

矿用车驾驶舱结构设计中的人机工程学优化

徐新程 王飞宇 薛志远

内蒙古北方重型汽车股份有限公司, 中国·内蒙古 包头 014030

摘要: 本研究聚焦矿用车驾驶舱结构设计, 深入剖析人机工程学在其中的应用。通过实际调研、数据分析及理论研究, 挖掘现有驾驶舱存在的问题, 从座椅、操作空间、视野、噪声与振动控制等方面提出优化策略, 并结合实例验证效果。研究表明, 优化后的驾驶舱在舒适性、操作便捷性和安全性上显著提升, 为矿用车设计提供了关键参考, 有力推动矿山运输行业的高效安全发展。

关键词: 矿用车; 驾驶舱; 人机工程学; 结构设计; 优化

Ergonomic Optimization in the Structural Design of Mining Vehicle Cockpit

Xincheng Xu Feiyu Wang Zhiyuan Xue

Inner Mongolia North Heavy Duty Truck Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia, 014030, China

Abstract: This study focuses on the structural design of the cockpit of mining vehicles and deeply analyzes the application of ergonomics in it. Through practical research, data analysis, and theoretical research, identify the existing problems in the cockpit, propose optimization strategies from the aspects of seats, operating space, field of view, noise and vibration control, and verify the effectiveness with examples. Research has shown that the optimized cockpit significantly improves comfort, ease of operation, and safety, providing key references for the design of mining vehicles and effectively promoting the efficient and safe development of the mining transportation industry.

Keywords: mining truck; cockpit; ergonomics; structural design; optimize

1 概述

1.1 研究背景与意义

在现代矿业开采体系中, 矿用车作为核心运输装备, 其驾驶舱设计直接关乎驾驶员的工作体验、操作效率以及生命安全。随着矿山开采规模的不断扩张, 矿用车的作业强度与时长急剧增加, 驾驶员长时间置身于驾驶舱内, 面临着复杂恶劣的工作环境, 如崎岖的路况、高浓度粉尘、高强度噪声等。若驾驶舱结构设计未能遵循人机工程学原理, 极易导致驾驶员疲劳加剧、操作失误增多, 进而引发安全事故, 造成严重的经济损失与人员伤亡。因此, 运用人机工程学理论对矿用车驾驶舱进行优化设计, 提升驾驶员的舒适性与操作安全性, 已成为矿山运输领域的关键任务。

1.2 国内外研究现状

国外在矿用车人机工程学设计领域起步较早, 研究体系较为完善。欧美等矿业发达国家通过大量的实验与实践, 在驾驶舱的人机交互界面、座椅舒适性、操作空间布局等方面积累了丰富的经验。例如卡特彼勒等知名企业, 运用先进的虚拟现实技术模拟驾驶场景, 提前优化设计细节。国内研究虽发展迅速, 但在系统性和创新性方面仍与国外存在差距, 部分企业对人机工程学重视不足, 驾驶舱设计多注重基本功能, 忽视驾驶员的身心需求。

1.3 研究内容与方法

本研究深入分析矿用车驾驶舱的现状, 基于人机工程

学原理提出优化策略, 并通过实例对比验证效果。采用文献研究法梳理研究现状, 实地调研法获取实际使用反馈, 问卷调查法收集驾驶员需求, 实验测试法量化各项指标, 为优化设计提供数据支持。

2 人机工程学理论基础

2.1 人机工程学概述

人机工程学是一门融合多学科的边缘科学, 旨在研究人、机器与环境之间的相互关系, 通过分析人的生理和心理特性, 设计出符合人类需求的机器和环境系统, 实现系统性能的优化和使用者体验的提升。在矿用车驾驶舱设计中, 人机工程学贯穿始终, 涵盖空间布局、设备选型、操作界面设计等多个环节。

2.2 人体测量学在驾驶舱设计中的应用

2.2.1 人体尺寸数据的采集与分析

人体测量学为驾驶舱设计提供关键数据。在矿用车驾驶舱设计中, 需采集身高、坐高、肩宽等多种人体尺寸数据。为确保数据准确且具有代表性, 采用分层随机抽样选取样本, 涵盖不同地域、年龄和性别的人群。测量过程遵循相关标准, 使用高精度仪器, 测量后运用统计学方法处理数据, 获取平均值、标准差和百分位数等参数。以中国成年男性为例, 部分人体尺寸参考值如表 1 所示。

表 1 中国成年男性人体尺寸参考值

百分位数	身高 (mm)	坐高 (mm)	肩宽 (mm)	臀宽 (mm)	臂长 (mm)	腿长 (mm)
5th	1579	741	327	346	764	835
50th	1678	789	351	370	798	880
95th	1775	840	385	407	836	928

2.2.2 人体尺寸数据在驾驶舱设计中的应用原则

在驾驶舱设计中应用人体尺寸数据需遵循适应性、舒适性和安全性原则。适应性原则要求驾驶舱能满足不同身材驾驶员的需求,如座椅调节范围应适应多种身高体型;舒适性原则强调座椅和操作部件的设计要贴合人体曲线,减少疲劳;安全性原则确保驾驶舱内的安全装置和空间布局符合人体尺寸,保障驾驶员在紧急情况下的安全。

2.3 人体生理与心理特性对驾驶舱设计的影响

2.3.1 人体生理特性对驾驶舱设计的影响

人体生理特性对驾驶舱设计影响深远。视觉方面,仪表盘、显示屏等的设计需考虑人眼的视野范围、视力水平和对光线的感知能力,确保信息清晰可读。听觉方面,驾驶舱内噪声应控制在合理范围内,长期暴露于超过 80dB 的噪声环境会损害听力并影响注意力。此外,驾驶舱座椅要有效缓解疲劳,提供良好的腰部支撑和减震性能。

2.3.2 人体心理特性对驾驶舱设计的影响

人体心理特性同样影响驾驶舱设计。驾驶过程中,驾驶员需保持高度集中,操作界面应简洁明了,减少认知负荷。内饰颜色和灯光氛围也很重要,柔和舒适的环境可缓解紧张情绪,提高工作积极性和安全性;反之,刺眼杂乱的环境易引发烦躁,增加操作失误风险。

3 矿用汽车驾驶舱现状分析

3.1 现有矿用汽车驾驶舱结构特点

目前矿用汽车驾驶舱多为封闭或半封闭钢结构,内部配备座椅、仪表盘、操作手柄、踏板、方向盘和储物空间。空间布局上,设备布置紧凑,座椅位于中央靠后,仪表盘在正前方,操作手柄和踏板分布在两侧和下方。内饰材料多为硬质塑料或金属,虽耐用易清洁,但舒适性、美观性和隔音隔热性能较差。

3.2 基于人机工程学的问题分析

3.2.1 座椅舒适性问题

通过对多家矿山企业的实地调研和对 200 名矿用汽车驾驶员的问卷调查发现,85% 的驾驶员对现有座椅舒适性不满。座椅存在形状和尺寸不合理、调节功能有限、减震性能差等问题。座面和靠背无法贴合人体曲线,腰部和背部支撑不足,座面尺寸无法满足不同体型需求。多数座椅调节功能简单,缺乏对关键参数的调节。矿山路面颠簸,现有座椅减震系统难以有效吸收振动,加剧驾驶员疲劳。

3.2.2 操作空间合理性问题

操作空间布局不合理影响操作效率和安全性。操作手柄布局混乱,数量多且分布无规律,间距过小易误触,高度

和角度不符合人体工程学,增加操作疲劳和失误风险。踏板位置不当,离合器、刹车和油门踏板间距不合理,行程和阻力设置不佳,易导致脚部疲劳。储物空间不足,驾驶员物品放置不便,影响驾驶舱整洁和操作安全。

3.2.3 视野局限性问题

视野问题严重影响驾驶安全。挡风玻璃面积小、A 柱宽,形成较大盲区,车辆转弯或避让时视线易受阻。后视镜尺寸和角度设计不合理,后方视野范围有限,倒车和变道时难以全面观察。仪表盘和显示屏位置不当,读取信息时需频繁低头抬头,部分显示屏在强光下反光,影响驾驶注意力。

3.2.4 噪声与振动影响

矿用汽车运行时产生的噪声和振动对驾驶员身心健康和操作产生负面影响。驾驶舱内噪声主要源于发动机、传动系统和轮胎摩擦,平均噪声值达 85dB,远超舒适阈值 70dB,长期暴露会导致听力下降、注意力不集中。振动通过座椅和方向盘传递,崎岖路面时振动加剧,影响操作稳定性,长期还可能引发肌肉骨骼疾病。

3.3 驾驶员需求调查与分析

为深入了解驾驶员需求,设计涵盖座椅舒适性、操作空间布局、视野范围、噪声与振动控制等方面的问卷,发放 200 份,回收有效问卷 180 份,有效回收率 90%。调查结果显示,90% 的驾驶员希望改善座椅支撑和调节功能;85% 建议优化操作手柄和踏板布局、增加储物空间;80% 期望扩大挡风玻璃面积、改善后视镜视野;95% 迫切希望降低噪声和振动水平。这些结果为优化设计提供了重要依据。

4 人机工程学优化策略

4.1 座椅设计优化

4.1.1 人体坐姿分析与座椅参数优化

人体坐姿对驾驶舒适性和操作效率至关重要。舒适坐姿下,腰部应得到良好支撑,脊柱保持自然曲线,肢体自然伸展。基于此,优化座椅参数:座面宽度依据人体臀宽 95th 百分位数设计,取值 450~500mm;深度参考大腿长度 50th 百分位数,为 400~450mm;高度可在 350~450mm 范围内调节。靠背角度可在 100°~120° 调节,上半部分贴合背部曲线,下半部分加强腰部支撑,可配备可调节腰部支撑垫。头枕高度调节范围为 100~150mm,角度调节范围 0°~15°,保障颈部安全。

4.1.2 座椅材质与减震系统选择

座椅材质影响舒适性和耐用性。推荐采用透气、柔软且耐磨的高档织物或真皮面料。减震系统方面,空气弹簧减震系统可根据车辆状态和驾驶员体重自动调节座椅高度和

硬度；液压减震系统利用液压油阻尼吸收振动能量，两者都能有效提升乘坐舒适性。

4.2 操作空间布局优化

4.2.1 操作手柄与踏板布局优化

操作手柄布局应遵循人体工程学原理。将常用手柄布置在手臂自然伸展可及范围内，间距不小于 100mm，重要手柄采用不同形状和颜色区分。水平操作手柄高度设置在肘部以下 10~15cm，角度为手臂自然下垂时与手柄夹角 10°~15°；垂直操作手柄高度与肩部平齐，角度在垂直方向 ±10° 范围内。踏板布局要考虑下肢运动特点，离合器、刹车和油门踏板呈三角形分布，间距分别为 150~200mm 和 100~150mm。踏板表面设计防滑纹理，根据人体下肢力量优化行程和阻力，刹车踏板阻力设置为 8~12kg，油门踏板阻力设置为 3~5kg，符合多数驾驶员操作习惯。

4.2.2 控制按钮布局与设计

控制按钮布局遵循“功能分区、操作频率优先”原则。划分灯光、辅助设备、安全系统等控制区，常用按钮如转向灯、喇叭布置在方向盘附近。按钮尺寸根据手指尺寸设计，圆形直径不小于 15mm，方形边长不小于 12mm，间距 8~10mm 防止误触。采用国际通用图标与文字结合标识，用颜色区分功能，按钮按下时提供触觉和声音反馈。优化后，驾驶员寻找按钮平均时间从 2.3 秒缩短至 0.8 秒。

4.3 视野优化设计

4.3.1 挡风玻璃与后视镜设计优化

扩大挡风玻璃面积，从 1.2m² 增加至 1.8m²，优化 A 柱角度从 15° 调整为 10°，采用曲面设计拓展横向视野，经模拟测试，前方视野盲区面积减少 40%。增大主后视镜尺寸至 250mm×200mm，增加广角辅助后视镜，使后方视野覆盖范围从 120° 提升至 160°。后视镜支持电动调节并配备加热除雾功能。

4.3.2 仪表盘与显示屏布局优化

仪表盘采用 10 英寸全液晶显示屏，显示内容可自定义。将仪表盘中心高度调整至驾驶员坐姿时视线水平向下 5°~10° 范围内，表面防眩光处理并自动调节亮度。中控显示屏安装在仪表盘下方，与方向盘保持 20~25cm 距离，倾斜角度 15°~20°，引入语音和手势控制功能，减少视线转移，提升驾驶安全性。

4.4 噪声与振动控制优化

4.4.1 噪声源与振动源分析

通过频谱分析仪检测发现，发动机是主要噪声源，转速 2000rpm 时噪声峰值达 88dB；传动系统次之，峰值 82dB；轮胎与地面摩擦噪声峰值 78dB。振动方面，发动机振动通过支架传递，频率集中在 20~50Hz；路面颠簸引起的振动频率在 5~15Hz。

4.4.2 降噪与减振措施

针对噪声源，在发动机舱使用多层隔音材料，总厚度增加至 50mm，对传动系统关键部位添加橡胶减震垫。在驾

驶舱内铺设吸音材料，增强密封性能，使用双层密封条，使驾驶舱整体隔音性能提升 15dB。减振方面，除优化座椅减震系统外，在驾驶舱与车架连接处安装液压减震器。优化后，驾驶舱内噪声降低至 70dB，振动加速度从 1.2m/s² 降低至 0.5m/s²。

5 优化设计方案实例分析

5.1 某型矿用车驾驶舱优化设计案例

选取某矿山企业常用的 50 吨级矿用车进行优化设计。更换为多向调节空气悬挂座椅，重新设计安装操作手柄和踏板，升级挡风玻璃和后视镜，全面加强隔音和减振措施。

5.2 优化前后对比分析

5.2.1 舒适性对比

通过问卷调查和生理指标监测评估舒适性。优化前，驾驶员连续驾驶 2 小时后，腰部肌肉疲劳度达 65%，颈部疲劳度 58%；优化后，腰部疲劳度降至 32%，颈部疲劳度降至 28%。92% 的驾驶员对优化后的座椅舒适性表示满意（见图 1）。

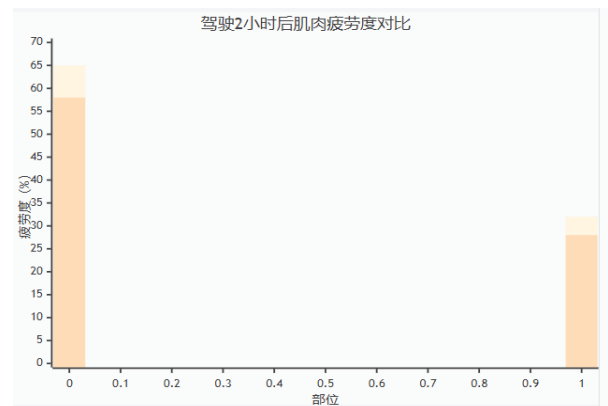


图 1 驾驶 2 小时后肌肉疲劳度对比

5.2.2 操作便捷性对比

在模拟驾驶实验中，记录驾驶员完成换挡、转向、刹车等 10 项操作的时间和失误次数。优化前，平均耗时 35 秒，失误 2.3 次；优化后，平均耗时缩短至 22 秒，失误次数降至 0.8 次，操作效率显著提升（见图 2）。

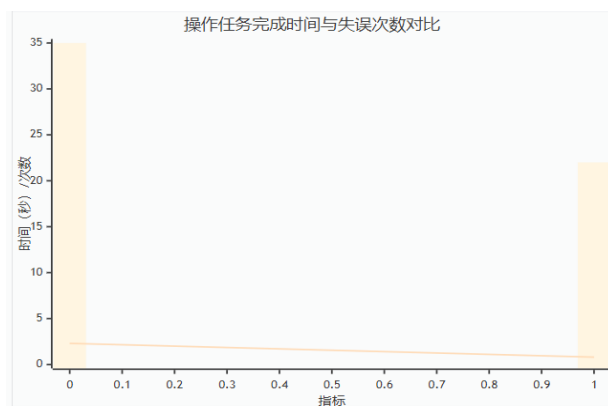


图 2 操作任务完成时间与失误次数对比

5.2.3 视野改善对比

利用激光测距仪和鱼眼摄像头量化分析视野范围。优化后,前方视野盲区面积从 0.8m^2 减少至 0.48m^2 ,后方视野覆盖角度从 120° 提升至 160° ,驾驶员对周围环境的感知能力大幅增强。

5.2.4 噪声与振动控制效果对比

经专业仪器测试,优化前驾驶舱内平均噪声为 85dB ,优化后降至 70dB ;振动加速度从 1.2m/s^2 降低至 0.5m/s^2 ,有效减轻了噪声和振动对驾驶员的影响。

5.3 优化设计的经济效益与社会效益分析

优化后的驾驶舱显著提升了矿用车的运行效率 and 安全性。驾驶员疲劳导致的车辆故障率下降 40% ,每年每辆车维修成本减少约 8 万元。操作效率提升使单车日运输量增加 15% ,按每车每年工作 300 天、矿石单价 50 元/吨计算,每年每辆车可增加经济效益 90 万元。从社会效益看,优化后的驾驶环境有效保护了驾驶员身心健康,降低了安全事故发生率,保障了矿山企业的稳定生产,对构建安全、和谐的矿山作业环境具有重要意义。

6 结论与展望

6.1 研究成果总结

本研究基于人机工程学原理,系统分析了矿用车驾驶

舱存在的问题,提出并验证了有效的优化策略。优化后的驾驶舱在舒适性、操作便捷性和安全性方面显著提升,为矿用车设计提供了科学依据和实践参考。

6.2 研究不足与展望

研究在样本选取和实验条件上存在一定局限性。未来可扩大研究范围,涵盖更多车型和驾驶员群体,结合虚拟现实、智能传感等先进技术,进一步深入研究人机工程学在矿用车驾驶舱设计中的应用,推动矿山运输行业的智能化、安全化发展。

参考文献:

- [1] 牛晓佩.矿用自卸车驾驶室人机工程开发与研究[D].长沙:湖南大学,2014.
- [2] 周立迎,李忠华,杨闯,等.基于人机工程学的矿用挖掘机驾驶室设计[J].煤矿机械,2019,40(10):4-6.
- [3] 王宏雁,高云凯.汽车人机工程学[M].上海:上海交通大学出版社,2010.
- [4] 陈立平,黄正东,王峻峰.汽车数字化开发技术[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 赵江洪.汽车人机工程学[M].北京:北京理工大学出版社,2004.
- [6] 唐文献,袁银南,孙月新,等.基于人机工程学的装载机驾驶室设计[J].农业机械学报,2007,38(8):31-34.