

各国放射性废物深层地质处置项目进展

为永久性解决放射性废物问题，越来越多的国家正计划采用深层地质处置方案。虽然项目规划与施工建造耗时良久，但各国均已取得一定进展。

加拿大、芬兰、法国、瑞典、瑞士、美国等国早就已经开始规划深层地质处置库建设。今年九月，国际原子能机构大会期间，相关国家分享了各自项目的进展状况。

深层地质处置的意义

深层地质处置库，是指为永久处置高放废物而建设的高度工程化的地下仓库及隧道网络，从而确保到达地表环境的辐射水平不产生危害。深层地质处置库必须位于足够深度且地质条件合适的区域，确保数万年后仍能安全隔离放射性废物。

从核能规划的可持续性角度来看，乏燃料及其他高放废物的处置一直是亟待解决的问题。几十年来，这类核废物大都存储在核电站附近的地面、近地表水池、特殊容器或设施中。目前这些方案都被视为临时储存措施。

国际原子能机构辐射、运输和废物安全司司长希尔迪加德·范登霍夫表示：“一般认为，不存在保护人类和环境免受放射性废物危害的长期解决方案。这种观点其实不然。我们早就知道，深层地质处置在技术上是可行的，并且已被证

明是安全的，一直是国际公认的解决方案。但是，建造地质处置设施是一个漫长且复杂的过程，需要进行严格的研究和广泛的安全论证。这方面没有先例，且建造周期很长。”

选址和审批需数十年之久。国际原子能机构辐射、运输和废物安全司废物与环境安全科科长安娜·克拉克表示：“会有一个漫长的运行前阶段，包括概念设计、规划、调查、现场勘察、选址、缩小备选场地范围、对优选场地进行详细描述等诸多环节。甚至在开始申请建造许可证之前，这一过程已经相当漫长。在此期间，安全论证和监管机构的作用也在不断演变，监管机构必须随之调整专业知识和能力。”

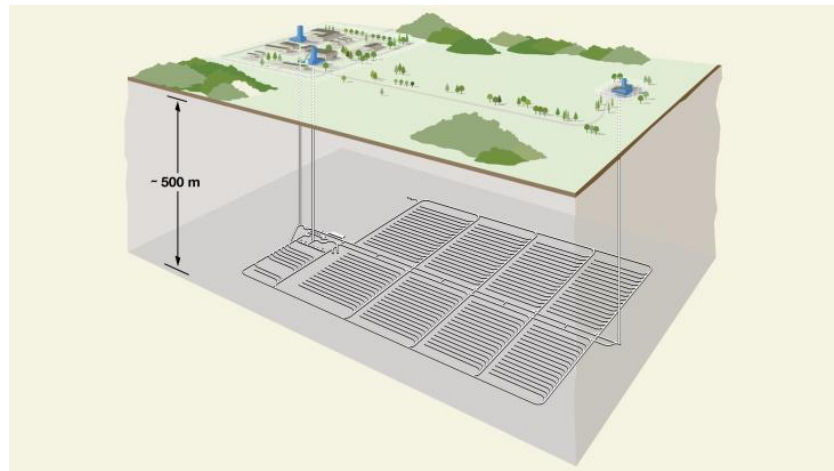
各国项目进展如下：

加拿大

加拿大核安全委员会监管事务副主席、首席传播官科林·摩西介绍了加拿大深层地质处置库的现状。他指出，相关讨论始于上世纪 70 年代。该项目由加拿大的政府机构——核废物管理组织推进，其任务是确定、寻找、开发并运行一个处置加拿大乏燃料的长期解决方案。项目资金由废物生产者提供。其概念是构建“一道天然的岩石屏障，保护废物免受破坏性自然灾害、水流和人类侵扰”。

选址程序 14 年前就已启动，并已征得广泛同意。2024 年 11 月，拟议处置库的厂址确定在瓦比贡湖奥吉布瓦民族和伊格纳斯镇。加拿大国内一直在进行与利益相关者的互动、

预环境评估、技术审查等许可证申请前活动。



只有当该深层地质处置库成功完成联邦政府长达多年的监管程序以及由原住民主导的监管评估和审批程序（瓦比贡湖奥吉布瓦民族将制定和实施的一项独立监管程序）后，才会启动设施的建设。

加拿大核废物管理组织选取了 20 多处潜在厂址，寻找意向地区，花费约十年时间才确定最终选址。

摩西表示正式的监管程序于 2025 年启动，“并将持续数年，预计 2030 年出具初步决定，2032 年推进项目建设，2042 年投入运行，2092 年关闭设施。这是一个横跨数十年的项目，加拿大已经为此做了几十年的准备。”

芬兰

芬兰的昂卡罗项目目前进展最为深入。芬兰辐射与核安全局局长佩特里·蒂帕纳概述了项目概念，即在深度为 400-430 米的结晶岩中建造处置库，将乏燃料装入铜罐，周围用膨润土缓冲层包裹。

目前，芬兰的深层地质处置库正处于调试阶段。该国的深层地质处置项目始于上世纪 80 年代，当时政府设立了在 21 世纪 20 年代运行项目的目标。蒂帕纳表示，从研究、设计以及概念方面来看，21 世纪初，项目立即进入了许可证申请前阶段，项目选址获得许可。2015 年颁发建造许可证。

目前，封装厂已完成调试，并将模拟燃料元件装入五个铜罐，运输到地下设施。下一阶段将测试地下设施以及五个铜罐的最终处置。芬兰表示，安全文件审查已接近尾声，预计明年做出决定，随即投入运行。

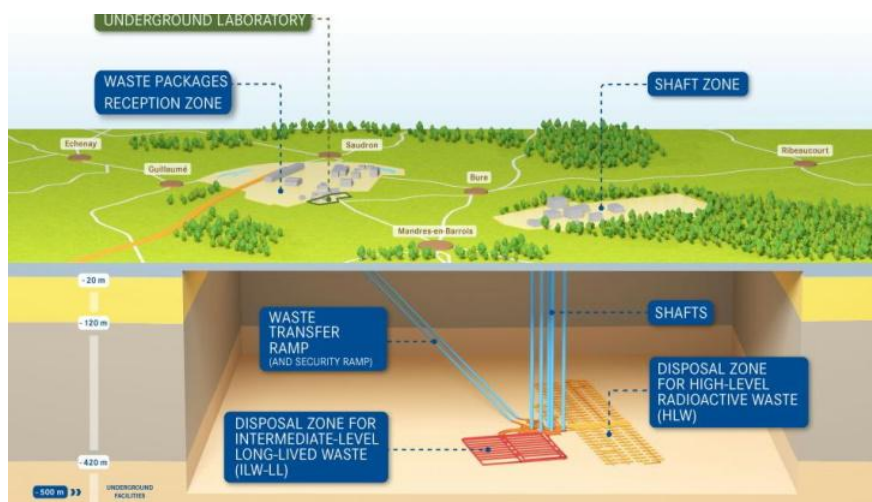


法国

法国计划在巴黎东部默兹/上马恩地区比雷附近的天然黏土层中建造 Cigéo 地质处置中心——地下处置隧道系统。计划处置 1 万立方米高放废物和 7.5 万立方米中放废物。

法国核安全与辐射防护局委员让-吕克·拉绍姆表示，法国在开发处置库方面已经进行了数十年的工作，上世纪 80 年代开始了议会讨论，直到 20 年前才决定推进深层地质处

置库的建设。



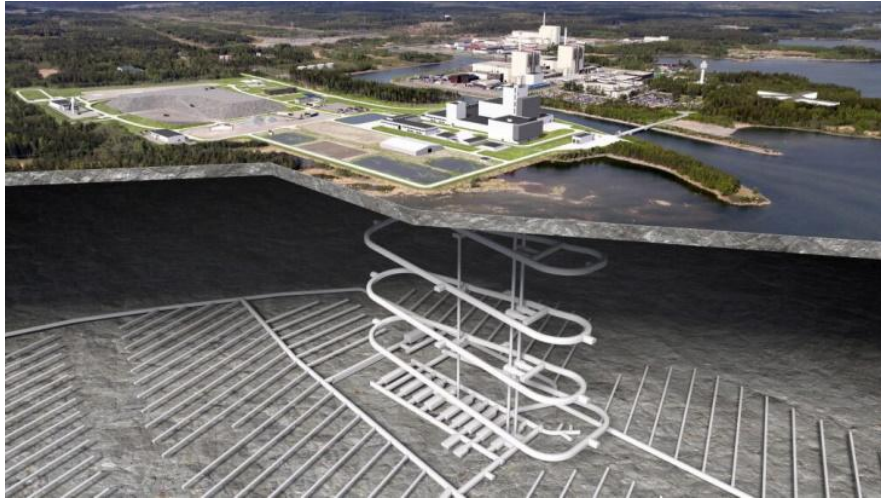
2023 年迎来了关键节点，Cigéo 项目提交建造许可证申请，此后一直处于审查阶段。2025 年 6 月，完成了技术审查。法国核安全与辐射防护局于 2025 年 12 月对该申请出具了肯定意见。

法国将在 2026 年进行协商和公众调查，预计 2027 年或 2028 年授予许可证，2035 年启动试点阶段的首批运行。

瑞典

瑞典的项目选址已定在斯德哥尔摩以北 150 公里的福什马克。地表工程一直在进行，2025 年 1 月，提交了地下挖掘的申请，目前正在审议阶段。项目概念是将处置库建在深度 500 米的结晶岩中，每个铜罐周围包裹着膨润土黏土，以防止地下水接触铜罐，为潜在的放射性物质泄漏提供屏障。

瑞典也同样经历了数十年的准备和讨论，在政府于 2022 年批准之前，2011 年至 2018 年间进行了监管许可审查和法庭听证。



瑞典辐射安全局局长迈克尔·克诺兴豪特表示：“项目始于上世纪七八十年代。在论证防护能力方面存在相当多的技术挑战，既要满足监管机构的要求，又要确保处置库在 10 万年内完好无损。”

他指出，公众信任和接受度非常重要，提升公众信任需要时间。监管机构内部也需要积累知识，“项目的建设是一个漫长的过程，其中一个重要方面是明确的责任分配，需要遵循‘污染者付费’原则”。

在审议处置库建造许可证期间，地上建筑工程将继续进行，预计监管机构将在 2026 年或 2027 年批准，届时将开始地下建设，随后进行试运行。

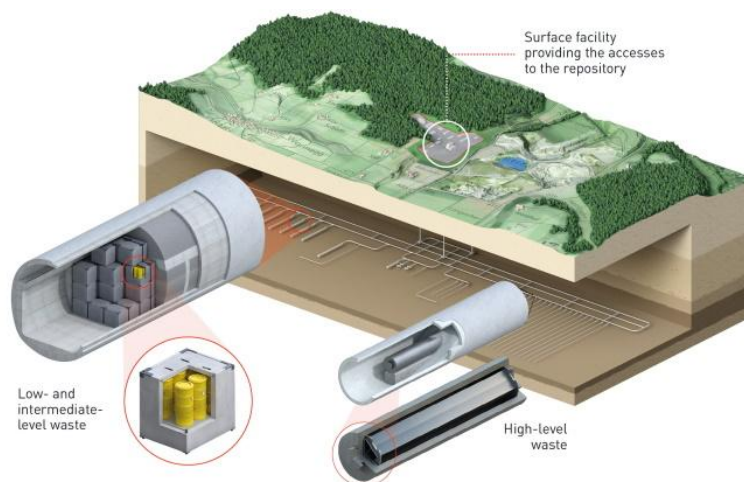
瑞士

瑞士 2008 年启动了处置库选址，目前选址阶段已进入尾声，国内外同行皆参与了这一项目。瑞士计划建造高、中、低放废物联合处置库，目前已提交通用许可证申请，预计将于 2027 年前审议，政府预计 2029 年做出决定。

瑞士联邦核安全监察局局长马克·肯泽尔曼概述了选址背景。瑞士的国土面积只有得克萨斯州的 7% 左右，其中三分之二是山区，不适合建造高放废物处置库，在未来一百万年内阿尔卑斯山预计会升高一公里，而这恰好是“安全的深层地质处置库设计的时间框架。阿尔卑斯山的地质活动活跃，但瑞士需要的是‘沉闷’的地质条件”。

选址搜索只能集中在与德国相邻的边境地区。因此，马克表示“选址过程一开始，我们就邀请了德国参与其中。还需投入时间与精力，建立利益相关方的信任。两国的公众意见也存在独特的差异：德国人普遍比瑞士人更担忧这一问题。”

2024 年 11 月，瑞士国家放射性废物处置合作组织纳格拉向瑞士联邦能源办公室提交建造通用许可申请，计划在瑞士北部的北拉格恩建造深层地质处置库，并在阿尔高州乌伦林根现有的茨威拉格临时储存设施建造一个乏燃料封装厂。



根据目前规划，预计联邦委员会 2029 年对该申请做出

决定，议会 2030 年做出决定。预计 2031 年将举行全民公投。

一旦处置库的通用授权生效，将在拟建区域建造地下实验室进行地质研究，为后续建造处置库提供知识储备。随后可以提交建造许可证申请、运行许可证申请。根据目前的规划，处置库预计于 2050 年投运并开始储存第一批放射性废物。

美国

自 1987 年以来，美国在《核废物政策法案》中，将尤卡山指定为处置乏燃料和高放废物的唯一初始处置库。美国能源部于 2008 年向核监管委员会（NRC）提交了建造许可证申请，但奥巴马政府随后决定中止该项目。此后历经波折，但该项目仍尚未建成。

NRC 运营执行官迈克·金表示，NRC 工作人员已审查了能源部关于在尤卡山建造处置库的申请，并在十多年前就完成了安全评估报告，认为该项目符合安全标准，“然而，还有两个悬而未决的环境和规划问题阻碍了最终授权”。自 2016 年以来项目资金已中断，许可程序暂停，除记录保存外，目前该地未进行任何活动。



金强调，NRC 继续参与地质处置相关的国内外活动，分享并学习相关经验。在此期间，美国将乏燃料储存在约一百处燃料池或干桶贮存设施中，“我们也非常关注最终的永久解决方案是什么”。

金表示，从监管机构的角度来看，保持客观、有条不紊并与公众接触非常重要。在尤卡山案例中，NRC 与申请方进行了上百次技术交流，这些交流对公众开放，“这样公众可以看到我们正在解决关键技术问题”。

“未雨绸缪并妥善保存记录，确保能够检索——在个人电脑普及前，我们最初使用的是缩微胶片。随着时间的推移，我们使用的软件也发生了巨大变化。”这也带来了挑战，即需要收集所有记录并将其整理成可恢复的格式。

总结

总的来看，深层地质处置项目需要明确的责任划分、长期规划、清晰的公众咨询和决策过程，确保决策过程获得公众信任。需要知道公众想了解什么、已经掌握了什么。过去，

一些项目未能推进，并非因为技术缺陷，而是因为公众反对或迫于政治原因。会议还敦促监管机构保持足够的灵活性，以适应概念开发过程中的变化。关于选址，与会者一致认为，可能有几个厂址都符合所有必要的标准，因此不应执着于寻找最佳厂址。

与会者一致认为，分享项目经验教训非常重要，这样其他可能计划启动深层地质处置库的国家——以及作为顾问的国际原子能机构本身——都能从这些经验中受益。

对外合作部 李安琪 供稿

编译自世界核能新闻官网

文章内容不代表本公众号观点