

人工智能在核安全监测中的应用与技术革新

徐婧

苏州热工研究院有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i3.13634

[摘要] 随着近些年来人工智能技术的快速发展,使得这一技术开始在各个领域当中发挥关键作用。本文系统探析人工智能技术于核安全监测领域的多维应用及技术创新,从多源数据融合、智能故障预测、辐射防护升级等视角阐述智能技术赋能核安全的内在机理。文章梳理了智能传感器、物联网融合、云计算平台等技术革新如何推动核安全监测向精准化、预见性方向演进。同时深入剖析数据安全、模型可靠性及人才储备等现实挑战,提出相应对策,为核安全监测智能化转型提供理论参照与实践指引。

[关键词] 人工智能; 核安全监测; 技术革新

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Application and technological innovation of artificial intelligence in nuclear safety monitoring

Jing Xu

Suzhou Thermal Engineering Research Institute Co., LTD.

[Abstract] With the rapid development of artificial intelligence technology in recent years, this technology has begun to play a crucial role across various fields. This paper systematically explores the multidimensional applications and technological innovations of AI in nuclear safety regulation, elucidating the intrinsic mechanisms by which intelligent technologies empower nuclear safety from perspectives such as multi-source data fusion, intelligent fault prediction, and radiation protection upgrades. The article reviews how technological innovations, including smart sensors, IoT integration, and cloud computing platforms, are driving nuclear safety regulation towards more precise and predictive directions. It also delves into practical challenges such as data security, model reliability, and talent reserves, proposing corresponding strategies to provide theoretical references and practical guidance for the intelligent transformation of nuclear safety regulation.

[Key words] artificial intelligence; nuclear safety regulation; technological innovation

引言

核设施作为复杂能源系统代表,其安全运行依赖高度精准的核安全监测与预警。数字时代背景下,传统监管手段面临海量数据处理、隐性风险识别与及时响应等方面挑战。人工智能技术凭借其卓越的模式识别能力、自适应学习特性及跨域信息融合优势,为核安全监测注入全新动能。智能算法对核设施运行参数的深度挖掘与关联分析,使核安全监测实现质的飞跃,开启核安全监测新篇章。

1 核安全监测的重要性与现状

1.1 重要性

核安全监测为核能安全运行之根基,核设施运行期间各项参数精准监控直接关系到整体安全屏障的完整性与可靠性。严密的安全监测体系实质是对潜在风险的前瞻性把控,使设备异常得以在萌芽阶段被发现并处理。现代核工程理念强调预见性维护,安全监测正是实现此理念的载体,持续采集的数据流转

化为决策依据,赋予运行人员对反应堆各系统健康状况的全局认知。

1.2 现状

当下核安全监测技术呈现出数字化与智能化融合的特征,数据积累已达相当规模,构建起覆盖核设施全寿期的多维监测网络。实时采集系统已实现对关键参数毫秒级响应,预警机制逐步完善。故障诊断算法借鉴深度学习理念,使预测性维护水平显著提升。核安全监管标准亦在国际范围内逐步协调一致,各国实践经验正加速汇集成统一规范。然而安全监管体系仍存在数据孤岛现象,信息共享机制尚未完全贯通。

2 人工智能在核安全监测中的应用

2.1 数据收集与处理

2.1.1 多源数据融合

多源数据融合技术在核安全监测领域代表着系统性整合方法,旨在将异构传感器网络的各类监测信息汇集为统一认知框

架。此技术打破单一数据来源限制，丰富了状态表征的维度与深度。核设施运行时的温度、压力、辐射、振动等多维数据经特征提取、冗余消除、一致性处理后，构建更为完整的设施状态画像。数据层级融合算法妥善处理测量精度不一、采样频率各异的信息流，消弭数据间矛盾^[1]。

2.1.2数据清洗与预处理

数据清洗与预处理环节对核安全监测质量具有决定性影响。原始数据往往携带异常值、缺失值与噪声，影响监测精度与可靠性。科学严谨的预处理工作能有效剔除数据中的冗余与不确定性，修正异常值，填补缺失值，消除噪声干扰。核设施监测系统需识别各类传感器数据中的频率突变、幅值异常，将原始数据转换为标准格式，实现归一化处理。数据平滑技术削弱随机波动，突显核心变化趋势，为后续建模奠定基础。降维处理则从高维数据中提取关键特征，保留核心信息，降低计算复杂度。

2.2故障预测与诊断

2.2.1基于机器学习的故障预测模型

基于机器学习的故障预测模型将历史运行数据转化为预测算法，在核安全监测中扮演重要角色。此类模型深入挖掘设备参数与故障征兆之间的隐藏规律，形成对异常状态的提前识别能力。深度学习框架使预测系统具备自动特征提取功能，省去传统方法中繁琐的人工特征工程步骤。强化学习算法赋予模型持续自我完善的特性，让核安全监测预警精度随数据积累逐步提高。现代预测模型已突破短期预警局限，延伸至更长时间尺度的故障趋势分析^[2]。

2.2.2深度学习的故障诊断

深度学习故障诊断技术在核安全监测领域展现出独特优势，源于其强大的特征自动提取能力与多层非线性映射结构。核设施运行产生的海量异构数据中蕴含复杂模式与隐含关联，传统诊断方法难以全面捕捉。深度神经网络凭借层级架构能够自动学习数据表征，从底层信号特征逐步抽象为高级语义特征，实现对核设施异常状态的精准识别。卷积神经网络擅长处理时频域信号，提取核设备振动、声学、热力学特征；循环神经网络则善于捕捉时序数据长期依赖性，适合分析核设施运行趋势；自编码器通过降维与重构学习正常运行特征分布，偏离正常模式即可判定为潜在故障^[3]。

2.3辐射监测与防护

2.3.1实时辐射剂量监测与预警

在核安全监测当中，实时辐射剂量监测与预警系统构建于多层次传感网络基础之上，融合了高精度辐射探测器与数据分析算法，实现对核设施内各区域辐射水平的持续追踪与评估。该系统依托量子效应探测原理，将微小辐射变化转化为数字信号，再经智能算法筛查异常波动。辐射水平一旦超出预设阈值，预警机制立即启动，自动生成风险等级评估并分发预警信息至各控制终端。系统核心价值在于时间维度上的连续性与空间维度上的全覆盖性，使辐射防护由被动响应转向主动预判。值得关注的是，现代监测系统已将数据精度提升至微西弗级别，同时降低了

误报率，大幅提高了核设施运行安全边界。辐射数据积累形成的历史曲线，亦为长期辐射剂量管理提供科学依据，优化了防护策略制定流程。

2.3.2优化辐射防护策略

优化辐射防护策略在核安全监测中占据关键地位，智能算法赋能下的防护体系正逐步实现精准化与动态调整。当代防护理念已突破静态屏障模式，转向融合剂量预测模型与实时监测数据的智慧型防护。人工智能技术为辐射剂量最小化原则提供了理论支撑，辐射场分布的精细化建模使得防护资源配置更为科学。智能算法能够依据历史数据与当前读数构建辐射暴露风险图谱，为防护屏障设计与工作人员轮换计划提供决策依据。值得关注的是，基于机器学习的个性化防护方案构建，已然成为现代核设施安全文化的重要组成部分。辐射防护不再局限于被动遵循标准值，而是演变为主动预测、精准分析、合理防护的有机整体，充分体现了核安全领域对人工智能应用的深度融合^[4]。

3人工智能技术革新推动核安全监测升级

3.1智能传感器与物联网融合

智能传感器与物联网融合为核设施状态监测带来质的飞跃。二者相融构建起多维感知网络，在核安全监测中，核反应堆各系统参数变化实时可见。精密传感元件部署于关键设备节点，持续采集温度、压力、辐射等微观变量数据，物联架构则编织起信息传输与存储的数字通路。高灵敏度量测装置捕捉运行状态细微波动，数据经量化处理后汇聚至智能分析平台。算法引擎对历史运行数据进行模式识别，建立设备正常运行基准线，识别潜在异常征兆。智慧监测体系减少了工作人员在辐射环境中的暴露时间，同时提升了设备安全状态评估精度。预测性安全维护模式逐渐替代固定周期检修规程，设备寿命得到延展，运行成本实现优化控制。数字孪生技术将物理设施映射为虚拟模型，为运行人员提供决策支持，增强核安全保障能力。

3.2大数据与云计算助力

大数据与云计算技术在核安全监测领域引入全新思维范式。云端算力汇聚下，海量传感数据得以实时流转与深度融合，打破传统孤立式数据分析局限。核设施运行参数的多维度关联分析在分布式计算架构支持下实现无缝衔接，设备微小异常征兆得以在早期阶段显现。动态扩展的存储体系为历史数据长周期保存提供基础，核心设备全生命周期状态演变规律渐次清晰。云端协同平台消弭了地域限制，专业技术人员可远程参与关键决策，核心系统安全冗余度显著提升。实时数据挖掘算法在云端高性能集群运行，设备劣化趋势预判精度提高数个量级。数据安全层级防护机制确保敏感信息万无一失，同时保障监测系统自身韧性。量子加密传输协议正逐步应用于关键参数传递环节，为整体监测网络筑起坚实屏障。边缘计算与中心云架构相辅相成，推动核设施状态感知能力向更精细、更智能方向迈进，电站安全裕度获得质的提升^[5]。

3.2人工智能算法优化与创新

人工智能算法于核安全监测领域迎来深刻变革,当代算法优化聚焦于模型结构精简与计算效率提升。深度神经网络架构改良促使特征提取精度显著提高,模型轻量化技术使实时监测成为可能。算法创新方向转向融合领域知识与数据驱动方法,形成混合推理体系,使算法决策过程具备可解释性。核安全监测中,独特的安全要求催生了鲁棒性增强技术,令算法在噪声干扰下保持稳定判断。量化学习与稀疏化处理适应了核设施传感器网络分布式计算环境,边缘计算单元能高效执行复杂分析任务。算法自适应机制让监测系统应对设备老化及工况变化更为从容,无需频繁人工干预即可维持监测质量。这些技术革新共同构建了更为精准、可靠且智能化的核设施状态评估体系,为安全运行提供坚实技术保障。

4 面临的挑战与应对策略

4.1 数据安全与隐私问题

数据安全与隐私问题是人工智能融入核安全监测领域的关键挑战。核设施运行中产生的数据具备高度敏感性,蕴含着设施参数、系统架构特性及运行状态指标等核心信息。人工智能系统处理此类数据时,数据泄露风险、算法漏洞利用及隐私边界模糊等问题日益凸显。核电数据的安全存储与传输机制要求建立严密的加密体系与精细化的访问权限管控。值得关注的是,智能算法在训练与推理过程中可能形成数据特征提取与间接识别,引发信息安全隐患。实施数据脱敏处理,建立分层防护策略,研发安全可信智能技术框架,已成为核安全领域的迫切需求。核监管部门必须在实现高效监管与保障数据安全之间寻求平衡点,守住核数据保密底线,构筑起坚实的安全屏障。

4.2 模型可靠性与可解释性

模型可靠性与可解释性问题是人工智能应用于核安全监测领域的关键瓶颈。人工智能模型在核设施安全评估中表现出的“黑箱”特性与核安全监测对透明度的高要求之间存在根本性矛盾。当深度学习模型给出安全预警或异常识别结果时,其内部推理逻辑往往难以直观理解,导致工作人员对模型判断的信任度降低。核电领域特有的决策严谨性使这一问题尤为突出。模型的随机偏差、训练数据中的隐含偏见以及对抗样本的脆弱性,都可能导致关键安全决策误判。为提升可靠性,需建立严格的模型验证机制,开发层次化解释框架,实现从数据输入到结果输出全过程的逻辑透明。核安全数据的稀缺性与敏感性也给模型训练带来特殊难题,需探索知识驱动与数据驱动相结合

的混合架构,在保证安全监管高效性的同时确保模型行为可控可解释^[6]。

4.3 人才短缺与培训需求

人才短缺问题在核安全智能监管领域日渐凸显,形成了技术与专业人力资源之间的显著鸿沟。核安全监测智能化转型需求与现有专业人员知识结构存在明显脱节,核电站专业技术人员习惯于传统监管模式,对人工智能技术理解有限,难以胜任智能系统开发维护工作。当前核电行业智能化人才培养体系尚不完善,专业院校相关交叉学科建设滞后,导致人才供给不足。核电站应建立分层次、多维度的人才培养计划,完善内部晋升机制,吸引跨学科复合型人才。

5 结语

人工智能于核安全监测领域的深度融合已然成为行业发展不可逆转的趋势。核安全监测因智能技术注入而向自动化、精准化与预见性方向演化,实时数据分析与模式识别能力使潜在风险评估更加科学全面。智能监管技术体系尚处发展阶段,数据安全保障、算法可靠性验证与专业人才培养仍需持续攻关。未来核安全智能监管生态将日趋成熟,人机协同将成核安全保障核心支柱,为核能安全高效利用奠定坚实基础,推动核能行业迈向更智慧、更安全的新高度。

[参考文献]

- [1]罗娟,张邦铺.数据治理、人工智能安全监管与法治保障——四川省法学会人工智能与大数据法治研究会2024年年会综述[J].西华大学学报(哲学社会科学版),2025,44(02):30-36.
- [2]赵申洪.加快建立人工智能安全监管制度[J].党课参考,2025,(03):26-38.
- [3]逯达.如何建立人工智能安全监管制度[N].科学导报,2024-12-24(B02).
- [4]岳树梅.我国核安全法治体系现代化研究[J].广西社会科学,2023,(01):10-25.
- [5]张虹,刘哲.全球人工智能大模型安全监管与标准化进展研究[J].新型工业化,2024,14(07):11-16.
- [6]周林,王晓峰,卞玉芳,等.核与辐射安全监管大数据平台建设策略研究[J].中国环境管理,2017,9(02):25-30.

作者简介:

徐婧(1987—),女,汉族,山西省晋城市人,工程师,硕士研究生,研究方向:定期安全评价,操纵员培训与考试管理。