



Didier Louvat 和 Phil Metcalf

把燃料循环闭合起来

低放废物处置方案已经制定出来，放射性废物地质处置在一些成员国似乎呈现美好前景

日本六所村参观中心的模拟放射性废物桶展示了放射性废物包装和贮存的方式。

(图片来源：国际原子能机构K.Hansen)

乏燃料和放射性废物管理是新老核电站都面临的特别具有挑战性的任务，也是公众担心的一个主要问题。因为核电计划的寿期可长达100年甚至更长，所以这一点特别重要，对乏燃料和放射性废物适当管理的需要远远超过这个时间。

安全管理放射性废物对保护人类和环境的重要性早已被认识到，并且已在确定安全目标、制定安全标准方面以及在发展安全论证的技术和机制方面获得了大量

经验。然而，尽管国际原子能机构成员国在安全管理放射性废物方面取得了重大进展，但许多国家在制定国家战略和加强执行国家战略的基础结构方面仍需要努力。

全球安全制度

因为核工业的全球性和放射性废物管理所涉及的长期性减少了国际边界的重要性，放射性废物管理安全被视为国际关切问题。这种认识随着核能利用的增加变得

更强烈。为了确保放射性废物管理安全，国际社会已经建立并遵守一项由若干元素组成的全球核安全制度。这些元素包括《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》和若干国际安全标准。这项国际制度得到国家法律和监管框架的补充。

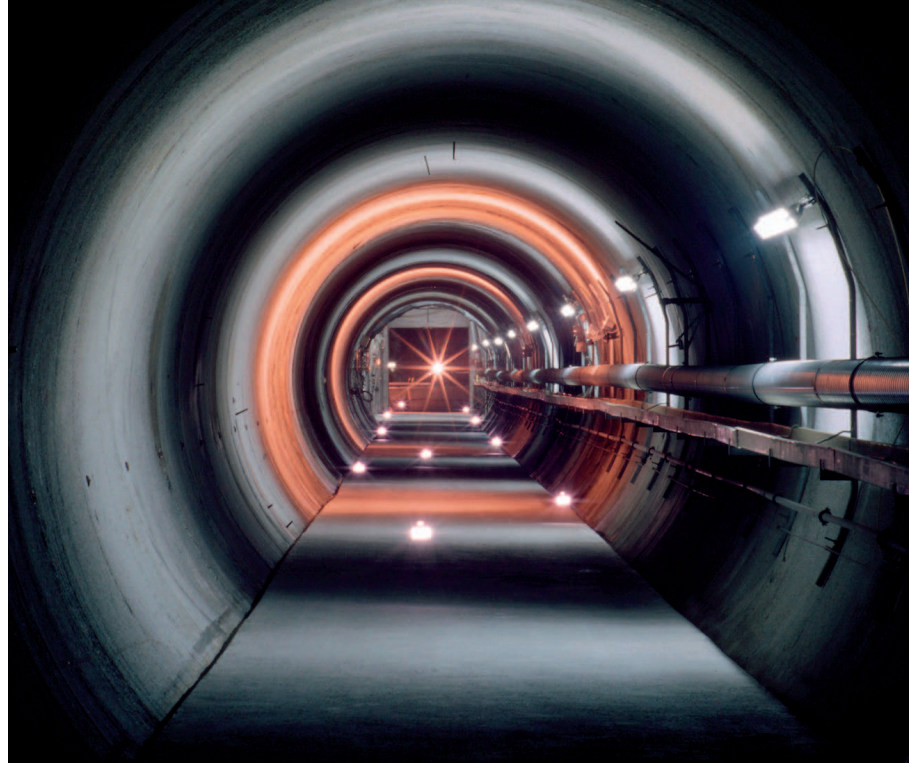
全球放射性废物存量

自核能利用于20世纪40年代出现以来，迄今为止管理的全球放射性废物存量，包括已经处置的累计数量，达到约4100万立方米中低放废物、20万吨（重金属）乏核燃料、40万立方米高放废物和20亿立方米来自铀生产循环的残留物。应该指出的是，绝大多数高放废物（大约89%）来自美国和前苏联冷战期间的武器研制活动，其中大多处于未处理的液态形式。合起来的所有废物类别的年平均全球处置率大约是每年300万立方米，主要是低放废物和超低放废物。高放废物的年累积量相当稳定，全世界每年平均累积率约为850立方米（基于每吨后处理乏燃料产生的平均高放废物量）。低放、中放和高放废物属于不同级别的废物，需要逐步提高封闭和与人类、环境隔离的程度。

放射性废物处置方案

对迄今产生的废物已经采用不同方式进行管理。一些废物被置于各种贮存设施中等待最终处置决定，一些废物被贮存等待最终处置设施的开发，还有一些废物对其已经做了最终处置。虽然已有不同类型的处置设施开发出来，但是原理上都是由一系列的专设屏障和天然屏障组成，目的是将废物与生物圈隔离，将废物里面的放射性包封起来，以消除对人类和环境的辐射危险。低放废物的贮存和处置在世界上已相当成熟，已有100多座处置设施。乏核燃料和高放射性废物的贮存也比较完善。

乏核燃料和高放废物处置设施的开发工作已进行了将近30年，即将见到成果。选定的设计方案是在深的地质岩层（一种特殊成分的岩石层）处置，虽然处于成熟的概念设计阶段，但仍然有待实施。



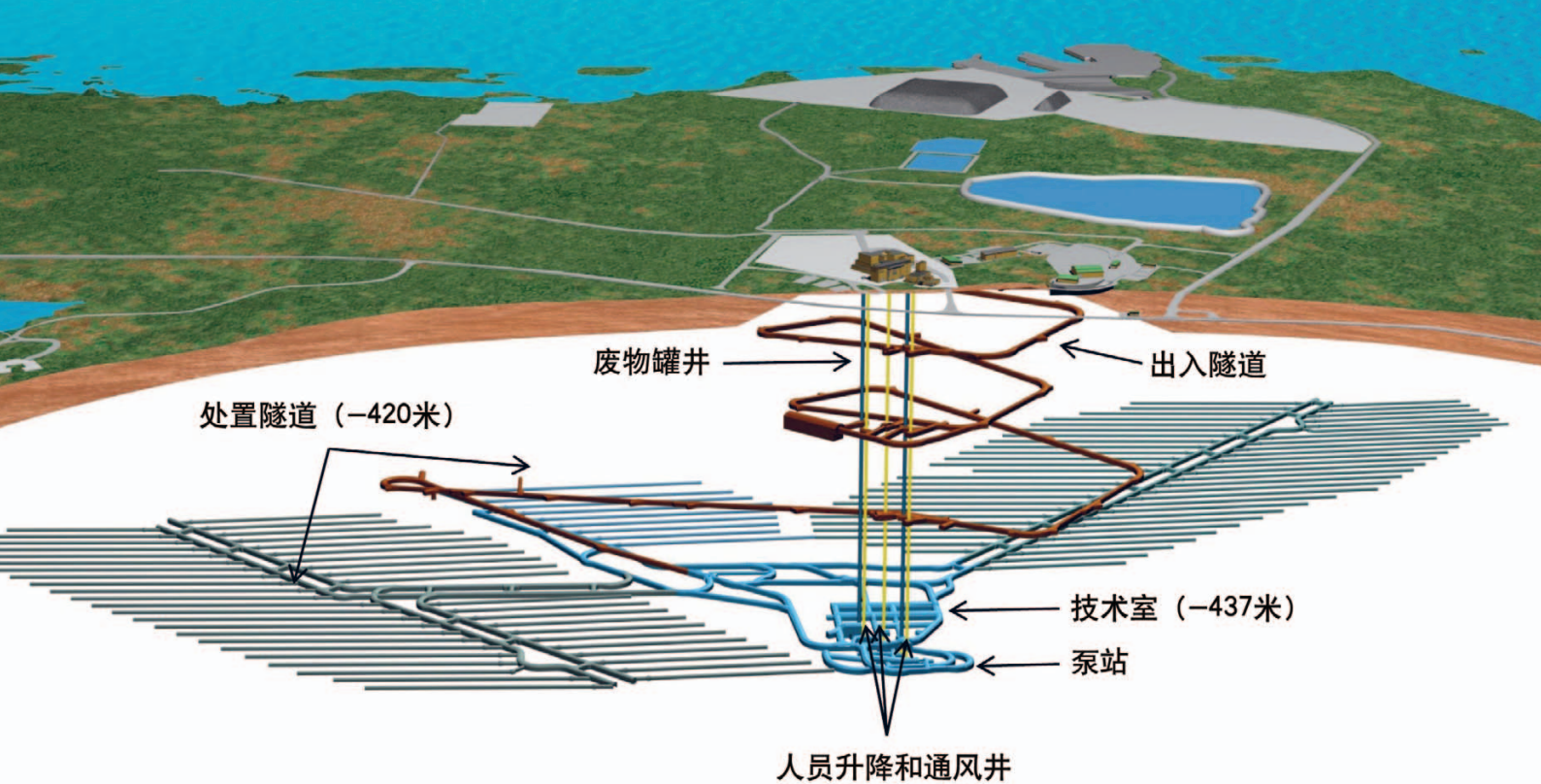
高放废物的地质处置

许多国家一直在进行高放废物和乏核燃料地质处置设施的研发项目。迄今开展的大量活动不仅涉及各种主岩地质情况适合性和处置设施概念设计的研究，而且涉及如何获得处置社区的接受。在汲取了许多教训的同时，也在技术和社会政治方面取得了进展，特别是在需要有充分根据的科学调查和与所有有关各方进行公开、透明对话方面。

许多国家在技术发展和公众接受方面都取得了良好进展，以至正在准备许可证申请并向国家监管部门提交。在美国，有关尤卡山处置设施的许可证申请已于2008年提交，正在接受核管会的审查，尽

确保放射性废物安全的方式研究。瑞士阿尔卑斯山中的格力塞尔地下岩石实验室全年被用于研究安全处置高放废物的方式。在这幅图中，可以看到乏核燃料深层处置库的一条隧道。

（图片来源：瑞士格力塞尔地下岩石实验室）。



由一名艺术家制作的高放核废物最终处置设施图。

(图片来源：芬兰Posiva Oy公司)

管该项目今后存在着政治上的不确定性*。在瑞典，有关福斯马克地质处置场址的许可证申请拟于2010年提交，预期在2015年开工建设该处置设施，在2023年投入运行。

在芬兰，计划在2012年提交奥尔基洛托地质处置库的建造许可证申请，在2018年提交运行许可证申请，在2020年启动运行。在法国，计划在2014年底提交在默兹地区建造地质处置库的许可证申请，在2016年开始建造，在2025年开始运行。芬兰和瑞典将直接处置乏燃料，而法国则处置乏燃料后处理产生的玻璃固化废物。已对影响处置设施安全的现象和过程进行了各种情况下的广泛科学研究，制定了地下处置结构的工程解决方案。提出了安全论据，并且将这些论据连同所有支持性科学、技术及管理信息和证据整合到构建的

*2010年1月，美国能源部长宣布成立一个关于美国核未来的最高荣誉委员会，为管理乏燃料和核废物提供建议。3月，能源部取消了其悬而未决的有关尤卡山永久地质处置库的许可证申请。

安全案例中。这些安全案例将成为许可证审批考虑的基础。瑞典、芬兰和法国的监管部门将开始对这些安全案例进行审批。尽管在核设施的许可证审批方面积累了大量的经验，但是迄今这些经验一直是有关有限寿期和处于运行控制下的设施的经验。地质处置许可证审批对于监管部门来说是一个新程序，由于地质处置涉及的时间长和自然地质环境的作用，监管部门面临独特的挑战。

对处置废物的地质环境的选择要经过仔细的地质环境特性审查，并评估处置设施及其地质环境将如何随着放射性内容物大幅衰变所需要的时间而不断变化。这种时间范围相当于几万到几十万年，从人类角度看相当长，但是在地质发展史上则很短。对地质处置感兴趣国家的监管部门已认识到这些变化，并且在过去的十年中开展了大量对话活动，以便制定协调一致的方法来确立安全目标和标准以及满足这些目标和标准的方式。对话的目的是形成国际安全标准。他们还致力于国际协调项目，交流有关

许可证审批过程的想法和经验。

安全标准和国际项目

制定地质处置和安全论证的国际安全标准工作已进行了好几年，并且取得了很大程度的共识。然而，随着汇编安全案例的详细过程和地质处置设施许可证申请取得进展，以及监管部门准备和着手审查，许多详细问题有待解决。经修订和加强的有关放射性废物处置国际安全要求标准已获得国际原子能机构成员国的批准，更新版将在今年发布。监管部门对安全案例及其审查的详细指导也进行后期准备阶段，将大大有助于实现国际协调一致的方法。

正如所表明的，目前接近地质处置设施许可证审批的国家和在地质处置设施计划方面进展不大的国家认识到国际协调一致的方法对许可证审批过程的好处，并且正在开展各种相关的主动行动。在欧洲地区，有关这一协调过程的一项倡议已开展相当长一段时间，在国际层面上，国际原子能机构和经济合作与开发组织/核能机构均在实施一些项目，包括地质处置安全项目和安全案例综合小组项目。这些协调项

目正在解决有关安全案例的结构和内容及其在项目寿期内的演变、支持安全评定办法和评估关闭后长期安全的安全准则等关键问题。预计这项工作将促使在安全论证和许可证审批过程的许多方面形成共识。

结论

随着世界在增加核能发电，放射性废物的产生量将不断增加。随着更先进的反应堆设计和燃料循环方案的发展，无疑将实现更高的效率，使放射性废物的产生量减少。尽管如此，放射性废物量仍会累积增加，必须得到安全管理。低放废物的处置方案已经制定出来，放射性废物地质处置在一些成员国似乎呈现美好的前景。今后十年将证实这些前景，使核燃料循环安全闭合。



Didier Louvat是国际原子能机构废物和环境安全科科长。电子信箱：D.Louvat@iaea.org。Phil Metcalf是国际原子能机构放射性废物和乏燃料管理股股长。电子信箱：P.E.Metcalf@iaea.org。

在格力塞尔发现的一座1600万年的晶体洞穴。

(图片来源：瑞士格力塞尔地下岩石实验室)。

