

基于车速的公路连续长坡路段纵断面安全性研究

张 娟, 朱文强, 陈 君, 马 兰

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安, 710055)

摘要: 为研究公路连续长坡路段纵断面与运行车速之间的关系, 选择 9 名驾驶人进行实际道路实车试验. 用动态 GPS 采集试验车辆的实时车速数据, 分别得到上、下坡方向的 85% 车速, 速度的表征参数选用速度增长率 (车速的均值相对于 85% 车速的增长率, 用表示), 依次研究公路连续长坡路段纵断面要素与速度增长率之间的关系. 研究结果表明: 驾驶人对下坡方向坡度的敏感性较弱, 坡度对车速的影响较小; 速度增长率和缓坡坡长存在三次函数关系, 但上坡方向的速度增长率随缓坡坡长的增长而波动较大, 下坡方向起伏相对平缓; 速度增长率和陡坡坡长亦存在三次函数关系, 上坡方向坡长在 400 m 附近时, 对安全行车较有利; 下坡方向坡长在 550 m 附近时, 对安全行车较有利; 较利于公路连续长坡路段安全行车的竖曲线半径取值范围为 900~950 m.

关键词: 公路连续长坡路段; 坡度; 坡长; 竖曲线半径; 速度增长率

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2016)04-0529-06

Safety research of the longitudinal alignment of long and steep slope based on the velocity of vehicle

ZHANG Juan, ZHU Wenqiang, CHEN Jun, MA Lan

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to research the relationship between longitudinal alignment with the operating velocity in accordance with uphill direction and downhill direction, nine drivers were selected randomly as pilots of the actual road experiment. GPS was used to collect the vehicle's real time velocity. According to the cumulative frequency distribution curve of velocity, 85% velocity of uphill direction and downhill direction could be calculated. The growth rate of all drivers' 85% operating velocity relative to the 85% velocity was selected as the velocity parameters. The research results are as follows: With the downhill direction, driver's sensitivity to slope was weak, the slope has little influence on velocity. Velocity growth rate and the length of gentle slope has three curve relation, Velocity growth rate has a great fluctuation with the growth of slope length with the uphill direction, and with the downhill direction, it has gentle fluctuation. Velocity growth rate and the length of steep slope also has a three curve relation. While 400 meters length of slope is more favorable for driving safety with uphill direction, 550 meters length of slope is more conducive to driving safety with downhill direction. Vertical curve radius in 900-950 meters is more beneficial to driving safety.

Key words: long and steep slope; slope; slope length; longitudinal radius; speed increase rate

如今, 公路连续长坡路段是指通常在线形设计上易于导致车辆长时间空档滑行或刹车距离长的陡坡路段, 而对公路连续长坡路段的定义, 国内的公路相关标准规范只是模糊规定“连续 3 km, 平均坡度不能大于 5.5%”, 在实际道路线形设计中, 很容易满足规范要求, 但公路竣工后通车运营过程中事故频发^[1-3]. 诸多研究资料表明, 公路连续长坡路段相对于其他路段具有交通事故频发、重大及恶性交通事故多等特点^[4-5]. 这与连续长坡路段的坡陡坡长、线形指标差等因素不无关系. 坡长、坡度和竖曲线是道路纵断面线形的重

要组成, 合理的坡长、坡度和竖曲线是确保车辆平稳舒适运行、视距良好和行车安全等的重要保障. 相关文献从驾驶人心理生理、车辆制动温升等角度针对下坡方向对公路纵坡及坡长进行了研究分析^[6-12]. 但是连续长坡路段因为长下坡和长上坡问题的存在, 在下坡方向和上坡方向车速都会因为坡度及坡长问题而受到影响. 《公路项目安全性评价规范》JTGB05-2015 提到影响交通安全的一个重要因素是速度, 并规定相邻路段之间的运行速度差值应不大于 10 km/h^[13]. 本文通过实际道路实车试验, 研究公路连续长坡路段纵断面线

形要素与车速的关系,提出比较有利于行车安全的纵断面线形要素设计建议。

1 试验设计与运行车速确定

1.1 试验设计

本研究进行的试验为实车试验,试验前需要对试验实施进行完备细致的试验设计。

(1) 试验路段:试验路段选择陕西某二级公路中穿越秦岭山区的一段近 10 km 公路连续长坡路

段,该路段被归类为事故多发路段。就线形指标而言,既有偏高的设计指标,也有接近最小值的设计指标,线形指标上非常典型^[14]。

(2) 试验时间段:对试验路段 3a 的交通事故数据按 24h 时变分布进行绘制(见图 1)。由图 1 可知,交通事故在 14~18 h 时段事故次数的分布变化相对稳定,说明此时段行车受到其它客观因素的影响较小,因此,试验选择在 14-18 h 时间段的晴朗天气进行^[14]。

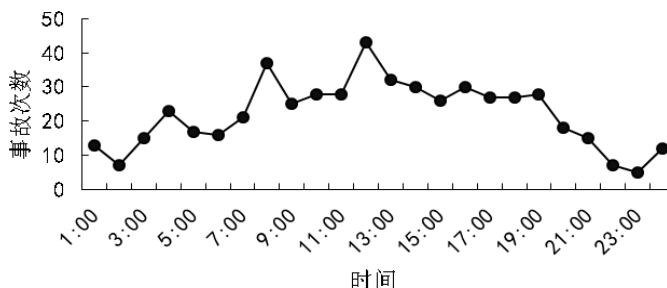


图 1 事故次数的时变分布

Fig.1 The time-varying distribution of the number of accident

(3) 被试驾驶人:随机选择来自不同行业、职业、驾驶经验、年龄和驾龄的 9 名男性驾驶人,准驾车型为 B 及 B 以上,平均驾龄 44.56 a,平均驾龄 21.33 a,矫正视力 5.0 以上。

(4) 试验设备的准备和调试:根据研究的目的,本研究需要的试验设备主要有 GPS、试验车辆、多导生理记录仪及其他附属设备。GPS 主要有两个使用目的:一是通过对动态 GPS 采集的实时速度数据可以得到试验研究所需要的速度数据;二是为避免试验中的超车、会车、堵车等客观因素及地点对试验数据产生影响,利用动态 GPS 的打点功能可以将这些特殊点在时间上进行标注,以便数据处理时对这些数据的剔除。多导生理记录仪主要用来采集被试驾驶人的心率指标数据。选用福特 JX6541B-H 为试验车辆,实验过程中要求不更换车辆,确保试验车辆的一致性,减少试验误差。试验中还配备了秒表,一方面用来标注特殊事件的时间,另一方面用来和 GPS 打点的时间进行比较核对,为试验结束后的数据处理提供佐证依据。

1.2 运行车速确定

运行车速连续性是能反映道路线形设计质量的重要指标,是确保车辆安全行驶的重要保障,公路运行速度连续性可以用运行车速分布模型来确定^[15]。车速变化在 15%~85%是相对稳定的,

所以通常在管理上用 85%车速作为最高车速限制,作为车辆的运行速度,车辆运行过程中超出该运行速度就会增加交通事故的发生概率^[13,15-16]。

由于坡差的存在,在相同路段上、下坡的车速会存在差异,所以将速度分为上坡和下坡分别进行研究。将所检测到的车速数据绘制成累计频率曲线并进行分析,获得下坡方向 85%速度是 60 km/h,上坡方向 85%速度是 57 km/h,整体的 85%速度是 59 km/h。在驾驶过程中,驾驶人的感知、判断及操作会随道路环境的变化而发生变化,从而导致车速随时变化。鉴于驾驶人之间会存在个体差异,为减小误差,速度参数选用速度增长率(被试驾驶人运行速度的均值相对于 85%运行速度的增长率,用 ΔI 表示)。按照运行速度的含义,当速度增长率在零左右时,车辆行驶更平稳安全。

2 速度增长率与坡度和坡差之间的关系研究

道路的坡度对车辆的爬坡能力有很大的影响,从而会影响到车辆上、下坡的行驶速度。坡度是如何对车速产生影响的?上下坡方向的车辆速度受到坡度的影响是否存在一致性?为此采用 SPSS 软件对上、下坡方向的速度增长率与坡度之间的关系依次进行相关性分析,结果表明速度与增长率坡度之间不具有显著的相关关系,也就是说对

于公路连续长坡路段而言,影响速度的关键性因素并非坡度.这与相关文献事故数据的研究以及连续长坡路段事故频发的事实是不相符的.通过进一步分析发现,相邻路段之间的坡度差(坡差)与速度增长率之间存在相关性,上坡方向速度增长率与坡差之间关系的拟合曲线见图2.

上坡方向速度增长率与坡差 ΔI 之间关系的拟合方程:

$$\Delta V = -9.146 + 2.408\Delta I + 0.443\Delta I^2 \quad (1)$$

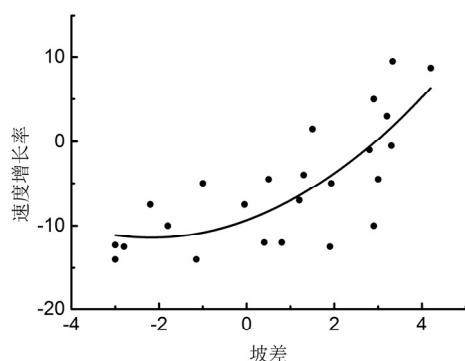


图2 上坡方向速度增长率与坡差 ΔI 之间关系的拟合曲线

Fig.2 Curve fitting of speed increase rate and ΔI with uphill direction

通过对图2和式1的分析发现,行驶车辆的速度增长率因坡差的增加而增大,这与驾驶人的驾驶习惯基本吻合,上坡路段行车时,为克服坡差,驾驶人会不断踩踏油门而提高车速,从驾驶人的视觉特征角度出发,由于在上坡方向行驶,驾驶人认为需要提高车速,因此上坡方向的速度增长率会因坡差的逐渐增加而增大.当坡差在2.5~3范围内时,车辆以接近运行车速的速度行驶,对行车的安全较有利.但按照对公路连续长坡路段的设计习惯,通常选用的设计模式为“陡坡+缓坡+陡坡”,假如缓坡与两个陡坡的差值均偏大,则易于造成速度增长率差偏大,致使相邻路段之间的速度差值偏大,难以满足“相邻路段之间的运行速度差应不大于10 km/h”.

对下坡方向速度增长率与坡差关系的数据采用相关性分析,结果表明:坡差与速度增长率亦不具有显著性的相关关系,综合分析下坡方向速度增长率与坡度的关系,发现在长坡路段下坡方向坡度对速度的影响并不显著,驾驶人对坡度的敏感程度较弱.驾驶人不能及时采取减速等有效措施,而下坡方向车速本身就比较高,这样会导致

实际车速和驾驶人估计的车速差异比较大,存在严重的事故隐患.

3 速度增长率与坡长之间的关系研究

公路长坡路段的总长度对车辆的安全运行有较大的影响,特别是坡长越长,纵坡越陡时,产生的影响越大.长坡路段坡长与速度之间的关系又是怎样的?公路连续长坡路段设计通常采用“陡坡+缓坡+陡坡”的设计模式,按照试验路段的坡度实际情况,将坡度划分为陡坡和缓坡,并将陡坡和缓坡作为限制坡度条件,分析研究速度增长率与缓坡和陡坡之间的关系.

3.1 速度增长率与缓坡坡长之间的关系

上、下坡方向速度增长率与陡坡坡长之间关系的拟合曲线和方程依次见图(3)~(4)和式(2)~(3).

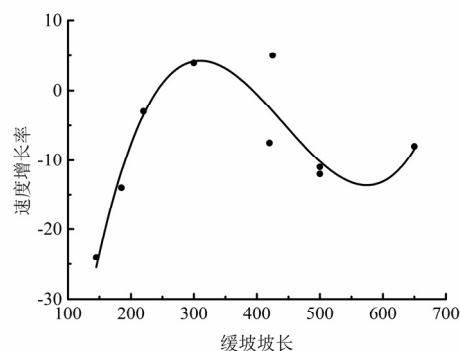


图3 上坡方向速度增长率与缓坡坡长之间关系的拟合曲线

Fig.3 Curve fitting of speed increase rate the length of gentle slope with uphill direction

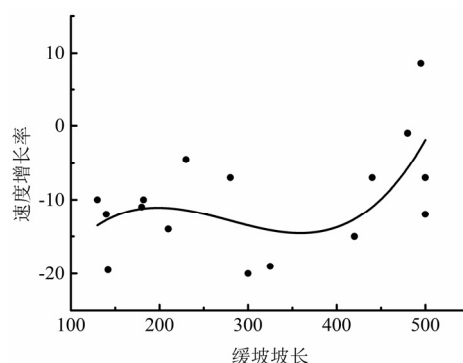


图4 下坡方向速度增长率与缓坡坡长之间关系的拟合曲线

Fig.4 Curve fitting of speed increase rate with the length of gentle slope at downhill direction

上坡方向速度增长率与缓坡坡长之间关系的拟合方程:

$$\Delta V = -116.362 + 0.932L_p - 0.002L_p^2 - 1.705E - 6L_p^3 \quad (2)$$

下坡方向速度增长率与缓坡坡长之间关系的拟合方程:

$$\Delta V = -40.149 + 0.381L_p - 0.002L_p^2 + 1.915L_p^3 \quad (3)$$

对以上拟合曲线和方程进行分析,可得到结果如下:公路连续长坡路段上、下坡方向的速度增长率与缓坡坡长之间的关系存在三次函数关系.当上坡方向缓坡坡长 $L_p < 300$ m 或 > 600 m 时,随坡长的不断增大,速度增长率也随之增大;当坡长 L_p 在 300 ~ 600 m 范围内时,随坡长的增大,速度增长率反而减小;当坡长 L_p 在 250 m ~ 400 m 范围内及 700 m 附近时,速度增长率在零左右,行车的安全性较好.下坡方向的速度增长率随缓坡坡长的不断增大而呈现相对平缓的趋势,但总体上逐渐递增,即随坡长的逐渐增长,速度会越来越大于运行车速,从而不利于行车安全.

3.2 速度增长率与陡坡坡长之间的关系

公路连续长坡路段上、下坡方向的速度增长率与陡坡坡长之间关系的拟合曲线和方程依次见图 5、6 和式 4、5.

上坡方向的速度增长率与陡坡坡长之间关系的拟合方程:

$$\Delta V = -27.058 + 0.141L_p - 3.16E - 4L_p^2 + 3.272E - 7L_p^3 \quad (4)$$

下坡方向的速度增长率与陡坡坡长之间关系的拟合方程:

$$\Delta V = 7.516 - 0.106L_p + 2.296E - 4L_p^2 - 1.054E - 7L_p^3 \quad (5)$$

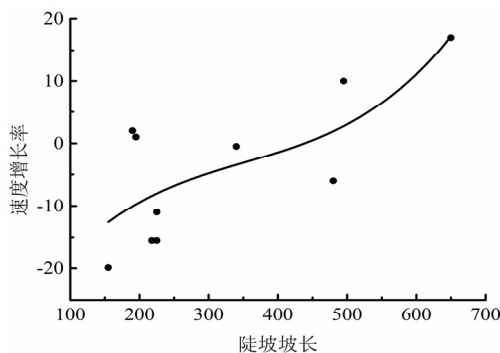


图5 上坡方向的速度增长率与陡坡坡长之间关系的拟合曲线

Fig.5 Curve fitting of speed increase rate with the length of steep slope with uphill direction

通过分析以上拟合方程和曲线,得到结果如下:公路连续长坡路段上、下坡方向的速度增长率和陡坡坡长存在三次函数关系.随陡坡坡长的不断增大,上坡方向的速度增长率逐渐增加,当坡长

接近于 400 m 时,速度增长率临近零,较利于行车安全;下坡方向坡长 L_p 在 550 m 附近时,行驶车速

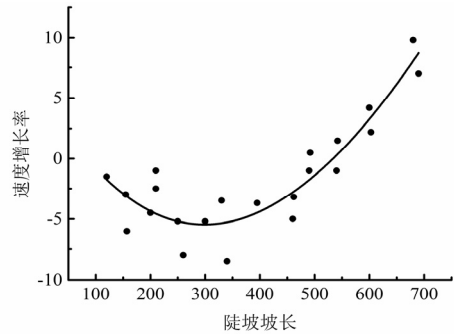


图6 下坡方向的速度增长率与陡坡坡长之间关系的拟合曲线

Fig.6 Curve fitting of speed increase rate with the length of steep slope with downhill direction

临近于运行车速,较利于行车安全.

4 速度增长率与竖曲线半径之间的关系研究

由于坡长和坡度的原因,公路长坡路段相邻坡间的夹角偏小,致使大部分竖曲线的半径取值偏小,一般都小于 1 km,这会对行驶车辆的安全性造成某些不利的影响.利用 SPSS 软件中的曲线拟合依次拟合上、下坡方向的速度增长率与竖曲线半径的数据并得到相应的拟合方程,拟合曲线依次见图 7、8,拟合方程依次见式 6、7.

上坡方向的速度增长率与竖曲线半径之间的关系拟合方程:

$$\Delta V = 327.847 - 0.856R_s + 0.000\ 539R_s^2 \quad (6)$$

下坡方向的速度增长率与竖曲线半径之间的关系拟合方程:

$$\Delta V = 345.41 - 0.926R_s + 0.000\ 602R_s^2 \quad (7)$$

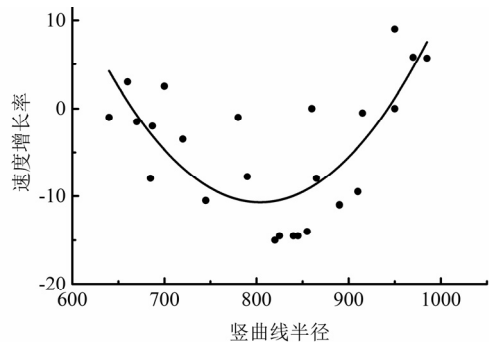


图7 上坡方向的速度增长率与竖曲线半径之间关系的拟合曲线

Fig.7 Curve fitting of speed increase rate and longitudinal radius with uphill direction

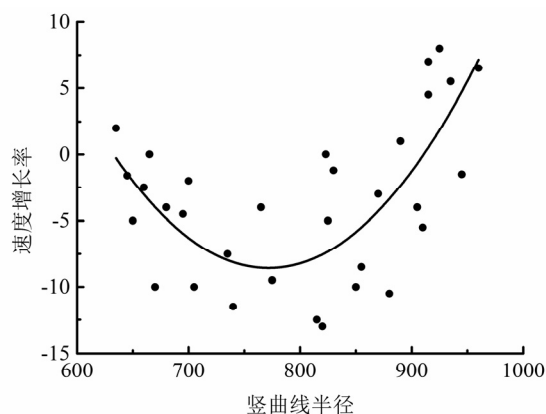


图8 下坡方向的速度增长率与竖曲线半径之间关系的拟合曲线

Fig.8 Curve fitting of speed increase rate and longitudinal radius with hill direction

分析研究上、下坡方向速度增长率与竖曲线半径的拟合方程和曲线得到结论如下:竖曲线半径约为 650 m 和 950 m 时,上坡方向的速度增长率临近于零;竖曲线半径约为 650 m 和 900 m 时,下坡方向的行驶车速临近运行速度。从安全性角度出发,综合考虑上、下坡方向竖曲线半径与速度增长率之间的关系和视距等因素,公路连续长坡路段较有利于安全行车的竖曲线半径取值为 900~950 m。

5 结语

(1)在公路长坡路段下坡方向行车时,驾驶人对坡度的敏感性较弱,坡度对车速的影响较小;而公路连续长坡路段上坡方向选用“陡坡+缓坡+陡坡”的设计模式存在事故隐患。

(2)公路连续长坡路段上、下坡方向的速度增长率和缓坡坡长存在三次函数关系。速度增长率随缓坡坡长的不断增大而起伏变化较大,坡长在 250~400 m 范围内及 700 m 附近时,对安全行车比较有利;下坡方向的速度增长率随缓坡坡长的逐渐增加而呈现相对平缓的递增趋势。

(3)公路连续长坡路段上、下坡方向的速度增长率和陡坡坡长存在三次函数关系。陡坡路段的速度增长率随坡长的不断增大而增长,当坡长在 400 m 附近时,对安全行车较有利;下坡方向坡长在 550 m 附近时,对安全行车较有利。

(4)较利于公路连续长坡路段安全行车的竖曲线半径取值范围为 900~950 m。

(5)本研究所得结论依托所研究道路的实车试验,由于道路样本及驾驶人样本量的局限,依据

研究过程及我国道路的设计规范,本论文研究成果仅适用于山区二级公路。

参考文献 References

- [1] 长安大学. 连续长大下坡路段安全保障技术研究[R]. 西安:长安大学, 2007.
Chang'an University. Research on safety enhancement techniques of continuous and long steep downgrade section [R]. Xi'an: Chang'an University, 2007.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 公路工程技术标准: JTG B01-2014[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
Industry standard of PRC. Technical standards of highway engineering: JTG B01-2014[S]. Beijing: China Communications Press, 2014.
- [3] 李都厚. 基于公路长下坡车辆制动性能的事故预防研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
LI Duhou. Research on accident prevention for the continuous long steep downgrade section based on vehicle braking performance [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [4] 张娟. 基于驾驶员因素的公路连续长坡路段线形研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
ZHANG Juan. Continuous Long Slope Road Alignment Research Based on Driver's Factor[D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [5] 袁伟, 付锐, 郭应时等. 考虑坡长因素的纵坡坡度对交通事故的影响分析[J]. 公路交通科技, 2008, 25(5): 130-135.
YUAN Wei, FU Rui, GUO Yingshi, et al. Influences of longitudinal gradient on traffic accident rate considering length of downgrade[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(5): 130-135.
- [6] 王书灵. 基于驾驶员心理反应的山区双车道公路极限坡度坡长研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2005.
WANG Shuling. Research of limited slope grade and length of rural road based on driver's psychological and physiological reflection[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2005.
- [7] 周荣贵, 王立江, 孙家凤. 公路纵坡坡度和坡长限制指标的确定[J]. 公路交通科技, 2004, 21(7): 1-4.
ZHOU Ronggui, WANG Lijiang, SUN Jiafeng. The study of highway gradient and grade length limit[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(7): 1-4.
- [8] 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. Study on the key parameter of two-lane highway in mountain area based on driver's [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2006.
- [9] 闫莹. 公路长大下坡路段线形指标对驾驶员心理生理影响的研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
YAN Ying. Research on alignment of long and steep slope impact on driver's psychological and physiological [D]. Xi'an: Chang'an University, 2006.
- [10] 田冬军, 高文彬, 彭纪宝. 山区公路纵坡度合理值的实验

研究一从驾驶员的生理反应角度分析[J].重庆交通大学学报.2008.27(3):429-432.

TIAN Dongjun,GAO Wenbin,PENG Jibao. Research on experiments of the reasonable longitudinal gradient at alignments of mountain highways[J] Journal of Chongqing university :nature science,2008.27(3):429-432

- [11] 赵亮, 基于驾驶员心理生理反应的双车道公路线形研究[D].北京: 北京工业大学, 2008.

ZHAO Liang. Study on two lane highway alignment based on driver's psychological and physical reactions [D].Beijing: Beijing University of Technology.2008.

- [12] 韩跃杰, 许金良, 刘永福,等.连续长下坡路段的安全坡长[J].长安大学学报.2010.30(5):35-39.

HAN Yuejie,XU Jinliang LIU Yongfu,et al.Safety grade length for driving at long-steep downgrade highway[J]. Journal of Chang 'an University. 2010.30(5):35-39.

- [13] 中华人民共和国推荐性行业标准. 公路项目安全性评价规范 :JTG B05-2015[S]. 北京: 人民交通出版社,2015. Industry standard of PRC.Specifications for safety audit of

highway: JTG B05-2015[S].Beijing: China Communications Press,2015.

- [14] 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[J].安全与环境学报.2015,15(4):140-143.

ZHANG Juan,LIU Haoxue,CHEN Jun,et al.On the relationship between the drivers' heart-beating rate and the curve radius of long and steep slope[J].Journal of safety and environment.2015,15(4):140-143.

- [15] 刘志强,王运霞,黄成.基于85MSR的道路线形连续性评价方法研究[J].公路交通科技.2008,42(6):36-38.

LIU Zhiqiang,WANG Yunxia,HUANG Cheng.Research of evaluation methods about road alignment continuity based on 85MSR[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development. 2008,42(6):36-38.

- [16] 程国柱,裴玉龙.高速公路85%位车速特征分析及车速限制建议[J].公路工程.2008,33(1):62-66.

CHENG Guozhu,PEI Yulong. Analysis on characteristic of 85th percentile speed and suggestion speed limit of freeway[J]. Highway Engineering . 2008, 33(1): 62-66.

(编辑 沈波)

(上接第515页)

Analysis of Time Domain Indices of Real-time Hybrid Simulation[J].Structural Engineers,2013(2):181-188

- [5] 潘鹏,王涛,中岛正爱.在线混合实验进展:理论与应用[M].北京:清华大学出版社,2013.

PAN Peng, WANG Tao, NAKASHIMA Masayoshi. Development of online hybrid test-theory and applications[M].Beijing:Tsinghua University press,2013.

- [6] 吴斌,王倩颖.实时子结构实验的研究进展[J].实验力学,2007(12):547-555.

WU Bin, WANG Qianying. Development of Real-time Substructure Testing[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2007(12):547-555.

- [7] Nakashima M, Takai H. Use of substructure techniques in pseudo dynamic testing[J]. BRI Research Paper, 1985,111:350-365

- [8] McKenna F. Object-oriented finite element analysis:

frameworks for analysis, algorithms and parallel computing[D].Berkeley: University of California, 1997: 10-12.

- [9] Mazzoni S, McKenna F, Scott M H,Fenves G L. OpenSees user manual[R].PEER: University of California at Berkeley, 2000.

- [10] SCHELLENBERG A, KIM H K, TAKAHASHI Y, et al. OpenFresco Command Language Manual[M]. PEER:The Regents of the University of California, 2009: 5-34.

- [11] 孟凡涛,赵建峰,于广明.实时子结构混合试验中的数值积分方法对比分析[J].地震工程与工程振动,2011(10):61-67

MENG Fantao,ZHAO jianfeng,YU Guangming.Study on numerical integration methods in real-time hybrid testing experiment[J].Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration,2011(10):61-67.

(编辑 沈波)