

面向电力行业典型作业的风险监测预警与智能决策

朱坤双¹ 武楠¹ 李中原¹ 赵丹² 侯炜^{1*}

1 国网山东省电力公司应急管理中心 2 山东送变电工程公司

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6365

[摘要] 随着电力行业快速发展,作业安全性与效率问题日益凸显,传统风险评估方法因固定权重体系及主观赋权偏差难以适应复杂场景需求。基于此,本文构建面向电力典型作业的风险监测预警与智能决策系统,剖析作业流程、风险类别及识别体系,设计层次化架构与多硬件协同的智能预警系统,引入PHBA融合IAHP、极大熵准则及约束调节机制,能够实现多源风险自适应识别,以期为电力作业安全管控及智能化转型提供参考。

[关键词] 电力行业; 作业; 风险监测预警; 智能决策

中图分类号: F407.61 文献标识码: A

Risk monitoring, early warning and intelligent decision-making for typical operations in the power industry

Kunshuang Zhu¹ Nan Wu¹ Zhongyuan Li¹ Dan Zhao² Wei Hou^{1*}

1 State Grid Shandong Electric Power Company Emergency Management Center

2 Shandong Power Transmission and Transformation Engineering Company

[Abstract] With the rapid development of the power industry, the issues of operational safety and efficiency have become prominent. Traditional risk assessment methods are difficult to adapt to complex scenario requirements due to fixed weight systems and subjective weighting biases. This article constructs a risk monitoring, warning, and intelligent decision-making system for typical power operations, analyzes the operation process, risk categories, and identification system, designs a hierarchical architecture and multi hardware collaborative intelligent warning system, introduces PHBA fusion IAHP, maximum entropy criterion, and constraint adjustment mechanism, which can achieve multi-source risk adaptive identification, in order to provide reference for power operation safety control and intelligent transformation.

[Key words] Power industry; Homework; Risk monitoring and early warning; intelligent decision

1 前言

随着电力行业智能化进程的加速,典型作业场景下的安全管控与效率提升成为行业发展的关键。电力系统运行涉及高空、带电、有限空间等复杂环境,作业流程的多源性与风险因子的动态性对风险识别的精准性与时效性提出更高要求。现有技术虽通过传感器网络实现部分状态监测,但传统风险评估方法依赖固定权重体系,难以适应不同空间特征下风险因子的非线性变化,且主观赋权过程易受专家认知偏差影响,导致风险识别结果的鲁棒性不足。因此,进行面向电力行业典型作业的风险监测预警与智能决策研究具有十分重要的现实意义。

2 电力行业典型作业风险识别框架

2.1 典型场景作业流程

电力行业典型场景作业流程涵盖场景产生、工件排序、外部监测、员工监督、风险预警与应急响应,场景产生以常规空间

为对象获取客观数据为风险识别提供支撑,工件排序对操作计划及设备相关评审中隐含风险排查,外部监测针对气象条件与设备状态监测排除异常,员工监督从人员健康状态维度保障安全,风险预警基于模型实现风险量化评价与实时预警,应急响应则在事件发生后依风险识别结果启动救援方案。

2.2 典型作业风险类别

电力行业典型作业风险按层次划分为六级,低风险指作业风险可控且可依标准执行,需安排专人负责现场安全管理;较低风险存在低概率人身轻微伤可能,需加强现场监督;中风险有低概率人身轻伤风险,须专业技术人员指导检查;较高风险伴低概率较重伤事故可能,由上级指定专人监督;高风险具低概率重伤风险,需上级领导评估并科学防控;极高风险存低概率多人重伤可能,应严禁作业并严格管控^[1]。

2.3 风险识别体系构建

电力行业风险识别体系构建通过融合多源数据反演事故气象特征,提取电网运行中风速、温度、湿度、降雨等气象数据并开展关联分析,识别影响电网运行的重要气象因子,同时融合多源监测、融合感知、气象预报等信息,构建多源影响下的典型用电运行多源风险量化评价模型,以此识别生产计划及流程中可能出现的各类风险情景。

3 电力行业典型作业风险监测预警系统设计

3.1 系统架构

电力行业典型作业风险监测预警系统的架构设计采用层次化模式,展现层以直观交互界面为载体,将风险监测数据与预警信息进行可视化呈现,供操作人员实时获取与交互;功能层集成安全检测、事故分析、预警分析等核心业务模块,通过对数据层传输的信息进行逻辑处理与算法运算,实现对作业风险的初步判断、趋势分析及预警触发;数据层构建包含数据库、方法库、模型库及专家知识库的基础支撑体系,负责存储电力作业全流程产生的多源数据、风险识别方法、评估模型及行业专家经验知识,为功能层的业务运行提供数据输入与知识支持,三层架构相互协同,形成完整的风险监测预警逻辑链条^[2]。

3.2 硬件功能

3.2.1 视频监控设备

视频监控设备在电力作业风险监测预警系统硬件功能设计中承担现场图像数据实时采集任务,其具备视频与图像分析能力,可识别多种颜色并支持多人识别及多角度精准识别,通过对作业区域进行持续监测,实现对人员安全帽佩戴情况的自动识别报警,同时将采集到的视频数据信息实时转换为视频流,定向传输至AI边缘计算设备,为后续图像智能分析与风险预警提供基础数据支撑,通过高精度的数据采集与传输机制,构建电力作业现场可视化监控的第一道防线。

3.2.2 AI边缘计算设备

AI边缘计算设备在电力作业风险监测预警系统硬件功能设计中依托人工智能技术构建边界计算模型,对视频监控设备传输的图像数据进行解码处理并导入算法模型实施二次操作,内置烟雾识别算法可对作业场所潜在火灾隐患进行检测识别,安全带识别算法在高危作业环境下(如高空作业)自动判断人员安全带佩戴状态并即时触发警报提醒,智能可视化方法通过分析输电线路杆塔图像特征判别其是否处于直立状态以实现倒塌预警,整套机制在监测到异常时按预设规则自动发出报警信号,为电力作业现场风险防控提供智能分析与即时预警支持^[3]。

3.2.3 无线防爆布控球装置

无线防爆布控球装置在电力作业风险监测预警系统硬件功能设计中发挥多维度监测与应急保障作用,其通过多角度镜头组合实现对作业人员及现场环境的全方位无死角实时监测,内置语音通话模块支持监测中心与操作人员的双向即时沟通以动态掌握工作状况,配备的TF卡存储功能可对现场视频及数据进行本地备份保存以便后续分析追溯,集成的GPS/北斗精确定位技术在操作人员发生事故时能快速锁定救援位置,整套装置通

过监测、通信、存储、定位等功能的协同运作,为电力作业现场的安全管控与应急救援构建起立体化保障体系。

3.2.4 气体检测装置

气体检测装置在电力作业风险监测预警系统硬件功能设计中承担作业环境气体安全监测任务,通过高精度传感器对作业区域内的气体成分及浓度进行持续实时采样分析,当检测到气体浓度超过预设安全阈值时,立即触发内置的声光报警模块,以高亮灯光闪烁与高分贝声响组合的形式发出报警信号,同时将异常数据通过无线传输链路同步至监控中心,监测人员可通过设备屏幕显示的实时数据与报警信息迅速判断气体泄漏类型及危险程度,及时启动相应的防护措施与应急响应流程,通过实时监测、超限报警、数据传输三位一体的功能架构,构建电力作业现场气体安全的智能防护屏障,为作业人员健康与环境安全提供可靠的技术支撑。

4 电力行业典型作业风险智能决策

4.1 渐进式蜜獾算法原理

渐进式蜜獾算法(ProgressiveHoneyBadgerAlgorithm, PHBA)是一种受生物行为启发的智能优化算法,其核心思想源于蜜獾在复杂环境中自适应调整觅食策略的特性,通过模拟其渐进式搜索行为实现对问题解空间的高效探索。该算法在电力作业风险识别中具备独特优势,通过融合区间层次分析法(IntervalAnalysisHierarchyProcess, IAHP)的主观模糊赋权能力与极大熵准则的客观数据分布优化特性,构建包含约束调节机制的自适应模型框架。具体而言,PHBA以IAHP获取的风险因子主观权重区间为边界条件,将极大熵准则作为适应度目标函数,在满足动态约束条件的前提下引导算法向权重信息熵最大化方向搜索,从而实现多源风险因子权重的自适应调整,有效平衡主观认知与客观数据的互补性,降低传统方法中主观因素导致的识别偏差,提升风险识别模型在不同典型作业空间下的鲁棒性与响应效率。

4.2 区间层次分析法

IAHP在电力作业风险智能决策中通过结构化流程融入风控专家认知以量化风险因子主观权重,具体实施中首先基于典型作业多源要素全域风险因子体系邀请N位专家对各层风险因子重要性进行两两比较,采用区间互反性1-9标度构建区间判断矩阵,其中因子i与j同等重要时标度为1,稍重要至格外重要依次对应3-9及倒数标度,以此反映专家对因子重要性差异的模糊判断;矩阵构建后通过幂法计算最大特征根及其对应的特征向量,继而引入一致性校验机制,基于公式计算校验值CR,其中RI为根据矩阵阶数确定的自由度指标,若CR小于0.1则矩阵通过校验,提取每位专家的区间特征向量,其元素对应各风险因子权重区间,若未通过则返回重新收集专家意见,通过多轮专家反馈与矩阵优化,最终形成包含N个区间特征向量的专家意见集合,为后续风险因子权重自适应调整提供主观赋权基础^[4]。

4.3 极大熵准则与约束调节机制

极大熵准则在电力作业风险智能决策中作为适应度目标函

数,通过计算因子权重特征向量的信息熵来量化风险识别结果弹性,在已知约束条件下最大化权重信息熵,以降低客观数据偏差导致的系统不稳定与识别偏颇风险,减少不合理主观假设;约束调节机制则依据作业场景或技术装备变化动态设定约束条件,如典型高空场景提升风力等级因子权重约束,通过PHBA求解实现风险因子权重自适应调整,规避重复专家评分的人力成本,实现不同典型空间下低实施成本的风险动态识别。

4.4 自适应风险识别流程

基于PHBA求解的自适应风险识别流程以风险因子数据与专家评分作为输入,经数据预处理后通过区间层次分析法邀请N位专家构建区间判断矩阵,推导区间互反性标度并进行一致性校验,提取满足条件的区间特征向量以确定权重区间;随后定义解空间并初始化蜜獾种群位置,将越限位置调整至区间边界内,以极大熵准则计算当前种群的权重信息熵作为适应度,依据概率选择进入渐进式挖掘或寻蜜阶段,通过更新行动强度与全局最优解、调整密度因子实现迭代优化,在满足全部约束条件且达到最大迭代次数后,输出指标与权重乘积之和的风险识别结果,完成多源风险因子权重的自适应调整与量化评价^[5]。

5 结语

综上所述,通过分析典型作业流程与风险类别,设计层次化系统架构与多硬件协同的监测体系,引入PHBA融合IAHP与极大熵准则,能够实现多源风险因子权重的动态自适应调整。未来研究可进一步深化多源数据融合深度,探索边缘计算与云计算协同机制,拓展算法在极端作业环境中的适应性,推动智能决策系统与电力物联网的深度融合,为电力行业安全管控提供更全面的技术支撑。

[基金项目]

山东省重点研发计划项目(2021CXGC011301)。

[参考文献]

- [1]王秋琳.基于时空视频融合的电力现场作业目标风险实时定位与跟踪[J].电气自动化,2025,47(02):79-81+86.
- [2]吕明利,白玉奇,赵利.基于风险矩阵的电力作业风险量化评估与优化[J].智慧中国,2025,(03):88-89.
- [3]别念.基于层次分析法和作业条件危险性评价法的电力有限空间作业安全风险评估[J].科技和产业,2025,25(1):90-97.
- [4]孙梅珍,马文善,周志巍.电力工程作业风险评估与防控措施优化研究[J].中国高科技,2025,(01):61-62+95.
- [5]刘丽,白宇昂,李刚,等.基于CasRel-Attr模型的电力二次作业风险知识图谱构建方法研究[J].电力信息与通信技术,2024,22(11):7-16.

作者简介:

朱坤双(1984--),男,汉族,山东济宁人,硕士研究生,高级工程师,研究方向:安全应急管理。

武楠(1988--),男,汉族,陕西渭南人,大学本科,高级工程师,主要研究方向:电力安全运行管理。

李中原(1992--),男,汉族,山东菏泽人,大学本科,高级工程师,主要研究方向:电力应急支撑保障与处置。

赵丹(1997--),女,汉族,山东济南人,大学本科,助理工程师,主要研究方向:电力安全运行管理。

*通讯作者:

侯炜(1987--),男,满族,山东济南人,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:电力安全与应急管理、电力系统经济运行。