

# Real-time Monitoring and Abnormal Diagnosis of Key Parameters of Nuclear Power Plant Driven by Artificial Intelligence

Haidong Shang

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

Nuclear power, as a clean, low-carbon, and high-quality energy source, plays a vital role in ensuring national energy security and achieving the “dual carbon” goals. The safety and reliability of nuclear power operations directly impact public safety, environmental quality, and power supply stability. This paper examines the application of artificial intelligence technology in real-time monitoring and fault diagnosis of nuclear power parameters, analyzes the limitations of traditional methods, and explores the distinctive features of AI-driven approaches. By evaluating the value of this new technology and proposing actionable recommendations, the study aims to accelerate the intelligent transformation of the nuclear power industry, enhance operational safety, and improve maintenance efficiency.

## Keywords

Artificial intelligence; Nuclear power; Key parameters; Real-time monitoring; Anomaly diagnosis

## 人工智能驱动的核电关键参数实时监测与异常诊断

商海东

大亚湾核电运营管理有限责任公司, 中国·广东深圳 518000

## 摘要

核电是一种清洁低碳优质能源, 在确保国家能源安全以及落实“双碳”目标中发挥着重要作用, 而核电运行的安全性和可靠性也直接影响人民生命财产安全、环境质量和电力供应。本文从人工智能技术应用的角度出发, 对核电主要参数实时监测与故障诊断的基本内容、传统方法不足之处以及人工智能驱动方式的特点进行论述, 探讨这一新技术的应用价值并提出相应的建议, 以期促进核电产业向智能化发展, 提高运行安全水平和维护工作效率。

## 关键词

人工智能; 核电; 关键参数; 实时监测; 异常诊断

## 1 引言

伴随着人工智能技术的飞跃式发展, 从早期传统机器学习、深度学习到最新的大语言模型等, 在数据解析、特征提取以及智能预测等领域优势逐渐显现, 给核能行业带来新的发展机遇。目前, 传统的核电监控及诊断方式已经不能满足对大量监控信息进行即时分析以及及时发现各种类型故障情况的需求。本文针对基于人工智能的核电重要指标实时监控和故障诊断进行了全面探讨, 总结了主要的研究成果、阐述了应用价值并提出了相应的建议措施, 以期能够促进该类技术的应用实践。

【作者简介】商海东(1982—), 男, 中国吉林白城人, 本科, 高级工程师, 从事核电运行研究。

## 2 人工智能驱动的核电关键参数实时监测与异常诊断概述

### 2.1 核电关键参数的核心范畴与监测需求

核电重要参数监控有明确的需求点。第一, 需求是及时性。在核电运行过程中, 工况变化大, 参数波动有可能会在很短时间内造成设备异常, 因此需要做到对参数不间断采集、实时传输以及即时分析, 以便第一时间发现故障信号; 第二, 需求是准确性。参数监测出现偏差会导致误报或者漏报, 这就要求有准确的检测方法及数据分析手段, 保证所获取的数据真实有效, 为后续进行故障判断奠定基础; 第三, 需求是完整性。核电站各个设备之间存在联系, 一个单独参数出现问题可能是整个系统存在问题的表现形式之一, 所以要做到全方位、多层次参数全面监控不留死角, 从而掌握整个反应堆的工作状况。

### 2.2 人工智能在核电监测与诊断中的应用基础

机器学习算法是进行智能化监控及故障诊断的基础,

在核电监控中,可以使用监督学习、无监督学习以及强化学习等不同种类的学习方法来满足不同的需求。监督学习利用已有的故障样本进行训练从而能够准确地识别出已知类型的故障;而无需先验知识的无监督学习则可以根据数据本身的特性发现其中存在的问题,并用于未知故障的检测;强化学习则是通过与核电站运行环境进行实时互动,从而不断改进自身的诊断策略,以提高对各种不同类型故障的适应能力和准确性。另外,深度学习借助其多层次的人工神经网络结构,可解决复杂的非线性关系问题,并且能更好地把握各个参数之间的联系,从而使监控和诊断更加精确。

### 2.3 传统监测与异常诊断模式的局限

传统的异常检测方式以规则为基础,依靠运维人员的经验设定检测规则,很难适应核电站复杂的运行工况以及各种可能发生的故障情况,在识别未知或比较复杂的关联性较强的故障时效果较差,容易造成误诊、漏诊。此外,传统的监控及诊断方式自动化水平较低,大部分都需要人工参与,给工作人员带来较大的工作量,同时也存在反应迟缓、工作效率低下等问题。另外,传统的监控方式中,各个监控点彼此分离,信息不能互相传递,也无法联合起来进行综合分析,形成了一个信息孤岛,不利于对整个核电机组的状态做出准确全面的认识,不符合核电高安全性和高可靠性运行的需求。

### 2.4 人工智能驱动模式的核心特征

“智能+”是中国推动经济社会智能化转型的国家战略概念,于2019年首次写入《政府工作报告》。其核心是推动人工智能与大数据、云计算、物联网等新一代信息技术深度融合,赋能实体经济,为制造业转型升级和数字经济发展提供核心动力。该战略强调技术与产业的深度结合,通过技术融合产生“核聚变”效应,在工业制造、教育、医疗、交通等多个领域构建智能化解决方案。其目标是构建数据驱动、人机协同、跨界融合的智能经济新形态,智能经济是以新一代人工智能技术为核心驱动力,以“数据+算力+算法”为支撑的新型经济形态。人工智能模型有很强的学习能力,在核电机组发生变化或者出现新的故障案例时可以自动调整自身参数,以提高对监测、诊断的有效性;而且这种模式也具备很好的可扩展性,可以根据核电行业发展情况以及具体需要增加新的监测指标、算法模型和技术方法等,来不断改进和完善自身功能,从而满足核电智能化发展的要求。

## 3 人工智能驱动的核电关键参数实时监测与异常诊断的意义

### 3.1 保障核电运行安全,降低安全风险

安全是核电行业发展底线,以人工智能为基础的核电重要指标在线监控及故障识别可以从根本上提高核电运行安全性,减少安全隐患,在核电系统运行中,各种重要的指标出现细微的变化,传统的监控方式很难做到及时发现并准确处置这些异常情况,但是基于人工智能的方式可以通过对

数据进行实时监测以及智能解析,来迅速捕捉到指标变化初期的信息,并预测其发展趋向,从而做到“早发现、早诊断、早处理”,避免设备损坏、停机停堆等事件发生。

### 3.2 提升运维效率,降低运维成本

基于人工智能的核电重要参数实时监控及故障诊断,可有效提高运行维护工作效率,降低运行维护费用。一方面,人工智能系统完成对参数监测以及故障诊断的自动化、智能化操作,取代传统的手工巡检、人工分析等工作内容,大大降低运行值班人员的工作强度,提高运行值班工作效率,使运行值班人员有更多的时间用于处理复杂的故障问题或进行设备检修优化等方面的工作。另一方面,人工智能系统可以做到及时发现设备存在的问题并发出报警信号,在此基础上还能做到提前预测设备可能出现的问题从而做到预防性的维修保养工作,防止设备损坏情况恶化造成更大的损失,减少非计划停机次数以及维修费用;同时,通过不断分析设备运转时的各种参数信息,可以制定出更加科学合理的维修方案,来合理分配维修时间和人力、物力、财力资源,避免出现多修或者少修的情况,充分利用这些有限的维修资源,进一步节约维修开支。另外还有像智能巡检机器人、智能辅助决策系统等的应用也都是在提升运维工作的自动化程度的同时也在尽可能地减少人为因素所导致的一些额外支出,促进核电站的运维朝着更加快速便捷低成本的方向发展[1]。

### 3.3 推动核电行业智能化转型,提升产业竞争力

人工智能技术的应用可以促进核电领域的发展,产生新的监测诊断技术和运维方式以及产业形态,提高我国核电行业技术水平及核心竞争力,在全球能源竞争日趋激烈的形势下,掌握人工智能在核电领域的核心技术应用,可打破国外的技术封锁,使我国核电技术走向世界,增强我国在全球核电领域的话语权。同时,基于人工智能的监测诊断系统可为核电行业的数字化、智能化发展提供数据支持和技术支撑,加快核电行业与人工智能、大数据等新技术融合的步伐,从而实现产业升级。

### 3.4 助力“双碳”目标实现,保障能源结构优化

基于人工智能的监控诊断系统可以改善核电运营管理,减少核电运营费用,提高核电经济效益及市场竞争力,促进核电产业集约化发展,从而增加清洁能源在能源结构中所占比例,有利于能源结构调整升级。同时由于核能是一种稳定可靠的基荷电源,可以弥补风力发电、光伏发电等可再生能源波动性和间歇性带来的影响,保证电力供应稳定可靠,对实现能源结构转型起到积极作用。利用人工智能技术助力核电发展,有助于核电行业向安全、高效、清洁方向前进,是落实“双碳”战略目标以及优化能源结构的有效途径。

## 4 人工智能驱动的核电关键参数实时监测与异常诊断策略

### 4.1 构建多源数据融合采集体系,夯实数据基础

整合多种类型的监测信息,如实时监测信息、历史运

行信息、故障案例信息以及设备档案信息等,消除各监测环节之间的“信息孤岛”,实现数据统一管理及共享。利用数据融合技术把不同来源、不同类型的信息结合起来并加以整理,使之规范化。在此基础上,去除多余的信息,纠正错误的信息,发现各种信息间的关系,得到一致性、标准化的数据,用于后面的建模分析工作。最后制定相应的数据质量管理规则,定时检查所获取到的数据是否准确无误,并对其进行清理和更新维护,以保证其真实性和有效性;同时构建一个安全可靠的数据库,来保存这些重要的数据资源,并能够快速传输给需要的人或者系统,避免出现泄漏、遗失或者损坏的情况,从而保证基于人工智能的监控预警平台平稳有序地运转。另外还可以研究跨机组、跨厂区之间如何实现数据共享的问题,收集更多种类的数据样本量来提高模型的一般化水平[2]。

#### 4.2 优化人工智能算法模型,提升诊断精准度

加强算法模型融合应用,利用深度学习、大数据分析等技术,开发由多种算法组合而成的检测模型,充分利用各种算法的特点,提高对复杂故障、相关联故障的识别率。比如卷积神经网络和循环神经网络相结合可以准确把握参数的变化规律以及空间上的联系,从而更有效地进行故障诊断;引入预训练大语言模型框架,使模型具备更好的理解能力和应用能力,以应对复杂的过程及以往发生的案例,改善诊断决策的过程。制定模型迭代更新制度,在一定时间内使用最新的监控数据、新出现的故障样本作为训练集重新训练模型,并对模型加以改进,使其更加精确可靠;同时对模型的输出结果进行检验并给予反馈信息,以便于及时发现问题并加以修正,保证其适用于核电站设备的工作条件变化而不断改进完善。最后还可以进行算法模型国产化研究工作,摆脱国外的技术封锁,增强自身的核心竞争力。

#### 4.3 搭建智能监测与诊断平台,实现一体化管控

集成数据采集、数据处理、模型分析、报警预警、决策支持等功能模块,搭建一体化的智能化平台,完成从参数采集到报警处置的一体化闭环管理。该平台应具有较好的兼容性和可扩展性,可以对接各种类型的监测装置、算法模型以及管理系统,进行统一的数据分析和联合分析。改进平台

的功能设计,做到对参数实时监控、报警自动报警、诊断结果展示、处置方案发送等功能,使运行值班员能及时了解机组的工作情况,在出现故障时能迅速得到报警信息及相应的解决方案。同时采用可视化的方式把监测数据、报警信息、诊断结论用图形或者曲线的形式展现出来,提高运行值班员工作效率以及判断准确性。还可以结合数字孪生技术建立核发电机组的数字孪生体,用于模拟其工作状况以及发生事故的情形,辅助进行报警分析和维护优化等工作。

#### 4.4 完善保障体系,推动技术落地应用

健全的保障体系是促进以人工智能为基础的关键参数实时监控及故障诊断技术应用于核电的重要基础,在技术和人才以及制度上都要有相应的保障措施。在技术层面上,要加大核心技术的研发力度,解决数据集成、算法改进、平台建设等技术障碍,提高技术水平和技术稳定性;另一方面,要进行技术的应用试验,在一些核发电机组中进行应用测试,总结应用的经验教训,进而达到大规模推广应用的目的。同时还要加强与科研院所、高等院校的合作交流,促进技术研发和成果转化,为技术的应用做好准备[3]。

### 5 结语

人工智能技术的发展给核电重要参数实时监控以及故障检测带来新的方法,突破以往方式限制,使核电监控及诊断更加及时准确智能。本文对以人工智能为基础的核电主要参数实时监控以及故障检测进行介绍、分析其作用并提出相应对策建议,从而了解人工智能应用于核电领域的作用及其应用方式。基于人工智能监控和诊断系统不仅可以保证核电安全稳定运行,减少安全隐患,提高运维水平,节约运维费用,还可以促进核电产业智能化升级,增强行业实力,有利于“双碳”目标达成以及能源结构调整。

#### 参考文献

- [1] 陈楚员,谢洪虎,陈墨,等.核电厂放射性贮存池钢覆面检漏系统关键设计参数分析与研究[J].核动力工程,2020,41(02):155-159.
- [2] 黄学颖,夏虹,姜莹莹,等.核电厂设备状态监测与异常参数预测方法研究[J].核动力工程,2026,47(01):229-234.
- [3] 廉冰,曹少飞,王韶伟,等.核电厂辐射环境影响评价中转移参数的应用探析[J].环境保护,2024,52(02):13-17.