

数字化技术在核电运行管理中的实践探索

何永华

大亚湾核电运营管理有限公司，广东 深圳 518124

摘 要： 本文主要聚焦于数字化技术在核电运行管理中的实践应用，深入地探讨了其在运行监控、设备维护、生产计划、人员管理以及核安全管理等各环节的具体应用情况。同时基于上述内容还分析了数字化技术应用过程中面临的数据安全、技术集成、人员素养等方面的挑战，并对其提出相应解决方案。

关 键 词： 数字化技术；核电运行管理；实践应用；安全与效率提升

Practice and Exploration of Digital Technology in Nuclear Power Operation and Management

He Yonghua

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518124

Abstract： This paper mainly focuses on the practical application of digital technology in nuclear power operation management, and deeply discusses the specific application of operation monitoring, equipment maintenance, production planning, personnel management and nuclear safety management. At the same time, based on the above content, it also analyzes the challenges of data security, technology integration and personnel literacy in the application process of digital technology, and puts forward corresponding solutions for them.

Keywords： digital technology; nuclear power operation management; practical application; safety and efficiency improvement

引言

在核电行业中，运行管理的高效性与安全性一直是重中之重，而数字化技术的应用为其带来了全新的机遇与变革。企业通过数字化手段，可以对核电运行的各个环节进行精准把控、优化管理以及风险预警，从而在确保核安全的前提下，稳步提升核电运行的整体效率，进而更好地满足社会对清洁能源的需求。本文旨在全面剖析数字化技术在核电运行管理中的实践探索情况，进而为该领域的进一步发展提供参考与借鉴。

一、数字化技术在核电运行管理中的应用概述

（一）数字化技术的主要类型与特点

各类数字化监测与控制系统能够实时采集核电设施的运行数据，且其均具备高精度、高可靠性以及远程操控等特点，也就保障了对核电运行状态的实时、精准监控。目前的数字化技术涵盖了众多类型，其在核电运行管理中发挥关键作用的主要包括大数据技术、人工智能技术、虚拟现实（VR）/ 增强现实（AR）技术以及各类数字化监测与控制系统等。

1. 大数据技术具有数据量大、类型多样、处理速度快以及价值密度低等特点。因此它能够收集和整合来自核电运行各个环节的海量数据，如设备运行参数、环境监测数据等。

2. 人工智能技术则具备学习、推理和决策能力。在核电运行管理中，它可以基于历史数据和实时数据进行模型训练，从而实现设备故障的预测、运行状态的智能评估等功能。

3. 虚拟现实（VR）/ 增强现实（AR）技术能够为核电工作人员创造沉浸式的虚拟环境或增强现实场景。例如在培训环节，企业利用 VR 技术可以为员工模拟真实的核电操作场景，进而让员工身临其境地进行操作练习。

（二）核电运行管理的主要环节与数字化需求

核电运行管理主要涉及运行监控、设备维护管理、生产计划与调度、人员管理与培训以及核安全管理等多个环节。

1. 在运行监控环节，相关人员需要实时、准确地掌握核电站各设备的运行参数，如温度、压力、流量等，以及环境相关指标，以便能够及时地发现异常情况并采取措施。该环节中数字化技术可以通过构建全面的监控系统，帮助工作人员实现数据的自动采集、传输和分析，进而满足对实时性和准确性的要求。

2. 在设备维护管理方面，企业需要对核电站众多复杂设备进行全生命周期管理，即从设备的采购、安装、运行到退役等各个阶段，都需要具备详细的记录和精准把控。此时数字化技术能够

作者简介：何永华（1984.03-），男，汉族，江西省樟树市人，工程师，本科，研究方向：核电厂运行。

建立设备的数字化档案，从而自主跟踪设备的健康状况，以此实现基于状态的维护，并提高设备的可靠性和使用寿命。

3. 生产计划与调度环节当中，企业要综合考虑发电需求、设备状态、人员安排等多方面因素，进而制定出合理的生产计划并进行高效调度。此环节数字化技术可通过建立精确的生产计划模型，且结合实时数据进行智能调度，达到优化资源配置，与确保核电生产稳定和高效的目的。

4. 人员管理与培训环节则需要对核电工作人员的资质、技能、培训经历等信息进行有效管理。同时企业要为其提供高质量的培训方式，进而使工作人员能快速掌握专业知识和操作技能。而数字化人员信息管理系统以及 VR/AR 等先进培训技术的应用，正好契合了这一需求。

二、数字化技术在核电运行各环节的实践应用

（一）运行监控与数据分析

1. 数字化监控系统的构建与功能

数字化监控系统通常由大量的传感器、数据采集设备、传输网络以及监控软件平台等组成。其中传感器遍布核电站的各个关键部位，如反应堆压力容器、蒸汽发生器、各类泵阀等，实时采集温度、压力、振动等多维度的运行参数数据。而这些数据通过高速、稳定的传输网络即可汇聚到监控软件平台，由于该平台具备直观的可视化界面，所以能够以图表、曲线等多种形式向企业工作人员展示各设备的实时运行状态^[1]。

2. 大数据分析在运行优化中的应用

大数据分析技术在核电运行优化方面发挥着重要作用。其通过收集不同时间段、不同工况下的海量运行数据，并利用数据分析算法，就可以挖掘出设备运行的最佳参数区间、不同设备之间的关联关系以及潜在的故障风险点等。

比如对发电机组的输出功率、蒸汽流量、冷却剂温度等多组数据进行关联分析，即可发现当蒸汽流量在某一特定区间且冷却剂温度保持在一定数值时，该发电机组的发电效率最高。基于这样的分析结果，运行人员可以对相关参数进行精细调整，进而实现发电效率的提升。并且其通过对历史故障数据的分析，还能够总结出故障发生前各参数的变化规律，基于此建立故障预警模型，确保在实践中能够提前发现潜在故障隐患，进而避免故障的发生或降低故障造成的影响。

（二）设备维护管理

1. 设备全生命周期数字化管理

设备全生命周期数字化管理涵盖了设备从采购、安装调试、运行维护到退役的全过程。在采购阶段，相关人员利用数字化平台可以对供应商的资质、产品质量、价格等信息进行综合评估，即可选择出最优的设备供应商。而在安装调试过程中，相关人员需记录详细的安装参数、调试结果等数据，将其形成设备的初始档案。

在运行阶段，相关人员通过持续采集设备的运行数据，如设备的运行时长、维修记录、关键部件的磨损情况等，能够实时地

更新设备的健康状态。如对于核电站的主泵，可监测其振动幅值、轴承温度等参数的变化情况，并结合大数据分析判断主泵的磨损程度以及剩余使用寿命，然后相关人员根据分析结果即可制定合理的维护计划，进而确保设备始终处于良好的运行状态。同时当设备达到退役条件时，数字化系统又能辅助进行退役流程的规划和相关数据的整理存档^[2]。

2. 基于人工智能的设备故障预测与诊断

人工智能技术中的机器学习算法，如深度学习、支持向量机等，均可应用于设备故障预测与诊断。但前提是相关人员需收集大量的设备正常运行和故障状态下的数据作为训练样本，对模型进行针对性训练，使其学习到不同状态下数据的特征模式。

（三）生产计划与调度

1. 数字化生产计划模型的建立

数字化生产计划模型能够综合考虑到多个因素，并以此作为基础制定核电生产计划。一方面相关人员要结合电网的用电需求预测，并根据不同时段、不同季节的用电低谷情况，合理地安排核电站的发电功率。另一方面相关人员还要考虑核电站自身设备的维护计划、燃料补给计划等内部因素。此时其可通过将设备的检修时间、换料周期等信息纳入模型，来确保生产计划与设备状态相匹配，并避免因设备维护或燃料不足等问题影响发电。

2. 智能调度系统的应用

智能调度系统基于实时的设备运行数据、电网需求数据以及人员配置等信息，以动态的形式来调整核电站的生产调度。当某一发电机组出现临时故障需要停机维修时，智能调度系统就会迅速分析其他发电机组的运行余量，并合理分配发电负荷，从而确保整个核电站的发电总量能够满足电网需求^[3]。

（四）人员管理与培训

1. 数字化人员信息管理系统

数字化人员信息管理系统可以全面记录核电工作人员的个人基本信息，当中包括学历、专业资质、工作经验等，同时其还能跟踪其培训记录、考核成绩、岗位变动情况等职业发展相关信息。而通过该系统，管理人员就可以快速查询和了解每一位员工的情况，以此为人员的调配、晋升等决策提供准确的数据支持^[4]。

2. 虚拟现实（VR）/ 增强现实（AR）培训技术

虚拟现实（VR）技术在核电人员培训当中，能够为其创建高度逼真的虚拟核电站环境，如此就能让学员仿佛置身于真实的核电站操作现场。而增强现实（AR）技术则更多地应用于实际设备的维修和操作指导方面。

（五）核安全管理

1. 数字化核安全监测与评估系统

数字化核安全监测与评估系统需要相关人员部署大量的辐射监测传感器、环境监测设备等，如此才能实时地获取核电站内及周边区域的核辐射水平、放射性物质浓度、气象条件等关键数据。接着这些数据会传输至后台的评估系统，而系统会依据相关的核安全标准和模型，对核电站的核安全状态进行实时评估^[5]。

2. 数字化应急管理平台

由于数字化应急管理平台整合了应急预案、应急资源信息、

应急指挥流程等多方面内容。所以在发生核安全事故等紧急情况时，该平台能够迅速启动应急预案，并协调各方应急资源，最终实现快速响应和高效救援。

三、数字化技术应用面临的挑战与解决方案

（一）数据安全与隐私保护

1. 核电数据安全面临的风险

核电运行涉及大量的敏感数据，当中包括了核设施的设计参数、运行数据、核燃料信息等。而这些数据一旦泄露，极有可能被不法分子利用，如此将会对核安全以及国家安全造成严重威胁。

2. 数据安全保障措施

核电企业为保障核电数据安全，首先就要建立包括防火墙、入侵检测系统、加密技术等网络安全防护体系。同时其还要加强对内部人员的安全意识培训，在工作中制定严格的数据访问权限管理制度，以限制不同岗位人员对数据的访问范围。

（二）技术集成与系统兼容性

1. 数字化技术集成难题

核电运行管理的过程中，往往需要集成多种不同类型的数字化技术，如将大数据分析系统与人工智能诊断系统、数字化监控系统与生产计划模型等进行集成。然而由于不同技术的接口标准不一致、数据格式不统一等问题，就使得技术集成面临诸多困难^[6]。

2. 技术集成与兼容性优化策略

为解决技术集成与兼容性问题，核电行业需要制定统一的行业标准 and 接口规范，进而促使各数字化技术供应商按照标准进行产品研发和生产。同时相关企业还需要建立中间件平台或数据转换接口，进而实现不同系统之间的数据格式转换和交互，最终使各技术模块能够无缝对接、协同工作^[7]。

（三）人员数字化素养与技能提升

1. 人员数字化能力现状与差距

目前随着数字化技术在核电运行管理中的广泛应用，该行业对工作人员的数字化素养和技能要求越来越高。但是部分核电从

业人员在数字化技术方面的知识储备和操作能力相对不足，因此其在工作过程中就难以充分发挥数字化技术的优势^[8]。

2. 人员培训与能力发展计划

核电企业为提升人员的数字化素养和技能，则需要制定系统的培训与能力发展计划。一方面其需为员工开展针对性的数字化技术培训课程；另一方面企业还应鼓励员工进行自主学习，并积极地参与相关的学术交流活动。

四、数字化技术在核电运行管理中的发展趋势与展望

（一）新技术融合与创新应用

未来数字化技术在核电运行管理中将进一步与新兴技术深度融合，如区块链技术、量子计算技术等。

（二）智能化与自主化运行发展方向

人工智能等技术的不断进步，表明了核电运行管理将朝着智能化和自主化方向发展。例如核电站的设备将具备更强的自诊断、自修复能力，其可以通过内置的智能传感器和控制系统，来实时感知自身状态^[9]。

（三）数字化技术推动核电行业国际合作与交流

数字化技术的发展为核电行业的国际合作与交流提供了新的契机。行业相关人员通过数字化平台，各国的核电企业、科研机构能更加便捷地与他人分享经验、交流技术成果，并不受地区限制地开展联合研发项目，合力解决全球性的核电运行管理难题^[10]。

五、结语

现阶段相关人员对于数字化技术在核电运行管理中的实践探索，已经取得了显著成效，明确提出其在提升运行效率、保障核安全等方面发挥着重要作用。尽管目前在应用过程中面临着数据安全、技术集成、人员素养等方面的挑战，但该行业通过相应的解决方案以及未来不断的技术创新与发展，数字化技术必将在核电运行管理领域展现出更大的潜力。最终将引领核电行业朝着更加智能化、安全化、高效化的方向迈进。

参考文献

- [1] 鲍振利, 王飞, 黄雄, 等. 数字化技术在核电厂教室模拟机中的应用科普分析 [J]. 科技视界, 2022, (33): 80-84.
- [2] 徐建军, 王浩, 杨柳. 核电企业数字化转型关键技术与实施策略研究 [J]. 仪器仪表用户, 2022, 29(07): 61-63+23.
- [3] 青先国, 赵阳, 李伟, 等. 核电厂数字化主控制室操纵评价系统技术研究 [J]. 核动力工程, 2020, 41(S2): 41-44.
- [4] 张学刚. 核电厂数字化人机界面运行技术研究 [J]. 核科学与工程, 2010, 30(S1): 58-61.
- [5] 杨云斐, 刘强, 袁忠东, 等. 核电企业数字化防异物管理技术应用 [J]. 电气时代, 2023, (S2): 10-15.
- [6] 梁慧慧, 刘伟, 叶王平. 核电厂数字化仪控系统验证技术研究及应用 [J]. 核科学与工程, 2023, 43(06): 1409-1413.
- [7] 代鑫钰. 核电厂数字化主控制室操纵适用性评价技术研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2023.
- [8] 周建秋, 张洁, 赵栋, 等. 核电设备数字化设计平台关键技术研究与应用 [J]. 制造业自动化, 2022, 44(02): 10-15+30.
- [9] 申屠军, 李小燕. 核电数字化设计体系的组成和数据管理 [J]. 仪器仪表用户, 2017, 24(11): 68-72.
- [10] 卜江涛. 核电厂数字化控制棒控制系统设计技术研究 [J]. 发电设备, 2020, 34(03): 191-195.