

固体放射性废物处置中的安全问题

评价方法

KEN BRAGG 和 FERRUCCIO GERA

安全管理核燃料循环各阶段产生的放射性废物是一个重要的技术、经济和社会问题。管理好医学、科研和工业中使用核材料所产生的废物同样重要。在一些国家，有关如何进行这种废物管理的问题一直存在争议，并可能影响这些技术今后的使用。本文论述固体放射性废物的处置，并特别着重论述安全问题。

废物处置与其他废物管理工作(如废物贮存和废物整备)间的主要区别是，废物处置旨在为废物提供一个永久性的最终解决办法，并且保护人们和环境不受危害。虽然没有在放射性废物最终处置之后回取废物的打算，但是，就存放在处置设施中的固体废物而言，将来如果需要，则通常可能进行回取。

过去几十年里已为固体放射性废物处置提出一些方案。这些方案包括近地表处置；深地质处置；和海床处置或海床下处置。

1972年《伦敦公约》现在禁止在海洋处置固体放射性废物。因此，目前只有两种通用处置方法。

在废物管理中，需要尽早作出的重要决定是，什么类型的废物适合在国家废物处置计划所设想的不同类型的处置库中处置。从逻辑上讲，这就应该根据所设想的处置方法对废物进行分类。

对大多数废物类型而言，明显的特征是放射性成份寿命长。因此，长寿命废物可能需要数万年至数十万年才能衰变到实际无害水平，需要在地质处置库中处置，而短寿命的废物可存放在近地表处置设施。

不管废物的放射性寿命长短，都要按照隔离和封闭的综合原则来设计处置库。封闭涉及预期在初始期内用于包容废物的各种屏障(废物形式和包装、专设障体、天然介质等)。由于它们的性能逐渐下降，原来含在废物中的剩余放射性会缓慢释放并

随地下水迁移。这就是通常所谓的处置系统正常演变过程。建造处置设施之前，需要了解处置系统各组成部分的特性和今后的变化将会对它们的性能的影响。这项工作在安全评估时进行。安全评估结论必须使人产生足够的信心，即所建议的处置系统在现在和将来都能达到安全标准。放射性废物处置库的安全评估是一个迭代过程，要在授权程序的各关键阶段，以不同的详细程度进行(见第56页图)。

普遍接受的评估方法是把废物类型与处置方案相匹配(见第57页表)，包括被认为与不同处置设施类型有关的一般人类闯入情景。下面进一步讨论这些类型。

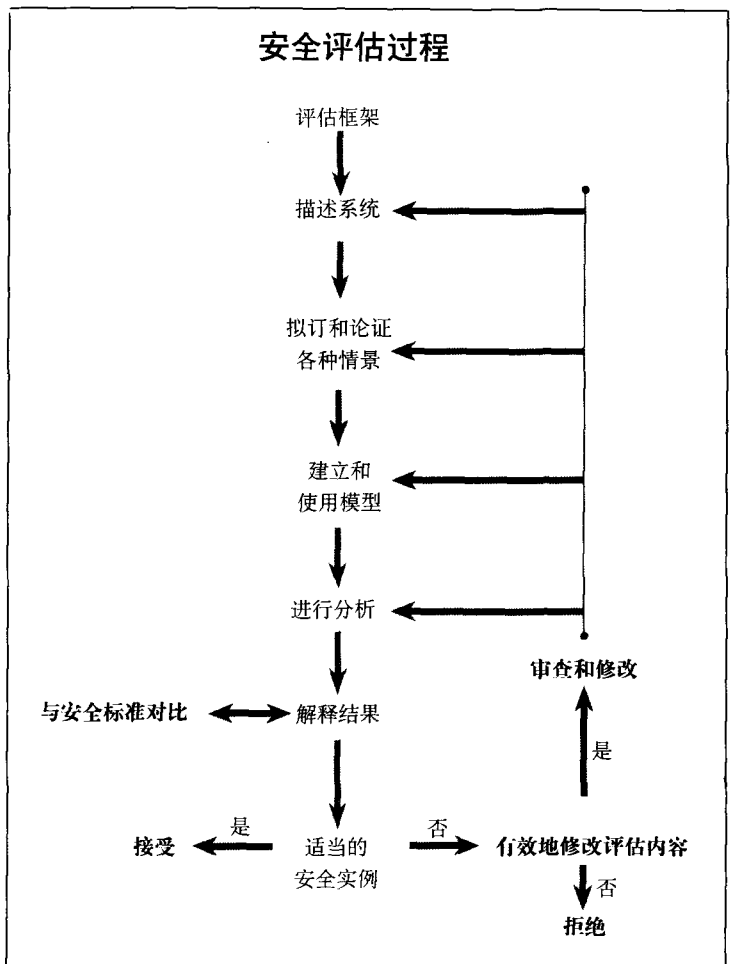
近地表处置

近地表处置是一种用于

Bragg先生和Gera先生是IAEA辐射与废物安全处职员。

处置含短寿命放射性核素（它们可能在几十年或几百年里衰变到放射学上微不足道的水平）的放射性废物的方法。长寿命放射性核素浓度可接受低的放射性废物，也可在近地表处置库处置。有两种主要处置库类型：(a) 浅处置库：由位于原始地表上（护堤等）或原始地表下（沟、坑等）的处置单元组成；和(b) 废物处置于较大深度的岩石洞穴或钻孔中的处置库。在第一种情况下，废物上的覆盖层厚度一般为几米，而在第二种情况下，废物上的岩层可以是几十米。

近地表处置的特殊特征是，要求在一定时间内保证对处置场进行有组织的控制。提出这个要求的理由是，有组织的控制将保护废物免受人类闯入和其它破坏封闭屏障完整性的过程的影响。对这些处置设施进行的安全评估，通常研究各种情景，包括涉及房屋建造、耕种、水井开凿及道路建设和商业结构建设等人类闯入。只要安全评估结果表明各种情景将有超过正常剂量/风险限值的放射性后果，就需要进行有组织的控制。基于安全考虑，只有当所设计的有组织控制所要防止的那些情景的预计影响满足安全标准时，有组织的控制才能结束。



在这方面需要作出的重要决策是，有组织的控制的合理期限是多长。它也是确定处置库废物接受标准的主要因素之一。国际上大致的共识是，长达几百年的期限可能是切实可行的。在某些情况下，迄今所做出的监管决定似乎意味着，有组织的控制需要更长的时间。这就有可能产生这样的问题，做出的无尽承诺是否可信，给子孙后代带来的这种负担从

道德上是否合理。

由于大多数闯入情景（除打井外）只穿透地表下几米，更深的隔离也许有益于在有组织的控制方面提出不太苛刻的要求。显然，这需要逐个地通过安全评估来证实。

地质处理

对含有人工放射性核素的长寿命废物（在IAEA安

不同类型废物的处置方案和参考人类闯入情景

处置方案	废物类型	闯入情景	注释
地质处置;在稳定的低渗透性主岩中,通常深度至少大于200米。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 高放废物 ■ 乏燃料(已声明为废物);其它长寿命废物(由于实际原因一般不包括 NORM 废物) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 穿过废物包钻探; ■ 穿过处置库边界钻探(未穿过废物); ■ 穿过受污染水流钻探; ■ 穿过处置库采矿。 	闯入的可能性非常小。要通过选址降至最低,并要根据场地具体情况估算。
近地表;岩洞处置库。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 短寿命、低中放废物; ■ 超过浅层处置废物接受标准的低中放废物。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 穿过废物包钻探; ■ 穿过受污染水流钻探; ■ 穿过处置库采矿。 	在处置库附近钻探可以是正常评价情景的一部分。
更大的封闭设施/井孔。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 废放射源 ■ 超过浅层处置废物接受标准的低中放废物。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 穿过或接近废物包钻探; ■ 居住情景。 	闯入的可能性较低。要根据场地具体情况来确定。
近地表;浅层处置库。	短寿命低中放废物。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 建设情景 ■ 居住情景 ■ 以上两者结合。 	有组织控制结束后,闯入的可能性高。
近地表;大体积长寿命的低比活度物质。	铀和钍采矿和水冶废物;其它天然存在放射性物质。	基本上与其它近地表、浅层处置活动相同的情景。	同上。考虑到废物的寿命长,最终闯入的可能性为100%。

全术语草案中定义为含有半衰期大于30年的显著水平放射性核素的放射性废物)而言,在合适主岩中至少几百米深处的设施中进行地质处置是唯一可行的办法。这种废物类型的例子是乏燃料和燃料后处理产生的高放废物(HLW)。这些废物通常含核燃料循环中产生的总放射性的99%左右,产生热量,且具有很强的放射性。其它类型的低中放废物也可能含有水平过高而不适合近地表

处置的长寿命放射性核素。实际上,一些成员国已决定把长寿命低中放废物置于与处置乏燃料和高放废物一样的地质处置库中,从而解决这个问题。在某些情况下一种可供选择的方法是,至少把一部分这类废物处置在地表下几十米深处。

除深层地质环境外,地质处置库通常具有各种高度可靠的专设屏障。放射性核素必须迁移很长距离才能到达可进入环境,因此,估计数

千年内不会发生放射学影响。安全评估需要涉及的时间长短和估计发生放射学影响前的长时间延迟,都会给估计结果造成不确定性。这就可能在向专家和公众介绍安全实例时产生问题。

很多人感到,为遥远的未来估计的剂量或风险值是不可信的,因为那时的生物圈状况和人类的习惯是不能预测的。这就导致他们对整个安全实例提出质疑。为至少是部分地克服这种沟通困

难,正在探讨一系列方法,包括使用标准的或模拟的生物圈,使用基于天然存在放射性核素的通量和浓度的附加安全指标,以及研究天然类似物以支持安全评估中所用的模化假定。预期这些方法不能取代表明处置系统能够提供足够安全的合理保证而提出的通常论据。相反,这些附加论据显得很有价值,因为它们允许安全实例以多方面的论证为基础。这本身就被认为是一种积极的因素,因为这种安全实例对社会各阶层或许更有说服力。

长寿命废物和天然存在放射性物质

有一种特殊类型的只含天然存在放射性物质的大量放射性废物。这种废物虽然寿命长,但比活度比较低。大量的这种废物源于为获取核能生产用的燃料而进行的铀矿石加工。还有大量的特点相似的其它废物。其它工业活动,如为生产化肥而进行的磷酸盐矿开采和烃类提取。这些废物被称为 NORM 废物(NORM 指天然存在放射性物质)。NORM 废物通常被认为是核领域之外的废物,因此,不受与其它放射性

废物相同的监管部门的控制,然而,大多数国家把铀矿和尾矿作为放射性废物来管理。这导致以明显不同的方式来管理相似种类的废物。

由于矿石和尾矿及其它 NORM 废物中所含的放射性核素寿命长,因此似乎需要对这类废物进行有效的隔离。然而,一些国家有上亿吨这种废物,把所有这些废物都处置于地质处置库中是不实际的。在做不到这一点的地方,废物被放置带有良好专设封闭系统的常规矿山尾矿坝内。封闭系统的专设设施保证所产生的正常释放和剂量符合常规剂量/风险标准。然而,不能预期封闭屏障在整个废物的危害寿期(数十万年)内保持其初始性能。此外,还有由闯入引起的不能接受的剂量的问题。正如前面讨论的那样,虽然进行有组织的管理可以在控制期内维持封闭屏障并防止闯入,但是持续时间不可能达到放射学危害寿命最终要求的那样长。

废物安全标准

在过去几年里,IAEA 已意识到需要确定和最终协调适用于各种放射性废物处

置的主要原则和标准。处置问题,并不像乍看起来那样简单。它所涉及的时间范围变化非常大,从几十年至几十万年。大多数人都很难掌握几代人以后的时间概念。求出最终对社会各阶层有说服力的处置系统的专设和天然屏障长期性能估计值,也是困难的。甚至更成问题的是很难确定在这些时期内的个人和社会行为。

然而,建议的某些标准需要确定这两者的估计值(例如,风险标准需要估计今后要发生的一些事件的可能性及其事件后果)。与这些长时间范围有关的是不确定性问题。即使目前非常了解处置系统的专设、地质和生物屏障的特性,性能评估的最终结果也常常有大到几个数量级的不确定性。此外,在评估过程的某一点上,分析人员常常得出结论是:不确定性的进一步减小,是不能合理达到的。这意味着,监管者和其他决策者必须面对比他们所习惯的要高得多的不确定性来制定政策。

过去遇到的另一个问题是,为处置不同类型废物提出的标准和要求经常是彼此孤立地加以考虑的。这可能导致评价每种类型的方式不一致。从纯技术的观点来看,

IAEA 放射性废物处置安全 要求和导则现状

IAEA 已发行若干适用于不同类型放射性废物和处置方案的安全要求和导则。

■ **近地表处置**: 出版物《放射性废物的近地表处置》1999 年作为安全要求发行。还已印发了两份安全导则, 一份是 1994 年发表的《近地表处置设施库的选址》, 另一份是 1999 年发表的《放射性废物近地表处置的安全评估》。

■ **铀和钍矿山和水冶尾矿; 含天然存在放射性物质的其他废物(NORM)**: 安全导则《铀/钍矿石开采和水冶放射性废物的管理》计划于 2001 年编制。

■ **地质处置**: 出版物《放射性废物的地质处置》正在编写, 将作为安全要求出版。另一份出版物《地质处置安全实例》将作为安全导则出版。安全导则《地质处置设施的选址》已于 1994 年出版。

这是不可取的, 而从公众感性认识来讲, 甚至是更不可取的。

为了解决这个问题, IAEA 正在努力开发一个评价处置各种类型放射性废物处置库的可接受性的共同框架。任何方法都将至少需要应用良好的工程实践和按照辐射防护的最佳化原则减少剂量。然而, 必须考虑满足最终制定的原则和标准的实际现实。当考虑废物量、活度和寿期的多样性时, 这是一个

挑战。尽管有这些挑战, 这项工作仍在取得进展, 并且共同框架有望很快出台。这将在未来几年中反映在统一的安全要求和导则中。

进一步开发更多的处置库的关键问题是大多数国家的社会各阶层的信任和信心水平。虽然上述安全评估继续得到在本领域工作的专家的信任, 但他们显然不足以得到更广泛阶层的信任。IAEA 了解到风险承担者间的这些差异, 因此正在探索

通过让知识面更广的个人参与今后的工作计划来使他们沟通的方法。除前面论述的关于获得处置库安全实例的多种方法的工作外, IAEA 还出版了一份文件, 论述了在存在与较长期性能与安全评估相关的主要不确定性情况下, 如何进行监管决策。

关于制定最新安全标准, IAEA 一直在放射性废物管理安全标准(RADWASS)计划下, 开发范围广泛的安全要求和导则(见第 30 页文章)。在该项计划中, 有一些关于放射性废物处置的专门文件(见本页方框)。

可以看出, 早期的重点是编制近地表处置文件。这符合成员国的意愿。还有许多国家需要用近地表处置库来处置医院和工业放射性废物, 而不是铀矿山和水冶厂或核电站的放射性废物。然而, 铀矿开采和水冶废物的指南文件的编制工作进展很好, 现进入编制地质处置要求和安全导则阶段。

因此, 预计在未来几年内, 将有一整套适合于放射性废物处置所有方面的最新安全要求和导则以及一些支持性技术文件可供使用。 □