

驾驶员夜间对过街行人的视认规律

程国柱¹, 徐慧智², 莫宣艳¹

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨; 2. 东北林业大学 交通学院, 150040 哈尔滨)

摘要: 为了给合理确定人行横道处的夜间最高限速值与道路照明指标提供理论依据, 保证过街行人夜间出行安全, 开展了驾驶员夜间对过街行人的视认距离随行驶车速及路灯平均照度的变化规律研究. 针对6处人行横道单个静止并着深色衣服过街行人, 采集了8名驾驶员对其夜间视认距离的数据. 采用回归分析的方法, 构建了不同照度条件下的驾驶员夜间视认距离与行驶车速关系模型、不同车速等级下的驾驶员夜间视认距离与平均照度关系模型, 以及驾驶员夜间视认距离-行驶车速-平均照度关系模型. 结果表明, 驾驶员夜间对过街行人的视认距离随行驶车速的提高而降低, 二者呈负线性相关; 随平均照度的提高而增加, 二者呈正对数相关.

关键词: 驾驶员; 过街行人; 夜间视认距离; 行驶车速; 平均照度

中图分类号: U491 文献标志码: A 文章编号: 0367-6234(2013)06-0065-06

Driver recognition rule for crossing pedestrian at nighttime

CHENG Guozhu¹, XU Huizhi², MO Xuanyan¹

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;
2. Traffic College, Northeast Forestry University, 150040 Harbin, China)

Abstract: To provide theoretical basis for determining reasonable maximum speed limit value and lighting parameter at crosswalk, and ensure crossing pedestrian safety at nighttime, considering driving speed and average illuminance of street lamp, the change rule of driver recognition distance for crossing pedestrian was studied. Single and statistic pedestrian with dark clothes at six crosswalks were regarded as recognition object, and eight drivers' recognition distance data at nighttime were recorded. With the collected data, several regression models were established to capture the relationship among the variable of recognition distance, driving speed, and average illuminance. The result shows that the driver recognition distance at nighttime decreases with the raise of driving speed and there is negative relationship between them, and it increases with the raise of average illuminance and there is positive logarithm relationship between them.

Key words: driver; crossing pedestrian; recognition distance at nighttime; driving speed; average luminance

近年来,城市道路夜间交通事故数量居高不下,其中过街行人伤亡人数约占道路交通事故伤亡总数的1/10. 夜间车流量少、车速高,光照强度显著降低,对夜间过街行人的安全构成了极大威胁. 降低车速和提高照度是避免夜间交通冲突发

生的主要措施,我国的道路交通安全法虽然规定夜间行驶或者在容易发生危险的路段行驶时,应当降低行驶速度,但是由于缺乏理论支持,法规中并未明确给出的夜间车速限制值;城市道路照明设计标准^[1]仅规定平均水平照度不得低于人行横道所在道路的1.5倍,缺少理论依据,事实上对应不同的限速标准,人行横道处的照明指标也应有所区别. 因此,开展驾驶员夜间对过街行人的视认规律研究对于保证夜间过街行人安全具有重要的现实意义.

国外的相关研究主要侧重于针对行人的驾驶员夜视系统测试及评价以及夜间驾驶员视认特性

收稿日期: 2012-07-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51108137); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(HIT.NSRIF.2012062); 吉林省自然科学基金资助项目(201215176).

作者简介: 程国柱(1977—),男,副教授.

通信作者: 程国柱, guozhucheng@126.com.

等研究. Lim 等通过比较不同夜视系统下驾驶员对行人的感知特性,对两种夜视系统进行了对比测试^[2]. Fuchs 等研究了驾驶员与不同行人夜视系统的人机接口相互作用的评价方法^[3]. Brown 等认为,夜视系统有助于驾驶员改善其视认距离,但与此同时也会增加驾驶员的工作负担,而自动报警装置会帮助驾驶员减轻负担,提高安全性^[4]. Lim 等构建了驾驶员在夜视系统帮助下检测行人的行为特性模型,应用该模型为远红外传感与近红外传感两种夜视系统制定了各自的眼部运动策略^[5]. Wood 等的研究表明,行人衣服颜色、灯光类型及眩光是影响驾驶员感知行人特性的显著因素;另外,驾驶员自身年龄对此也有一定的影响^[6]. Wood 等分别对青年、中年和老年驾驶员在夜间的视认能力进行了试验研究,结果表明,所有年龄组驾驶员的视认能力在夜间低照度条件下都会降低,老年驾驶员更为显著^[7].

国内相关研究大多数集中于驾驶员夜间对障碍物、交通标志的视认规律. 赵炜华等运用 BP 神经网络对驾驶员昼夜动态空间距离判识规律进行了研究^[8];探索了夜间驾驶员对红绿障碍物空间距离判识差异^[9]. 潘晓东等对夜间逆光条件下驾驶员对道路标志的视认特性进行了研究,发现顺光条件下视认性较好^[10]. 姜军等采用眼动仪和 GPS 等试验设备进行了驾驶员夜间标志视认实验,构建了指路标志位置计算模型^[11].

综上所述,国外针对夜间行车安全问题,已开发了针对行人的夜视系统,并对其有效性从试验与理论角度予以评价,但是由于成本较高,在我国开展该项研究显然并不合适. 国内在夜间驾驶员视认特性方面也开展了相应研究,包括对障碍物及交通标志的空间辨识能力等,但在针对行人的驾驶员夜间视认特性研究未见报道. 因此,本文拟开展驾驶员在不同车速、不同照度条件下对过街行人视认规律的试验研究,并建立相应的理论关系模型,以期合理确定设有人行横道的路段机动车夜间最高车速限制值及人行横道处的路灯照明指标提供理论依据与数据支持.

1 试验方案设计

1.1 过街行人特征确定

对哈尔滨市 60 名出租车驾驶员展开过街行人数量、速度及衣服颜色对驾驶员视认影响的问卷调查,发现 90% 的驾驶员认为过街行人数量对夜间视认性有影响;98% 的驾驶员认为行人过街速度对夜间视认性有影响;78.3% 的驾驶员认为

行人衣服颜色对夜间视认有影响,但是在调查中许多驾驶员都认为夜间过街行人衣服颜色在较远的距离内根本无法辨别,只能分辨出明暗,只有当车辆距离过街行人很近时才能区分出衣服颜色,这种规律在低照度条件下会更加凸显.

在光照条件较好和较差的人行横道处先后进行了 3 组试验:第 1 组试验分别安排过街行人 3 名和 1 名,第 2 组试验分别安排过街行人在人行横道处静止和以约 1.5 m/s 的速度来回走动,第 3 组试验对穿着黑色和白色衣服的过街行人进行驾驶员距离测试,测得不同速度下的驾驶员视认距离. 通过对比分析发现,当过街行人数量较少、静止(或步行速度较慢)、衣服颜色较深时,驾驶员夜间对其进行视认较为困难,此时过街行人处于最危险的状态. 因此,本文在进行驾驶员夜间视认距离试验时采用最不利条件,即单个过街行人静止且着深色衣服,后续构建的模型也仅适用于着深色衣服的过街行人,因为这样计算得出的车速限制值与路灯照度值更偏于安全.

1.2 试验时间、人员及地点

为保证路面干燥,驾驶员视线良好,试验选择在晴朗无风的天气,试验时间为 20:00—24:00. 试验路段包括哈尔滨市江北区的世茂大道、天翔路、江湾路、世纪大道和天元路,试验道路总长度约 6 km,道路照明设施齐全,夜间车流量较小,路段有多处人行横道且光照条件各异,能够满足试验的要求.

考虑到驾驶新手及无夜间驾驶经验的驾驶员很少选择在夜间出行,为了能够代表夜间驾驶员的总体特征,选择 8 名操作熟练、并有夜间驾驶经验的驾驶员,驾驶员年龄分布在 25 岁至 50 岁之间,身体健康状况良好,对试验方案及研究的内容有充分的了解. 试验前,驾驶员具有充足的睡眠,未饮酒,从而可保证试验数据的准确性. 本次试验需记录员 2 名,分别负责测定时间和填写记录表. 在试验过程中,记录员应尽量保持安静,避免对驾驶员造成不必要的干扰.

1.3 试验车辆与步骤

试验车辆为哈飞面包车,在试验开始前,检测车辆运转正常,行驶性能良好,油料充足,能保障试验顺利进行. 采用 TES-1330A 照度计测量人行横道处的路灯照度值.

试验步骤如下:1) 采用照度计对试验路段的人行横道处进行路灯照度测量. 在车辆行进一侧的人行横道上选择 5 个均匀分布于路缘线与路中线之间的特征点,对各点处的照度进行观测,并计

算行人过街处的平均照度 E 。2) 在人行横道处布置过街行人,要求过街行人静止站立于人行横道处,每轮测试的位置可随机变换,避免驾驶员形成记忆,在还未看到过街行人时就猜测判断,对试验结果产生干扰。3) 驾驶员启动汽车,按照预定的行驶路线和速度 v 匀速行驶。在此过程中驾驶员应该集中注意力,切忌和记录员随意交谈,以避免分散注意力。4) 在行驶过程中,当驾驶员发现并辨别出人行横道处过街行人时立即报告,然后继续保持速度 v 匀速行驶;记录员在听到报告的同时立即按下秒表开始计时(该时刻记为 t_1)。5) 当车辆匀速行驶到人行横道处时,记录员立即

按下秒表暂停计时(该时刻记为 t_2),计算驾驶员视认距离为 $S = v(t_2 - t_1)$ 。6) 起始车速为 20 km/h,之后以 10 km/h 为步长递增速度,重复步骤 3~5,最高测试速度为 80 km/h。

2 驾驶员夜间视认距离与行驶速度关系

2.1 视认距离随行驶速度变化规律

测得不同光照条件和不同速度下的驾驶员视认距离样本数据共 336 个。对每种光照条件下的驾驶员视认距离与车速关系进行分析,如图 1 所示。

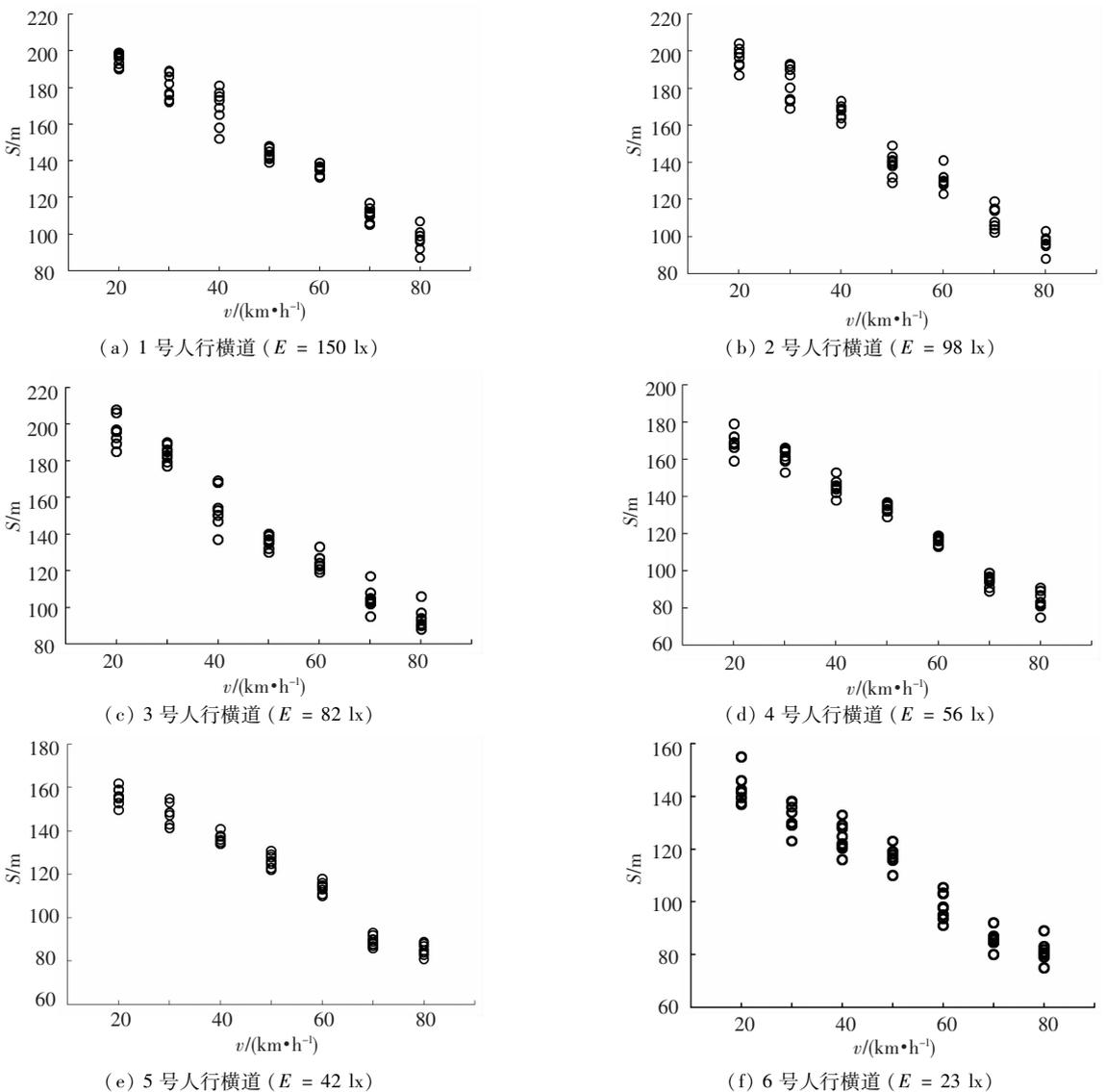


图1 不同光照条件下驾驶员夜间视认距离与行驶速度

从图1可以看出,不同光照条件下的驾驶员对过街行人的视认距离与车速关系都遵从这样一个规律:随着汽车行驶速度的逐步递增,驾驶员对过街行人的视认距离总是逐步降低的。进一步分

析发现,各光照条件下的驾驶员视认距离随行驶速度的增加而下降的趋势基本是一致的。因此,从直观上就能够判定,不同光照条件下驾驶员对过街行人的视认距离与行驶速度是显著相关的。

2.2 视认距离与行驶速度关系模型

设夜间驾驶员对过街行人的视认距离为 S_v , 汽车行驶速度为 v , 人行横道处夜间平均照度为 E . 假定驾驶员视认距离与速度的 7 种关系模型, 如表 1 所示, 其中 a 、 b 、 c 均为待标定的参数.

表 1 驾驶员夜间视认距离与车速可能的关系模型

序号	模型形式	可能的关系模型
1	线性函数	$S_v = av + c$
2	二项式	$S_v = av^2 + bv + c$
3	逆模型	$S_v = \frac{a}{v} + c$
4	幂函数	$S_v = av^b$
5	复合模型	$S_v = ab^v$
6	指数函数	$S_v = ae^{bv}$
7	对数函数	$S_v = a \ln v + c$

利用 SPSS 统计分析软件对不同光照条件下的驾驶员视认距离与行驶速度 7 种模型的参数标定, 比较相关系数后选择最优模型, 其结果如表 2 所示. 不同光照条件下的驾驶员视认距离与行驶速度的 7 种回归模型中, 线性模型和二项式函数模型对二者关系拟合度均较好, 而表 2 中给出的模型二次项系数均较小, 且一次项系数均为负, 故可认为二者呈负线性相关.

表 2 驾驶员夜间视认距离与车速最优关系模型

E/lx	最优模型	R^2
150	$S_v = -0.0030v^2 - 1.387v + 224.8$	0.967
98	$S_v = 0.0020v^2 - 1.927v + 236.3$	0.962
82	$S_v = 0.008v^2 - 2.604v + 247.82$	0.963
56	$S_v = -0.006v^2 - 0.873v + 190.69$	0.976
42	$S_v = -0.006v^2 - 0.664v + 166.6$	0.968
23	$S_v = -0.002v^2 - 0.870v + 161.32$	0.943

3 驾驶员夜间视认距离与平均照度关系

3.1 视认距离随平均照度变化规律

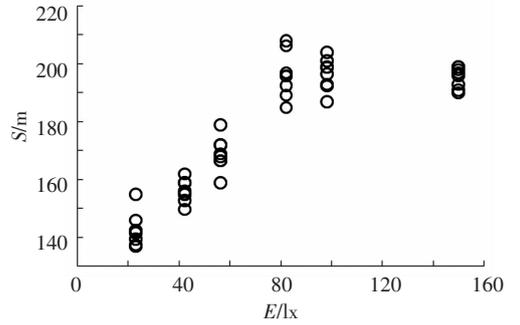
3.1.1 车速等级划分

城市道路工程设计规范规定^[12]快速路设计速度为 100、80、60 km/h, 支路设计速度为 40、30、20 km/h, 据此本文确定的车速等级为: 低速时 $v \leq 40$ km/h, 中速时 40 km/h $< v \leq 60$ km/h, 高速时 $v > 60$ km/h.

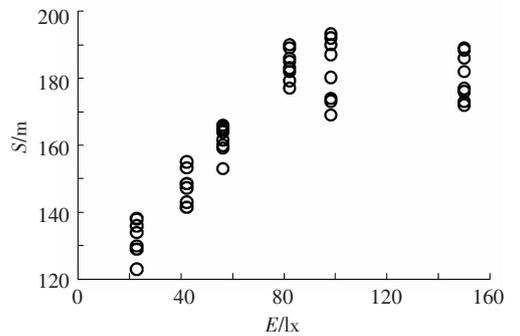
3.1.2 低速条件下视认距离变化规律

低速条件下的驾驶员视认距离如图 2 所示. 从图中可以看出, 随着平均照度的逐步增长, 驾驶员视认距离也逐渐增大. 在低速状态下, 平均照度为 20~80 lx 时, 驾驶员视认距离随平均照度的增长增速较快. 在此之后随着平均照度的增长, 视认

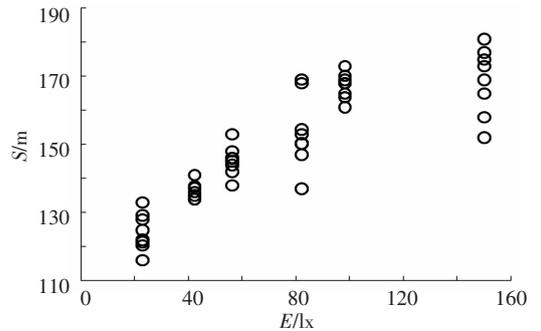
距离增速逐渐放缓. 这说明夜间光照对视认距离的影响增长到一定程度后, 其作用就趋于稳定, 此时即使再提高光照强度, 驾驶员视认距离的增长也将十分有限.



(a) $v = 20$ km/h



(b) $v = 30$ km/h



(c) $v = 40$ km/h

图 2 低速时驾驶员视认距离与平均照度

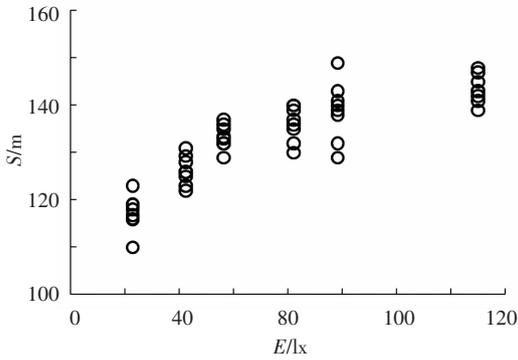
3.1.3 中速条件下视认距离变化规律

中速条件下的驾驶员视认距离如图 3 所示, 从图中可以看出, 两个行驶速度下的驾驶员视认距离都随着平均照度的增长而增大. 与低速行车条件下的规律相类似, 在较低光照强度下, 视认距离随平均照度的增长增速较快, 但是其范围有所缩小; 随着平均照度越来越大, 驾驶员视认距离逐步趋于稳定.

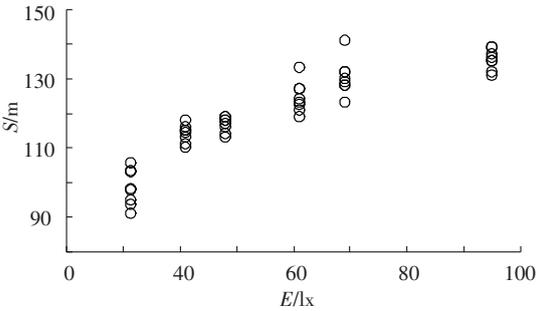
3.1.4 高速条件下视认距离变化规律

高速条件下的驾驶员视认距离如图 4 所示, 从图中可以看出, 高速行车时视认距离与平均照度的变化规律, 仍然是随着平均照度的提高, 驾驶员对过街行人的视认距离逐步增大. 但是与低速

和中速条件下相比, 这种增长趋势的显著性逐渐减弱。

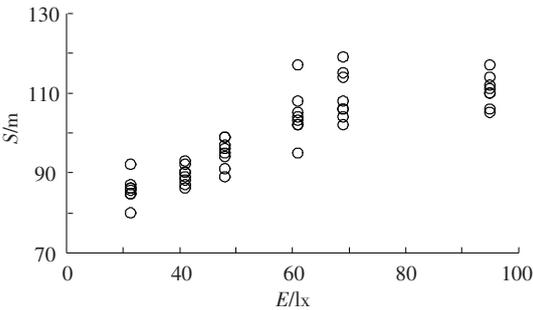


(a) $v = 50 \text{ km/h}$

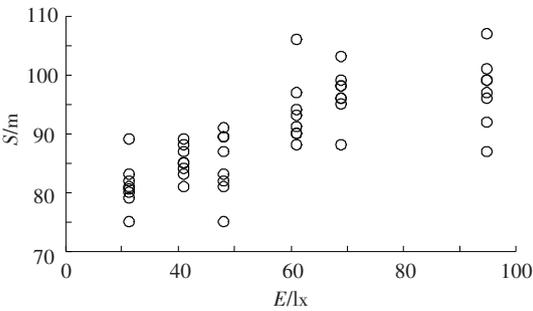


(b) $v = 60 \text{ km/h}$

图 3 中速时驾驶员视认距离与平均照度



(a) $v = 70 \text{ km/h}$



(b) $v = 80 \text{ km/h}$

图 4 高速时驾驶员视认距离与平均照度

3.2 视认距离与平均照度关系模型

假定驾驶员视认距离与平均照度的 6 种关系模型如表 3 所示, 其中 a, b, c 均为待标定的参数。

利用 SPSS 统计分析软件对不同速度条件下的驾驶员视认距离与平均照度 6 种模型的参数标定, 比较相关系数后选择最优模型, 其结果如表 4 所示。从表中可以看出, 驾驶员夜间视认距离与平

均照度的关系在低速、高速时均为二项式, 在中速条件下为正自然对数。

表 3 驾驶员夜间视认距离与平均照度间的关系模型

序号	关系模型
1	$S_v = aE + c$
2	$S_v = aE^2 + bE + c$
3	$S_v = \frac{a}{E} + c$
4	$S_v = aE^b$
5	$S_v = ae^{bE}$
6	$S_v = a \ln E + c$

表 4 驾驶员夜间视认距离与平均照度最优的关系模型

$v / (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	最优模型	R^2
20	$S_v = -0.006E^2 + 1.513E + 107.53$	0.915
30	$S_v = -0.006E^2 + 1.418E + 99.36$	0.899
40	$S_v = -0.003E^2 + 0.900E + 104.60$	0.842
50	$S_v = 14.044 \ln E + 74.277$	0.832
60	$S_v = 19.758 \ln E + 37.927$	0.903
70	$S_v = -0.0018E^2 + 0.536E + 72.538$	0.814
80	$S_v = -0.0011E^2 + 0.3305E + 73.049$	0.713

4 驾驶员夜间视认距离 - 行驶速度 - 平均照度关系模型

从上述分析可知, 驾驶员视认距离随车速和光照强度的变化呈现出这样的规律: 当人行横道处光照条件一定时, 驾驶员视认距离随车速的逐渐增长而降低, 对视认距离随车速变化规律描述得较好的是二项式函数和线性函数; 当车辆行驶速度一定时, 驾驶员视认距离随人行横道处光照强度的增长而逐渐增大, 但这种增长趋势并不是恒定不变的, 当光照强度提高到一定值后增长趋势有所放缓, 对视认距离随光照强度变化规律描述得较好的是二项式函数和对数函数。

对驾驶员夜间视认距离与车速、平均照度的可能关系模型进行假设, 运用数理统计分析软件 SPSS, 对试验采集到的 336 个数据进行分析, 得到可能关系模型中的参数及相关系数, 见表 5。对表中各模型形式进行对比, 模型 5、模型 6 和模型 7 失败, 对其余关系模型的选择以相关系数最高为标准, 得到驾驶员夜间视认距离 - 车速 - 平均照度最优关系为模型 3, 即

$$S_v = -1.5v + 21.056 \ln E + 120.5.$$

从模型形式来看, 夜间驾驶员对过街行人的视认距离与车速基本成负线性关系, 与人行横道处平均光照强度呈正自然对数关系。

表5 驾驶员夜间视认距离-车速-平均光照强度模型

序号	关系模型	a	b	c	d	k	$\overline{R^2}$
1	$S_v = av + bE + c$	-1.5	0.287			186.3	0.918
2	$S_v = a \ln v + bE + c$	-64.1	0.287			356.2	0.881
3	$S_v = av + b \ln E + c$	-1.5	21.056			120.5	0.968
4	$S_v = a \ln v + b \ln E + c$	-64.1	21.056			290.4	0.901
5	$S_v = av^2 + bv + cE^2 + dE + k$	0	-1.391	-0.003	0.85	165.6	0.924
6	$S_v = av^2 + bv + c \ln E + k$	0	-1.391	21.056		118.3	0.912
7	$S_v = ae^{bv} + c \ln E + k$	0	1.000	34.768		26.0	0.211
8	$S_v = av + bE^c + k$	-1.5	3 390.500	0.006		-3 269.0	0.833

5 结 论

1) 在一定的光照条件下, 驾驶员夜间对过街行人的识别距离随行驶速度的提高而下降, 构建的不同照度条件下驾驶员夜间视认距离与行驶速度关系模型表明, 二项式函数对二者关系拟合度最好, 但模型的二次项系数均较小, 且一次项系数均为负, 故可认为二者近似呈负线性相关。

2) 在一定的行驶速度条件下, 驾驶员夜间对过街行人的视认距离随平均照度的提高而提高, 构建的不同车速条件下驾驶员夜间识别距离与平均照度关系模型表明, 夜间视认距离与平均照度的关系在低速、高速条件下均为二项式, 在中速条件下为正自然对数。

3) 构建的驾驶员夜间视认距离与平均照度、行驶速度多元关系模型表明, 驾驶员夜间视认距离与行驶速度、平均光照强度分别呈负线性和正对数相关。

参考文献

- [1] CJJ 45—2006. 城市道路照明设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [2] LIM J H, TSIMHONI O, LIU Y. Investigation of driver performance with night vision and pedestrian detection systems: empirical study on visual clutter and glance behavior [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3): 670–677.
- [3] FUCHS K, ABENDROTH B, BRUDER R. Night vision-reduced driver distraction, improved safety and satisfaction [C]//Proceedings of the 8th International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Berlin: Springer-Verlag, 2009: 367–375.
- [4] BROWN T, HE Y, ROE C, *et al.* Is more better?—night vision enhancement system's pedestrian warning modes and older drivers [J]. Annals of Advances in Automotive Medicine, 2010, 54(1): 343–350.
- [5] LIM J H, LIU Y, TSIMHONI O. Investigation of driver performance with night-vision and pedestrian-detection systems: queuing network human performance modeling [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(4): 765–772.
- [6] WOOD J M, TYRRELL R A, CARBERRY T P. Limitations in drivers' ability to recognize pedestrians at night [J]. Human Factors, 2005, 47(3): 644–653.
- [7] WOOD J M, OWENS D A. Standard measures of visual acuity do not predict drivers' recognition performance under day or night conditions [J]. Optometry and Vision Science, 2005, 82(8): 698–705.
- [8] 赵炜华, 刘浩学, 赵建有, 等. 基于BP神经网络的驾驶员昼夜动态空间距离判别规律[J]. 中国公路学报, 2010, 23(2): 92–98.
- [9] 赵炜华, 刘浩学, 毕仁忠, 等. 驾驶员对夜间红绿障碍物空间距离判别差异[J]. 重庆交通大学学报, 2009, 28(6): 1079–1082.
- [10] 潘晓东, 林雨, 郭雪斌, 等. 逆光条件下交通标志的可视距离研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(5): 118–120.
- [11] 姜军, 陆建, 李娅. 基于驾驶员视认特性的城市道路指路标志设置[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2010, 40(5): 1089–1092.
- [12] CJJ 37—2012. 城市道路工程设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

(编辑 魏希柱)