

文章编号：0258-0926(2016)S1-0142-03；doi: 10.13832/j.jnpe.2016.S1.0142

美国海军核动力舰船反应堆装置的安全措施

兰 洋, 张 玥

中国核动力研究设计院信息中心, 成都, 610041

摘要：美国海军核动力舰船已安全运行50多年，航行超过1.51亿英里，累计安全运行6500堆·年以上，未发生过任何反应堆事故或可对人体健康或海洋生命产生危害的放射性释放。通过对美海军舰船反应堆装置总体安全原则和安全要求、安全监管及技术安全3方面的文献调研和分析，研究了美海军舰船反应堆装置的安全措施。

关键词：海军核动力舰船；反应堆装置；安全措施

中图分类号：TL364 文献标志码：A

Safety Measures of US Navy Nuclear Powered Ship Reactor Plant

Lan Yang, Zhang Yue

Information Center, Nuclear Power Institute of China, Chengdu, 610041, China

Abstract: The U.S. Nuclear Powered Warships have safely operated for more than 50 years without experiencing any reactor accident or any release of radioactivity that hurt human health or had an adverse effect on marine life. Naval reactors have an outstanding record of over 151 million miles safely steamed on nuclear power, and they have amassed over 6500 reactor-years of safe operation. Based on general safety principles and safety requirements, safety regulation and safety technology of the US naval reactor plant, the paper studies the safety measures of the US Nuclear Powered ship reactor plant.

Key words: Navy nuclear powered ship, Reactor plant, Safety measures

0 引言

截止2016年，美国已先后建成核动力战舰223艘，退役140艘。目前，美国共有在役核动力舰船83艘（包括73艘核潜艇和10艘核动力航空母舰），共97座反应堆^[1]，此外还运行着2座研发和训练用的陆上模式堆。美国海军核推进计划保持了出色的安全记录，在舰船反应堆装置安全措施方面积累了丰富的经验。

1 舰船反应堆装置的安全原则和安全要求

1.1 安全原则

美国海军采用了纵深防御原则来确保其舰船反应堆装置的安全性。其纵深防御原则主要体现

在以下几方面：

(1) 严格的设计：美国海军舰船反应堆装置的设计要遵循简单、坚固、冗余、破损安全和保守的原则。反应堆的安全基于4道屏障（或称纵深防御），放射性极不可能从反应堆堆芯释放到环境中。

(2) 多重安全系统：核动力战舰采用多重安全系统预防问题的发生和扩大^[2]。采用零泄漏准则设计了全焊接主回路系统，并有一个故障安全反应堆停堆系统可以使反应堆非常快速地关闭，同时包含其他多重安全系统和设计特征。

(3) 全面培训的有能力的船员。核动力战舰船员经过全面培训，完全能对舰艇上发生的任何

突发事件立刻作出响应。美国明确规定了海军工作方法和应急程序，并严格执行了这些方法和程序；每个人不但进行了极端情况处理方面的培训，而且有高度的责任心。

1.2 安全要求

安全性嵌入在设计要求、硬件、实施过程中，而更重要的是嵌入人员头脑中，同时要细化安全性要求，这形成了独特的美国海军核安全文化。

2 舰船核动力监管中的安全措施

2.1 机构设置中的安全措施

美国总统行政令12344号是美国海军核动力发展的纲领性文件，该行政令明确规定了负责海军堆计划的海军堆办公室要负责海军核推进装置的研究、设计、建造、试验、运行、维护和最终处置，所有舰船上使用的反应堆及相关核设施的安全都在其管理之下。

在每个造船厂、实验室、培训地点和其他主要项目设施都设置了海军堆现场办公室，作为总部组织的一部分。美国海军成立了海军核动力推进检查委员会和各级核安全委员会，以及专门的核计划参与人员可靠性委员会^[3]。通过核安全委员会协调核操作和核安全大纲是最有效的途径。同时，每个实验室都有一个独立的安全委员会，评审与核安全和反应堆安全相关的问题，并独立地向实验室总经理报告。

2.2 审查

(1) 内部审查

海军堆合同商、现场和总部人员会对计划活动进行审查和检查。海军堆总部也会定期进行相关工作、安全、环境和辐射控制的审查。在实验室由现场办公室进行管理、监督和合同的执行，并要进行有关项目管理、安全、环境及健康的总体和具体事项运行的审查。

(2) 外部审查

美国核管会及反应堆安全保障咨询委员会对美国海军堆装置的安全进行独立的评价和审查。美国审计署也要监督实验室的审查活动，要对海军堆设施的环境、健康和方面进行为期14个月的全面和深入的调查。其他科研机构如美国宇航局曾与美国海军开展了一项基准交换项目，通过相互审查和检查来确定实践和规程，并分享海军堆和宇航局载人飞行项目的经验^[4]。

2.3 对人员的管理

海军在核动力舰船和核培训设施上开展了持续培训计划以确保维持并持续提高对知识和技能的了解以防止其退化。该计划包含了很多不同的活动，如技能培训、理论-实践训练、笔试或口试等。大部门舰船至少每月都要提交所有核操作员的书面检查，用于检查在持续培训计划中涵盖的所有内容。每两年进行一次操作员资格的再认证，再认证过程包括书面和口头考试。

3 舰船反应堆装置研发、设计和运行中的安全措施

3.1 研发与试验

美国为了确保海军堆的运行安全，利用相应的陆上模式堆开展试验验证。迄今为止，美国共建造了9座舰船陆上模式堆，包括7座潜艇陆上模式堆、1座航母和1座巡洋舰陆上模式堆。目前其中7座已关闭，仍有2座在继续运行。

陆上模式堆对于反应堆安全性的作用体现在以下3个方面：

(1) 提供在实际运行条件下开展试验的平台，在整个寿命内进行广泛的试验计划，用以验证现有设计方案和技术，并探索新技术和新堆型，从而证实这些设计和技术应用于舰船的可行性和安全性。

(2) 对新概念、部件和堆芯进行试验，并比比在舰船反应堆装置中更快耗尽堆芯的方式来验证反应堆性能预期情况。

(3) 培训海军核动力装置运行人员，确保其在实际中的安全操作。

3.2 设计中的安全措施

目前美国核动力舰船使用的反应堆均为压水堆。尽管压水堆设计已在陆地上被证明是安全的，但将其用作舰船动力堆还需证明它能够在战争期间承受敌方的攻击，并能保护船员不受放射性的伤害。因此海军堆为船员提供了4道保护屏障：金属陶瓷核燃料、全焊接主回路系统、反应堆舱室和船体。这4道屏障将放射性保持在船体内，甚至在反应堆极为不可能发生的事件中也是如此。

3.3 运行中的安全措施

美国海军堆具有比商用堆更好的安全性。海军堆更小且额定功率更低，并一般不会满功率运行。另外，海军反应堆具有可移动性，核动力舰

船可移动至适当的地点。

在放射性控制和环境方面,海军每年出版的环境监测结果提供了对所有海军核推进计划设施的环境影响的全面描绘^[5]。美国海军对其核动力舰船经常出入的港口进行了环境监测。每季度从舰艇主要活动或服役的港口采集沉淀物、水和海洋生物样本。

针对应急响应计划和事故响应,海军堆建立了详细的事故报告程序和事故应对程序,每个报告事件都要详细描述并由海军堆总部工程师审查。

4 结束语

综上所述,为了确保核动力舰船的安全,美国主要在核安全监督管理和舰船反应堆技术2个层面实施了全面的多层次的安全措施。

(1) 采用纵深防御原则

美国对反应堆核安全设计一致采用纵深防御原则,适用于反应堆研制和使用的全过程,涉及技术合理性、组织管理严格性和人为运行的有效性,从而设置了多层次防御。

(2) 加强核安全监督管理

美国海军堆及其核设施的安全都由海军堆办公室管理,由海军堆办公室通过组织结构、安全原则和安全要求、实施过程的验证审查来实现对

反应堆装置全寿期的安全管理,具有客观性、独立性和权威性。同时民用机构和其他科研机构也参与到海军堆装置安全性的评价和审查中,更确保了安全措施的全面性和客观性。

(3) 反应堆技术方面提高装置的安全性

在反应堆技术设计方面,提供了4道屏障以实现纵深防御。反应堆安全研究和设计的重要任务就是确保这4道屏障的完整性。同时,反应堆的研发和试验以及人员的培训都充分借鉴了原型堆的运行经验。

参考文献:

- [1] The US Naval Reactor. Naval Reactor—FY2016 Congressional Budget[R]. Washington D. C. the US Congress, 2015.
- [2] The US Naval Reactor. Naval Reactor—FY2000 Congressional Budget[R]. Washington D.C. the US Congress, 1999.
- [3] 潘海玲,李寅飞. 美国海军核安全管理初探[J]. 论证与研究, 2007, 12(5): 37-40.
- [4] The US National Aeronautics and Space Administration. NASA/Navy Benchmarking Exchange (NNBE) Volume II. Naval Reactors Safety Assurance[R]. Washington D.C. NR/NASA, 2003.
- [5] The US General Accounting Office. Nuclear Health and Safety: Environmental, Health, and Safety Practices at Naval Reactors Facilities[R]. Washington D.C.GAO 1991.

(责任编辑:黄可东)