves and $(\alpha + \theta)/\beta$ are the most sensitive response to the driver fatigue, and could evaluate the driving fatigue on prairie highway as electrical indicators; During 150 mins' driving, the peak period of the driving fatigue time are: 20 ~ 30 min, 80 ~ 90 min, 90 ~ 100 min, 100 ~ 110 min, among them, fatigue trend is especially striking in 90 ~ 110 min. All above could provide some theory support for driving fatigue warning on prairie highway.

[**Key words**] prairie highway driving fatigue fatigue time EEG signal

(上接第 285 页)

Simulation and Characteristics Analysis of the Automotive 48 V Power System Based on ADVISOR

ZHOU Xia-wei, ZHU Chang-ji, QU Da-wei^{*}

(State Key Laboratory of Automobile Simulation, Jilin University, Changchun 130000, P. R. China)

[**Abstract**] With the rapid development of automobile new technology and the extensive application of new electronic components and semiconductors, automobile electric energy consumption continues to increase, so that the traditional 12 V power system can not output so much power. The automobile 48 V power bus architecture is introduced. The modeling and simulation of the automobile 48 V power system is based on ADVISOR. The simulation results are analysed, and the traditional automobile with the same configurations is compared. The results show that the automobile 48 V power system can reduce fuel consumption and emission.

[**Key words**] ADVISOR auto 48 V architecture characteristics analysis