

# 关于 10 CFR Part 53 最终规则的解读

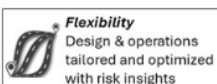
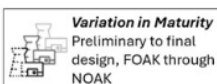
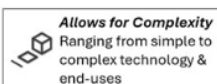
近日，NRC 正式发布《联邦法规汇编》第 10 编第 53 部分（10 CFR Part 53）《先进反应堆风险指引、技术包容监管框架》最终规则，确立了技术包容、风险指引和业绩导向的监管框架，为先进核反应堆的商业化部署开辟了全新的监管路径。该规则将于 2026 年 4 月 27 日正式生效。

Part 53 是 NRC 为落实 2019 年 NEIMA 法案和 2024 年 ADVANCE 法案相关要求的重要成果。新的监管框架从根本上区别于现行的 Part 50 和 Part 52 框架，后者专为轻水堆设计，其指令性条款难以适应小型堆、高温气冷堆、熔盐堆等先进反应堆的技术特性。

Part 53 的核心价值在于：一是技术包容，适用于任何反应堆技术、任何规模、任何商业应用，涵盖裂变堆、聚变堆及各类创新设计；二是风险指引，采用概率安全评估系统性风险评估方法指导监管决策；三是业绩导向，规定安全目标而非强制设计解决方案，为技术创新提供合规空间。

## Part 53 – Risk-Informed, Technology-Inclusive Regulatory Framework for Commercial Nuclear Plants

Safely Enabling Flexibility, Efficiency, and Innovation



## **Part 53 核心特征分析**

### **- 技术包容**

Part 53 确立了技术包容（即技术中立）的监管理念，明确规定该框架适用于任何反应堆技术、任何规模、任何商业应用。首先，技术中立消除了对特定技术路线的监管偏好，确保各类先进反应堆设计能够在同等条件下寻求许可。无论是小型堆、高温气冷堆、熔盐堆、快堆，还是聚变堆及其他创新设计，均可在此框架下提出申请。其次，技术中立为未来技术发展预留了合规空间。监管框架不预设技术边界，新涌现的反应堆技术无需等待法规修订即可寻求许可，显著提升了监管体系的技术适应能力。再次，技术中立促进了技术竞争和创新。申请人可根据市场需求和技术优势选择最优技术路线，监管框架不构成技术选择的制约因素

### **- 风险指引**

Part 53 采用风险指引方法来指导监管决策的核心特征包括：**一是**开展整体风险评估。要求申请人开展系统化分析，全面识别潜在事故场景、评估风险贡献、确定安全重要构筑物、系统和部件。风险评估结果成为监管决策的重要依据。**二是**聚焦风险管理。根据风险评估结果确定安全分级，将资源投入风险贡献最大的领域，避免过度设计和资源浪费。**三是**综合考量纵深防御。风险指引方法并不取代纵深防御原则，而是将纵深防御要求纳入整体风险考量，确保在适当考虑可靠性和后果的前提下实现安全目标。

## - 业绩导向

Part 53 采用业绩导向的方式来规定安全目标和性能准则，而非强制要求具体的设计解决方案。这一方法的监管逻辑一是**更重视目标导向**，即监管框架规定需要实现的安全性能目标，申请人可自主选择实现这些目标的技术方案。这为创新设计提供了合规路径，避免了指令性条款对技术创新的制约。二是**更重视性能验证而非设计验证**。监管审评聚焦于安全性能是否达标，而非设计是否符合预设模板。申请人需通过分析、测试或运行经验证明设计方案能够实现规定的安全目标。三是**更重视持续监测而非一次性审评**。业绩导向的方法要求建立持续的性能监测机制，确保反应堆在运行中持续满足安全性能要求，而非仅依赖设计阶段的审评。

## **Part 53 新规亮点分析**

### - 风险方法的灵活使用

Part 53 要求通过系统性风险评估方法来明确风险。这些工具用于获取风险信息，并用于评估和管理安全。

### - 一般许可反应堆操纵员（GLRO）

允许某些设施，特别是那些具有自主缓解能力的设施（例如不依赖人员执行核心安全功能）在一般许可框架下运行，从而在特定情况下减少针对场址的操纵员许可需求。

### - 替代性厂址准则

Part 53 规定设施可选址于人口密度高于以往允许的区域，前提是开展社会风险评估证明社会效益（如清洁能源供应、工业热力支持、就业创造）超过风险（如潜在事故后果）。这一条款使得小型堆能够更靠近用电区域，如工业设施附近、城市边缘地带等，具有重要的市场拓展意义。

#### **- 制造厂燃料装载**

Part 53 允许在制造厂完成燃料装载，随后将装有燃料的反应堆运输至商业核设施运行。这一条款释放了小型堆工厂制造的商业模式潜力。反应堆模块可在制造厂批量生产、完成装料和测试，以标准化产品形式交付运行现场，降低了现场建设复杂性和不确定性，对于工厂制造的小型堆和小型反应堆具有重要的商业价值。

#### **- 扩大规范和标准的应用**

Part 53 允许使用公认的规范和标准（包括非核标准），允许申请方能够根据实际安全重要性来选择适用的标准体系，同时在适当情况下使用商品级物项。

#### **- 摒弃单一故障准则**

Part 53 不再要求单一故障准则，其整体风险指引方法要求通过风险评估、纵深防御考量和性能监测的组合，确保在适当考虑可靠性和后果的前提下实现安全目标。

单一故障准则传统核安全设计的基石，要求安全系统在任意单

一部件失效情况下仍能执行安全功能。这一准则在轻水堆设计中发挥了重要作用，但对于具有固有安全特性的先进反应堆，单一故障准则可能导致过度设计。

### **- 综合危害评估**

以综合评估（涵盖内部危害、外部危害和安全威胁，包括对电厂大范围影响的缓解）替代原有的设计基准要求（如飞机撞击分析）。

### **- 减少额外审批需求**

采用风险导向方法开展电厂设备管理与程序性管控，可提升运行灵活性，并有望降低后续豁免申请或许可证变更的需求。

### **- 功能性包容**

Part 53 引入“功能性包容”概念，定义为有效限制放射性物质从反应堆向环境迁移的一道或多道屏障。这一概念为不采用传统压力容器包容的反应堆设计提供了合规路径。

传统的监管框架强调实体包容，即通过压力容器、安全壳等实体屏障来限制放射性物质。然而，对于燃料涂层的固有包容、熔盐体系的化学包容等新型包容方式，传统的实体包容概念难以适用。功能性包容则聚焦于包容的功能目标——限制放射性物质迁移，而不限定具体的实体形式。申请人可通过多种屏障的组合来实现这一功能目标，从而为创新设计提供合规空间。

### **- 灵活的人员配置**

Part 53 允许根据设施的设计和运行特征定制操纵员的配置要求，包括对规模较小或自动化程度较高核电厂减少人员配置。

传统框架下，核电厂需配置多个许可操作员岗位，包括控制室值班、现场巡检、操作授权等。这源于轻水堆的运行特性和人工干预需求。先进反应堆的自动化水平显著提升，许多安全功能由系统自动执行，人工干预需求降低，人员配置要求应相应调整。Part 53 的人员配置灵活性使申请人能够根据实际运行需求设计人员配置方案，在确保安全的前提下优化人员成本。这一条款对于小型堆等设计为多机组共用控制室、远程监控的模式尤为重要。

#### - 远程操作

Part 53 允许通过远程操作来执行某些运行和维护活动，包括从控制区以外的地点进行，前提是安全重要系统维持在设计参数范围内。

传统框架下，安全相关操作需在厂区内的控制室执行，每座核电厂需配置独立的控制室和操作人员。小型堆的设计理念往往包括多机组共用中央控制室、远程监控和干预等特征，传统框架难以适应这一模式。Part 53 允许远程操作可使多个小型堆厂址能够共用一个中央控制室，通过远程操作来执行安全相关的监控。这一条款有助于提升小型堆运营的经济效率，同时保持了必要的安全保障措施。

#### - 负荷跟踪

Part 53 允许负荷跟踪运行，允许反应堆根据外部信号自动调整功

率输出以匹配电网需求，支持与现代电力系统的整合。

传统核电厂设计为基荷运行，功率输出相对稳定，难以灵活响应电网需求变化。在可再生能源占比不断提升的电网中，基荷电力面临竞争。先进反应堆的设计往往具备负荷跟踪能力，可根据电网调度指令调整功率输出。**Part 53** 的负荷跟踪许可使先进反应堆能够参与电力市场调峰，提供灵活的清洁能源供应，提升市场竞争力。这一条款反映了监管框架对电力市场变化的适应性。

#### - 首堆（FOAK）许可路径

允许早期项目建立许可基准，后续申请可引用该设计基准，从而支持批量化建设和标准化建设。

#### - 标准化设计的优势

对标准设计的批准以及相关问询（信息请求）一旦作出即为最终决定，这种“最终性”也同样适用于标准设计认证申请中所引用的标准批准。

### **Part 53 对申请方的影响**

**Part 53** 框架在多个方面改变了许可流程的格局。其中影响较大的几个方面包括：

#### - 更大的灵活性，也意味着更高的分析要求

**Part 53** 减少了许多为轻水堆量身定制的规范性要求，这在一定程

度上可以简化设计，并减少申请豁免的流程负担。但与此同时，它也加重了申请方的分析负担。申请方必须拿出一套连贯、有说服力的安全论证，且要有概率安全评估和系统性风险分析作为支撑。换句话说，申请方需要更注重风险分析的质量、设计与运行控制的整合能力，以及把整体安全论证阐述清楚。从这个角度看，Part 53 既给了灵活性，也提出了更高的要求：可接受的方法变多了，但对每种方法的论证必须更加严谨。

#### **- 让许可规则与现代技术、实际部署方式保持一致**

新规旨在让监管框架跟上现代反应堆项目的开发和部署节奏。这样一来，申请方可能会发现，自己的监管规划和商业规划能更顺畅地衔接。举个例子：Part 53 引入了新的选址标准，允许把厂址放在更靠近负荷中心的地方，或者与工业设施结合布置。考虑到美国国内能源需求正在快速增长，这一点非常关键。此外，新规还支持远程运行、减少运行人员、自动负荷跟踪等运行方式——以往这些做法可能受到监管限制，而限制本身又会反过来驱动人员配置和运行决策。

#### **- 支持标准化、复制和规模化部署**

该规则支持分阶段许可、首堆项目开发以及标准化设计——这些对于技术复制和规模化推广非常重要。未来核能注定要发展壮大，无论是对第一座反应堆还是后续的多座反应堆，一个可预测、可重复的许可框架都是必不可少的基础。

## 与传统框架对比分析

NRC 现行的 Part 50 和 Part 52 许可法规体系历经数十年发展，为现役轻水堆的安全运行提供了坚实保障。然而，这些法规的核心条款具有显著的轻水堆特性，包括：强制性的单一故障准则、特定的人员配置要求、传统的实体包容概念，以及针对轻水堆设计的厂址选址标准。而对于采用非轻水堆技术的先进反应堆，申请人需通过大量豁免申请来适应这些指令性条款，增加了许可流程的不确定性和时间成本。

NRC 在 2012 年向国会提交的先进反应堆许可报告中指出：“现行法规的核安全理念适用于所有反应堆技术，但其具体且指令性的条款明显聚焦于现役轻水堆。”这一论点揭示了监管框架与技术发展之间的结构性矛盾。

Part 53 与 Part 50、Part 52 框架的根本差异在于监管理念的转变：从指令性设计要求转向性能导向目标，从确定论方法转向风险指引方法，从技术特定转向技术包容。

|        | Part 50 和 Part 52 | Part 53        |
|--------|-------------------|----------------|
| 技术适用性  | 聚焦轻水堆，其他技术需豁免     | 技术包容，适用任何反应堆技术 |
| 监管方法   | 确定论为主，辅以风险考量      | 风险指引为主，整合纵深防御  |
| 要求形式   | 指令性设计要求           | 性能导向目标         |
| 单一故障准则 | 强制要求              | 不强制，以风险方法替代    |
| 人员配置   | 固定岗位要求            | 根据技术特性定制       |
| 厂址选址   | 倾向低人口密度区域         | 社会风险评估方法       |
| 燃料装载   | 仅可在许可现场           | 许可制造厂装载        |

|      |       |       |
|------|-------|-------|
| 远程操作 | 不支持   | 明确许可  |
| 负荷跟踪 | 不明确许可 | 明确许可  |
| 包容概念 | 实体包容  | 功能性包容 |

这一对比揭示了 **Part 53** 的监管创新实质：新框架并非降低安全标准，而是通过方法转型实现安全目标，在确保安全的前提下为技术创新和商业优化提供合规空间。

总的来说，新规不一定会让反应堆许可变得更“简单”，但它确实改变了许可流程中评估和证明安全性的方式——重心转向了“风险指引”和“业绩导向”的分析。

**Part 53** 能否真正成为一个更有效的先进反应堆许可框架，还要看它具体怎么落地。但无论如何，这标志着 **NRC** 在监管方式上迈出了酝酿已久且关键的一步。

对外交流合作部 曾超 供稿

编译自美国 **NRC** 官网、奥睿律师事务所官网、突破研究所官网等

文章内容不代表本公众号观点