

全球核能安全动态

生态环境部核与辐射安全中心

2025 年 2 月

目 录

- 国际核设施数字化转型监管简介

国际核设施数字化转型监管简介

数字化转型是当今数字时代推动核工业高质量发展的强大动力和重要着力点。众多核工业企业积极探索数字化转型路径，通过引入先进数字技术和自动化，提升生产效率和运营水平。然而，核设施数字化转型是一把“双刃剑”，在带来效率提升、成本降低等诸多机会的同时，也伴随着复杂的风险和挑战。为进一步提升我国核设施的安全性、可靠性和运行效率，切实保障数字化转型工作安全有序开展，构建全面覆盖、科学高效的数字化监管体系势在必行。

一、基本情况

核设施数字化转型涉及全新的颠覆性数字技术应用，机会与风险挑战并存。为应对这一新情况，国际上积极开展核领域先进数字技术应用基础研究，并加快核安全监管数字化基础设施建设，以提升其数字核安全监管能力。

（一）核设施数字化转型本质是新数字技术的应用

近年来大数据、人工智能、机器学习、高级数据分析、数字孪生等技术的发展极大地增强和改变了数字技术，使其变得更加强大和通用。当前，新数字技术已在多个方面展示出显著优势，如出色的实时数据处理能力、对趋势和行为的超强预测能力、卓越的建模能力、卓越的数据决策分析能力以及支持复杂任务的自动化。

核设施数字化转型泛指核设施运维从传统流程向数字

化流程的转变，主要目标是通过技术进步提高安全性、可靠性和效率。典型的核设施数字化转型实例有使用数字孪生技术模拟和优化核电厂运行，以及使用人工智能和机器学习技术预测设备故障和实施预测性维护等。

（二）核设施数字化转型机会与风险并存

核设施数字化转型有机会大幅提升**四项关键能力**，即状态监测能力、问题诊断能力、风险预测能力和自动化水平。

1. **提升核设施状态监测能力**有助于提高监测数据的实时性、准确性、可靠性和全面性，及早发现设备故障或系统异常，减少辐射工作场所人工检查需求，优化监测设备及其运维。

2. **提高问题诊断能力**有助于更快、更准确地确定异常或故障的位置、性质、根本原因和影响，并实施有效的纠正措施，防止其再次发生。

3. **提高风险预测能力**有助于尽早、精准、全面地预判风险，开展预测性维护，解决潜在问题，防范事故发生。

4. **提高自动化水平**有助于降低人工操作依赖和人为失误风险，实时智能处理大量数据，简化操作提高效率，保持性能稳定，异常情况下快速准确执行既定安全程序。

当数字化转型给核设施提供重大改进机会时，可能面临的**六项主要风险**也不容忽视。

1. **网络安全风险**。数字系统容易受到网络攻击，从而危及设施安全和安保。未经授权访问敏感数据也会导致信息泄

露和潜在的信息滥用。

2. **系统安全性和可靠性风险。**数字系统在很大程度上依赖于软件，而软件中的错误或漏洞可能会导致系统故障。数字系统还易出现共因故障而影响多个系统。

3. **整合挑战。**将新的数字技术与现有系统整合可能会很复杂，并导致兼容性问题。不同系统和平台之间的数据进行无缝整合极具挑战性。

4. **合规性风险。**将数字系统设计的便于监管审查，且保证数字系统持续满足不断变化的监管要求可能是一项非常艰巨的任务。

5. **人因风险。**工作人员需要通过充分的培训来适应新数字技术，可能会对变革产生抵触情绪。对数字系统的过度依赖会导致出现新的人因失误，尤其是在工作人员未完全熟悉新数字技术的情况下。

6. **实施风险。**实施数字化转型可能耗费大量时间，并可能因技术挑战或资源限制而出现延误或成本超支问题。

（三）国外积极开展核领域先进数字技术应用基础研究

鉴于人工智能有可能为核工业带来许多益处，如提高效率和降低对人类和环境的风险，当前国际上积极开展以人工智能为代表的新数字技术在核领域应用的基础研究工作，涉及新数字技术应用的效益、挑战和安全评估框架等多个方面。

IAEA 在 2022 年发布了报告《人工智能加速“核”的应

用、科学与技术》，经合组织核能署在 2024 年发布了报告《用于核工程科学计算的人工智能和机器学习基准》，英国核监管办公室（ONR）在 2022 至 2023 年间牵头实施了首批核领域人工智能监管沙盒试点项目，并于 2024 年发布政策文件《ONR 以支持创新为导向的人工智能监管办法》。此外，ONR 还积极通过核能署联合安全研究项目机制，与加拿大核安全委员会、美国核管委会合作，共同制定核领域人工智能监管原则。

（四）美国加快核安全监管数字化基础设施建设

美国核管委会（NRC）积极致力于数字化转型，旨在建设并保持一个强大的现代化数字基础设施，利用数字技术来提升其安全性、可靠性和效率。其相关工作涉及**四个主要方面**，即监管法规框架更新、新数字技术应用，数字化科研以及网络安全保障。

1. 升级数字化监管法规框架：NRC 持续发布和修订相关联邦法规、监管导则、技术报告、工作指南、办公指令等，对数字仪控系统安全性和可靠性以及网络安全等安全关键项提出安全要求，以应对新兴技术涌现和不断变化的挑战，确保核设施中使用的数字技术和系统安全可靠。

2. 使用人工智能和高级数据分析工具：NRC 正在将人工智能和高级数据分析纳入其监管流程，以分析大型数据集、拓展和深化安全评估、支持决策和加强监管。其成立了人工智能管理委员会，任命首席人工智能官，牵头抓总、统

筹推进人工智能应用工作。同时还提出将人工智能纳入 NRC 监管框架的路线图，涵盖了其监管框架建设、审评队伍建设、国内与国际合作、人才培养和人工智能工具应用与研究等五项重点战略目标。

3. 聚焦数字化关键领域研究：NRC 系统性地开展数字化安全有关课题研究，主要针对数字仪控系统安全、运行经验分析、风险分析支撑的安全评估等七个主要研究方向。例如，为评估环境对数字系统的影响，NRC 专门开展了有关火灾、烟雾、高温、电磁脉冲、空间天气和其他环境因素对数字系统性能和可靠性的影响方面的研究等。

4. 实施先进网络安全措施：NRC 网络安全工作的核心目标是保护数字系统的功能与数据等。所采取的主要措施包括：让安全、应急等关键系统与外部网络隔离，定期开展网络安全保护措施有效性评估和检查，管控 IT 系统和组件供应链风险，持续开展网络安全培训，提高 NRC 工作人员、营运单位人员的网络安全认知和其应对网络威胁的能力等。