

智能技术在电力安全风险控制中的应用探索

丁佳彬

华电（浙江）新能源有限公司，浙江 杭州 310000

[摘要]在电网网架持续扩容、新能源机组大规模并网及交直流混联电网结构日趋复杂的行业发展背景下，电力现场作业的人员安全管控面临全新的压力与挑战。高处坠落、触电伤害、机械伤害等各类人身安全事故的发生概率持续攀升，电力作业人员的人身风险防控压力显著增大。现阶段电力行业传统的安全管控模式，主要依托制度规范约束、现场人工监护以及事故后违章追责等方式开展风险治理，该模式的滞后性与局限性逐步凸显，已无法适配复杂多变的电力作业现场安全管控需求。以人工智能、大数据、物联网为核心的新一代信息技术，为电力行业人身安全风险的精细化、前置化防控提供了全新的技术支撑与解决思路。文中以电力作业人员行为智能感知、违章风险智能研判、安全应急智能决策为核心研究主线，围绕人员违章算法识别、作业场景 AI 视频智能安防监测、电力安全大数据平台搭建、人员操作行为风险预测预警、AI 智能防误管控与应急调度、作业全流程数字孪生复刻等关键技术维度展开系统性分析与探讨。同时，针对智能化防控体系建设过程中存在的数据隐私保护、系统稳定可靠运行等关键痛点问题，提出针对性的优化对策与实施建议。研究表明，多类智能技术的深度融合应用，可有效提升电力作业人员不安全行为的识别精准度，强化对违章隐患与安全事故风险的研判水平，缩短安全决策与应急处置响应时长，推动电力安全管理模式从传统的事后被动处置，全面向事前主动预防、全过程智能管控转型。

[关键词]电力安全；人身风险；人工智能；风险控制

DOI: 10.33142/hst.v9i6.20072

中图分类号: TM77

文献标识码: A

Exploration on the Application of Intelligent Technology in Power Safety Risk Control

DING Jiabin

Huadian (Zhejiang) New Energy Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: Against the backdrop of continuous grid expansion, large-scale integration of renewable energy units, and increasingly complex hybrid AC/DC grid structures, personnel safety management in power field operations faces unprecedented pressure and challenges. The incidence of personal safety accidents such as falls from heights, electric shocks, and mechanical injuries continues to rise, significantly increasing the risk prevention burden for power workers. The traditional safety management model in the power industry, primarily relying on regulatory constraints, on-site manual supervision, and post-accident accountability for violations, is gradually proving inadequate in meeting the evolving safety needs of complex and dynamic power operation environments. Emerging information technologies centered on artificial intelligence, big data, and the Internet of Things provide novel technical support and solutions for refined, proactive prevention of personal safety risks in the power sector. This paper focuses on three core research themes: intelligent behavior perception of power workers, intelligent risk assessment of violations, and intelligent decision-making for safety emergencies. It conducts systematic analysis and discussion around key technical dimensions, including violation detection algorithms, AI-powered video surveillance for work scenarios, construction of a power safety big data platform, risk prediction and early warning of operational behaviors, AI-based error prevention and emergency dispatch, and digital twin replication of the entire operation process. Additionally, the study proposes targeted optimization strategies and implementation recommendations to address critical pain points such as data privacy protection and system stability during the development of intelligent prevention systems. Research findings indicate that the integrated application of diverse intelligent technologies can effectively enhance the accuracy of identifying unsafe worker behaviors, strengthen risk assessment capabilities for violations and safety incidents, reduce response times for safety decisions and emergency handling, and drive the transformation of power safety management from traditional post-event passive measures to proactive, intelligent, and process-wide control.

Keywords: power safety; personal risk; artificial intelligence; risk control

引言

电力系统是保障社会运转的核心基础设施,其生产运维环节的安全管控成效,直接关乎一线作业人员的生命健康与人身安全。目前新能源并网规模越来越大,“小散远”场站分布越来越广,外委作业人员急剧增多,高处、起重、动火作业等高风险作业越来越多,应用智能技术防范电力人身安全风险具有十分重要的意义。利用智能技术可以对人员违章行为做出正确的预估与判断,提高事故防范的效果。怎样在复杂的作业现场中迅速发现人的不安全行为或物的不安全状态并加以干预,这是电力企业生产一线所面对的主要难题。随着云计算、大数据分析、人工智能等新兴数字技术的迭代升级,为破解电力现场安全管控痛点提供了可靠的技术手段。其中,云边端一体化智能感知技术依托轻量化边缘深度学习架构,可在终端算力资源受限的工况下,高精度完成现场违章识别、风险预判预警与主动管控干预等核心工作。基于此,本文从感知层、分析层、决策层三大技术层级,系统梳理各类智能技术在电力人身安全风险防控领域的应用场景与实践价值,旨在为电力行业安全智能化管控的后续研究与工程应用提供参考与借鉴。

1 电力安全风险控制概述

1.1 电力系统安全运行的基本要求

电力系统是保障社会运转的核心基础设施,其生产运维环节的安全管控成效,直接关乎一线生产人员的人身安全。在复杂多变的电力作业场景中,如何快速甄别人员违章作业、设备缺陷等各类不安全因素,及时落实管控措施,是当前电力行业生产现场安全管理面临的核心问题。全方位保障一线作业人员人身安全,避免发生触电、高处坠落、物体打击、机械伤害、起重伤害、中毒窒息等典型安全事故。目前,为筑牢现场安全防线,行业内已构建起涵盖两票管理、安全技术交底、停电验电、接地挂牌等标准化的组织措施和技术措施。随着电力生产一线作业场景日趋多元复杂,传统依托人工现场值守监护、纸质台账记录、制度流程约束的粗放式安全管理模式弊端持续凸显,已然无法适配当下高精度、全流程、动态化、分散式的现场安全管控需求,亟须依托智能化技术手段升级安全管控体系,补齐传统管理短板。

1.2 电力安全风险的主要类型

电力生产现场安全风险可从人、机、环、管维度划分为人员行为、作业环境、设备设施、管理体系四类核心风险,各类风险交叉耦合、动态传导,构成现有电力生产一线安全管控的核心难点。人员行为风险主要包括违章作业、违章指挥、现场监护缺位、防护用品佩戴不规范、作业人

员身心状态异常等问题,是引发人身安全事故的核心人为诱因。作业环境风险包含常规场景隐患与突发自然隐患,前者体现在恶劣工况下户外作业、作业照明不足、有限空间通风不良、交叉作业混乱、现场防护与警示设施缺失等问题;后者由雷雨大风、山林火情、低温冰冻等极端灾害引发,快速恶化作业条件。设备设施风险源于生产设备、工器具及防护装置的本体缺陷、运维缺失、超期未检等问题,易诱发设备故障、机械伤害、生产中断等事故。管理体系风险为各类隐患滋生的根源性风险,集中表现为两票审核、安全交底、风险辨识等核心流程落实虚化,高风险作业管控缺位、外包队伍安全管理薄弱、应急演练常态化机制缺失等,直接导致管控措施落地失效、隐患持续滋生。各类风险并非独立存在,而是相互联动、彼此耦合,导致现有传统安全管控模式难以应对多维度复合型耦合风险,缺乏事故发生的事前预判与主动干预手段,整体安全管控仍以事后被动整改为主。

1.3 传统风险控制模式的局限性

传统的电力人身安全风险管控主要依靠安全制度、定期检查和现场人工监护等手段来开展管理,存在诸多不足。从企业双重预防机制落地现状来看,传统管控方式存在明显短板与局限性。其一,人工现场巡查存在空间与时间盲区,无法实现作业全时段、全覆盖动态监测,人员违章行为多发生在监管空档期,难以实现事前预警、提前干预,仅能事后发现问题。其二,传统管控多采用“事后考核、以罚代管”的治理模式,缺乏对作业环境、人员状态、设备工况的动态适配能力,风险预警与隐患处置存在明显滞后性,难以适配现场动态变化的风险管控需求。其三,现场安全研判与应急处置高度依赖管理及现场人员从业经验,主观性较强、量化依据不足,面对复合型风险与突发险情时,决策效率和处置精准度大幅受限。此外,传统安全管控体系存在数据孤岛问题,人员资质、违章记录、安全培训、隐患整改等多源数据未能整合利用,无法实现风险数据的关联分析与深度挖掘,导致人员不安全行为管控流于粗放化、同质化,难以达成精细化、精准化防控效果。综上,传统人工主导的管控模式已无法适配电力现场耦合性、动态化的安全风险特征,难以支撑企业风险分级管控的落地提质,亟需引入智能化、数字化技术手段升级安全管控体系,构建主动预判、动态防控、精准治理的新型安全管控模式。

1.4 智能技术应用的必要性

智能化技术的运用,给传统管理模式存在的问题提供了切实可行的解决途径。物联网传感技术(可穿戴设备、

UWB 定位)、AI 识别等可以对作业人员位置、生命体征、安全围栏距离等进行连续、不间断的监测,消除由于人工巡视造成的时断时续的情况。通过穿戴设备自带传感器感应出没有戴安全帽、图像识别没有系安全带、设置电子围栏识别进入危险区域等违章举动,提高预警准确度,智能化算法能促使安全管理人员迅速采取恰当的应对手段,降低事故发生的可能性。形成一个完整的包含感知、分析、预警、干预这四个环节的人身安全风险管控链路,才能提高电力企业本质安全管控能力。

2 智能感知技术在电力人身安全风险控制中的应用

2.1 物联网人员状态感知技术

物联网感知技术是实现电力作业人员状态动态监测、补齐传统人工监管盲区的核心支撑技术。依托智能安全帽、UWB/北斗高精度定位手环、生命体征监测手环等各类可穿戴智能终端,搭载定位、感应、体感、生命体征等多类传感器,可实时采集作业人员空间位置、心率体温、肢体活动、跌倒姿态、近电感应等多维状态数据,实现对现场作业人员身体健康状态、作业行为轨迹及安全风险状态的全天候动态追踪,有效解决传统监管无法实时掌握人员动态、难以预判人身风险的痛点。

表 1 典型人身安全感知设备及其应用场景

感知设备类型	监测参数	典型应用场景	技术特点
UWB 定位标签/手环	位置、电子围栏越界	定点现场作业、风机、光伏场区	厘米级定位、危险区双向报警
智能安全帽	佩戴检测、撞击、近电感应	所有现场作业	未佩戴报警器、高压近电预警
生命体征手环	心率、血氧、体温、跌倒	有限空间、高温/夜间作业	猝死/中暑风险预警、跌倒呼救
气体传感器	氧气、硫化氢、一氧化碳	电缆沟、地下室等有限空间	缺氧/有毒气体实时监测
微气象传感器	温湿度、风速、光照	高处作业、露天作业	大风/雷暴/高温作业预警

当前,新能源场站在智能化感知领域已形成成熟的落地应用体系,普遍采用云边协同的分布式作业安全信息采集架构,实现软硬件解耦与分层协同运行。通过安全大数据智能云平台,可批量接入智能穿戴设备、末端感知设备、视频监控等海量边缘终端,依托边缘端就近采集、云端集中分析的运行模式,实现感知数据的实时回传、快速反馈与联动研判。该云边协同处理架构有效破解了海量人员感知数据传输延迟高、处理压力大、分析效率低的难题,大幅提升了人员不安全状态与违章行为的动态识别实时性与准确性,为电力现场人员风险主动预警、全过程智能管控提供了可靠的数据基础与技术支撑。

2.2 图像识别与视频智能安全监控技术

在物联网感知实现人员状态数据采集的基础上,图像识别与视频智能监控技术可进一步实现作业现场违章行为的自动化甄别与智能研判,是补齐人工监管短板、落实主动预防管控理念的关键技术手段。基于深度学习构建的视觉识别模型,可针对电力作业典型违章场景实现精准智能识别,涵盖未规范佩戴安全帽、高空作业未系安全带、工作负责人擅自离岗、作业区域违规吸烟等高频不安全行为,能够全天候不间断监测现场作业规范执行情况,有效规避人工巡查存在的监管盲区与滞后性问题。针对新能源场站布局分散、作业面多、气象环境复杂、现场工况多变的特点,搭载多光谱摄像设备的智能监控机器人融合可见光成像、红外热成像、动态行为识别等多维度感知数据,可适配雨、雾、弱光、低温等恶劣工况下的现场监测工作。通过多模态数据融合分析技术,有效削弱了极端天气、复杂环境对识别精度的干扰,大幅降低环境因素导致的识别误差,显著提升复杂作业场景下违章行为识别的准确率与稳定性。该技术与物联网人员感知体系深度融合,形成“状态感知+行为研判”的立体化智能监控体系,为电力现场风险分级管控、隐患提前干预提供了精准的视觉数据支撑。

2.3 无人机与机器人智能安全巡查

依托物联网感知与视频智能监控的基础体系,无人机与智能巡检机器人的规模化应用,进一步补齐了电力高风险区域、受限空间及高空场景的监管空白,构建起全覆盖、无人化、高可靠的智能巡查体系,契合新能源场站风险分级管控的精细化治理需求。目前,无人机巡检技术已全面覆盖输电线路、光伏及风电场站等核心作业区域,搭载高清摄像装置与远程语音喊话模块的工业无人机,可全方位、无死角抓拍现场人员作业状态,精准识别高空作业未系安全带、违规操作等典型违章行为,并实时远程语音警示纠偏,实现隐患发现与干预同步完成。该模式不仅大幅提升了露天、高空场景的安全监管效率,同时彻底规避了人工登高巡检的人身安全风险。与此同时,各类智能巡检机器人有效解决了有限空间与高危固定区域的监管难题,其中隧道、电缆沟专用巡检机器人可替代人工完成密闭有限空间的常态化监护与隐患排查,杜绝有限空间作业监护缺位风险;升压站智能巡检机器人可自主完成现场安全设施核查、作业全过程监护、事故工况远程侦察等工作,逐步替代人工开展高风险区域的重复性巡查作业。无人机与地面智能机器人协同巡查模式,有效弥补了固定监控点位的视角局限,实现了高空、露天、密闭、高危区域的全域覆盖巡查,大幅降低了人工巡检作业强度与安全风险,为电力

现场高等级风险的主动防控、分级治理提供了重要技术支撑。

3 智能分析技术在电力人身安全风险控制中的应用

3.1 电力安全大数据平台构建

电力生产安全大数据平台是智能化分析的基础支撑平台,可以支持各种类型的异质性数据接入,人员信息(资质、违章记录、培训成绩)、作业信息(工作票、操作票、风险点)、实时感知数据(位置、视频、体征)、环境数据(气象、照明)、历史事故/未遂事件库等都可以被接入。平台整体采用云边协同的分布式计算架构,实行云端与边缘端分级分工、协同运算:云端主要承担海量异构数据的持久化存储、数据清洗规整与深度建模分析工作,支撑宏观风险规律挖掘与模型迭代优化;边缘端聚焦现场实时数据的轻量化分析、瞬时风险研判与就地联动反馈,有效平衡整体算力资源,降低数据传输压力与延时。在平台建设过程中,需重点攻克数据标准化统一、数据质量校验、数据隐私安全防护等核心难题,从源头上保障入库数据的真实性、完整性与规范性,为后续智能分析、风险研判、预警决策等上层应用提供可靠的数据底座。

3.2 数据挖掘与违章风险特征提取

依托大数据平台汇聚的全量作业数据,通过专业化数据挖掘技术提取核心违章风险特征,是实现电力人身风险智能化、精准化研判的关键核心环节。通过对历史违章案例、安全事故及未遂事件数据的回溯分析,可深度挖掘人员作业行为规律、违章高发时段、高危作业场景及危险因素之间的隐性关联关系,打破传统人工经验研判的局限性。在数据智能处理层面,可引入神经网络智能检测算法,精准辨识各类不规范作业行为;结合聚类分析、自组织特征映射等智能算法,完成作业人员安全风险等级的自动化分级评定,契合企业五级风险分级管控要求。在模型优化方面,通过特征筛选算法从海量变量中筛选核心风险指标,精简研判模型结构,在保障研判精度的同时提升风险识别与评估的运算效率。此外,通过关联规则数据挖掘可精准定位风险耦合规律,例如识别出午后下班高峰期、高空作业场景与安全带不规范佩戴等违章行为的强关联特性,可为企业开展阶段性专项安全督查、针对性风险管控提供数据支撑,实现由“经验管控”向“数据管控”的转型。

3.3 智能安全预警系统的实现与应用

基于大数据分析 with 风险特征挖掘成果,智能安全预警系统可将量化分析数据转化为可落地的安全管控举措,构建事前预警、事中干预、事后闭环的全流程防控体系。系统依据企业风险分级标准设置多级预警阈值,当监测到人

员作业行为偏离安全规范、设备工况异常或算法预判存在高风险时,可即时触发对应等级的声光预警与消息推送,实现风险隐患的秒级响应。依托作业规程与行为数据双驱动的智能监测模型,系统可精准识别未规范佩戴安全防护用具、误入带电间隔等典型违章行为,精准锁定高风险作业人员与关键工序节点,实现隐患前置预判、提前防范,全面提升电力人身安全风险分级管控与隐患治理的智能化、闭环化管控水平。

4 智能决策技术在电力人身安全风险控制中的应用

4.1 人工智能辅助作业安全许可与风险预控

电力生产现场作业许可审批与安措落实、风险管控涉及人员资质审核、作业环境评估、安全措施核查等多维度约束条件,属于典型的复杂约束优化问题。传统人工识别、判断以及经验分析模式,难以满足现场实时决策与动态干预的管控需求,而人工智能技术的深度应用为电力安全智能决策提供了全新解决路径,可融合改进注意力机制与人员历史行为特征的违章概率预测算法,通过聚焦作业人员历史违章规律、行为特征差异等核心关键信息,有效提升复杂场景下人身违章风险预判的精准度。与此同时,强化学习算法可通过与动态作业环境的持续交互迭代,自主优化安全干预策略库,自适应适配不同作业工况、环境变化及人员状态差异,实现干预策略的动态迭代优化。大尺度预训练语言模型的落地应用,进一步完善了电力安全人机交互体系,安全管理人员可通过自然语言交互的方式快速获取违章处置方案、隐患整改要点及应急救援指导建议,大幅降低智能系统的操作门槛。其中,深度强化学习融合了深度学习的高精度感知能力与强化学习的自主决策优势,能够高效适配电力作业复杂的人员行为状态空间与安全干预动作空间优化需求;模型通过海量历史安全数据自主学习迭代,沉淀出不同作业场景下的最优安全管控策略,在线应用阶段无需重复求解复杂优化问题,显著提升现场决策响应速度。此外,基于图神经网络构建的人员行为轨迹代理计算模型,可快速拟合人员作业轨迹的风险演化规律,瞬时输出违章风险评估结果,为现场安全动态决策提供即时数据支撑。综上,在各类人工智能算法的协同赋能下,电力安全管理可彻底摆脱传统依赖人工经验的粗放式管控模式,逐步构建起数据驱动、智能分析、知识赋能的现代化科学管控体系,有效助力企业风险分级管控与隐患治理双重预防机制的高效落地。

4.2 智能应急响应与人员救援

完善智能化应急救护与事故处置体系,是电力人身安

全链条防控的最后关键环节,也是降低事故伤亡规模、遏制险情扩散、弱化事故负面影响的重要举措,对落地企业风险分级管控、夯实隐患闭环治理成效至关重要。传统电力事故应急处置依赖人工研判调度,存在资源调配无序、响应迟缓、施救专业性不足等短板,而依托 AI 智能、物联网等智能技术,可实现电力典型人身事故的智能化适配应急处置。针对触电伤害、高空坠落、有限空间窒息等高频电力安全事故,智能系统可结合事故险情类型、伤员精准位置、现场作业工况等多维数据,智能适配应急处置方案,科学统筹调配急救人员、设备与物资,最大化提升应急资源利用效率。在事故突发场景下,系统可触发全自动应急联动机制:高精度定位技术锁定伤员坐标,同步调取现场实时监控画面,为远程应急指挥提供可视化支撑;快速联动企业应急指挥中心与外部急救体系,精准匹配就近 AED 急救设备点位,通过智能算法规划最优救援通行路径。全程自动留存事故发生与处置全过程影像资料,为后续事故溯源、原因研判与管理制度优化提供完整依据。智能化应急救援与事故处置体系有效抢占黄金救援时间,大幅提升作业人员事故生还率,彻底扭转了传统应急处置被动滞后、处置不规范、追溯无依据的困境,真正实现电力安全管理事前智能预警、事中动态干预、事后高效处置的全流程智能化闭环管控。

5 结语

当前电力行业人身安全监管模式正迎来数字化转型变革,彻底突破了传统依托制度约束、人工巡检、事后追责的被动治理模式,逐步迈入“智能感知、数据研判、主动干预、闭环治理”的智能化防控新阶段。本文立足于电力生产现场安全风险分级管控与隐患治理双重预防机制建设需求,从感知层、分析层、决策层三层技术架构出发,系统探究了可穿戴定位监测、AI 视频智能识别、安全大数据挖掘、机器学习风险预测、智能化应急处置等数字化技术在遏制人员违章、防范人身伤害事故中的应用价值。其中,感知层依托物联网、机器视觉、无人巡检等技术,

实现对作业人员位置轨迹、防护装备佩戴状态、生命体征参数及现场作业环境的全方位、全天候动态监测,彻底补齐传统人工监管的盲区;分析层通过大数据平台融合建模与智能数据挖掘算法,显著提升现场违章隐患识别效率与风险研判精准度,实现从经验判断向数据驱动研判的转变;决策层依托机器学习、深度强化学习与智能应急联动机制,能够主动优化现场安全干预策略,有效降低人为误操作、习惯性违章的发生概率,同时大幅压缩事故应急响应时长,提升现场险情处置能力。

同时,电力安全智能化落地过程中仍存在诸多亟待解决的问题,包括多源数据隐私安全防护体系不完善、现场智能设备运行稳定性不足、各类终端设备通信协议不统一、兼具电力专业知识与数字化能力的复合型安全管理人才短缺等现实瓶颈。未来,依托 5G 通信、边缘计算、人工智能大模型等前沿技术的迭代赋能,电力人身安全防控体系将朝着全场景覆盖、低时延响应、全流程主动预判的方向持续升级。构建技术成熟、体系规范、运行可靠的智能化安全管理体系,是完善电力风险分级管控机制、夯实安全生产防线、助力电力行业实现人身安全零事故目标的必然发展趋势。

[参考文献]

- [1]张业欣,唐诗洋,于振,等.基于单目视觉的电力作业场景人员三维定位方法[J].电力信息与通信技术,2025,23(10): 53-59.
- [2]艾洲,曲朝阳,潘和钰,等.基于无线感知的电力作业习惯性违章行为识别方法研究[J].电力大数据,2025,28(11): 62-69.
- [3]傅至诚.基于人工智能的电力工程施工现场安全预警机制设计[J].智能建筑与智慧城市,2025(2):75-77.

作者简介:丁佳彬(1993—),毕业于嘉兴大学电气工程及其自动化专业,当前就职于华电(浙江)新能源有限公司,安全环保部安监督管理(2022年10月至今),中级工程师。