

# 原子能信息摘要

2023 年第 3 期

签发：李 森

中国常驻国际原子能机构代表团

2023 年 3 月 31 日

---

## 目 录

- ◇国际原子能机构小型模块化反应堆监管技术报告摘要（一）
- ◇经合组织核能署开设核安全文化国别论坛
- ◇国际原子能机构和联合国粮农组织开展太空育种合作
- ◇西屋公司向捷克核电站供应核燃料
- ◇国际原子能机构发布钍基核能应用潜力分析报告

## 国际原子能机构小型模块化反应堆监管技术报告摘要（一）

2015年起，国际原子能机构（下称“机构”）通过小堆监管者论坛（SMR Regulators' Forum），开展系列技术研讨，并发布多份技术报告，以应对小堆全球部署趋势，提升各国核安全监管水平。包括我国在内的10个小堆监管机构论坛成员国及3个观察员组织，已完成2阶段（每阶段3年）工作。自2022年6月机构启动“核协同和标准化倡议”以来，小堆监管机构论坛牵头倡议第3工作组工作，负责监管机构审查活动的国际经验共享，同时将其作为小堆监管者论坛第3阶段工作。

小堆监管者论坛成立了分级管理、纵深防御、应急计划区、许可、设计和安全分析、制造建设调试和运营等6个工作组，以机构安全标准为基准对跨领域和共性问题开展研究和评价工作。通过分析比较成员国有关实践及面临的问题，各工作组陆续发布了技术报告。本文对其中2份技术报告予以介绍。

### 一、《分级方法工作组报告》

报告认为，从安全角度看，分级管理方法可适用于小堆。尽管核电发展过程中，分级管理方法始终得到广泛应用，但在设计和安全分析中一直存在分级方法是否合理的争议。虽然有许多工具可用于实施分级，但常常对于某些特定情况下的应用是否恰当，难以达成共识。报告讨论的核心是安全分析的范围和深度：一方面，大家都在讨论到底何种信息足以证明技术的安全性和可靠性；另一方面，

部分小堆支持者正在寻找“目标导向”的监管方法，该方法较少给出规定性，同时更包容新的安全分析方法。上述分歧导致监管机构在寻求制定通用性监管框架时陷入难以抉择的困境。

报告指出，由于各国监管体系存在差异，有必要由机构牵头制定技术文件，进一步阐明分级管理方法的内涵和适用规则，以确保核电站安全并获得更大效益。报告还通过案例，探讨了被动安全、固有安全和保守决策等措施的应用，以满足核安全监管要求。

## 二、《纵深防御工作组报告》

纵深防御是一个原则，可以衍生出大量细则和要求。工作组在纵深防御的每个层次都选择了若干关键安全问题开展研究。工作组综合考虑小堆的特点，评估了其对小堆设计的适用性，集中讨论了大型反应堆的纵深防御原则能否适用于小堆、现有纵深防御安全原则是否需要调整或扩展等问题。报告针对小堆特点，提出了若干具体建议，供核工业界及监管部门参考，包括：

- 不断审查并更新小堆选址准则，以满足小堆选址和布局要求。
- 小堆厂址可能较为偏远并面临恶劣环境，应对小堆开展具体的外部危害风险分析。
- 设计安全特性应得到一定程度的证实。应出台指导文件，给出证实安全性的相关要求和标准。当前，安全要求主要针对纵深防御级别 3 和 4，应进一步开发纵深防御级别 1 和 2 的安全评估导则和要求。
- 机构和成员国须针对具有非能动安全系统的小堆进一步开发安全标准和安全导则。同时，应从全寿期角度审视非能动

系统的有效性。

- 非能动安全系统的单一故障准则应在机构安全标准和导则层面上进一步拓展。设计考虑应更加全面，以防止共因故障的设计基准事故发展为堆芯熔毁事故。
- 小堆具有新的操作和应用模式，故须对操作人员活动和设备性能要求给出全面详尽描述。在安全评价中，应特别注意确保所有纵深防御级别的防御措施在所有操作模式下都能充分发挥作用。
- 小堆的设计中未制定始发事件的排除规则。机构须制定导则，给出排除某些始发事件具备正当性的证明方法。
- 须通过系统性方法论证假设始发事件的设定考虑了小堆的设计细节和制造特点。设计者应证明始发事件预防和缓解措施的有效性。
- 小堆应考虑设计扩展工况（DEC）序列，若发现重大风险，则应采取适当措施加以防范。为此，须开展覆盖所有运行工况的概率安全分析（PSA）。除采取严重事故的事前预防措施外，还应考虑事后缓解措施。
- 应考虑在模块内或多个模块共用区域可能发生的所有潜在内部危害。由于模块化设计将导致修改困难，因此应在设计的早期阶段对此予以关注。
- 在小堆设计中应特别注意由内部事件（例如火灾、爆炸、内部泛水和负载下降）引起的潜在共同模式故障，以及它们对纵深防御级别的效果和独立性的影响。

- 对于多单元机组，应充分考虑特定危害可能同时影响多个甚至全部单元机组的风险。
- 内部事件安全评价中应考虑小堆的多模块及多单元机组的特点，特别是：内部危害从一个模块传播到另一个模块的情况（如火灾），一个单元机组的操作活动对其他单元的影响（如一个单元的安注导致另一个单元负载下降）。
- 须建立新材料性能验证要求，包括测试、验证和模拟件验证的范围和规模以及制造过程。
- 小堆设计应充分考虑特定外部危害可能同时对几个或甚至全部单元机组造成的潜在后果。这可能会影响应急计划区评价方法。
- 小堆如同大型反应堆一样，应使用概率安全分析方法，作为其确定性安全分析的补充。

（周磊 编译）

## 经合组织核能署开设核安全文化国别论坛

一个群体的文化外在表现，如沟通方式、等级制度、个体与群体的关系等组织行为，对打造健康的核安全文化构成重要影响。培育优秀的核安全文化，离不开对国家文化背景的了解和把控。而这需要对一国的文化开展深刻的探寻和发掘。为此，经济合作发展组织核能署 OECD/NEA 做了大量工作，每年举办国别论坛，开展深入研讨。该论坛由不同成员国轮流举办，来自核工业界和政府监管部门

的专家参会，共同研讨如何在核设施营运单位培养并保持健康的核安全文化，提高监管有效性。

2018年在瑞典举办了第一届论坛。主题为建立国别文化背景下安全文化认知，以帮助核设施营运单位培育健康的核安全文化，并提升政府核安全监管的有效性。来自瑞典核工业界和政府核安全监管部门的专家与会。法国、芬兰、日本、韩国、南非和美国的观察员受邀参加了会议。

2019年在芬兰举办了第二届论坛。主题为深入理解国别文化背景如何影响核安全文化和日常核电运营。论坛由OECD/NEA主办，世界核电运营者联合会（WANO）及芬兰核安全局（STUK）协办。

2022年，在加拿大渥太华举办了第三届论坛。主题为国民性格对核设施日常运营及核安全文化的总体影响。加拿大的参会代表覆盖了核燃料循环体系、核医药界及相关学术机构。论坛由WANO和加拿大核安全委员会（CNSC）参与协办。来自法国、日本、瑞士、英国的专家作为观察员受邀参加。

第四届论坛将于2023年12月在日本举行，由WANO东京中心、日本核安全局（NRA）和日本电气事业联合会（FEPC）参与协办。

（扈黎光 编译）

## 国际原子能机构和联合国粮农组织开展太空育种合作

2022年11月7日，国际原子能机构（下称“机构”）和联合国粮食及农业组织（下称“粮农组织”）合作，将一批拟南芥和高粱

种子发送到国际空间站。这批种子从位于美国弗吉尼亚州东海岸的沃洛普斯火箭发射场发射升空，12月13日抵达国际空间站后，一半转移到空间站外部平台接受强宇宙射线辐照；作为比较，另一半保存在国际空间站内接受微重力和弱辐射。这批种子将于2023年4月返回。

该研究的目的是利用太空极端温度和宇宙辐射等条件引发的种子基因突变，加强优良作物品种选育，抵御气候变化影响，提升全球粮食安全。

选择拟南芥和高粱种子，是因为前者广泛用于基因实验研究，后者属半干旱热带地区作物，是很多发展中国家的重要粮食作物。

机构和粮农组织长期以来通过其联合中心帮助成员国利用辐射诱变技术开发新农作物品种。迄今为止，已经利用辐射诱发的遗传变异和突变育种开发了210多个植物物种的3,400多个新品种，惠及70多个成员国。

这批种子返回后，将在联合中心管理的塞伯斯多夫实验室中发芽和生长。科研人员将研究其DNA结构和生物效应变化，进而了解宇宙辐射和太空条件是否对作物改良具有独特价值。该实验将是联合中心首次对暴露于太空诱变的种子进行基因组和生物学分析。

机构总干事格罗西和粮农组织总干事屈冬玉均对该合作项目给予高度重视和积极评价。格表示：“核科学再次向我们展示了其应对气候变化的非凡能力，希望该实验能带来突破。我们将免费分享研究成果，以帮助农民开发适应气候变化和增加粮食产量的新作物。”屈表示：“全球数百万脆弱的小农粮食生产者迫切需要适应日益严

峻生长条件的优质种子。太空育种等创新科学可改良作物品种，助力人类实现更好营养、更好环境和更好生活。”

（萧黎黎 编译）

## 西屋公司向捷克核电站供应核燃料

西屋电气公司与捷克能源公司（ČEZ）3月29日签署协议，从2024年开始为捷克杜科瓦尼(Dukovany)核电站4台VVER-440机组供应核燃料组件。

欧盟及周边国家境内现有30余座俄罗斯设计的核电机组，包括VVER-440，VVER-1000等堆型。出于地缘政治考虑，美西方多年来积极推动这些机组换用西方核燃料。2005年以来，随着西屋公司适用VVER堆型的核燃料逐步完成验证，乌克兰、保加利亚等陆续签订合同，从西屋公司采购核燃料，实现核燃料供应“多元化”。

捷克目前有6台核电机组在运，除杜科瓦尼4台机组外，还有特梅林核电厂2台VVER-1000机组，核电发电量占全国发电量的34%。2022年，捷克已与西屋公司签署合同，采购特梅林2台机组核燃料。至此，捷克全部6台核电机组将从西屋公司采购核燃料。

（魏清明 编译）

## 国际原子能机构发布钍基核能应用潜力分析报告

3月13日，国际原子能机构（下称“机构”）网站对我国完成钍基熔盐实验堆建设并开展试验进行了报道，并重点介绍了机构最新“协调研究项目”（CRP）成果报告《钍基核能近期和远期部署发



展方向》。包括中国在内的 9 个国家的研究人员参加了该项研究。

报道称，除中国外，美、英、印度和日本等国也对钍基核能表现出强烈兴趣。在当前铀燃料占主导地位条件下，钍基核燃料的最大吸引力是其储量更加丰富、利用效率更高。《钍基核能近期和远期部署发展方向》报告全面总结了一项为期 4 年、以开发钍基核能可能性为重点的机构协作研究成果，系统梳理了钍作为核燃料的优点和所面临的挑战，并详细分析了钍在水冷反应堆、熔盐反应堆等不同类型反应堆中的应用。

机构核燃料循环设施专家 Agarwal 表示：“钍基核能是一种可行、有利的选择，可满足不断增长的能源需求。机构的协作研究项目有助于各国科研单位分享钍应用相关知识与经验。”

尽管钍储量丰富，但钍金属生产成本高。钍在地壳中的相对含量为 10.5ppm，而铀仅为 3ppm。然而钍通常作为副产品被开采，因此提取钍的成本比铀更高。此外，由于钍的核能应用经验不足，钍基核能的研发、试验成本很高，经济、技术方面挑战很大。

机构核燃料循环处负责人表示：“为了寻求替代性可持续能源，钍将成为重要选择之一。机构将继续开展相关研究，为有兴趣开发钍基能源的国家提供科学、可靠的技术。”

（编译 赵学军）

本期编辑：扈黎光

---