

人机工程在多编组铰接电车驾驶室设计中的应用

钟凌生^{1,2}, 张陈林^{1,2}, 刘彪^{1,2}, 方璟^{1,2}, 唐鹏^{1,2}, 李扬戈^{1,2}

(1. 湖南中车智行科技有限公司, 长沙 410006;

2. 湖南省多铰接胶轮运输系统工程技术研究中心, 长沙 410006)

摘要:介绍多编组铰接电车的虚拟轨迹跟随控制功能,分析人机工程在驾驶室设计中的相关应用,为后续同类产品的设计提供参考。

关键词:多编组铰接电车; 虚拟轨迹; 跟随控制; 人机工程

中图分类号:TH122; U469

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2023)05-0039-05

Application of Ergonomics to the Cab Design of Multi-group Articulated Tram

ZHONG Lingsheng^{1,2}, ZHANG Chenlin^{1,2}, LIU Biao^{1,2}, FANG Jing^{1,2}, TANG Peng^{1,2}, LI Yangge^{1,2}

(1. Hunan CRRC Intelligent Transport Technology Co., Ltd, Changsha 410006, China; 2. Hunan Engineering Technology Research Center for Multi-Articulated Rubber Wheel Transportation Systems, Changsha 410006, China)

Abstract: This paper introduces the control function of virtual track following of multi-group articulated tram, analyzes the related applications of ergonomics to the cab design, which provides a reference for the design of the after similar products.

Key words: multi-group articulated tram; virtual track; following control; ergonomics

人机工程的目的是通过揭示人、机、环境三要素之间相互关系的规律,从而确保人-机-环境系统总体性能的最优化^[1]。座椅的舒适性、操纵装置、仪表布置等人机界面的友好程度直接影响着驾驶的疲劳程度,并关系着行车的安全^[2]。本文分析人机工程在驾驶室设计中的相关应用,通过对驾驶室环境(视野、噪声、热环境、人性化等)的合理设计,为司乘人员提供安全、舒适、便捷的工作环境。本车结合了公共汽车和有轨电车的行驶和操作特点,配置有方向盘及踏板,方便在普通市区道路行驶且灵活操作;在开启循迹模式(即跟随地面轨迹线)时,车辆运行可做到自动驾驶,驾驶员仅需要做加速、制动及主动安防等操作。

1 车型及其运行方式简介

多编组铰接电车具有虚拟轨迹跟随能力,即通过地面标线,利用机器视觉跟踪地面轨迹线的方式实现控制,是以全电驱动胶轮(普通轮胎)车辆作为运载

工具的新型交通产品,采用“虚拟轨迹跟随控制”技术实现在虚拟轨迹上的运行^[3]。采用多轴转向系统,智能对虚拟轨迹进行跟踪控制,通过各类传感器来检测控制车辆的姿态、坐标等信息,增加前后轮的轨迹重合率,使整列车转弯半径与普通城市客车相当,能够精准控制车辆行驶在既定的“虚拟轨迹”上,虚拟轨迹即运行道路上使用反光型道路标志涂料的地面标识线,如图1所示(图中1、2即为“虚拟轨迹”)。多编组铰接电车目前已在我国株洲、宜宾、哈尔滨以及阿联酋阿布扎比等城市开通运营。

车辆全长超过30 m,最高车速可达70 km/h,采用标准的3节编组时,列车可载客超过300人,能有效解决普通城市客车载客量小的问题,大大提高了运力。车辆采用模块化组装,包含3个基本模块(Mc动车+Tp拖车+Mc动车),Mc是带驾驶室的动车(有牵引力的车厢),Tp是带受电弓的拖车(无牵引力的车厢,受电弓在中部车厢顶部,充电网只设置在线路的

收稿日期:2023-06-06。

第一作者:钟凌生(1983—),男,硕士;工程师;主要从事轨道车辆内装设计开发工作。E-mail:zhongls@csrzc.com。

首末站,运行期间受电弓折叠收放在车顶),互相之间用铰接装置相连。车内为100%低地板结构,方便乘客上下车。车辆可双向行驶,两端均设有驾驶室。其外观如图1所示。



图1 多编组铰接电车运行在“虚拟轨迹”道路上

2 视野设计

2.1 车前视野

影响车前视野的主要因素是驾驶员眼点的上视角和下视角^[4]。GB/T 13053—2008《客车车内尺寸》^[5]规定了上视角及下视角的公式及数值要求:

$$\text{上视角}; a_4 \geq \arctan (5-M)/(12+N) \geq 12.7^\circ$$

$$\text{下视角}; a_5 \geq \arctan M/(3+N) \geq 25^\circ$$

式中: M 为眼点距离地面高度; N 为眼点距离车辆前杠最前沿的水平距离。

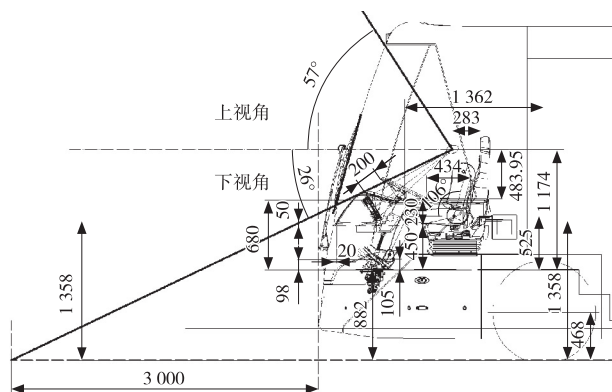


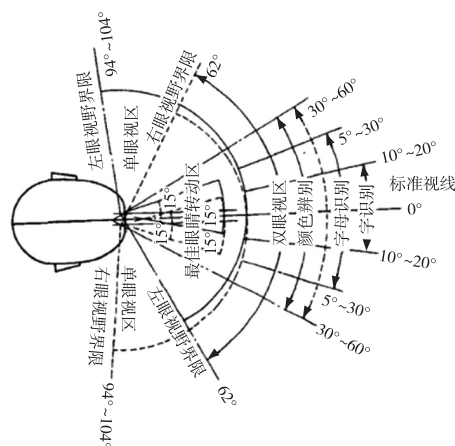
图2 驾驶员车前视野的校核示意图

驾驶员车前视野的校核示意图如图2所示,通过测量和计算,得出 M 约为2 m, N 约为1.3 m;计算出该车的上视角 a_4 为 57° ,下视角 a_5 为 26° ,皆满足标准要求。由于车辆的驾驶区域离地较高,驾驶员的下视角虽然满足要求,但偏小,会导致车辆前部存在较大的盲区。可在驾驶室设计中通过在头罩(即前包

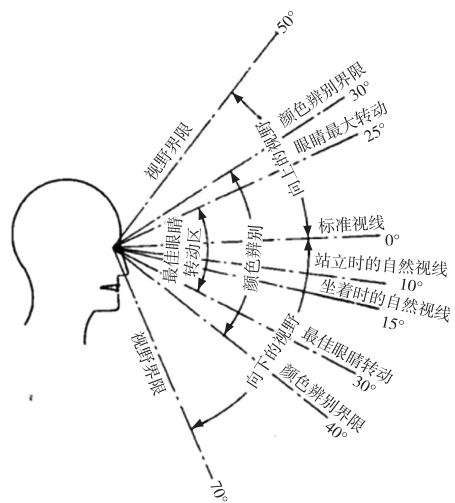
围)上部及两侧加装 360° 全景环视监测系统,从而有效地避免车身前部及两侧视角盲区的影响。

2.2 仪表视野

仪表设备的布置首先要考虑图3(a)所示的水平面视野。与眼睛水平视线的角度越小,眼睛的识别能力越强。因此仪表应根据显示信息的重要性的使用频率从眼点中央向两侧布置,重要的显示信息布置在驾驶员正面左右各 30° 以内,超过 30° 可布置次要设备,其余设备建议均布置在驾驶员眼点前方左右各 60° 以内。此外,还应考虑图3(b)所示的垂直视野^[2]。人的视线在与显示面垂直时能够最清楚地识别显示信息。考虑驾驶员是在坐姿下观察显示设备,存在自然向下 15° 的自然视线,故显示区域整体应有一个与垂直面的倾斜角度,显示功能的倾斜角度最好在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 之内^[6]。



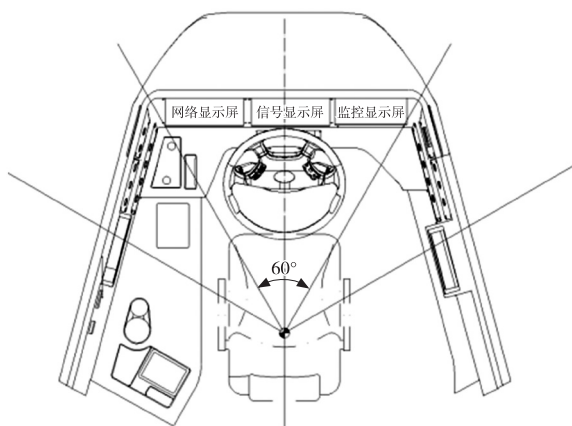
(a) 眼点水平面视野



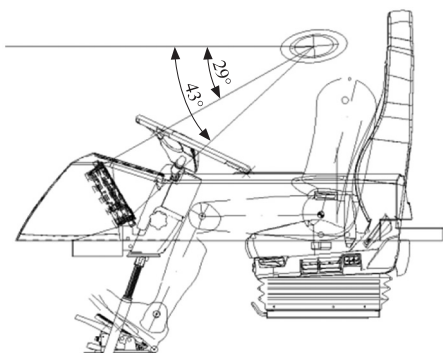
(b) 眼点垂直面视野

图3 人的水平视野和垂直视野

如图4(a)所示,将仪表台上最重要的网络显示屏、信号显示屏和监控显示屏均集中布置于正前方左右各30°的范围内,并将使用频率最高的信号显示屏布置在正中间。集中布置,可有效提高驾驶员对信息的识别效率。其余按钮以及指示灯布置在前方左右各60°以内。如图4(b)所示,在垂直视野中,仪表台上的显示器显示区域的角度在29°~43°之间。仪表布置均在较合理的区域。



(a) 仪表水平视野校核示意图



(b) 仪表垂直视野校核示意图

图4 仪表水平和垂直视野的校核示意图

3 操作界面

驾驶员的作业区域大体可分为3个部分:①正常(舒适)作业区域,驾驶员能在小臂正常放置而上臂处于自然悬垂状态下舒适地操作;②指尖最大接近的作业区域,在臂部伸展并伸出手指状态下能够操作,但这种作业状态不宜持续很久;③最大(极限)作业区域,在身体前倾并伸展臂部状态下能够操作,此区域为不推荐布置区域,且禁止布置行车中需操作的设备。

因此,布置操作设备必须遵循重要性和使用频率原则,将重要的、使用频率高的设备和按钮布置在驾驶员易见、易及的位置,防止混淆和误操作。

图5为正常坐姿状态下的人机操作校核示意图。如应急制动开关、驻车 and 驻车释放等重要的开关布置在最舒适的区域;开关门等经常操作的按钮及车载语音广播等设备布置在指尖能触及的区域;其余显示屏、监控屏等设备以及不常使用或停车状态下使用的按钮(如受电弓、换端操作等)布置在极限区域内。

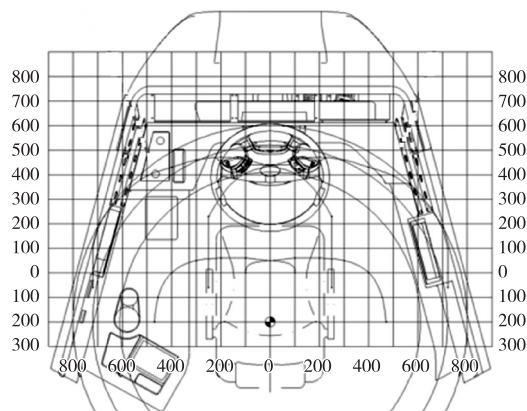
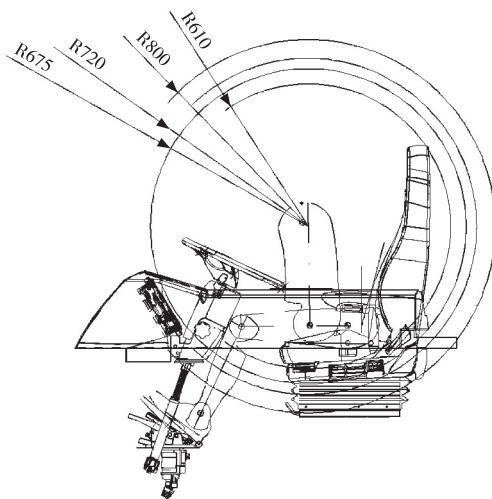
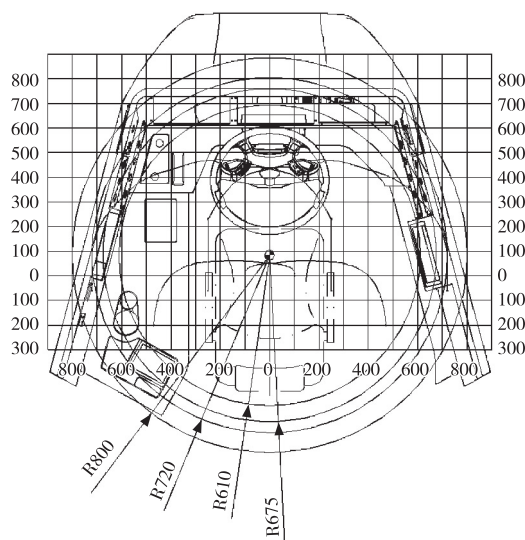


图5 正常坐姿状态下仪表台人机校核图

图6为该车极限坐姿状态下(身体接触方向盘)仪表台人机操作校核图。受到方向盘的限制,该车驾驶室存在个别按钮的布置偏远以及两侧触摸屏(左侧网络显示屏及右侧监控显示屏)不便操作的情况。为方便操作网络显示屏上常用的报站操作,在仪表司控台上设置了物理报站按钮,以便驾驶员操作。



(a) 极限状态下垂直校核示意图



(b) 极限状态下水平校准示意图

图6 极限坐姿状态下(身体接触方向盘)仪表台人机校核图

4 环境因素

人机工程中,对驾驶员产生影响的环境因素主要有热环境、照明、噪声、振动、粉尘以及有毒物质等。

4.1 热环境

驾驶室内热环境的因素包括:空气温度、湿度以及热辐射。多种因素会影响人体对热环境的主观感受。驾驶室的热管理参考 GB/T 23431—2009 中的相关要求^[7];驾驶室外的制冷能力,应满足外部环境温度为 33 ℃时,车内温度不高于 28 ℃,相对湿度不超过 65%,且人均新风量不少于 30 m³/h;且在冬季寒冷地区应具备制热能力,驾驶室温度不低于 14 ℃。

因此,该车驾驶室配置有独立的空调和采暖设备,还对风道出风口和流场进行优化,并在多处设置有温度传感器;由于大面积采用风挡玻璃和侧窗玻璃,使得太阳辐射的照射时间较长且强度较大,易导致驾驶员体感不适,故在驾驶室两侧设计挡遮阳帘,并粘贴低透光、高隔热的太阳膜。

4.2 照明环境

驾驶室内的照明环境包括自然采光和人工照明。在自然采光条件下,要尽量减少太阳光的影响,包括直射和炫光;光线的方向和扩散要合理,即不让光线直接照射眼睛,避免产生炫光。驾驶室内饰表面及仪表台表面避免产生镜面效果(发光表面),故驾驶室内饰及仪表台表面均采用哑光油漆。图7分析了太

阳光线对显示仪表的炫光效果,光照入射到显示仪表上,经显示屏反射的光线的角度均不高于水平线,虽不会产生显著炫光,但仪表表面的漫反射会降低显示屏的可视性;故仪表台设计有较深的帽檐结构,以避免阳光的直射。但由于前挡玻璃面积较大,导致射入的自然光的亮度有时会过大,会降低显示屏的可视性,可通过增加屏幕亮度或降低前挡玻璃上部的透光率来降低其影响。

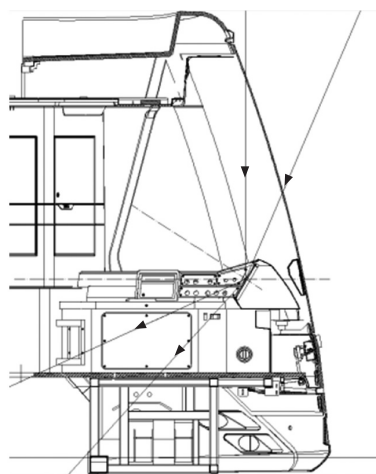


图7 太阳光对显示仪表的影响

驾驶室顶棚上应设置内部照明设备,须满足 EN 13272 中关于仪表台及驾驶室照度要求^[8]。表1中列出了相关照明指标,且驾驶员处于坐姿时,应尽可能减少其正常视角处的、在挡风玻璃上反射的炫光。

表1 驾驶室及仪表台区域的最小照度和均匀度的要求

位置	照度(Eav)/lx	均匀度
驾驶室(不含驾驶操控台)	≥50	0.5~2.5
驾驶操控台(主驾区域)	≥75	0.7~1.3

4.3 噪声环境

GB 14892—2006^[9]中规定了噪声等效声级的最大允许限值,参考其要求执行,规定最大噪声限值不大于 75 dB(A)。具体项目执行中根据不同运行条件在此基础上制定了更高的噪声指标要求,以提升驾驶工作环境的舒适性。

设计中针对头罩(前包围)、地板、隔热材料、内饰材料等部件的布置和性能,大量采用阻尼浆、吸音棉以及减震垫等降噪措施,尽量减小驾驶室内噪声,提高其安全性和舒适性。

4.4 毒物环境

驾驶室及车内选材设计中应关注材料的有害物质情况。内装材料及组装后有害物质的控制可参考文献[10]中执行,即室内空气中甲醛含量 $\leq 0.10 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{h}$,总有机挥发物 $\leq 0.6 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{h}$ 。

为管控有害挥发物,我司制定相关管控规范,包括管控非金属材料 and 零部件的源头、整车制造工序的过程、车辆交验检测规范和车辆运用阶段,以确保驾乘人员在车内完全安全。

5 结束语

驾驶室设计中的人机工程涉及面非常广,包括工业设计、结构设计、材料、电气、NVH以及暖通等多专业。本文仅介绍了驾驶室设计上部分人机工程的应用,通过不断改进和优化使得驾驶室设计更合理、高效和安全;还有未介绍到的一些系统(后视镜视野、座椅、扶手设计,除霜、除雾、雨刮等),同样是驾驶室人机工程设计时需要关注的。

多编组铰接电车作为融合了公共汽车和有轨电车各自优势的新型交通工具,其驾驶室的设计也融合了轨道交通和道路车辆的设计元素,是一种独特和全新的设计。后续设计中需根据实际运行条件、相关方的反馈不断优化和改进其人机工程设计,进一步完善人机工程的设计程序,建立针对多编组铰接电车的人机系统的评价体系,有利于打造其良好的口碑,助力

其拓展应用市场。

参考文献:

- [1] 丁玉兰. 人机工程学:第2版[M]. 北京:北京理工大学出版社,2000:5,40.
- [2] 焦风川,戴明森,郑立云,等. 关于东风_4型机车司机室人机学问题的探讨[J]. 内燃机车,1996(4):19-24.
- [3] 冯江华,肖磊,胡云卿. 智能轨道快运系统[J]. 控制与信息技术,2020(1):1-12.
- [4] 高毅,张跃进,李明涛,等. 基于CATIA的客车驾驶员视野分析与实现[J]. 客车技术与研究,2014,36(2):33-36.
- [5] 国家发展和改革委员会. 客车车内尺寸:GB/T 13053—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008:5.
- [6] 刘英,秦永贞. 城轨车辆司机台布置与人机工程管理[J]. 沿海企业与科技,2012(7):32-34.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轻轨交通铰接车辆通用技术条件:GB/T 23431—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009:8-9.
- [8] Comité Européen de Normalisation (CEN). BS EN 13272: 2012. Railway Applications— Electrical Lighting for Rolling Stock in Public Transport Systems (British Standard) [S]. London: British Standards Institution, 2012:13.
- [9] 建设部. 城市轨道交通列车噪声限值和测量方法:GB 14892—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006:2.
- [10] 铁道部标准计量研究所. 机车车辆内装材料及室内空气有害物质限量:TB/T 3139—2006[S]. 北京:中国铁道出版社,2007:14-15.