

多模态数据赋能电力企业生产运营全链条安全风险防控研究

许同川 李雪德良 朱晓莉
湖北安源安全环保科技有限公司
DOI:10.32629/etd.v7i8.21642

[摘要] 电力企业生产运营涉及发电、输电、变电、配电、调度等多个环节,安全风险贯穿全链条,具有隐蔽性强、耦合性高、演化路径复杂等特点。本文从电力企业生产运营全链条安全风险防控的现实困境出发,系统分析了多模态数据赋能风险识别的内在机理,构建了涵盖数据采集、特征提取、风险预警、决策支持的闭环应用框架,并对实施路径中的关键问题进行了探讨。研究认为,多模态数据的核心价值不在于数据体量本身,而在于通过异构数据的互补与协同,实现对风险从“单点感知”到“全景洞察”的能力跃升,最终推动电力企业安全管理从经验驱动向数据驱动转变。

[关键词] 多模态数据; 电力企业; 全链条安全; 风险防控; 数据融合

中图分类号: F407.61 **文献标识码:** A

Research on Multimodal Data-Empowered Full-Chain Safety Risk Prevention and Control of Production and Operation in Electric Power Enterprises

Tongchuan Xu Xuedeliang Li Xiaoli Zhu

Hubei Anyuan Safety and Environmental Protection Technology Co., Ltd

[Abstract] The production and operation of power enterprises involve multiple links such as power generation, transmission, transformation, distribution, and scheduling. Safety risks run through the entire chain and have the characteristics of strong concealment, high coupling, and complex evolution paths. This article starts from the practical dilemma of safety risk prevention and control throughout the production and operation chain of power enterprises, systematically analyzes the inherent mechanism of multimodal data empowering risk identification, constructs a closed-loop application framework covering data collection, feature extraction, risk warning, and decision support, and explores key issues in the implementation path. Research suggests that the core value of multimodal data lies not in the data volume itself, but in the ability to achieve a leap in risk perception from "single point perception" to "panoramic insight" through the complementarity and collaboration of heterogeneous data, ultimately promoting the transformation of power enterprise safety management from experience driven to data-driven.

[Key words] multimodal data; electric power companies; full chain safety; risk prevention and control; data fusion

引言

电力工业是国民经济基础性的支柱产业,其生产运行的安全直接关系到整个社会经济的发展 and 人民群众的切身利益。近年来,特高压输电、新能源并网、电力市场化改革等进程加快,电力系统物理形态、运行机制、管理模式都在发生深刻变化。电网规模不断加大,运行方式愈加复杂,设备类型愈加丰富,作业环境愈加不确定,各种安全风险相互交织的效应愈发明显。与此同时,社会对供电可靠性的期望越来越高,安全监管的要求也越来越高,电力企业安全管理的压力也越来越大。本文主要对电力企业生产运营全过程进行研究,就多模态数据如何给安全风

险防控赋予新的动能这一问题展开论述,在现实需求、理论机理、应用框架和实施路径上做了全面分析,并且给出了一些建议来加强电网的安全运行管理。

1 电力企业生产运营全链条安全风险防控的现实审视

电力企业生产运营全链条包括规划建设、设备运维、调度运行、检修作业、应急处置等多个环节,各环节的风险类型和表现形式都不相同^[1]。发电环节存在设备过热、机械振动、绝缘劣化等风险,输电环节有线路覆冰、舞动、雷击、外力破坏等问题,变电环节有开关拒动、变压器故障、母线失压等隐患,配电

环节有接地故障、负荷过载、三相不平衡等风险,调度运行环节要应对频率波动、电压越限、稳定破坏等系统级风险。这些风险并不是孤立存在的,而是通过电力系统的物理联系和信息关联相互传递、互相转化的。一条输电线路的故障会造成变电站母线失压,进而造成大面积停电;一次操作失误会引发连锁反应,造成系统振荡。全链条的本质就是风险不在某一环节,而是贯通整个生产运营过程,形成从局部扰动到系统后果的风险传导链条。

2 多模态数据赋能全链条安全风险防控的作用机理

2.1 从单点感知到全景洞察,信息维度的扩展

多模态数据赋能的第一个方面就是信息覆盖范围的扩大。传统的监测手段一般只针对某一个设备或者某一个参数,产生的是一个孤立的“监测点”。而多模态数据融合可以将这些点连成面、构成体,形成对系统运行状态的立体化感知。以输电线路为例,把杆塔倾斜监测、导线弧垂测量、微气象数据、视频巡检图像、雷电定位信息等多源数据进行时空对齐和关联分析,就可以建立整条线路乃至整个区域电网的实时安全态势图谱^[2]。运维人员不再需要逐一查看各个监测点的孤立数据,而是可以直接从融合后的态势图谱中把握全局风险分布。从“点”到“面”再到“体”的维度跃升,一些原本隐藏在数据缝隙中的关联风险就显现出来。

2.2 从阈值触发到趋势研判,时间维度的延伸

传统的阈值告警机制本质上是“事后”反应,只有当物理量超过预设门槛时才会触发警报。这种机制的问题在于很多严重事故在发生之前相关参数可能还没有越限但是已经存在异常变化的趋势。多模态数据的时序融合可以使得系统捕捉到这些趋势性信号。通过对同一设备的各类状态参数进行长期连续监测和趋势分析,可以得到该设备运行正常状态的多维特征轮廓。当实时数据与轮廓偏离的时候,即便所有参数都不越界也可以识别出异常情况,并且发出早期警告。由原来的对设备的状态进行评价变成对于整个装置所处的一种状况做出预估,把风险的发现提前到了事前的阶段,给积极地进行干涉留下充足的时间。

2.3 从单一判据到综合诊断,决策维度的升级

单一数据源只可以支持基于局部信息的简单判断,多模态融合可以实现基于完备信息的综合诊断。不同类型的传感器数据在物理机理上互相补充,电气量数据反映系统的电磁暂态过程,机械量数据反映设备的结构完整性,热力数据反映设备的绝缘老化程度,图像和音频数据提供直观的物理状态信息。只有把各个信息加以利用之后,才可以对设备运行状况做出合理的评价。更重要的是多模态数据融合能发现单个数据源不能显现出来的交叉耦合风险^[3]。气象数据同设备状态数据相融合可以预警恶劣天气下特殊的设备故障风险,作业行为数据同设备状态数据相联结就可以发现操作方法对设备寿命影响的作用方式。

3 多模态数据赋能安全风险防控的应用框架构建

3.1 多源异构数据的采集整合与预处理

构建起多模态数据驱动的风险防控体系,首先需要建立统一的数据采集、整合架构。电力企业要对全链条各个环节的数据资源现状加以梳理,明确关键风险场景中需要的数据种类和来源渠道,形成统一的数据采集标准以及接口规范。在数据汇集的时候,应该建立统一的数据中台或者数据湖,使各个业务系统间的数据达成物理上的聚集或者逻辑上的联系。多源数据的时间尺度、空间粒度、语义表达等方面存在不一致的情况,在时间同步、空间匹配、语义对齐的处理下被统一到相同的标准上。注意,数据融合不是简单的堆积,而是在具体风险情境的基础上有针对性地组织数据,不能陷入为了融合而融合的误区。

3.2 面向风险识别的多模态特征提取与融合

多模态特征提取和融合是整个赋能链条中最重要的部分。根据不同的原始数据类型,用对应的方法来提取出有物理意义的、能指示安全性的特征量。对振动、温度、电气量等数值型数据来说,可以采用时域统计、频域分析和时频变换来进行特征提取,对于图像数据可以使用计算机视觉技术来识别设备外观异常、表计读数、环境隐患等,对音频数据可以利用声学特征提取来识别机械故障的早期征兆,对文本数据可以利用自然语言处理技术从检修记录和缺陷报告中挖掘风险知识。特征融合需要在多个层次上进行,数据级融合、特征级融合、决策级融合等各不相同,各种风险场景和业务需求也有所差别。在实际应用当中应该依照风险类型的不同选取相应的融合手段,不可以无目的地去加强或者降低其层次。

3.3 基于数据驱动的风险预警和智能决策

融合之后的多模态信息最终是为了风险预警和决策支持而存在的。基于多模态数据的风险预警不是单个指标的阈值判断,而是综合多维度信息的态势评估。用机器学习方法建立设备健康状态的多参数联合评价模型,用时序分析的方法来把握风险的发展变化规律,用异常检测算法找到与正常运行模式不一致的异常状态。智能决策层的预警信息要和应急预案、检修资源、调度方案等业务信息相关联,形成从发现风险到处置风险的完整闭环。系统不仅要告诉运行人员有什么风险,还要给运行人员提供为什么会有风险、风险有多大、应该怎么办等决策支持信息。通过构建风险知识图谱与案例库,系统可实现预警信息的智能推理与预案匹配,将抽象设备状态转化为可执行操作指令。运行人员依据系统给出的风险等级、影响范围及处置建议,快速启动相应级别的应急响应,统筹调配检修力量与备件资源,在风险演变为故障前完成干预。这种“感知—评估—决策—执行”的闭环机制,显著提升了设备运维的主动性与精准度,为系统安全稳定运行提供智能化保障。

3.4 人机协同下安全风险闭环管控机制

特别强调的是,多模态数据赋能的目的不是代替人的判断,而是增强人的判断力。电力安全风险防控中,一线人员的实践经验、情景认知能力、应急处置智慧是不可替代的。因此,多模态数据驱动的风险防控体系应该采用人机协同的工作方式,机器负责海量数据的实时处理、异常信号的灵敏捕捉、初步风险研

判,人负责复杂情景下的综合判断、不确定性条件下的决策、关键操作的最终确认。这种人机分工充分利用了机器的计算能力和人的认知能力各自的优势,避免了完全自动化带来的黑箱信任问题和责任归属问题。

在具体运行中,应该建立“机器预警、人工研判、协同处置、反馈优化”的闭环机制。系统把多模态融合分析结果用可视化的形式展现出来,同时标示出置信度和证据来源,方便运维人员迅速核查;对低置信度或者高复杂度的场景自动触发人工复核,由专家根据现场态势做出最终裁定。处置完成后,人工决策和结果反向输入模型,持续校准算法参数,使机器研判能力在实践中不断迭代升级。同时要建立权责清单和操作留痕制度,明确人机各环节的责任边界,保证每项决策都可以追溯、可以审计。深度协同之下,多模态数据成了风险感知的千里眼,也成了积淀一线经验、传承处置智慧的载体,电力安全防护由被动响应转向主动预见。

4 多模态数据赋能安全风险防控的实施路径

推进多模态数据赋能电力安全风险防控从理念到落地,要着重做好以下几项工作。

数据治理应该创建出企业的多模态数据管理体系、数据质量控制体系。数据就是赋能的基础,数据的质量决定应用的效果。电力企业需要明确各种数据的责任主体和管理规范,建立数据全生命周期的质量监控和改进机制,保证数据的准确、完整、及时、一致。非结构化数据的规范化采集、标注工作要引起重视,为后面的机器学习应用打下基础。

技术上重点突破电力场景多模态融合分析关键技术。由于通用的多模态融合方法不能直接套用,因此对于电力系统安全风险防控的要求也高。应该根据电力系统物理机理、运行规律来研究出适合电力场景的轻量化融合分析算法、可解释性人工智能模型和边缘计算框架,既保证了分析结果的质量,又达到了快速处理的目的^[4]。

在组织保障上要推进数据驱动的安全管理模式的转变,多模态数据的应用既是技术的进步也是管理理念和运行机制的革

新。电力企业要培养既懂电力业务又懂数据技术的复合型人才,建立数据驱动决策的组织文化、工作流程。还要健全配套的管理制度,明确多模态数据分析结果在安全责任认定、绩效考核中的位置,给数据赋能营造出一个良好的制度环境。

在安全防护上,要重视多模态数据汇聚所造成的网络安全、数据隐私风险。由于数据高度集中并且跨系统流动使得攻击面和泄露风险变大,在体系设计的时候就将安全防护加入进去,建立覆盖数据采集、传输、存储、处理、共享全链条的安全保障机制。

5 结语

多模态数据赋能电力企业安全风险防控,本质是方法论从经验主义转向数据主义的变革,不是对经验的简单否定。真正有价值的赋能就是把数据智能和一线人员的实践经验结合起来,让机器来完成海量计算和模式识别这些它擅长的工作,让人来做情景理解、价值判断等人类特有的工作。在新型电力系统建设不断推进的过程中,安全风险防控所面临的挑战也会变得愈加复杂,多模态数据技术并不能提供一个最终的答案,它只是一种可以深入探讨的道路。根据企业的实际情况寻找突破口,并且按照一定的顺序开展融合性工作,从而使得信息具备现实意义并能够得到合理地使用。

[参考文献]

- [1]叶子源.数字化转型背景下电力企业作业人员安全行为智能干预机制研究[J].中国高新科技,2025,(22):93-95.
- [2]师亚东,江疆,曾良波.生成式大模型在电力企业知识服务中的应用路径研究[J].中国科技纵横,2025,(21):50-52.
- [3]杜洋,刘鑫,赵祥.多模态数据融合处理关键技术探索与应用[J].科技视界,2024,14(14):61-63.
- [4]李广飞.融合多模态数据分析的电力企业安全管理策略研究[J].数字通信世界,2020,(9):113-114.

作者简介:

许同川(1994--),男,湖北汉川人,中级工程师,研究方向:安全管理。