

不同光照强度下的装载机仪表盘设计研究

王震亚¹, 徐绘云¹, 刘淑强²

(1.山东大学, 济南 250061; 2.山东临工工程机械有限公司, 临沂 276024)

摘要: **目的** 重点探索不同光照强度对装载机仪表盘界面信息读取的影响, 确定驾驶员读取信息的最佳光照环境。对仪表盘界面布局中六大主要仪表区域进行兴趣区划分和编码, 总结被试的视觉行为规律。**方法** 采用眼动实验与主观评价量表相结合的方法, 以三款具有代表性的装载机仪表盘人机界面为研究对象。**结果** 7000~20000 Lux 的光照环境下被试搜索与认读时间最短, 反应正确率最高; 1000~3000 Lux 的光照环境下视觉舒适度最高。综合评价的结果表明 1000~3000 Lux 视觉工效最佳。**结论** 不同的光照强度对装载机驾驶员视觉作业的结果存在显著的差异性。转速表和显示屏对于装载机仪表盘而言是最受关注的仪表区域。仪表盘 B 在三款仪表布局中仪表认读时间最短, 反应正确率最高且最受用户欢迎, 这为以后的装载机仪表盘设计研究提供了参考。

关键词: 光照强度; 装载机; 仪表盘; 信息显示; 眼动追踪

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)24-0008-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.24.002

Design of Loader Dashboard under Different Light Intensity

WANG Zhen-ya¹, XU Hui-yun¹, LIU Shu-qiang²

(1.Shandong University, Jinan 250061, China; 2.Shandong Lingong Construction Machinery Co., Ltd., Linyi 276024, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the influences of different light intensity on the information reading of the wheel loader dashboard interface, determine the best light environment for the driver to read information, divide and code the six major instrument areas in the interface layout of the instrument panel, and summarize the visual behavior rules of the subjects. The eye movement experiment and the subjective evaluations scale were combined to study the representative human-machine interfaces of wheel loader dashboard. In the light environment of 7000-20000 lux, the time of searching and reading of subject was the shortest, and the correct rate of reaction was the highest; the visual comfort was the highest in the light environment of 1000-3000 lux. The results of comprehensive evaluation showed that the visual ergonomics under 1000-3000 lux was the best. Different illumination has significant different effects on the results of loader driver's visual operation. The tachometer and display screen are the most concerned instrument area for the loader instrument panel. Instrument panel B has the shortest reading time and the highest response accuracy among the three instrument layouts, which provides reference for the future design and research of loader dashboard.

KEY WORDS: light intensity; loader; dashboard; information display; eye tracking

仪表盘是驾驶员与车辆交换信息的重要媒介, 是信息输出最主要的部件。作为重要的人机信息界面, 其易识别、可读性以及驾驶员视认性和作业安全性息息相关, 是装载机安全高效作业的重要保障。与汽车驾驶室和飞机座舱相关的人机工程学研究相比, 目前

装载机等工程车辆更注重功能性, 仪表盘人性化设计研究还比较少。孙贵磊利用眼动追踪技术对汽车仪表盘位置布局和配色进行了研究^[1]; Gibson 收集了用户对汽车仪表板设计的意见, 为下一代汽车仪表板提供了重要的用户标准^[2]; 潘玲玲研究了飞机座舱低光照

收稿日期: 2020-10-19

作者简介: 王震亚 (1974—), 男, 山东人, 博士, 山东大学教授, 主要研究方向为工业设计。

通信作者: 徐绘云 (1993—), 女, 山东人, 山东大学硕士生, 主攻汽车设计。

强度因素对视觉工效的影响,确定了最适宜飞行员的低光照环境^[3];朱海波对轮式装载机驾驶室振动噪声因素的舒适性进行了研究,并且提出了驾驶室整体结构和造型的改进方案^[4];王震亚采用感性工学的方法对装载机外观、驾驶室内部布置及舒适性分别进行了深入的研究^[5]。

1 装载机仪表盘及其信息显示界面

在人—车—环境的人机系统中,装载机仪表盘是人和装载机之间信息交流的关键元素,它通过可视化的数值、符号、颜色等向驾驶员传递信息,使驾驶员准确迅速地认读而且不易疲劳^[6]。仪表盘设计应符合人体工程学,致力于提高装载机作业过程中的安全性能,保障驾驶员的舒适程度,达到人机系统的最佳匹配状态。装载机仪表盘与人体模型、座椅、方向盘之间的关系见图 1,其相关尺寸参数:座椅高度为 500 mm,眼点到仪表中心点水平距离为 750 mm,仪表盘界面与眼点视线夹角接近 90°,仪表盘与垂直地面的夹角为 30°。

经过对现有装载机的广泛调研,发现装载机仪表盘多为混合式显示仪表,通过数字和模拟量获取信息。装载机仪表盘信息显示界面主要包含了燃油油位表、发动机水温表、变矩器油温表、发动机转速表、尿素液位表、信号灯及液晶显示屏等功能板块^[6]。研究表明,驾驶员主要通过视觉来获取车辆信息,其中

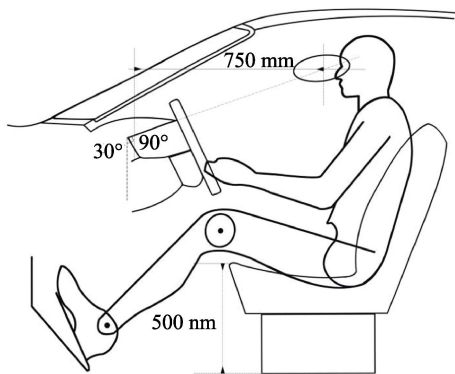


图 1 装载机仪表盘与人体模型、座椅、方向盘之间的关系
Fig.1 Relationship between loader dashboard and manikin, seat and steering wheel

视觉给驾驶员提供的信息量占总体感觉器官的 80%^[7],对装载机而言,适宜的光照强度可以降低驾驶员作业时的视觉负荷,方便仪表盘信息读取,更有利于提高驾驶员的集中力。本文试图从视觉搜索和视觉认知角度来探索不同光照强度对装载机仪表盘信息读取的影响。

2 研究方法

2.1 实验设计

实验主要由视觉搜索和视觉认知两个部分组成。视觉搜索实验目的是通过仪表搜索与数值读取,分析不同光照环境下被试的反应时间和正确率等数据信息,并对被试视觉舒适性进行研究,确定最适宜驾驶员视觉作业的光照环境。视觉认知实验是在视觉搜索实验基础上,进一步通过分析被试兴趣区首次注视时间及注视时长等相关参数,并结合主观量表,总结被试的视觉行为规律。实验选取了三款均为黑底白字配色、布局设计不同的仪表盘人机界面,分别命名为仪表盘 A、仪表盘 B 和仪表盘 C,见图 2。实验拍摄了三款仪表盘从早晨到夜晚全天不同光照强度下的仪表盘人机界面,并同时记录下驾驶室人眼正前方 2 cm 处的侧面光照强度的具体数值^[3],最终选取三个亮度等级背景的光照环境,见表 1。由于装载机仪表盘上除了设置转速表指针刻度式仪表外,显示屏上也显示数字式转速数值,为避免实验误差,没有设置转速表的搜索任务,将视觉搜索实验分为水温表、油温表和燃油表数值读取三个独立实验小组。实验过程中,屏幕随机呈现九张三款不同亮度的仪表盘界面静态图片,并使用 Photoshop 软件对各仪表指针模拟数值均进行了修改,在避免数值一致带来误差的同时,去掉了样本中可能对实验造成干扰的反光、背景、标志等。

表 1 环境照度对照

Tab.1 Comparison of environmental illumination		
环境	亮度等级	光照强度范围/Lux
夜晚	I	0~100
傍晚	II	1000~3000
白天	III	7000~20000



图 2 三款仪表盘界面
Fig.2 Three dashboard interfaces

实验对象：十五名被试中包含装载机专业驾驶员两名、车辆工程专业学生四名、设计专业学生九名，其男女性别比例为 2：1，年龄范围为 23~46 岁。被试均为右利手，视力正常、无眼疾，均未参加过类似实验，被试完成实验后可获得一定的奖励。

实验设备：Tobii Pro X2-30 桌面式眼动仪、显示器分辨率为 1920 px×1080 px 的 Lenovo 计算机、照度计、测距仪、遮光板等。

2.2 实验流程

实验前向被试介绍了装载机仪表盘界面中的各个仪表及其数值读取方法，在正式实验之前先练习一组不在正式实验中使用的刺激材料，使被试了解实验内容，熟悉实验操作方法。为了尽可能地模拟驾驶室实际场景及控制变量，实验用遮光板搭建了一个密闭空间，提供被试方向盘道具，让被试模拟开车状态，并要求被试座椅高度、被试与屏幕之间的距离和角度等严格按照装载机仪表盘与人体模型、座椅、方向盘之间的人机尺寸关系实施。在视觉搜索实验中，每小组实验测试步骤为：校正——注意事项——练习实验——正式实验（随机显示图片——读出仪表数值——按空格键进行下一张图片的读取——重复上述步骤直至完成九张样本图片的读取）。视觉搜索实验过程中，每小组实验之间休息 30 s，避免因疲劳造成认读误差。视觉认知实验的基本步骤为：校正—注意事项—练习实验—正式实验（显示中心聚焦点 2 s—随机显示图片 8 s—重复上述步骤直至样本图片观察完毕）。

3 结果与分析

3.1 视觉搜索实验结果

在该实验数据分析之前，对眼动仪记录的准确性和被试追踪比率进行检查，剔除了一名被试样本。实验数据分为两大部分：眼动仪记录的客观的眼动数据和被试主观评价数据。

3.1.1 客观实验结果分析

统计分析十四名被试在不同光照强度背景下，用三款仪表盘界面分别搜索水温表、油温表和燃油表，并读取数值所用的时间（下文简称认读时间）及反应正确率，并运用 IBM SPSS 23 统计分析软件对指标数据进行差异性分析。十四名被试认读时间的平均值和标准差，见表 2。对所有被试在三种光照强度下的平均认读时间进行方差分析， $F=7.612$ ， $P=0.003<0.01$ ，由此可知，三种光照强度下被试的平均认读时间存在显著差异，认读时间由快到慢的顺序依次为： $R_{7000\sim 20000\text{ Lux}}<R_{1000\sim 3000\text{ Lux}}<R_{0\sim 100\text{ Lux}}$ 。并对三种光照环境进行多重比较，发现被试在 0~100 Lux 的光照环境下认读时间和其他两组光照环境存在显著差异，0~100 Lux 和 7000~20000 Lux 光照环境下的认读时间

表 2 不同光照环境下认读时间（R）

Tab.2 Reading time under different light environments (R)

认读时间/s (M±SD)		光照强度范围/Lux		
		0~100	1000~3000	7000~20000
仪表盘 A	水温表	11.68±3.76	8.08±2.38	2.17±0.91
	油温表	8.39±0.97	5.10±1.34	5.47±1.64
	燃油表	8.80±1.82	4.79±1.32	5.08±2.72
仪表盘 B	水温表	7.66±2.57	5.92±2.01	6.51±1.86
	油温表	5.14±1.66	4.36±1.11	5.37±1.43
	燃油表	7.27±1.19	8.10±2.29	6.01±1.28
仪表盘 C	水温表	10.56±1.94	6.68±2.30	5.94±2.66
	油温表	8.00±1.09	7.52±2.62	6.40±2.53
	燃油表	10.30±3.94	6.22±1.40	8.31±2.71

表 3 不同光照环境下反应正确率

Tab.3 Response accuracy under different light environments

正 确 率		光照强度范围/Lux		
		0~100	1000~3000	7000~20000
仪表盘 A	水温表	0.77	0.92	0.85
	油温表	0.85	0.85	0.85
	燃油表	0.54	0.85	0.61
仪表盘 B	水温表	0.85	0.85	1
	油温表	0.77	1	1
	燃油表	0.23	0.77	0.92
仪表盘 C	水温表	0.46	0.61	0.69
	油温表	0.54	0.85	0.85
	燃油表	0.77	0.77	0.85

差异最显著（ $P<0.01$ ），而被试在 1000~3000 Lux 和 7000~20000 Lux 光照环境下的认读时间差异不显著（ $P>0.05$ ）。

被试反应正确率见表 3。由表可知，7000~20000 Lux 光照度的被试反应正确率最高，而 0~100 Lux 光照度的被试反应正确率最低。方差分析表明被试对三种光照环境下的仪表数值反应正确率之间存在显著差异（ $F=4.747$ ， $P=0.018<0.05$ ）。0~100 Lux、1000~3000 Lux 以及 1000~3000 Lux、7000~20000 Lux 光照环境下的反应正确率没有显著差异（ $P>0.05$ ），但 0~100 Lux 光照环境下的反应正确率显著低于 7000~20000 Lux 光照环境（ $P<0.05$ ）。

通过表 2 和表 3 发现，三款仪表盘中仪表盘 B 仪表认读时间最短，正确率最高；仪表盘 A 仪表认读时间略长于仪表盘 B，且正确率略低于仪表盘 B；而仪表盘 C 仪表认读时间最长，正确率最低。将该客观实验结果和后续视觉认知实验的主观问卷分析相结合。

表 4 不同光照环境下被试主观评价量表
Tab.4 Subjective evaluation scale of subjects in different light environments

光照强度范围/Lux	喜欢	接受程度	舒适	平均值
0~100	0.92	1.33	0.68	0.98
1000~3000	4.6	4.4	4.72	4.57
7000~20000	3.9	4	3.17	3.69

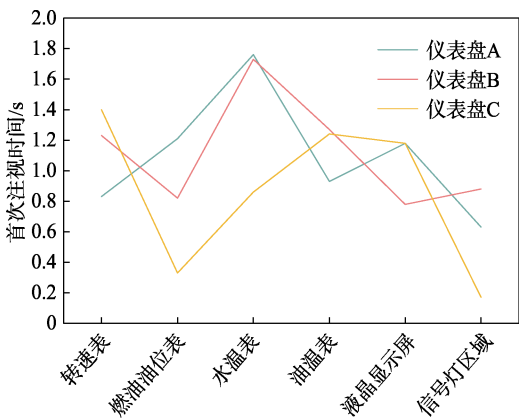


图 3 三款仪表盘各仪表首次注视时间
Fig.3 Time to first fixation of each instrument in three types of dashboard

3.1.2 主观实验结果分析

完成实验后,要求被试采用“喜欢”、“接受程度”、“舒适”三个指标对实验过程中三种光照环境打分,量表分值使用 5 分制。其中为了保证数据可信度,特设置“喜欢”和“接受程度”有一定重复性的两个指标,分数平均结果见表 4。十四名被试均表示 0~100 Lux 的光照度看不清楚,最易疲劳,九名被试表示 1000~3000 Lux 的光照度最舒适。由主观评价可得结论:三种光照度的视觉舒适性(S)从高到低为: $S_{1000\sim3000\text{ Lux}}>S_{7000\sim20000\text{ Lux}}>S_{0\sim100\text{ Lux}}$ 。另外,通过深度访谈法围绕影响仪表数值读取的因素和被试展开交流,将访谈的影响因素概括为两大主要方面。一是受光照强度等外界环境的影响。不同的光照环境会给人带来不同的生理、心理感受,如果装载机仪表盘信息显示界面的质量受到影响,就会直接影响到驾驶员对仪表的认读,进而影响驾驶员的作业效率和安全性^[8]。二是仪表盘自身的设计,将其概括如下:(1)仪表盘造型总体设计,包括仪表盘的 中心位置关系、倾斜角度等;(2)仪表盘信息界面设计,包括仪表形式(仪表形状、仪表符号)、表盘尺寸与布局、刻度与标数(刻度线、刻度标数的顺序、刻度划分、字符数字尺寸)、仪表指针和色彩配置设计等^[9]。

3.1.3 视觉工效综合评价

通过对视觉搜索实验的分析,并根据各指标数据结果对三种光照环境进行排序,但仍不能确定视觉工效最佳的光照环境,因此,建立了视觉工效综合评价

表 5 视觉工效综合评价结果
Tab.5 Comprehensive evaluation results of visual ergonomics

光照强度范围/Lux	视觉工效 P
0~100	0.28
1000~3000	0.86
7000~20000	0.59

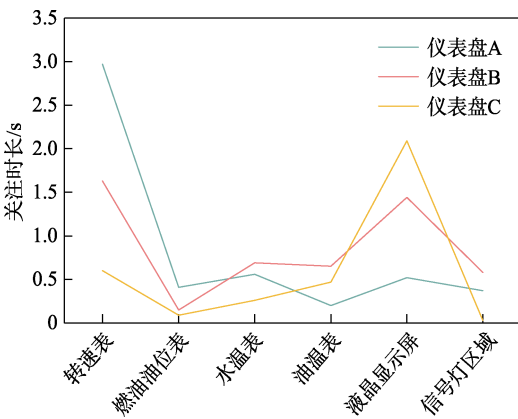


图 4 三款仪表盘各仪表关注时长
Fig.4 Total fixation duration of each instrument in three types of dashboard

模型。视觉工效: $P=W_1P_1+W_2S$ 。其中 P_1 是视觉绩效, S 是视觉舒适度, W 是评价要素的权重, $W_1+W_2=1$ 。视觉绩效: $P_1=W_{11}A+W_{12}R$, A 是认读时间, R 是反应正确率, $W_{11}+W_{12}=1$ 。因此, $P=W_1(W_{11}A+W_{12}R)+W_2S$ 。根据相关经验对权重 W 赋值, $W_1=0.7$, $W_2=0.3$, $W_{11}=0.5$, $W_{12}=0.5$ 。各指标数据均进行归一化处理。视觉工效综合评价结果见表 5, 视觉工效从优到差的排序为 $P_{1000\sim3000\text{ Lux}}>P_{7000\sim20000\text{ Lux}}>P_{0\sim100\text{ Lux}}$ 。

3.2 视觉认知实验结果

3.2.1 客观实验结果分析

对三款装载机仪表盘上转速表、燃油油位表、水温表、油温表、液晶显示屏、信号灯区域划分兴趣区,从首次注视时间、关注时长及回访次数三项基本指标来统计三款仪表盘各兴趣区的眼动数据,并进行数据对比分析。

首次注视时间的长短代表吸引注意力的程度。三款仪表盘各仪表首次注视时间见图 3。在三款装载机仪表盘界面布局中,被试都最先被信号灯吸引,这体现信号灯装置简单、引人注目的优点。

注视时间越长,表明该区域提取信息越困难或更吸引人。三款仪表盘各仪表的平均关注时长(见图 4)从高到低依次是转速表、液晶显示屏、水温表、油温表、信号灯区域、燃油油位表,其中水温表、油温表、信号灯区域、燃油油位表的平均关注时长差距很小。

访问次数表征访问频率,是否有回看。访问次数越多,表明此区域对被试越重要,越能吸引被试的注

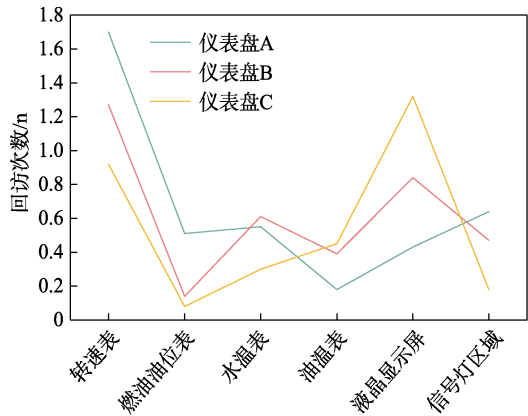


图 5 三款仪表盘各仪表回访次数
Fig.5 Visit count of each instrument in three types of dashboard

意力。图 5 和图 4 比较发现，它们的折线趋势非常相似。和各仪表关注时长情况一样，三款仪表盘回访次数（见图 5）从高到低依次是转速表、液晶显示屏、水温表、信号灯区域、油温表、燃油油位表，其中水温表、信号灯区域、油温表、燃油油位表的回访次数很接近。转速表和液晶显示屏无论是关注时长还是回访次数，均排名前二。可见转速表和液晶显示屏在装载机仪表盘界面中占据很重要的地位。

通过以上数据可以看出，仪表盘 A 中转速表不仅首次注视时间短，被试关注时长和回访次数也多，应该和仪表盘 A 中转速表尺寸占比及仪表位置有直接关系，这一点也进一步体现了仪表设计重要性和使用频率原则，最主要的和最常用的仪表应尽可能安排在整个仪表界面的中央视野范围之内，因为在这一视野范围内，人的视觉效率最优，也最能引起人的注意^[10]。

3.2.2 主观实验结果分析

实验后，让被试在白纸上以简笔画的形式默画出三款仪表盘界面布局。大多数被试都能画出转速表、水温表、油温表、燃油油位表、显示屏，十四名被试中的九名被试能默画出三款仪表盘界面各仪表的大

致布局，验证了被试客观数据的有效性。为了让被试更准确地选出最喜欢的仪表布局，将仪表界面简化成线条，辅助被试做出选择。简化后的仪表布局见图 6。十四名被试中，四名被试喜欢仪表盘 A；十名被试最喜欢仪表盘 B。其中喜欢仪表盘 A 的被试反映该仪表界面只有转速表在中间位置，突出重点，而水温表、油温表等仪表排成一列，布局简单清晰，缩小视野范围，也有利于及时发现异常。喜欢仪表盘 B 的被试认为该仪表布局中主要仪表刻度都标有数值及颜色标记，仪表图标清晰。不同于仪表盘 C 中水温表、油温表上下排布，仪表盘 B 中水温表和油温表左右对称，使得仪表界面更有平衡感。结合前面视觉搜索实验中的各仪表盘认读时间和正确率分析结果，可判断出在三款仪表盘界面中，仪表盘 B 的仪表布局是最理想的。十四名被试分别按照仪表重要性和使用频率的原则布置对装载机仪表盘界面各仪表进行 5 分制打分，所有分数的平均结果见表 6。由主观评价量表可知，各仪表分值从高到低为转速表、液晶显示屏、信号灯区域、水温表、燃油油位表、变矩器油温表。其中，转速表的分值最高，其他仪表分值较为接近。

总而言之，仪表盘信息界面中仪表的布置应按照重要性的原则布置，考虑一般的读取习惯，如按顺时针从上到下、从左到右的顺序，以及仪表之间逻辑上的联系，相互联系越多的仪表应布置得近一些，进而提高驾驶员的信息读取效率。

4 结语

通过对装载机仪表盘信息界面的研究，发现不同的光照度下，驾驶员信息认读时间和反应正确率均存在一定的差异性。在三组光照环境中，7000~20000 Lux 的光照环境下仪表认读时间最短，反应正确率最高，1000~3000 Lux 的光照环境下被试舒适度最高，综合评价的结果表明 1000~3000Lux 视觉工效最佳。在装载机实际作业时，夜晚会严重影响视觉工效，而

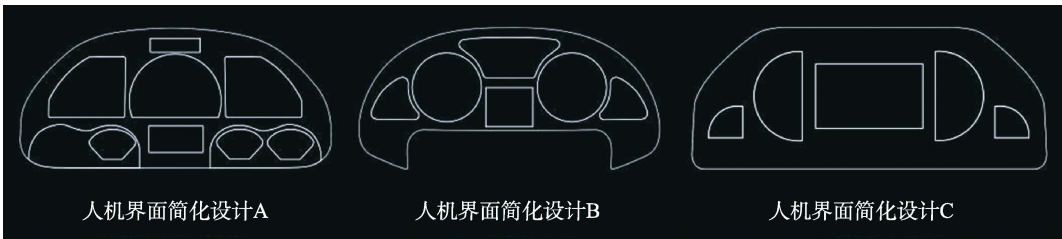


图 6 装载机仪表盘简化设计
Fig.6 Simplified design of loader dashboard

表 6 各仪表主观综合评价量表
Tab.6 Subjective comprehensive evaluation scale of each instrument

仪表	转速表	燃油油位表	水温表	油温表	液晶显示屏	信号灯区域
分数	4.71	3.35	3.5	3.15	3.59	3.36

傍晚相对白天和夜晚视觉舒适性要高一些, 因此, 今后界面设计应注重光照度的调节, 改善驾驶人员作业时的安全与舒适。另外, 转速表和液晶显示屏对装载机仪表盘而言是最受关注的功能板块, 仪表盘 B 仪表布局信息读取反应时间最短, 正确率最高, 并最受用户欢迎。论文只研究了 0~100 Lux、1000~3000 Lux、7000~20000 Lux 范围的光照度对装载机仪表信息显示的影响, 本文中的眼动认知环境与实际装载机作业环境存在差异, 期待在今后的研究中选择接近真实的场景, 缩小光照强度范围, 进一步深入探讨, 并尝试构建完善的装载机仪表盘人机工程评价体系。

参考文献:

- [1] 孙贵磊, 李琴, 孟燕华, 等. 基于眼动分析的汽车仪表盘设计[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 148-153.
SUN Gui-lei, LI Qin, MENG Yan-hua, et al. Design of Car Dashboard Based on Eye Movement Analysis[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 148-153.
- [2] GIBSON Z, BUTTERFIELD J, MARZANO A. User-centered Design Criteria in Next Generation Vehicle Consoles[J]. Procedia CIRP, 2016, 55: 260-265.
- [3] 潘玲玲, 孙有朝, 刘星, 等. 飞机座舱低光照度对飞行员视觉工效的影响[J]. 人类工效学, 2017, 23(1): 1-4.
PAN Ling-ling, SUN You-chao, LIU Xing, et al. Effect of Aircraft Cabin Low Illumination on Visual Ergonomics of Pilots[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2017, 23(1): 1-4.
- [4] 朱海波. 轮式装载机驾驶室造型设计与舒适性研究[D]. 上海: 东南大学, 2017.
ZHU Hai-bo. Research on Modeling Design and Comfort of Wheel Loader Cab[D]. Shanghai: Southeast University, 2017.
- [5] 王震亚. 基于感性工学的装载机人机系统设计研究[D]. 济南: 山东大学, 2011.
WANG Zhen-ya. Human-Machine System Design of Loader Based on Kansei Engineering[D]. Jinan: Shandong University, 2011.
- [6] 王琪, 孙玉萍. 汽车仪表盘显示的人机系统分析[J]. 内燃机与配件, 2019, 40(13): 234-236.
WANG Qi, SUN Yu-ping. Man Machine System Analysis of Automobile Dashboard Display[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2019, 40(13): 234-236.
- [7] 郭小祥, 钱玉冬. 装载机驾驶室人机工程学参数化设计平台[J]. 机电工程技术, 2019, 48(11): 184-186.
GUO Xiao-xiang, QIAN Yu-dong. Ergonomic Parametric Design Platform for Loader Cab[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2019, 48(11): 184-186.
- [8] 冯纾, 王军锋, 蔡勇, 等. 低光照度下人机界面背景色眼动分析评价研究[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(4): 262-267.
FENG Shu, WANG Jun-feng, CAI Yong, et al. Eye Movement Analysis and Evaluation of Human-Computer Interface Background Color Under Intermediate Vision[J]. Computer Engineering and Applications, 2020, 56(4): 262-267.
- [9] 任金东. 汽车人机工程学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.
REN Jin-dong. Automobile Ergonomics[M]. Peking University Press, 2010.
- [10] 阮宝湘, 董明明, 邵祥华. 工业设计人机工程(第 2 版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
RUAN Bao-xiang, DONG Ming-ming, SHAO Xiang-hua. Ergonomics of Industrial Design (Version 2)[M]. Beijing: China Machine Press, 2010.