

IAEA 核安全标准体系发展态势分析

—IAEA 核安全标准体系 2025—2026 年发展态势分析

在全球核能复兴持续推进以及新一代核技术不断突破的背景下，国际原子能机构（IAEA）核安全标准体系正经历一轮影响深远的转型。作为全球核与辐射安全治理的核心规范框架，该体系长期以来通过统一的原则、要求和导则，支撑成员国构建高水平核安全监管体系。但随着小型模块化反应堆（SMR）、非水冷先进反应堆以及人工智能等新技术的快速发展，原有以大型水冷堆为基础构建的安全标准体系，在适用性和前瞻性方面逐渐面临挑战。2025 至 2026 年期间，IAEA 通过战略规划、标准修订与新技术适配等多项举措，推动核安全标准体系由静态规范向动态治理工具转型。

一、战略驱动：IAEA 安全标准进入长期规划阶段

2025 年 5 月，IAEA 安全标准委员会（CSS）通过安全标准长期发展计划（Long-term Plan），明确提出未来十至十五年将对安全标准体系开展系统性评估与优化。该规划强调，面对核技术快速发展和日趋复杂的安全环境，安全标准必须保持适用性并具备前瞻性。这一战略不仅关注具体标准的更新，还着眼于体系结构的整体优化，包括可能对《安全基本原则》（SF-1）进行修订，从源头上强化风险导向理念；通过优化标准制定与评审流程，提升更新效率；通过整合精简现有标准，减少重复与交叉，提高整体一致性和可操作性。

与此同时，IAEA 正在制定与之配套的实施路线图（Roadmap），分阶段明确标准修订、技术适配和体系优化

的具体路径，预计在 2026 年进一步形成可执行方案。这种长期规划与渐进实施结合的模式，改变了以往侧重个别标准修订的做法，使安全标准体系具备了持续演进能力，也标志着 IAEA 正从传统规则制定机构，转向具有战略导向的全球安全治理平台。

二、标准演进：SSR-6 运输规则的技术深化与全球嵌入

在具体标准更新方面，《放射性物质安全运输条例》（SSR-6）2025 版的发布成为最具代表性的进展之一。新版本相较于 2018 版不仅扩展了监管范围，还显著提高了技术要求的精细化程度。其监管对象已从传统运输环节延伸至全生命周期过程，涵盖包装设计、制造、维护、运输、在途储存及最终接收等环节，并在关键安全性能方面设置了更严格的验证标准。

例如，在运输容器设计方面，明确要求容器能够承受 9 米自由跌落冲击和高温火灾条件下的完整性测试，确保极端事故条件下放射性物质不会泄漏；在使用寿命管理方面，引入更加严格的老化评估要求，对材料疲劳、腐蚀和结构完整性进行周期性评估。这些技术要求不仅体现了对安全冗余度的强化，也反映出对实际运输环境复杂性的全面考量。

更具战略意义的是，SSR-6 通过联合国《危险货物运输示范规则》实现国际法规嵌入，并进一步被国际海事组织（IMO）和国际民用航空组织（ICAO）纳入其运输规则体系。这种从 IAEA 标准到联合国规则再到全球强制执行规范的“法规传导链”，使该标准成为少数具有全球强制影响力的安

全标准之一，使 IAEA 在高风险领域实现了真正意义上的国际监管协调。

三、技术深化：安全导则更新推动工程能力提升

在安全导则层面，IAEA 在 2024 至 2025 年集中修订和发布多项关键技术文件，进一步夯实工程技术基础。其中，概率安全分析导则（SSG-4 修订版）重点改进了严重事故分析能力，特别是在堆芯损伤后阶段（Level 2 PSA）的分析方法，增强了对事故发展路径和后果的量化评估能力，从而提高整体安全决策的科学性。

同时，针对极端外部事件的安全导则（如涉及地震与设计扩展条件的系列文件）在后福岛时代背景下继续深化，通过引入多灾种耦合分析方法，将地震、洪水等复合外部事件纳入统一评估框架，使核电厂在超设计基准条件下的安全性能得到更全面验证。此外，环境与公众防护相关导则（如 GSG-19）强化了实时监测与信息沟通机制，推动核设施辐射监测从传统事后评估转向实时风险管理与公众沟通。

这些技术更新共同表明，IAEA 安全标准体系正从单纯的设计安全延伸至覆盖全生命周期与全过程管理，并持续强化其对复杂事故情景的应对能力。

四、运行安全：从工程硬件向组织与文化延伸

IAEA 正在推进的一批草案标准逐步将运行安全及“软要素”纳入重点。其中，正在制定的标准 DS535（核电厂定期安全审查）与 DS513（安全文化与管理体制）均聚焦核设施长期运行阶段。

DS535 强调通过定期安全审查对老化设备进行系统评估，并制定综合安全改进计划，确保运行超过 30 年甚至 40 年的核电机组仍能维持足够的安全裕度。DS513 则进一步将安全文化纳入制度层面，突出管理层责任、组织行为、人员培训及人因工程的重要性，把核安全从“技术问题”拓展为“组织治理”的综合问题。这一变化标志着核安全理念由工程导向向系统性安全转型。

五、新技术驱动：SMR 与人工智能的标准适配探索

在新兴技术领域，小型模块化反应堆（SMR）和先进反应堆成为 IAEA 标准体系调整的重要驱动力。当前全球已有数十种 SMR 及非水冷反应堆设计正在开发，其模块化设计、被动安全系统以及新型燃料与冷却技术等特点，使得传统针对单堆大型水冷堆设计标准，在多模块运行、系统耦合风险及新型安全机制验证等方面存在不足。

IAEA 通过系统性评估发现，现有安全标准总体仍具适用性，但在多模块系统级安全分析、被动安全系统可靠性验证以及新型燃料行为分析等具体技术层面，需要补充指导，相关研究正逐步转化为新的导则或修订内容。

与此同时，人工智能在核电领域的应用正在逐步推进，主要包括设备状态监测、异常识别及运维优化等功能，但 AI 系统的“不可解释性”和数据依赖性也带来了新的安全挑战。IAEA 目前采取渐进式策略，通过技术文件和指导性报告先行规范 AI 应用，待积累成熟经验后再逐步纳入正式安

全标准体系。这种路径既保证了标准体系的稳定性，又提高了应对新技术的灵活性。

六、综合趋势：从规则体系向全球治理工具演进

总体来看，截至 2026 年，IAEA 核安全标准体系正在呈现出由规则集合向治理体系转型的显著趋势。这一转型表现为标准更新机制更加动态、技术适用性覆盖更加广泛以及国际协调程度不断提高。安全标准不再仅是技术文件，更逐步成为连接各国监管体系、推动核安全协同发展的制度平台。

同时，国际安全环境的不确定性，如地缘冲突、无人机威胁及气候变化等，也促使 IAEA 不断扩展标准内涵，将复杂风险管理纳入体系，使核安全从单一工程风险管理向综合风险治理转变。

未来，随着新技术不断应用以及核能在全球能源结构中的地位进一步提升，IAEA 安全标准将继续保持动态演进，其在全球核安全治理体系中的基础性与引领性作用也将进一步增强。

总体运行与质量保证部 张振华 供稿

编译自国际原子能机构官网