



驾车接近隧道过程中驾驶员瞳孔大小变化规律

胡英奎^{a,b}, 陈仲林^b, 张青文^b, 翁季^b, 黄珂^b

(重庆大学 a. 土木工程学院; b. 建筑城规学院, 重庆 400045)

摘要:为了解驾驶员驾车进入隧道过程中的瞳孔变化过程,让8位驾驶员分别驾车进入4座隧道,在此过程中用眼动仪记录驾驶员的瞳孔大小。分析眼动仪记录得到的驾驶员瞳孔大小数据的特征,通过小波变换进行数据处理,得到了驾驶员驾车进入隧道过程中瞳孔大小变化曲线。分析驾驶员瞳孔大小变化曲线发现,不同驾驶员的瞳孔大小存在个体差异;同一驾驶员多次测试的瞳孔大小存在一定的随机性;在接近隧道过程中驾驶员瞳孔逐渐变大,并在隧道洞口附近急剧变大;不同驾驶员的瞳孔变化趋势存在一定的差异;驾驶员瞳孔大小除受适应亮度的影响外,还受驾驶员的心理等因素的影响。

关键词:隧道照明;瞳孔大小;适应亮度;交通安全

中图分类号:TU113.6; U453.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)06-0106-08

Changing rule of drivers' pupil size as driving into tunnels

Hu Yingkui^{a,b}, Chen Zhonglin^b, Zhang Qingwen^b, Weng Ji^b, Huang Ke^b

(a. School of Civil Engineering; b. Faculty of Architecture and Urban Planning,

Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: To reveal the changing process of drivers' pupil size during driving were carried out into of tunnels, experiments eight drivers drove into four tunnels at different time. And their pupil size were recorded with eye tracker in the driving process. The recorded raw data by eye tracker was analyzed, wavelet transforms method was taken to process the data, and the pupil size changing curves of drivers when they drive into tunnels. From the curves analysis, it has been found that the individual difference exist on different drivers' pupil size; There was a degree of randomness of pupil sizes among repeated test of the same driver; the drivers' pupil enlarged gradually when they driving into tunnels, and enlarged violently nearby tunnel's threshold; the pupil size changing tendency of different driver exists some difference; drivers' pupil size was influence not only by adaptation luminance, but also by their psychological factors.

Key words: tunnel lighting; pupil size; adaptation luminance; traffic safety

隧道入口附近是交通事故高发路段^[1-2],隧道内外亮度差导致的驾驶员视觉适应滞后是其主要原

因。尽管人眼瞳孔大小受人的生理、心理以及外部环境等因素的影响,但在其他影响因素一定的情况

收稿日期:2015-09-16

基金项目:国家自然科学基金(51278507,50908240)

作者简介:胡英奎(1978-),男,博士,主要从事交通照明研究,(E-mail)hyk@cqu.edu.cn.

Received:2015-09-16

Foundation item:National Natural Science Foundation of China (No. 51278507, 50908240)

Author brief:Hu Yingkui (1978-),PhD, main research interest: tunnel and road lighting, (E-mail)hyk@cqu.edu.cn.

下,主要受环境亮度的影响。驾驶员白天驾车由较亮的外部进入较暗的隧道内时,瞳孔会放大,如果瞳孔放大速率超出安全范围,则会发生视觉障碍而造成行车事故。因此,研究驾驶员驾车接近隧道过程中的瞳孔变化规律,有助于保障隧道入口附近的行车安全。

瞳孔大小由瞳孔括约肌和瞳孔开大肌控制,分别受副交感神经、交感神经支配。Pokorny等^[3]认为影响瞳孔大小的因素主要包括外部刺激和观察者自身因素两个方面,外部刺激就包括照明水平。Crawford^[4]通过实验研究了光源对瞳孔大小的影响,对背景亮度从2 700 c./ft.²(约29 052 cd/m²)、眼睛处的照度为65 ft. c.(约699.4 lx)变化到0后人眼瞳孔的变化过程进行了测量。Birren等^[5]、Winn等^[6]研究了不同年龄段被测者瞳孔大小与背景亮度之间的关系。Winn等^[6]发现瞳孔直径与亮度的对数之间线性相关。Richman等^[7]在几乎全黑、室内照明和直射光3种照明条件下测量了250名被测者的瞳孔大小。在研究瞳孔大小的过程中,人们发现即使在恒定的照明环境中,人眼瞳孔大小也在持续波动,Stark等^[8]认为瞳孔的这种持续波动(虹膜震颤)是虹膜肌中分布的交感神经和副交感神经共同作用的结果。为了研究人眼受到光刺激后瞳孔的反应时间,Iacoviello等^[9]提出利用人工神经网络和图像处理技术研究人眼瞳孔大小变化过程的方法。Colombo等^[10]测量了5位被测者在0.5 cd/m²的适应亮度下的瞳孔大小,以及在瞬时出现3个照度水平(15、30和60 lx)的周边眩光中瞳孔的大小。Cheng等^[11]在4、0.4和0.04 lx三种照明条件下测量了20位被测者的瞳孔大小。刘瑛等^[12]用红外线瞳孔测试仪测量了93例正常人(186眼)在暗环境下的瞳孔大小。练莘等^[13]用瞳孔自动测试仪测量了100例正常人(200只眼)的瞳孔及瞳孔对光的反射特性。康卫勇等^[14]通过试验研究了瞳孔大小与脑负荷之间的关系。李勇等^[15]通过实验研究了阅读过程中疲劳和心理负荷因素对瞳孔大小的调节作用。李毅^[16]在道路照明水平下,研究了人眼瞳孔与不同光源提供的光生物效应背景亮度之间的关系。黄海静^[17]在教室照明条件下研究了在不同色温的荧光灯下的瞳孔大小与背景亮度和光源色温之间的关系。

已有研究主要集中在被测者在静态条件下瞳孔大小随照明水平变化的规律,对于被测者在动态条

件下瞳孔大小随照明水平的变化研究较少。为了给基于驾驶员视觉适应的隧道照明设计方法提供依据,笔者选择4座高速公路隧道,在隧道现场实测了驾驶员驾车进入隧道过程中的瞳孔大小变化过程。

1 瞳孔变化实测

选择福建省境内永武(永安—武平)高速公路上的龙井隧道、黄山岭隧道、石背角隧道和溪背山隧道作为实测地点,让驾驶员驾车按照隧道设计速度驾车进入隧道,并用眼动仪记录驾驶员从距隧道入口一个停车视距处到隧道洞口之间的瞳孔大小。

1.1 测试的基本情况

所测试的4座隧道都位于福建省西南部龙岩市境内的永武高速公路上。测试时间8月份是当地日照最强的季节,测试的3天均为晴天多云天气。为了能得到驾驶员不同洞外亮度水平下的瞳孔变化过程,每天的测试分早晨(7:00—9:00)、中午(11:00—13:00)和傍晚(16:00—18:00)3个时段进行。

1.1.1 测试隧道 测试隧道为永武高速公路上的龙井隧道、黄山岭隧道、石背角隧道和溪背山隧道。4座隧道的几何尺寸相同,均为7 m高、7.2 m宽,外观见图1。

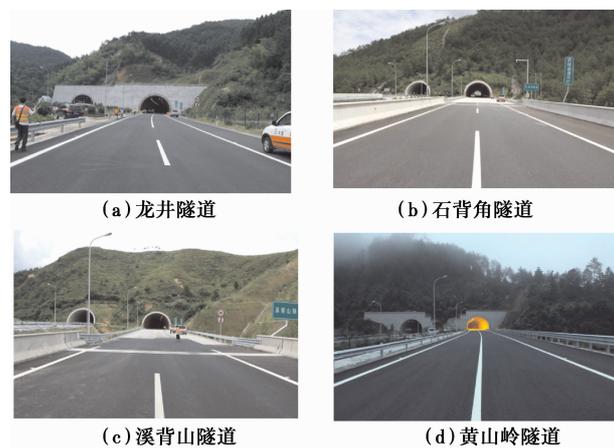


图1 被测隧道的外观

Fig. 1 Pictures of tunnels tested

1.1.2 测试车辆 考虑所用车辆的代表性和测试的方便性,测试选用永武高速公路路政管理部门的工作用车,即由东南三菱生产的三菱君阁(ZINGER)MPV商务车。车身尺寸:4 615 mm×1 775 mm×1 810 mm(长×宽×高)。测试用车车况良好,前挡风玻璃及前排车窗清洁无污染,前挡风玻璃和车窗玻璃有贴膜但不影响行车安全。

1.1.3 被测人员 考虑驾驶员的代表性及驾驶员

对测试用车的车况和操作较熟悉的要求,选择了 8 名男性驾驶员作为被测人员,被测人员全部为永武高速公路的路政管理人员。被测人员的年龄在 28~40 岁,平均年龄 33.4 岁,所有被测人员均无色盲、色弱情况,校正视力均在 5.0 以上,为了眼动仪测试的方便,所有驾驶员都不佩戴眼镜(隐形眼镜除外)。驾驶员的基本情况见表 1。

表 1 被测驾驶员基本情况

Table 1 Personal information of drivers tested

驾驶员	性别	年龄/岁	驾照类别	驾龄/a
WLP	男	29	A2	8
LJS	男	32	C1	4
LDH	男	31	C1	4
ZWM	男	36	A2	7
SXY	男	40	C1	14
FGH	男	28	A2	7
XCH	男	36	A2	15
LGH	男	35	B1	11

1.1.4 SMI iViewX HED 眼动仪 用 iView X HED 眼动仪记录被测人员的瞳孔大小。眼动仪有两个摄像机,一个用于记录包括瞳孔大小在内的眼睛数据,另一个记录被测者注视的场景图像。场景摄像机的采样频率为 25 Hz,即每 40 ms 左右采集一帧图像,眼睛摄像机的采用频率为 50 Hz,即每 20 ms 左右对眼睛采集一次数据。

2 测量方法和步骤

驾驶员戴好经过相应设置和校准后的眼动仪头盔,将测试车开到正对隧道距隧道一段距离(一般距隧道口 300 m 以上)处停好。测试开始,车辆起步后尽快将车速提高到隧道的设计行车速度 80 km/h,并确保驾车到达距洞口一个停车距离(100 m)处时车速达到隧道的设计行车速度 80 km/h 左右,然后尽量使行车速度稳定 80 km/h,保持匀速行驶,车辆在行驶过程中不得变道。在车辆到达距隧道洞口一个安全停车距离前开始记录瞳孔数据,通过隧道的入口段后停止记录。每座隧道、每个时段有 1~3 名驾驶员驾车通过;根据具体情况,每名驾驶员在一个时段驾车通过一座隧道 1~4 次。测试共记录了 8 名驾驶员 56 人次驾车进入 4 座隧道的瞳孔变化数据。由于眼动仪校准不准确、眼动仪校准后头盔相对驾驶员的头部移动等原因,造成测试记录的 17 人

次瞳孔变化无法用于数据分析,测试得到 39 人次有效瞳孔变化数据。图 2 为部分测试结果的驾驶员瞳孔大小变化曲线。

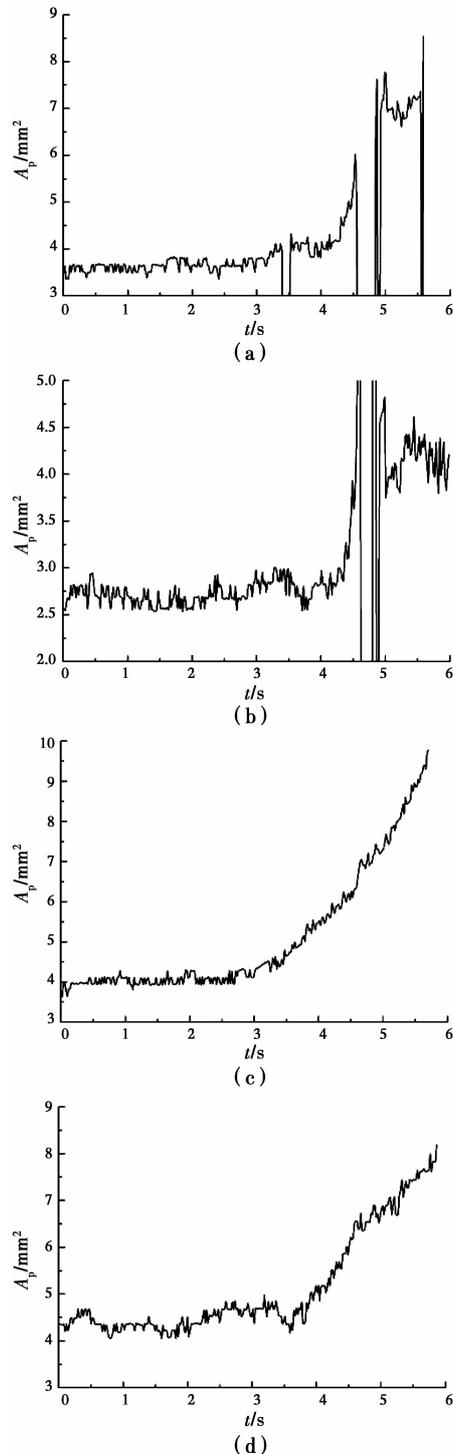


图 2 部分驾驶员瞳孔变化曲线

Fig. 2 Some drivers' pupil size changing process

3 测量结果分析

从测量结果可以看出,驾驶员驾车进入隧道过

程中的瞳孔大小变化基本有规律可循,由于驾驶员的瞳孔大小除受光环境因素影响外还受其他因素影响,使得分析驾驶员的瞳孔大小变化规律存在一定的不便。为方便分析驾驶员驾车进入隧道过程中的瞳孔大小变化规律,需要先分析利用眼动仪获得的驾驶员瞳孔大小数据的特征,并在此基础上对用眼动仪获取的原始数据进行加工处理。

3.1 利用眼动仪获取的瞳孔大小数据的特征

从图2中驾驶员驾车进入隧道过程中的瞳孔大小变化各条曲线可以看出,利用眼动仪获取的瞳孔大小数据具有一定的规律性特征。

3.1.1 瞳孔大小数据存在短时间异常偏小 造成眼动仪记录的瞳孔大小数据异常偏小的原因主要有:

1) 驾驶员每次驾车进入隧道,从开始记录数据到停止记录数据一般要历时6 s以上,驾驶员在此时间段内不可避免地要眨眼,驾驶员眨眼时会造成眼动仪无法正确捕捉其瞳孔信息,如果短时间内捕捉不到瞳孔图像,则会出现瞳孔面积数据短时异常偏小、甚至为零。

2) 驾驶员驾车过程中所处的光环境复杂多变,驾车过程中短时间出现的眩光会造成驾驶员角膜反射异常,也会造成眼动仪短时间无法正确捕获瞳孔信息,从而产生瞳孔面积数据短时异常偏小。

3) 眼动仪软件参数(Pupil Threshold、CR Threshold等)设置不恰当,当周围光环境变化时会造成眼动仪短时无法正常捕捉驾驶员的瞳孔信息,从而出现瞳孔面积数据短时异常偏小。

4) 其他原因造成的眼动仪短时无法捕捉到瞳孔图像,也会使记录到的瞳孔大小数据短时间异常偏小。

图3所示为图2(a)中驾驶员瞳孔大小异常变小的情况。为了突出表达驾驶员瞳孔大小变化的规律,图中纵坐标的原点未取为零,从而导致眼动仪记录到的驾驶员瞳孔面积异常变小时表达瞳孔大小的曲线与横坐标轴相交。

3.1.2 瞳孔面积数据存在短时间异常偏大 造成眼动仪记录的瞳孔大小数据短时异常偏大的原因主要有:

1) 驾驶员睫毛较密,且颜色与其瞳孔颜色接近,驾驶员眨眼时眼动仪误将睫毛识别成瞳孔,从而造成记录到的瞳孔大小数据产生短时异常偏大。

2) 眼动仪软件参数(Pupil Threshold、CR

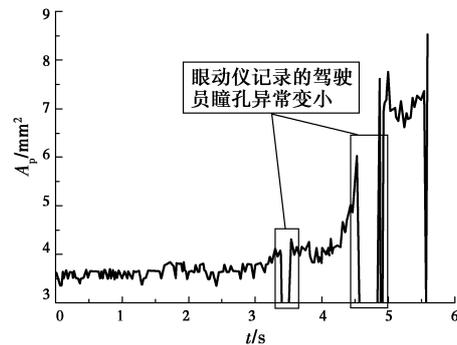


图3 驾驶员瞳孔大小异常变小的情况

Fig. 3 Unexpected decrease of driver's pupil size

Threshold等)设置不恰当,驾驶员的虹膜颜色与瞳孔颜色接近,当周围光环境变化时会造成眼动仪短时间误将虹膜识别成瞳孔,从而出现记录到的瞳孔大小数据短时间异常偏大。

3) 其他原因造成的眼动仪短时无法正确捕捉到瞳孔图像,也会使记录到的瞳孔大小数据短时间异常偏大。

图4所示为图2(b)中驾驶员瞳孔面积异常变大的情况。为了突出表达驾驶员瞳孔大小变化的规律,图中纵坐标的最大值未取足够大,从而造成瞳孔大小异常变大的点未在图中完整表达。

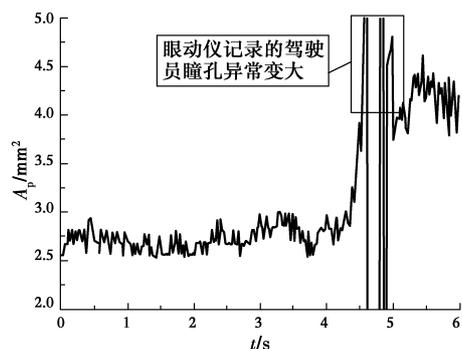


图4 驾驶员瞳孔面积异常变大的情况

Fig. 4 Unexpected increase of driver's pupil size

3.1.3 瞳孔大小的波动 在驾车进入隧道过程中,驾驶员的瞳孔大小也不是线性变化,而是时刻不停地变化,这种瞳孔大小不停的变化可以称为瞳孔大小的波动。瞳孔大小波动的主要原因是虹膜的震颤,眼动仪参数的设置、驾驶员的心理活动等因素也可能会造成记录的瞳孔大小波动。

图5所示为图2(c)中驾驶员瞳孔大小波动的情况。

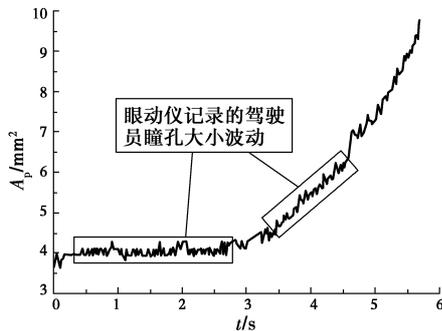


图 5 驾驶员瞳孔大小波动的情况

Fig. 5 Fluctuation of object's pupil area

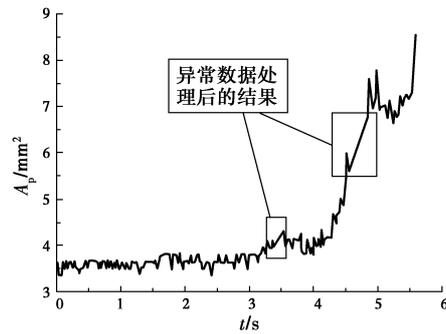
3.2 瞳孔大小原始数据的处理

为了便于分析驾驶员的瞳孔大小变化规律,需要对用眼动仪记录的驾驶员瞳孔大小原始数据进行处理。

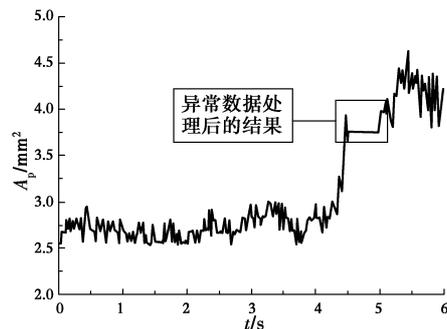
3.2.1 对瞳孔大小异常变化数据的处理 从图 2 可以看出,眼动仪记录的瞳孔大小数据异常所持续的时间都比较短,一般只有几十毫秒。在如此短的时间内,驾驶员的瞳孔大小一般不会发生复杂变化。所以,对于眼动仪记录的瞳孔面积异常变小和异常变大的情况,可以认为在眼动仪记录的瞳孔大小数据异常的时间段内驾驶员的瞳孔大小线性变化。而且,驾驶员每次驾车进入隧道记录的数据时长都在 5 s 以上,对超过 5 s 时长的数据中几十毫秒的瞳孔大小数据做如此近似处理,不会影响对驾驶员瞳孔大小变化规律的总体分析。在进行数据处理时,将瞳孔数据异常时段内的瞳孔大小数据删除即可;反映在瞳孔大小变化曲线图上,即为删除数据异常时段内的曲线,而用直线将异常数据时段两端的曲线连接起来;从数学意义上来看,是以数据异常时段两端的数据点为基础,对数据异常时段内的数据进行线性插值。

图 6(a)、(b)分别为对图 3 和图 4 所示数据中的异常数据处理后的结果。

3.2.2 对瞳孔大小波动的数据处理 对于瞳孔大小的波动,当背景亮度不变时,可以取该背景亮度下获取的瞳孔大小值的平均值作为该背景亮度下瞳孔大小的测量值,以消除瞳孔大小波动对实验结果的影响。但在驾驶员实际驾车进入隧道的过程中,驾驶员感受到的光环境(适应亮度)在不断变化,如果简单地取某一时段内瞳孔大小的平均值作为该时段瞳孔大小的值进行后续分析,将会掩盖驾驶员驾车进入隧道过程中瞳孔大小随适应亮度变化的过程。



(a) 图3所示异常数据处理结果



(b) 图4所示异常数据处理结果

图 6 异常数据处理结果

Fig. 6 Processing result of abnormal data

为了得到驾驶员驾车进入隧道过程中瞳孔大小变化的规律,采用小波分析方法处理采集到的瞳孔大小数据,并利用 MATLAB 软件编写程序处理瞳孔大小数据。

将驾驶员驾车过程中瞳孔大小随时间变化的曲线视为信号曲线,瞳孔大小的波动可视为噪声信号,用眼动仪获取的瞳孔大小的原始数据即可视为被噪声信号污染的信号。按照小波分析理论,可以采用滤波、小波变换等方法去除信号中的噪声信号。在对比分析滤波和小波变换的原理以及对瞳孔大小数据分析适用性的基础上,用小波变换处理眼动仪获取的驾驶员瞳孔大小数据,并借助 MATLAB 软件进行消除噪声信号的数据处理。

利用小波变换中小波分解、小波重构的方法能达到降噪的目的。MATLAB 的小波分析工具箱提供了 wavedec() 函数,用于一维信号的小波分解。由 wavedec() 函数分解得到的近似系数和细节系数重构原信号,则可以略去部分噪声信息。MATLAB 的小波分析工具箱中提供的 wrcoef() 函数,可以实现小波重构。经反复试算发现,在进行小波分解和重构时,在 MATLAB 中调用如下函数,对眼动仪采集到的驾驶员瞳孔大小数据而言,能够取得比较理想的降噪效果。

$$[C,L] = \text{wavedec}(x,6,'db6')$$

$$y = \text{wrccoef}(a',C,L,'db6',6)$$

其中: x 为驾驶员瞳孔大小的原始数据; y 为经降噪处理后的驾驶员瞳孔大小数据。

将图5所示瞳孔大小变化数据去除瞳孔大小异常的数据,然后利用MATLAB软件按照上述小波分解与小波重构的方法进行降噪处理,所得结果如图7所示。

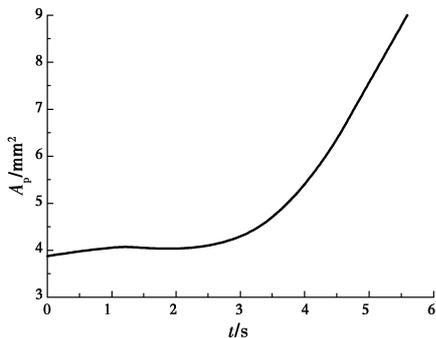


图7 图5所示瞳孔数据经小波变换后的结果

Fig. 7 Wavelet transform result of data demonstrated in Fig. 5

对比图7和图2(c)可以看出,图7所示瞳孔大小变化曲线能比较真实地反映图2(c)所示曲线的变化趋势,即经过小波变换的过程后,既实现了降低瞳孔大小波动对瞳孔大小变化趋势的影响,又保留了瞳孔大小的实际变化趋势。

4 驾驶员瞳孔大小变化规律

对经数据处理后的测量结果进行分析可以发现,在驾车进入隧道的过程中,驾驶员的瞳孔大小变化有如下规律:

1)不同驾驶员的瞳孔大小存在个体差异。

8月20日傍晚被测者SXY和XCH两人各驾车进入黄山岭隧道3次。在同一隧道的同一测试时段,近似认为隧道洞外亮度不变,黄山岭隧道在该测试时段的洞外亮度 $L_{\text{seq}} = 105.3 \text{ cd/m}^2$ 。被测者SXY在3次驾车进入黄山岭隧道过程中,在隧道接近段起点处的瞳孔面积约为 $3.5 \sim 3.8 \text{ mm}^2$;而被测者SCH在3次驾车进入黄山岭隧道过程中,在隧道接近段起点处的瞳孔面积约为 $4.0 \sim 4.3 \text{ mm}^2$ 。由此可以看出,在测试条件基本相同的情况下,不同被测者的瞳孔大小存在明显的个体差异。

2)同一驾驶员多次测试的瞳孔大小存在一定的随机性。

同一驾驶员在相近测试条件下的瞳孔大小存在

一定的随机性。如8月18日中午被测者WLP两次驾车进入龙井隧道时,在接近段起点处的瞳孔面积分别为 4.1 和 3.5 mm^2 左右;而8月18日中午被测者LJS两次驾车进入龙井隧道时,在接近段起点处的瞳孔面积分别为 3.9 和 4.6 mm^2 左右。其余被测者在一个测试时段多次驾车进入同一隧道时,各次测试在接近段起点处的瞳孔面积也大多存在类似的随机性,有时被测者在一个测试时段多次驾车进入同一隧道时的瞳孔大小差异还比较大。如8月19日中午,被测者FGH第1次驾车进入石背角隧道时,在隧道接近段起点处的瞳孔大小为 3.65 mm^2 左右;而紧接着第2次驾车接近该隧道时,在隧道接近段起点处的瞳孔大小仅为 1.65 mm^2 左右,仅为第一次时的 53.5% 。

3)在接近隧道过程中驾驶员瞳孔逐渐变大,并在隧道洞口附近急剧变大。

在驾车接近隧道过程中,虽然驾驶员瞳孔大小随时间的变化曲线并非单调递增,但其总体趋势是驾驶员的瞳孔逐渐变大,并且在开始接近隧道的阶段(从距隧道洞口一个停车视距,即 100 m 左右的位置开始)瞳孔大小变化的速率不大,即曲线的斜率不大;在即将进入隧道和刚进入隧道时(汽车行驶在隧道接近段末端和入口段始端),驾驶员的瞳孔急剧增大,即曲线的斜率快速变大。这主要是因为测试过程中汽车速度保持近似匀速,驾驶员驾车刚进入隧道接近段时,在匀速接近隧道的过程中适应亮度变小的速率不大,因此,驾驶员的瞳孔虽有增大,但增大的速率不大;而在快要进入隧道以及刚刚进入隧道时,驾驶员的适应亮度急剧减小,从而造成驾驶员的瞳孔快速增大以适应变暗的环境。进入隧道入口段后,虽然驾驶员的适应亮度已基本稳定,但由于眼睛暗适应时适应滞后现象的存在,瞳孔仍然要继续放大一段时间,直至适应隧道内相对较暗的环境后,瞳孔大小才会稳定下来。这就造成了在接近隧道的过程中驾驶员瞳孔逐渐变大,但变大的速率不大,在将要进入隧道和刚进入隧道时,驾驶员的瞳孔急剧增大。

在将要进入隧道和刚进入隧道时,驾驶员的瞳孔急剧增大,是因为在隧道洞口附近驾驶员的视觉负荷最大,即在这段行驶区域驾驶员最容易出现视觉障碍,进而导致交通事故。因此,隧道洞口附近驾驶员瞳孔发生急剧变化的区域,是采取适当措施控制交通事故发生的重点区域。

4) 不同驾驶员的瞳孔变化趋势存在一定的差异。

在从隧道接近段起点处驾车接近隧道的过程中,不同驾驶员瞳孔大小的变化趋势并不完全相同。在驾车接近隧道的过程中,有的驾驶员瞳孔面积增大较快,有的驾驶员瞳孔面积则是平稳增大;有的驾驶员瞳孔单调变大,有的驾驶员瞳孔在增大过程中还会发生波动;在接近段末端将要进入隧道和入口段的起点刚刚进入隧道时,驾驶员瞳孔大小急剧变化,但不同驾驶员瞳孔大小急剧变化持续的时间,以及急剧变化过程中瞳孔面积变化的速率也各不相同。这既有隧道内外照明条件不同的原因,也有驾驶员个体差异的原因。

5) 在驾车进入隧道的过程中,驾驶员瞳孔大小除受适应亮度的影响外,还受驾驶员的心理等因素的影响。

在驾车接近隧道的过程中,驾驶员的适应亮度逐渐降低。但在驾车接近隧道的过程中,驾驶员的瞳孔大小并不是单调递增,而是在多幅图中出现了瞳孔在增大过程中短时变小的情况。这是因为驾驶员的瞳孔大小除受适应亮度的影响外,还受驾驶员的情绪以及解决问题时遇到困难的不同程度等因素的影响^[18]。驾驶员在驾车接近隧道的过程中,其心理行为可能会受到视野中突然出现的交通标志、路边的其他景物、异常声响以及心里可能想到其他事情等因素的影响,进而情绪波动影响瞳孔的大小;驾驶员驾车高速(80 km/h 左右)接近隧道的过程,相对驾驶员而言,是表现为“黑洞”的隧道以及所在的山体快速接近驾驶员,因此有的驾驶员还可能会产生紧张情绪,或者面对快速靠近的山体会产生压迫感,这也会造成驾驶员心理状态的改变进而影响驾驶员的瞳孔大小。

5 结 论

选择福建境内 4 座高速公路隧道,在 8 月份 3 天的早晨、中午和傍晚 3 个时段,让 8 位驾驶员分别驾车进入隧道,用眼动仪记录得到了驾驶员驾车进入隧道过程中瞳孔大小变化的数据。对原始数据分析发现驾驶员瞳孔大小数据存在短时间异常偏小、偏大、瞳孔大小的波动的现象。为了分析方便,用小波变换的方法进行数据处理,得到了驾驶员驾车进入隧道过程中瞳孔大小变化曲线。分析驾驶员瞳孔大小变化曲线发现,不同驾驶员的瞳孔大小存在个

体差异;同一驾驶员多次测试的瞳孔大小存在一定的随机性;在接近隧道过程中驾驶员瞳孔逐渐变大,并在隧道洞口附近急剧变大;不同驾驶员的瞳孔变化趋势存在一定的差异;驾驶员瞳孔大小除受适应亮度的影响外,还受驾驶员的心理等因素的影响。

参考文献:

- [1] 王辉,刘浩学,赵炜华,等. 公路隧道环境中交通事故特征分析[J]. 公路, 2009(11): 144-147.
- [2] 张生瑞,马壮林,石强. 高速公路隧道群交通事故分布特点及预防对策[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2007, 27(1): 63-66.
Zhang S R, Ma Z L, Shi Q. Distribution characteristics and countermeasures of traffic accidents in expressway tunnel group [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(1): 63-66. (in Chinese)
- [3] Pokorny J, Smith V C. How much light reaches the retina [M]. Colour Vision Deficiencies, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997: XIII, 491-511.
- [4] Crawford B H. The dependence of pupil size upon external light stimulus under static and variable Conditions [J]. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 1936, 121(823): 376-395.
- [5] Birren J E, Casperson R C, Botwinick J. Age changes in pupil size [J]. Journal of Gerontology, 1950, 5(3): 216-221.
- [6] Winn B, Whitaker D, Elliott D B, et al. Factors affecting light-adapted pupil size in normal human subjects [J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 1994, 35(3): 1132-1137.
- [7] Richman J E, McAndrew K G, Decker D, et al. An evaluation of pupil size standards used by police officers for detecting drug impairment [J]. Optometry, 2004, 75(3): 175-182.
- [8] Stark L, Campbell F W, Atwood J. Pupil unrest: n example of noise in a biological servomechanism [J]. Nature, 1958, 182: 857-858.
- [9] Iacoviello D. Analysis of pupil fluctuations after a light stimulus by image processing and neural network [J]. Computer and Mathematics with Applications, 2007, 53: 1260-1270.
- [10] Colombo E, Silvia A C, Issolio Luis, et al. Pupil light reflex produced by glare under mesopic adaptation [J]. Journal of Light & Visual Environment, 2007, 31(2): 70-79.

- [11] Cheng A C, Rao S K, Cheng L L, et al. Assessment of pupil size under different light intensities using the Procyon pupillmeter [J]. J Cataract Refract Surg, 2006, 32(6): 1015-1017.
- [12] 刘瑛, 颜世龙, 叶秀兰, 等. 我国正常中青年暗适应下的瞳孔大小[J]. 眼科新进展, 2005, 25(1): 43-45.
Liu Y, Yan S L, Ye X L, et al. Scotopic pupil size in Chinese subjects [J]. Recent Advances in Ophthalmology, 2005, 25(1): 43-45. (in Chinese)
- [13] 练苹, 顾欣祖, 叶秀兰. 正常人瞳孔及瞳孔对光发射的特征[J]. 中国实用眼科杂志, 2005, 23(10): 1038-1041.
Lian P, Gu X Z, Ye X L. The characteristics of the pupil and the pupillary light reflex in the normal subjects [J]. Chinese Journal of Practical Ophthalmology, 2005, 23(10): 1038-1041. (in Chinese)
- [14] 康卫勇, 袁修干, 柳忠起, 等. 瞳孔的变化与脑力负荷关系的试验分析[J]. 航天医学与医学工程, 2007, 20(5): 364-366.
Kang W Y, Yuan X G, Liu Z Q, et al. Analysis of relations between changes of pupil and mental workloads [J]. Space Medicine & Medical Engineering, 2007, 20(5): 364-366. (in Chinese)
- [15] 李勇, 阴国恩, 陈燕丽. 阅读中疲劳、心理负荷因素对瞳孔大小的调节作用[J]. 心理与行为研究, 2004, 2(3): 545-548.
Li Y, Yin G E, Chen Y L. The regulating effect of fatigue and mental load on pupil size in text reading [J]. Studies of Psychology and Behavior, 2004, 2(3): 545-548. (in Chinese)
- [16] 李毅. 基于光生物效应的道路照明安全研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
Li Y. Study on the influence of road lighting safty based on photobiological effect [D]. Chongqing: Chongqing University, 2009. (in Chinese)
- [17] 黄海静. 大学教室照明中的光生物效应研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
Huang H J. Study on the classroom lighting in university on cirtopic [D]. Chongqing: Chongqing University, 2010. (in Chinese)
- [18] 孟庆茂, 常建华. 实验心理学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1999.

(编辑 王秀玲)