

# 军用红外车载驾驶仪人机功效分析

王红培

(中国华阴兵器试验中心, 陕西 华阴 714200)

**摘要:**提出了军用红外车载驾驶仪的人机功效关系模型,从驾驶视野性、视觉舒适性和操纵舒适性三个方面对军用红外车载驾驶仪的人机功效进行了研究。运用理论分析、模拟仿真及实验等方式,分析得出了军用红外车载驾驶仪人机功效的影响因素、评价重点内容及评价准则。研究成果能够为军用红外车载驾驶仪的人机系统设计提供依据,为其人机功效评价提供参考。

**关键词:**红外车载驾驶仪;人机功效;驾驶视野性;视觉舒适性;操纵舒适性

**中图分类号:**TN219;TH745 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2022.06.016

## Man-machine efficacy analysis of military infrared vehicle driver

WANG Hong-pei

(Huayin Ordnance Test Center of China, Huayin 714200, China)

**Abstract:**In this paper, the man-machine efficacy relationship model of infrared vehicle driver is proposed. The man-machine efficacy of military infrared vehicle drivers studied from three aspects of driving vision, visual comfort and operating comfort. By means of theoretical analysis, simulation and experiment, the influencing factors, key contents and evaluation criteria are analyzed and obtained. The research results can provide a basis for the man-machine system design and a reference for man-machine efficacy evaluation.

**Keywords:**infrared vehicle driver; man-machine efficacy; driving vision; visual comfort; operating comfort

### 1 引言

红外车载驾驶仪在军事上主要用于军事车辆装备的战场机动,能够实时探测和显示车辆前方路况的视频图像,辅助驾驶员驾驶车辆,实现夜间和恶劣天气条件下的快速隐蔽机动,支持军用车辆全天候、全天候作战,在世界军事领域得到日益广泛的应用。红外车载驾驶仪辅助驾驶过程中,驾驶员作为有意识的主体起着主导作用,人机功效也因此成为决定红外车载驾驶仪作战效能的关键因素之一。

近年来国内外对红外车载驾驶仪的研究取得许多成果,如燕山大学的刘秋锦<sup>[1]</sup>、电子科技大学的

吴传福<sup>[2]</sup>、华南理工大学的边二涛<sup>[3]</sup>等对红外车载夜视系统进行了研究设计;Brehar R<sup>[4]</sup>、Hwang S<sup>[5]</sup>、王国华<sup>[6]</sup>等对车载红外行人检测算法进行了研究;Lu Yuesheng<sup>[7]</sup>、Michelle A G<sup>[8]</sup>等基于红外成像技术进行了夜间车载行人探测系统的设计和实验验证;沈振一<sup>[9]</sup>、范德营<sup>[10]</sup>等对车载红外视频图像的三维重建和彩色化进行了研究。但这些研究主要集中在系统设计、行人检测算法、视频图像处理等方面,对军用红外车载驾驶仪人机功效进行系统性的研究较少。为此,本文研究分析军用红外车载驾驶仪的人机功效评价关系,以驾驶视野性、视觉舒适性和操纵舒适性为重点,对军用红外车载驾驶仪的人

基金项目:军队试验技术研究重点项目(No. 2019SY02A09002)资助。

作者简介:王红培(1987-),男,博士,主要从事侦察情报装备试验技术方面的研究工作。E-mail:realwhp@163.com

收稿日期:2021-08-30;修订日期:2021-09-30

机功效进行分析和评价。

### 2 人机工效关系模型

军用红外车载驾驶仪一般由红外探测器和显示器两大部分组成,红外探测器安装于车外用于探测路况信息,显示器安装于驾驶室内供驾驶员观察。其基本工作原理为如图 1 所示。

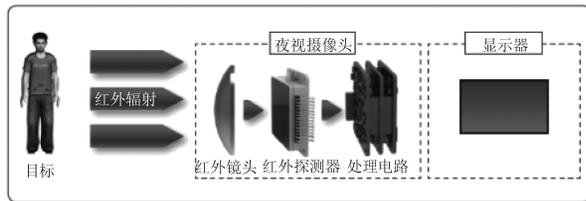


图 1 红外车载驾驶仪工作原理

Fig. 1 Working principle of infrared vehicle driver

研究红外车载驾驶仪的人机功效,需要从系统整体的高度,分析处理人、机、车、环四大要素的相互关系和变化规律。对于人机关系的研究模型,英国学者 Elwyn Edwards 于 1995 年提出了 SHEL 模型<sup>[11]</sup>,用以研究系统软件 (Software)、硬件 (Hardware)、环境 (Environment) 和人员 (Liveware) 之间的关系。根据军用红外车载驾驶仪的特点,辅助驾驶过程中驾驶员无需对其进行过多的操作,因此本文将 SHEL 模型简化,提出了 HEL 模型,将车辆、行车环境统一划归为系统环境的范围。因而该模型所蕴含关系可概括为两种:一是 L-H 关系,即驾驶员与红外车载驾驶仪的交互关系,核心是驾驶员与显示器的人机界面交互关系;二是 L-E 关系,即驾驶员与驾驶室空间、照明、外部环境照度、路面等行车环境因素的关系。

根据红外车载驾驶仪的辅助驾驶特征,以驾驶员为中心分析人机交互关系,可将驾驶员对司机功效的需求可分为三层。如图 2 所示,最基本的需求是安全行车,要求红外车载驾驶仪和车辆共同构成的视场,具备良好的视野性,从而将路况信息顺畅的传递给驾驶员;更进一步的需求是高效行车,要求红外车载驾驶仪和外部环境共同构成的人机观察界面,具备良好的观察效果,便于驾驶员长时间观察行车;最顶层的需求是舒适行车,要求红外车载驾驶仪和车辆共同构成的空间结构状态,具备方便、舒适的可操作性,使驾驶员在辅助驾驶过程中实现舒适的操作、驾驶体验,从而更好的完成行车任务。因此,对于军用红外车载驾

驶仪的人机功效进行评价,视野性、视觉舒适性和操纵舒适性是核心内容。

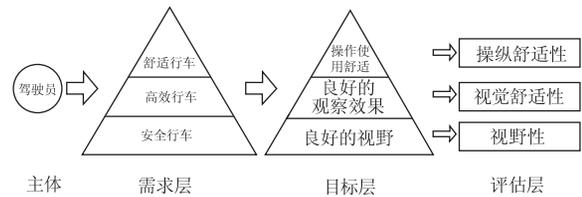


图 2 人机功效评价概念模型

Fig. 2 Conceptual model of man-machine efficacy evaluation

### 3 驾驶视野性分析

红外车载驾驶仪驾辅助驶过程中,分析其视觉信息传导过程,可将驾驶视野性区分为驾驶员视区和驾驶仪视区来评价。

#### 3.1 驾驶员视区分析

辅助驾驶过程中,人眼和显示器的交互决定了驾驶员对路况信息的获取。驾驶员视区是指头部和眼睛在规定的条件下,人眼可觉察到的水平面与铅垂面内所有的空间范围。根据人机工效学资料,人体在坐姿下的自然视线是向下 15°,最佳眼动界限是上下 30°。人眼最佳直接视野是左右 25°。对于红外车载驾驶仪而言,显示器的尺寸、安装位置和倾角应符合驾驶员的人眼视野特性。相关国军标中规定,对于军用显示器的布局,最佳视区一般位于水平视线以下 15°~45°、左右距主视线 15°的视区内,如图 3 所示。

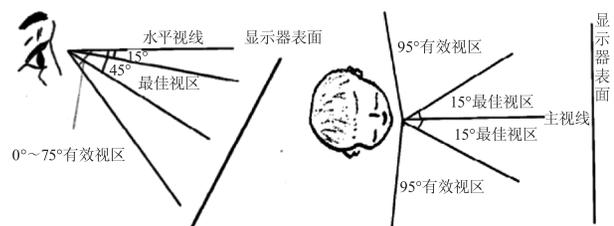


图 3 军用显示器观察人眼最佳视区

Fig. 3 Best human viewing area of military display

考虑到军事车辆行车过程中路况的复杂性和需高度关注的安全性,红外车载驾驶仪显示器安装位置应在满足国军标规定的前提下,同时便于较好地观察视频图像。因此,水平面最佳的视野显示范围可取标准视线的左右 15°范围内,垂直平面最佳的视野范围可取水平视线以下 30°范围内。同时为了适应驾驶员的视角变化,显示器屏幕角度的调节范围也应该控制在此范围之内。

#### 3.2 红外车载驾驶仪视区分析

红外车载驾驶仪的摄像头决定了系统对路况

信息的探测范围,该范围可用红外车载驾驶员视区来表征,其大小主要与摄像头的光学视场和安装位置相关。

为了定量分析红外车载驾驶员的视区和盲区,将摄像头探测到的前方道路最近点与安装位置的地面距离定义为落地距离,将落地距离处道路左右方向上可视的最远距离定义为可见路宽,如图4所示。可以看出,垂直方向上大于等于落地距离的区域为可视区域,落地距离越小盲区越小;可见路宽越大,水平方向上的盲区越小,可视范围越大。

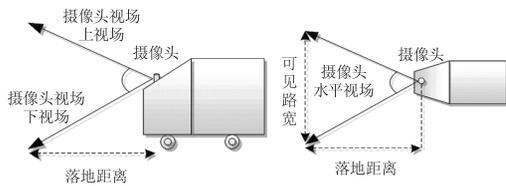


图4 红外车载驾驶员的垂直、水平视区

Fig. 4 Vertical and horizontal viewing areas of infrared vehicle driver

假设摄像头的水平、垂直视场分别为  $\alpha, \beta$ , 摄像头在车体上的安装高度为  $L$ , 可见路宽为  $x$ , 落地距离为  $y$ 。如图5所示,则满足以下关系:

$$\begin{cases} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{x}{2y} \\ \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{L}{y} \end{cases} \quad (1)$$



图5 红外车载驾驶员视区计算示意图

Fig. 5 Visual area calculation of infrared vehicle driver

根据上述关系进行仿真分析,落地距离与摄像头安装高度的关系如图6所示,可以看出二者关系为正相关,因此为了减少盲区摄像头安装高度不宜太高。当然摄像头安装也不能过低,否则太接近地面,视线容易被路面上凹凸起伏、杂草等的遮挡。安装高度可选择为0.5~1.5 m,此时落地距离为1.9~5.6 m(垂直视场为30°时)。

落地距离与摄像头垂直视场的关系如图7所示,可以看出二者关系为负相关。当垂直视场小于10°时,安装高度为1 m和1.5 m时的落地距离均超过10 m。因此摄像头设计时垂直视场应大于10°,当然视场过大也会给设计生产带来额外的负担,可

根据实际需求进行合理选择。摄像头垂直视场可选择为 $\geq 25^\circ$ ,这样安装高度为1.5 m、1 m时的落地距离分别小于7 m、小于5 m。

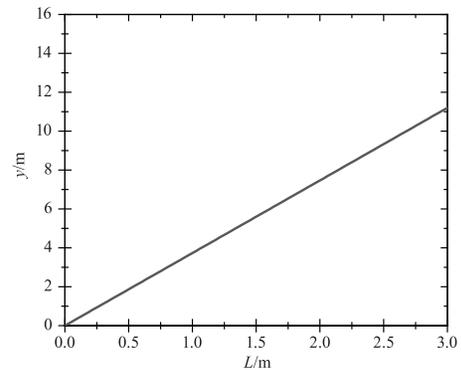


图6 落地距离与摄像头安装高度的关系

Fig. 6 Relationship between landing distance and camera installation height

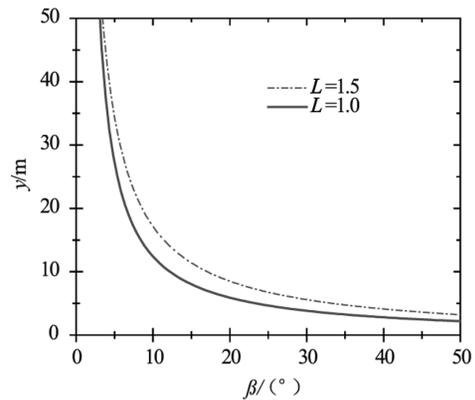


图7 落地距离与摄像头垂直视场的关系

Fig. 7 Relationship between landing distance and camera vertical viewing field

可见路宽与摄像头安装高度的关系如图8所示,二者关系为正相关。一般单车道宽度为3 m左右,要求红外车载驾驶员的可见路宽应 $\geq 3$  m,当摄像头水平垂直视场均为 $25^\circ$ 时要求安装高度 $\geq 1.5$  m。而过大的安装高度会造成落地距离的增大,进而增大垂直方向上的盲区。

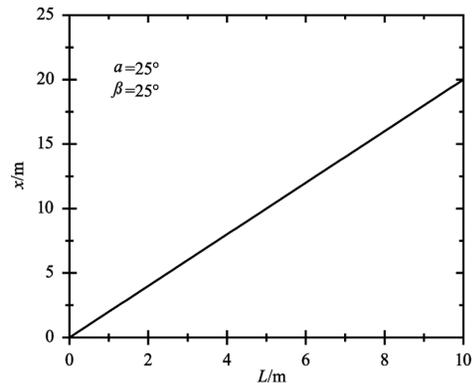


图8 可见路宽与摄像头安装高度的关系

Fig. 8 Relationship between visible road width and camera installation height

可见路宽与摄像头水平视场的关系如图 9 所示(摄像头垂直视场为  $25^\circ$ ),二者的关系同样为正相关。安装高度为 1 m 和 1.5 m 的条件下,当摄像头水平视场为  $30^\circ$  时可见路宽分别为 2.5 m、3.6 m,当摄像头水平视场为  $36^\circ$  时可见路宽分别为 3.0 m、4.4 m。

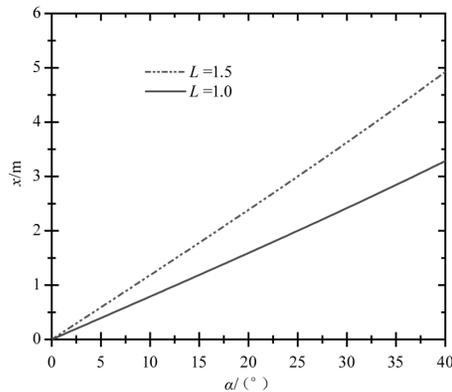


图 9 可见路宽与摄像头水平视场的关系

Fig. 9 Relationship between visible road width and camera horizontal viewing field

因此,为减小落地距离、增大可见路宽,达到尽量减少驾驶盲区的目的,应综合考虑选择摄像头的水平视场、垂直视场及安装高度。根据上述分析,摄像头垂直视场可选择  $\geq 25^\circ$ ,水平视场选择  $\geq 36^\circ$ ,安装高度选择 1 ~ 1.5 m,此时落地距离  $< 5$  m、可见路宽  $\geq 3$  m,基本能够满足正常行车需求。

## 4 视觉舒适性分析

### 4.1 视觉舒适性影响因素分析

行车过程中视觉是驾驶员获取路况信息的唯一途径,为保证行车安全,驾驶员观察显示器应具备良好的视觉感受性,即视觉舒适性。视觉舒适性较差时,不仅会影响驾驶员对路况信息的感知,也容易导致疲劳,影响行车效率和安全。良好的视觉舒适性应具备以下条件:(1)驾驶员具有正常的视觉感知能力,即视力正常;(2)显示器所产生的视觉刺激,具有足够的强度被驾驶员所接收;(3)显示器和外部环境构成的光环境,使驾驶员眼镜处于一个舒适的状态。

可见,视力水平正常条件下,驾驶员的视觉舒适性主要受显示器性能因素和光环境因素影响。其中,显示器性能因素主要包括显示器的亮度、对比度、分辨率、刷新频率等参数;光环境因素主要是是外部环境影响下的车内光环境。随着显示器性能的不

断发展,对比度和分辨率已经不再是制约显示效果的主要因素。因此,显示器屏幕亮度和光环境因素是分析评价视觉舒适性的重点。其中,光环境主要通过屏幕反射光亮度和人眼的适应性,来影响其视觉感知。鉴于红外车载驾驶仪的使用时机主要是夜间和低能见度天气,环境照度相对较低,本文将主要研究对人眼适应性的影响。

光环境对人眼适应性的影响主要是基于人眼对亮度的响应特性来实现的。在照度不同的环境下,人眼对同一亮度会具有不同的响应值<sup>[12]</sup>。如图 10 所示,每幅图中小方块的亮度相同,其背景亮度由小到大变化时,人眼会产生不同的观察效果。



图 10 环境照度变化下的视觉差异性

Fig. 10 Visual difference under ambient illumination change

目前研究<sup>[13]</sup>中,日本厚生劳动省颁布的“显示器作业指南”中推荐照度为 500 lux 以下;美国国家劳动安全卫生研究所推荐的照度为 500 ~ 700 lux;还有研究发现 45 % 的作业者认为适宜照度为 400 ~ 600 lux,40 % 认为适宜照度为 200 ~ 400 lux。

### 4.2 基于环境照度的显示器亮度调节试验

红外车载驾驶仪使用时机多为低照度环境,显示器亮度对驾驶员视觉的影响极大。为了探索基于环境照度的显示器亮度适应性特点和规律,进行了基于环境照度的显示器亮度调节试验。

试验在野外夜天光环境下进行,照度环境为傍晚到夜间的实际照度,当天为农历 4 月 21 日,日落时间为 19:56、月出时间为 23:50。试验对象为某型驾驶仪,其显示亮度可手动调节。试验中使用 KWZ-2000 微光照度计测试环境照度,使用 PR-670 亮度色度计测试显示器的显示亮度。

测试显示器的显示亮度时,图像背景为土路,路面相对比较平整且在显示器中的亮度显示比较均匀,取路面显示区域 3 个不同的点进行测试。

试验观察人员 3 人,视力正常且不低于 1.5,拥有正常的色觉和光照变化适应明暗功能,年龄 18 ~ 35 岁,在不同的照度环境下观察显示器图像,并根据视觉舒适性情况进行亮度调节。通过试验,得到亮度调节数据如表 1 所示。

表 1 亮度调节试验结果  
Tab. 1 Brightness adjustment test results

时刻	环境照度 lx	显示器适宜亮度/(cd·m <sup>-2</sup> )								
		1#观察人员			2#观察人员			3#观察人员		
20:30	9.1 × 10 <sup>-3</sup>	30.09	28.73	33.14	30.09	28.73	33.14	30.09	28.73	33.14
21:00	5.9 × 10 <sup>-3</sup>	24.69	22.45	24.78	24.69	22.45	24.78	28.94	25.47	27.40
21:30	3.9 × 10 <sup>-3</sup>	17.43	15.77	16.32	17.43	15.77	16.32	24.88	22.19	25.17
22:00	3.0 × 10 <sup>-3</sup>	16.31	13.77	16.99	16.31	13.77	16.99	19.82	18.84	19.62
22:30	2.5 × 10 <sup>-3</sup>	13.48	10.97	13.13	13.48	10.97	13.13	13.48	10.97	13.13

可以看出,不同环境照度下的显示器适宜亮度存在显著差异,说明驾驶员的视觉舒适性受环境照度的影响较大。同时,3名驾驶员中有2名调节的亮度档位比较一致,另外1名稍有差异。说明由于每名驾驶员的生理需求不同,其亮度调节数据存在一定的个性化差异,但是差异性并不显著。

现代心理物理学中,史蒂文斯通过使用数量估计法得到了大量的试验数据并据此来研究刺激强度与感觉量的关系。Rudd等研究<sup>[14]</sup>指出,孤立表面的亮度与照度的关系可用史蒂文斯幂定律表示。陈硕等的研究<sup>[15]</sup>表明,史蒂文斯幂函数能够拟合人眼亮度对比的试验模型。

因此,根据人眼视觉认知规律特点,可将红外车载驾驶仪显示器适宜亮度与环境照度的关系,用史蒂文斯幂函数表示为

$$L = aI^b \tag{2}$$

式中,  $I$  为环境照度,单位为 lx;  $L$  为红外车载驾驶仪显示适宜亮度,单位为  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ;  $a$ 、 $b$  分别为幂函数的拟合参数。

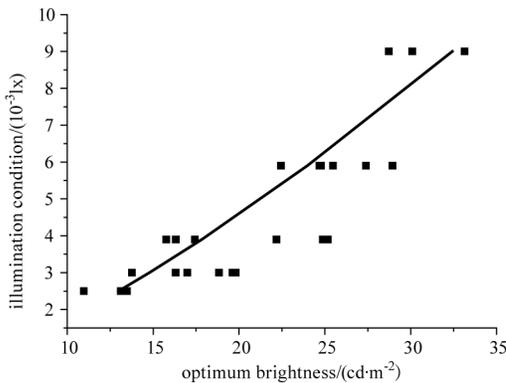


图 11 显示适宜亮度与环境照度关系曲线

Fig. 11 Relationship between display appropriate brightness and ambient illuminance

根据表 1 的试验结果,对史蒂文斯幂函数模型进

行参数拟合,可以得出  $a = 941$ ,  $b = 0.715$ ,拟合曲线如图 11 所示。红外车载驾驶仪的主要使用场景为夜间,照度环境一般为  $10^{-2}\text{lx} \sim 10^{-4}\text{lx}$ ,因此根据拟合曲线得出,显示器适宜亮度为  $6 \sim 35 \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

### 5 操纵舒适性分析

#### 5.1 操纵舒适性影响因素分析

红外车载驾驶仪辅助驾驶过程中,驾驶员对红外车载驾驶仪的操纵主要包括两个方面:一是坐姿下对显示器视频图像的观察,驾驶员的关注点是坐姿观察的舒适性;二是坐姿下对各项功能按键的操作,驾驶员的关注点是对各项功能的调节是否方便快捷。因此可将操纵舒适性进一步分解为坐姿观察舒适性和操作便捷性。其影响因素如图 12 所示。对于红外车载驾驶仪的使用,考虑到行车前调节完毕后,行车过程中一般不需要进行过多的操作,因此对于操纵舒适性进行评价,可将坐姿观察舒适性作为重点。

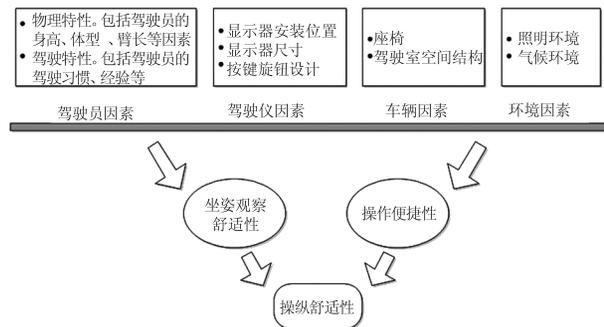


图 12 操纵舒适性影响因素

Fig. 12 Influencing factors of operating comfort

#### 5.2 坐姿观察舒适性分析

坐姿是驾驶员完成行车任务的基本姿态,长时间行车过程中,驾驶员很容易因为坐姿不当造成疲劳。坐姿观察舒适性包括头颈部、背部、腰部、臀部、腿部的舒适,观察显示器时驾驶员头颈部的舒适是

重点,其他部位的感受主要与汽车座椅有关。这就要求显示器所处的位置,应使驾驶员观察时头颈部处于一个舒适的状态。

可以看出,红外车载驾驶仪显示器的安装位置对驾驶员观察姿态有决定性作用。因此,显示器安装位置应方便驾驶员观察,避免驾驶员长时间仰头、低头或扭头,从而增加驾驶颈部或腰部的疲劳感。通过前文的分析可知,驾驶员处于正常坐姿时,其最佳视野范围为:标准视线水平面上的 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 范围,垂直平面最佳的视野范围为 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 范围。如图 13 所示,显示器的屏幕要位于驾驶员的最佳视野范围内,与显示器屏幕尺寸和与人眼距离  $L$  有关。

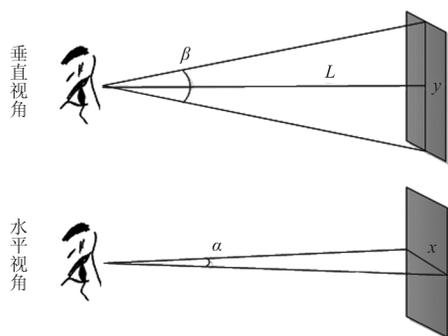


图 13 观察距离与显示器屏幕尺寸关系示意图

Fig. 13 Relationship between observation distance and display screen size

则有:

$$\begin{cases} 2\arctan\left(\frac{x}{2L}\right) \leq 20^{\circ} \\ 2\arctan\left(\frac{y}{2L}\right) \leq 30^{\circ} \end{cases} \quad (3)$$

即:

$$\begin{cases} x \leq 0.3526L \\ y \leq 0.5328L \end{cases} \quad (4)$$

通常情况下观察目标在 560 mm 处最为适宜,小于 380 mm 时会引起目眩,视疲劳程度增加,超过 760 mm 时会影响细节的观察。正常坐姿下,驾驶员眼睛到前挡风玻璃的距离约为 500 mm,即  $380 \text{ mm} \leq L \leq 500 \text{ mm}$ 。

目前显示器的长宽比一般为 4 : 3 或 16 : 9,可以计算出,若红外车载驾驶仪显示器屏幕长宽比为 4 : 3,其最佳尺寸为 8.5 ~ 11.5 in;若红外车载驾驶仪显示器长宽比为 16 : 9,其最佳尺寸为 9 ~ 12 in。显示器屏幕超出最佳尺寸时,一部分显示内容在驾

驶员眼睛的标准视线之外,且显示器的体积和重量会大幅度增加,安装困难;当然显示器屏幕也不能过小,否则容易使驾驶员分辨路况和障碍物困难,不仅带来安全隐患,过度紧盯屏幕观察也容易导致眼睛和头颈部的疲劳。

## 6 结 论

(1) 根据提出的军用红外车载驾驶仪人机功效关系模型,分析认为驾驶视野性、视觉舒适性和操纵舒适性是人机功效评价的核心内容。

(2) 驾驶视野性评价的重点是驾驶员视区和驾驶仪视区,其中驾驶员视区与显示器安装位置有关,分析得出了其最佳安装位置为水平面标准视线的左右  $15^{\circ}$ 、垂直平面水平视线以下  $30^{\circ}$  的范围内;驾驶仪视区与摄像头视场和安装位置有关,为减少辅助驾驶盲区,应尽量减小落地距离、增大可见路宽,摄像头垂直视场可选择  $\geq 25^{\circ}$ ,水平视场选择  $\geq 36^{\circ}$ ,安装高度选择 1 ~ 1.5 m。

(3) 视觉舒适性评价的重点是光环境对人眼适应性的影响,基于环境照度的显示器亮度调节试验结果表明驾驶员的视觉舒适性受环境照度的影响较大;引入史蒂文斯幂函数模型,通过参数拟合得出显示器的适宜亮度为  $6 \sim 35 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

(4) 操纵舒适性评价的重点是坐姿观察舒适性,其中显示器的安装位置对驾驶员观察姿态有决定性作用;从显示器屏幕尺寸与人眼距离之间的关系入手,分析得出屏幕长宽比为 4 : 3 时最佳尺寸为 8.5 ~ 11.5 in,长宽比为 16 : 9 时最佳尺寸为 9 ~ 12 in。

## 参考文献:

- [1] Liu Qiujin. Research of vehicular infrared night vision system[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2014. (in Chinese)  
刘秋锦. 车用红外夜视系统研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2014.
- [2] Wu Chuanfu. Research and design of vehicle infrared thermal imaging system[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2015. (in Chinese)  
吴传福. 车载红外热成像系统的研究与设计[D]. 成都:电子科技大学, 2015.
- [3] Bian Ertao. Automotive night-vision system based on in-

- frared thermal imaging[D]. Guangzhou; South China University of Technology, 2015. (in Chinese)
- 边二涛. 基于红外热成像的车载夜视系统[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [4] Brehar R, Vancea C, Nedevschi S. Pedestrian detection in infrared images using aggregated channel features[C]// IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, 2014: 127 - 132.
- [5] Hwang S, Park J, Kim N, et al. Multispectral pedestrian detection; Benchmark dataset and baseline[C]// Computer Vision and Pattern Recognition, 2015: 1037 - 1045.
- [6] Wang Guohua, Liu Qiong, Zhang Jiajun. Method research on vehicular infrared pedestrian detection based on local features [J]. Acta Electronica Sinica, 2015, 43 (7): 1444 - 1448. (in Chinese)
- 王国华, 刘琼, 庄家俊. 基于局部特征的车载红外行人检测方法研究 [J]. 电子学报, 2015, 43 (7): 1444 - 1448.
- [7] Lu Yueshen, Michael J H, William R L, et al. Imaging system for vehicle [J]. US Patent App, 2018, 16 (10): 581.
- [8] Michelle A G, Marco J F. Pedestrian detection at night based on faster R-CNN and far infrared images[C]// Intelligent Robotics and Applications, 2018: 335 - 345.
- [9] Shen Zhenyi, Sun Shaoyuan, Zhao Haitao. Three-Dimensional reconstruction from monocular vehicular infrared images based on PP-MRF model[J]. Journal of Donghua University, 2015, 41(3): 341 - 347. (in Chinese)
- 沈振一, 孙韶媛, 赵海涛. 基于 PP-MRF 模型的单目车载红外图像三维重建[J]. 东华大学学报, 2015, 41 (3): 341 - 347.
- [10] Fan Deying, Jiang Xiangang, Qiu Yunli, et al. Fast colorization technology of vehicle-mounted infrared video images[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2013, 30(2): 71 - 76. (in Chinese)
- 范德营, 蒋先刚, 丘贇立, 等. 车载红外视频图像快速彩色化技术研究[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30 (2): 71 - 76.
- [11] Hawkins F N. Human factors in flight[J]. Hants: Avebury Aviation, 1995: 18 - 24.
- [12] Naka K I, Rushton W A H. S-potentials from colour units in the retina of fish (Cyprinidae) [J]. The Journal of Physiology, 1966, 185(3): 536 - 555.
- [13] Gu Ligang, Han Furong. VDT work and visual fatigue[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2004, 10(3): 58 - 60. (in Chinese)
- 顾力刚, 韩福荣. VDT 作业与视觉疲劳[J]. 人类工效学, 2004, 10(3): 58 - 60.
- [14] Rudd M E, Popa D. Stevens' s brightness law, contrast gain control, and edge integration in achromatic color perception; a unified model[J]. Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision, 2007, 24 (9): 2766 - 2782.
- [15] Chen Shuo, Zhang Feng, Shen Mowei. Brightness perceptive user model based on simultaneous brightness contrast phenomena[J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2009, 43(5): 822 - 826. (in Chinese)
- 陈硕, 张锋, 沈模卫. 基于同时亮度对比现象的亮度感知用户模型[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2009, 43(5): 822 - 826.