

数字化赋能核电厂人因风险防控优化路径探究

徐旺

大亚湾核电运营管理有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i3.21079

[摘要] 核安全是核电行业发展生命线,人因风险是影响核电厂安全运行主要因素,在很大程度上决定了核电站运行安全性。本文立足于核电基地人因风险管理的实际需要,探讨数字化赋能对于提高核电基地人因风险管理的作用机制;论述了数字化技术应用于人因风险管理的价值所在,并指出了目前数字化赋能过程中存在的一些问题,比如缺乏有效数据收集分析整合工作不到位,工具及程序不匹配,员工数字技能薄弱等等;最后提出了相应的改进建议以期能够帮助核电企业改善自身的人因风险管理水平从而保证良好的运营状态。

[关键词] 数字化; 核电厂; 人因风险

中图分类号: TM623 **文献标识码:** A

Exploration of the Optimization Path for Human Factor Risk Prevention and Control in Nuclear Power Plants through Digitalization

Wang Xu

Daya Bay Nuclear Power Operation and Management Co., Ltd.

[Abstract] Nuclear safety is the lifeline of the nuclear power industry, and human factor risks are the primary factors affecting the safe operation of nuclear power plants, largely determining their operational safety. Based on the practical needs of human factor risk management in nuclear power bases, this paper explores the mechanisms by which digital empowerment enhances such management, discusses the value of applying digital technologies to this field, and identifies existing challenges in the current digitalization process—including inadequate data collection, analysis, and integration; mismatches between tools and procedures; and insufficient digital skills among staff. Finally, it proposes corresponding improvement recommendations to help nuclear power enterprises enhance their human factor risk management capabilities and ensure optimal operational performance.

[Key words] Digitalization; Nuclear Power Plant; Human Factors Risk

引言

核能是一种清洁能源、低碳能源,是高效的稳定新能源,在我国“双碳”目标下及未来能源结构调整过程中发挥着重要作用。核电站运行具有技术密集、程序繁琐、危险程度高的特征,人的因素已经成为造成核电安全事件主要原因之一,据统计,全世界有60%-75%的核电站运行事故都与人的因素有关。传统的人因风险管理方式依靠人工巡检、经验和纸质操作指导书来完成,存在发现较晚、预报不准、防控措施滞后等问题,在当前对核电站进行精细化管理以及智能化改造背景下已不能满足需求。目前,在数字经济时代背景下,核电行业迎来数字化转型的新机遇期,人工智能、大数据、5G、数字孪生等信息技术与核电生产运营紧密结合,为人因风险管理提供新思路。而数字化技术可以做到对人因风险进行实时监控、准确判断、及

时报警以及合理治理,从而使人因风险管理由“事后处理”转变为“事前防范、事中控制”。因此本文以数字化助力核电厂人因风险管理为主要研究对象,对其优化措施进行了探讨,这对于提高核电厂的安全性及促进核电行业的健康发展都具有重要的指导作用^[1]。

1 数字化赋能与核电厂人因风险防控的核心关联

数字化赋能核电厂人因风险防控,即是以数字化技术重新定义人因风险防控的方式、方法以及系统等,达到“人-机-环-管”的全方位管理的目的,在此过程中涉及到三个方面的问题。第一,数字化技术为人因风险识别提供有力保障,在多种类型的数据收集基础上进行智能化处理,突破以往的人工判断方式,能够更加准确地把握住人的操作动作、精神状况以及技术水平等因素所带来的影响。第二,数字化技术构建起人因风险防控协作

平台,消除各个部门之间以及不同职位人员之间的信息隔阂问题,使风险信息可以相互传递并且防控行动也可以互相配合起来,从而提高整个防控工作的整体性和有效性。第三,数字化技术改变人因风险防控的方式,由原来的经验主导转变为以数据为主导,利用算法预测并调节风险发生前兆,减少人为错误的发生率。

核电厂人因风险主要是指人在操作、决策、管理等环节发生错误,包括漏操作、误判断、缺乏技能等形式,在此基础上利用数字化手段对人的行为、设备状况以及运行环境进行监控可以及时发现导致风险的原因并对其进行全生命周期管理,两者相结合是提高核电基地人因风险管理能力的有效途径。

2 数字化赋能核电厂人因风险防控的应用价值

2.1 突破传统人因风险识别局限,提升预警精准度

传统核电站人因风险识别主要是依靠人工巡检以及经验判断,有遗漏、延迟、误判的问题,在发现隐患方面效果一般。数字化技术利用智能化监控平台,结合人工智能视觉识别、传感网络等方式来进行全天候的人因风险监测。比如:AI视觉识别可以7*24小时监控现场工作人员的动作是否符合规范要求,能及时发现作业人员未佩戴安全帽或者违章操作的行为并即时报警;而传感网络则可以实时获取工作人员的生命体征信息及操作过程的信息,通过计算模型预测可能出现的操作错误的风险等。

同时,数字化平台可以汇集以往的风险信息、人员技能信息以及设备运转情况等,借助大数据进行分析找出人因风险之间的联系,建立风险预测模型,做到对未来的风险有所预见。中广核“智驭平台”能提前20天发现主泵故障,给员工的操作带来充分的时间,大大提高了风险预警的准确性和及时性,弥补了传统的风险管理方式不足之处。

2.2 优化运行人员行为分析手段,增强动态防控能力

运行人员的行为及意识状态是核电厂人因风险的主要因素,以往行为分析以事后回顾为主,在线监控较少。而数字化技术通过研发智能化的操作指导工具来对运行人员进行实时监控、即时评估与及时处理等措施。如数字化规程系统把传统的纸质版操作规程变成数字化流程,系统能自动检测操作过程是否符合要求,在设备出现故障的情况下会停止该操作并报警提醒检修,在25个核电站中已经投入使用。

此外,建立结合认知理论以及大语言模型的人员异常建模方法可以及时监测到操纵员的认知水平及负荷情况并能预知可能出现错误的操作流程;秦山核电站建设了5G专用网络,在线下的智能设备上能够进行离线的数据录入,联网后可以自动上传至云端,保证高辐射区工作人员的操作信息能够得到即时获取从而达到对人员行为的有效监控的目的,大大提高了人因风险管理的前瞻性、有效性^[2]。

3 数字化赋能核电厂人因风险防控的现存问题

3.1 数据采集与整合不充分,人因风险底数不清

数据是数字化赋能人因风险管理的基础,但是目前一些核

电站的数据收集不够全面、整合不到位,造成人因风险不清。一方面,数据收集范围有限,主要是针对员工操作方面的数据,而对于员工的心理状况、技术水平以及作业环境等隐形的风险因素的数据收集较少,不能全方位地了解人因风险的真实情况;另一方面,各个部门之间的信息各自独立保存,缺少统一的标准及整合工具,运行、培训、检修等部门之间难以实现信息互通,出现“信息孤岛”。

同时,一些核电机组的数据质量不高,有数据缺失、偏差较大的问题,在缺少专门的数据分析工具的情况下很难从海量数据中提炼出人因风险的规律性特征,从而使得数字化防控无据可依而无法做到及时准确地预报和控制。

3.2 数字化工具与实际操作流程脱节,防控效能受限

目前部分核电厂引进数字化工具存在“重技术、轻实用”问题,脱离实际生产现场操作过程,造成防护效果发挥有限。一些数字化工具过于复杂,在设计上未能很好地契合核电站运行岗位的需求,操作步骤较多给运行人员带来麻烦从而产生抵触心理;同时这些数字化工具同核电站已有装置以及管理制度之间配合不到位,不能做到与装置运转数据及操作标准进行实时对接,有的功能只是摆设。

比如一些智能预警系统的报警阈值设定不当,不符合现场实际情况,造成大量误报、漏报的发生,在起不到预警目的的同时还影响运行值班员的操作效率,限制数字化技术发挥防控的作用。

3.3 人员数字素养不足,技术与风险管理融合薄弱

数字化赋能人因风险防控离不开专业化的数字化人才以及有较高数字素养的操作人员。目前一些核电站员工数字素养较低是阻碍数字化防控应用的一大障碍,在于一部分运行人员年纪较大,知识陈旧对于AI、大数据等数字化技术认知不足,使用生疏,无法发挥出数字化工具的作用;另一方面缺少既了解核电站运行管理也懂数字化技术的复合型人才使得数字化技术和核电站人因风险管理难以有效结合^[3]。

一些核电站缺少一套完整的数字化素养教育方案,而且培训课程与工作要求相距甚远,不能很好地提高员工数字化技能以及风险管理水平,从而使数字化技术很难贯穿到人因风险防控的各个环节中去。

4 数字化赋能核电厂人因风险防控的优化路径

4.1 构建全周期人因风险数据采集与智能分析平台

核电工程智能化建设的核心目标是构建一个可视化、数字化、智能化的项目管理平台,进一步提升核电工程的安全管理、质量管控、进度管理和三维可视化能力。为实现这一目标,中核工程近年来不遗余力地推进各项技术的深度融合,包括AI算法的优化、大数据分析的精度提升以及三维技术的广泛应用。以数据驱动为核心,搭建覆盖全过程人因风险数据收集以及智能化分析系统解决数据收集整合不够问题。一方面拓展数据收集广度,融合员工操作、安全教育、精神状况、机器运转、作业环境等方面信息利用智能传感器、AI视频识别技术、生理指标检

测装置等方式进行全方位及时的数据获取保证人因风险相关数据完整性与时效性;另一方面制定统一标准及管理规则对所有数据进行规范化处理包括定义各种类型数据形式、采集程序和保存方法等消除不同部门之间信息孤岛现象促进资源共享利用。

4.2 开发贴合运行场景的数字化防人误工具与辅助系统

一是基于核电厂生产现场实际情况,研发符合操作规程、实用性较强的数字化防人误工具及辅助系统,提高防范能力。因此需要了解各个岗位的需求以及存在的安全隐患,减少数字化工具的操作过程,优化界面布局,使工具更易于使用,减轻运行值班员的工作强度。如参考任宇阳团队研制的动态规程平台,在此基础上根据不同堆型开发适合各岗位使用的智能化规程系统,对作业程序进行实时监测并发出报警信号等信息提示^[4]。

二是促进数字化工具与现有设备、管理制度紧密结合,做到与设备运行状态信息、操作规程以及应急处置措施的有效对接,使数字化工具切实应用于生产现场的操作过程中。并且要随着现场工况变化而适时调整改进数字化工具的功能及参数设置,避免出现错报或者漏报的情况发生,增强工具的应用效果以及稳定性,更好地发挥出数字化技术在预防方面的作用。

三是构建数字化工具闭环反馈系统,获取运行人员使用感受以及误报实例等信息,及时改进算法逻辑及预警门限值。利用仿真平台模拟各种情况下的测试验证工作,在此基础上保证工具对于不同情况下都能正确响应。最后把防人误工具融入到日常培训中去,提高员工对该系统的信赖程度和操作熟练度,从而做到真正的“人机结合”的防误防线。

4.3 完善人员数字胜任力培训与风险协同响应机制

一是加强员工数字素养培养,建立联动响应机制,促进数字化技术和风险管理有效结合。一方面是制定多层次、多类型数字素养教育培训计划,根据不同岗位以及不同年龄层员工需求进行相应的培训,包括数字化工具使用、数据分析及风险辨别等内容,在提高员工数字化技能的同时也增强了其对风险防范意识;另一方面利用VR/AR等技术手段来再现实际工作环境以增强学习效果。

二是引进和培养复合型人才,加强与高等院校及科研院所

合作,培养既了解核电站运行管理也熟悉数字化技术的专业技术人员以支持数字化防控工作;

三是建立和完善人因风险联合应对体系,在各相关部门以及各个岗位之间进行分工协作,做到对风险预报、应急处理、总结反思等整个过程中的联动配合,以便在发生人因风险问题时可以及时响应并妥善解决,尽可能减少所造成的损害。

5 结论

数字化技术为人因风险管理在核电站的应用带来了新理念、新方法,可以克服以往管理方式的不足之处,提高风险监测、预报以及控制的有效性和及时性,在保证核电站的安全可靠运行方面起着重要作用。但是目前数字化应用于核电站人因风险管理还存在数据收集整理不到位、数字化工具与工作过程相脱离、工作人员数字能力欠缺等困难阻碍了防控效果的发挥。因此,核电站需要结合自身情况,建设全周期人因风险的数据收集以及智能分析平台、研发适用于运行场景的数字化防人误工具、建立人员数字胜任力培训及协同响应制度等措施来推进数字化技术和核电站的人因风险管理相结合,使人因风险管理由原来的“经验驱动”转变为“数据驱动”,从“事后处理”到“事前预防”,从而提高核电站的安全性,促进我国核电产业高质量发展。今后,在AI大模型、数字孪生等不断进步的情况下,数字化对核电站的人因风险管理的支持会越来越智能化、精确化,为核安全构筑一道技术防线。

[参考文献]

- [1]李伟.数字化核电站人因失误分析与多维度预防策略探究[J].中国设备工程,2025,(S2):15-17.
- [2]周炳鉴,赵明,陈家庆,等.核电厂数字化规程系统人因检查表研究[J].现代职业安全,2025,(02):60-62.
- [3]张佳佳,官宇,钱鸿涛,等.核电厂人因可靠性数据库研究[J].核科学与工程,2026,46(01):187-193.
- [4]李鹏程,赵帅.核电厂数字化人一机界面中信息显示的人因化设计[J].南华大学学报(社会科学版),2024,25(01):7-13.

作者简介:

徐旺(1983—),男,汉族,山东泰安人,工程师,大学本科,核电运行。