

重大考虑：废物贮存和处置问题



荷兰放射性废物中心组织HABOG贮存设施
(图/荷兰放射性废物中心组织)

当人们谈论核技术的采用和放射性物质的使用时，最具争议的问题之一是放射性废物的最终处置。

放射性废物和被宣布为废物的乏燃料对人体健康或环境不再产生潜在危害所需的时间长短不一。某些类型的放射性废物需要几个月到数年，高放废物需要千年，而乏燃料需要几十万年。因此，政府和公民自然对其短期和长期安全表示关切。

通过处置可提供长期安全，但在落实合适的处置设施前，要靠贮存确保安全管理。虽然世界范围内已实施或正在开发安全和可持续的解决方案，但在不同的场所简单地复制相同的解决方案是永远不够的。对于每一个设施，主管当局必须进行安全评定，审查基于安全状况报告的许可证申请。这样才能确保政府和公民的合理关切得到全面解决，并对保护人类和环境作出规定。对处置设施进行许可证审批往

往是一个漫长的过程，因此有必要在短期内对待处置废物进行安全贮存。

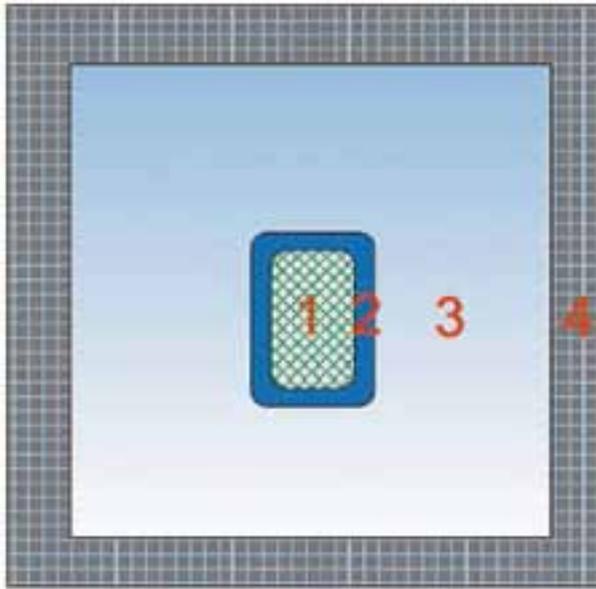
废物贮存

在废物管理过程的任何阶段都可能需要贮存，贮存可起到几个作用，如使短寿命放射性核素衰变、散热或有时间积存足够的废物便于高效的处理，或提供废物包容和隔离，直至落实合适的处置路线。

贮存的定义是将放射源、乏燃料或放射性废物存放在能对其包容的设施中并有意回取。因此，从定义看，贮存是一种临时措施。

为提供安全、可回取、可监控和妥善的废物贮存，以确保保护工作人员、公众和环境，贮存系统需要有两个主要部分：废物包和贮存设施本身。两个部分联系紧密，任何一部分的性质和行为都会对另一部分的设计产生强烈影响。两者需要妥善

贮存系统示意图



废物包贮存——实物保护和环境保护层

1. 整备后的废物体是主要屏障。
2. 废物容器是第二道屏障。
3. 在保持废物体和废物容器的完整性方面对贮存环境的控制十分重要。
4. 贮存结构是废物包气候/大气保护的最后一道屏障，也是废物实物安保的一个重要因素。

图片：2012年11月产业指南：高活度废物包临时贮存综合方案，英国核退役管理局

处理，以确保系统满足必要的安全和监管要求。上图提供了贮存系统的示意图。

废物包包括废物体和容器。首选废物体是稳定的固体产物，可利用合适的整备技术（如水泥固化或玻璃固化）生产。容器确保需要贮存和处置的放射性废物的安全包容，将包括贮存中的操作和堆叠特征。一些常用的容器如右图所示。

贮存设施提供了废物包贮存期间不会降解、可安全回取和运输至处置设施的环境。因此，这种贮存建筑物类型及其内部贮存布置与正在贮存的废物类型和分类有关。

通常贮存在200升钢桶或金属容器中并可能按选定的路线在很短的时间内送至处置的低放废物，由于不需要屏蔽，仅需要安排简单的贮存。合适的结构可以是工业型建筑物，可由当地气候

提供保护，有坚固的混凝土板、车辆和人员通道门以及监测和检查规定，湿度控制也可能是必要的。



左上起：
200升钢桶、
混凝土箱和
高放废物不
锈钢容器
(图(左上起)/
国际原子能
机构；英国
镁诺克斯有
限公司；英
国塞拉菲尔
德有限公司)



法国CIRES
处置设施的极低
放废物处置沟
(图/法国国家放射
性废物管理机构)

长寿命玻璃固化高放废物或乏核燃料的贮存需要精心设计、高度工程化的设施，以提供远程操作、屏蔽、冷却以及所需贮存期有保证的环境。这种设施必须还能提供足够的安保，并且在贮存乏核燃料的情况下，具有保护可裂变材料的措施。

近年来，主要由于缺乏许可处置设施，许多成员国正在考虑如果不能及时获得最终处置设施，则把长期贮存（如长达100年）作为风险缓解措施。这种长期贮存需要采取额外的措施，以确保对废物包和设施本身进行持续满意的控制和保护，并论证（包括考虑材料和结构的老化）设施的安全和安保在计划期间是有保证的，并给出相应的许可证。

荷兰HABOG设施是后处理高放玻璃固化废物和研究堆乏燃料当代长期贮存设施的一个例子。即使在这个例子中，贮存也只能被认为是一种临时解决方案，已计

划并需要最终回取废物作进一步管理。处置是能够提供非能动性长期安全的唯一永久性放射性废物管理方案。

废物处置

存在各种不同的处置方案，大致可以分为：

- 近地表处置设施，适于极低放废物和低放废物；
- 地质处置设施，适于中放废物、高放废物和宣布为废物的乏核燃料。

极低放废物和低放废物潜在危害持续时间不超过几百年。它们可以安全地包容在近地表处置设施中。世界范围内已对约140个近地表处置设施进行了选址，部分正在运行，部分甚至已经关闭。对于极低放废物，高效处置方案是利用有限屏障系统的陆地填埋型地表壕沟进行处置。低放废物的处置方案依赖于场址性质与工程屏

障的结合，如衬里、混凝土处置库和交替的非渗透性分水特征覆盖层，以提供所需的保护。

中放废物、高放废物和宣布为废物的乏燃料的危害持续时间可能超过几十万年。因此，它们需要在稳定的地质环境中进行处置，能够确保长期安全，同时数千年（对于中放废物而言）或数十万年（对于高放废物和乏燃料而言）无需人类干预。

对低放废物和中放废物的处置业已成熟，并且在世界范围内有几个低放废物和中放废物地质处置设施正在运行。

少数国家（瑞典、芬兰和法国）在高放废物（包括乏燃料）地质处置设施开发方面进展顺利，预计此类设施将在2025年投入使用。

尽管有这些成功的案例，但处置战略的实施仍然是许多成员国乏燃料和放射性废物管理中最大的持续挑战之一。

从技术和安全的角度看，地质处置是可行的。已发现了适于安全地质处置的不同类型的主岩，并且提出了在晶质岩（如芬兰、瑞典）、沉积岩（如粘土）（如法国）、蒸发岩（如岩盐）（如德国）中处置的安全状况报告。

最初，对地址适合性的评定方法例如包括评价地震活动、火山活动的风险或自然资源的存在是否妨碍地址作为地质处置设施安置之地。随着进一步的调查研究，对场址的表征进入到有把握地了解相关自然特性和过程的阶段，特别是认识到这些自然特性和过程如何有助于包容和隔离废物和乏燃料中的放射性核素并由此有助于长期安全。

除了场址的自然特性，工程特征（如废物体、废物包以及可能安置的任何缓冲层和密封层）也有助于包容及长期安全，也应分析和考虑安全。实际上，废物经处



理转变成废物体，限制了废物的长期释放（如从高放废物玻璃基质中释放）。将废物进一步整备成处置废物包，可在规定的时间内防止与水的接触（例如，在瑞典和芬兰地质处置设计中采用可使用几十万年的铜容器）。

国际原子能机构辐射安全、运输安全和废物安全处以及国际原子能机构核燃料循环和废物技术处

上图：瑞典核电厂运行废物SFR地质处置设施（图/瑞典核燃料和废物管理公司）

下图：芬兰库存乏核燃料深地质处置的宿主地层（图/芬兰Posiva Oy公司）