

草原公路直线段路侧景观对驾驶员视觉特性的影响

解松芳,朱守林,戚春华,杨锋

内蒙古农业大学能源与交通工程学院,呼和浩特 010018

摘要 视觉系统是驾驶员获取行车信息的主要通道,而公路路侧景观是引起驾驶员视觉刺激的重要因素之一。以不同路侧景观的草原公路直线段作为研究对象,利用眼动仪采集5名驾驶员的眼动指标并进行分析。结果表明,驾驶员在景观相对复杂路段的瞳孔直径和扫视幅度较大,眨眼持续时间与注视持续时间较小;不同路侧景观对驾驶员的眨眼持续时间、注视持续时间、扫视幅度影响不显著;对驾驶员的瞳孔直径影响显著。本研究可为分析草原公路路侧景观对驾驶员疲劳的影响提供参考。

关键词 草原公路;路侧景观;视觉特性

中图分类号 U491.2

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.21.007

Effects of Prairie Highway Roadside Landscape of Straight Line Section on the Driver's Visual Characteristics

XIE Songfang, ZHU Shoulin, QI Chunhua, YANG Feng

College of Energy and Transportation Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China

Abstract The vision system is the main channel for the driver to obtain traffic information, and the highway roadside landscape is an important factor in the visual stimulus to the driver. With different roadside landscapes of the prairie highway straight line section, the eye movement indexes of 5 drivers are collected and analyzed by the eye tracker. The results show that the driver's pupil diameter and the saccade amplitude are larger, but the blink duration and the fixation duration are shorter in the relatively complex roadside landscape section. The effect of the different roadside landscapes on the driver's blink duration, the fixation duration and the saccade amplitude are not significant, but the effect on the driver's pupil diameter is significant. The results may provide a reference for studying the effect of the prairie highway roadside landscape on driver's fatigue.

Keywords prairie highway; roadside landscape; visual characteristics

驾驶员行车过程中,约有80%以上的信息是依靠视觉获得的,90%以上是动态信息^[1]。视觉系统是驾驶员获取外界信息最主要的通道。大量研究表明^[2-7],驾驶员的动态视觉特征与交通事故密切相关。公路景观环境将通过视觉刺激直接或间接地影响到驾驶员的心理状态、驾驶行为和疲劳水平。为了减少交通事故的发生,有必要对驾驶员的视觉特性进行分析,掌握驾驶员动态视觉特征及其变化规律,这对于预防交通事故的发生具有重要意义。

许多学者从不同的方面对公路景观环境对驾驶员视觉特性的影响进行了研究。Topp等^[8]研究发现,良好的道路景观可有效减少交通事故、增强行车安全。Jeong^[9]、Mok等^[10]研究发现良好的路侧景观会使驾驶员感到更舒适、注意力更集中,复杂的道路景观将使驾驶员感到混乱和压抑。Pierre等^[11]研究表明,路侧景观刺激的单调会使驾驶员更疲劳、警惕性下降更快。袁伟^[2]、郭应时^[3]、黄迎秋^[4]等研究发现,在交通环境复杂的城市道路驾驶员的认知负荷增加,搜索范围大,注

收稿日期:2014-04-08;修回日期:2014-05-23

基金项目:国家自然科学基金项目(51168036)

作者简介:解松芳,副教授,研究方向为公路交通人机环境,电子信箱:hhhtsf@126.com;朱守林(通信作者),教授,研究方向为公路交通人机环境,电子信箱:zhushoulin@126.com

引用格式:解松芳,朱守林,戚春华,等.草原公路直线段路侧景观对驾驶员视觉特性的影响[J].科技导报,2014,32(21):47-51.

视区域分散。洪亮^[5]、顾强^[6]、侯建利等^[7]研究表明,直线长度、曲线半径及纵坡度大小对驾驶员视觉特性的影响具有相关性。韩飒^[12]、丁光明等^[13]、王辉^[14]研究发现,在隧道的出入口段驾驶员眼动特性指标值变化较大,容易形成白洞黑洞效应,对行车安全不利。杨锋等^[15]研究发现,北方林区冰雪路面驾驶员眼动规律变化在曲线段比直线段快。

上述研究主要集中在道路景观环境、隧道环境、道路线形和林区道路等方面,所选用的视觉指标参考值大都是静止状态的范值,不适用驾驶员视野内的动态道路景观。草原公路景观与其他道路景观不同,具有构成要素简单、地势平坦、视野范围广、视觉刺激较少、交通量少、线形简单等特点。特别是草原公路线形主要以直线为主,纵坡度小,驾驶员长时间在平直路段上行驶容易疲劳,引发交通事故。因此,本文针对草原公路直线段景观对驾驶员的视觉特性影响进行研究,以期对草原公路路侧景观对驾驶员疲劳的影响提供参考。

1 试验设计

1.1 试验路段选择

选择内蒙古锡林格勒盟境内的省道S101赛罕塔拉—满都拉图段的二级草原公路为试验路段,设计车速为80 km/h,全长150 km。该路段主要以直线为主,最长直线段为8741.3 m,最短为292.64 m,纵坡度大多小于2%,直线长占总里程的74.49%^[16]。公路两侧景观构成要素简单,主要以草原景观为主,人文景观较少,具有草原公路的代表性。

在前期对该路段进行景观异质性评价和分段研究的基础上^[17],选择K312+358—K314+648(纵坡度2%)及K372+508—K374+676(纵坡度0%)直线段作为研究对象(以下简称K312和K372)。通过调查,在K312路段的景观要素主要包括:草原景观、人文建筑、交通设施、广告牌等。其中在K312+500和K312+800右侧有2个人文建筑,面积大约60 m²,距路边30 m左右;K312+450有横跨公路的门式测速摄像头,该路段有2个交通标志牌,有2个宽度约3 m的道路交叉口和1个大广告牌,自然景观是草原景观,植被覆盖率相对较低。在K372路段的景观要素主要是草原景观,植被覆盖率高,颜色呈黄绿色。两路段的景观基本概况见图1,景观异质性评价结果见表1。



(a) K312段

(b) K372段

图1 路段景观

Fig. 1 Road landscape

表1 两路段路侧景观异质性指数

Table 1 Heterogeneity indexed of road side landscape of two sections

路段	多样性指数	优势度指数	丰富度指数
K312段	0.4251	0.2610	0.2342
K372段	0.1879	0.8038	0.1737

由表1可以看出,K312路段景观的丰富度指数和多样性指数较高,而优势度指数较低,说明该路段景观所含的景观类型多,景观相对较复杂,异质性程度较高;K372路段景观的丰富度指数和多样性指数比较低,而优势度指数较高,说明该路段景观所含的景观类型少,景观相对比较简单,异质性程度较低^[18]。通过景观异质性评价可知,K312路段景观比K372路段相对复杂,满足研究需要。

1.2 试验设备及对象

采用日本Sony公司便携式摄像机DCR-DVD803E对试验路域景观环境进行全程拍摄记录;采用德国SMI公司Iviev X HED型头戴式眼动仪,记录驾驶员眼动指标及眼动录像。根据研究需要将数据采样频率设定为50 Hz/s,采用与眼动仪配套的BeGaze 2.4软件对试验数据进行提取和分析;试验车辆为小型轿车,试验车速根据线形自由选择。

选择5名男性驾驶员,身体健康状况良好,没有眼部疾病,视力正常,具有法定的驾驶执照,平均年龄42.6岁($SD=4.32$),平均驾龄13.2年($SD=5.5$),对试验路段比较熟悉。试验前要求驾驶员保证良好的心理和生理状态,试验过程中关闭所有与试验无关的电子设备并禁止交谈。驾驶员基本情况如表2。

表2 驾驶员基本信息

Table 2 Basic information of driver

驾驶员编号	性别	年龄/岁	驾龄/年	健康状况	职业	对路段的熟悉情况
01	男	42	15	良好	教师	比较熟悉
02	男	41	6	良好	教师	比较熟悉
03	男	49	21	良好	教师	比较熟悉
04	男	50	13	良好	教师	比较熟悉
05	男	49	11	良好	教师	比较熟悉

2 研究指标的选择

驾驶员在行车时,其视觉认知过程中主要包括注视、扫视和眨眼3种基本眼动形式。驾驶员不能通过眨眼获取相关信息^[4],但可缓解疲劳,提高视觉舒适性^[15,19]。常用的眨眼指标有眨眼频率、眨眼时间和眨眼时间百分比等。其中眨眼时间长短能够反映驾驶员行车时的视觉疲劳程度。注视是眼睛对准目标物,使其影像落在视网膜的中央凹上,以达到最清楚的视觉活动。研究表明,驾驶员的注视时间占眼动总时间的70%以上^[2-4]。因此,注视是驾驶员获得信息的主要眼

动指标。驾驶员注视行为指标包括注视时间、注视点位置、瞳孔大小等。其中注视时间、注视点位置可以说明驾驶员在行车过程中对所观察对象的关注程度,而瞳孔大小受光的照度、驾驶员的紧张程度和所看物体的远近等外界环境的影响。

扫视产生于两个注视行为之间,说明驾驶员对视觉信息范围搜索的广度。扫视的指标包括扫视幅度、扫视速度、扫视加速度等。其中,扫视幅度是指驾驶员视觉信息采集的范围,扫视速度和扫视加速度是驾驶员对信息的搜索和加工效率。扫视行为受地形变化、路侧景观的开放程度及驾驶员获得信息的重要程度等因素的限制。

综合以上对驾驶员眼动指标的分析,结合本研究的实际情况,确定使用驾驶员的眨眼时间(*BT*)、注视时间(*FT*)、瞳孔直径(*PD*)、扫视幅度(*SA*)4个指标对5名驾驶员的眼动规律进行分析。

3 结果分析

3.1 K312路段景观对驾驶员视觉的影响

对5名驾驶员在K312路段眨眼时间、注视时间、瞳孔直径、扫视幅度取平均值,并按5 s截取数据制图(图2)。

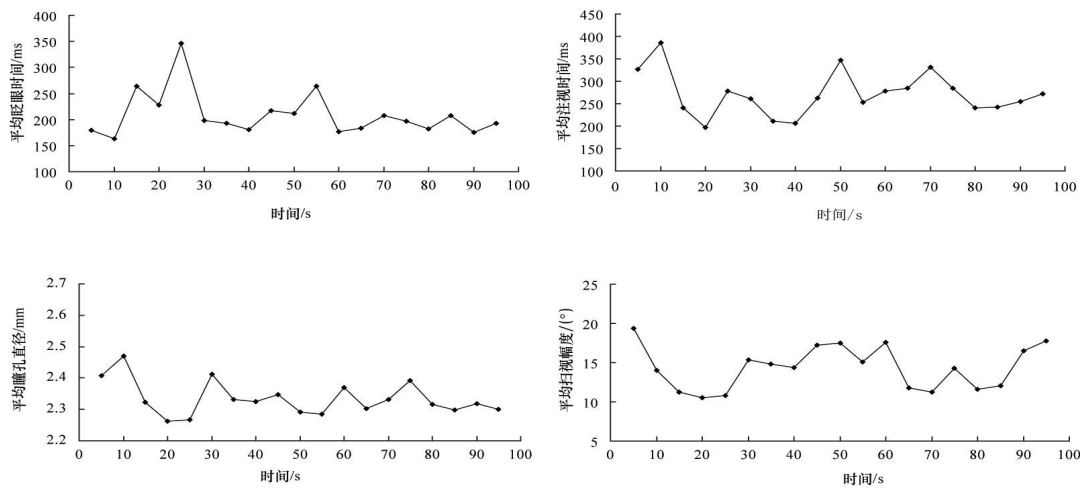


图2 K312路段驾驶员视觉特性分布规律

Fig. 2 K312 sections of the distribution of driver's visual characteristics

由图2可以看出:

1) 驾驶员在K312路段的前30 s内的平均眨眼时间呈现波动上升趋势(变化率为26.92%);平均注视时间和平均瞳孔直径均出现先上升后下降的趋势,特别是在10 s处,这2个指标分别出现峰值点(386.11 ms和2.45 mm),对照视频发现此处有摄像头;30 s后驾驶员通过自我调整,各眼动指标变化相对稳定,表现出驾驶员适应这种景观环境,平均扫视幅度呈现下降态势(变化率22.1%)。

2) 由于该路段路侧景观相对复杂,驾驶员需要获得的信息较多,他们必须快速获得信息以保证行车安全,特别是在此段起始部分安装有测速摄像头,使之产生较大的心理负荷,出现平均瞳孔直径和平均注视时间变大,平均眨眼时间和平均扫视幅度下降趋势,驾驶员表现出紧张感。

3.2 K372路段景观对驾驶员视觉的影响

对5名驾驶员在K372路段眨眼时间、注视时间、瞳孔直径、扫视幅度取平均值,并按5 s截取数据制图(图3)。

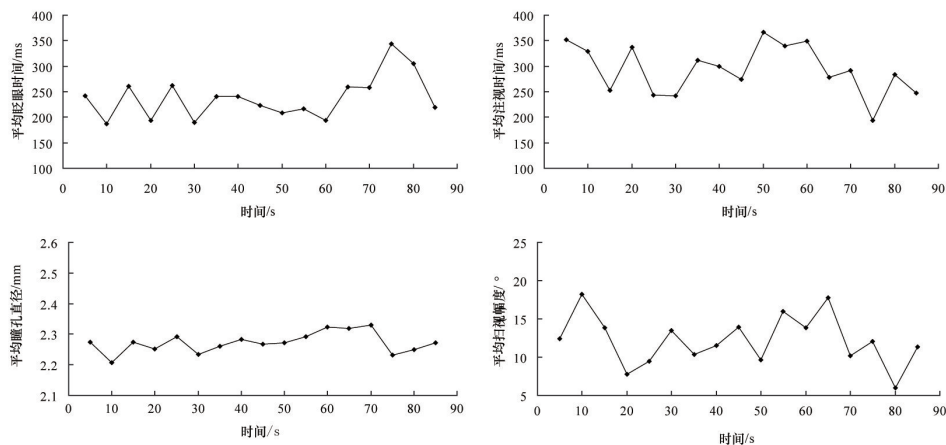


图3 K372路段驾驶员视觉特性分布规律

Fig. 3 K372 sections of the distribution of driver's visual characteristics

由图3可知:

1) 驾驶员在K372路段的前30 s内平均眨眼时间、平均注视时间和平均瞳孔直径均呈现出一定规律的波动趋势。平均眨眼时间在191.46~258.48 ms范围内波动,平均变化率11.79%;平均注视时间在254.99~346.55 ms范围内波动,平均变化率13.47%;平均瞳孔直径处于稳定变化趋势(变化率为0.93%);而平均扫视幅度在前30 s变化较剧烈,呈现出先增大后减小再增大的趋势,平均变化率为22.09%。这是由于驾驶员刚进入景观单调的环境,需要调整状态适应此景观环境,出现各眼动指标有规律的波动。

2) 30~60 s驾驶员的平均瞳孔直径呈现小幅度上升趋势(变化率为1.39%),平均眨眼时间呈现小幅度下降(变化率为8.09%),平均扫视幅度和平均注视时间呈现小范围波动,说明在此期间驾驶员由于适应了环境,特别是由于此路段路况较好,视野开阔,驾驶员行车比较轻松,各眼动指标变化幅度较小。

3) 60~75 s以后平均注视时间呈下降趋势(变化率为14.73%),平均眨眼时间呈上升趋势(变化率为20.12%),平均

瞳孔直径和平均扫视幅度呈现下降趋势,说明驾驶员在此单调的景观环境下行车产生心理烦躁,出现轻度的疲劳状态;之后驾驶员通过自我调整,出现平均眨眼时间下降,平均注视时间、平均瞳孔直径和平均扫视幅度上升的趋势,各项眼动指标又恢复正常。

3.3 两路段景观对驾驶员动态视觉影响的对比分析

对驾驶员在两路段的各眼动指标进行统计分析,得到各指标的平均值 M 、标准差 SD 、变化率 CR (表3)。

由表3可以看出:驾驶员在K312路段的平均瞳孔直径和平均扫视幅度大于K372路段,而平均眨眼时间和平均注视时间小于K372路段;这是由于K312路段景观相对较复杂,信息量大,驾驶员的搜索范围大,关注的点较多,使得驾驶员平均瞳孔直径和平均扫视幅度变大,平均眨眼时间和平均注视时间变小。而在K372路段由于景观单调,信息量少,路侧景观缺少变化,车辆行驶没有参照物,车速无形加快,驾驶员注视远方,搜索范围变小,造成驾驶员长时间注视单一目标,因此注视时间偏长,扫视幅度变小。

表3 两路段驾驶员眼动指标统计

Table 3 Statistics of driver's eye movement indexes of two sections

路段	M_{BT}	SD_{BT}	CR_{BT}	M_{FT}	SD_{FT}	CR_{FT}	M_{PD}	SD_{PD}	CR_{PD}	M_{SA}	SD_{SA}	CR_{SA}
K312	211.54	42.26	14.18	266.37	51.92	15.16	2.33	0.033	1.88	14.38	2.77	15.97
K372	237.87	42.21	13.42	293.35	46.72	13.46	2.27	0.054	1.14	12.22	3.28	20.88

虽然驾驶员在K312和K372路段的各眼动指标的均值和变化率都各不相同,但差值较小(瞳孔直径的差值是0.06 mm,扫视幅度差值 2.16° ,眨眼时间差值26.33 ms,注视时间差值26.98 ms)。从数据分析上看,两路段景观环境对驾驶员视觉影响的差异不明显。

为进一步分析K312和K372路段的景观环境对驾驶员动态视觉的影响程度,利用SPSS软件对所得数据进行显著性分析。结果是K312和K372路段景观对驾驶员的平均眨眼时间、平均注视时间、平均瞳孔直径和平均扫视幅度对应的 P 值分别为0.064、0.109、0.001、0.062,说明在5%的显著性水平下,两路段景观对驾驶员的平均眨眼时间、平均注视时间和平均扫视幅度的影响不显著,而对驾驶员的平均瞳孔直径影响较显著。

4 讨论

单调景观环境对驾驶员视觉特性的影响研究结果表明,驾驶员的眨眼时间、瞳孔直径、扫视幅度与前人研究结果相似,而注视时间在单调景观环境下偏大,这与前人研究结果不同^[4]。原因是前人的研究是在交通环境复杂的城市道路进行,结果是景观环境越复杂,驾驶员的注视时间越长。本研究结果是景观越单调驾驶员的注视时间越长。这是由于草

原公路的景观环境总体比较单调,即使选择相对复杂的景观环境和城市道路环境相比较仍然比较简单,信息量少,驾驶员很容易获取信息。因此,驾驶员在景观相对复杂的路段的注视时间小于景观单调路段。

实驾试验是在真实环境中进行的,存在一定的危险性,驾驶员的样本量较少。为了揭示行车时驾驶员的视觉特性变化与心理生理的内在机理的联系,还需增加试验样本量,同时结合室内模拟试验作进一步研究。

5 结论

对草原公路直线段上的两种路侧景观对驾驶员视觉的影响分析得出:

1) 驾驶员在K312路段的平均瞳孔直径和平均扫视幅度大于K372路段,是由于K312路段景观相对较复杂,信息量较大,驾驶员关注的点较多,要在较大范围内搜索信息,以保证行车安全,致使驾驶员平均瞳孔直径和平均扫视幅度偏大。

2) 驾驶员在K312路段平均注视时间和平均眨眼时间小于K372路段。由于K372路段景观相对单调,信息量少,驾驶员受到的视觉刺激较少,车速无形加快,视野变小,驾驶员长时间注视远处,容易产生视觉疲劳,导致驾驶员平均注视时间和平均眨眼时间偏高。

3) K312和K372路段景观环境对驾驶员眨眼时间、注视时间、扫视幅度的影响不显著;而对驾驶员平均瞳孔直径影响较显著。这是由于草原公路直线段路侧景观单调,地形地势变化小,信息量少,视野开阔,驾驶员受到的视觉刺激较少。因此,驾驶员在草原公路直线段路侧景观环境下行车时眼动规律变化不明显。同时也说明驾驶员在这种景观环境下行车,易产生视觉疲劳,从而引发交通事故。

建议草原公路在线形设计时尽量减少长直线和直线所占的比例,在景观设计时要考虑驾驶员的心理需求,设计出既满足交通功能又舒适、优美、协调的草原公路景观环境,从而提高行车安全。

参考文献(References)

- [1] 李百川. 道路交通事故预防心理学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.
Li Baichuan. Road traffic accident prevention psychology[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1998.
- [2] 袁伟. 城市道路环境中汽车驾驶员动态视觉特性试验研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
Yuan Wei. Study on car driver's dynamic visual characters test on city road[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [3] 郭应时. 交通环境及驾驶经验对驾驶员眼动和工作负荷影响的研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
Guo Yingshi. Study on effects of traffic environment and driving experience on drivers eye movement and workload[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [4] 黄迎秋. 山区与城市道路交通环境下驾驶员视觉搜索过程分析[D]. 西安: 长安大学, 2008.
Huang Yingqiu. The analysis on driver's visual search process in real environment of mountain and urban road[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [5] 洪亮. 驾驶员视觉特性与山区高速公路长大纵坡线形指标关系研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
Hong Liang. Research on relationship between driver's visual characteristics and alignment indicators of long and steep slope in mountainous area[D]. Changsha: Hunan University, 2008.
- [6] 顾强. 高速公路线形对驾驶员视觉特性的影响[D]. 西安: 长安大学, 2008.
Gu Qiang. Research on the effect of thruway alignment on driver's visual characters[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [7] 侯建利, 朱守林, 戚春华. 草原公路线形对驾驶员视觉特性及车速的影响研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2011, 32(2): 208-211.
Hou Jianli, Zhu Shoulin, Qi Chunhua. Research on the effect of prairie road alignment on driver's visual characters and speed [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Science & Technology Edition, 2011, 32(2): 208-211.
- [8] Topp H H. Traffic safety, usability and streetscape effects of new design principles for major urban roads[J]. Transportation, 1990, 16: 297-310.
- [9] Jeong H M. Delineating traffic safety benefits of travel way corridor landscape characteristics and landscape improvements[D]. Texas A&M University, 2003, 5: 57-102.
- [10] Mok J H, Landphair H C, Naderi J R. Landscape improvement impacts on roadside safety in Texas[J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 78(3): 263-274.
- [11] Thiffault P, Bergeron J. Monotony of road environment and driver fatigue: A simulator study[J]. Accident Analysis and Prevention, 2003, 35: 381-391.
- [12] 韩飒. 山区高速公路隧道路段驾驶员眼动特性研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
Han Sa. Study on the driver's eye movement characteristics of tunnel section in mountainous freeway[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [13] 丁光明, 刘浩学, 赵炜华, 等. 高速公路长隧道出口段驾驶人视觉特征变化规律[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2011, 31(2): 77-80.
Ding Guangming, Liu Haoxue, Zhao Weihua, et al. Variation of driver's visual features in expressway tunnel exit[J]. Journal of Chang'an University: Science & Technology Edition, 2011, 31(2): 77-80.
- [14] 王辉. 高速公路长隧道驾驶人眼动特性研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
Wang Hui. Study on the driver's eye movement characteristics at freeway long tunnel Section[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [15] 杨锋, 朱守林, 戚春华, 等. 北方林区冰雪路面驾驶员眼动变化规律研究[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(12): 102-106.
Yang Feng, Zhu Shoulin, Qi Chunhua, et al. Study on driver's eye movements change on the forest's northern ice road[J]. Journal of Northeast Forestry University: Science & Technology Edition, 2013, 41(12): 102-106.
- [16] 郝晓红. 基于驾驶员生理心理反应的草原公路线形研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
Hao Xiaohong. Research the alignment of grassland road based on driver's physiological and psychological reflection[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.
- [17] 解松芳, 朱守林, 戚春华. 基于动态视觉的草原公路路侧景观评价[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2013, 34(6): 132-136.
Xie Songfang, Zhu Shoulin, Qi Chunhua. Evaluation of grassland highway roadside landscape based on dynamic vision[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Science & Technology Edition, 2013, 34(6): 132-136.
- [18] 乌云娜. 锡林郭勒草原景观多样性的空间变化[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1997, 28(5): 707-714.
Wu Yunna. Spatial variation of Xilin Gol grassland landscape diversity [J]. Journal of Inner Mongolia University: Science & Technology Edition, 1997, 28(5): 707-714.
- [19] 付川云. 疲劳状态下驾驶人生理及眼动特征研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
Fu Chuanyun. Research on physiological and eye movement characteristics of driver under fatigue condition [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.

(责任编辑 王媛媛)