

《核电站固体废物贮存与处置参考资料》之十三

国际原子能机构技术报告丛书 No 216

放射性固体废物浅地层废物库的场址

调 查

IAEA

维也纳

1982

水利电力部苏州热工研究所汇编

一九八五年八月

本文译自:

IAEA Site Investigations for Repositories
for Solid Radioactive Wastes in Shallow
Ground

Technical Reports Series No 216

IAEA vienna 1982

STI / DOC / 10 / 216

1 引言

核能在许多国家的动能经济中起着—个持续增长的作用。这些国家必须建立适当的系统来安全地管理由核能的利用而产生的放射性废物。

对人不再有用的放射性物质变成了废物。在这些废物的放射性水平有潜在危害的期间，必须使其远离于人。这些废物中的放射性（以及由此而来的辐射毒性）。按其具体的放射性核素及其子体产物的半衰期。随着时间的推移，最后衰变到较低的水平¹。采用浅地层处置的废物管理中，大多数重要的放射性核素的半衰期在一个月到几十年之间变化。超铀元素的含量应是不显著的²。因此，潜在的放射性危害能存在几百年。对所有产生放射性废物的国家来说，有责任限制释入人类环境中的可能对人类有害的放射性的数量。

这些废物对人类及其环境的潜在影响应保持在可接受的水平。放射性废物的密封应该保持有效，直到放射性核素在进入人类环境之前。

注1：某些放射性子体核素的比放射性高于其相应的母体，因此，

其放射性活度水平或放射毒性水平在减少之前的一段时间内会增加。

2：“不显”着或“微量”在这里指的是在废物处置中可以忽略不计的数量。

已经衰变到一个可以接受的水平时为止。一般认为，只要来自埋藏废物的放射性核素的释放对人类的放射影响符合国际放射防护委员会和有关的国家管理当局规定的辐射防护基本原则，那么这种释放将是接受的。借助于足够数量的天然或人工屏障，可以延迟放射性物质的释出，阻滞放射性核素的迁移或稀释放射性物质的浓度，以足以确保对人类的影响保持在可以接受的水平之内。

放射性废物的地下隔离看来是目前最有生命力的处置方案並受到最大的关注。将已经适当固化了的低、中放短寿命固体废物，处置在浅地层中建造的废物库中，是正在应用的。对人类及其环境提供了保护的方案之一。典型的废物库场址包括在废物处置的周围的一个缓冲区以及安置废物的废物库本身。

有关处置系统的研究和对可能的废物库场址的调查是国家核电规划的重要组成部分。废物库场址调查的目的在于使人们把握认为地质环境的性质将能在人们关注的整个很长时期内，对废物提供适当的密封。通常，调查的目的首先是选择含有适当的主岩地质材料的良好地质环境。然后，场址调查就需要确证在一个具体场址的地质构造中或在这地质构造之上处置放射性废物是可行的，並能满足安全准则和审批要求。

2 范 围

本报告为从一个国家的范围选择和确证一个废物库场址所需进行

的调查作了概述並提出了技术导则。这样一个废物库场址应能为低、中放和短寿命的固体放射性废物的处置提供足够的安全性能。本报告还提供了需要进行的技术工作的基本资料。以及在选择适用场址的各个不同阶段的这些调查中采用的各种技术的基本资料。本报告对《放射性废物的浅地层处置。指南》IAEA安全丛书第53号（1981）中给出的资料作出了补充。

虽然。在各种处置方案中。场址调查的一般途径和方法是类似的。但它们的重点和细节的说明则根据每份报告的类型和最终用途而有所变化。可以从下述 IAEA 出版物中得到：有关共同关注的问题的一些资料。

《高放和含 α 的固体废物在地质构造中的废物库的场址选择因素》。IAEA 技术报告第177号（1977）。

《放射性废物的地下处置：基本导则》，IAEA 安全丛书第54号（1981）。

《深层陆相构造中放射性固体废物库的场址调查》，IAEA 技术报告第215号（1982）。

为了确保本报告既能有其独立性又能对其有一个完整的了解。这些资料是必要的。IAEA 技术报告第215号是有关场址调查的综合性基本文献。本报告在与浅地层处置有关的重要课题方面与215号有重大的差别。

...4...

在本文献中，浅地层处置指的是在地表以上或在地表以下，在具有或不具有附加工程屏障的条件下，对放射性废物进行安置和覆盖。如果洞穴非常接近地表，那么废物在地下洞穴中的处置也可以看作是浅地层处置的一种形式，但是这已经超出了本报告的范围。这里所考虑的放射性废物是由人在各种与核有关的工作中所产生的，这些废物含有较少量放射性核素，并且这些放射性核素在废物库预期保持的规定控制时期内，将衰变到可以接受的水平。本报告不研究天然存在的钍、铀矿开采和选矿所产生的放射性尾矿。

本报告中的技术资料，一般已经是以包括主要领域的情况。但是，为了反映包括了废物的总贵和包装方面的变化在内的局部情况，可能需要进行一些修改。换言之，尽管可以相信本报告已经包括了大多数主要的需要考虑的问题，但是不能把这份资料看成是包罗万象的。这里所描述的场址调查和场址选择的技术方法，通常应用于一种非常复杂的情况以提供背景资料。在许多特定情况下，这里给出的所有细节可能并不都适用于其所包含的范围。本报告是建立在场址调查通用技术的基础之上。

本报告主要集中讨论了地学的各个方面以及与地学有关的各种场址调查技术。这些问题对于场址调查可能是十分必需的。对其它领域里的一些主要的有关研究也作了扼要的讨论。本报告在假定在这之前未进行任何调查的基础上提出了从区域性的场址选择开始直到确证场

址适宜建造废物库为止的各个阶段的全部工作。

3 废物和处置原则

目前放射性废物的产生主要有两个来源：核燃料循环及其生产的各个不同阶段以及各种放射性同位素的应用。当前，由核电生产及其有关活动所产生的放射性废物的体积通常比由同位素生产和应用所产生的那些放射性废物要大。尽管高放和长寿命废物显然不属于浅地层处置的范围，但是，由核燃料循环的各个阶段以及由其它放射性同位素的应用所产生的许多其它类型的废物，在其被接收实施浅地层处置之前，需要对其适宜性作仔细的检查。

一个地下废物库应该具有两个重要的、彼此相关的功能：一个功能是废物的隔离，目的是把进入人类环境的放射性核素限制到可以接受的水平；另一个功能是保护废物免于暴露在近地表过程的扩散效应之中。安全的密封——也就是假设：放射性核素没有一点返回到人类环境——可能不是一个现实的原则。但是，由于在废物库的设计中采用了足够数量的天然或人工屏障，将废物放置在这样一个废物库中就能使进入人类环境的放射性物质受到限制。这些屏障是：

(a) 天然屏障：废物库所在地的地质构造，及其周围环境。

沿着从废物库，经由地质介质到达人类环境的潜在通道所产生的阻滞作用。

(b) 人工屏障

废物的物理、化学形态（低浸出率和低扩散性）；

容器抗腐蚀性；

废物库中附加的工程屏障。包括地球化学和低渗透性屏障。

3.1 适宜处置的废物

放射性废物具有许多不同的特性。它们含有不同数量的具有不同半衰期和毒性的³放射性核素（范围是从痕量到占废物重量的大约10%），以及不同数量的分散物质。

3.1.1 放射性核素的含量

在废物处置中，放射性废物一般被分成五类；表1概述了这些类别的废物对地下处置的适用性〔1〕。为了进行处置，将废物分类为具有高、中或低放射性以及短半衰期（一般小于大约5—30年）或长半衰期。如在表1中最后两栏内给出的。本报告中所考虑的废物含量的分类表明：浅地层处置适于已经成为固体状态的短寿命和中、低放废物的处置。对某些废物，推荐采用固定的废物形态或包装。

凡是适宜浅地层处置的废物中的放射性核素的数量和浓度应该使得：在规定的监督预期可以保持的期间，放射性的衰变将使放射性核素的含量减少到从安全角度来看是可以接受的水平。由于放射性衰变

注3：某些废物，例如乏核燃料，其所含有的放射性核素的重量大大超过10%。

表1 放射性废物分类及其优选
处置方案的暂定关系

处 置 方 案		废 物 分 类				
		高 效 命 长 寿 命	中 放 命 长 寿 命	低 放 命 长 寿 命	中 放 命 短 寿 命	低 放 命 短 寿 命
放 置 在 地 造 深 层 构 造 ^c	干 式 ^a	固体, 已固定, 已 包装, 留有 散热空间	固体, 已固定, 已 包装		适用, 但可能较之所需	
	湿 式 ^b	同上, 可能设 有较多的工 程屏障	同上, 可能设有较 多的工程屏障		要求更为严格 ^e	
安 置 在 或 之 矿 洞 穴 ^d	干 式 ^a	不 推 荐	可能采用; 取决于 环境		固体, 可能已包装	
	湿 式 ^b	不 推 荐			固体, 已固定, 已包装	
安 置 在 浅 地 层 中	干 式 ^a	不 推 荐			固体, 已固 定, 已包装	固体, 可能已 固定或包装
	湿 式 ^b	不 推 荐			可能采用的, 已固定已包装 已设有较多的 工程屏障	可能采用, 固 体, 已固定包 装, 设有较多 的工程屏障
半固化的流体 注入低渗透性裂 隙之中		不 推 荐	在采用已经充分验证 的技术的条件下, 对 某些放射性核素可能 采用		在有适当技术的条件下 可适用	
液体注入深层 可渗透的建造 之中		不 推 荐	同 上		在有适当技术的条件下 可适用	

- 注释：
- a. 地质环境与运动的地下水天然隔离；
 - b. 存在一些地下水运动的地质环境；
 - c. 专门为放射性废物处置而挖掘的废物库；
 - d. 可能是由于天然过程或矿物采掘形成的；或可能是废物处置而专门挖掘的矿井或洞穴；
 - e. 在浅地层深度没有所需地质条件的国家。可能优先采用。

速率。辐射毒性和在处置系统内放射性核素的传输速率的不同，因此对废物中含有的每种放射性核素来说，其浅地层处置的可接受水平是不同。因此，当其它条件相同时，短寿命放射性核素的可接受的含量应高于长寿命放射性核素。为了满足核安全要求，国家管理当局需要在实践中针对浅地层处置中各种不同类型的废物所含有的各种不同组别的放射性核素规定相应的限值。

3.1.2 物理和化学特性

放射性废物以各种不同的物理和化学形态出现。放射性废物含有数量不等的各种不同化学组成的物质，这些物质是不可能降解的。在某些情况下，分散材料的特性使得必须将废物转化成另一种较稳定的形态。这种形态的废物比较适宜于在将其安置到最终废物库之前实施处置。为此，建议待处置的放射性废物要有良好的化学、力学、生物、热和辐射稳定性，以及低含量的不能降解的有毒化学物质。废物所含放射性核素的低迁移率在我们所关注的这一时期内亦是重要的。

我们希望废物形态具有稳定性，其目的是把在规定的密封期间可能发生的事故的影响限制到最小，并把可能导致放射性核素释放到人类环境的事故的影响限制到最小。在希望具有的特性包括强氧化剂或腐蚀剂，非常不稳定的化学物质，化学络合剂等存在。

固体废物形态增强了许多我们希望具有的特性。因此，我们认为实施浅地层处置的所有废物均应以固体形态存在。此外，为了进一步

减少废物中所含放射性核素的可能迁移。固体废物形态最好应具有低孔隙率、低表面积和低浸出率。这就启发我们认识到合乎理想的废物形态是坚固的整体式固体。

2 · 1 · 3 调整

某些废物的存在形态可能已经具有为实施浅地层处置所需的性质。另一方面，常必须对废物进行调整以改善废物对处置的适宜性。调整的目的可能是为了减少废物的体积和孔隙度。可能是为了把气体或液体形态转变成固体形态。从而改善废物的稳定性和固定性或为废物提供适当的包装。可以采用的一些处理或调整方法是：可燃物质的焚烧；高孔隙率物质的机械压缩；液体或气体废物的沉淀或离子交换；蒸发减容；废物掺入混凝土、沥青或塑料形成完整的块体；以及包装〔2〕。

固体废物形态的稳定和耐久性包装属于废物调整的一部分。这一措施将使废物处置系统所需的性质得到进一步加强。包装材料及其设计应该具有与以上讨论的废物形态本身同样的特性。在没有单独包装的情况下，有些废物形态是可以接受的。但是适当的包装通常会有利于处置系统的安全。在许多情况下，为了保证在将废物运输到处置场期间，以及废物放置和处置期间的安全，都需要对废物进行包装。

3 · 2 浅地层处置的实践

放射性废物的浅地层处置已经实施了几十年。所采用的程序。所处置的低、中放废物的数量和类型已经有了很大的变化。大部分的放

放射性废物已经采用这种方法进行处置。

根据运行的经验以及增进放射安全和改善经济性的各种要求，已经对浅地层处置设施的设计进行了广泛的改进。这种改进的结果已经增加了天然和人工屏障的数目，限制或延迟了放射性核素从废物库的迁移，并增强对废物处置安全因素的了解。经验已经表明：具有非常良好特性的场址可以接收，在具有中等良好特性的场址不能接收进行处置的调整废物。

总的来说，实现浅地层处置的放射安全的重要特性包括：(a)良好的场址特性；(b)采用工程屏障和经过适当调整的适当废物。大多数现有的废物库系统的设计包括了许多上述的良好特性。

浅地层处置技术在于把废物放置在地表和地表附近地区之上，或地表和地表附近地区之中所建造的处置单元之中。在这篇报告中，不把那种将废物放置在几十米到可能有几百米深的天然或人工洞穴之中的处置方式看作为浅地层处置。后一类处置方式在选址、设计和运行方面需要考虑的侧重点与浅地层处置有显著的区别。因此，超出了本导则的范围。

最老和最简单的浅地层处置方法是把未处理的固体废物直接放置在地表面上，然后用一层土壤覆盖废物。工程屏障是最低限度的，主要的防护由包装和上覆的及周围的土壤的吸附和力学性质所提供。侵蚀、动物侵扰、降水的渗漏、地下水的运动，及其它过程均会对这一

方法的安全性产生有害影响。采用这种方法，需要相当大的面积，并且，这种方法会改变地形的地貌。由于安全的问题，这种方法很少用于新的放射性废物库。

一种相近的方法是把废物放入在特定的地区挖掘而成的地沟内，然后用一层土壤覆盖废物。前一种方法的缺点依然存在。相比之下没有什么变化；这种方法的优点是由于被放置废物的厚度较大，因此所需面积略小而且地形变化较小。

在目前的实践中，地沟一般位于地下水位之上，有时位于一层粘土或具有低渗透性及良好吸附特性的其它物质之上。这些地沟有时用沥青或其它材料予以衬砌以改善其密封性能。在废物包装件之间的空间可以用具有良好吸附性能的土壤或其它材料填满。当地沟填满之后，用土壤和岩石碎块或用混凝土板予以覆盖（在后一种情况下，混凝土板之间的缝隙可用混凝土或其它密封剂填满）。然后，整个表面通常用一层具有低渗透性的土壤和材料覆盖。在这一基本原则中，采用了三道工程屏障（除与废物调整有关的那些屏障之外）：(1)最重要的是在地沟上面的具有低渗透性的材料，使地表水进入地沟内的量减到最小；(2)一个水导流和流水系统将水从地表导离地沟；(3)具有低渗透性的地沟底部。通过种植植被，覆盖岩石碎块以及仔细地沿等高线对最终表面进行修筑，能进一步加强这一系统对侵蚀的防护。沟周围的空间依次用砾石或沙或用其它材料填满以将降水导离废物疏排出去。

在有些国家里，废物与防护材料在近地表的位置上结合成整体式的块体。例如：用固体废物填满一个混凝土坑（可以在这个坑的内部或外部进行衬砌，以减少降雨和地下水的进入）。然后，用可能含有或可能不含有放射性浓缩物的混凝土混合物填满其空余的空间。废物的整个顶层也浇注一层混凝土。

这些较好的实践目的是为了改善水的管理，也就是阻止可能发生的“澡盆效应”（bathtub effect）⁴。这主要通过采取一些措施来实现。为了确保渗透进入处置区的水量十分微小，在废物上部和废物旁边采用具有低渗透性的材料。具有低渗透性的材料通常也用于废物库底部的衬砌。但是，没有这样一种底部衬砌，其安全性也可能是可以接受的，因为对水的渗入控制是头等重要的。

4 浅地层处置的目标和选址考虑

放射性废物的浅地层处置已经有了许多的实践，这一经验已经使放射性废物处置的目标、原则和场址选择因素发生了演变和改进。本节中对此加以讨论。

注4：“澡盆效应”是指水在一个浅地层处置设施中的蓄积现象。

一般来说，处置设施不能充分防止水进入废物库，并且处置设施的底部是由低渗透性材料构成的，因此水不能流出。

4.1 目标

浅地层处置的总目标是：放射性废物的处置方式对人所产生的任何辐照剂量应在可以接受的限值之内。为了实现这一目标，应满足下列准则：

(a) 人们应对由已处置废物产生的不可接受的放射性影响进行防护。对拟建处置场所作的安全评价应该考虑和评价对人的潜在影响。应按国家的具体要求来执行国际放射防护委员会所提出的建议〔3〕。

(b) 处置场址应该为其良好的安全性能的可靠预测提供充分的保证。通常这意味着应该对地质／水文系统有相当清楚的了解。并且这一地质／水文系统应适于进行定量分析。

(c) 处置场址应与其处置的废物的特性相适应。应与废物库的设计相适应。以确保场址、废物形态和工程屏障等能提供足够的安全。上述各方面的特性最好应能互相补充。

(d) 处置场址已知的潜在资源或潜在的土地使用不应与其用作为废物库发生不可接受的矛盾。还应按其长期的地质稳定性和气候变化的可能影响对此作出评价。

(e) 由于放射性废物的浅地层处置系统比较易于使人接触有害物质。所以在存在潜在危害的时期内，应该设置规定的控制以防止人或动物发生不希望出现的进入。只要处置场的数目能保持在实际可能的最低限度。那么这些必要的控制和监督措施就可能比较有效的。并

且通常将有利于保持长期的安全。

4.2 选址

适当实施的浅地层处置，预期能在合理的时间内为放射性核素提供充分的密封。但是，这种密封可能受到人或动物的侵扰和某些自然过程的限制。因此，浅地层处置适宜于在处置场的规定控制可合理预期得以保持的时期内能衰变到可以接收的水平放射性废物。

场址选择的目标是确保场址所具有的天然性质能与废物库的工程屏障一起为放射性核素提供对人类环境的充分密封。如果废物库屏障失效并且导致放射性核素从处置系统的释放，那么，场址的特性应能提供足够的屏障以保持对人的放射性影响在可以接受的水平之内。

浅地层废物库的一个基本性质是：所选的场址应位于具备良好的地质和水文地质特性的地区。从而，废物一旦被放置入废物库就能在适当的时期内与人类环境保持充分的隔离。处置场的特性，它的位置以及处置设施的设计将确定可以放置的废物的类型、数量和调整方式。只要放射性影响符合基本的辐射防护原则，那么从处置场向环境释放的放射性核素就是可以接受的。

为了能进行浅地层废物库的场址选择，应按国家、地区和具体场址三个层次来评价地质环境的特性。为了能确定具体的调查地区，必须考虑场址选择的各种因素，然后，对确定下来的具体地区进行进一步的调查。至少在场址选择过程的二个阶段要对场址选择因素加以考