

电力工程施工用电缆辅助拉线工具的安全性设计与优化

施敬萍 刘伟

浙江嘉越能源科技有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8210

[摘要] 电力工程施工里，电缆辅助拉线工具安全性关联作业安全与效率，针对现有机械结构强度不够、防护功能有限、操作风险大的问题，从材料结构创新、智能防护构建、人机工程优化多个维度进行设计优化。经过实验室性能测试、施工现场应用反馈和仿真实验验证，实现工具承载能力提升、防护响应加快、作业效率提高，优化后的工具在实际工程中降低事故风险，给电力工程安全施工提供有效保障。

[关键词] 电力工程；电缆辅助拉线工具；安全性设计；优化方案；安全防护

Safety design and optimization of auxiliary cable pulling tools for power engineering construction

Shi Jingping Liu Wei

Zhejiang Jiayue Energy Technology Co., LTD.

[Abstract] In power engineering construction, the safety of cable auxiliary pulling tools is crucial for both operational safety and efficiency. To address issues such as insufficient mechanical strength, limited protective functions, and high operational risks, the design has been optimized through innovations in material structure, intelligent protection systems, and ergonomic improvements. After laboratory performance testing, on-site application feedback, and simulation theory verification, the tools have seen improvements in load-bearing capacity, faster protective response times, and enhanced operational efficiency. The optimized tools reduce accident risks in actual projects, providing effective support for safe power engineering construction.

[Key words] power engineering; cable auxiliary pulling tools; safety design; optimization scheme; safety protection

引言

随着电力工程规模不断扩大，电缆敷设作业难度和风险明显上升，电缆辅助拉线工具作为施工核心设备，其安全性直接关系到工程进度与人员安全。目前工具存在结构耐久性欠佳、安全防护薄弱、人机适配性差等问题，经常导致施工事故与效率低下，为契合电力工程高质量建设要求，对电缆辅助拉线工具开展系统性安全性设计优化，成为保障行业安全发展的紧迫任务。

一、电缆辅助拉线工具安全性问题剖析

（一）机械结构强度与耐久性隐患

电缆辅助拉线工具施工时需承受持续复杂载荷，机械结构强度与耐久性不足易致安全事故，一些工具关键受力部件像牵引臂、连接轴等，因材料选用不当或加工工艺有缺陷，难以满足高强度作业要求，在长期反复受力状况下，部件容易出现应力集中，进而使疲劳裂纹萌生扩展，最终造成结构失效。工具整体结构设计缺乏对动态载荷变化的适应性，当电缆敷设路径有转角或地形起伏时，无法有效分散应力，这会加剧部件磨损与变形，降低工具使用寿命和作业安全性，部件间的连接方式也影响结构稳定性，部分工具采用焊接或螺栓连接工艺，在频

繁振动与冲击下，容易出现焊缝开裂、螺栓松动等问题，对施工安全构成威胁。

（二）安全防护功能的局限性

当前电缆辅助拉线工具安全防护功能存在显著缺陷，关键防护装置设计缺位，缺少有效限位装置，导致电缆拉力超载时保护机制失灵，容易引发工具失控。紧急制动响应迟缓，无法在突发情况时及时停机，耽误风险处理，防护结构覆盖不全面，对旋转、移动部件隔离不够，增加人员受伤风险，各防护组件缺乏联动设计，在复杂工况下难以协同运作，难以构建完整可靠的安全防护体系，严重危及电力工程施工安全。

（三）操作过程中的安全风险点

电缆辅助拉线工具操作过程存在诸多安全风险。操作界面设计不合理，按钮布局杂乱且功能标识模糊，易让操作人员误操作。施工环境光线暗或空间窄时，操作不便问题更突出^[1]。操作流程繁琐，缺乏标准化指引，不同操作人员习惯与方法各异，增加操作失误几率，工具运行状态监测功能不完善，操作人员难以及时掌握拉力、转速等关键参数，无法提前预判潜在风险，工具异常运行时也缺少有效报警提示，致使操作人员不能及时应对，进而引发安全事故。

二、电缆辅助拉线工具安全性设计优化目标

（一）提升工具整体可靠性

为使电缆辅助拉线工具整体可靠性得到提升，需从材料性能、结构与制造工艺多维度切入，在材料选取上看，采用轻质复合材料或高强度合金钢制作关键受力部件，以热处理工艺增进材料的抗拉及抗疲劳性能，降低因材料失效产生结构破坏的风险系数。就结构设计层面，采用有限元分析技术来模拟工具整体所受的力，优化部件所采用的几何形状与连接方式，消除应力聚集的区域，增强结构稳固性以及抗变形的实力，提升制造工艺水平，对焊接、锻造等加工环节质量实施严格把控，保证部件尺寸精度以及表面质量达到标准值，减少因制造缺陷引发的故障事例，建立工具可靠性的相关测试标准，对工具展开耐久性、环境适应性相关试验，核实其在复杂工况环境下长期稳定运行能力，保障工具在全生命周期里可靠运行。

（二）强化安全防护效能

就关键运动部件及危险操作区域而言，设计全封闭的物理防护结构，采用高强度的防护栏、防护罩等物，防止人员跟危

险部位直接接触，采用智能传感技术，在工具关键节点处布置拉力、转速等传感器，实时监控运行中的各项参数，若检测到数据展现出异常情形，经由控制系统自动发动制动装置，阻断动力源头，阻止事故范围延展^[2]。推出联动型安全防护机制，实现限位装置、紧急制动系统、报警装置等协同联动，创建响应迅猛、功能互补的防护架构，结合施工环境特有的属性，为工具赋予防水、防尘、防腐蚀等防护能力，加大其在恶劣工况环境下的安全防护能力。

（三）优化人机协同作业体验

优化电缆辅助拉线工具人机协同作业体验，核心在于提升操作便捷性与舒适性，操作界面设计遵循人体工程学原理，合理布局操作按钮与显示屏幕，采用大尺寸、高对比度按键及直观图形化界面，方便操作人员在不同光照条件下快速识别与操作。简化操作流程，经过集成化、自动化设计减少不必要步骤，降低操作复杂度。工具操控性方面，配备轻量化、高灵敏度操控装置，优化力反馈系统，让操作人员精准感知工具运行状态，提升操作手感，注重舒适性设计，利用减震降噪技术降低作业振动与噪音干扰，合理设计座椅、扶手等支撑部件，减轻操作人员疲劳感，提高长时间作业效率与安全性。

三、电缆辅助拉线工具安全性优化策略

（一）材料与结构的创新设计

在电缆辅助拉线工具安全性优化里，材料与结构的创新设计是关键所在，材料上，选用高强度、轻量化的新型合金材料，像钛合金、镁铝合金等，这些材料有高比强度和出色的抗疲劳性能，能有效减轻工具整体重量，提高关键部件的承载能力，经过纳米复合处理工艺，增强材料表面硬度与耐磨性，延长部件使用寿命。结构设计中，运用拓扑优化技术，对工具力学结构重新布局，去除冗余材料，让应力分布更均匀，采用模块化设计理念，把工具拆成功能独立的模块，方便后期维护与升级；关键连接部位用高强度螺栓配合定位销的双重紧固方式，增强结构稳定性，保证工具在复杂工况下仍能可靠运行。

（二）智能安全防护系统构建

构建智能安全防护系统是提升电缆辅助拉线工具安全性的重要举措，在工具关键受力点与运动部件处集成高精度传感器，实时采集拉力、扭矩、位移等参数，并经过无线传输模块将数据反馈至中央控制系统，系统基于预设安全阈值，可自动

识别拉力超限、部件异常振动等异常工况，随即触发声光报警装置，向执行机构发送指令，实现自动停机或减速运行，以避免事故发生。引入人工智能算法对采集数据进行深度分析，预测潜在故障风险并提前发出维护预警，经过物联网技术将工具与远程监控平台连接，管理人员可实时掌握设备运行状态，远程指导故障处理，形成全方位、智能化的安全防护体系。

（三）人机工程学优化改进

人机工程学优化改进意在提升电缆辅助拉线工具操作的舒适性与安全性，操作界面设计贴合人体操作习惯，把常用功能按钮集中布置在容易触及的区域，用不同颜色与纹理区分功能类别，降低误操作几率^[3]。显示屏采用触摸屏与物理按键结合的方式，兼顾操作便捷性与可靠性，具备强光下可视功能，在工具操控装置设计上，优化手柄的握持角度与表面弧度，增加防滑纹理，减轻操作人员手部疲劳；操控力反馈系统依据作业需求实时调整阻力大小，让操作人员能精准感知工具状态。

四、电缆辅助拉线工具优化效果验证与迭代

（一）实验室性能测试与数据评估

实验室环境中对优化后的电缆辅助拉线工具开展全流程性能测试，借助电子拉力试验机模拟多样工况，精确采集关键部件应力应变数据，量化评估材料与结构优化后的承载提升程度。搭配高精度位移传感器，模拟电缆敷设弯曲、扭转动作，实时监测工具位移变化以分析结构稳定性，针对智能安全防护系统，重点测试传感器灵敏度与响应速度，记录异常工况下报警、制动的及时性，像温州市域铁路项目使用的装置，经测试承载能力提升 30%，安全防护响应时间缩短到 0.2 秒内，为现场应用提供数据支撑。

（二）施工现场应用效果反馈与优化

处在实际的施工地点，采集电缆辅助拉线工具的实际应用数据，以潞安化工余吾煤业公司安装队在综采工作面巷道的电缆敷设实操为例，借助优化过后的挂电缆辅助装置，原本需 6-8 人凭臂力经常托举电缆叉的作业，目前只需 2 人操控新装备即可搞定，作业效率实现大幅跃升。详实记录工具于不同施工环境、电缆规格之下的使用情况，涉及每日电缆敷设的长度、故障发生的数量等^[4]。鉴于现场反馈的问题，若工具在复杂地形移动时不便利，迅速针对移动轮结构实施优化，加强其越野应对性能；若出现操作界面在强光照射下可视性差问题，对显示

屏材质及显示模式做调整，依靠持续的现场应用反馈做针对性优化，持续优化工具的实用性及安全特性。

（三）仿真模拟与理论分析验证

依靠 ANSYS 等专业仿真软件实施，搭建电缆辅助拉线工具的三维模型，对其在多样复杂工况下的运行情形进行模拟，采用输入不同拉力及地形参数的方式，审查工具的应力分布与变形情形，判定结构设计的合理性，凭借软件的电磁模块，对智能安全防护系统中传感器与执行机构协同工作状态予以模拟，对系统的布局和参数设置做优化。

结语

电缆辅助拉线工具经过安全性设计优化和多维度验证，切实解决机械强度、防护功能、操作体验等方面问题，明显提升施工安全性与作业效率，实际工程应用中，工具承载能力、防护响应速度、人机协同效果都获得改善。随着新材料、智能传感和自动化技术的发展，电缆辅助拉线工具会朝着更高智能化、轻量化、安全化的方向发展，持续为电力工程施工安全与效率提升提供助力。

【参考文献】

- [1]覃珏斐,张寅虎.计算机在电力工程设计中的应用探析[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(二).国网湖北省电力有限公司襄阳供电公司;国网湖北省电力有限公司襄阳市襄州区供电公司; , 2025: 50-51.
 - [2]李黎明.施工安全管理在电力工程中的应用探讨[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(二).襄阳电力集团有限公司旭能工程分公司; , 2025: 52-53.
 - [3]周开天.电力自动化技术在电力工程中的应用[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(二).襄阳电力集团有限公司检测分公司; , 2025: 56-57.
 - [4]陶建军.电力建设工程中的土建施工管理策略[J].城市建设理论研究(电子版), 2025, (16): 41-43.
- 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。