

Safety risk management and strategy of high voltage power engineering construction

Xingyuan Lv

Daqing Oilfield Electric Power Energy Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang, 163111, China

Abstract

As a critical component of China's energy infrastructure development, high-voltage power engineering plays an indispensable role. However, the technical complexity of construction processes and the concentration of high-altitude operations have led to prominent safety risks. This paper adopts a risk-characteristics-oriented approach to analyze common risk types and their causes during the construction phase of transmission, transformation, and ultra-high voltage projects, while identifying gaps in existing control measures. Based on practical construction safety practices, we propose a systematic optimization strategy. This strategy is grounded in dynamic risk identification and assessment, supported by rigid technical safeguards, centered on rigorous process control, and guaranteed by efficient emergency response mechanisms. Only by shifting the focus of risk management to the construction site can we effectively enhance precise control over high-voltage power engineering operations.

Keywords

high voltage power engineering; construction safety; risk management; hazard identification; safety control

高压电力工程施工安全风险管理及策略

吕星元

大庆油田电力能源有限公司, 中国·黑龙江 大庆 163111

摘要

高压电力工程作为我国能源命脉建设的关键,其重要性不言而喻。但由于施工过程技术复杂且高处作业集中,导致安全风险突出。基于此,本文以风险特征为导向,剖析输变电与特高压工程于施工阶段常见风险类型及成因,进一步明确现有控制措施薄弱之处。并从施工安全实践着手提出系统性优化策略,该策略以动态风险辨识评估为前提,以刚性技术防护为基础,以严密过程管控为核心,以高效应急响应为保障,唯有把风险管理重心下沉至施工现场,才能切实增强高压电力工程建设作业面的精准管控。

关键词

高压电力工程; 施工安全; 风险管理; 危险源辨识; 安全管控

1 引言

施工阶段的高压电力工程(涵盖输电线路、变电站以及相关土建与设备安装工程),其安全性直接关乎电网运行可靠性和公众生命财产安全。从风险性质上来讲,施工是动态变化且非恒定的活动流,涉及诸多临时结构、临时接地或绝缘状态,同时面临作业频繁交叉、人与机械密集协同挑战,这使得风险生成呈现出瞬变性和叠加性的特点^[1]。由此可见,安全风险仅靠施工前的方案审核或事后责任追究是远远不够的,必须着重强调“作业本体—作业过程—现场屏障”三层结构实现有效耦合。除此之外,为避免治理体系及信息化架构的宽泛问题,文中探讨的方法主要用于高压输电线路塔杆安装、变电站设备安装、导线架设以及接地网施工等高

危典型工序。

2 高压电力工程风险特征

在高压电力工程施工中,作业环境呈现:非静态性、风险因子存在耦合性、事故后果放大效应。这些特征并非相互独立,而是以复杂交织的关系共同对施工过程产生影响,例如,临时供电、临时支撑体系,以及临时接地让施工环境呈现出高度不确定性,正是这种非静态特质为各类风险因子的叠加创造了条件;当电气操作与高处作业同步开展时,环境变化可能会对人员身体状态、工具使用产生影响,就拿临时支撑失稳来说,不但会引发高处坠落,还会破坏带电设备的稳定性,进而放大电气风险。与此同时,气象条件波动也会加大耦合效应的复杂程度^[2]。例如,张力控制中的导线或许会因强风而产生摆动,这与起重设备运行构成了机械与电气的双重风险链条,链条一旦失去控制,后果并不仅限于局部供电,而是有可能引发相邻线路保护装置的联动,造成跨

【作者简介】吕星元(1987-),男,中国吉林长春人,从事电力施工研究。

区域供电断层。可见耦合风险的孕育场是非静态环境提供的契机，而事故后果放大的触发机制是由耦合风险创造的，这三者间的交织性诠释了为何高压施工安全管理要把风险特征当作动态整体来把握。

3 高压电力工程施工安全风险优化措施

3.1 电气隔离与临时接地的工艺化控制

在高压电力工程施工中，风险管理围绕“细化隔离与接地工艺”开展，现行做法需从工程化、可证实、动态响应以及面向现场决策这四个维度进行重构。

第一，在工艺化视角，需把隔离以及临时接地操作规范化，使其成为能被量化的工序单元。首要任务是将接地导体截面、接地点分布、并联接地体配置，以及目标接地电阻值设为验收门槛。其次，每一隔离点要基于双重物理断开，借助带锁标识的硬件达成状态不可篡改的物理确认，同时所有参数通过专用测量仪器自动采集生成，形成不可变更的验收链路（照片、时间戳、测量曲线）。这一举措借鉴于临时接地实施与记录化管理的研究经验，以期将“经验判断”转变为机器能够判定的合规信号。

第二，推广实时在线健康监测的意义在于它能够从多维度动态监测临时接地回路：利用智能接地夹具，凭借电阻与电流测量、加速度/张力感知的功能，通过主/备通信链路上报接地连续性、接触电阻、机械完好性相关信息，若这些参数中任意一个超出限定范围，便立即触发即时作业禁令并记录事件快照^[9]。另外，实时监测在提前发现接地连接松脱或者导体断裂等隐患方面亦取得显著效果，这在已有研究中得到证明，进而在复电前达成“电气状态零歧义”的判定。

第三，在感应电压与等电位保护这一维度，需把 EPZ (equipotentialzone) 从“操作原则”提升至工程结构。例如，面对可能存在感应耦合情况的工区，预先布设临时等电位环网。并运用分段可并联的低阻互联模块，对局部电位梯度实施控制；其次，建立事前感应耦合仿真主要针对高感应风险段（如近并行运行线路、跨越金属结构群），并输出“感应电压风险地图”，以指导现场环网拓扑设计与接地体数量设定，从根源上降低因单点接地不足所引发的危险。此外，对 EPZ 的定义与实现路径，OSHA 等权威指引给出了可落地的技术基础。

第四，在程序与可追溯性维度，引入“数字归档+独立工艺复核”刻不容缓。具体而言，所有复电、接地、隔离操作均由与实施班组相互独立的工艺复核小组审查，于现场逐一一对工艺参数进行签认对照。并将复核结果同接地测量数据、设备 ID 以及现场照片一同上链，或者写入防篡改存档之中，以此作为事故溯源与事后审计的唯一依据。最后，在重大失误的事故调查方面，操作记录缺失或证据链断裂已然成为共性问题，而强化可证实证据链可成为降低人为与制度性失误的关键工程对策。

总而言之，基于近年对施工事故成因的统计分析，结合临时接地、EPZ 与在线监测最新研究的启发，上述四维重构致力于将“作业安全”从经验驱动逐步向现场实践转变。

3.2 塔杆安装与高处作业的工艺风险控制

从工程力学与施工工艺耦合的视角出发，把“临时支撑一分段倒装—双重系留—同步顶升”看作一体化工艺单元是降低高压电力工程高处暴露与失稳风险的务实途径。

首先，临时支撑以及同步顶升装置，务必要当作结构的临时体系来开展静动力校核，采用多点横梁分布、可调铰接与疲劳校验的支撑体系，并在顶升机构里运用机械同步或者液压同步装置来控制塔体整体位移梯度，确保各拼装段在拼装及顶升过程中的应力分布在设计容许范围内且可逆；除此之外，在桥梁与大型构件工程里，同步顶升系统已被证实可极大降低由不均布载引发的次生应力^[4]。

在方法论上，分段倒装应以等级化装配策略进行，此策略为构件预制化和节点预压配合实现，即在构件端设置可复位的卡接—销栓件，使现场对位次数和作业人次得以减少。同时将倒装顺序设计成重心前移、受力可控的渐进式序列，以确保在临时支撑移交期间的最小弯矩与偏载。另一方面，在现场条件受限的情况下“局部机械化吊装+人工微调”的混合模式被广泛应用于分段吊装作业，此模式兼顾了机具的可达性以及人工精调的可控性（此类起重对接方案的可行性已通过案例和工程实践得到验证）。

再次，双重系留应实现真正的结构冗余：按工程锚固强度对系留点进行逐点计算，并现场复核，确保在多工况组合（作业、风荷载、冰雪）下，其承载能力和疲劳特性能够满足各种不利工况，通过国际与行业实践建议将锚点设计安全系数上浮，并开展独立冗余验证，防止因单点失效导致整体坠落。此外，在应急与环境控制维度，将作业暂停或工艺调整作为可操作的决策准则。例如，在冰雪或强风环境下，借助改用地面拼装、整体提升、延缓高处拼接或调整张力参数等策略，在不明显延长总工期状况下使顶升与系留临界状态的发生概率有效降低。

最后，验收与质量闭环应做到以下几点：将顶升同步数据、塔身应力测点以及系留检测结果集约管理形成工程档案，随后提交给第三方依据结构验算标准进行复核，以此作为工程交付必不可少项；针对现场条件受限情况，可探索模块化“预装配—现场锁定”连接件与可调刚度临时支撑的组合，这样既能在狭小场地实施机械化作业，又能保证最终结构接头的耐疲劳性能。

综上所述方法的创新之处在于：施工阶段把临时结构当作能够进行设计的承载体系看待，并以冗余、可调刚度作为核心指标，驱动单点防护朝着体系性安全转化。

3.3 导线张力与起重作业的技术风险控制

在高压电力工程施工中，起重作业的安全风险管理连同导线张力是保障施工安全与结构稳定性的关键要点，以下

结合前沿理论与最新研究成果提出若干措施,旨在实现更高效施工安全管理。

第一,在计算软件以及现场试算方面,传统依靠人工估算张力的方式在面对转角塔、大跨越这类特殊工况时,已难以处理张力分布不均衡问题。基于此,实时监测与动态仿真的耦合分析成为当前全新研究方向,通过植入气象参数、荷载变化等边界条件,借助构建的导线张力数字化模型,能够对不同工况下的张力曲线展开预演进,进而精准识别风险点^[5]。诸如跨越铁路或者高速公路这类施工中,凭借实时监测数据以及仿真结果的闭环校正,能够对放线张力阈值进行动态调整,有效规避因过牵引而引发的结构失稳情况。另外,负载谱分析技术可以依据历史数据模拟设备长期服役性能,为施工参数优化提供依据。

第二,在试验承载方法层面,静态测试正逐渐朝着动态工况模拟的方向转变,研究着重针对吊装索具、滑轮等关键设备,提出基于疲劳累积损伤理论的评估框架。具体而言,在实际施工的变速、变载工况模拟中,采集设备于循环荷载下的应力—应变响应。此目的在于揭示设备潜在故障模式(如钢丝绳微裂纹扩展),以此形成预防性更换策略。举个例子,开展动态负载测试(针对绞磨机锚固系统),借助高频传感器对局部应力集中现象予以监测,有助于提前识别焊缝疲劳风险,防止突发性失效。

第三,就张力分流措施而言,临时支撑结构的设计由经验性布置转为力学优化配置。例如,转角塔的张力平衡可通过增添机动式临时横担或分流装置,把集中荷载分解成多条路径进行传递。据最新研究结果显示,张力分流装置采用了自适应液压控制系统,该系统能够依据实时监测到的张力差值,自动对支撑力的大小以及方向作出调整,从而有力地抑制由导线舞动所引发的动态过载情况。在跨越施工时,采用轻质高强复合材料制作临时支架有利于提升承载力,减少对塔体主结构的依赖。

总体来说,上述三个维度需有机融合形成系统性解决方案:承载试验数据反馈修正仿真模型;计算软件为动态试验提供工况参数;而张力分流措施的实际效果依赖于前两者的精准分析。由此可见,这种闭环管理提升了安全控制的主动性。以特高压线路工程举例说明:搭建“监测—调控—仿真”一体化平台,利用物联网传感器实时采集张力与设备状态数据,再借助智能算法动态调整分流装置参数,实现数字孪生模型预演施工全过程,进一步推动“单一节点风险防控向全流程自适应管理”演进。

4 结语

构建高压电力工程施工安全管理控制体系,应将施工方案、工艺措施、现场监测和应急响应贯穿其中,实现全流程覆盖。在治理过程中,我们提出动态风险辨识、工艺化隔离与接地举措、塔杆分段倒装与高处作业优化,以及导线张力起重作业技术管控手段。借助量化参数、实时监测与冗余设计,达成风险可视化、可控化与可追溯化目标。与此同时,该模式对非静态环境以及耦合风险能够做到精确应对,为现场操作规范化、决策支持提供可行性路径。

参考文献

- [1] 张群英.输变电工程项目管理中的风险控制与应对策略[C]//2024年智能工程与经济建设学术会议论文集(智能工程与绿色建筑专题).2024.
- [2] 周璐.电力工程施工中的项目管理与风险控制[C]//全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(七).2024.
- [3] 廖素碧.对优化电力营销工程项目管理策略的探讨[J].中文科技期刊数据库(全文版)社会科学,2023(3):4.
- [4] 陈丽.风险管理在电力工程施工中的关键作用与实施路径[J].流体测量与控制,2024,5(4):80-83.
- [5] 郁紫莹,王宗祺.分析高压输电线路施工技术 with 检修方法[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2023(4):4.