

## 基于实际应用工况的车载高空作业车工作平台设计优化

银峰 邓超 郑波

湖南中联重科智能高空作业机械有限公司, 湖南 长沙 410200

**[摘要]** 随着近几年高空作业车行业快速发展, 车载式高空作业车已广泛应用于国家的各项建设中。其中蓝牌产品因城区不限行且 C 照就可以驾驶, 更受广大客户青睐。同时随着作业工况的多样化, 为了适应各种工况目前蓝牌车载式高空作业车最高作业高度可达 30m, 但是按照国家法规要求, 蓝牌车总重量不能超过 4.5 吨, 这样对产品的轻量化和安全性也有了更高的要求。本文通过对车载式高空作业车实际工况为研究对象, 对工作平台进行设计优化, 保留称重系统保障产品的安全性, 改善结构布置提高工作灵活性, 同时优化设计后工作平台重量可以减轻 20kg 及提高平台回转机构寿命

**[关键词]** 车载式高空作业车; 工作平台; 安全性; 称重系统; 轻量化设计

DOI: 10.33142/ec.v7i11.14260

中图分类号: TH164

文献标识码: A

### Design Optimization of Working Platform for Vehicle Mounted Aerial Work Platform Based on Practical Application Conditions

YIN Feng, DENG Chao, ZHENG Bo

Hunan Zoomlion Intelligent Access Machinery Co., Ltd., Changsha, Hunan, 4102000, China

**Abstract:** With the rapid development of the aerial work vehicle industry in recent years, vehicle mounted aerial work vehicles have been widely used in various national constructions. Among them, blue brand products are more favored by customers because they are not restricted to driving in urban areas and can be driven with C license. At the same time, with the diversification of operating conditions, in order to adapt to various working conditions, the maximum operating height of the blue license plate vehicle mounted high-altitude operation vehicle can reach 30m. However, according to national regulations, the total weight of the blue license plate vehicle cannot exceed 4.5 tons, which also has higher requirements for the lightweight and safety of the product. This article takes the actual working conditions of the vehicle mounted high-altitude work platform as the research object, optimizes the design of the work platform, retains the weighing system to ensure the safety of the product, improves the structural layout to enhance work flexibility, and optimizes the design. At the same time, the weight of the work platform can be reduced by 20kg and the service life of the platform rotating mechanism can be improved after optimization.

**Keywords:** vehicle mounted aerial work platform; work platform; security; weighing system; lightweight design

#### 引言

随着城市的快速发展和商业的高度发达, 广告装潢、市政交通、道路绿化、市容美化、场馆维护等城市高空作业场景越来越多, 高空作业机械因其高效、安全等特点也得到了广泛认可。城市高空公共设施迅猛增加, 同时为缓解城市人口压力, 中高层建筑越来越多, 催生了大量的高空维修保障需求<sup>[1]</sup>。多功能、灵活、安全等综合优越性使高空作业车的需求越来越大, 路灯维修、墙面除尘、电网安全维护、高层作业施工等场合均有涉及<sup>[2-3]</sup>。自行走高空作业平台因其不能上路行驶、移动缓慢等因素, 在城市高空作业场景中有其局限性。而黄牌高空作业车因法规限制进城区需办理通行证, 颇为不便, 因此蓝牌车载高空作业车, 市场渗透率越来越大, 为了适应各种工况目前蓝牌车载式高空作业车最高作业高度可达 30m, 但是按照国家法规要求, 蓝牌车总重量不能超过 4.5 吨。因此在保证产品性能的前提下进行轻量化和提高产品工作安全性已逐渐成为共识。高空作业车行业技术不断创新, 智能化、电

动化、轻量化成为新的发展趋势。企业加大研发力度, 推出更加先进、高效的产品。高空作业车行业正处于快速发展阶段, 市场规模不断扩大, 技术创新不断推进, 市场竞争日益激烈。

#### 1 工作平台现状

车载高空作业车工作平台现状

蓝牌车整机总质量有法规限制, 近三年蓝牌车主流工作高度米从 20m 左右提高至 30m, 那么对工作平台里载荷重量控制变得尤为重要, 然而目前市面上蓝牌车载高空作业车 90%未配置称重机构。少量配置称重机构的产品也是参考自行走高空作业车以连接支座的型式布置称重机构(如图 1 所示)。工作平台主要由工作斗、托架、和回转机构组成, 是在空中承载工作人员、工具和物料的装置; 工作平台的重量增加, 则导致整机重量增加, 且是对整机稳定性影响最大的部件。现有的设计结构选型上偏于保守, 托架结构导致工作平台重量增加, 且托架位于工作斗工作平面以外(如图 2 所示), 工作时不能最大限度地接近工

作面,降低了产品工作便利性;同时回转中心和工作斗中心距离较大,回转时回转阻力矩较大,需要更大回转驱动力及影响回转机构寿命。

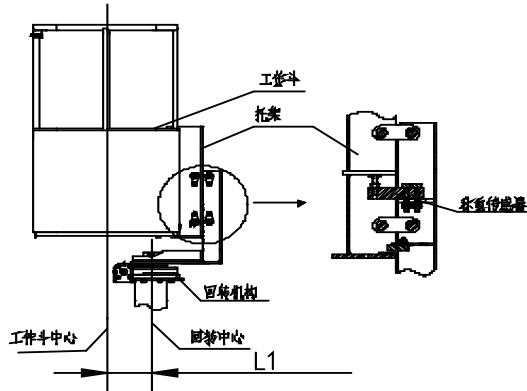


图1 工作平台结构现状示意图

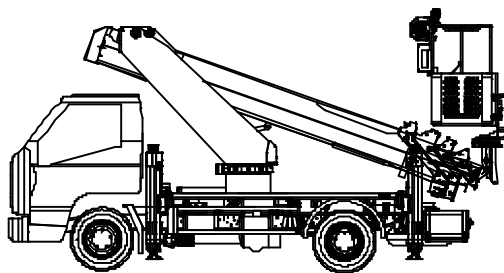


图2 整车结构现状示意图

## 2 基于实际应用工况的工作平台优化设计

### 2.1 典型工况分析

车载式高空作业车常用于广告装潢、市容美化、场馆维护等工作场景。在使用过程中因需要携带工具、物料等容易造成超载,尤其在目前产品工作幅度和高度越来越大,超载发生倾翻可能性更大。同时在工作时也需要工作平台尽量靠近施工面,保证作业方便。车载式高空作业车的常用工况既需要保证施工的安全也要同时兼顾便利性。综合考虑车载高空作业车在实际作业过程中工作平台结构系统受力最大的典型工况<sup>[4]</sup>,本文选用1.5倍额定载荷(超载工况)典型工况进行仿真分析和计算,主要用于考核结构强度和回转机构优化空间。

### 2.2 优化方案

针对托架重量重,且影响工作灵活性的缺点,可以通过将连接支座和调平座优化为过渡座和调平座的结构(如图3所示)。车载式高空作业车在作业过程中靠近工作面工作非常重要,只有足够靠近工作面才能安全、便捷地进行高空作业,所以保证工作斗外立面为整机最靠外面尤为重要,同时因作业过程中需要调整姿态,作业过程中会频繁进行旋转,回转中心和工作斗中心距离越小,回转阻力就会越小,对回转机构寿命越有利。本结构可以有效减小结构件重量20kg,较优化前工作平台总质量减少10%;优化回转机构受力,提高工作时使用便利性,同时配置称重

传感器保障高空作业安全。

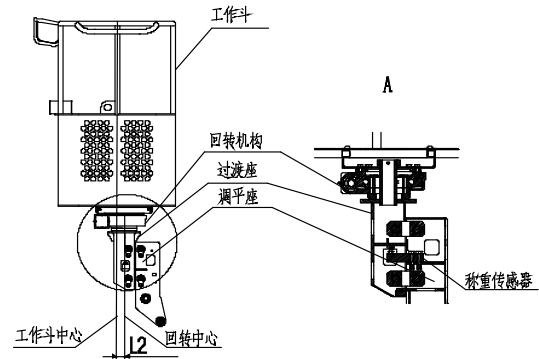


图3 工作平台优化布置方案图

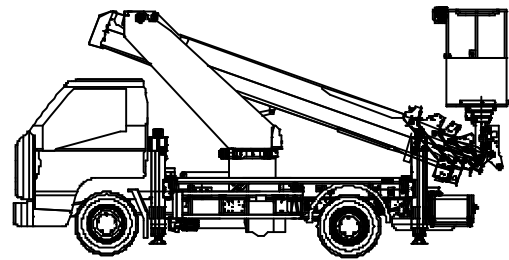


图4 优化后整车示意图

### 2.3 优化后应力计算分析

工作平台装置是在空中承载工作人员、工具和物料的装置,安全性尤为重要,对优化后的调平座和过渡座模型进行有限元分析,有限元仿真模型根据实际模型进行结构简化。根据结构布置和部件重要程度,网格大小控制在10-15mm之间,过渡座与工作平台相连接,选取1.5倍超载工况进行仿真模拟,保证结构强度的安全裕度,得到应力如图5所示。调平座和过渡座材料的屈服强度为550MPa,根据高空作业机械行业实际使用情况,安全系数一般取大于2<sup>[5]</sup>,即材料的最大应力小于275MPa,计算最大应力小于240MPa。根据计算结果可知,调平座和过渡座的最大应力均满足要求。

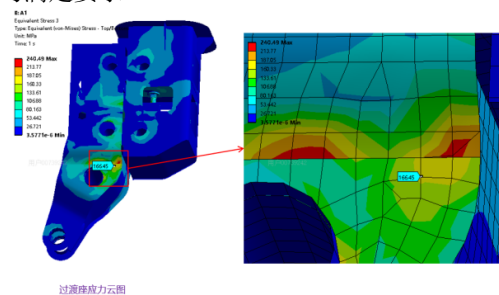


图5 优化后应力计算结果

回转机构由回转支撑和回转驱动电机组成,作为活动部件和固定底座的连接件,必须具备把活动件的应力传递到底座的能力。为选择具备足够能力的适当回转支承,需精确地界定所受的全部应力,包括由重量、负载和结构惯性产生的影响。回转支承在使用过程中,一般要承受轴向

力  $F_a$ 、径向力  $F_r$  以及倾覆力矩  $M$  的共同作用。优化后结构轴向力  $F_a$ 、径向力  $F_r$  和原结构基本一致，但是倾覆力矩  $M$  可以得到有效减小。用根据回转阻力矩计算  $M(\max) = M_f + M_s + M_w + M_t$ ， $M_f$  为摩擦阻力矩， $M_s$  为坡道阻力矩， $M_w$  为风载阻力矩， $M_t$  为惯性阻力矩。从图 1 和图 3 中可以看出优化后设计可以减小回转中心和转台中心距离即  $L_2$  小于  $L_1$ ，如下图 5 所示回转重物中心和回转中心距离  $a$  减小可以引起回转阻力矩计算  $M$  减小。本工作平台回转机构由回转电机驱动，通过减速器将动力传递给回转减速机，在回转减速机内部，齿轮系统起到主要的传动作用。电机驱动输入轴与减速机内部的齿轮系统相连，通过齿轮传动将输入轴的旋转转换为输出轴的旋转。因为倾覆力矩  $M$  减小，回转电机工作电流会相应减小，通过计算回转电机工作电流可以减小 21%。工作平台结构优化后，可以有缓解工作时驱动电机温度升高，绝缘材料老化及减小回转支撑部件磨损，提高回转机构使用寿命。

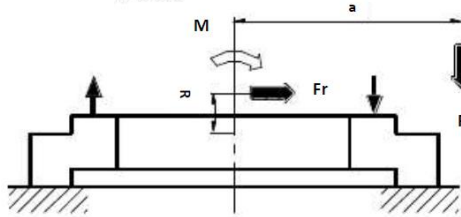


图 6 回转机构受力示意图

### 3 试验验证

根据试验验证需求制作了一套优化后工作平台样件，安装在实车上进行应力测试和回转工作电流监测测试。应力测试点的布置位置与有限元计算结果的最大应力位置一致，如图 6 所示。应力测试时工作斗加载额定载荷的 1.5 倍载荷进行测试，所有载荷布置在工作平台受力最差位置。工作斗回转是由回转电机驱动回转减速机达成，测试时工作斗加载额定载荷的 1.5 倍载荷进行测试，工作平台装置进行 10 次 360 度旋转，求出均值。图 7 为测试优化前、后回转电机工作电流。



图 7 轻量化剪叉臂实车安装图



图 8 回转电流监测测试

试验测试了 1.5 倍额定载荷情况下的调平座和过渡

座应力情况，工况最大应力测试结果如表 1 所示，并根据应力测试结果计算出与有限元分析结果的最大误差。

表 1 应力测试结果

名称	1.5 倍额定载荷/MPa	1.5 倍额定载荷误差/%
调平座测点 1	223	7.08

回转电机工作电流测试如下表所示，优化后工作电流可以减小 18%。

表 2 回转工作电流测试结果

名称	1.5 倍额定载荷 (改进前)	1.5 倍额定载荷 (改进后)
回转电流	8.9A	7.3A

基于有限元计算和试验测试的结果可看出，应力测试结果与有限元计算结果基本一致，误差值为 7.1%，计算精度较好，满足工程机械测试误差精度要求。回转电流测试优化后可以减小 17.9%，可以有效减小回转机构工作负载，提高回转机构寿命。

### 4 结语

本文根据某型号车载产品工作平台结构优化，降低工作平台装置自重 10%，提高使用便利性和提高回转机构寿命，同时保留了称重传感器保障高空作业的安全。然后通过应力测试采集优化设计样件 1.5 倍额定载荷超载工况的应力数据和回转电流测试与有限元分析及计算结果进行对比验证，最终得出以下结论：(1) 工作平台托架结构优化为调平座加过渡座结构，能够有效提高工作便利性，保证工作时更接近工作面，同时保留称重传感器保证高空作业安全，可以推广至其他车载高空作业车型，具有较大实用性，提高产品市场竞争力。(2) 通过将托架优化为调平座和过渡座的设计，可减轻工作平台装置重量 10%，降低制造成本，提升作业稳定性。(3) 通过应力测试采集和回转电流采集的工况应力数据和工作电流与有限元分析结果及回转电流计算结果接近，表明理论计算结果精确可靠。

#### [参考文献]

- [1] 邢伟. 某型号直臂式高空作业平台臂架结构分析及优化[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2019.
- [2] 丁剑平, 蔡雷. 我国大高度高空作业车市场发展现状[J]. 建筑机械, 2017(6): 36-37.
- [3] 张华, 李守林. 国内外高空作业机械的现状与发展趋势(上)[J]. 建筑机械化, 2011, 3(3): 19-24.
- [4] GB/T25849-2010 移动式升降工作平台-设计计算、安全要求和测试方法[S].
- [5] GB/T9465-2018 高空作业车[S].

作者简介：银峰（1988.9—），男，学历：本科，毕业院校：长沙理工大学，所学专业：机械制造及其自动化，目前职称：中级工程师，目前就职单位：湖南中联重科智能高空作业机械有限公司。