

附件 2

《小型核动力堆核安全监管的技术政策(征求意见稿)》
编制说明

国家核安全局

目 录

一、编制背景	1
二、编制原则	1
三、编制过程	2
四、主要编制内容	4
五、关键技术问题的考虑	4
(一) 小型核动力堆的定义	4
(二) 小型核动力堆的安全目标	5
(三) 关于纵深防御的问题	7
(四) 小型核动力堆的状态划分	8
(五) 关于“实际消除”概念的应用	9
(六) 概率安全分析技术在小型核动力堆的应用	10
(七) 事故管理规程和指南	11
(八) 关于小型模块化核动力堆控制方式的一些问题 ..	11
(九) 设计中试验、检查和维修的可达性考虑	12
(十) 重要设计准则 (Principal Design Criteria)	12
六、适用性说明	13

一、编制背景

目前，我国小型核动力堆产业技术研发与工程转化同步推进，已形成多技术路线并行发展的格局：华能山东石岛湾高温气冷堆示范工程已实现发电，采用“玲龙一号”小型压水堆的海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程已进入调试阶段，小型模块化钍基熔盐堆研究设施、山东海阳一体化小型堆、NHR200-Ⅱ低温供热堆、ACPR50S 实验堆平台等一些项目的设计和建设也在推进过程中。通过近年来审评监管实践，我们对安全问题的认识也更加深入。同时，业界充分认识到小型核动力堆的技术特征有别于传统大型压水堆，法规中的具体安全概念和安全要求，需结合小型核动力堆设计和运行特点进行应用和落实。针对小型核动力堆自身特有的一些技术特征，也应建立相应的安全要求和准则。对此，国家核安全局依托工业界共同探索和研究，开展了大量针对新堆型的审评方法优化工作，并形成了诸多成果。这些成果在华能山东石岛湾高温气冷堆示范工程和海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程的安全审评中得到了检验，获取了大量宝贵的经验。因此，有必要制订本技术政策，以巩固这些经验和认识，进一步明确国家核安全局关于小型核动力堆重要安全问题的技术立场，为小型核动力堆的安全设计和审评监管提供指导。

二、编制原则

本技术政策的编制思路仅聚焦小型核动力堆的技术特征，有针对性地明确国家核安全局关于小型核动力堆某些重要安全问题的技术立场，对于现行法规中适用于小型核动力堆的技术要求直接沿用，不在技术政策中赘述。

本技术政策制定的技术依据是我国相关法律法规、国家标准、国外的法规标准和技术文件等，并结合石岛湾模块化高温气冷堆示范工程和海南昌江多用途模块式小型堆科技示范工程审评实践以及国际上对小型核动力堆安全研究的最新进展，主要参考文献如下：

- (一)《核动力厂设计安全规定》，HAF102-2016；
- (二)《核动力厂调试和运行安全规定》，HAF103-2022；
- (三)《核动力厂环境辐射防护规定》，GB6249-2025；
- (四)《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》，
GB18871-2002；
- (五)《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》；
- (六)《高温气冷堆核电站示范工程安全审评原则》；
- (七)《风险指引型非轻水反应堆执照基准开发导则》
(NNSA-232)；
- (八) Guidance for Developing Principal Design Criteria for
Non-Light-Water Reactors (revision 0), RG1.232；
- (九) Policy Statement on the Regulation of Advanced
Reactors, 73 FR 60612。

三、编制过程

2024年9月，国家核安全局向核与辐射安全中心下达工作任务《小型反应堆安全监管技术政策研究编制》，要求中心调研国外小型堆监管政策方面的进展，结合国内小型堆设计特点、发展现状，开展技术政策的编制工作。

2024年9月，核与辐射安全中心组织成立了技术政策编制

组。通过充分调研美国核安全管理委员会先进堆相关导则以及我国有关法规标准、审评原则和技术文件等，编制组研究确定了技术政策的编制原则和基本框架。

2024年12月，编制组完成了《陆上小型核动力反应堆核安全监管技术政策（初稿）》。

2024年12月，组织召开第一次专家审查会，对初稿文件进行了深入和细致的交流讨论，与会专家重点关注了小型堆的主要技术特征、简化场外应急的技术条件、实际消除大量放射性释放、非轻水小型核动力反应堆的特殊要求等内容，会议要求根据专家意见进一步完善技术政策。

2025年7月，编制组根据专家意见完成了《陆上小型核动力反应堆核安全监管技术政策（修订稿）》。

2025年7月，组织召开第二次专家审查会，与会专家一致认为修订稿修改后可报国家核安全局在行业内征求意见。根据专家意见，文件名称修改为《小型核动力堆核安全监管的技术政策》。

2025年10月，编制组完成《小型核动力堆核安全监管的技术政策（征求意见稿）》，并提交国家核安全局。随后，国家核安全局面向行业征求意见。

2026年1月，共收到各单位正式反馈意见84条。编制组对反馈意见进行了深入研究和讨论，采纳（含视同采纳）50条反馈意见，不采纳34条，编制组对意见进行适当处理后形成送审稿，并提交国家核安全局。

2026年1月，国家核安全专家委员会核设施设计建造运行分委会审议通过《小型核动力堆核安全监管的技术政策（送审

稿)》，专委会审议了送审稿和征求意见处理情况，并提出了进一步的修改意见，同时认为修改后可作为《小型核动力堆安全监管的技术政策（报批稿）》报送生态环境部（国家核安全局）。

四、主要编制内容

本技术政策包含三个章节：

第1章介绍了技术政策的编制背景、小型核动力堆的技术特征、编制目的和适用范围。

第2章阐述了国家核安全局在小型核动力堆的安全目标、纵深防御概念在小型核动力堆的应用、小型核动力堆的状态划分、关于“实际消除”的概念、事故源项、概率安全分析技术的应用、事故管理规程和指南、关于小型模块化核动力堆控制方式的一些问题、设计中试验检查和维修的可达性考虑、非安全系统特殊管理要求的考虑、防商用飞机恶意撞击的考虑等的技术立场。

第3章描述了为推进小型核动力堆的开发，亟待开展的若干重要工作，包括：重要设计准则的制定、安全分析程序的开发和验证、新型材料和工质性能数据的获取、放射性源项数据的获取、设计验证工作、设计过程中调试工作的考虑、设计过程中对运行限值和条件的考虑、其他重要工作等。

五、关键技术问题的考虑

根据我国小型核动力堆设计和审评的实践，本技术政策重点针对可能影响小型核动力堆设计和安全监管的若干重要安全问题，提出技术立场，主要考虑如下。

（一）小型核动力堆的定义

关于小型核动力堆的定义，工业界虽倾向明确功率界限，但

受不同堆型特性差异的影响，单一功率指标定义并不合理。因此，小型核动力堆的核心特征可概括为：额定功率相较于大型堆降低约一个数量级及以上，并由此衍生出安全、结构、多用途应用等多方面的特征。

大型百万千瓦级反应堆额定热功率约为 3000 兆瓦，而小型核动力堆额定热功率通常控制在 300 兆瓦左右，功率的显著降低使得安全装置体积大幅缩减，为一体化设计提供了有利条件。这种一体化设计并非单纯追求结构集成，核心是通过简化安全系统架构，规避主管道双端剪切断裂等传统问题。另外，额定热功率大幅降低导致衰变热相应减少。衰变热降低后，可采用非能动安全系统，这通常被认为有助于提升安全水平。同时，额定热功率的降低也使得堆芯放射性物质的总积存量显著降低，在事故工况下，可向环境释放的放射性源项总量相应减少，为小型核动力堆的多用途应用（如区域供热）创造了条件。

（二）小型核动力堆的安全目标

《小型压水堆核动力厂审评原则（试行）》要求“小型压水堆核动力厂在不采取场外干预措施的条件下，应该为公众提供比大型压水堆核电厂采取场外干预措施更高的保护水平”。该要求的提出，主要基于两方面现实考量：一是小型压水堆在经济性方面面临较大挑战，若沿用大型压水堆的场外应急准备模式，将进一步削弱其经济可行性；二是小型压水堆的发展依赖多用途属性及靠近用户的布局特点，这对传统场外应急准备工作形成了客观限制。

实际上，无论是大型压水堆还是小型核动力堆，其基本安全

目标都是一致的，即在核动力厂中建立并保持对放射性危害的有效防御，以保护人与环境免受放射性危害。2008年，美国核管会在联邦公报上发布的《先进堆监管技术政策》指出“关于先进反应堆，委员会明确要求：它在保护环境、公众健康安全以及维护共同防御与安保方面，至少要达到当前一代轻水堆的保护水平”。从监管一致性角度出发，我国对小型核动力堆的要求与美国相同，即小型核动力堆应为公众、环境提供与大型压水堆同等水平的安全保护，这意味着小型核动力堆简化场外应急的前提，是将大型压水堆通过场外应急干预措施实现的附加保护效能，转化为其自身的内在安全保障能力。

为具备可操作性，本技术政策推荐采用下述概率安全目标，作为衡量是否满足小型核动力堆基本目标的辅助指导值：在事故的整个持续时间内，所有导致非居住区边界外公众个人可能受到的有效剂量超过 50 毫希沃特的事件序列的累积频率应小于 10^{-6} /堆·年。其中累积频率 10^{-6} /堆·年与大型压水堆是一致的，体现了监管的一致性。而“大量放射性释放”的界定标准 50 毫希沃特对应 GB18871 中临时撤离的干预水平，为小堆技术上实现简化场外应急准备以“贴近用户”提供了技术条件。需要指出的是，目前提出的概率安全目标更具备普适性，对没有堆芯熔化概念的采用燃料和冷却剂均匀一体设计的小型核动力堆也适用，对于具有堆芯熔化的小型核动力堆可以增加传统的概率安全目标。文中事件序列是指始发事件发生后，一系列事件（如系统、功能和操纵员响应）的成功或失败，并最终成功缓解或者导致不希望后果（如堆芯损坏）的事件情景。上述定义源于《核动力厂和研究堆

核安全监管术语、缩略语》(HAD001/01), 事件序列包括事故序列。

技术政策中提出“对于拥有更多数量小型核动力堆或小型模块化核动力堆的厂址, 需要在评价厂址整体风险的基础上, 对概率安全目标进行合理的调整”, 明确了安全目标适用于小型核动力堆有限规模的部署, 如果未来要部署二三十个甚至三四十个模块, 安全目标可能需要调整。但短期来看, 现有设计需求主要集中在单厂少量机组的安全目标应用上。但考虑到未来多堆厂址的发展趋势, 需将“多堆厂址整体风险评价及概率安全目标的合理调整”作为一项重要的研究课题在技术政策中予以保留, 以便在后续工作中深入论证。

(三) 关于纵深防御的问题

纵深防御概念作为应对人类认知不确定性的措施之一, 其核心原理是通过分层设防补偿认知局限性。基于此, 在人类认知较为充分的技术领域, 应适度简化纵深防御措施; 在认知尚不深入的技术领域, 则需强化纵深防御配置。目前, 纵深防御概念在核电领域已形成长期应用传统并具有充足的实践基础, 其有效性得到了充分的验证, 小型核动力堆的安全设计与监管仍需坚守这一概念。正确理解纵深防御概念, 对其在小型核动力堆中的准确应用至关重要, 因为纵深防御将极大影响小型核动力堆的安全监管理念构建与相应安全要求的设定。本技术政策关注了以下两个重要问题:

其一是关于小型核动力堆的纵深防御层次设置的问题。《核动力厂设计安全规定》规定了纵深防御的五个层次, 但这是来自

大型轻水堆核电厂的安全实践。对小型核动力堆而言，必须全面理解纵深防御概念并加以合理地利用，应将前三个层次，至多第四个层次的防御作为重点，从而实现“在不依赖场外干预措施的情况下，对公众的保护水平与大型核电厂采取场外干预措施所能达到的公众保护水平相当或更高”。具体而言，场外应急准备不应作为小型核动力堆实现基本安全目标的必要依赖，所有的大量放射性释放都应该“实际消除”，否则可能会动摇小型核动力堆的发展前提。

在《核动力厂设计安全规定》中对纵深防御概念的另一个应用是“多道屏障”问题，首先需明确的是多道屏障并非特指轻水堆的“三道屏障”，后者是轻水堆技术路线下的特定配置，不能作为小型核动力堆多道屏障的通用标准。其次，屏障的安全裕度也是纵深防御的重要组成，例如：高温气冷堆应该把包覆颗粒燃料作为主要屏障，通过保证充分的安全裕度来保证纵深防御；最后，多道屏障不应局限于实体结构，需认可“功能屏障”的重要性。例如：熔盐堆的熔盐介质可作为包容放射性物质的关键“功能屏障”，纳入多道屏障体系进行安全评估与监管。

（四）小型核动力堆的状态划分

小型核动力堆的状态划分为正常运行工况、预计运行事件、稀有事故、极限事故和设计扩展工况。预计运行事件、稀有事故、极限事故参照始发事件发生频率，并参考已有的和其他堆型的经验来确定，设计扩展工况由概率论、确定论并结合工程判断所确定，与《核动力厂设计安全规定》保持一致。

预计运行事件、稀有事故和极限事故的有效剂量限值取自

GB6249-2025, DEC-A 参考《小型压水堆核动力厂安全审评原则（试行）》，DEC-B 的有效剂量限值 50 mSv 与安全目标中大量放射性释放的判定准则一致。

（五）关于“实际消除”概念的应用

“实际消除”概念起源于法国与德国联合研发欧洲压水堆（EPR）期间，由两国核监管当局提出，其初始内涵带有明显的“确定论”色彩。例如，通过规定安全壳设计压力需覆盖大破口失水事故叠加 100% 锆水反应产氢燃烧的工况、设置堆芯捕集器、配置可靠的高压熔堆卸压装置等具体技术要求，法、德核安全当局认为满足上述条件即可实现“实际消除”目标。然而，当国际原子能机构（IAEA）采纳该概念并试图将其推广为普适性标准时，其内在的科学性与合理性问题逐渐显现。首先，IAEA 将“实际消除”定义为“实质上不可能”及“极高置信度下的极低概率”，该表述实质回归至概率或风险范畴。从技术逻辑而言，若采用概率化描述，直接使用风险或概率术语更具明确性与一致性。此外，IAEA 的定义缺乏可操作性，而可操作性是监管执行与技术落地的核心前提。

国家核安全局在制定大型压水堆审评原则时，结合国内外研究和实践确定了“如果该事件或事件序列在 95% 置信度下发生频率低于 10^{-7} /堆·年，则可认为该事件或事件序列被实际消除”，本技术政策同样采用这一辅助判断值。需说明的是，95% 置信度作为高置信度标准，在国际核安全领域（如美国）已形成广泛共识与应用基础。所以可以将该辅助判断值应用于小型核动力堆。

（六）概率安全分析技术在小型核动力堆的应用

国际上，小型核动力堆尚未形成类似大型轻水堆的“处方式”核安全要求体系。构建小型堆安全要求面临两种技术路径选择：一是沿用大型轻水堆的发展模式，通过专题研究与专家论证，针对具体技术问题制定明确要求；二是采用风险指引的技术路径，以风险量化评估为基础建立安全要求框架。从我国核能行业实际情况看，受技术基础与能力限制，部分业内人士倾向于选择第一条路径。但是我国大型压水堆的“确定论安全方法”多采用引进借鉴模式，未深度参与其体系构建过程，导致部分从业人员对该方法存在认知偏差，将其等同于哲学范畴的“确定论”，同时因缺乏系统的概率论安全方法训练，对两类方法的理解均存在知识短板。例如，国内常以“缺乏数据”为由质疑概率论安全方法的适用性，实则数据可分为两类：一类是可验证数据（如瞬态发生频率、设备可靠性数据等），另一类是先验数据（如事故发生频率等）。即便是大型轻水堆，其瞬态频率与设备可靠性数据可通过运行堆年积累得到验证，但事故发生频率仍需依托理论研究及跨行业经验借鉴进行判定。

综合而言，尽管概率论安全方法仍存在待完善之处，但其整体合理性显著优于所谓“确定论安全方法”。对于大型轻水堆，概率论安全方法是有效的安全优化工具；而对于小型核动力堆，该方法的应用直接关系到发展。因此，在小型核动力堆发展进程中，必须积极推动风险指引方法的全面应用，以此构建适配其技术特性的安全监管体系。

（七）事故管理规程和指南

小型核动力堆具备堆芯额定热功率小、堆芯衰变热少、堆芯放射性物质的总积存量大大降低等技术特征，应该可以通过设计来“实际消除”大量放射性释放，所以小型核动力堆的严重事故管理重点应该放在利用设施已有能力进一步降低堆芯损坏的可能性和减轻事故后果上，而不是要增加专门的设施。

另外，小型核动力堆应制定大范围损伤管理指南，用于应对由超设计基准外部危险导致的工况，以控制事故进程并尽量减轻其后果。还应制定事故管理指导性文件，清晰界定各种事故管理指导文件的接口关系，确保事故管理策略的一致性和有效性。

（八）关于小型模块化核动力堆控制方式的一些问题

若建设数十个模块的小型模块化反应堆，为每个模块单独配置控制系统可能并不现实。因而可能采用单个主控室、特别是单个控制盘控制数个模块的设计。但采用这种共用控制盘设计的核心矛盾在于控制权分配，即操纵员通过单个控制盘同时管控多个机组的可行性与安全性。所以此类设计必须经过充分的理论分析和安全评估，且需开发适用的模拟机开展验证试验。而当前核电厂所用模拟机均为单机组配置，无法满足多机组共用控制盘的验证需求。若未来需实现单个控制盘对不同模块反应堆的控制，需专门建设专用模拟机，针对多模块协同控制功能开展系统性验证。同时，建议在正常运行、异常工况及事故工况等全场景下，明确操纵员及控制系统各自需完成的核心任务，科学开展人机任务分配。任务分配完成后，需通过专项试验验证操纵员对所承担任务的胜任能力。

(九) 设计中试验、检查和维修的可达性考虑

小型核动力堆因空间布局紧凑，工程设计阶段开展结构设计时需进行针对性地优化重构，重点统筹考虑试验、检查和维修的可达性，以满足规范规定的试验、检查和维修的可达性要求，坚决杜绝建成后再补救的情况。

另外，确因某些原因在设计中无法实现试验、检查和维修的可达性，应进行必要的论证，并采取替代性措施。

(十) 重要设计准则 (Principal Design Criteria)

美国 10CFR50 附录 A“通用设计准则(General Design Criteria)”为水冷核电厂的重要设计准则设定了最低要求，适用于设计方案与厂址条件均类似于已获得 NRC 建造许可证的核电厂，也可指导其他类型机组建立重要设计准则”，所以轻水堆的重要设计准则是根据通用设计准则编制的。美国 10CFR50 附录 A 中要求“拟议设施的建造许可申请必须包括重要设计准则报告”。

通用设计准则的制定初衷是通过明确美国原子能委员会(美国核管会的前身)现有的要求，提高不同类型大型水冷核电厂设计在许可流程中的可预测性，其发布是直接响应米切尔委员会(Mitchell Panel)的建议“美国原子能委员会应更精准、更贴合实际地界定申请者在建造许可证阶段需提交的信息范围。”通用设计准则旨在提供设计目标，而非可全面、充分衡量反应堆安全性的精确试验方法或方法论，未来还将通过制定更具体的法规，进一步细化其宽泛的要求，美国核管会以通用设计准则为起点构建了轻水反应堆的法规体系。由于通用设计准则对非轻水堆的技

术适配性不足，美国核管会随后发布了 RG1.232，用于指导非轻水反应堆重要设计准则的编制。

在我国，由于小型核动力堆的技术特点和安全特性与大型轻水堆可能存在重大差异，所以为了充分了解小型核动力堆的具体安全设计与顶层安全原则要求的差距，在关键安全问题上提前明确解决方向和思路，需尽早开展重要设计准则的制定工作。其编制应遵循以下策略：依据反应堆类型、系统结构特点等设计特征，选取通用设计准则（GDC）或 RG1.232 中先进反应堆设计准则（ARDC）等标准设计准则作为基础模板，在此前提下开展准则适用性分析，即对适用准则直接采纳，对部分适用准则进行修改或借鉴其他设计准则完善，对需补充或剔除的准则相应进行新增或删除处理，最终完成重要设计准则的编制。

六、适用性说明

本技术政策是在《中华人民共和国核安全法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《核动力厂设计安全规定》（HAF102）和《核动力厂调试和运行安全规定》（HAF103）的基础上编制的。该技术政策采纳了世界各国核安全实践最新发展成果，并结合我国实际情况加以针对性的修改，以与我国现行核安全法规、导则和技术文件相协调，适应于我国核安全监管模式和小型核动力堆行业的发展现状。它的发布和实施将促进我国小型核动力堆的安全有序发展。