

破局与重构：美国核安全监管现代化如何平衡安全与发展

2026年5月20日，美国突破研究所核能创新主任出席美国参议院环境与公共工程委员会清洁空气、气候与核创新安全小组委员会听证会，就核能监管、部署与监督作证。其书面证词深入剖析了当前核安全监管面临的“实施与决策架构”挑战，探讨了如何在确保安全的前提下，通过现代化改革提升监管效率、降低部署成本，并实现核能对社会公共利益的最大化。

引言：美国监管现代化的核心挑战

当前，美国核安全监管面临的核心挑战并非单纯的技术壁垒，而是一个“实施与决策架构”问题。尽管美国国会已通过《核能创新与现代化法案》(NEIMA)和《先进核能加速部署法案》(ADVANCE法案)为美国核监管委员会(NRC)的现代化提供了法律指引，且NRC已取得初步进展，但改革的最终成效将取决于具体的实施细节。

核能不仅是清洁电力的来源，更是电网可靠性、能源安全、国家安全以及工业竞争力的基石。然而，核能项目的部署是一个复杂的系统工程，涉及融资、供应链、公众接受度、环境审查及监管审批等多个环节。任何单一因素的解释都不足以说明美国核能成本高企或工期延误的全貌。

一、核能的系统价值：超越单一维度的考量

核能的价值远不止于清洁发电，在稳定电力供给、市场经济效益、国家能源安全和燃料自主性等多个维度均具有不

可替代的系统性作用。

（一）美国亟需更多稳定电力

美国正进入电力需求快速增长且日益多样化的时期。人工智能与数据中心只是其中一部分，制造业回流、交通电气化、工业脱碳、国防基础设施、半导体制造及人口增长都在增加电网压力。未来几十年，美国将需要远比几年前预测的更为可靠的电力供应。

满足这一需求，需要建设可靠、可扩展、经济且具有长期韧性的能源系统。电网需要的不仅是年度发电量，更需要在需求高峰、天气依赖型资源出力不足、燃料市场紧张及区域输电受限时依然可用的可靠容量。核能是唯一经过商业验证、可大规模部署的清洁稳定电力来源，在可靠性、能源安全、国家安全、空气质量改善、减排和长期价格稳定等方面均可发挥重要作用。

（二）核能的长期系统价值被市场低估

核电厂需要大量前期资本投入，这是美国首堆核电项目融资困难的原因之一。但一旦建成，核电厂可在 40 至 80 年设计寿期内提供稳定、低边际成本的电力。没有其他发电技术能在资产寿命、容量因子、土地利用效率、燃料成本稳定性以及抵御燃料价格波动能力等方面与核能相媲美。

燃料成本在美国天然气电厂运营支出中占 60%至 90%，而在美国核电厂中仅占约 17%。核能发电可降低对批发电价波动的敏感度。电力市场在每小时内优先奖励边际成本最低的资源，但这未必能在数十年的时间维度上产生最低成本或

最可靠的系统。允许长寿命核资产被短期市场波动所削弱，可能造成短期节省的假象，却增加长期成本和系统风险。

2021 年，伊利诺伊州通过《气候与公平就业法案》，设立碳减排信用计划，成功保留了拜伦、德累斯顿和布雷德伍德核电厂。该计划肯定了核电厂提供了批发市场未充分补偿的公共效益。核电厂渡过不利市场周期后，截至 2026 年初已向消费者返还超过 20 亿美元。

（三）核能对能源安全与国家安全至关重要

美国的能源安全与国家安全，与其建设和维持强大国内核工业的能力密不可分。21 世纪，能够提供充足、稳定、安全电力的国家，将在制造业、先进计算、国防准备、工业生产和技术创新方面占据显著优势。

美国在全球核市场面临来自俄罗斯和中国的日益激烈的竞争，两国均制定了长期产业战略，以主导反应堆出口和燃料供应链。俄罗斯目前供应全球相当一部分商业铀浓缩服务。中国正以加快速度建设反应堆，不断强化其劳动力队伍、供应链体系、建造经验、监管能力和出口竞争力。

国内部署与国际影响力不可分割——美国无法仅通过外交手段维持其在全球核市场的强势地位，必须能够证明反应堆可以在本土获得许可、融资、建造、燃料供应和稳定运行。

（四）美国浓缩能力对核部署必不可少

可信的核部署战略需要可信的燃料战略。对现有反应堆而言，这意味着可靠获取铀转化、浓缩和燃料制造服务。对

许多先进反应堆而言，还意味着获取高丰度低浓缩铀（HALEU）。

美国应支持发展更多国内浓缩能力。更强的浓缩产业将减少对国外供应中断的依赖、支持盟国燃料安全、增强先进反应堆开发商的信心、夯实核部署所需的更广泛工业基础。同时，浓缩设施涉及源材料、特殊核材料、实物保护、环境审查、应急规划、退役和长期公众信任等多方面要求。

二、美国监管现代化的痛点与改革路径

尽管 NRC 已着手推进改革，但要实现“安全、可预测、规模化”的许可目标，仍需在以下几个关键领域进行深度调整：

（一）决策架构：从“维持现状”转向“社会利益最大化”

将社会效益纳入监管考量，对有效监管至关重要。监管决策的框架应从“是否有理由偏离现状”转变为“现状是否最大化了社会效益”。

维持现状本身就是一种政策选择，其后果包括清洁可靠能源部署的延迟、对污染能源依赖的延长以及能源安全水平的降低，由此造成的实际社会损害必须与监管考量一同权衡。

公共效益是 NRC 的核心监管责任，应与安全和环境影响在所有重大决策中统筹考虑。公共效益不应被视为竞争性优先事项，而是需要实现的目标，也是安全目标的自然补充。考虑社会效益不等于以牺牲公众保护为代价偏袒行业，而是在严格安全标准的框架内，综合评估经济、环境、公共卫生、

可靠性和国家安全等各方面的后果。

（二）法规标准修订：协调性与透明度挑战

第 14300 号行政令要求 NRC 对其监管框架进行全面修订，这是 NRC 历史上最具雄心的监管修订工作之一。

目前有 27 项行动正在同步推进。大量新法规和修订法规在压缩且重叠的时间表上制定和最终确定，引发了对协调性的担忧。若某项拟议法规的分析基础取决于尚未解决的后续法规标准制定结果，公众将无法有意义地评估该法规在实践中会产生何种要求。在相关法规标准制定完成前先行最终确定的法规，可能锁定基于仍在变动中的框架假设的监管机制。

NRC 的 2026 财年拟议费用法规标准存在明显问题——拟议的固定费用上限试图通过定价机制创造可预测性，但该机制与 NRC 实际开展的工作并不匹配。Part 57 若仅作为另一可选许可路径，可能增加体系复杂性，却未能明确申请人应如何在各路径间做出选择。鉴于 Part 53 已提供技术包容的许可路径，NRC 必须清晰界定 Part 57 的独特定位。

透明度方面同样值得关注。根据第 14215 号行政令，白宫管理和预算办公室下属的信息与监管事务办公室（OIRA）现可审查 NRC 的法规标准制定。这一新增环节延长了法规标准制定周期、减少了公众参与机会，并将委员会对拟议和最终法规标准的投票从公众视野中移除——而这些信息在历史上一直是公众记录和委员会问责的核心机制。

（三）建设标准与质量保证：基于风险分级

核设施施工标准呈现一种反复出现的监管模式：本意合理且基于风险指引的原则，在实践中往往变得绝对化、成本高昂且与安全后果脱节。

NRC 质量保证法规标准在字面上并未如此要求。10 CFR Part 50 附录 B 规定，质量保证控制应“与其安全重要性相一致的程度”适用——这本身是一个风险指引的概念，并不要求每个部件、供应商或施工活动都被视为具有同等安全性。但实践中，NRC 常将附录 B 与 ASME NQA-1——美国机械工程师学会制定的标准，对安全相关核系统及组件的设计、采购、制造、建造、测试和维护规定了详细要求——等同对待。

这一区分对供应链影响深远。许多合格供应商已满足严格的商业、工业、航空航天或基础设施质量标准，但因成本、审计负担、法律风险和有限的核市场，不一定额外增加 NQA-1 要求。NRC 不必要地坚持 NQA-1 标准，缩小了供应商基础、推高了建设成本、拖慢了施工进度，使核项目更加脆弱。

目标不应是降低质量，而是建立严格、可审计、具有保护性且与风险相匹配的标准。将普通部件当作特殊部件对待，未必使公众更安全，却往往使核能更难建造、更难融资、更少用于替代高风险能源。

（四）环境审查：分级与精准化

NRC 在实施《国家环境政策法》(NEPA) 方面在联邦机构中较为独特。NEPA 审查长期以来是重要保障，确保联邦

决策不会导致环境损害失控。NRC 理论上根据拟议行动的潜在环境影响选择适当审查级别——分类排除 (CatEx)、环境评估 (EA) 或环境影响声明 (EIS)。但实践中, NRC 需更好地对环境审查流程进行分级分流。采用不恰当的门槛不会使审查更具保护性, 却会使审查更慢、成本更高、且不能聚焦于真正值得关注的影响。

NRC 已开始朝此方向努力。在凯洛斯能源 (Kairos Power) 的赫尔墨斯 2 号机组建设许可申请中, NRC 工作人员基于项目环境影响及此前对赫尔墨斯 1 号机组的审查, 恰当选用了 EA 而非完整 EIS。Part 57 也对环境审查采取了“适度规模”的方法。

一个具有前景的部署路径是在退役棕地场址重建新核能基础设施。当项目修复污染、再利用现有基础设施、将受损场地替换为低排放能源设施时, 不应将环境本底视同于在未开发场地上施工。

ADVANCE 法案特别指示 NRC 实现环境审查现代化。NRC 最近最终确定了新核反应堆许可通用环境影响声明法规标准。ADVANCE 法案第 506 条要求 NRC 考虑为第 103 节许可申请“建立新的分类排除”。该机构仍需使简化和适度规模的环境审查成为每项申请的常规做法。

(五) 辐射防护: 系统级协调与 ALARA 原则的回归

美国通过涵盖多个法规、机构、指标和可接受风险阈值的碎片化结构, 对同一种物理危害实施监管。美国突破研究所的研究发现, 79 项辐射防护法规标准由 10 个联邦机构实

施，可接受风险水平因监管项目的不同而相差达 10 万倍。

反应堆开发商可能需同时满足 NRC 剂量限值、美国国家环境保护局（EPA）空气排放标准、EPA 环境标准、州实施要求以及 NRC 的 ALARA（合理可行的低水平）要求。ALARA 在实施中已发生偏离——ALARA 意为“合理可行的低水平”，而非“技术可达到的低水平”。现有证据不支持将核设施常规公众照射（毫雷姆级别）视为可测量的公共卫生危害。低剂量风险预测结果可用于规划和边界设定，但不应被视为观察到的健康效应。

ALARA 应回归其作为优化原则的适当定位，而非简单的最小化要求。只有在增量健康与安全效益足以证明其成本合理时，才应追求进一步的剂量降低。低于某一阈值，额外的监管控制可能无法带来可观察的公共卫生效益，同时却增加成本、造成延误和不必要的公众担忧。

（六）委员会决策：效率瓶颈与治理约束

美国突破研究所对 NRC 委员会投票记录的分析显示，委员们在程序性决策时间目标方面存在持续的系统性不足。仅有 34% 的委员会文件实现了所有委员按时提交投票。2016 年后，委员会文件投票时间大幅延长，按时投票率长期低于 20%，且始终未能恢复到以往水平。这些延迟主要源于委员会层面投票完成时间的延长和决策标准的不协调。

如果委员会自身无法做出可预测和及时的决策，单纯向该机构提出建议或指示法规标准变更，无法解决根本性的治理约束。改革的更广泛启示在于：改革必须直接作用于延迟

实际发生的环节。

（七）机构独立性：公信力与问责的平衡

NRC 的独立性对公众信任、有效治理和美国核能的长期成功至关重要。但独立性必须被正确理解。

NRC 是国会根据《原子能法》有意设立的独立监管机构，旨在避免将促进和监管职能集中于同一机构所带来的利益冲突。国会认识到核监管需要公信力、技术严谨性和免受不当政治或商业压力的保护。同时，NRC 并非完全独立于政府其他部门——国会定义其法定使命、拨付资源、建立程序要求并进行监督；总统任命委员并指定主席。

《原子能法》和《能源重组法》在 NRC 结构中建立了多层独立性保障，不仅覆盖委员会本身，还涵盖专业工作人员、技术审查流程和反应堆安全咨询委员会（ACRS）。保持这些内部技术机构的完整性和独立性，对维护监管流程的公信力至关重要。

NRC 的独立性应意味着免受不当政治干预、不当行业影响和不当制度惯性。应保护专业工作人员、技术专家和咨询机构在即使面临压力时仍能提供可靠分析的能力。应保持透明度，使公众了解决策过程。应确保机构在保持严谨性和公众信心的同时，能够适应新技术的发展和国家战略需求。

三、立法建议与未来展望

为支撑上述改革，证词提出了具体的立法建议，旨在通过法律手段消除部署障碍：

1. 美国国会应通过《2026 年本地材料建设核能法案》，

要求 NRC 允许在核电厂非安全相关和非安全重要结构中使用商用级钢材和混凝土。该法案旨在允许在非安全相关结构中使用商用级材料。核级混凝土成本可比商用级高出 50%，部分核级部件成本高出 50 倍。

2. 美国国会应通过《2026 年振兴能源社区法案》(RECHARGE 法案)，豁免将特定场址转换为核电厂时的 NEPA 要求。该法案旨在简化选址于棕地和退役化石燃料电厂场址的核反应堆设施的环境审查。这些社区已拥有能源基础设施和经验丰富的劳动力。

3. 美国国会应通过《2026 年浓缩许可现代化法案》，使铀浓缩设施许可与《原子能法》规定的利用设施许可相对齐。铀浓缩相关法规标准已约 40 年未作更新。

4. 美国参议院环境与公共工程委员会应指示能源部执行《2020 年能源法案》授权，建立 HALEU 可用性计划。

5. 美国国会应修订《原子能法》，确立 NRC 为辐射防护标准制定的主要联邦机构，配套具有约束力的定量方法、最低阈值和分级剂量框架。

结语

美国正在开展大规模新建核电项目以有效应对未来的能源挑战。这需要一个严谨、技术过硬、透明且与实际风险相称的监管体系。美国监管改革的目标不是降低安全标准，而是建立一个能够区分“真实风险”与“遥远风险”的体系，将注意力集中于后果严重的领域，并做出公众能够理解和信任的及时决策。这才是符合公共利益的核能监管标准：安全、

可信、可预测、及时且与风险相称。

对外交流合作部 余少青 供稿

编译自美国突破研究所官网

文章内容不代表本公众号观点