

深层地质处置库中的乏核燃料核查

文/Eva Morela Lam Redondo

随着世界各国寻求替代化石燃料的解决方案来应对气候变化，一些国家在制定核能计划，以提供可持续的低碳能源。运行核反应堆的国家有责任提供高放废物地质处置能力。国际上公认的高放废物地质处置方法是挖掘深层地质处置库。加拿大、芬兰、法国、瑞典和瑞士都制定了最先进的深层地质处置库计划。

正在开发的新设施例如包括芬兰的乏燃料封装厂和深层地质处置库——前者是将乏燃料安全密封在处置罐中，后者则是永久安全地储存处置罐。两个设施都必须遵守芬兰的国际法律义务，允许原子能机构核查核材料和平利用情况。

原子能机构通过实施称为“保障”的一系列技术措施来监督核设施、核材料和核活动，从而履行核核查任务。这些措施使原子能机构能够独立核查各国是否履行了仅为和平目的使用核材料的法律责任。各国通过与原子能机构签订保障协定来接受这些措施。因此，通过执行保障，原子能机构可以向世界提供关于各国正在履行其核不扩散承诺的可信保证。

芬兰辐射和核安全局核材料保障部门负责人Marko Hämäläinen说：“芬兰与国际原子能机构的合作体现了我们通过有效的保障履行国际不扩散义务的坚定承诺。”

封装厂和深层地质处置库设施给实施保障带来了挑战和机遇。目前正在制定创新解决方案，以便原子能机构保障视察员能够核查所贮存的核材料。深层地质处置库位于地下500米深处，计划在未来100年内运行，进入该

处置库是这些挑战之一。封装厂和深层地质处置库投入运行后，将成为世界上首个与国际原子能机构签订全面保障协定的此类设施。因此，原子能机构视察员需要制定新的可持续保障方案，以便目前和在遥远的未来核查这些难以接触的核材料。

“作为保障视察员，我们首先需要能够在乏核燃料转移到封装厂和深层地质处置库设施之前对其进行核查，然后执行保障措施，以确认乏燃料未被转用或替代，以及这些设施未被用于未申报的目的，”原子能机构核保障视察员Courtney Ames说，“对于原子能机构保障视察员来说，封装厂和深层地质处置库设施在乏燃料转移期间和转移之后保持知识的连续性是一项挑战，特别是在实际接触地质处置库有限的情况下。通过利用新技术，采取团队合作和仔细分析，我们可以实现保障目标。”

原子能机构、欧盟委员会以及芬兰辐射和核安全局之间需要合作制定保障措施和方法，包括在处置乏燃料之前开发和测试乏核燃料核查技术。

2012年，原子能机构启动了封装厂和地质处置库项目，以专门应对新型设施带来的保障执行挑战。在与对应方的密切合作下，就该项目实施了一项综合方案，其中纳入了“保障始于设计”原则，可最大限度地减少对深层地质处置库的运行影响。“保障始于设计”需要在设施规划和设计的早期阶段就纳入保障考虑因素，并将这些考虑因素持续贯穿于整个建设、运行和退役过程。就芬兰而言，“保障始

“作为保障视察员，我们首先需要能够在乏核燃料转移到封装厂和深层地质处置库设施之前对其进行核查，然后执行保障措施，以确认乏燃料未被转用或替代，以及这些设施未被用于未申报的目的。”

—国际原子能机构核保障视察员 Courtney Ames



于设计”应使原子能机构和欧洲原子能共同体的保障视察员以及国家当局（芬兰辐射和核安全局）能够有效地履行职责，同时不干扰封装厂和深层地质处置库设施的运行。

“我们在封装厂和地质处置库项目中实施了‘保障始于设计’原则”。这种前瞻性方案减少了改造需要，并为营运者、芬兰辐射和核安全局、国际原子能机构和欧盟委员会节省了宝贵的资源。” Hämäläinen说。

其他最新制定的概念和措施，包括远程监控系统，也正在实施中。通过使用远程监控系统观察核材料所在地，原子能机构可以减少现场视察，进而降低因往返设施而产生的碳排放。地震监测和激光封隔系统等技术也可以在减少视察方面发挥作用，

地震监测可以发现任何未申报的穿透深层地质处置库周围岩石情况，而激光封隔系统可以分析容器顶盖的焊接轮廓，从而生成独特的自然“特征径迹”，如果这种“特征径迹”发生变化，则表明容器罐已被打开。

到2025年，芬兰的封装厂和深层地质处置库设施将全面投入运行，用于乏核燃料的安置。通过合作与创新，原子能机构、欧盟委员会以及芬兰辐射和核安全局正在共同实施有效和高效的保障，以实现原子能机构的核查目标，同时确保对设施运行的影响最小。通过纳入“保障始于设计”原则，封装厂和深层地质处置库设施将提供处理和处置乏核燃料的解决方案，支持低碳核能转型，以及促进原子能机构对核材料和核技术的核查。

芬兰ONKALO乏核燃料
深层地质处置库入口。

（图/Posiva公司）