

核安全保障和放射性废物处置之间的关系： 正在出现的问题

专家们正在研究给地质废物处置库及相关场址
施加安全保障的要求和政策

Gordon Linsley
和 Abdul Fattah

在考虑给放射性废物特别是处置阶段的放射性废物施加安全保障措施方面，出现了一些问题。

从废物管理角度看，人们关心的主要问题是安全保障最好不干扰为确保地质处置库中放射性废物（包括乏燃料）的长期安全性所作出的安排。对某些核材料执行安全保障的这一要求必须贯穿于整个核燃料循环，直到从经济角度考虑可以认为这些核材料已经成为废物的阶段为止。对于那些仍被认为是转作不公开和非和平利用的潜在对象的材料，必须继续执行安全保障。此时，继续执行安全保障的必要性可能会同确保废物管理和处置长期安全性的计划相冲突。

1992年，在国际废物管理咨询委员会（INWAC）常设小组召开的关于“放射性废物处置的原则和准则”的会议上，讨论了核安全保障和放射性废物管理之间的关系问

Linsley 先生是 IAEA 核能与核安全司核燃料循环与废物管理处职员，Fattah 先生是 IAEA 安全保障司概念与规划处职员。本文是以在 1994 年 3 月 IAEA 组织的国际安全保障学术会议上宣读的一篇文章——《核安全保障和放射性废物处置之间的关系》——为基础改写的。详细的参考资料可向作者索取。

题。在那次会议的讨论中有人提出，需要施加核安全保障的全部含义没有充分地被放射性废物管理界所理解。该小组要求准备一份工作文件，从放射性废物管理角度考察一下当前在如何给包括乏燃料在内的放射性废物施加安全保障方面的见解。本文就是以这份工作文件*为基础编写的，此文件应被视为放射性废物管理界和核安全保障界进行对话的一个起点。

放射性废物和乏燃料的安全保障政策

近几年来，IAEA 安全保障司一直在从事制定放射性废物和乏燃料的安全保障政策的工作。关于放射性废物和乏燃料的基本考虑是，终止安全保障的条件不可能得到满足，或者说安全保障是否必须无限期地继续下去。机构文件 INFCIRC/66/Rev. 2 和 INFCIRC/153 规定，一旦 IAEA 断定该材料已经消耗掉或已稀释到对核活动不再有用或已经变成实际不可回收，安全保障即可终止。（需要指出的是，有些地区性安全保障主管部门，例如欧洲原子能共

* 该工作组的成员有：德国的 D. Gentsch，意大利的 F. Gera，瑞典的 S. Wingefors，以及 IAEA 的 G. Linsley 与 A. Fattah。

同体,根本不允许终止安全保障。)有人已经提出,关于与核燃料循环中的材料有关的“已消耗掉”、“已稀释”或“实际不可回收”等属性,应该制定以这些属性为主要内容的更加精确的技术判据。

1988年曾召开过一次咨询小组会议,审议了与废物和乏燃料中核材料的最终处置有关的安全保障问题。该小组建议,IAEA应与其成员国协商,着手制定对乏燃料以外废物终止安全保障的具体判据。用于断定“实际不可回收”的判据应包括废材料的类型、核组成、化学与物理形态,以及废物的品质(如含或不含裂变产物)。还应考虑其总量、因设施而异的技术参数及打算采用的最终处置方法。

关于乏燃料,此咨询小组的一个结论是,在将其放入通常称之为“永久处置库”的地质建造之前或之后的任何时候,都不得将其定为实际不可回收的,第二个结论是对乏燃料的安全保障不得终止。自那次次会议以来,安全保障司一直在制定终止对废物的安全保障的判据和开发对地质处置库内乏燃料执行安全保障的方法。

放射性废物管理的原则

放射性废物管理的主要任务是,设计能确保现在和将来的人都得到保护的放射性废物的装卸、处理和处置系统。对未来之所以关注,是因为某些类型的废物中,特别是高放废物和乏燃料中存在着长寿命的放射性核素。

这种对未来的关注促使IAEA制定了如下一些原则:

“放射性废物的管理应做到对后代的预期健康影响不超过今天认为可接受的水平。”这一原则出于对后代健康道德上的关注。为了做到这点,废物与人类环境隔离的时间应该加长,但要确保无限期地完全封隔是不可能的。因此,其含义是,当放射性核素即使将来进入环境时也不会产生明显的影响。在深地质处置库中,隔离是依靠废物周围的一系列屏障实现的,这些屏障中

有些是专设的(废物罐,回填材料),有些是天然的(地壳,生物圈)。

另一条原则是:“放射性废物的管理应做到不给后代造成不适当的负担。”这一点的道德原则就是产生废物的那一代人应该承担起管理这些废物的责任这一前提。目前这一代人的责任包括为放射性废物管理开发技术、运营设施和提供经费。这些都包括处置手段在内。放射性废物的长期管理应当酌情依靠封隔(将它作为必要的安全设施),而不是依靠制度方面的长期安排。这一点并不排除有可能使用制度方面的控制安排,比如监测和做好记录等,但由于所涉及的时间跨度太大,不应将此类措施作为安全的主要依靠。

界面问题

从废物管理角度看,人们关心的主要问题是打算执行的任何安全保障措施最好不削弱废物管理系统的安全性。这里不准备细述的其它问题或许包括与需要执行安全保障措施相关的各种额外费用问题。

以下各节将讨论在放射性废物和乏燃料直到最终处置的各个阶段中与安全保障和废物管理有关的问题。

废物的安全保障的终止

继1988年咨询小组会议提出建议之后,1989—1990年期间,IAEA召开了几次会议,继续进行供终止不同类型废物的安全保障用的判据的制定工作。尽管对数量限值还存在着意见分歧,但还是制定出了一套技术判据。核燃料循环中产生的废物,多数将被这些判据所覆盖,但有些废物不符合这些判据。对于为增加其抗浸出能力而已经转形的那类废物,有人建议其安全保障的终止可以逐例地加以审议。

依据废物的类型,常用的转形方法有沥青固化、水泥固化和玻璃固化。一种意见认为,低品位废料被转用的这种吸引力并不十分大,一经用上述方法之一转形,再想

以此为基础生产重要量级的核材料肯定是非常困难的。当这些已转形废物放入地质处置库并加以密封后,被用作生产核材料的原料的可能性进一步减小。废物管理专家们普遍认为,这些废物的安全保障应该在处置后或处置前终止。另一方面,应当指出,如果不惜工本,就不存在不能从中回收核材料的物理形态。技术革新或许会提供容易得多和成本低得多的材料回收手段,说不定到时候会被应用于早先已终止安全保障的那些材料。

目前,对后面这些问题尚未取得共识。安全保障司的正式见解是,对某些类型的废物的安全保障甚至在转形和处置后也必须维持。

乏燃料的转形

乏燃料的转形是指在核设施现场或其它地方使燃料组件固定化或调整其形态。这些操作一般是在干燥条件下进行的。乏燃料在运抵转形设施后即送往热室拆解。然后将拆解开的部件装入符合最终处置要求的容器内。在有些情况下,可能需要将这些部件切割成碎片。这里的关键问题是,必须保证燃料组件运抵转形设施时仍保持其完整性。对安全保障的主要影响是这些燃料组件已不能再作为分立物项进行衡算。这些操作会改变乏燃料的成分和数量,因此紧接着应采取措施核实核材料的含量。有效的安全保障要依靠衡算操作来核实将交付最终处置的核材料的含量和组成。

已经提出了各种各样的可在乏燃料转形设施中使用的安全保障技术;总的说来,它们都是已有的一些技术的发展。从安全角度看,已提出的技术均不会引起什么大问题。预计不会使用破坏性的核实技术。相反,有效的安全保障方法将只要求小心地装卸燃料本身和最终的处置废物包。不过,对于某些容器来说,也许需要给予特别的注意,以确保安全保障标记不会对容器的长期耐腐蚀性产生不利的影

需要指出的是,预期的安全保障将会对转形设施的设计和布局提出一些要求。这个问题需要由各国主管部门、执行单位和 IAEA 安全保障司予以研究。

处置库的运营阶段

地质处置库同矿井相似,由出入通道和在深地质建造内挖出的处置洞穴组成。各种辅助设施布置在处置库上方的地面上。以竖井作为处置洞穴(平洞)的出入口。可以设想至少要有 3 类竖井,以保证处置库的最佳使用。它们是容器运输竖井、人员和通风进气竖井以及通风排气竖井。处置库的地下设施可以设计成允许进一步挖掘新的处置洞穴,接收和运输乏燃料,使乏燃料定位,以及回填处置洞穴。井下作业可以连续地进行。洞穴挖好后,垂直的通道和定位竖井就可使用。在地面设施中将乏燃料装入为最终处置准备的容器后,便从转形设施运抵处置库。容器通过竖井下到处置面,运至处置洞穴,再将其放入定位井内。预计所有的作业均是远距离控制的。容器就位后用渗透性低的材料将剩余空间填实。

当处置库装填至设计容量以及剩余空间填实后,便开始最后的关闭工作,将所有的通道和掘进巷道都回填死。所有竖井都要封闭以恢复地质建造的完整性。

对处置库的安全保障来说比较重要的行动是,鉴别进入处置库的各个容器和核实这些容器在平洞封闭及处置库封闭之前一直留在其中。

由于废物处置系统所能提供的长期安全性依赖于废物或乏燃料周围的多层屏障系统能按设计要求起作用,因此为了鉴别、追踪和核实而采取的种种安全保障措施均不得有损于该系统,这一点十分重要。适用于这一阶段的安全保障方法的开发工作仍在进行。拟议中的方法将重点放在以下几方面:对进入处置库的容器进行鉴别和计数;在处置库的所有出入口对进出物项保

持连续的检查；以及对地质处置库的设计及其变更保持充分了解。有人指出，知道处置库内已定位容器的确切位置并不重要，只要能够核实处置容器已经进入并已留在处置库的边界之内就够了。

尽管有人建议可以利用地球物理技术来确定废物包在处置库内的位置，但拟议中的安全保障方法大多不会影响废物容器和周围材料的完整性。这些方法必须不是侵入式的，必须使阻止放射性核素迁移的天然地质屏障不受干扰。

处置库的关闭后阶段

地质处置库旨在长期隔离放射性废物。这种隔离是靠专设屏障和天然屏障的组合实现的。包括乏燃料在内的长寿命放射性废物要求几乎完全隔离数万年。既然很难想象人类社会有能力或者愿意对处置库所在地保持控制达数万年之久，则必须把隔离系统设计成无源的。换句话说，隔离系统的安全性依靠的是隔离屏障的内在特性，而不是依靠人为的监视和维护程序。

从另一方面来看，人们普遍认识到，舆论将要求对处置库所在地保持某种形式的监测，时间长短不定。这种监测计划的也许是对下述两点再次提供担保：隔离系统的行为与安全分析中设想的一样；未发生意料之外的事件。此类监测计划不得要求进行有可能降低隔离屏障效能的活动。用钻井的办法采集深部样品或在屏障建造内安放仪器，就是显然不能接受活动的例子。既然从技术方面考虑监测活动是不需要的，只有出于社会原因才可能认为它是正当的，那末要对监测活动的持续时间作出预测显然是不可能的。我们可以设想，监测计划会在将来的某个时候根据费用—效益分析的结果而有意识地终止，或是社会的某种大动荡使其正当性消失。至于短寿命放射性废物的浅地处置——这是一种依靠从制度上保持对该场址的控制实现安全

隔离的处置选择——人们普遍认为，指望从制度上进行控制的时间持续几百年以上的想法是没有道理的。

关于对已关闭的存有乏燃料的地质处置库如何执行安全保障这个问题，1988年的安全保障咨询小组会议认为，即使处置库关闭后也不能终止安全保障。这就提出了一些问题，即：如何设计出对处置系统的安全性不会产生不利影响但又是有效的安全保障程序；以及既然这些乏燃料在几十年内将总是核材料的一种潜在来源，那末这种安全保障究竟应该持续多长时间。

一些尚未定论的答案如下：对处置库的安全保障应以不损害安全设施为条件。由于挖开已封闭的处置库是不可能短期内完成的，也不可能偷偷摸摸地进行，因此一个显而易见的办法是借助于分析定期获得的卫星图象。此外，可以由国际视察员定期检查处置库所在地的地表情况。有人还指出，这样一种安全保障监视机制或许会提高处置库的安全性，因为它可以减少或消除人类无意中侵扰处置库的可能性。

对于今天的社会各界来说，对核材料执行安全保障是个重要问题，并且将来可能仍然如此。不过，这种情况也许会发生现在无法预测的变化。可以设想一些情景，例如，社会的演变使安全保障成为一个并不那么重要的问题。

密切合作

这些分析的主要目的是要估计安全保障要求对放射性废物和乏燃料的管理工作的影响。人们特别关注的一点是，安全保障要求和废物管理的主要目的之间也许存在着矛盾，因为废物管理的主要目的是要确保废物中的放射性物质同生物圈安全隔离足够长的时间，以便使放射性的影响降至可接受的水平。

倘若满足某些条件，将安全保障施用于放射性废物和乏燃料的管理是可以做到



专家们正在研究对肯定要在专设地质处置库处置的放射性废物的安全保障要求。(来源: US DOE)

不对安全性产生不利影响的。首先,我们可以观察到,处置前的管理步骤看来不会出现任何问题,因为安全保障程序或早已在实施,或能够很容易付诸实施。关于处置问题,首要条件是,设计安全保障程序时必须牢记,隔离系统的安全性拥有绝对的优先权。换句话说,在处置区运营、回填和封闭期间,处置库内专设屏障的完整性不能因采取监视和控制措施而受到损害,处置库关闭后,天然屏障的完整性也不能因进行监视和监测而受到威胁。

假设接收受保障废材料的深地质处置库在运营阶段必须置于安全保障之下,并从废物管理角度假设,运营中的处置库的安全系统未受损,那么基于在处置库地面入口(竖井和/或坡道)处进行监视和控制的安全保障将不会产生什么困难。同样,在地下目检也是可以接受的。不过,应当避免利用地球物理技术——它会损害安全屏障——测定处置库内废物包的位置。

目前,对于已关闭的只存放废物的处置库,尚没有明确的安全保障政策。因此,应该评价对此类处置库的安全保障要求,

评价时要考虑各类放射性废物中核材料的含量相对较低这一特点,以及从已关闭的深部处置设施中回收已转形废物然后从中提取核材料的困难。

至于处置库中的乏燃料,IAEA 安全保障司的政策是在处置库关闭后应继续执行安全保障。在关闭后的时期中,拟议中的监视技术(如卫星成象和视察相结合)将会确保处置库的持续完整性又不损害其安全系统。

对于在存有乏燃料的深地质处置库所在地进行的安全保障监视,无法确定其预计的持续时间,但是,从乏燃料的组成来看,执行安全保障的这种要求可能会持续数千年。接受对乏燃料处置库无限期地进行监视的要求,会产生两个问题:1)与放射性废物管理的目的之一——不给后代增加负担——相悖;2)难以为一项不知其持续时间因而无法可靠地估计其费用的活动做出经济安排。

为了确保制定的安全保障要求与使放射性废物长期隔离的规划相容,安全保障专家和废物处置专家应该密切合作。 □