

# Research on the application of digital technology in safety monitoring of nuclear power operation

Yongxing Huang

CGN Nuclear Power Operation Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

In the context of global energy restructuring, nuclear power is a clean and efficient new energy source, whose importance is self-evident. This paper delves into the application of digital technology in nuclear safety monitoring, analyzing its significance, key indicators, and the limitations of conventional monitoring methods. It also provides a detailed overview of the current state of digital technology development and highlights the challenges posed by its application in areas such as technology, safety, personnel, and management. The paper proposes targeted strategies for technical optimization, security measures, talent development, and management improvements, aiming to enhance China's nuclear safety regulatory standards and promote the safe and sustainable development of the nuclear power industry.

## Keywords

Digital Technology; Nuclear Power Operation; Safety Monitoring; Sensor Technology; Data Analysis

## 数字化技术在核电运行安全监控中的应用研究

黄永兴

中广核核电运营有限公司, 中国·广东深圳518000

## 摘要

在世界能源格局调整的背景下, 核电是一种清洁、高效的新能源, 其重要性不言而喻。本文对数字技术在核安全监控中的应用进行深入研究, 分析核安全监控的重要性、关键指标参数和常规监测手段的缺陷, 并对数字技术的发展状况进行详细地说明, 提出在技术、安全、人员和管理等方面应用数字技术所带来的挑战。由此有针对性地提出技术优化、安全保障、人才和管理优化的对策, 以期为提高我国核安全监管水平提供理论和实际的借鉴, 推动核电行业的安全、可持续发展。

## 关键词

数字化技术; 核电运行; 安全监控; 传感器技术; 数据分析

## 1 引言

随着全球能源需求的不断增加和气候变化问题的日益突出, 核电作为一种新型的低碳、稳定的能源供给模式, 正在逐步成为全球能源战略中的一个重要内容。但是核电在使用中也面临着诸如放射性材料泄露等隐患, 如果出现意外, 将给人类健康、生态环境及社会安定带来灾难性的后果。近年来, 随着数字技术的飞速发展, 核电系统的安全监测成为可能, 从最初的单纯的数据采集到现在的智能监测, 核电工业的数字化进程正在向纵深发展。先进的传感器、大数据分析、人工智能, 能够实现对核电运行过程中各种参数的实时精准监测, 及时发现潜在安全隐患, 并采取有效的应对措施。

## 2 核电运行安全监控概述

### 2.1 核电运行安全的重要性

核电的安全运行事关国家能源安全、人民生命健康以及生态环境的安全, 核电厂是涉及核反应堆、蒸汽发生器和汽轮机等多个重要装置的复杂能量生产体系, 其中一个环节的失效将导致重大的安全事故。因此在能源安全方面, 核电厂的稳定运行对于保证一国能源供给具有重要意义, 如果核电厂因安全事故而停产, 将会影响到当地乃至一国的能源供给<sup>[1]</sup>。

从公共卫生的角度看, 核泄漏的辐射可经大气、水体、食品等环境介质进入人体, 诱发多种重大疾病, 如肿瘤, 给人民群众的生命和健康带来极大的危害。就生态环境而言, 辐射的蔓延会打破生态平衡, 影响动植物的生长和繁衍, 造成长期的生态灾难。因此加强核电运行安全监控, 是确保核电行业可持续发展的必然要求。

【作者简介】黄永兴(1979-), 男, 中国江苏盐城人, 本科, 工程师, 从事核电站运行与控制研究。

## 2.2 核电运行安全监控的关键指标与参数

核电系统的运行安全性监测中,包含许多重要的参数和参数,其中最重要的是反应堆的核心参数、设备的操作参数以及环境参数。反应堆功率、堆芯温度、中子通量等核心参量是反应堆工作状况及核反应强度的直接体现。在反应堆运行过程中,高功率和低功率都有可能引起安全隐患,堆芯高温会造成堆芯损伤,而中子流的反常变化又会对反应堆的稳定性产生不利影响。另外,主泵流量、蒸汽发生器压力、汽轮机转速等设备工作参数的正确与否直接关系到核电厂的能源转化与功率输出。比如,主泵的流量过小,会对反应堆的冷却作用产生不利的影响<sup>[2]</sup>,而蒸汽发生器的压力不正常,则会造成管线断裂等严重的安全问题。因此需要利用放射性物质的浓度、温度和湿度等环境参量,对核电厂周围的环境进行监控,及时地检测出放射性泄露等潜在的安全问题。

## 2.3 传统核电运行安全监控方法及局限性

传统核电运行安全监控主要依赖人工巡检和简单的仪表监测,人工巡检由专业人员定期对核电站的设备和系统进行检查,通过目视、听觉、触觉等方式判断设备是否存在异常,如检查设备外观是否破损、是否有异常声响或振动等。简单的仪表监测则通过安装在设备上的压力表、温度计、流量计等仪表,对关键参数进行测量和显示。

但是传统的监测手段有很多局限,由于人员的经验、技能、工作状况等方面的原因,对检测结果的精度和可信度产生了很大的影响。另外,由于人工巡检效率低下,很难对核电装备及系统进行实时全面地监控,导致某些隐蔽的缺陷或安全隐患不能被及时检测出来。而且单纯的仪器检测方法仅能获得单个参量的测试结果,且难以进行全面的分析与处理,不能有效地从海量的监测数据中发掘出潜在的安全性信息。由于常规仪器的精确性和稳定性较差,在核电系统复杂的工作环境中,极易被扰动,造成测量结果的不精确,从而影响对核电运行安全状态的判断。

## 3 数字化技术在核电运行安全监控中的应用现状

### 3.1 传感器技术

在核电系统的安全监测中,传感器技术起着至关重要的作用,为了对反应堆、设备及环境进行实时监控,在现代核电厂中,各类传感器得到广泛的应用,比如利用热电偶、热敏电阻等技术,可以对反应堆堆芯、主泵、蒸汽发生器等重要部件进行准确测量,达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ,对由于设备故障或非正常操作造成的温升问题进行实时检测。工作人员可以采用压阻效应、电容效应等理论,实现对管内压力的精确测量,从而实现了对蒸汽发生器内部压力的精确测量,为实现蒸汽发生器的安全运行、管道泄漏监测等奠定基础<sup>[1]</sup>。

### 3.2 数据采集与传输系统

数据采集和传输系统主要是对采集到的海量数据进行

实时的采集、处理和传输,在核电运行的安全监测中采用分布式结构,利用现场总线和工业以太网等方法,对分散于核电厂各处的传感器数据进行集中收集。例如,以 PROFIBUS 和 MODBUS 为代表的现场总线技术,其抗干扰能力强并且实时性好,因此能在复杂的电磁环境中进行可靠的数据传输。

而以太赫兹技术为核心的工业以太网,由于其高速、大容量的特点,可以很好地解决核生产过程中海量数据的高速传输问题。在数据传送时,为了保证数据的安全与完整,采取加密措施,有效地避免了数据被盗用、篡改等问题。同时为保障数据的可靠传输,在主干线发生故障时,可以进行备份以保证数据的可靠传输。工作人员需要利用先进的数据采集和传输技术,实时准确地获取核电生产过程中的数据,为以后的数据分析和处理奠定良好的数据基础。

### 3.3 数据分析与处理技术

在核电系统中,通常采用数据挖掘、机器学习、人工智能等方法进行数据分析,数据挖掘是一种利用关联分析、聚类分析等方法分析企业经营活动中的数据,从中发现其内在的联系和规律。因此以数据分析和处理为核心,通过对海量数据的深度分析,可以有效地发现核电系统中存在的安全隐患,为核电系统的安全管理提供支撑。比如利用相关性分析方法,可以找出设备的故障和一些操作参数的相关性,从而实现了对设备故障的预警。

利用神经网络、决策树等机器学习算法,通过对实时监控数据的学习与训练,构建核电运行状态预报模型。而人工智能中的专家系统,融合核电领域专家的知识与经验,建立知识库与推理机制,在发现异常的时候,可以根据知识库对其进行推理与分析,并提出相关的故障诊断与处理意见。

### 3.4 可视化技术

数字化技术通过可视化的方式,把复杂的核电操作数据以直观、直观的图形和图形的形式展现,使操作人员能够迅速地掌握核电厂的运行情况及安全情况。例如,在核电系统的安全监测中,利用可视化技术实现监测接口的设计,并进行三维模拟演练,该监测接口以动态图形、曲线、图像等多种方式向用户展示反应堆核心参数、设备运行状态和环境参数。反应堆功率的变化趋势可以用实时曲线来展现,重要的操作参数可以用仪表盘来显示,核电站周围环境的辐射监控数据可以用地图标注来显示。

## 4 数字化技术应用面临的挑战与问题

### 4.1 技术层面

近年来,随着我国核电系统的发展和应用,我国核电系统的安全监管工作也出现了一些新的问题。一方面,核电系统在高温、高压、强辐射等极端环境下工作,对传感器、数据采集等硬件设备的可靠性与稳定性提出更高的要求,一些传感器在长时间的强辐照条件下,会使其性能逐步退化,从而造成测量结果的不精确。另一方面,核电生产过程中海量

量数据的快速增长,给数据分析与处理技术带来极大的挑战,当前的数据处理系统在处理大规模实时数据时,存在处理速度慢、响应慢等问题,不能及时发现并处理安全风险<sup>[4]</sup>。

## 4.2 安全层面

随着数字技术在我国广泛使用,网络信息安全问题日益突出,网络的安全隐患越来越大,核电厂数字监测系统采用网络方式进行数据传输与通讯,极易遭受黑客、病毒等网络攻击。当监测系统受到网络攻击时,会造成数据被篡改、窃取或系统瘫痪,对核电系统的安全构成了极大的威胁。例如,黑客可以通过侵入资料传送网络,改变反应炉的操作参数,造成安全问题。同时,由于数字系统本身存在的软件缺陷,也给数字系统带来了一定的安全风险,在软件发展的过程中,不可避免地会出现一些漏洞和漏洞,一旦被利用,也将给核电系统的安全带来极大的危害。

## 4.3 人员与管理层面

在人才、管理等方面,数字化技术还存在着许多问题。第一,我国核电产业缺少具备核电与数字技术相结合的复合型人才,目前我国核电从业人员虽然对传统的核电操作与监测手段比较了解,但是对数字技术的理解还不够深入,很难将其应用到实际应用中去。第二,在对数字监测系统进行管理与维修时,应制定新的管理体制与程序,当前我国一些核电厂的数字化管理还存在着机制不健全、流程不规范的问题,造成机组运行的低效和事故的不及处理。

# 5 数字化技术在核电运行安全监控中的优化策略

## 5.1 技术优化措施

针对技术层面的挑战,应采取一系列优化措施,在硬件方面,工作人员需要增加对高温、抗辐射、高可靠性的传感器及数据收集装置的研究与开发,以提升其在严酷核环境中的工作能力与稳定性。如研究开发新的防辐射材料,以减少其对器件性能的危害。针对这些问题,将云计算、边缘计算等前沿技术引入到数据处理中,以提升数据的处理效率与容量。其中云计算能够为大规模数据提供分布式的存储与计算方式,而边缘计算通过将数据处理能力向网络边缘下移,降低数据的传输延时,从而实现对实时数据的快速处理与分析。此外,需要制定统一的数字化设备和系统标准,加强不同厂家设备之间的兼容性,促进数据共享和系统集成,降低数字化监控系统的建设和维护成本。

## 5.2 安全保障策略

在网络安全方面,应采取,防火墙、入侵检测、数据

加密等措施来防范网络的入侵与数据泄漏,对网络安全体系进行定期的评估与更新,以发现并修补安全缺陷。为了保证一旦出现信息安全问题,必须要有相应的应对措施,将损失降到最低。对于软件的安全性,工作人员将通过代码审查、漏洞扫描等手段,对软件进行实时检测与修复。例如,负责公司重点软件的升级与维护工作,保证其安全稳定运行,同时也要加强对数字系统操作员的网络安全培训,增强其的安全意识和保护意识。

## 5.3 人员与管理优化方案

在人员和管理上,要加大人力资源的培训力度,加大管理体制的创新力度。一方面,要加强与高等院校、科研院所的合作,开设“核工程与数字技术”的课程,以培养具有“核工程”与“数字化”的复合型人才。同时对核电源管理人员进行数字化技术的培训,以提升他们的使用与维修水平,进一步完善数字监测系统的管理体系与程序,对各个环节及人员进行详细的分工,使系统的操作、维护、故障处置等工作流程得以规范化。另外,为了更好地提升工程执行的效率与品质,可以将先进的工程管理理念运用到工程建设中去,要制定合理的奖励制度,鼓励员工积极参与数字化技术的创新和应用,推动核电运行安全监控水平的不断提升。

# 6 结语

综上所述,将数字技术用于核安全监测是核电工业发展的必然趋势,对于提高核电源系统的安全可靠性有着十分重要的作用。采用传感器、数据采集和传输、数据分析处理、可视化等数字化技术,对核电生产过程进行实时精确监控与智能管理。但是在实现数字技术的同时,也面临着技术、安全、人员和管理等诸多问题。在未来的日子里,还需要更多的科技研发投入,对数字技术的应用方案进行优化,增强网络的安全性和软件的安全性,培养复合型人才并且健全管理体制和程序。进而为核电运行安全监控提供更加坚实的技术支撑,推动核电行业朝着安全、高效、可持续发展的方向发展。

## 参考文献

- [1] 李鹏程,许倩,王焯.核电厂运行阶段安全文化评价指标体系研究[J].中国安全科学学报,2024,34(02):60-66.
- [2] 梁紫怡.基于文本数据的核电厂运行事件致因机理研究[D].南华大学,2024.
- [3] 沈江飞,张圣,喻昕,等.核电厂核安全设备运行状态监测技术研究[J].价值工程,2024,43(28):14-18.
- [4] 丁凤波.核电厂运行中高风险项目的分析与优化措施研究[J].中国设备工程,2024,(S2):127-129.