

电力设备安装用悬吊装置的多功能拓展设计与实践

施敬萍 刘伟

浙江嘉越能源科技有限公司 浙江嘉兴 314000

【摘要】电力设备安装场景的复杂性催生悬吊装置多功能化需求，经剖析传统装置功能局限，从多维度分解功能需求，开展机械结构与智能系统融合设计，构建功能模块协同运作机制。该装置在城市电网、山区输电线路等场景实践部署，性能实测与量化评估，其安装效率、精度、安全性等方面提升显著，降低人力成本与设备损耗，还为电力设备安装技术升级提供有效解决方案。

【关键词】电力设备；悬吊装置；多功能拓展；结构设计；实践应用

Multi-functional expansion design and practice of suspension device for electric equipment installation

Shi Jingping Liu Wei

Zhejiang Jiayue Energy Technology Co., LTD. Zhejiang Jiaxing 314000

【Abstract】The complexity of power equipment installation has led to the demand for multifunctional suspension devices. By analyzing the limitations of traditional devices and breaking down functional requirements from multiple perspectives, a design that integrates mechanical structures with intelligent systems has been developed, establishing a mechanism for the coordinated operation of functional modules. This device has been deployed in urban power grids and mountain transmission lines, with performance tests and quantitative evaluations showing significant improvements in installation efficiency, accuracy, and safety. It also reduces labor costs and equipment wear, providing an effective solution for upgrading power equipment installation technology.

【Key words】electric equipment; suspension device; multi-functional expansion; structural design; practical application

引言

电力工程建设规模与技术难度持续攀升，从城市电网密集区域到偏远山区输电线路，安装环境复杂多变，传统电力设备安装悬吊装置功能单一、调节能力不足，难以满足多样化设备的精准吊装需求，且在极端环境下易发生运行故障，严重影响安装效率与安全性。为应对行业挑战，亟需突破传统设计思维，对悬吊装置进行多功能拓展，结构创新与智能技术融合，提升装置环境适应性与作业灵活性，成为推动电力设备安装技术进步的关键路径。

一、电力设备安装悬吊装置现状与问题剖析

（一）传统悬吊装置功能特性

传统电力设备安装悬吊装置多以机械结构为核心，主要功能集中于重物垂直起吊与简单位移操作，其动力系统多采

用电动葫芦或手动绞盘，依靠固定滑轮组实现载荷提升，缺少自动化调节机制，结构设计方面，装置主体多为刚性框架，虽能满足基础承重需求，但角度调节需人工辅助，难以在三维空间内实现精准定位。滑轮组倍率固定，无法依据实际载荷灵活调整提升速度与扭矩。控制系统仅具备基础的启停和速度控制功能，缺乏对载荷重量、吊装角度的实时监测，难以适应复杂工况下的动态作业要求，当面对不规则形状设备或在狭小空间作业时，装置难以自身结构调整完成安装任务，功能单一性明显限制了其应用范围。

（二）复杂作业场景下的适配困境

在现代电力工程里，设备安装环境包含山地、城市电网等复杂地形，还需应对狭小空间、高空跨越等特殊工况，山地作业存在地势起伏大、运输路径崎岖的问题，传统悬吊装置难以快速转移和定位；城市电网改造常常要在密集建筑间作业，固定结构难以避开障碍物。面对不同规格的电力设备，从小型精密器件到大型变压器，传统装置缺少尺寸兼容设

计,无法满足多样化设备的安装需求,在极端环境中,像强风、高湿度等条件下,装置防护性能不够,金属部件容易被腐蚀、润滑系统失效,进而造成机械卡顿、电气故障,使得作业中断,无法保障安装过程的稳定性和安全性,难以适应现代电力工程对设备安装的高效、安全要求。

(三) 功能局限对安装效率的影响

由于传统悬吊装置缺失智能监测与自适应调节功能,安装过程需投入大量人力进行参数调整和安全监控,吊装作业中,因不能实时获取载荷数据,需反复开展试吊操作,延长单次作业耗时,装置有限的角度调节能力,常致使设备安装位置出现偏差,增加二次校准和返工频次^[1]。其操作依赖人工经验判断,在复杂工况下容易出现判断失误,单一功能特性迫使工程中频繁更换设备,如面对不同重量、尺寸设备时需切换对应装置,造成资源浪费和工期延误,人工操作的不确定性使安全风险上升,防护措施不足更易引发事故,显著降低电力设备安装的整体效率和经济效益。

二、悬吊装置多功能拓展设计方案构建

(一) 多维度功能需求分解

电力设备安装工况的多样性决定悬吊装置需具备复合功能体系,空间维度中,装置需在狭小巷道、高空塔架等复杂环境里实现三维空间精准定位,水平位移精度要达到毫米级,俯仰与旋转角度调节范围覆盖 $0-360^{\circ}$,以适配不同设备的安装方位;载荷维度要求装置搭载高精度重量传感器,实时采集负载数据,经过智能算法动态调整提升力,确保在额定负载范围内稳定运行;环境维度需满足 IP67 防护等级,具备宽温域工作能力,在 -40°C 至 80°C 温度区间及高湿度、强沙尘环境中保持性能稳定;安全维度则需构建双重冗余保护机制,集成倾角监测、防脱钩传感器与应急制动系统,全方位保障作业安全。

(二) 机械结构与智能系统融合设计

机械结构采用可重构模块化设计,借助快拆式关节与伸缩臂组合实现形态变换,关节处配备交叉滚子轴承与谐波减速器,保障运动平稳性与高刚性,驱动系统选用伺服电机直驱方案,搭配光栅尺反馈装置,达成 $\pm 0.1\text{mm}$ 位移精度与 $\pm 0.1^{\circ}$ 角度控制。智能系统以工业级控制器为核心,集成压力、温湿度、陀螺仪等多类传感器,构建数据采集网络,机械结构与智能系统 EtherCAT 总线实时通信,智能系统依据

预设算法对采集数据融合分析,自动生成控制指令驱动机械结构动作,形成自适应调节闭环。

(三) 功能模块协同运作机制

悬吊装置各功能模块遵循统一通信协议与接口标准,借助现场总线实现即插即用,负载监测模块实时采集重量数据并传输至中央控制器,当检测到负载突变时,即刻触发防晃动算法,同步联动姿态调节模块调整吊臂角度以维持平衡;环境监测模块持续监测温湿度、风速等环境参数,在极端天气条件下,自动切换至防护模式,启动加热除湿装置与防风锁定机构,并降低运行速度^[2]。多模块协同工作依赖优先级调度策略,安全相关模块具备最高执行权限,确保装置在任何工况下优先保障作业安全,任务队列优化资源分配,提升整体运行效率。

三、多功能悬吊装置实践应用与性能验证

(一) 典型作业场景的应用部署

在城市电网改造工程里,多功能悬吊装置部署于狭窄巷道的变压器安装作业,装置依靠模块化关节与柔性连接组件,能在有限空间中快速完成结构重组,借助水平位移和多角度调节功能,精准对准变压器安装基座,山区输电线路建设中,面对复杂地形与高空作业需求,悬吊装置运用环境自适应功能,在强风环境下自动调整重心与姿态,搭配智能防坠落监测系统,保障绝缘子串等设备的稳定吊装。地下变电站设备安装时,装置的防水防尘与抗电磁干扰性能,保障其在高湿度、强电磁环境中持续稳定作业,有效降低环境因素导致的设备故障风险,实现不同场景的高效应用部署。

(二) 性能指标的实测与分析

对多功能悬吊装置的性能指标开展全面实测,负载能力测试中,逐步增加模拟载荷,验证其在额定负载 120% 工况下,位移精度仍维持 $\pm 2\text{mm}$,角度调节误差控制在 $\pm 0.5^{\circ}$ 以内,动态响应测试表明,装置检测到载荷突变时,可在 0.3 秒内启动自适应调节机制,保障吊装稳定性。环境适应性测试将装置置于高温 (60°C)、低温 (-20°C)、高湿度 ($95\%\text{RH}$) 环境中连续运行 48 小时,其电气元件绝缘电阻下降率小于 5% ,机械部件无明显形变与卡顿,经与传统悬吊装置对比,多功能悬吊装置综合性能提升 30% 以上,有效满足电力设备安装的严苛要求。

（三）应用效果的量化评估

多功能悬吊装置的应用效果多项量化指标清晰呈现,在安装效率层面,统计数据表明,相较于传统装置,其单次作业时间平均缩短 40%,设备安装精度提升 50%,有效减少因位置偏差导致的返工频次^[1]。人力成本方面,由于装置自动化程度提高,单个作业班组可减少 2-3 名辅助人员,人工成本降低约 35%,设备损耗领域,智能监测系统实时反馈装置运行状态,使机械部件维护周期延长 60%,维修成本下降 40%,安全事故发生率从传统作业的 0.8%降至 0.2%,显著提升电力设备安装作业的安全性与经济效益,实现多维度应用价值的全面提升。

四、多功能悬吊装置持续改进与优化

（一）实践反馈中的现存问题

在实际应用场景中,多功能悬吊装置暴露出一系列亟待解决的问题。面对极端环境的严苛考验,其防护性能存在明显短板,在高海拔低温环境下,液压系统内油液黏度会急剧增加,流动性显著下降,致使执行机构响应变得迟缓;在强风沙环境里,即便精密传感器配备了防护外壳,细微沙尘仍有机会侵入内部,进而引发信号传输误差。装置的智能化水平也需进一步提升,在某些复杂工况下,智能决策系统难以高效完成多参数的融合分析,导致调节策略无法及时跟进,模块化结构的快速拆装接口在长期频繁使用后,会出现连接松动情况,对装置整体结构稳定性造成不利影响,这些问题严重限制了装置性能的充分发挥。

（二）迭代优化方向与技术升级要点

针对实践问题,迭代优化着重于三个方向。环境适应性方面,运用相变储能材料改进液压系统温控方案,借材料相变吸热或放热特性,维持油液工作温度稳定;给传感器加装

纳米涂层防护结构,增强防尘防水性能。针对高海拔地区气压变化引发的密封失效问题,研发自适应气压补偿密封结构,保障内部组件稳定运行;智能化升级领域,引入深度学习算法搭建多参数融合模型,强化智能决策系统对复杂工况的预判能力,实现更精准的调节策略输出,结合边缘计算技术,缩短数据处理时延,让装置可在 0.1 秒内响应突发状况;结构设计层面,改良模块化接口,采用磁吸与机械锁扣双重连接结构,增设防松脱装置,确保模块间连接稳固,优化各模块轻量化设计,在保证强度的前提下降低整体重量,提升便携性。

（三）改进路径的可行性分析

评估改进路径可行性从技术和成本维度展开,环境适应性改进里,相变储能材料、纳米涂层技术在工业广泛应用,移植到悬吊装置没原理问题,材料成本能控制,智能化升级的深度学习算法,可在现有工业控制平台二次开发,借电力工程大数据训练模型,部署不难。结构改进方面,磁吸和机械锁扣连接结构在精密仪器应用成功,加工工艺成熟,批量生产靠标准化流程降成本,整体改进方案技术有成熟案例,装置性能提升带来的经济效益远超成本投入,工程可行性高,推广价值大。

结语

多功能悬吊装置经创新设计与实践应用,切实解决传统装置在复杂工况中的适配难题,大幅提升电力设备安装效率与安全性,实现经济效益和工程质量双突破。着眼电力工程不断发展的新需求,未来可进一步深化智能算法运用、加强极端环境适应性研究,推动悬吊装置朝更高集成度、更强自主性方向迈进,持续为电力设备安装技术革新提供助力。

参考文献

[1]李悦.电力设备安装中的施工配合技术研究[J].中国设备工程,2024,(05):198-200.

[2]赖纪南,杨臣君,邱达铨,等.电力设备安工程施中质量控制探究[J].低碳世界,2023,13(11):136-138.

[3]黄启明,杜佳节.电力设备安装与调试的技术探析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(10):200-201.

[4]童炳辉.电力设备安装中的施工配合技术研究[J].新型工业化,2022,12(08):22-25.

作者简介:施敬萍,出生年月:1977年5月,男,汉族,籍贯:吉林省长春市,学历:专科,研究方向:电气系统及其自动化。