

美国核监管委员会关于海上核应用监管的探索与启示



随着全球对清洁能源和先进核能技术的关注度持续上升，将核反应堆部署于海洋环境——包括浮动式核电站及民用核动力船舶——正成为国际核能领域的前沿议题。近期，美国核监管委员会（NRC）举行了一场公开会议，系统介绍了其正在推进的海上核应用监管框架研究，并发布了一份白皮书大纲，面向利益相关方征求意见（该白皮书计划于2026年秋发布）。这份材料系统梳理了美国在海上核应用领域的监管思路、历史经验和面临的技术挑战，对于关注核能创新发展的读者具有重要参考价值。本文基于 NRC 公开会议材料，从多个维度解读其海上核应用监管的思路与重点。

顶层逻辑：现有框架的延伸与弹性化改造

NRC 的核心判断是明确的：美国现有的核安全监管框架已能够适用于海上核应用，无需从零开始搭建全新的法规体系。这一判断并非简单的乐观估计，而是建立在对美国《原

子能法》、联邦法规第 10 编（10 CFR）中多个相关部分的审慎评估之上。

具体而言，NRC 指出，海上核设施的许可可通过 10 CFR Part 50（传统许可流程）、Part 52（早期场址许可、设计认证及建造运行联合许可）以及最新生效的 Part 53（基于风险与业绩的技术包容性框架）来实现。同时，NRC 正在推动的 Part 57 制定，聚焦于微型反应堆及具有可比风险特征的其他反应堆，将为海上核应用提供另一条更具弹性的许可路径。这种多路径并存的制度安排，意在让设计方能够根据自身技术特征和商业模式，选择最匹配的许可策略。

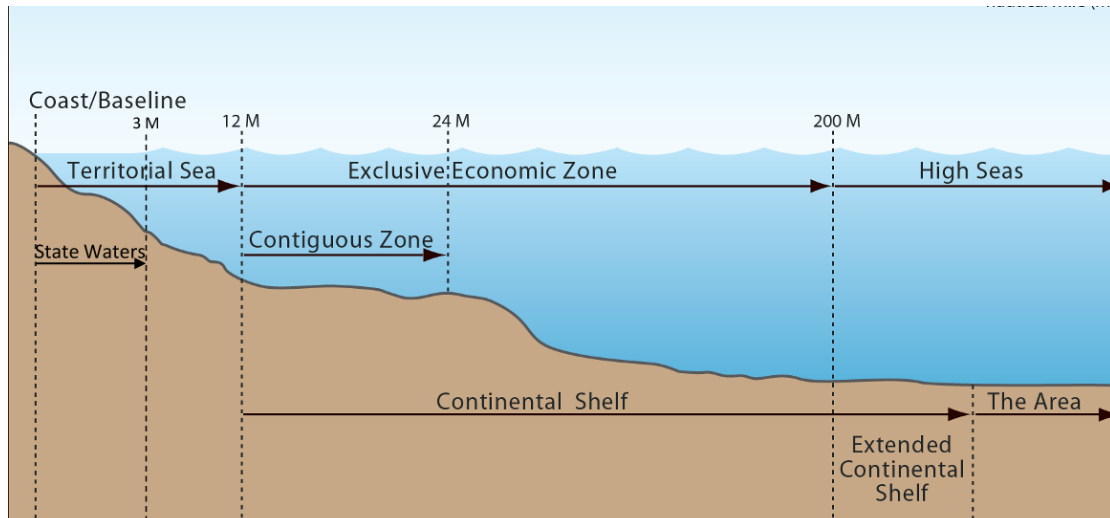
值得注意的是，NRC 并非单打独斗。该机构正在与美国能源部的海上核应用工作组（MNAG）协作，与美国海岸警卫队（USCG）签订谅解备忘录，并在国际原子能机构（IAEA）的多个工作组及“海上原子能技术应用许可”（ATLAS）项目中积极参与。这种跨部门、跨国界的协调，反映出海上核应用的监管天然具有跨界属性——它既涉及核安全，也涉及海事安全、港口管理、国际法等多重领域。

管辖权划分：空间与身份的二元逻辑

海上核应用带来的一个根本性法律问题是管辖权。反应堆不再固定于某个场址，而是可能航行于领海、专属经济区甚至公海，那么 NRC 的许可权力在何处延伸？

对此，NRC 援引《原子能法》第 103 条，建立了清晰的管辖逻辑链。对于浮动式核电站，若部署于距岸 12 海里以内的领海，无疑落入美国管辖权范围；若部署于 12 至 200

海里的近海区域，则通过《外大陆架土地法》（OCSLA）确立管辖；若航行于 200 海里以外的公海，则依据船旗国原则——悬挂美国国旗的驳船或平台仍受美国管辖。对于核动力推进船舶，这一原则更加明确：悬挂美国国旗的船舶，即便在外国水域，仍持续处于美国管辖权之下。



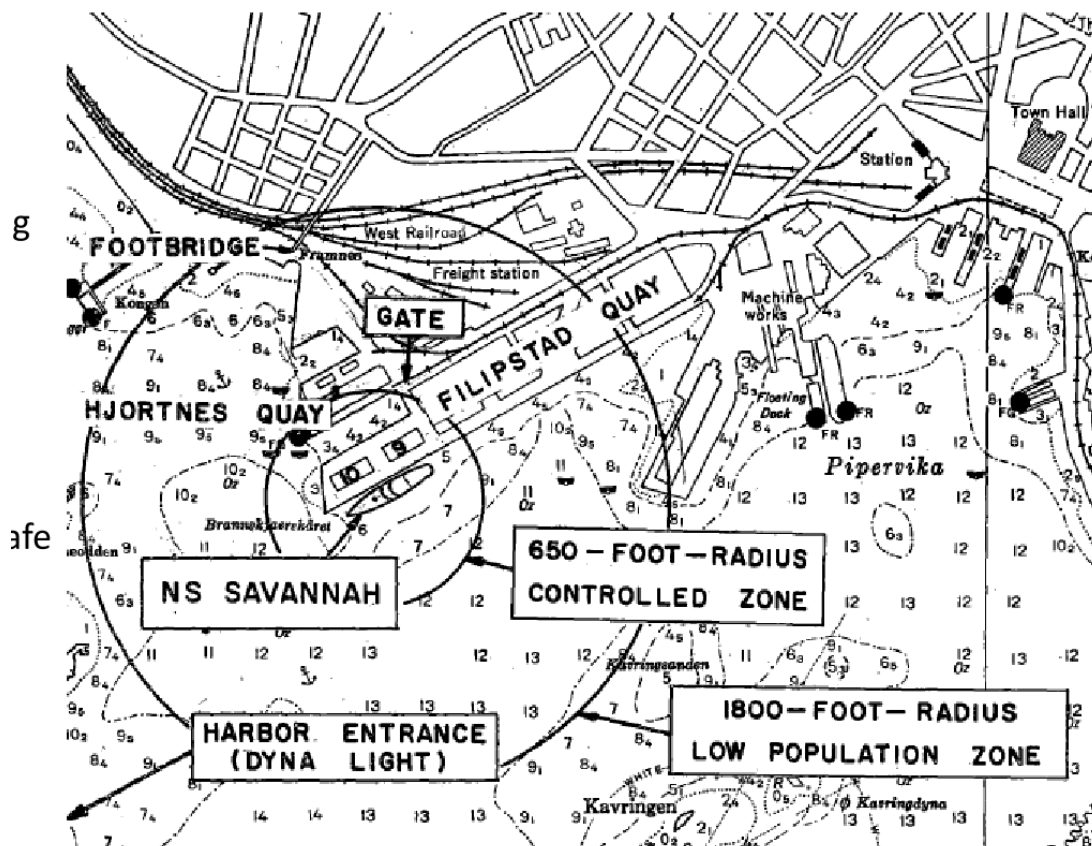
这一管辖框架实际上建立了“空间+身份”的二元判断标准：在领海以内，以地理位置决定管辖；在公海，以船旗身份决定管辖。这种区分为后续的许可模式设计、应急计划安排和国际协调奠定了基础。

历史经验：从萨凡纳到海上电力系统

NRC 并非从零开始面对海上核应用。此次白皮书的编制充分汲取了两个历史案例的经验。

其一是“萨凡纳”号核动力商船。这艘兼具货运和客运功能的民用核动力船舶于 1962 年至 1965 年间作为实验船运营，1965 年获得美国原子能委员会（AEC，NRC 前身）颁发的运行许可证。该船在港口准入方面积累了丰富的经验：制定了标准的港口安全与运行计划模板，针对每个拟停靠港口

进行调整；包含进港过程中的功率限制、场址评估以确认当地条件不超过船舶许可基准、受控区域与低人口区划定、远程锚地选址以备应急、港口服务能力评估（拖船、消防、应急响应等），以及与地方当局的应急协调。这套“标准模板加港口特定调整”的方法论，为今天思考移动式核设施的应急准备提供了直接参考。



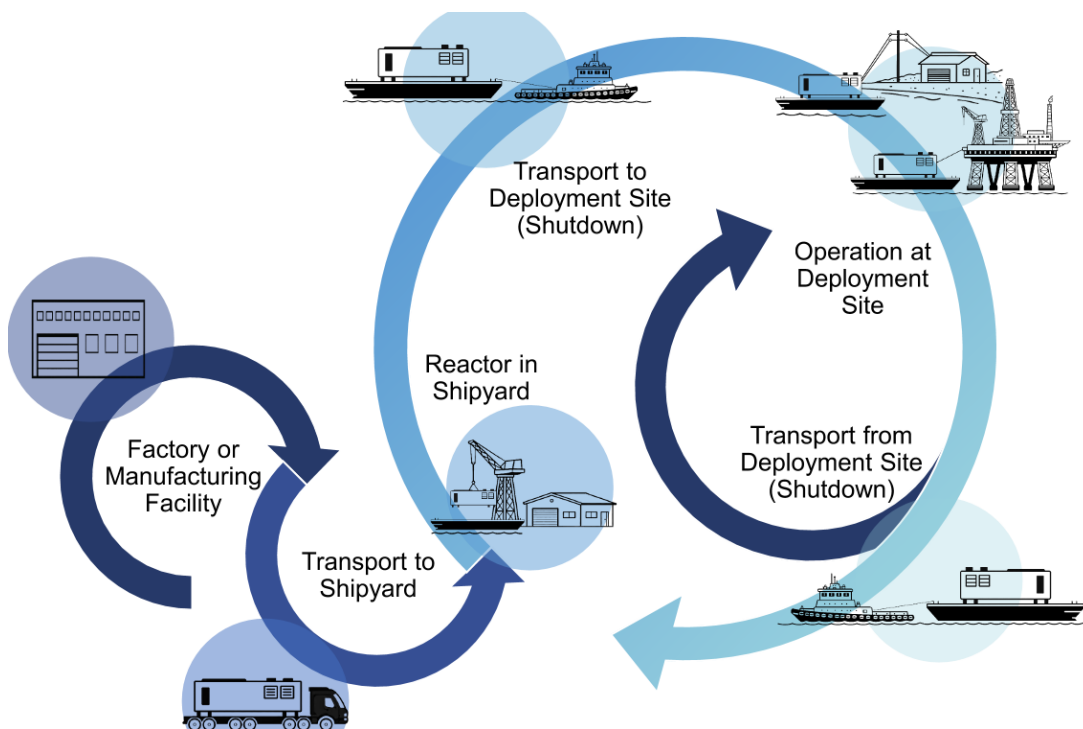
其二是浮动式核电站项目海上电力系统（OPS）。该项目拟在混凝土驳船上安装西屋压水堆，建造单机容量 120 万千瓦的浮动核电站。NRC 于 1982 年向 OPS 颁发了制造许可证，批准其最多制造 8 座此类设施。值得注意的是，制造许可证本身不授权运行——电力公司在具体部署场址仍需申请建造许可和运行许可。OPS 还开发了一个通用“场址包络”，

涵盖沿海和内陆部署条件，设想了防波堤保护下的系泊方案。这个案例证明了“先许可制造、后许可部署”的两步走模式在法律和监管上是可行的。

许可模式的二分法：固定式与移动式

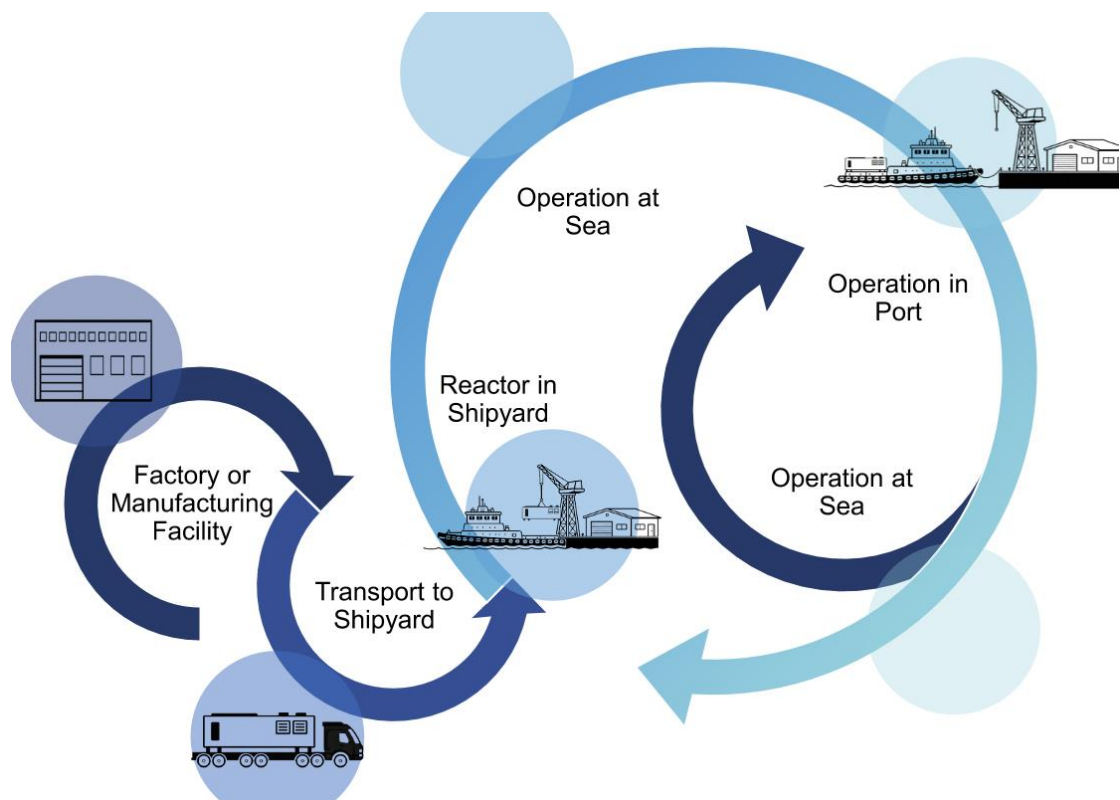
基于对历史案例和各种潜在应用场景的分析，NRC 提出了两种基本的许可模型。

对于**固定式部署**（浮动核电站系泊于特定地点长期运行），许可路径分为三个环节：在制造设施处取得制造许可；在总装船坞和最终部署场址取得建造许可和运行许可，或建造运行联合许可；对基于陆地和海上的运输活动，取得运输容器设计批准。这种模式与传统的陆基核设施许可没有本质区别，只是场址变成了水体表面。



对于**移动式部署**（核动力船舶在航行状态下运行），许可逻辑则有所不同。制造环节同样需要制造许可；总装和船

船舶本身需要建造许可和运行许可；但运输安全的处理方式截然不同——由于反应堆在航行中处于运行状态，其安全由运行许可（而非运输容器法规）来覆盖。NRC 明确指出，10 CFR Part 71（放射性物质运输）仅适用于在许可场址之外运输或经公路运输的情况，对于在自身动力下航行的核船舶，运输安全已嵌入运行许可的审查范围。



“移动的场址”：从固定边界到动态防护

海上核应用对传统核设施场址概念的冲击是深远的。对于陆基反应堆，场址是确定的经纬度坐标，排除区边界和低人口区也相应固定。但对于航行的核动力船舶，场址随船舶移动，传统的静态场址评价方法面临根本性挑战。

NRC 提出了针对性的解决思路。对于移动式运行，排除区边界和低人口区基于剂量要求，但这些边界随反应堆移动，

而非固定在大地上。这可能需要对 Part 100（场址准则）申请豁免，或采用 Part 53 的子部分 D。拟议中的 Part 57 则更进一步，以最大假想事故或最大可信事故为基础建立场址边界，且场址参数与场址特征之间的区分不再清晰，可能需要引入额外的保守度来覆盖各种运行条件。

这种“移动的场址”概念，在应急计划领域产生直接映射。NRC 提出，应急计划可能需要同时应对在港状态和海上状态的差异，并跨越不同管辖区域和危险类型。参考萨凡纳的做法，可能的方案包括：为每个拟定港口或运行区域识别对应的场外响应组织，通过标准化的港口准入计划或行政管控来管理港口变更，以及要求持照方在船舶进入港口前核实相关措施已到位。

超越陆地的技术挑战

海洋环境引入的不仅是法律和制度问题，更有独特的技术挑战。NRC 识别出若干关键领域。

在危险识别与分析方面，波浪引发的运动可能影响自然循环或其他非能动安全系统的性能，液体晃动、浪涌及其他动态载荷可能影响反应堆系统的行为。在大气扩散与辐射后果评估方面，放射性核素在水面环境中的传输可能因海洋大气条件而有所差异，海洋气象学可能需要被纳入大气弥散分析。在材料与结构方面，循环机械载荷、环境退化（盐雾腐蚀等）以及流体力学效应需要特别关注。

NRC 还提出了核系统与海事系统边界划分的问题——即如何区分哪些结构、系统和部件属于核安全相关，哪些属

于海事功能相关。对于高度集成的结构（如船体本身），这种划分尤为困难。可能的解决方案包括采用分级方法来分类和质保，以及推动行业协作以形成关于边界定义和接口管理的共识。

若干值得关注的制度议题

除上述核心议题外，NRC 的白皮书还触及了几个横向的制度议题。**出口管制**方面，无悬挂国旗的驳船在领海以外运行、悬挂美国国旗的船舶或驳船在外国水域作业，都可能触发出出口管制要求，需要审慎评估。**环境审查**方面，《国家环境政策法》的适用性问题需要明确——尤其对于可能改变港口或运营区域的移动式设施。**人员资质与操纵员执照**方面，需要考虑与海上核部署概念相匹配的执照颁发方式，可能涉及核操纵员与海事船员双重资质的协调。责任与赔偿方面，NRC 指出《普莱斯-安德森法》的赔偿保护覆盖领海范围，但更远海域的责任体系可能需要特别安排。

结语：法规弹性与技术创新的协同

综观 NRC 对海上核应用的监管探索，可以提炼出几条主线。首先，在制度供给上，NRC 倾向于挖掘既有法规的弹性而非急于制定新规，这降低了制度创新的成本，也为技术多样性留出了空间。其次，在方法论上，NRC 坚持以风险洞见和业绩导向为原则，将监管要求的严格程度与风险水平挂钩。再次，在管辖逻辑上，通过“空间加身份”的二元标准解决跨界问题，保持了法律适用的可预期性。最后，NRC 在推进此项工作时高度重视前期互动——公开会议、白皮书征

求意见等环节的设计，均意在收集行业和公众的反馈，在法规正式成形前就形成充分的对话。

对于正处于核能创新发展期的各国而言，如何在新应用场景涌现时为技术部署提供清晰、可预期又不失严格性的监管路径，是一个共同课题。美国 NRC 的做法提供了一种思路：监管框架不需要预见每一种未来技术，但需要有足够的弹性来容纳创新，同时守住安全底线。

对外交流合作部 余少青 供稿

摘译自美国核监管委员会官网

文章内容不代表本公众号观点