

全球核能安全动态

生态环境部核与辐射安全中心

2024年 11月

目 录

- 福岛核事故后全球核电厂安全改进行动

福岛核事故后全球核电厂安全改进行动

自2011年日本福岛核事故发生以来，各国监管当局、国际组织等开展了大量研究、分析与合作，以充分汲取福岛核事故的经验教训。各国监管机构、国际组织等持续不断地就持续完善法规标准体系、评估改进现有核设施安全状况、归纳总结事故教训等方面进行了大量工作，并持续至今。本专报将主要就IAEA、NEA等国际组织、美、法等主要核电国家所开展的相关工作进行研究探讨。

1. 国际原子能机构（IAEA）

福岛核事故发生后3个月，IAEA便组织召开了核安全部长级会议，呼吁加强世界各地的核安全、应急准备及对人和环境的辐射防护。同年9月IAEA批准了《核安全行动计划》，其中包括：1）开展核电厂安全评价；2）开展同行评审；3）加强应急准备和响应；4）加强国家监管机构；5）加强组织运营；6）执行IAEA安全标准；7）完善国际法律框架；8）促进启动核电建设计划的成员国基础架构建设；9）开展成员国能力建设；10）保护人类和环境免于电离辐射；11）推动信息沟通和传播；12）开展核安全技术研发等12项主要行动。根据该行动计划，IAEA组织召开了一系列国际专家研讨会，进一步完善了其安全标准体系的建设，加强开展同行评审服务，并大力协助成员国开展安全能力基础建设。

2015年2月，《核安全公约》各缔约方协商一致通过了《维也纳核安全宣言》，呼吁进一步提高全球核安全水平。3月，IAEA出版了《福岛第一核电站事故》综合报告及相关技术文件，梳理事故背景的同时，主要在核安全考虑因素、应急准备和响应、放射性后果、事故后恢复等4个方面总结了经验教训。

2020年，IAEA发布技术文件TECDOC-1894“在运核电厂实施安全改进的经验”，整理汇总了近20个国家在福岛事故后改进的相关经验和实践，供世界各国参考。

2021年11月，IAEA组织召开了“福岛第一核电站事故后十周年进展国际会议”。截止目前，IAEA提出的相关建议，多有被纳入有关国家法规、国际安全标准和相应的机构安全导则中，对加强全球核安全具有积极意义。

在法规导则修订方面，IAEA将在福岛核事故中获得的经验教训进行总结归纳，并体现在相关的法规导则修订中。安全要求SSR2/1-2016进一步完善了纵深防御的理念，采用了设计扩展工况的概念，并对移动设施的配置提出了原则要求。该安全要求还将事故管理部分单列，对规程制定、培训演练、人员配置及可达性等方面提出了相关要求。2019年发布的安全导则SSG-54还对上述相关要求进行了延伸并就具体实施提供了指导。2021年和2024年，IAEA还先后发布了SSG-2、SSG-88和SRS No.46，进一步对纵深防御概念及独立性、设计扩展工况、移动设施等要求进行细化。

2. 经合组织核能署（NEA）

福岛核事故发生以来，为汲取福岛核事故经验教训，NEA在核安全监督、辐射防护、公众健康以及核损害责任等多个方面，协调和推进各常设委员会、联合研究项目以及多边合作平台开展密切合作，共同讨论和总结福岛核事故的经验教训。

2013年和2016年，NEA先后发布了2份有关福岛核事故的经验总结报告，详细跟踪并介绍了成员国在核电厂安全改进新要求、完善核安全监管体系、开展福岛事故相关研究、改进应急响应和辐射防护活动以及完善核损害责任法等方面所开展的工作。重点关注了如设备多样化、确保安全功能正常以及提升组织运营能力等应当关注的监管重点及潜在的外部风险。并主要提出如下建议：1）重新评估外部风险；2）提高电气系统稳健性；3）增强最终热阱稳健性；4）加强安全壳系统防护；5）改进乏燃料池的防护；6）提高快速提供各类设备以及调配场内和场外应急响应设施增援的能力；7）改进核安全文化，包括紧急情况下人为因素和组织因素对决策的影响；8）坚持核安全研究等。

2021年，NEA发表了《福岛十周年的进展、经验教训和挑战》报告，提出了9个方面的建议，以充分吸取事故经验教训：1）提升监管有效性；2）系统性地考虑安全问题；3）加强退役技术研究；4）加强废物处理处置；5）完善核损害赔偿机制；6）与利益相关方交流风险相关信

息；7) 重视事故对心理健康的影响；8) 探索经济与科技发展的机会；9) 加强知识管理。

NEA 还从2012年起开始针对福岛核事故开展了一系列联合研究活动，如压力容器和安全壳事故后热工水力特性方面的研究（BSAF、BSAF-2）；事故受损燃料碎片回取相关的初步分析等（PreADES、FACE）；福岛事故分析、进程及反应堆受损相关数据信息汇编与分析（ARC-F）等，部分研究一直持续至今。此外，NEA 还组织MDEP 下各工作组编写了针对福岛事故后改进的专题技术报告。

3. 日本

日本在福岛核事故后，停运了所有核电机组，对现有核安全监管机构进行了改革，成立了原子力规制委员会（NRA），制定了新的安全法规标准。任何机组需要进行必要的改进、并经过相关要求与法规标准符合性审查后方可重新启动。

2013年6月19日，日本正式确定了核电监管新标准。新标准吸收了许多国外先进核电国家的安全管理经验，纳入了许多新的理念，新标准与新修订的《反应堆管制法》等核电法律挂钩，核电站重大安全对策都按照法律规定设为各家电力公司必须履行的义务，这在日本国内属于首次。新标准充分汲取了福岛事故的教训，与原来核安全法规标准相比，主要改进包括加强设计基准、明确严重事故措施以及提升地震和海啸安全标准。

2013年7月，新的商用动力反应堆监管要求正式生效，汲取福岛第一核电厂事故中的教训，考虑了日本严苛的自然环境条件，并借鉴IAEA安全标准和要求。任何机组需要经过与法规标准符合性审查后方可重新启动。

对于重要安全设施设计基准的加强，考虑了福岛核事故的教训，以及包括IAEA在内的国际上对核安全的认知和经验，要考虑包括火山、台风、森林火灾，以及地震海啸在内的自然灾害，并要求加固防火措施、加固厂外电源连接，以及保护最终热阱相关设备等。在严重事故应对方面，要求考虑超设计基准事故，包括未能紧急停堆的预期瞬态、丧失反应堆冷却功能、丧失反应堆降压功能、丧失最终热阱系统、丧失电源/水源等支持系统，以及安全壳的冷却和降压措施、堆芯熔融物冷却措施、安全壳氢气控制措施，安全壳失效后放射性后果缓解措施和应对飞机恶意撞击的措施。在地震和海啸方面，采用更严格的标准，将超过历史纪录最大的海啸定义为“设计基准海啸”，进一步扩展高抗震等级的应用范围，采用更严格的能动断层标准，采用更精确的设计基准地震动的确定方法等。

2015年8月，首个核电厂经审查后重启运行，根据IAEA发布的《世界核电反应堆（2023年版）》，截至2022年底，日本有10台核电机组经NRA审查后重启运行。截至目前，33台机组申请了法规符合性审查，其中13个机组已经重启发电。

4. 美国

福岛核事故发生后，美国短期特别调查专家组（NTTF）即向美国核监管委员会（NRC）提交了包含5个方面和12条详细建议的《21世纪提高反应堆安全的建议》。2011年12月，NRC发布了SECY-11-0137号决议，明确将开展短中远期相结合、现场改进行动和法规修订制定相结合的改进措施。NRC还在官网上开辟了福岛改进专栏，随时更新进展情况。

短期方面，美国成立了短期特别调查专家组，编写并向NRC提交了安全建议报告。经NRC对美国现行监管体系以及核电厂综合能力进行评估后得出结论：目前核电厂运行不会对公众健康和安​​全立刻造成风险，但均衡地应用纵深防御概念、提升法规体系的合理性，可显著提升安全性。

中期行动上，NRC则针对地震和洪水的防护、长期丧失交流电源情况下的策略、安全壳的通风、乏燃料水池的冷却、严重事故的规程和应急准备等方面要求核电厂开启整改行动。

远期研究方面，NRC将针对提升防止或缓解地震引起的火灾和洪水的能力；对安全壳或其他厂房内氢气进行控制和缓解；制定多机组事件和长期全厂断电的补充应急计划；以及有关事故后决策、辐射监测和公众宣传方面的补充应急计划等4个方面开展长期研究工作。

在法规修订方面，NRC于2012年3月发布了EA-12-049号命令（MSO）和EA-12-051号命令（SFPI），要求所有

美国核电厂许可证持有者进行改进，实施策略和导则来缓解超设计基准外部事件，以应对长期丧失厂内固定交流（AC）电源，维持或恢复反应堆、乏燃料和安全壳的冷却，并要求建立可靠的乏燃料池（SFP）水位监测手段。NRC通过与工业界共同研究，形成了多份技术文件并，包括NEI 12-06、NEI 12-02、NEI 12-01、NEI 13-06和NEI 14-01等并多次升版。2019年8月，美国颁布法规10CFR50.155（缓解超设计基准事件），主要技术内容涉及超设计基准事件的缓解策略和大范围损伤管理策略两个部分，包括设备、培训要求、乏燃料池监测等相关内容。此外，NRC还颁布了相应的管理导则RG 1.226、RG1.227等。根据相关法规要求，美国在运核电厂已完成适应性改造并业经NRC审评认可，新建核电厂需要依据MBDBE法规制定措施和导则，并将相关内容体现在安全分析报告（SAR）中。

5. 法国

福岛事故发生后2周，欧洲理事会即决定对相关核电厂开展压力测试，西欧核监管者协会（WENRA）起草了相应规范。法国设立首席委员会（COPIL）开展补充安全评估（CSA），主要是对地震、水淹、丧失最终热阱、丧失电源、严重事故管理等5个主要领域开展检查。之后，法国核安全局（ASN）从提升抗灾能力、增加备用手段、

控制放射性影响、加强行政管理等4个方面提出了改进要求，并应相关要求开展核电厂压力测试。ASN总体认为没有必要立即关停核设施但需要进行改进提高核设施的安全性，以使其可尽快应对超出设计基准的极端情况。

核电厂改进方面，ASN提出了“坚固安全堆芯”概念，并将其分为3个阶段：一是在2015年前建立核快速响应部队（FARN或FINA），以在24小时内应对超出设计基准的丧失所有电源和水源的情况；二是在2016-2021年间，补充部分现场永久设施；三是从2019年起，以900MW机组的第4次十年安全审查为契机，完成相关改进以应对补充安全评价中所考虑的最极端的情况。

根据计划，法国将于2031年前完成32个在运900MW机组的全部改进工作，其中重点为设备老化和福岛核事故相关改进，改进完成后，其将达到第三代核电的安全水平。2023年8月，特利卡斯坦（Tricastin）核电厂1号机组成为首台通过第4次十年安全审查的机组。其第四次大修的经验可为我国主力二代改进型核电机组提供参考借鉴。对于新建核电机组，法国遵循“下一代压水堆核电厂设计和建造技术导则”和IAEA安全要求，考虑了福岛核事故的经验教训和反馈。