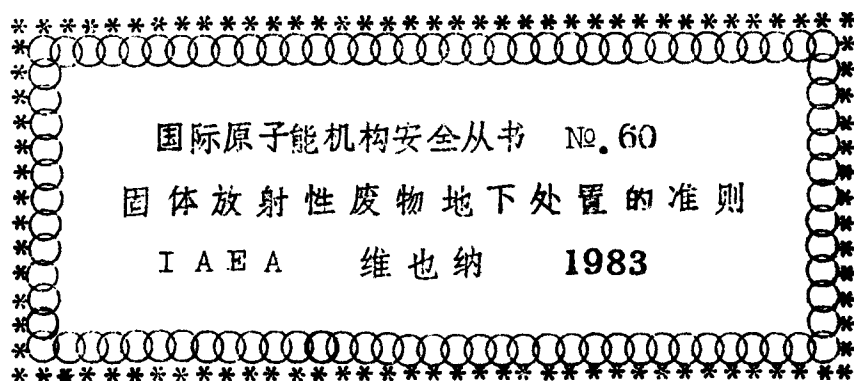


《核电站固体废物贮存与处置参考资料》之十二



水利电力部苏州热工研究所汇编

一九八五年一月

前 言

在许多国家中核能正在对能源供应作出重大的贡献。因此，必需确定一个适当的体系来管理由核能及其燃料循环产生的放射性废物。在这一领域近来的努力已经使人们普遍认为对经过适当固定和隔离的废物实施地下处置可以为人及其环境提供足够的防护。

国际原子能机构已经在放射性废物管理的领域中开展了多年工作。1977年，为在地质构造中处置放射性废物的一个完整的计划拟订了一份建议草案。1978年1月30日至2月3日召开的咨询小组会议批准了这一建议并为编写有关放射性废物地下处置的研究报告和导则提出了推荐意见。这一计划力求包适发达国家和发展中国家二者的需要和兴趣。计划包括下列课题：

一般管理工作和安全评价

废物库场址调查和选择

废物接收准则

废物库的设计和建造

废物库的运行、关闭和监督

作为这一计划的组成部分，本出版物描述了固体放射性废物地下处置的基本要求和准则。力求在开发一个地下处置系统时对实施部门和管理机构都有用处。

1980年12月8日至12日，顾问小组在维也纳开会，秘书

处在其帮助下拟订了一个工作草案。1981年6月15日至19日在维也纳召开了咨询小组会议对这一草案进行了审查。而后由一个顾问小组作出修改并送交咨询小组成员进行评议。1981年11月2日至6日在维也纳召集了放射性废物地下处置技术审查委员会(TECUD)对这一草案进行审查。根据TECUD的建议,由一个IAEA顾问对草案进行进一步修改,并于1982年6月28日至7月2日在维也纳召开了第二次咨询小组会议。

1982年10月11日至15日在维也纳举行的TECUD会议对这一文件进行了最终审查。

在IAEA关于放射性废物地下安全处置的计划内,已经编制或正在编制一些有关的出版物。这些出版物为高放、中放和低放废物在深部陆地地质构造中、在不同深度的岩石洞穴中以及在浅地层中实施处置提出了各种可能的方案。近来,IAEA已经出版了下列出版物。

固体高放和含 α 废物在地质构造中的废物库的场址选择因素
IAEA技术报告丛书第177号(1977年)。

固体放射性废物在深部陆地构造中实施处置的管理程序的开发
IAEA安全丛书第51号(1980年)

放射性废物的地下处置:基本导则 IAEA安全丛书第54号
(1981年)。

放射性废物的浅地层处置:导则手册 IAEA安全丛书第53号
(1981年)。

在浅地层中的固体放射性废物废物库的场址调查 IAEA 技术报告丛书第 216 号 (1982 年)。

在深部陆地地质构造中固体放射性废物废物库的场址调查 IAEA 技术报告丛书第 215 号 (1982 年)

放射性废物地下处置的安全评价 IAEA 安全丛书第 56 号 (1981 年)

按照辐射安全标准计划和核安全标准 (NUSS) 计划编制的其它相应的 IAEA 出版物可以按各种不同的有关专题进行磋商。与本文件有关的最重要的出版物是:

辐射防护基本安全标准 IAEA 安全丛书第四号 (1967 年, 1982 年修订)。

确定放射性物质向环境释放限值的原则 IAEA 安全丛书第 45 号 (1978 年)。

在书目提要中列出了其它有关的背景文件。

IAEA 对所有参加了本文件编制的人员表示衷心的感谢。

1. 引言

在核能的开发和利用中，压倒一切的对安全的担心是电离辐射对人产生的可能辐照的防护。这种辐照的潜在来源之一是放射性废物。因此，在放射性废物的处置中，最根本的是确保废物中的放射性核素将不会以可能在现在和将来产生一种不能接受的危害的浓度或数量进入人类环境。而且，为了努力达到这一目标，必须对将来后代的潜在危害比对现在的人们的危害，尤其是比对操作放射性废物的工作人员的危害给予更多的重视。

对将来后代的潜在问题已经给予特别注意这一事实突出了研究放射性废物管理政策的一个特点。然而，应当认识到由许多其它工业和农业活动产生的废物的处置也有可能对将来后代产生有害的影响。而且，某些废物始终保持其潜在的毒性。而衰变却一直在减少放射性废物的潜在危险。

当某些国家按照关于防止由于投弃废物和其它物质造成海洋污染^海的伦敦投弃会议的规定向深海投弃低放废物以及在床^海之下处置高放废物^放的方法的研究在国际合作下正取得进展时，陆地地下处置是目前最广泛采用的方法。如果在陆地处置废物，处置方法必须与废物的特性相配合。例如，含有大量高浓度长寿命放射性核素的废物将需要进行深地层处置才能满足其隔绝要求。另一方面，主要含有低浓度和少量比较短寿命的放射性核素的废物可以在浅地层进行处置。在第3章中给

出了几类放射性废物的比较适宜的处置方案。

放射性废物受到隔绝的程度取决于废物处置系统整体的性能。废物处置系统由废物包装、废物库内的工程设施以及地质环境所组成。这些部分的选择或设计必须使得当将这些部分作为一个总的系统一并考虑时，能对现在和未来的人类及其环境的防护提供需要的隔绝。因此，为了确保系统方法得以适当实施，必须对这一系统的隔绝能力进行广泛的分析。

本文件的目的是为放射性废物的地下处置提供一组基本要求和准则。它可以被国家管理机构或其它主管机构采用来制定它们自己的专门的标准和技术规范。它也可以被实施部门采用来对一个拟议的废物处置计划的可接受性进行初步审查。本文叙述了：

(1) 基本要求，为了满足防护人类及其环境免遭可能由放射性废物的地下处置引起的不可接受的危害的目标，这些基本要求必须得到满足。基本要求适用于地下处置的所有方法。

(2) 准则，为了满足基本要求，这些准则将用于作为评价处置系统的各个不同部分的适宜性的手段。与基本要求对照虽然所有的准则应予以考虑，但并不是所有的准则都必须遵守。对于地下处置的各种不同方式，这些准则必须给予不同的重视。

处置系统的全部性能作为一个整体必须满足基本要求。这些基本要求应当由防护电离辐射危险的基本要求导出。然而，在这些要求可

以应用于废物的地下处置之前，需要对这些要求的某些方面作进一步的研究。突出的争议有关将 ICRP 的建议直接应用于运行后阶段。二个主要的分歧是处置的长期辐射影响的表达以及为了确保不利影响。（无论怎样表达）合理可行尽量低，对系统进行最优化的方法。

单用剂量来表示辐射影响是不够的，因为辐照的几率也必须加以考虑。然而，也还不能确定下列表达方式是否是最好的：将剂量的量值及其几率结合为一个单一的值，这个值可以叫做“风险”。或者用剂量的量值对事故的几率的分布来表示辐射影响。

通常认为从将辐射影响减少到合理可行尽量低的意义上来看，应当对处置系统进行最优化。然而，对于最优化的准确含义以及应当怎样实现最优化存在着一些争论。在争论中的分歧有关代价/利益分析的作用，对将来后代的危害的折算，为了计算集体剂量所需的中止剂量水平和中止时间的提出，以及其它非定量性质的实际因素对最优化过程的影响程度。

这些分歧目前正在各种国家的和国际的组织，包括国际放射防护委员会（ICRP）中开展活跃的讨论。在这些讨论得出结论之前，不可能对所有的基本要求给出确定的导则。虽然如此，在第4章中还是为这些正在考虑中的详细实施的要求和方法作出了适当形式的说明。

另一方面，已经可以对准则作比较确定的叙述。但是在应用准则时必须认识到，特定部分的性能，当将其与准则进行衡量时，可以进

行选择和调整以补偿在其它部分的性能方面的差异。有关某一条准则的良好性能可以允许放宽对另一条准则的性能要求。因为处置系统必须作为一个整体进行评价的。

为了在固体放射性废物的深部地质构造、岩石洞穴和浅地层处置中使用。对基本要求和准则用定性方式进行了研究。（处置方法应按地质环境的性质进行选择以便为不同的废物提供相应水平的隔离）。虽然在本报告中未讨论海床下的处置。但是没有理由认为这些基本要求和大多数准则可以不同样应用于这一方案。

对一种特定废物的处置系统的适宜性的判断不仅必须考虑整个系统的安全评价。而且还必须考虑经济、社会和环境问题、财政来源的分配、所涉及地区的通道的限制、以及对保护自然资源可能发生的不利影响。对上述种种考虑的每一项所给予的重视程度必须由国家主管部门作出决定。

2. 范 围

本报告是 IAEA 关于核燃料循环运行（铀矿尾矿除外）和放射性核素的其它应用产生的放射性废物的地下处置的报告丛书范围内的一个文件。

本报告讨论了应用于整个处置系统的基本要求以及和处置系统各个不同的组成部分有关的准则。

虽则重点在于与运行阶段和运行后阶段的放射防护有关的要求和

准则。但是社会——经济问题、环境影响和其它重要的程序也给予了考虑。

3. 地下处置系统

3.1 一般考虑

本文件适用的任何地下处置系统由三个主要部分组成：

- (1) 地质环境；
- (2) 废物库；
- (3) 废物包装体。

地质环境并不局限于废物库所占据的空间。它包括废物库所在的主岩及其周围区域的地质介质。地质环境可以提供：

限制地下水进入废物的一种方法；

减少或延迟释放的放射性核素的运动；

为废物库和废物包装体提供对于可能的有害自然事件和过程以及人为侵扰的防护。

废物库包括废物包装体安置其中进行处置的地下设施以及为废物库构筑的任何工程屏障。废物库的特性可以尽量减少人为的无意侵扰的可能性并且还可以减少放射性核素的释放。例如，这些特性可以包括：

在适当位置设置衬里、隔墙和回填（包括地球化学屏障）；

密封安置区或安置钻孔的入口以及岩石中的裂缝；填满并复盖用于浅地层埋藏的地沟。

废物包装体包括废物形态、废物容器。有些地方还采用了一些其它的局部的工程屏障，如吸附材料、保护套筒或涂层等，这些屏障是废物包装体的一个完整的一部分。废物包装体可以提供：

对废物形态的实体围护；

废物形态的低浸出率和低分散性。

上述三个部分的每一个都在不同的处置方式中起到一个特定的作用，但都是一个总的处置系统的一个不可缺少的部分。处置系统作为一个整体来说必须能够满足全面的安全目标。这一安全目标是为了预防、延迟或限制从废物释放的放射性核素到这样一个程度，以确保其所产生的危害低到可以接受的水平。除了天然的和工程的部分之外，适当设计和设置的规定控制和固定标记也可以在一段时间里提供对人的侵扰的保护。可以预期固定标记将比规定控制持续的时间长得多。

表 I 有关处置的废物类别的一般特性

[转引自参考文献(1)]

废物类别	主要特性
I 高放 长寿命	高 β/γ 放射性 显著的 α 放射性 高放射毒性 高发热量
II 中放 长寿命	中等 β/γ 放射性 显著的 α 放射性 中等放射毒性 低发热量
III 低放 长寿命	低 β/γ 放射性 显著的 α 放射性 低/中等放射毒性 微量发热
IV 中放 短寿命	中等 β/γ 放射性 微量 α 放射性 中等放射毒性 发热量低
V 低放 短寿命	低 β/γ 放射性 微量 α 放射性 低放射毒性 微量发热

2. 这些特性只是定性表示, 并且可能在某些情况下变化。
“微量”指的是这种特性对于处置来说, 一般可以忽略不计。

表 II 优选处置方案和放射性废物类别之间的暂定关系
(转引自参考文献(1))

处置方案		废 物 分 类				
		高放、长寿命	中放、长寿命	低放长寿命	中放、短寿命	低放短寿命
安置在 深层地 质构造 中	干式 ^a	固体,已固定 化,已封装,为 了散热彼此 隔开。	固体, 已固定 化和封装		适用,但可能比所需 达到的要求更严格了	
	湿式 ^b	同上,可能用 更多的工程 屏障	同上可能用更 多的工程屏障			
安置在 矿井和 岩洞中	干式 ^a	不 推 荐	可能用,取决于环境		固体,可能已被封装 ^c	
	湿式 ^b	不 推 荐			固体已固定化和封装 ^d	
安置在 浅地层	干式 ^a	不 推 荐			固体已固定 化和封装	固体可能已固 定化或封装
	湿式 ^b	不 推 荐			可能用,已固 定化和封装, 具有较多的 工程屏障	可能用,固体 已固定化和封 装具有较多的 工程屏障
将自固化流体 注入渗透性地 层中的流体 断裂中		不 推 荐	在采用适当的验证 过的技术,并用于 一定的放射性核素 的条件下,有可能采用		采用适当的技术时 可适用。	
将液体注入 深层可渗透 的构造中		不 推 荐	在采用适当的验证 过的技术并用于一定 放射性核素的条件下,有可能采用		采用适当的技术时 可采用。	

注：a、地质环境与流动的地下水自然隔离；

b、地质环境有某些地下水运动；

c、专门为放射性废物处置开挖的废物库；

d、可以是由于自然过程或采矿形成的，或者为废物处置而专门开挖的坑道或洞穴；

e、对浅地层地质条件不合要求的国家可能是可取的方案。

3.2 地下^{废物}贮藏库概念的回顾

3.2.1 废物类别和处置系统

在选择某一特定废物的废物处置方案之前，必须对其特性作出鉴定。废物的调整和废物封装的准备工作，连同处置系统的其它部分一起，必须提供适当程度的防护和隔离。在参考文献〔1〕中已经给出了在废物类别和处置系统之间的初步关系。从文献〔1〕中转引到本报告中的表I和表II是为了说明废物的各种类型。正在研究将这各类废物采用本报告中谈到的各种处置系统进行处置。

为了选择一个比较可取的处置方案，需要对整个废物管理系统进行研究和优化。但是，实际上只要预期的释放保持在可以接受的水平，一个已经确定的^{废物}贮藏库可以接收各种类别的废物。

3.2.2 在深部地质构造中的处置

这种处置方案适用于高放废物（第I类）、含 α 废物（第II、III类）、以及²燃料，如果宣布将其作为废物的话。

确信这样一个处置系统是适当的依据是有效的证据表明存在这样

一些地质构造。它们在地质年代各主要时期没有发生过显著的变化。有关这一系统的长期安全的保证大有通过对主岩及其所在地区进行仔细选择並查明其特性才能得到。如在参考文献[2]和[3]中所讨论的那样。

3. 2. 3 在岩石洞穴中的处置

这种处置方式是将固体放射性废物安置在岩石洞穴中。包括废弃矿井和洞穴以及天然存在的或人工开挖的洞穴。这种处置概念从原则上讲是一种介于浅地层处置方案和深层地质构造处置方案之间的一种方式。

这种处置概念的一个特点是可能应用的多样性。针对不同类型废物(第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ类)的处置可以考虑采用位于不同深度的不同类型的矿井或岩穴。以及各种不同的地质构造(例如:蒸发岩、粘土沉积岩、火成岩以及变质岩)。详细的建议在参考文献[4]中给出。

3. 2. 4 在浅地层中的处置

放射性废物的浅地层处置已经实施了几十年。在采用的程序以及处置废物的数量和类型方面有很大的变化。根据这个经验。我们认为对于能够在合理预期得以保持的废物库的规定控制期内衰变到可接受水平的废物。浅地层处置是一种适应的处置方式。

这段时间与深层地质处置预期时间相比要短得多。因为在浅地层处置条件下。废物易于受到人的侵扰。废物库也易于遭到自然过程的破坏。事实上。在某些情况下。可能已经计划对场址进行全面的复用。

由于这一原因，浅地层处置通常限于仅含有短寿命放射性核素和严格限制数量的长寿命放射性核素的废物（第Ⅳ和Ⅴ类）（例如：由反应堆运行或放射性核素的其它应用所产生的低放废物）。需要详细资料见参考文献〔5〕和〔6〕。

4. 基本要求

4. 1 回顾和指导原则

4. 1. 1 基本情况

为了系统表述处置系统的基本要求，必需对系统的所有方面加以考虑。从选址、设计、建造、经过运行直到运行后阶段。要适当地确定放射防护原则。这些原则用以控制在操作放射性物质的设施里。在正常运行时，工作人员和普通公众的剂量。环境保护原则和其它安全原则。如与采掘有关的原则也要作出适当规定。这些原则可以直接应用于外置系统的建造和运行。但是，放射防护要求必须经过研究才能应用于外置系统的运行后阶段。运行后阶段有二个问题对处置设施来说是特殊的，在研究这些基本要求时必须对这二个问题加以考虑。问题之一是必须确保防护的时间尺度。问题之二是情况（Scenarios）的广泛范围以及可能引起放射性释放的事件的联合概率。还有一个附加的考虑是在预计后果中的不确定性。

正如在前面已指出的那样，关于上述这些问题是怎样影响了基本

放射防护原则在处置的运行后阶段的应用。目前在许多国家的和国际的组织中正在开展讨论。在这些讨论取得进一步进展之前。要得到比基本要求的初步陈述更多的说明还为时过早。预期这些基本要求还要继续演进。另外。还讨论了一些为了应用基本要求而正在考虑之中的方法。

虽然。在使用或建造中的用于各种不同类别的放射性废物的处置系统在工程设施和地质特性方面有着很大的差异。但是。当判断任何系统的可行性时。应当采用同样的基本要求。因此。为了适用于所有的处置系统和废物类型。基本要求的系统表述采用充分通用的方式。

4. 1. 2 放射防护

放射防护的基本原则是与涉及人的辐射照射的实践有关的风险应当保持在可接受的水平。这个原则成为国际放射防护委员会(ICRP)的建议书的基础。特别是形成了ICRP剂量限制制度〔7〕的基础。这个剂量限制制度已经编入了IAEA基本安全标准〔8〕并已为许多国家的主管部门所采用。

ICRP的建议书相当不同地处理了二种特定的辐照状况〔7〕。注意到这一点是有用的：

(1) 在这种辐照状况下。产生辐照的事件是可以预见的。並可以通过控制照射源。应用委员会的剂量限制制度。包括制订令人满意的运行程序等办法加以限制；

(2) 在这种辐照状况下，辐照源无法加以控制，因此任何随之产生的辐照只能通过补救行动从总量上加以限制。

ICRP的剂量限制制度可以直接应用于符合第一种辐照状况的那些实践。因此这是应用剂量限制制度以控制在全部正常运行条件下，包括放射性排放物向环境的受控排放在内，工作人员和公众成员的剂量的基础。第二种辐照状况反映了这样一个想法：一旦发生事故，剂量限制制度不再适合于直接应用。特别是剂量限值本身可以失去可用性。在这种情况下，剂量限制拟通过采取补救措施在可能的范围内预防对个人产生进一步的辐照。

在将剂量限制制度发展和延伸到废物处置领域时，废物处置的许多方面可以直接包括在第一种辐照状况内。很明显这些方面包括处置设施的运行和关闭。当我们考察深层地下废物库和岩石洞穴废物库的运行后阶段以及浅地层处置系统的规定控制后时期时，必须了解到如果发生了任何辐照，其辐射源将是不能控制的。因此必需对构成ICRP剂量限制制度的基本思想仔细地加以研究并且需要延伸这些基本思想以对付这种不测事件。在本章后面提出的基本要求已经作了系统陈述。在陈述中假定了这种延伸是可以实现的。

4. 1. 3 环境保护

如同许多其它工业活动一样，地下处置可能涉及大规模的开挖或坑道作业。这些作业对环境具有不利影响。对自然资源也有重要的潜