

IAEA 发布监管合作工具包：为全球先进堆跨国许可 “架桥铺路”

在核能协调与标准化倡议（NHSI）框架下，国际原子能机构（IAEA）与小型模块化反应堆监管者论坛（SMR RF）联合发布《监管合作工具包：应对监管差异领域的方法》（以下简称《工具包》）。作为 NHSI 第二阶段（2025-2026）重要成果文件，该报告为各国监管机构应对先进反应堆设计审评中的监管差异，提供了一套系统的识别、分类和处置流程，以减少跨国许可中的设计变更和许可复杂度。

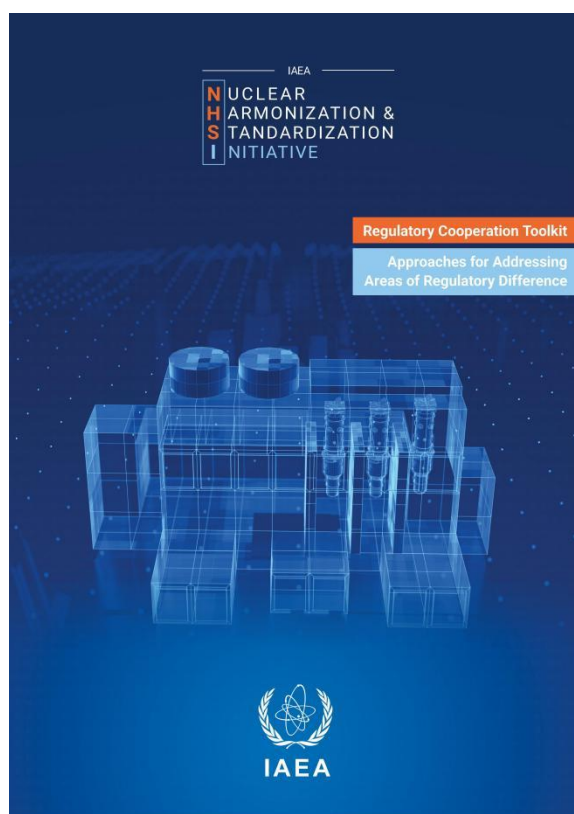


图 1 《监管合作工具包：应对监管差异领域的方法》

多国专家及国际组织共同参与编制

NHSI 由 IAEA 于 2022 年初设立，分为“工业”和“监管”两条轨道（Track），旨在协调和标准化监管与工业方法，支持全球安全部署先进核反应堆，特别是小型模块化反应堆（SMR）。第一阶段（2022—2024 年）已形成协作审评、联合审评和借力审评三类监管合作方法。本次发布的《工具包》是“监管轨道”第二阶段（2025—2026 年）的重要成果。

来自阿根廷、巴西、加拿大、中国、捷克、芬兰、法国、德国、印度、日本、韩国、荷兰、波兰、罗马尼亚、俄罗斯、英国、美国等 25 个国家监管机构和工业界的专家参与了该文件的编制工作，欧盟委员会、经合组织核能署以及世界核协会合作研发与许可工作组（CORDEL）作为 SMR RF 常设观察员亦参与其中。

监管差异：全球核电部署的“隐形壁垒”

尽管各国核监管框架均以 IAEA 安全标准为基准，但具体的国家法规、导则和审评实践仍存在显著差异。这些差异可能源于不同的监管哲学、历史发展路径，甚至是非核领域的建筑规范与环保要求。

当同一反应堆设计需要在多国申请许可时，这种差异往往迫使开发商重新编制安全论证，甚至修改设计。文件指出，这不仅增加了项目总体成本，还阻碍了监管机构之间的合作与审

评互认，“不同国家监管要求存在差异，不仅妨碍了监管合作，也抑制了对已有安全评估成果的利用”。国家监管差异可能构成新建设项目重大障碍，而监管框架变革往往需要数年甚至数十年。

通用处理流程

《工具包》给出了识别、分类和处理监管差异的示意性流程，包含以下六个步骤。

第一步：识别差异。识别出存在监管分歧的具体议题或问题。虽然部分差异可能在监管合作早期阶段已被察觉，但重要的是对其进行彻底、一致的记录，例如通过表格收集所有已识别的差异。启动该步骤所需的信息可由供应商和/或申请方提供。

第二步：初步筛查。判断差异对设计带来的风险是否具有可忽略的影响，或仅产生轻微影响；同时考虑议题对设计本身的影响。建议监管机构与供应商和/或申请方沟通，识别哪些差异确实属于细微差异（例如，对项目时间进度、成本或关键节点没有影响的差异）。对于此类低影响差异，建议在审评中予以记录，但无需采取进一步行动。

第三步：分类归因。对未在上述步骤中处理的议题，根据其差异来源归为四大类：**A 类**（因监管实践不同而产生的差异）、**B 类**（因具有法律约束力的监管要求不同而产生的差异，

但两者意图相近）、C 类（因法规要求存在根本冲突而产生的差异）、D 类（因非核监管要求而产生的差异）。

第四步：评估安全重要性。对已经识别、分类且未在前期筛查中排除的差异，评估其安全重要性。若判定安全重要性较低，监管机构可以重新审视是否有必要满足该要求，或更容易调整自身做法，以适应对方监管要求。

第五步：采取行动。基于差异的类别和安全重要性，决定是协调统一监管方法，还是保留差异。保留差异可能涉及考虑对规则/要求的例外（不做更改），或考虑可行的设计变更以同时兼顾两套监管要求。文件强烈建议在考虑设计变更时让供应商和/或申请方参与，并警惕那些看似原则上可行、实则可能因累积效应或后续不可预见的连锁影响而变得繁重的变更。

第六步：记录归档。完整记录整个流程各步骤中做出的决定和采取的行动，包括被判定为影响可忽略而在第二步中筛选的议题，以及在第三步中已分类、第四步中已评估，但被判定为重要性较低的差异。尤为重要是，在第四步中被判定为具有重要性并导致协调统一、保留差异和/或设计变更的差异，应准确记录采取行动的依据。最终，应将达成的立场及其理由传达给所有利益相关方，包括监管机构、供应商和申请方等。

文件强调，该流程为通用框架而非强制性规定，鼓励各国监管机构结合实际调整。

监管差异类别

上述第三步中，根据来源，《工具包》将监管差异分为四类并分别给出实例和良好实践：

A 类——监管实践差异

差异并非源于法规本身，而是审评方法、监管期望或文化不同。例如，同一堆型在 A 国采用非能动自催化复合器并以简化积分模型论证平均氢气浓度低于可燃限值，B 国则要求开展计算流体力学（CFD）模拟等详细分析以识别局部浓度超限区域。尽管最终安全目标一致，但分析方法的分歧可能导致设计或安全论证路径的差异。

此类差异的良好实践包括：监管机构内部澄清自身实践逻辑；建立对口联络团队；组织聚焦单一议题的技术研讨会；识别超越条文表面的底层安全目标；建立共享先例库；让供应商尽早参与技术演示；借助 SMR RF 等国际论坛推动双边对话等。

B 类——法定要求不同但意图相近

法规条文或标准不同，但底层安全目标一致。例如，各国对非水冷堆（如熔盐堆或高温气冷堆）的“严重事故”定义在水冷堆传统语境下需重新诠释；又如加拿大强制采用的 CSA N286 质量保证标准与美国要求的 ASME NQA-1 存在管理架构差异，但两者均旨在确保核设施质量。

良好实践包括：供应商及早规划多国部署并开展差距分析；监管机构开展跨国对标（如比利时联邦核监管局曾参照西欧核监管机构协会的参考水平对标德国、法国、荷兰和瑞士）；制定明确的豁免标准（安全水平不降低、不削弱纵深防御、不危及公众健康即可通过替代方案满足意图）；运用功能等效和基于性能的方法；通过更新低层级导则或技术规范促进协调等。

C 类——法规根本冲突

两国法规存在不可调和的矛盾，无法通过解释或妥协解决。例如，A 国对职业照射（如眼晶体剂量）的限值高于 B 国，而 B 国要求更严格的多年平均暴露控制。若设计针对 A 国优化（如依赖行政控制而非屏蔽），可能无法满足 B 国要求，此时必须考虑工程设计变更。

良好实践包括：采用标准化记录格式记载差异及各方论证；公开记录不协调的理由；建立案例库以支持持续改进；与其他监管机构保持密切沟通避免意外等。

D 类——非核监管要求差异

差异来自核安全监管框架之外的法规，如建筑规范（Eurocode 与美国土木工程师学会标准）、消防标准（美国国家消防协会与国标）、环境噪声限值或钢筋尺寸单位（英制与公制）。这些要求可能迫使供应商调整建筑布局、结构配筋或降噪措施。

良好实践包括：供应商在预许可阶段即主动识别潜在非核监管问题；尽早与电网、化学品安全、土木工程等其他主管部门协调；采用灵活的风险指引型可选方案；建立结构化评估与解决机制等。

明确供应商责任

《工具包》要求供应商和/或申请方在采用已由技术引进国监管机构审评的设计时，首先对两国监管要求和实践开展比较分析，覆盖所有适用法规（核、环境、工业等），以最大程度借力既有审评、避免重复工作。早期沟通应聚焦设计属性、安全论证和设计裕量，识别接收国独特要求并制定关闭策略。解决独特监管问题所投入的精力应与差异的安全和风险重要性相称。

实证对比分析

文件附录以对比表格形式展示了美国核管理委员会（NRC）与加拿大核安全委员会（CNSC）在实践中的具体差异。

- 设计基准事故剂量与安全目标评估：NRC 传统方法侧重确定性分析，其许可现代化项目（LMP）引入概率方法；CNSC 采用确定性与概率性相结合的混合路径。NRC 使用连续的频率-后果曲线对许可基准事件进行风险指引分类，CNSC 则采用离

散阈值。

- **SSC 安全分级**：CNSC 允许对安全重要性的结构、系统和部件（SSC）进行分级分类；NRC 传统框架下由设计者选定一组“安全相关”（SR）SSC，其余可能归为“非安全相关但特殊处理”。差异可能导致部分 SSC 需按更严格标准处理。

- **质保标准**：加拿大采用 CSA N286，美国采用 ASME NQA-1。尽管管理架构存在差异，但 CNSC 在供应商设计审查中发现，ASME NQA-1 基本可满足其监管意图。

结语

随着全球对先进核反应堆特别是 SMR 的兴趣日益增长，监管差异已成为制约其安全、高效、跨国部署的突出瓶颈。同一设计在不同国家面临迥异的审评要求，不仅导致开发商被迫重复编制安全论证、反复修改设计，推高项目总体成本，更阻碍了监管机构之间共享审评成果、开展实质合作。

此次发布的《工具包》为各国监管机构提供了一套共通的语言、系统的流程和经实践检验的良好做法，以区分“可以通过技术对话协调的差异”与“必须修改设计才能化解的冲突”。通过识别差异来源、评估安全重要性、明确协调路径，该文件旨在最大限度减少不必要的设计变更和许可复杂度，支持协作审评、联合审评和借力审评等各类监管合作模式，使监管资源聚焦于真正影响安全的关键议题。

文件坦言，各国法律框架的深层变革并非朝夕之功，但通过透明的技术对话、功能等效认定和早期规划，全球核电监管合作正从“各自为政”走向“协同审评”。作为 **NHSI** 第二阶段的核心成果，该工具包不仅为当下先进反应堆的跨国许可提供了实操指南，更为未来全球核电监管框架的协调与标准化奠定了坚实基础，助力安全、可靠的先进核电技术从图纸加速走向工地。

国际交流合作部张鸥 供稿

编译自 **IAEA**《监管合作工具包：应对监管差异领域的方法》

文章内容不代表本公众观点