

工程机械称重系统研究

雷发兵 施俊波 刘文静

湖南中联重科智能高空作业机械有限公司, 湖南 长沙 410000

[摘要]在现代工业与基础设施建设的快速发展进程中,高空作业机械凭借其高效、灵活的作业特性,在建筑施工、桥梁维护、电力检修、市政工程等众多领域得到了极为广泛的应用。在建筑施工中,高空作业机械能够助力工人快速搭建脚手架、安装建筑材料,显著提高施工效率,缩短工期;在桥梁维护场景里,它可以精准地将维修人员和工具送达桥梁的各个部位,确保桥梁的结构安全和正常使用;电力检修时,高空作业机械能够让检修人员迅速到达高空的电力设备处,及时进行故障排查与修复,保障电力供应的稳定;市政工程中,高空作业机械可用于路灯安装、广告牌更换等工作,为城市的正常运转提供支持。

[关键词]高空作业平台;称重装置;高精度;可靠性;安全性

DOI: 10.33142/ec.v8i2.15382

中图分类号: TH825

文献标识码: A

Research on the Weighing System of Construction Machinery

LEI Fabing, SHI Junbo, LIU Wenjie

Hunan Zoomlion Intelligent Access Machinery Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract: In the rapid development process of modern industry and infrastructure construction, high-altitude operation machinery has been widely used in many fields such as construction, bridge maintenance, power maintenance, municipal engineering, etc. due to its efficient and flexible operating characteristics. In construction, high-altitude work machinery can assist workers in quickly setting up scaffolding and installing building materials, significantly improving construction efficiency and shortening the construction period; In bridge maintenance scenarios, it can accurately deliver maintenance personnel and tools to various parts of the bridge, ensuring the structural safety and normal use of the bridge; During power maintenance, high-altitude operation machinery allows maintenance personnel to quickly reach the power equipment at high altitude, conduct timely troubleshooting and repair, and ensure stable power supply; In municipal engineering, high-altitude work machinery can be used for tasks such as installing streetlights and replacing billboards, providing support for the normal operation of the city.

Keywords: aerial work platform; weighing device; high-precision; reliability; safety

引言

高空作业机械通常包括高空作业平台、高空作业车等多种类型。其中,高空作业平台按结构形式又可细分为剪叉式、臂架式、桅柱式等。剪叉式高空作业平台具有承载能力大、稳定性好的特点,适用于大面积的高空作业;臂架式高空作业平台则以其作业高度高、作业范围广的优势,常用于大型建筑、桥梁等工程的高空作业;桅柱式高空作业平台小巧灵活,适用于空间狭窄的场所进行高空作业。这些不同类型的高空作业机械在各自适用的场景中发挥着关键作用,极大地提高了高空作业的效率和质量。

1 研究背景与意义

随着城市化进程的加速和基础设施建设的蓬勃发展,高空作业在建筑、维修、安装等众多领域中愈发常见。高空作业平台作为一种能够将作业人员、工具和材料安全、高效地送达高空作业位置的设备,其应用范围不断扩大,涵盖了建筑施工中的外墙装饰、设备安装,电力行业的输电线路维护,以及工业厂房的设备检修等场景。在建筑施工中,高空作业平台可用于高层建筑的外墙清洗、玻璃幕墙安装等作业;在电力领域,能助力输电线路的巡检与维

修;在工业厂房,方便设备的安装与维护。例如,在城市中随处可见的高楼大厦建设过程中,高空作业平台为施工人员提供了稳定的工作平台,大大提高了施工效率。

然而,高空作业本身具有较高的危险性,一旦发生事故,往往会造成严重的人员伤亡和财产损失。据相关统计数据,在过去几年中,高空作业事故在各类安全生产事故中占据了相当比例。导致这些事故的原因众多,其中平台超载是一个重要因素。当高空作业平台承载的重量超过其额定载荷时,平台的稳定性会受到严重影响,极易发生倾斜、倒塌等危险情况。因此,准确测量和监控高空作业平台的承载重量对于保障作业安全至关重要。

称重系统作为高空作业平台的关键组成部分,能够实时、准确地测量平台上的载荷重量。通过安装高精度的称重传感器和先进的信号处理装置,称重系统可以将平台所承受的重量转化为电信号,并经过一系列处理后以直观的数字形式显示出来。这使得操作人员能够清晰地了解平台的承载状态,从而及时采取相应措施,避免超载情况的发生。例如,当称重系统检测到平台上的重量接近或超过额定载荷时,可立即发出警报,提醒操作人员减少负载或停

止作业，有效降低安全事故的发生概率。

此外，称重系统对于提升高空作业平台的作业效率也具有重要意义。在实际作业过程中，了解平台上的载荷重量有助于合理安排作业任务和资源分配。例如，在建筑施工中，根据称重系统反馈的重量信息，施工人员可以精确计算所需吊运的建筑材料数量，避免因材料过多或过少而导致的效率低下问题。同时，通过对不同作业阶段平台载荷的监测和分析，还可以优化作业流程，提高整体作业效率。

综上所述，研究和开发高精度、可靠性强的高空作业平台称重系统，对于保障高空作业的安全、提升作业效率以及推动相关行业的可持续发展具有重要的现实意义。

2 国内外发展现状

国内外发展现状：在高空作业机械称重系统的研究领域，国内外学者和企业都进行了大量的探索与实践，取得了一系列具有重要价值的成果。

国外在高空作业机械称重系统的研究方面起步较早，技术相对成熟。美国 JLG 公司作为全球知名的高空作业设备制造商，在其产品中广泛应用了先进的称重技术。该公司采用高精度的压力传感器和先进的算法，能够实时、准确地监测作业平台上的载荷情况，并通过智能控制系统对设备的运行状态进行优化调整。例如，其研发的某型号高空作业平台，通过在关键部位安装多个压力传感器，利用传感器实现对平台载荷的全方位监测，有效提高了称重的精度和可靠性。Genie 则在称重系统的稳定性和抗干扰能力方面取得了显著突破。该公司运用先进的滤波技术和信号处理算法，有效减少了外界因素对称重数据的干扰，确保了称重系统在复杂环境下的稳定运行。此外，国外的一些研究机构还致力于将人工智能、机器学习等前沿技术应用于高空作业机械称重系统的研究中。通过对大量历史数据的分析和学习，建立精准的载荷预测模型，实现对平台载荷的智能预测和预警，进一步提高了作业的安全性和效率。

国内在高空作业机械称重系统的研究方面虽然起步相对较晚，但近年来发展迅速，取得了许多令人瞩目的成果。江苏柳工机械有限公司于 2024 年申请的“一种臂架式高空作业平台的称重装置”专利，通过独特的多平面安装设计，有效避免了传统单一平面安装方式引发的工作平台晃动问题，减少了作业人员在高空作业时所面临的心理压力，同时提高了安全性、测量精确度和连接的可靠性。此外，国内的一些高校和科研机构也在积极开展相关研究工作。他们通过理论分析、实验研究和数值模拟等多种手段，对称重系统的传感器选型、安装位置优化、信号处理算法等关键技术进行了深入研究，为我国高空作业机械称重系统的技术创新和产品升级提供了有力的理论支持和技术支撑。

尽管国内外在高空作业机械称重系统的研究方面取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。部分称重系统的精度和稳定性有待进一步提高，尤其是在复杂工况和恶劣环境下，称重数据容易受到干扰，导致测量误差较大。

一些称重系统的响应速度较慢，无法及时准确地反映平台载荷的变化情况，影响了作业的安全性和效率。此外，目前的称重系统在智能化程度方面还有待提升，缺乏对载荷数据的深度分析和挖掘能力，难以实现对作业过程的智能优化和决策支持。

3 研究方法与创新点

本文围绕高空作业平台称重装置展开研究，详细阐述了该称重装置的设计原理、结构特点以及在高空作业设备中的重要作用。通过对现有技术的分析，提出了一种新型的称重装置设计方案，旨在提高高空作业平台称重的准确性和可靠性，保障高空作业的安全性和高效性，为相关领域的技术发展提供参考。

称重系统作为高空作业机械的直接承载装置，对高空作业机尤为重要，关系着高空作业机械各种工况的整机稳定性。其由承载装置，称重传感器、连杆、轴承、飞臂等组成，承载装置通过四连杆结构把载荷分解为垂直向下的力，使传感器应变片产生形变，实现称重系统的高精度，确保整机在各种工况作业时不倾翻，其实现方法及成果都已经过验证，可实现高精度、更可靠要求。

4 实现方式

首先设计可视化模型，通过对可视化模型进行有限元仿真、运动仿真，达到要求后制造、装配成设备、测试称重精度、测试称重系统强度、测试称重系统疲劳强度，最终完成对高空作业平台称重系统的研究，已完成 1 项发明、1 项实用新型专利。

5 研究思路

称重系统由销轴、轴承、连杆 I、固定端、连杆 II、承载部件、上止动板、半球头螺栓、称重传感器、下止动板、紧固件组成。

原理、固定端、连杆 I、连杆 II、承载部件由销轴铰接组成四连杆机构，为了降低运动部分摩擦，销轴与连杆 I、连杆 II 之间装配有轴承，称重传感器由安装紧固件固定在固定端，为了减小称重传感器与承载部件得摩擦力，称重传感器上安装有半球头螺栓，承载部件上焊接有上止动板、下制动板。当承载部件加载时，四连杆机构力矩传递到了销轴，垂下力重力由上止动板传递到了称重传感器，由此来实现对载荷得称重。

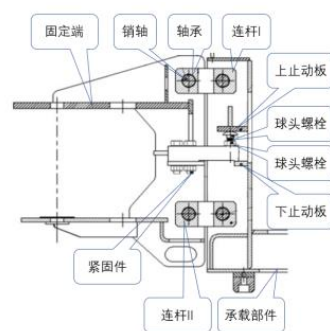


图 1 结构原理图

6 称重系统运动仿真计算

运动仿真：通过在承载部件不同位置①、②、③、④、⑤加载相同载荷，检测上止动板与球头接触位置的力值大小，加载载荷为 7055N。

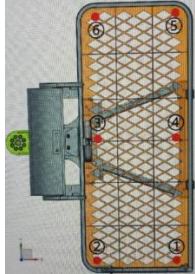


图2 承载部件测点布置

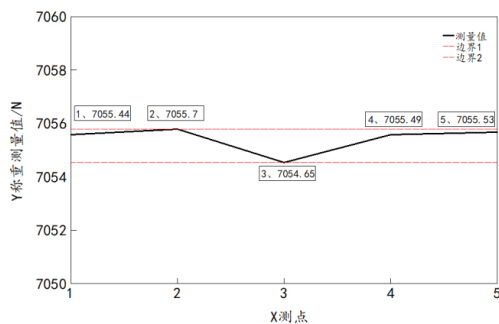


图3 运动仿真结果

载荷置于承载部件不同位置时，称重传感器测量值变化趋势。

7 运动仿真结论

载荷置于承载部件不同位置时，随着载荷位置得变化，称重传感器测量值变化趋势范围较小，变化量 $\Delta=1.1\text{N}$ ，仿真精度良好，可满足要求

8 称重系统有限元仿真计算

结构强度计算如下图所示：

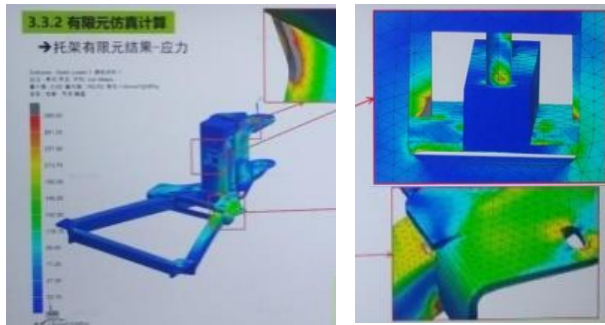


图4 结构强度计算

9 有限元计算结论

表1 结构材料选择及结构强度计算结果

称重系统结构材质		HG785
材料强度/Mpa	屈服强度	685
	拉伸强度	785
许用应力/Mpa		414
安全系数		1.49
计算最大应力/Mpa		285

称重系统最大应力 285Mpa，出现在称重传感器安装板处，如图所示，小于材料许用应力 414Mpa，满足设计要求。

10 称重系统疲劳测试

疲劳实验方法：固定座用螺栓固定在实验平台立柱上，因无法直接在承载部件加载荷在承载部件上设计了一组承载部件模拟件，用来添加载荷及调整载荷小，连接座与振动器相连接，如测试台拉力器力值过大，已超出我们所需最大载荷（最大额定载荷），在连接座与承载部件模拟件之间增加了一组拉伸弹簧，利用拉伸弹簧的刚度及拉伸长度控制震动器，给出拉力的大小，达到反复试验的效果。

11 结论

通过 10 万次往复加载后，结构未产生永久变形及断裂，焊缝未出现开裂，称重传感器称重精度满足目标要求。

[参考文献]

- [1]移动式升降作业平台-设计计算—稳定性标准—施工—安全形——检查与测试：BS EN280[S]. 英国：英国标准学会，2022.
- [2]移动式升降工作平台 设计计算、安全要求和测试方法：GB/T25849[S]. 中国：中国国家标准化管理委员会，2010.
- [3]起重机设计规范 GB/T3811-2008[S]. 中国：中国标准出版社，2008.

作者简介：雷发兵，男，就职湖南中联重科智能高空作业平台有限公司，负责曲臂式高空作业平台开发，工程师职称，产品经理、产品总体负责人。