

# Intelligent improvement path of nuclear power plant operation process based on digital technology

Jian Zhu Xuhu Guan

Taishan Nuclear Power Joint Venture Co., Ltd., Taishan, Guangdong, 529200, China

## Abstract

In the digital revolution, intelligent optimization of nuclear power plant operations has become an inevitable trend. This paper investigates core operational processes in traditional nuclear power plants, examines current digital technology applications, and identifies pain points and challenges in intelligent improvements. By establishing a support system encompassing foundational, data, and intelligent layers, we propose intelligent enhancement approaches for operational monitoring/control and equipment maintenance processes. These insights aim to provide effective guidance for improving operational safety, efficiency, and cost-effectiveness in nuclear power plants.

## Keywords

Digital technology; Intelligent operation of nuclear power plant processes; Applied technologies; Support systems

# 基于数字化技术的核电站运行流程智能化改进路径

朱健 管绪虎

台山核电合营有限公司, 中国·广东 台山 529200

## 摘要

在数字化大潮之下, 核电站运行流程的智能化改善已是必然趋势, 本文探究了传统核电站运行核心流程, 已有的数字化技术应用状况以及智能化改善所遇到的痛点与难题, 确定了改善的核心目的和实施原则, 搭建起涵盖基础层, 数据层和智能层技术的支撑系统, 从而提出运行监测与控制, 设备维护等流程的智能化改善途径, 希望给提升核电站运行的安全性, 效率和经济性给予有效的指导。

## 关键词

数字化技术; 核电站运行流程智能化; 应用技术; 支撑体系

## 1 引言

当下, 能源的需求不断上升, 核电站属于清洁能源的关键部分, 它在能源供应体系里有着十分重要的位置, 核电站能否安全稳定运行直接关乎能源安全和社会稳定, 不过, 传统的核电站运行流程通过长时间的运作慢慢浮现不少问题, 像过分依靠人工操作致使效率低, 人为失误的风险较大, 数据处理不及时又不够准确等等, 伴随数字化技术极速前进, 它有着数据分析, 智能决策等长处给核电站运行流程更新赋予了从未有过的契机。要达成核电站运行流程的智能化改良, 不但可以很好地解决传统流程的弊端, 而且是应对日益复杂的运行环境, 符合更高安全标准的迫切需求。本文以基于数字化技术的核电站运行流程智能化改良为主题, 先剖析核电站运行流程的现状及其数字化应用的基础, 再确定智

能化改良的目标和准则, 创建起相应的技术支撑体系, 最后给出具体的改良途径, 给核电站的智能化发展给予理论参照和操作引导。

## 2 核电站运行流程现状与数字化应用基础

### 2.1 传统核电站运行核心流程

传统核电站运行核心流程围绕电力生产各环节展开, 包括核燃料处理、反应堆运行、蒸汽轮机发电以及电力输出等环节, 在核燃料处理环节要对核燃料实施装卸、储存及检测, 此过程依靠人工操作并凭借经验判断, 自动化水平不高, 存在一定安全风险, 反应堆运行属于核心环节, 操作人员通过观测各类参数, 诸如温度、压力、中子通量之类的数据, 从而调控反应堆的功率与运行状况, 传统方式下主要凭借仪表盘和人工调节, 响应速度较慢。蒸汽轮机发电环节里, 蒸汽产生和输送、轮机运转之类的参数监测和控制大多依靠人工巡查、手动操作, 存在数据滞后的风险, 电力输出环节牵涉到电力变换、传输和分配, 要保证电力质量稳定, 传统

【作者简介】朱健(1984-), 男, 中国湖北孝感人, 本科, 工程师, 从事能源与动力研究。

流程中对电网波动的应对不够及时灵活。

## 2.2 现有数字化技术应用

当下,部分数字化技术已被应用于核电站运行当中,DCS(分散控制系统)被普遍采用来对核电站各类设备和系统实施分散控制并加以集中管理,提升了控制的精确度和稳定性,数字化监测设备诸如智能传感器之类,可以即时获取设备的运作参数及环境数据,再把这些数据传送到控制系统,从而给运行决策给予数据支撑,而且,一些核电站也引进了数据库管理系统,把运行过程中产生的诸多数据予以储存并做简单的分析,不过,这些数字化技术的应用还存在一些局限性,各个系统之间常常会形成数据壁垒,信息交流不顺畅,很难做到整体的智能化管理与改善<sup>[1]</sup>。

## 2.3 当前运行流程智能化改进的痛点与挑战

核电站运行流程智能化改良遭遇不少痛点和难题,痛点方面,其一,数据孤岛现象突出,各类设备,系统数据格式不统一,无法做到有效整合和分析,从而影响智能化决策的准确性和及时性,其二,智能化算法适应性差,核电站运行环境复杂多变,现有算法碰到突发状况,复杂工况时,常常不能做出精准的预估和判定,其三,人员对智能化技术的接纳度和掌握水平欠缺,致使智能化系统应用效果欠佳。挑战上,技术集成难度大,要将各种不一样的数字化技术整合起来,保证系统的兼容性与稳定性,而且核电站对安全性要求非常高,智能化系统也许会引发新的安全风险,像网络攻击,数据泄露之类的,怎样保证系统的安全稳定运行也是个难题,智能化改进还要耗费大量资金并展开长久的技术研发,一些核电站就会承受资金和技术上的压力。

## 3 核电站运行流程智能化改进的目标与原则

### 3.1 核心目标

核电站运行流程智能化改进的主要目标集中在安全性、效率和经济性这三个方面,就安全性而言,利用智能化技术做到对核电站运行状况的即时精确检测并发出警报,可以迅速察觉潜藏的安全危险,而且依靠AI算法深入剖析设备老化的走向,参数变动的模式,从而预先判断大概会产生故障,把事故消灭在萌芽时期,而且创建起智能化的应急反应体系,当突发事件出现的时候,能够马上产生最佳应对计划,尽量减小安全事故发生的几率,保障人员和设备的安全,在效率方面,依靠智能化的经营和管控办法,改善运行流程,削减人工干涉,达成设备的自动调和协同运作。比如用数字孪生技术来模拟优化反应堆运行过程,提升功率调节效率;用智能巡检机器人代替人工巡检,缩减巡检时长,提升设备运行效率和生产效率,缩减停机时间,改进核电站整体运行水平,在经济性方面,通过智能化的设备养护,能源经营等,削减运行成本和养护成本,预估性养护可以防止不必要的备件替换和停机检修,削减养护费用。

### 3.2 实施原则

核电站运行流程智能化改进需遵循如下实施原则。安

全优先原则,一直把安全性当作首要考量,智能化技术引进时,要创建起全方位的安全评价体系,全面排查技术应用所引发的网络安全,数据安全,设备误操作等风险,并设置多重安全防护手段,比如数据加密传输,访问权限严苛把控,应急停机备份系统等,深入考虑智能化改进也许产生的安全风险,采取有效的防范办法,保证核电站的安全稳定运行,循序渐进原则,智能化改进是个漫长的过程,要依照核电站的实际状况,逐步推进,分阶段开展。可先选取技术成熟、风险相对较小的环节比如设备状态监测先做试点,等积累了经验再慢慢推广到反应堆控制、应急响应这些重要领域,每个阶段都要设定清楚的目标和评判标准,要及时总结经验教训,持续调整改善计划,慢慢做到从部分智能化向全部智能化转变,数据驱动原则,把数据当作核心,要形成起完善的数据治理架构,统一数据标准和格式,消除数据壁垒,做到各个系统数据可以互相联通。

## 4 核电站智能化运行流程的数字化技术支撑体系

### 4.1 基础层技术

基础层技术是核电站运行流程智能化的根基,包含物联网,5G通讯,云计算基础设施等,物联网技术把大量智能传感器,感知设备等部署到核电站的各种设备,环境当中,从而做到对运行参数,设备状况,环境信息等的及时采集和感知,给后续的数据处理,分析给予原始数据,5G通讯技术具备高速率,低时延,大连接的特性,可以保证数据的即时,可靠传输,符合核电站对通讯的高标准需求,云计算基础设施给核电站赋予了很强的运算和存储能力,可以对大量的数据加以处理和存储,支撑智能化应用的迅速部署和拓展。

### 4.2 数据层技术

数据层技术主要包含数据的采集、清洗、存储、共享等环节,数据仓库、数据湖以及大数据处理技术等都属于数据层技术范畴,数据采集技术可以将不同来源、不同格式的数据进行统一采集,从而保证数据的全面性与准确性,数据清洗技术能清除掉数据中的噪声、冗余及错误信息,以此来提升数据质量,数据仓库和数据湖为数据存储提供了可靠的平台,数据仓库适合存放结构化的数据,数据湖可以容纳大量的非结构化和半结构化数据,大数据处理技术像Hadoop、Spark等,可以迅速处理和分析大量数据,发掘数据所蕴含的价值,给智能化决策给予支撑<sup>[2]</sup>。

### 4.3 智能层技术

智能层技术是实现核电站运行流程智能化的关键,包含人工智能、机器学习和数字孪生等,人工智能技术模仿人的智能行为,做到对复杂问题的分析和决策,故障诊断、风险评价等,机器学习算法依靠对历史数据的学习,持续改善模型,提升预测和判断的精准度,设备故障预测、负荷预测等,数字孪生技术创建一个与物理核电站完全相同的虚拟

模型,可以实时反映核电站的运行状况,做到对运行过程的模拟、剖析和改进,为运行决策、应急响应等给予强有力的支持。

## 5 核电站运行流程智能化改进的具体路径

### 5.1 运行监测与控制流程智能化

在运行监测及控制流程智能化上,先用智能传感技术,在核电站的关键设备和重要地方装更多精度高、可靠性好的智能传感器,做到对温度、压力、流量、振动等参数全方位、即时监测,再用5G通讯技术把收集到的数据立刻传送到数据处理中心,然后用AI算法对这些数据深入分析和挖掘,创建设备运行情况的预估模型,做到对设备异常情况的早期警报,控制方面,凭借即时监测的数据和AI分析成果,创建智能控制模型,达成对反应堆功率、蒸汽轮机转速等的自动调节和改良,改进控制的及时性,精确度,像监测到反应堆温度有异常时,智能系统就能自动发出警报,按照预先设定的控制策略执行相应的调节,防止事故发生。

### 5.2 设备维护流程智能化

设备维护流程智能化的核心是实现预测性维护,给设备装上传感器,随时收集设备的震动,温度,油液等状况数据,再把这些数据传送到数据平台,用机器学习算法来分析以前的维护数据和现在的状况数据,创建出设备故障预测模型,就能确切预估设备大概会碰上的故障种类和时刻,按照预测结果制订合适的保护计划,预先安排好保护人员和物资,做到按需保护,削减不必要的停机时间,缩减保护费用,而且利用数字双胞胎技术塑造设备的虚拟模型,可以模仿设备的运作状况和老化的进程,给制订保护计划赋予更直观,精确的依照,拿蒸汽轮机的叶片来说,通过预测性保护就能提前察觉也许发生的磨损情况,及时予以替换,防止因为叶片崩裂引发的重大事故<sup>[1]</sup>。

### 5.3 应急响应流程智能化

构建应急响应数字孪生系统是实现应急响应流程智能化的重要手段,它能实时映射核电站的运行状态与环境信息,模拟各类可能出现的应急状况,比如地震,火灾,放射性物质泄漏等等,当突发事件出现的时候,系统可以迅速得到有关事件的信息,凭借预先设定好的应急处理预案以及智

能算法,制订出最佳的应急响应计划,包含人员疏散路径,设备操作步骤,救援资源调配等内容,而且,借助虚拟现实技术,给应急指挥人员赋予身临其境的应急场景模拟,助力他们更好地领悟现场情形,作出正确的判断,而且,采用大数据分析技术,针对以往的应急事件展开总结并加以剖析,持续改良应急响应预案和算法模型,从而提升应急响应的效率和成果。

### 5.4 人员操作与管理流程智能化

人员操作及管理流程智能化,采用虚拟现实技术创建核电站运行操作的虚拟培训系统,给操作人员赋予近乎真实的培训环境,让他们能在虚拟环境中开展各种操作练习,知晓设备的操作步骤以及紧急状况的应对办法,从而提升操作水平和应对突发情况的能力,而且,借助智能系统对人员的操作过程执行即时监测并予以记录,凭借AI算法来剖析操作行为,找出不标准的操作并加以改正,削减人为失误现象,就人员而言,利用大数据技术把人员的出勤,业绩,培训等信息汇总起来加以分析,给管理人员给予科学的决策支撑,改善人员调配和管理流程,增进管理效能。

## 6 结语

综上所述,基于数字化技术的核电站运行流程智能化改进是实现核电站运行水平提高的必然趋势,从现状分析,明确发展目标及原则,建设支撑智能化发展的技术支撑体系,提出具体的改进措施,为核电站智能化的发展明确了方向,但是智能化改进需要长期不断的努力与探索,智能化改进是一个系统工程,随着数字化技术的快速发展与创新,核电站运行流程的智能化程度也将不断提升,为保证我国能源安全、促进国家发展做出更大贡献,但智能化改进的过程中还需要对技术的使用过程中的安全性等进行关注,要加大技术研发与人才的培养,推进核电站智能化改进的顺利进行。

### 参考文献

- [1] 李雷.压水堆核电厂新燃料升降机运行模式与控制流程研究[J].起重运输机械,2017,(04):49-52.
- [2] 潘慧,陈敏翼.中广核研究院:创新升级提升我国核电站智能运维水平[J].广东科技,2022,31(09):25-28.
- [3] 赵宁涛.核电站核设备维护工作流程优化研究[J].工程建设与设计,2023,(18):89-91.