

# 海上核动力平台监管与许可关键问题



随着小型模块化反应堆（SMR）及海上核动力平台（FNPP）技术的发展，海上核能应用正从概念走向现实。然而，现有的核安全与海事监管体系主要针对陆上固定式电站或军用核动力船舶，对于民用海上核设施的监管存在诸多空白与挑战。本文基于美国爱达荷实验室（INL）发布的《海上核应用集团（MNAG）：海上核监管体系概述》报告，重点梳理了海上核设施在许可审批、厂址选择、应急准备及退役废物管理等方面的关键监管议题，旨在为我国相关技术发展与监管体系建设提供参考。

## 引言：跨界监管的复杂性

FNPP 的监管面临一个核心难题：**跨界性**。它既属于核设施，需遵循核安全法规（如国际原子能机构标准、各国核监管机构要求）；又属于船舶或海上设施，需遵循国际海事组织（IMO）及船级社的规范。

目前的监管现状是：“核”与“海”的规则尚未完全融合。例如，美国核监管委员会（NRC）的 10 CFR Part 50 和 52 主要针对陆上电站，而 IMO 的国际海上人命安全公约（SOLAS）虽然有核动力船舶章节（第 VIII 章），但自 1981 年以来未进行实质性更新。这种割裂状态导致了许可路径的不清晰。

### **许可与审批：现有框架的局限与新路径**

现有的许可机制在面对海上核设施时表现出明显的滞后性，但新的监管框架正在酝酿之中。

#### **（一）现有许可机制的困境**

**缺乏明确的许可路径：**目前尚无广泛认可的程序供各国采纳或互认原产国监管机构对 FNPP 的审批结果。这意味着一艘在 A 国获得许可的 FNPP，进入 B 国水域或港口时，可能面临完全重新审查的壁垒。

**历史案例的局限性：**除美国“萨凡纳”号核动力商船、浮动式核电站项目海上电力系统（OPS）等少数历史案例外，缺乏针对民用核动力船舶的专门许可流程。

**监管边界模糊：**对于自推进式 FNPP，NRC 的核安全许可与美国海岸警卫队（USCG）的海事安全监管之间存在边界重叠与模糊地带，特别是在“航行安全”与“核安全”的接口界定上。

#### **（二）新规制定的进展：10 CFR Part 53**

NRC 已制定 10 CFR Part 53（先进反应堆风险指引、技术包容监管框架），这被视为解决海上核设施许可难题的关键。10 CFR Part 53 旨在涵盖非轻水堆和海上应用，通过性能

指标而非死板的硬性规定来评估设计。

尽管前景广阔,但 10 CFR Part 53 未经过实际项目验证。对于海上应用,仍需明确如何纳入“制造许可证”以及如何处理燃料在制造厂装载后的运输合规性问题。

### **厂址与环境：从“陆地思维”到“海洋思维”**

报告详细探讨了海上核设施在选址、环境影响及应急准备方面与陆上设施的本质区别。

#### **(一) 厂址评价的特殊性**

**环境载荷与外部事件：**选址不仅要考虑地震、海啸（地质水文），还需考虑船舶碰撞、恐怖袭击（DBT/BDBT）、以及海洋生物（如藤壶附着）对热交换的影响。

**水深与系泊：**需要足够的水深以确保有效的系泊和安全距离，同时要评估海底地质对电缆铺设的影响。

**距离即屏障：**与陆上电站不同，海上设施通常远离人口中心。这种地理隔离本身就是一种重要的安全屏障，可以显著降低事故对公众的影响。

#### **(二) 应急计划区的重新定义**

这是海上核监管中最具争议也是最需要技术突破的领域。现有的应急计划区（EPZ）（如美国的 10 英里/50 英里规则）是基于陆上大型压水堆的源项设定的。而先进反应堆（SMR/微堆）具有固有安全性，且海洋环境对放射性物质的稀释扩散能力远强于陆地。目前，行业正在推动基于风险指引的 EPZ 划定方法。理论上，如果设计足够安全（如 NuScale 设计），EPZ 可能缩小至设施边界。

当 FNPP 停靠港口时，环境发生了根本变化。此时需要重新评估应急策略，包括：

**远程锚地：**需指定核动力船舶的专用锚地，以便在天气恶劣或港口拥堵时避险。

**靠泊安全：**需评估周边是否有易燃易爆品码头，以及港口的消防、辐射监测能力是否足以应对核动力船舶的特殊需求。

### **退役与废物管理：全寿期闭环的难题**

报告指出海上核设施在寿期末端面临的严峻挑战，这也是公众和监管机构最敏感的环节。

#### **（一）废物管理的现实**

**高放废物（HLW）：**与陆上电站类似，乏燃料的最终处置是核心问题。美国目前采用“干式贮存”作为中间方案，海上设施同样面临这一难题。由于海洋环境的特殊性，“在船上长期干贮”的安全标准将比陆上更为严苛。

**低放废物（LLW）：**运行产生的低放废物（如防护服、树脂）需要定期运回陆地处理设施。

#### **（二）退役与拆船的监管冲突**

这是海上核监管中最大的“灰色地带”之一。全球约 90% 的商船在南亚（印度、巴基斯坦、孟加拉）进行拆解，这些地区的环保和劳工标准往往达不到核设施退役的要求。现有的核监管体系（如 NRC）主要针对核设施，而拆船业主要受 IMO《香港公约》或《巴塞尔公约》约束。

为了简化退役并减少放射性废物量，设计阶段就必须贯

彻“去污与解控”的理念。即在反应堆寿期末，将放射性物质严格限制在反应堆舱室内，确保船体其他部分在拆除时不会受到交叉污染，从而实现船体的常规回收。

## 结语

FNPP 监管体系建设是一项复杂的系统工程，不能简单套用陆上核电或传统造船的标准。FNPP 作为核能与海事工业的交叉新兴领域，其监管体系尚在构建之中。国际经验表明，需在许可互认、应急规划、废物管理、退役路径等方面形成系统性解决方案。在推进海洋核能应用时，应重点关注以下方向：

**1. 推动法规协调：**加强核安全监管部门与海事部门的协同，建立联合审批与监管机制。

**2. 开展 EPZ 专项研究：**针对海洋环境和先进反应堆特性，开发适合各国海域特点的应急计划区评估模型，避免因套用陆上标准而导致项目不可行。

**3. 布局退役技术：**从设计源头考虑退役问题，研究海洋环境下反应堆模块的回运、贮存与最终处置方案，确保全寿期的安全闭环。

海上核能的未来在于“设计与监管的共同进化”。只有当技术标准与监管要求实现有效衔接，FNPP 才能真正从蓝图变为现实。

对外交流合作部 余少青 供稿

编译自美国爱达荷实验室官网

文章内容不代表本公众号观点