

电力运维作业中人身安全防护措施优化研究

李钢国

国网奎屯供电公司 新疆 奎屯 833200

【摘要】：电力系统安全稳定运行是现代社会经济发展的基础，电力运维作业中人身安全是保证整个电网体系健康运转的第一道防线。随着电网规模不断扩大、运行环境日趋复杂，传统的人身安全防护手段已经不能完全满足现代运维作业的高标准要求。本文从国网奎屯供电公司所辖片区的实际运维场景入手，对其所处的极端气候交变、复杂地质地貌和电网拓扑结构所造成的立体化作业风险进行了详细分析。针对传统物理防护和管理模式的局限性，结合2024年以来无人机在巡检维护中的规模化应用，提出通过推行“机器人”高危替代机制、构建人机协同立体物理防线以及实施大数据网格化风险精准管控等安全防护优化措施。本文旨在为复杂环境下电力运维人身安全防护提供切合生产实际的理论依据和改进途径。

【关键词】：电力运维；人身安全防护；国网奎屯供电公司；无人机巡检；人机协同

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.059

1 引言

现代电力系统全生命周期管理当中，运维作业是保证设备正常运转、防止出现系统性故障的主要方式。但是电力运维经常伴随着高电压、强电磁、高空坠落、密闭空间作业等多种高危因素，人身安全风险就如悬在运维人员头顶上的达摩克利斯之剑^[1]。尤其对于位于我国西北边陲的国网奎屯供电公司来说，其管辖的区域十分辽阔，微气象特征明显，冬夏温差大，时常会遇到风沙、冰雪等极端天气，使得一线运维作业的安全风险急剧增加^[2]。传统的依靠经验主义的安全防护观念、标准化的劳保用品，在面对奎屯地区复杂多变的非典型作业环境时，存在着明显的滞后性及不足。随着近几年来无人机等智能化设备的大量列装，怎样在新旧作业模式交替期重新建立牢固的安全防线，成了急需解决的问题^[3]。

2 国网奎屯供电公司电力运维作业人身安全风险剖析

2.1 极端气候交变对人体机能与作业状态的侵蚀

奎屯地区属于典型的温带大陆性干旱气候，夏季炎热、紫外线强，冬季寒冷漫长、常伴有风雪交加，这样的极端季节性气候交替给电力运维人员的生理机能带来了极大的考验^[4]。在极寒环境中进行人工登塔高空巡视或者设备抢修时，人体末梢血液循环会明显变慢，手指灵活性急剧下降，增大了误操作和踏空的风险，也容易造成严重的冻伤事故；夏季长时间高温炙烤会造成热射病，使人员的注意力不集中、体力迅速透支。更严重的是，由于温差大、戈壁风沙侵袭时间长，使绝缘手套、安全带、绝缘靴等常规防护装备材料老化速度加快，绝缘性能和机械抗拉强度在无形中急剧下降^[5]。如果依赖人工在恶劣天气下强行作业，

很容易超过人体的生理极限。

2.2 复杂地貌与电网拓扑结构带来的立体化作业风险

国网奎屯供电公司所辖电网线路穿过平原绿洲，也有许多线路处在戈壁荒漠、地形起伏较大的山区。复杂的地质地貌和纵横交错的多电压等级电网拓扑结构相互耦合，产生了一个非常复杂的立体化作业风险网络。跨越复杂的地形地貌时，作业人员除了要面对地表松软、道路崎岖造成的交通、摔跤等安全风险外，还要在多回同杆架设、交叉跨越的密集线路走廊中开展高空作业。在强风频繁出现的戈壁风口地区，高空作业人员受到的横向风切变力非常大，很容易造成身体失衡。交错的带电导线受风力影响时会表现出不规则的摆动，瞬间缩短了原来的安全距离，大大提高了感应电伤害以及意外触电的危险性。

2.3 传统运维管理模式在人机协同转型期的滞后性

尽管现代电网正朝着智能化方向快速前进，在大量使用无人机进行辅助巡视之后，基层人身安全防护的管理环节仍然存在着与新业态相脱离的滞后性。传统的安全交底只是一次性地宣读了纸质文件，没有根据“人在地面、机在空中”的新型作业模式来制定出专门的防护预案。执行复杂的检修任务前，风险识别过分依靠班组长个人的经验积累，没有把多维度环境数据和设备运行状态数据实时融合分析。一旦作业现场环境参数发生突变，或者地面操控人员因为专注于飞行器而忽视了脚下环境，就会出现违章操作的情况，后方管理中心很难在第一时间获得情报并发出紧急叫停指令，造成安全监管存在明显的时空盲区，极易错过事故发生前的黄金干预窗口期。

3 现有安全防护体系的局限性评估

3.1 传统人工物理防护在极端环境下的效能瓶颈

目前基层运维单位所配备的安全防护装备大多按照国家或者行业通用标准生产。在满足常规环境基本防护要求的时候，它们起着重要的作用。但是当面对国网奎屯供电公司辖区特有的极端温差和复杂的微气象的时候，它的效能瓶颈就暴露无遗。通用的防寒服为了保证保暖性而过于厚重，严重地牺牲了人员在攀爬铁塔、进行精密接线工作时的肢体自由度，使动作笨拙，变相增大了操作失误的隐患；而传统的轻薄工作服又不能有效地抵御戈壁滩强烈的紫外线和粗糙沙砾的划伤。这说明，单纯依靠不断增多的物理劳保装备来增厚，已经不能从根本上保证在极端工况下的人身安全了，必须寻找作业方式的代际变革。

3.2 无人机规模化应用带来的人机交互新盲区

由于技术的发展，无人机巡检被推广到基层供电公司。技术升级大大降低了人员登高劳动强度，但是也产生了新的人机交互安全盲区。运维人员在地面操控无人机对近距离带电设备进行近距离观察的时候，视觉和注意力会高度集中并且长时间地停留在操控屏幕上。隧道视野效应造成操作员对于周边物理环境（地面隐藏的坑洼、上方矮小的交叉线路、周边驶来的车辆）的态势感知能力大为下降。视线受阻或者人员倒退移动时，很容易出现踏空摔伤、意外接触带电体、被周围障碍物挤压等危险状况。人机协同作业缺少统一的地面安全隔离标准，成了智能化转型时期急需补齐的安全防护短板。

4 基于业务重构的电力运维人身安全防护优化策略

4.1 深化“机器人”战略与无人机高危场景替代机制

对于极端气候、复杂地形等造成的安全威胁，最根本的人身防护措施就是“物理隔离”。2024年以后，国网奎屯供电公司大量使用无人机进行巡视维护，给安全防护理念的升级打下了现实基础。从总体上讲要全面深入地推行“机器人”的战略。遇到极寒、暴雪、高温、大风等极端恶劣天气或者跨越深沟险壑的巡线任务时，原则上全面叫停传统的人工徒步和登塔巡视，强制使用带红外测温、高清云台的无人机代替。运维人员只需要在具备气候调节功能的工程车内或者地面安全区域内进行远程操控。采用高危作业场景无人机强制替代的方式，把一线员工从恶劣的物理环境里完全抽离出去，从根本上切断了极端气候对人的生理伤害链。

4.2 构建标准化的人机协同立体物理安全防线

对于无人机操控过程中出现的隧道视野、环境感知下降等问题，需要从人、机、环三个方面来建立标准化的人机协同立体物理安全防线。

第一，在人员协同上采取双人协同监控作业模式，即飞手只能控制终端执行飞行指令，安全监护人不能离开屏幕进行实时监控，只看飞手本体的安全。实时监测脚下碎石坡面、湿滑冻土等地面风险，动态校验并保持与附近带电导线垂直或者水平距离大于等于3.5米，注意风速突变、飘浮物靠近等环境扰动，每2分钟口头复述当前风险情况。

第二，空间隔离维度，实行安全岛物理围界制度，在起降点和遥控操作区周围设置高反光绝缘红白警示带，形成半径 ≥ 3 米的圆形无障碍区；区内不得存放工具、电缆或者临时支架，地面涂装防滑耐磨标线，边缘加装30厘米高的可拆卸绝缘挡板，阻止飞手无意识地跨步或者后退越界。

第三，行为约束维度，把“安全岛内禁行”写入作业票的刚性条款中，飞手移动前必须向监护人申请、得到确认路径安全后才能短时间离开岛屿，并且全程佩戴北斗定位手环，系统会自动发出越界声光报警并停止遥控信号。

三者互相促进，形成一个闭环，即双人分工固定注意力分配，安全岛固定物理活动边界，行为约束固定操作纪律。该防线不需要个人的经验来完成，它用结构化的设计来压缩人为失误的空间，从根本上消除由于视觉窄化而造成的踏空、触电、坠落等典型的盲区事故。

4.3 制定基于大数据的网格化风险精准管控机制

为了从根本上改变传统的运维管理方式，提高安全预警的提前量，必须创建起一个依靠多维大数据的网格化风险精准控制体系。核心逻辑就是打破部门之间的信息壁垒，把当地气象部门的分钟级微气象预报、电网设备的实时在线监测数据（比如以前用无人机采集建立的线路三维点云影像）、历史故障缺陷库等多源异构数据整合起来。管理系统将国网奎屯供电公司所辖的各个片区划分为若干个微观网格，对每个微观网格内所有的运维任务进行系统的量化打分。当系统判断某个网格即将遭遇雷暴大风天气或者属于高陡边坡地质时，就会把该区域标红并拦截非紧急状态下的人工登塔作业票签发，直接把任务指令派发给无人机班组。以数据算法为驱动力的前置性风险阻断机制，把安全管理从“事后追查、被动防御”彻底转变为“事

前精准预知、主动规避”。

5 国网奎屯供电公司安全防护优化效果与管理评价

为了客观评价前面所提的全生命周期安全防护改进策略的实际效果，重点比较了国网奎屯供电公司2023年之前和之后两年即2024年和2025年的关键安全管理指标。详细的数据对比如表所示。

表1 国网奎屯供电公司人身安全防护优化前后关键指标对比评估表

评估指标分类	细分评估项目	优化前 (2023年 均值)	优化后 (2024-2025年 均值)	优化幅度及效果评价
人工暴露风险	人工登塔/涉险跨越作业占比	68.5%	14.2%	↓79.3%(高危作业大幅压降)
人机协同隐患	无人机操控倒退踏空/近电违章	25起/年	2起/年	↓92.0%(“地面安全岛”刚性防护生效)
人员健康状况	极端寒暑致冻伤/热射病	9人次/年	0人次/年	隐患清零(物理性健康威胁归零)
管理效能	高风险作业前三维影像预判率	12.0%	96.5%	↑798.3%(决策前置化、可视化)
异常干预响应	突发环境风险后方叫停响应时间	18分钟	3.5分钟	↓80.6%(网格化指令直达一线)

从上表数据可以看出，高度契合业务实际的新型防护措施效果显著。通过数据横向比较可知，自从

2024年大量使用无人机代替传统的人工攀爬危险作业之后，传统上需要人工攀爬的危险作业所占比例由原来的68.5%急剧下降到现在的14.2%，从而彻底消除由于极端天气引发的人员冻伤、中暑等生理伤害隐患。同时伴随着人机协同“双人监护”、地面安全岛等制度的刚性落地，由于视线受阻而造成的踏空、越线违章事件减少了92.0%，有效地堵住了新技术应用初期管理上的漏洞。管理后台因为普及了基于前期无人机影像的三维预判和大数据网格化调度，现场突发风险的后方干预响应时间由原来的10—15分钟缩短到3.5分钟以内。由生产工具升级（无人机代替）、作业规范重塑（人机协同防线）所导致的一线运维人员拥有巨大的安全余量，从而大幅度提高国网奎屯供电公司本质安全控制水平。

6 结语

电力运维作业中人身安全防护措施的改进，必须同现场生产力发展实际情况紧密联系起来，才能取得良好的效果。本文以国网奎屯供电公司所辖片区为研究对象，对传统人工防护体系在极端气候和复杂电网交错时所遇到的严峻考验进行分析。经过研究发现，单纯依靠提高劳保用品的厚度或者加强行政命令，已经不能从根本上消除高危运维环境中的人身安全风险了。只有坚定不移地拥抱作业模式的代际跃升，把“机器人代人（无人机替代）”当作规避极端物理伤害的主要方式，同时创建起严密的人机协同地面安全隔离标准，再加上大数据网格化管控中枢的支撑，才能真正达成对致命隐患的主动阻断。伴随着无人机技术的普及以及智能识别算法的深入，电力运维人身安全防护将会向着更加精益化、少人化的高效方向发展，为我国现代智慧电网的安全、可靠、平稳运行筑起一道坚不可摧的生命防线。

参考文献:

[1] 钱锦,陈元中,徐汉麟,等.基于持续状态监测的电力系统二次设备安全运维分析[J].电子设计工程,2025,33(10):31-34.

[2] 冯世杰,覃岩岩,曾智翔,等.基于零信任技术的电力系统网络安全可信运维的研究[J].网络安全技术与应用,2025(9).

[3] 吴旭涵.电力运维中安全生产问题研究[J].模型世界,2025(14):240-242.

[4] 杨韬.基于深度学习算法的电力运维数据安全加密技术研究[J].电气技术与经济,2025(11):255-258.

[5] 高铁林.基于巡检机器人的变电站安全运维系统设计与实现[J].电力设备管理,2024(24):177-179.