

核电设备智能运维技术探究

徐徐

国核湛江核电有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i8.8323

[摘要] 本文聚焦核电调试与运维领域，针对核电设备运维中面临的高安全性要求、复杂系统监测难、人工运维效率低等问题，深入探究核电设备智能运维技术。详细阐述智能运维技术的原理，包括传感器技术、大数据分析、人工智能算法等的应用，分析其在核电设备调试、日常运维、故障诊断与预测等场景中的具体应用，并结合实际案例验证该技术的有效性。研究表明，核电设备智能运维技术能够提升设备运维效率、降低运维成本、增强核电系统安全性与可靠性，为核电行业高质量发展提供技术支撑，对推动核电产业智能化升级具有重要意义。

[关键词] 核电设备；智能运维技术；核电调试；故障诊断；可靠性

Exploration of Intelligent Operation and Maintenance Technology for Nuclear Power Equipment

Xu Xu

State Nuclear Zhanjiang Nuclear Power Co., Ltd.

[Abstract] This article focuses on the field of nuclear power commissioning and operation, and explores in depth the intelligent operation and maintenance technology of nuclear power equipment in response to the high safety requirements, difficult monitoring of complex systems, and low efficiency of manual operation and maintenance faced in nuclear power equipment operation and maintenance. Elaborate on the principles of intelligent operation and maintenance technology, including the application of sensor technology, big data analysis, artificial intelligence algorithms, etc. Analyze their specific applications in scenarios such as nuclear power equipment debugging, daily operation and maintenance, fault diagnosis and prediction, and verify the effectiveness of the technology through practical cases. Research has shown that intelligent operation and maintenance technology for nuclear power equipment can improve equipment operation and maintenance efficiency, reduce operation and maintenance costs, enhance the safety and reliability of nuclear power systems, provide technical support for the high-quality development of the nuclear power industry, and have important significance in promoting the intelligent upgrading of the nuclear power industry.

[Key words] nuclear power equipment; Intelligent operation and maintenance technology; Nuclear power commissioning; Fault diagnosis; reliability

引言

核电作为一种清洁、高效的能源，在全球能源结构中占据重要地位。随着我国核电产业的快速发展，核电站数量不断增加，核电设备的安全稳定运行成为保障核电产业可持续发展的关键。核电设备具有系统复杂、技术密集、安全性要求极高的特点，其调试与运维工作面临诸多挑战。传统的人工运维方式难以满足核电设备日益增长的精细化、智能化管理需求，智能运维技术的应用成为解决这些问题的重要途径。智能运维技术融合了先进的信息技术与自动化技术，能够实现对核电设备的

实时监测、精准诊断与预测性维护，有效提升核电设备的运维效率与安全性。本文旨在深入探究核电设备智能运维技术在核电调试与运维中的应用，分析其技术原理、应用场景与实施效果，为核电设备运维管理提供理论参考与实践指导。

一、核电设备调试与运维现状及挑战

（一）核电设备调试与运维现状

当前，我国核电设备调试与运维主要依赖传统的人工检测与定期维护模式。在调试阶段，技术人员通过手动操作和简单仪器检测，对核电设备的各项参数进行逐一检查和调试，确保

设备达到设计要求和安全标准。在运维阶段，通常按照固定的周期对设备进行巡检、保养和维修，如定期检查设备的外观、运行参数，更换磨损部件等。随着核电技术的发展，部分核电站也开始引入一些自动化监测设备和管理系统，但整体上仍存在信息集成度低、智能化水平不足等问题，难以实现对核电设备的全面、实时、精准管理。

（二）面临的挑战

1. 安全性要求极高：核电设备一旦发生故障，可能引发严重的核安全事故，对环境和人类健康造成巨大威胁。因此，核电设备的调试与运维必须确保绝对安全，任何细微的失误都可能带来灾难性后果。传统运维方式受人为因素影响较大，存在操作失误风险，难以满足核电设备极高的安全性要求。

2. 系统复杂监测困难：核电设备由核岛、常规岛以及众多辅助系统组成，包含成千上万的零部件，系统结构复杂，各设备之间关联性强。传统的监测手段难以全面覆盖所有设备和部件，且无法实时准确地获取设备运行状态信息，导致潜在故障隐患难以被及时发现和处理。

3. 人工运维效率低、成本高：人工巡检和维护需要投入大量的人力和时间成本，且工作效率较低。随着核电站规模的扩大和设备数量的增加，人工运维的负担日益加重。同时，人工运维依赖技术人员的经验和技能水平，不同人员的工作质量存在差异，难以保证运维工作的一致性和稳定性。此外，定期维护模式可能导致过度维护或维护不足的情况，增加运维成本的同时，也无法有效保障设备的可靠性。

二、核电设备智能运维技术原理

（一）传感器技术

传感器技术是核电设备智能运维的基础，通过在核电设备关键部位安装各类传感器，如压力传感器、温度传感器、振动传感器、液位传感器等，实时采集设备运行过程中的压力、温度、振动、液位等参数信息。这些传感器具有高精度、高可靠性和强抗干扰能力，能够在复杂的核电环境下稳定工作，为设备状态监测提供准确的数据支持。例如，振动传感器可以监测设备运行时的振动情况，通过分析振动频率、幅值等参数，判断设备是否存在机械故障；温度传感器则可实时监测设备关键部件的温度变化，及时发现因过热导致的潜在故障隐患。

（二）大数据分析技术

大数据分析技术对传感器采集到的海量数据进行存储、处理和分析。利用数据挖掘算法、统计分析方法等，从大量数据中提取有价值的信息，挖掘设备运行规律和潜在故障特征。通过建立数据模型，对设备的运行状态进行评估和预测，如预测设备的剩余使用寿命、判断故障发生的可能性及发展趋势等。同时，大数据分析还可以对不同设备、不同时间段的数据进行对比分析，发现设备运行过程中的异常变化，为运维决策提供

科学依据。例如，通过对核电站长期运行数据的分析，可以总结出设备在不同工况下的最佳运行参数范围，优化设备运行状态，提高设备运行效率和可靠性。

（三）人工智能算法

人工智能算法在核电设备智能运维中发挥着核心作用。机器学习算法，如神经网络、支持向量机等，可以对设备运行数据进行学习和训练，建立设备故障诊断模型和预测模型。这些模型能够自动识别设备运行数据中的异常模式，实现对设备故障的快速诊断和预测。例如，利用神经网络算法对设备振动数据进行学习，当设备出现异常振动时，模型能够快速判断故障类型和位置，并给出相应的维修建议。此外，人工智能算法还可以结合专家系统，将核电领域专家的知识经验和经验融入到智能运维系统中，提高系统的决策能力和智能化水平。

（四）物联网与通信技术

物联网技术实现了核电设备与设备之间、设备与系统之间的互联互通，使设备能够实时共享运行状态信息。通过无线网络、光纤通信等通信技术，将传感器采集的数据和设备状态信息快速传输到数据中心或运维管理平台。物联网与通信技术的应用，打破了信息孤岛，实现了对核电设备的远程监测和控制，为智能运维提供了便捷的通信保障。例如，运维人员可以通过远程监控平台实时查看核电站各设备的运行状态，对设备进行远程参数调整和控制，提高运维工作的及时性和灵活性。

三、核电设备智能运维技术应用场景

（一）核电设备调试阶段应用

在核电设备调试阶段，智能运维技术能够实现对调试过程的实时监测和精准控制。利用传感器实时采集设备调试过程中的各项参数，如反应堆压力容器压力、主泵转速、蒸汽发生器水位等，通过大数据分析和人工智能算法对数据进行处理和分析，判断设备调试状态是否正常。一旦发现异常，系统能够迅速定位问题所在，并提供相应的解决方案，指导调试人员进行调整和优化。例如，在主泵调试过程中，如果智能运维系统检测到主泵振动异常，通过分析振动数据，判断可能是泵轴对中问题或轴承磨损，系统会自动生成调整建议，帮助调试人员及时解决问题，提高调试效率和质量，确保核电设备顺利投入运行。

（二）日常运维管理应用

在日常运维管理中，智能运维技术可以实现对核电设备的全面、实时监测。通过部署在设备上的传感器，持续采集设备运行数据，并将数据上传至运维管理平台。平台利用大数据分析技术对数据进行实时分析，生成设备运行状态报告，直观展示设备的运行状况、健康水平等信息。运维人员可以根据报告及时了解设备运行情况，制定合理的运维计划，实现从定期维护向基于设备状态的预防性维护转变。例如，根据设备关键部

件的磨损趋势预测，提前准备维修备件，安排维修时间，避免因设备故障导致的非计划停机，降低运维成本，提高设备可靠性和核电站运行效率。

（三）故障诊断与预测性维护应用

智能运维技术能够实现对核电设备故障的快速诊断和预测性维护。当设备出现故障时，系统通过对传感器采集的多种数据进行综合分析，结合故障诊断模型，快速判断故障类型、原因和位置。同时，利用预测性维护模型，对设备未来的运行状态进行预测，提前发现潜在故障隐患，在故障发生前采取维护措施，避免故障扩大化。例如，通过对核电站蒸汽发生器传热管泄漏的预测，在泄漏发生前安排停机检修，更换损坏的传热管，减少故障对核电站运行的影响，保障核电站的安全稳定运行。

（四）安全风险评估与应急管理应用

智能运维技术可以对核电设备运行过程中的安全风险进行实时评估。通过分析设备运行数据、环境数据等信息，结合安全风险评估模型，识别潜在的安全风险因素，并对风险等级进行评估。当安全风险达到一定阈值时，系统自动发出预警信息，提醒运维人员采取相应的防范措施。在应急管理方面，智能运维系统可以根据事故类型和严重程度，快速制定应急处置方案，指导应急救援工作的开展。例如，在发生核泄漏事故时，系统能够迅速确定泄漏源和影响范围，提供人员疏散路线、设备隔离措施等应急方案，提高核电站应对突发事件的能力，最大限度减少事故损失。

四、核电设备智能运维技术应用案例分析

（一）案例背景

某核电站在运行过程中，面临设备老化、运维成本上升、安全风险增加等问题。为提升设备运维水平和核电站安全性，该核电站引入核电设备智能运维技术，对核岛、常规岛主要设备进行智能化改造。

（二）智能运维技术实施过程

1. 传感器部署：在反应堆压力容器、主泵、蒸汽发生器、汽轮机等关键设备上安装高精度压力传感器、温度传感器、振动传感器等，实现对设备运行参数的实时采集。

2. 数据平台搭建：建立智能运维数据平台，集成传感器采集的数据、设备设计参数、历史运维数据等信息。利用大数据技术对数据进行存储、处理和分析，构建设备运行状态评估模型、故障诊断模型和预测性维护模型。

3. 系统集成与应用：将智能运维系统与核电站原有的控制系统、监测系统进行集成，实现数据共享和交互。运维人员通过智能运维平台实时监测设备运行状态，接收故障预警信息，获取维修决策建议，开展设备运维工作。

（三）实施效果

经过一段时间的运行，该核电站智能运维技术应用取得显著成效。设备故障诊断准确率提高至 95% 以上，故障处理时间平均缩短 40%，有效减少了设备停机时间，提高了核电站的发电效率。通过预测性维护，提前发现并处理潜在故障隐患 30 余起，避免了多次重大设备故障的发生，保障了核电站的安全稳定运行。同时，运维成本降低约 25%，实现了经济效益和安全效益的双提升，为其他核电站智能运维技术的应用提供了良好的示范。

五、结论与展望

（一）研究结论

本文对核电设备智能运维技术在核电调试与运维中的应用进行了深入探究。研究表明，智能运维技术通过融合传感器技术、大数据分析、人工智能算法等先进技术，能够有效解决核电设备调试与运维中面临的安全性要求高、系统复杂监测难、人工运维效率低等问题。在实际应用中，智能运维技术在核电设备调试、日常运维、故障诊断与预测、安全风险评估等方面展现出显著优势，能够提升设备运维效率、降低运维成本、增强核电系统的安全性与可靠性，对推动核电产业智能化升级具有重要意义。

（二）研究展望

尽管核电设备智能运维技术已取得一定成果，但仍存在发展空间。未来，随着 5G 通信技术、边缘计算技术、量子计算技术的不断发展，智能运维技术将向更高水平迈进。一方面，进一步提升传感器的精度和可靠性，实现对核电设备更细微参数变化的监测；另一方面，深化人工智能算法在核电设备运维中的应用，提高故障诊断和预测的准确性和时效性。此外，加强智能运维技术与核电设计、建设阶段的融合，从源头优化核电设备的可运维性，构建全生命周期的核电设备智能运维体系，为核电行业的可持续发展提供更坚实的技术保障。

[参考文献]

- [1]叶奇蓁.核电工程技术[M].北京：中国电力出版社，2016.
- [2]缪协兴，钱七虎.大数据与人工智能在能源与土木工程中的应用[M].北京：科学出版社，2020.
- [3]赵金洲，郭建春.石油与天然气工程智能化技术[M].北京：石油工业出版社，2021.
- [4]王侃夫.核电厂设备管理[M].北京：原子能出版社，2018.
- [5]蔡美峰，乔兰，罗沅.人工智能与智慧矿山[M].北京：科学出版社，2022.