

核电站数字化操控转型的路径探索

祝浪锋 李祺

阳江核电有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i1.11451

[摘要] 在当今科技迅猛发展的时代背景下,核电站数字化控制系统的革新与转型已成为核能行业中迫切需要解决的核心问题。这不仅关乎核电站的安全运行,更是对其效率和可靠性的一次重大考验,因此探索适合于核电站特点的数字化操控路径显得尤为重要。本文根据这一核心问题,着重探讨其转变路径,对提高我国核电综合性能、保障我国能源可持续供给和与现代能源管理体制相匹配具有重大意义。

[关键词] 核电站; 数字化; 操控转型; 路径探索

中图分类号: TM623 **文献标识码:** A

Explore the path of digital control transformation of nuclear power plant

Langfeng Zhu Qi Li

Yangjiang Nuclear Power Co., Ltd.

[Abstract] Under the background of the rapid development of science and technology, the innovation and transformation of the digital control system of nuclear power plant has become an urgent core problem to be solved in the nuclear energy industry. This is not only related to the safe operation of nuclear power plants, but also a major test of its efficiency and reliability. Therefore, it is particularly important to explore the digital control path suitable for the characteristics of nuclear power plants. According to this core problem, this paper focuses on the transformation path, which is of great significance to improve the comprehensive performance of nuclear power, guarantee the sustainable energy supply in China and match with the modern energy management system.

[Key words] nuclear power plant; digital; control transformation; path exploration

引言

随着科学技术的快速发展和对能源的需求量的不断增加,世界能源产业正在发生深刻的变化。传统的核电厂控制模式在应对新时期能量供给效率、安全性和智能化方面的需求方面遇到了许多挑战。然而由于信息技术和智能技术的不断突破和推广,核电厂的数字化控制已经成为核电产业发展的一种趋势。

1 核电站数字化操控转型的背景与必要性

1.1 行业发展趋势推动

目前世界能源格局向多元化、清洁化、智能化发展,以风电、太阳能等新能源为代表的可再生能源快速发展,并通过数字技术对其进行有效的能源管理和运营。而核电是一种传统的大规模供能方式,企业要想在未来的能源市场上获得竞争优势,就必须适应这种智能趋势,通过数字化控制变革来提升自己,提升能源生产和管理的智慧程度,使之更好地融入到能源发展的总体模式中。

同时大数据、人工智能、物联网等数字化技术正被广泛地应用于制造业、电力等多个行业,能够有效地优化生产流程,提

高资源的利用效率和质量控制的效果。核电产业也被这股潮流所带动,从其它产业中汲取成功的经验,通过数字化操作,对自己的经营模式进行优化,提高总体的运作效率,进而与工业领域的数字化转型保持同步。

1.2 提升运行效率需求

传统的核电厂操作主要依靠人工进行,操作过程繁琐、信息传递滞后以及人工记录容易出现错误。目前核电企业普遍存在着设备运行过程中依靠人工巡检,人工采集的问题,如人工采集的设备运行参数多分布于不同文件中,无法及时、高效地集成分析,并且难以对设备故障做出反应,调整运行状态,这就降低了核电厂的总体运行效率。

而数字化操作转换可以实现数据的自动采集、实时传输和分析,并通过智能算法精确地控制反应堆控制、冷却系统调整以及电能输出等重要过程。工作人员通过对各种操作数据的集成,可以对设备的性能进行预先的预测,也可以对维修方案进行最优的调整,从而降低不需要的停工时间,大幅提高核电站的发电效率,保障能源稳定、高效地供应给电网。

1.3 增强安全保障要求

核电厂因其所含放射性材料,若发生安全事故不但会对周围环境产生极为严重的污染,而且危及人身安全和社会稳定发展,所以在核电厂操作中,安全性永远是排在第一位的。数字化操作是指通过在设备中配置大量的高精度传感设备,通过对设备的温度、压力、振动等关键参数进行实时采集,并结合大数据分析,建立智能化的故障诊断模型,实现对设备的安全运行状态的检测。同时通过虚拟现实和模拟技术,可以模拟出不同的极端情况,让操作者和救援队伍不断地练习,更好地适应这种情况,提高在紧急情况下的应急响应能力,全方位增强核电站的安全保障水平^[1]。

2 核电站数字化操控转型涉及的关键技术领域

2.1 数字化仪表与控制系统

高精度和高可靠性的数字仪器正在逐步代替传统的机械式仪器。通过对传统的指针式压力计进行数字化改造,使其测量精度由原有的有限误差区间提高到更高的精度,并可将数据直接传送给核电厂控制系统或者巡检系统,从而避免手工读写带来的错误。

控制系统是以数字仪表所获得的数据为基础,采用先进的控制算法,对其进行自动控制。比如利用反馈控制算法对反应堆功率进行实时调整,并结合电网负载和装置本身的工作状况,对核燃料的反应速度进行精确调控,从而保证电能的稳定、安全输出。此外,该智能控制系统具有自诊断、自适应调节功能,在发现某一控制环节发生异常时,可自动切换至待机状态或调节控制参数,以保证整体系统的正常运转。

2.2 智能监测与诊断技术

工作人员将温度传感器、振动传感器、超声波传感器等传感器安装到核电厂的关键设备、管线和电气系统中,构成一个全方位、多层次的监控网络。该系统可以实时采集设备的各项状态信息,并将其及时传送至相应的数据处理中心。例如通过对某台大型泵组的振动数据进行长期分析,在振动频率、振幅等参数发生不正常变化的情况下,即使相关参数未达到报警定值,亦能实现对轴承磨损、叶轮不平衡等故障的准确判别,为下一步维护工作奠定基础。

2.3 虚拟现实与仿真技术

借助专业的建模软件,根据核电站的实际布局、设备结构和工艺流程,创造一个高真实感的模拟核电厂。该模型既包含厂房、系统、各类辅助设备等实物实体的3D建模,又包含了设备间的连接关系、工作逻辑及相应的物化过程仿真,为操作者和工程师提供身临其境的仿真环境。在培训方面,新进入的操作员可以通过模拟的方式,通过重复的操作培训,了解核电厂的启动、运行、停机等各阶段的工作过程,并针对各种故障情景采取相应的应急措施,从而增强其实践操作技巧和紧急应变的能力。在设计优化方面,工程人员可通过虚拟模型对新建设备布局、工艺改进方案等进行仿真验证,并对其可行性、安全性及有效性进行评估,以减少工程建设与改造中的潜在风险与费用浪费。

2.4 网络与信息安全技术

由于在核电厂的数字化操作过程中需要建立严格的信息安全保护系统,这包括建立一个高效能的防火墙来阻挡外来的非法网路存取,利用加密技术对传送的数据进行加密,保证在网络上传送的数据的安全性、完整性,或设置单向网闸,保证单向性数据不会对核电厂设备造成动作风险。也包括设计一套入侵检测系统,对网络中的异常情况进行实时监控,并对可能出现的网络攻击进行及时拦截。针对核电厂所产生的大量数据,需要建立完备的备份、恢复和访问控制机制,对数据进行有规律的备份,以避免因硬件故障、人为错误或网络攻击而造成的数据损失。

3 核电站数字化操控转型面临的挑战

3.1 人员能力与培训问题

数字化操作对核电作业人员提出全新的认识与技能,既要掌握传统的核电专业知识与作业技术,又要对计算机技术、自动控制技术、数据分析等多个方面有较深的认识。要求操作者对数字控制系统有一定的了解,能看懂系统接口上的复杂数据及操作指示,维护人员不再依赖于以往的经验或简单的测试手段,而是能够运用数据分析手段对设备进行故障诊断。

另外,目前大部分现场员工都是在传统的操作方式下工作,对新的数字技术的接受与掌握还需要一个过程。而要想大规模、系统化地开展培训,难度很大,一方面,培训的教员要具备核电和数字技术两方面的知识,这种复合型人才比较匮乏;另外,为了保证训练的时效性和实用性,还需要投入很多的资金来对训练所需的教材、模拟设备等资源进行更新和改进。

3.2 安全保障与风险管理难题

尽管数字操作的目的是提高系统的安全性,但同时也产生新的安全隐患,如网络攻击等。在核设施中,黑客可以通过非法侵入、修改控制参数等方式,造成设备失效和重大安全事故。而与常规的机械故障相比,数字系统的软件漏洞、硬件故障等具有隐蔽性强、传播迅速等特征,更难以预防与应对。

但是在这一转变过程中会涉及到很多方面的问题,如新老系统的切换,不同技术的融合,这些都会带来新的风险。因此如何正确地评价其发生的可能性和影响程度,并提出相应的对策是一个非常复杂的工作。例如在由传统监测模式向智能化模式转型过程中,如何保证数据在过渡期内的连续性、精确性、新老系统间的协作,均需进行精细化的风险管控与应急预案设计^[2]。

3.3 管理模式与组织架构变革压力

传统的核电厂管理模式多为层级分明的纵向组织架构,以手工报告及文件的形式传递为主,决策流程较为迟缓。然而数字操作要求信息及时反馈、跨部门协作、及时调整决策,传统的管理方式很难适应这种高效灵活的运作需求,极易出现信息滞后、协调不畅等问题,这会严重制约数字操作的整体性能。

组织结构的变化意味着部门职责的重组、人事的调整,牵涉到各方利益与权利的再分配,因此易引起员工的抵触。例如在新

的数字化环境下,可能会要求设立专门的数据分析部门、信息安全管理部门等,从而削弱或者调整现有的某些部门功能,让所有员工都能够主动地参与到改革之中。

4 核电站数字化操控转型的路径探索

4.1 制定全面的数字化战略规划

全面的数字化战略规划需要结合核电站自身的发展定位、长期发展目标以及所处的行业环境,为数字化转型做好策略计划。规划要遵循科学性、可行性、前瞻性等原则,对近、中、长期的具体目标进行明确,比如要在短时间内完成对关键设备的数字化操作,中期要对整个过程进行全过程的数字化管理,长期要建立一个智慧的核电厂运行模式,在此基础上,以“安全”为第一原则,保证核电信息化改造不会给核电厂的安全生产带来隐患。

另外,详细规划每个阶段的实施步骤,其中包含每一个项目的启动时间和预期的结果以及接受的准则。也需要按照规划的内容,对人力、物力和财力进行合理的配置,比如在数字化系统研发、人员培训、设备采购等领域,要对每个阶段需要的专业技术人员和岗位需求进行合理的配置,以保证转型工作有足够的资源可以按照既定的进度进行。

4.2 加强人员培训与能力建设

企业需要根据数字化操控对人员技能的要求,构建涵盖基础理论知识、专业技能操作以及实践应用等多维度的培训体系。基础理论知识培训可以包括计算机基础知识、数字化控制原理、数据分析基础等内容;专业技能操作培训则针对不同岗位,如操作人员着重培训数字化控制系统的操作流程和故障应急处理,维修人员重点学习利用智能诊断工具进行设备维修等;实践应用培训通过模拟实际工作场景,让学员在实践中巩固所学知识和技能^[3]。

通过各种形式的培训,例如通过在线的网络课程使员工能够在任何时间、任何地点进行学习;而线下的集中教学与实践演练可以增强员工之间的互动与现场教学。

4.3 强化安全保障与风险管理措施

工作人员需要从网络安全、设备安全和系统安全三个方面,建立一套完整的安全保护系统。在网络安全上,不断更新网络安全装置,如防火墙及入侵检测系统,强化网路存取管制,并对网路安全弱点进行定期的侦测与修补;在装备的安全性上,要强化

对装备的质量检查、维修维护和冗余设计,保证装备在不同的工作状态下的稳定、可靠的工作;在系统安全性上,需要对数字操作系统的软件进行严格的安全性测试与代码审核,以便能够及时地找到并修补软件的缺陷,并在此基础上,构建系统的备份与恢复机制,以避免由于系统失效而造成的数据损失与运行中断。

4.4 推动管理模式与组织架构变革

核电站数字化操控转型需要通过对现行的业务流程进行全面的梳理,去掉繁琐的、不必要的环节,采用数字技术,使业务的自动化、信息化成为可能。比如通过构建企业资源规划(Enterprise Resource Planning, ERP),将核电企业在材料采购、设备管理、人力资源等各个领域的信息资源进行集成,达到实时分享与迅速传输的目的,从而提升核电企业的管理效能与决策的科学性。同时运用 workflow 管理软件对企业的审批过程进行了优化,降低人为的介入、缩短决策的时间,使得企业的管理过程更适合于数字化操作的高效率运作。

5 结语

核电数字化操作改造是一项涉及人员、安全、管理等多个层面的复杂而又重要的系统工程,因此具有广泛的应用前景和巨大的应用价值。本文在此基础上,提出科学的战略规划,强化人员培训和安全保障,推进管理变革、技术创新和合作交流,以期能够逐渐突破这一阶段的困境,使之由传统的操作方式过渡到数字操作的方式,从而提高核电厂的运行效率、增强安全保障,为世界能源供给提供更可靠、更高效、更智能的支撑。与此同时,这个转变也要求相关人员不断地关注行业动态对路径措施进行优化,以满足技术与能源需求的不断变化,从而促进核电产业在数字时代的可持续发展。

[参考文献]

- [1]张力,胡鸿,李鹏程,等.数字化核电厂操纵员监视行为可靠性分析及其应用[J].原子能科学技术,2015,49(05):921-929.
- [2]陈青青,张力,胡鸿,等.数字化核电厂主控室操纵员班组行为研究[J].核动力工程,2019,40(04):123-126.
- [3]王炎鑫,李鹏程.基于人员绩效的核电厂数字化人机界面评价研究[J].原子能科学技术,2021,55(03):534-543.

作者简介:

祝浪锋(1990--),男,汉族,四川省内江市人,工程师,大学本科,研究方向:核电运行。