电力施工高处作业安全防护技术应用及优化对策研究

曹 禹
中国能源建设集团黑龙江省电力设计院有限公司 黑龙江 哈尔滨 150078

摘 要：电力施工高处作业具有环境复杂、风险集中、事故后果严重等特点，安全防护技术的科学应用与持续优化是保障作业人员生命安全的关键。本文在分析电力施工高处作业主要风险类型与防护技术需求的基础上，从个体防护、工程防护、管理防护三个维度系统梳理了当前安全防护技术体系的应用现状，进而从技术适配性、管理协同性、人员胜任力、应急响应能力四个方面剖析了防护技术应用中的薄弱环节，最后提出了推进防护技术智能化升级、构建全链条协同管理机制、强化人员分层培训体系、完善应急防护联动机制等优化对策，以期为电力施工高处作业安全防护水平的提升提供理论参考。

关键词：电力施工；高处作业；安全防护；技术应用；优化对策

引言

电力施工作为基础设施建设的重要组成部分，其作业环境往往具有高处、带电、复杂空间等特征。高处作业在电力施工中占据较大比重，涵盖输电线路杆塔组立、导线架设、变电站构架安装、电缆桥架敷设等多个环节。由于作业位置通常距地面数米乃至数十米，一旦防护措施失效，极易造成高处坠落、物体打击等严重事故，不仅威胁作业人员生命安全，也会导致工程进度延误和社会经济损失。近年来，随着电力建设规模持续扩大，高处作业安全防护技术也在不断进步。从传统的安全带、安全绳到如今的全过程防坠系统、智能监测装置，防护手段日趋多元。然而，技术应用与实际需求之间仍存在差距，防护效果受制于多种因素，亟需从系统视角审视现有防护技术的适用性与优化路径。本文旨在通过对电力施工高处作业安全防护技术应用现状的分析，识别关键薄弱环节，提出具有针对性的优化对策，为电力施工安全管理提供参考。

1 电力施工高处作业风险特征与防护需求

1.1 主要风险类型

电力施工高处作业的风险来源具有多样性。第一类是坠落风险，包括人员从杆塔、脚手架、作业平台等高处坠落，这是最直接也最致命的风险类型。坠落风险又可分为攀爬过程中的坠落、转移作业位置时的坠落以及作业过程中的坠落，不同阶段的防护重点各有差异。第二类是物体打击风险，高处作业中工具、材料、构件等坠落可能对下方人员造成伤害，尤其是在多工种立体交叉作业时，物体打击的风险显著上升[1]。第三类是触电风险，高处作业常临近带电体，安全距离不足时可能引发触电事故，这类风险在带电作业和临近带电体作业中尤为突出。第四类是结构失稳风险，如脚手架坍塌、杆塔倾倒、作业平台倾覆等，往往造成群死群伤的严重后果。此外，恶劣天气、照明不足、通信不畅等环境因素也会放大上述风险，使作业条件进一步恶化。

1.2 防护技术需求

针对上述风险，电力施工高处作业对防护技术提出了多层次需求。在个体层面，需要可靠的坠落防护装备和防触电用具，要求装备具备足够的强度、良好的舒适性和便捷的操作性。在工程层面，需要稳固的作业平台、防护栏杆、安全网等设施，要求设施能够适应不同作业场景的结构特点。在管理层面，需要风险评估、作业许可、现场监护等制度支撑，要求制度能够覆盖作业全过程并具备动态调整能力。在应急层面，需要配备救援装备并建立快速响应机制。这些需求共同构成了安全防护技术体系的基本框架，各层次之间相互关联、互为补充。

2 安全防护技术体系的应用现状

2.1 个体防护技术

个体防护是高处作业安全防护的最后一道防线。当前电力施工中广泛应用的个体防护装备主要包括全身式安全带、速差自控器、安全绳、缓冲器等。全身式安全带相比传统腰带式安全带，能将冲击力分散至肩部、胸部和大腿，有效降低坠落时对人体的伤害。速差自控器可在人员坠落瞬间锁止，限制坠落距离，减轻冲击力。安全绳分为围杆绳和悬挂绳，配合安全带使用实现定位和防坠功能。缓冲器则通过撕裂或变形吸收坠落冲击能量，进一步保护人体。此外，绝缘手套、绝缘鞋、绝缘服等防触电装备在临近带电体作业中不可或缺，其绝缘性能需定期检测以确保可靠。近年来，智能安全帽、定

位手环、生命体征监测设备等可穿戴设备逐步应用于电力施工领域。智能安全帽可集成跌落检测、一键报警、定位、视频回传等功能，使管理人员能够实时掌握作业人员状态。部分设备还可监测人员心率、体温等生理指标，在高温、高寒等极端环境下提供健康预警。然而，这类设备的普及率仍然有限，部分产品在信号稳定性、续航能力、佩戴舒适性等方面尚需改进，且设备之间的数据互通和平台整合程度不高，制约了智能化防护的整体效能。

2.2 工程防护技术

工程防护技术着眼于从作业环境本身消除或降低风险。在电力施工中，脚手架、作业平台、临边防护栏杆、安全网等是常见的工程防护设施。盘扣式脚手架因搭拆便捷、承载能力强、节点连接可靠，在变电站和线路施工中应用日益广泛。安全网分为平网和立网，分别用于水平方向和垂直方向的坠落防护，其设置位置、张紧程度和网目尺寸均有规范要求。对于杆塔作业，防坠导轨、防坠钢绞线等固定式防坠系统逐渐推广[2]。作业人员通过滑块与导轨连接，在攀爬过程中实现全程防坠保护，无需频繁转换挂钩，有效降低了攀爬阶段的风险。部分高压线路施工中还采用了高空作业车、升降平台、索道运输等机械化设备，减少人员直接暴露于坠落风险的时间，同时提高施工效率。在变电站构架安装中，临时作业平台和防护栏杆的标准化配置逐步普及，为高处作业提供了相对稳定的操作空间。

2.3 管理防护技术

管理防护技术通过制度、流程和组织手段保障防护措施的有效落实。电力施工企业普遍建立了高处作业审批制度、安全技术交底制度、现场监护制度等。作业前需进行风险评估，明确防护措施和应急方案，作业票中需注明防护装备要求和作业条件限制。作业过程中，专职安全员进行巡查，及时发现和纠正违章行为，对高风险作业实行旁站监护。信息化管理手段也在逐步引入。部分企业利用视频监控系统对高处作业进行远程监督，通过无人机巡检辅助安全检查，利用安全管理信息系统实现隐患上报、整改跟踪和数据分析。一些企业还建立了作业人员安全档案，记录培训、违章和健康信息，为人员调配提供依据。但总体而言，管理防护的精细化程度仍有提升空间，尤其是在多工种交叉作业、动态变化的施工环境中，管理措施的响应速度和覆盖范围尚显不足，信息孤岛现象较为普遍。

3 防护技术应用中的薄弱环节

3.1 技术适配性不足

不同电力施工场景对防护技术的需求差异显著，但现有防护装备和设施在适配性方面存在短板。例如，杆塔结构多样，角钢塔、钢管杆、复合材料杆等结构形式各异，通用型防坠装置在异型杆塔上安装困难，甚至需要现场改造才能使用。部分老旧线路改造施工中，作业空间狭小，大型防护设施难以展开，作业人员不得不在受限空间内完成高风险操作。此外，智能监测设备在强电磁环境下的抗干扰能力有待验证，数据采集的准确性和实时性尚不能完全满足安全预警需求，误报和漏报现象时有发生，影响了管理人员的判断和决策。

3.2 管理协同性欠缺

安全防护涉及建设单位、施工单位、监理单位、设备供应商等多方主体，各方在责任划分、信息共享、协调联动方面存在脱节。防护技术的选择和应用往往由施工单位单独决策，缺乏与设计单位、设备供应商的充分沟通，导致防护方案与施工实际不匹配，甚至出现防护设施与施工工艺相互干扰的情况[3]。同时，安全检查多侧重于装备配备数量，对防护技术是否真正发挥作用关注不够，形式化问题较为突出。部分项目在工期压力下，防护措施的落实被简化或延后，管理防护的刚性约束不足。

3.3 人员胜任力参差

高处作业人员的安全意识和操作技能直接影响防护技术的应用效果。当前电力施工队伍中，部分作业人员年龄偏大、文化程度不高，对新装备、新技术的接受和掌握能力有限，存在凭经验作业、图省事简化防护步骤的倾向。安全培训内容有时偏重理论说教，缺乏针对性和实操性，导致培训效果打折扣。此外，工期紧张时，违章指挥、冒险作业等现象时有发生，防护技术被搁置或简化使用。管理人员的安全素养同样参差不齐，部分安全员对防护技术原理理解不深，难以发现深层次隐患。

3.4 应急响应能力薄弱

高处作业事故一旦发生，救援难度大、时间窗口窄。当前电力施工现场的应急防护能力整体偏弱。应急救援预案往往停留在纸面，缺乏针对具体作业场景的细化和演练；救援装备如缓降器、救援三脚架、担架等配备不足或存放位置不合理，紧急情况下难以快速取用；作业人员对坠落后的自救互救知识掌握不够，缺乏在悬挂状态下等待救援的体能和心理准备。应急响应能力的不足，使得事故后果可能进一步扩大，原本可以避免的伤亡因救援不及时而酿成悲剧。

4 安全防护技术优化对策

4.1 推进防护技术智能化升级

针对技术适配性不足的问题，应加快防护技术的智

能化、模块化发展。一方面，研发适用于不同杆塔类型和作业场景的模块化防坠系统，通过标准化接口实现快速安装和灵活组合，使防护装置能够适应角钢塔、钢管杆等多种结构形式。另一方面，深化智能穿戴设备与安全管理平台的融合，利用物联网、边缘计算等技术提升数据采集的抗干扰能力和实时处理能力。例如，将智能安全帽的定位数据与电子围栏结合，当人员进入高风险区域或偏离安全路径时自动预警。同时，探索无人机、机器人替代人工进行高风险作业的可行性，从源头减少高处作业暴露。在智能设备研发中，应注重人机工程学设计，提高佩戴舒适性和操作便捷性，降低作业人员的抵触心理。

4.2 构建全链条协同管理机制

优化管理防护需要打破主体间的壁垒。建议建立由建设单位牵头、施工与监理单位共同参与的安全防护技术协调机制，在设计阶段即介入防护方案的论证，确保防护技术与施工工艺匹配。推行高处作业安全防护标准化清单，明确不同作业环节的防护技术要求和验收标准，使防护措施的落实有据可依。在监管层面，应从查装备向查效能转变，重点评估防护技术是否有效运行，通过现场测试、数据核查等方式验证防护效果[4]。利用信息化平台实现多方数据共享，使防护措施的执行情况可追溯、可预警，形成闭环管理。同时，建立防护技术应用反馈机制，将现场使用中发现的问题及时反馈至装备研发和采购环节，推动防护技术持续改进。

4.3 强化人员分层培训体系

提升人员胜任力需建立分层分类的培训体系。对于一线作业人员，培训应突出实操性，通过模拟训练、VR体验等方式增强其对防护装备使用和应急操作的熟练度，确保在紧急情况下能够正确、迅速地采取防护动作。对于安全管理人员，应加强风险评估方法和防护技术原理的培训，提升其识别隐患和优化防护方案的能力，使其不仅会检查装备，更能判断防护系统的整体有效性。对于项目负责人，则应强化安全责任意识和依法管理能力，使其在工期与安全的博弈中坚守底线。同时，建立培训效果评估和反馈机制，将培训成绩与岗位准入挂钩，形成正向激励。此外，可定期组织技能竞赛和应急演练，以赛促训，营造重视安全的组织氛围。

4.4 完善应急防护联动机制

针对应急响应薄弱的问题，应从预案、装备、演练三方面入手。预案编制应结合具体作业场景，明确坠落、触电等不同事故类型的救援流程和职责分工，并针对悬挂救援、塔上救援等典型场景制定专项方案。现场应配备足量且易于取用的应急救援装备，如救援三脚架、缓降器、急救包等，并定期检查维护，确保装备处于完好状态。定期组织实战化演练，检验预案可行性和人员协同能力，演练后及时总结改进。此外，可与属地医疗救援机构建立联动机制，缩短事故后的医疗响应时间，同时加强作业人员的自救互救培训，使其掌握基本的悬挂状态下减负、沟通和等待救援技能。通过多维度的应急能力建设，最大限度降低事故后果。

结束语

电力施工高处作业安全防护是一项系统工程，涉及技术、管理、人员、应急等多个维度。当前，个体防护、工程防护和管理防护技术已形成基本体系，但在适配性、协同性、胜任力和应急能力方面仍存在明显短板。唯有持续推进防护技术的智能化升级，构建全链条协同管理机制，强化人员分层培训，完善应急联动机制，才能实现高处作业安全防护从被动应对向主动预防的转变。未来，随着新技术不断涌现和管理理念持续更新，电力施工高处作业安全防护水平有望得到实质性提升。

参考文献

[1]陈国华,黄文杰.基于物联网的电力施工安全监测技术研究[J].电网技术,2022,46(8):3210-3216.

[2]李晓东,吴建平.电力施工现场应急管理能力评价与提升策略[J].中国安全生产科学技术,2023,19(5):176-181.

[3]郑伟,马丽华.高处作业防护装备适配性问题及对策[J].工业安全与环保,2021,47(9):62-66.

[4]何俊,林志远.电力施工人员安全培训模式创新与实践[J].电力职业技术教育,2022,35(4):28-32.