

辐射源的应用与废源管理：善始善终

一些国家正在接受安全管理废辐射源的实际指导和支助

C. Bergman 和
B. G. Pettersson

据报道,已有约 20 名无辜公众死于因废辐射源的管理和贮存不当而引起的辐射事故。根据这一背景,国际原子能机构(IAEA)已开展了一系列服务,以帮助那些有兴趣建立有效地安全控制、管理和处置废辐射源的体系的国家。

本文主要介绍使用密封辐射源的一些核应用,重点介绍密封源的常见应用,并讨论废辐射源的安全管理原则和技术。

密封辐射源的各种应用

不同类型与不同活度的密封辐射源,几乎在所有 IAEA 成员国中都得到了广泛的使用,而且用量越来越大。工业领域使用的放射性核素品种繁多,活度变化范围大。医学领域使用的核素种类和活度变化范围都比较有限。研究应用则会涉及到几乎所有的放射性核素,但其活度一般较低。供与生物学有关的研究使用的辐照装置中的辐射源,则明显地是个例外。

工业用辐射源。大部分辐射源用于工艺过程控制或质量控制。典型的例子是工业射线照相与工业仪表。

射线照相的目的是探测被研究试样中的缺陷、气孔或不相容物。射线照相术在建筑工业中主要用于检查焊缝质量;在钢铁工业中则用于检验管道与铸铁之类成品

的质量。所用核素主要是钴-60 和铯-137。

射线照相装置由起屏蔽作用的容器和把辐射源驱动到照射部位的机械装置组成。建筑工业中使用的装置是便携式的;钢铁工业中使用的则是固定式的,通常安装在专门建造的屏蔽室中。

工业仪表一般包括在生产过程中或生产之后立即测定某种材料的厚度、密度或水分含量的仪表,或用于监测容器或槽内料位的仪表。 β 源(铯-90 和氩-85)用于测定纸张、塑料以及金属箔的厚度或密度。对于钢板之类密度较大的材料,则需要使用 γ 源(铯-137 与铯-192)。料位计中通常使用铯-137 与钴-60。

用于测定地质构造与建筑材料的密度、孔隙度,以及湿度或碳氢化合物含量的专业性仪表,使用镭-241/铍与铯-137。

专门为手套、注射器及类似医疗用品的灭菌而设计的装置,使用高活度的钴-60 和铯-137 源。这些装置还为食品保藏服务。

医用辐射源。辐射源在医学中的两种主要应用是近距离治疗与远距离治疗。近距离治疗这一术语被用来描述将辐射源直接放在肿瘤内或贴近肿瘤放置的那种组织间或腔内应用。这种应用可以手动控制,也可以远距离控制。

早期的近距离治疗仅使用镭-226。后来换用了其他源,绝大多数镭源便不再使用,但偶尔仍有人使用。当前的近距离治疗

Bergman 和 Pettersson 两位先生都是 IAEA 核燃料循环与废物管理处职员。

主要使用铯-137、钴-60 和铱-192。其他的应用包括皮肤与眼科病灶的浅表治疗(铯-90)。

在远距离治疗中,使用高活度钴-60 或铯-137 源。这些源总是安放在专门设计的屏蔽容器内,并在屏蔽室内使用。

研究用辐射源。密封辐射源在研究中的应用情况差别很大。几乎任何一种核素都可在研究工作中找到其用途。这一用途的许多辐射源的活度都比较低,而且(或)半衰期都比较短。

用于生物研究的高活度源是明显的例外。钴-60 和铯-137 源用于材料和植物的辐照或灭菌,镅-241/铍或铯-137 源在农业研究中用于测定密度和水分。另外,有人仍然在使用镭-226 和镭-226/铍源校准仪表,或用于大学的培训工作。(见右表。)

工业用辐射源

应 用	放射性核素	源 活 度
工业射线照相	铯-192 钴-60	0.1—5 TBq 0.1—5 TBq
测井	镅-241/铍 铯-137	1—800 GBq 1—100 GBq
湿度探测器	镅-241/铍	0.1—2 GBq
核子秤(皮带秤)	铯-137	0.1—40 GBq
密度计	铯-137 镅-241	1—20 GBq 1—10 GBq
料位计	铯-137 钴-60	0.1—20 GBq 0.1—10 GBq
厚度计	氩-85 铯-90	0.1—50 GBq 0.1—4 GBq
静电消除器	镅-241 钋-210	1—4 GBq 1—4 GBq
避雷装置	镅-241	50—500 MBq
灭菌与食品保藏	钴-60 铯-137	0.1—400 PBq 0.1—400 PBq
校准装置	钴-60 铯-137	1—100 TBq 1—100 TBq

医用辐射源

应 用	放射性核素	源 活 度
手动近距离治疗	铯-137	50—500 MBq
	镭-226	30—300 MBq
	钴-60	50—500 MBq
	铯-90	50—1500 MBq
远程后装近距离治疗	钴-60	约 10 GBq
	铯-137	0.03—10 MBq
	铱-192	约 400 GBq
远距离治疗	钴-60 铯-137	50—1000 TBq 500 TBq

研究用辐射源

应 用	放射性核素	源 活 度
校准源	多种核素	小于 0.1 GBq
校准装置	铯-137 钴-60 镅-252	小于 100 TBq 小于 100 TBq 小于 10 GBq
辐照装置	钴-60 铯-137	小于 1000 TBq 小于 1000 TBq

废物管理原则

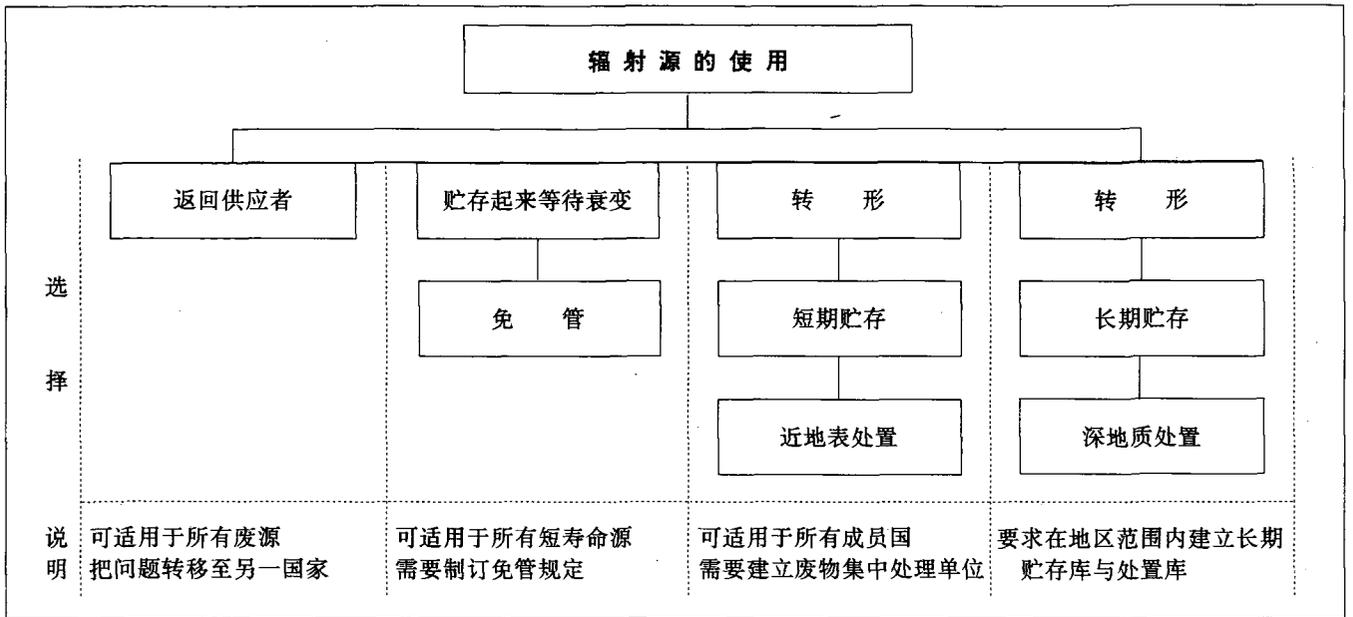
放射性物质之所以能造成危害,主要是由于它能发射电离辐射这一固有特性。这种特性与这种物质(即辐射源)是否处于使用状态无关。因此,不再使用因而被视为放射性废物的辐射源,其潜在危险与该源仍在使用时是一样的。正在使用的辐射源往往被看成宝贵的资源,这使得源的所有者对它的控制要比对废源的控制重视得多,因为废源是一种负资源(要花钱处置)。这一事实及把它保存下来供今后使用是毫无意义的这一情况,常常使废辐射源比正在使用的源更加危险。

放射性废物管理的主要内容是执行行之有效的控制、管理与处置制度,确保公众与环境的安全。这种控制要求有坚强的国家监管和执法体系,并需要自始至终关心显然具有危险性的每一个源。

为了满足成员国在这方面的需要,IAEA 废物管理科即将把辐射源数据库软件包定稿。该软件包包括可在现代个人计算机上运行的数据库和操作手册。这种软件包经过适当的试用后,将提供给所有成

员国作为跟踪本国密封辐射源的工具。主要对象是国家监管部门,但也可供具体单位,如拥有大量辐射源的国家废物管理部门使用。

为了达到这一废物管理目标,必须有



管理度辐射源的几种选择

一整套适应本国需要,适用于辐射源的收集、运输、处理、转形、贮存以及最终处置的制度。详谈如何实施这些步骤的技术细节已超出本文范围,此处仅就与善终措施有关的几种解决办法作些说明。

在废物管理方面能够采取的善终措施有四种可能。(见图。)它们是:(1)把废辐射源返回供应者;(2)贮存足够长的时间等待衰变,然后免除监管控制;(3)转形、贮存和近地表处置库处置;以及(4)转形、长期贮存和深地质处置库处置。

返回供应者。这一程序可简述如下:废物生产者将不再使用的密封源尽快送回供应者,并通报监管机构。废源的运输和出口,也许需要按照本国法律获得批准和(或)办理许可证。

密封辐射源体积小,表面剂量率常常比较高,这是它的特殊性。另外,许多密封辐射源往往出现在没有适宜于处置这些源的废物管理基础设施的国家中。辐射源的生产者往往最有条件安全贮存其生产的辐射源。而且,生产者有可能用重新封装废源的办法进行整修,使废源中未衰变尽的放射性材料得到重新使用。(用户通常不可能进行此类操作。)

IAEA 已通过其废物管理咨询计划

(WAMAP),向不完全具备废物管理能力的那些国家,特别是发展中国家的国家主管部门,提出了有关返回供应者这一选择的建议。因而某些国家目前的法律常常要求在每份密封辐射源采购合同中列入一条,即允许买方将不再使用的辐射源返回供应者。

然而,将废辐射源返回供应者这一选择,只有当它被认为是最佳的解决办法时才可采用;这不是一种最终解决办法,因为它只是将包袱从一国转移至另一国。对于那些完全有条件最终处置废源的国家,根本没有必要采用此选择,因为这将增大而不是减小来自放射性废物的总风险。

贮存起来等待衰变后免除监管控制。这一程序可简述如下:废物生产者把废物置于合适的衰变贮存库中,让其自然衰变,但要进行适当的监视,直至它达到免管(离库)水平,此时它可按非放射性废物取走和处置。

放射性核素衰变并最终成为稳定核素的这一固有特性,使得将放射性废物存起来直至达到规定免管水平的这一做法变得具有吸引力。尽管这是一种很有用的选择,但必须满足一些先决条件,其适用范围也有一些限制。

废物中放射性核素的半衰期必须较短,以便在适当的时期内(至多几年)达到免管水平。在实践中,半衰期一般不超过一个月,至多不超过几个月。例如,半衰期为一个月,则放射性活度在一年之内会降至原来的 $1/4000$,两年之内下降至原来的 $1/(1.6 \times 10^7)$ 。

为了能实践这一选择,国家监管部门必须先规定免管水平。当前还没有国际上通用的免管水平,但已就免管基本原则达成一致。IAEA正在编写有关的指导性文件。

这一选择的主要优点在于每家废物生产者都可以做,可以避免不必要的放射性物质运输。如果运用适当,这种选择也可避免不必要地贮存大量放射性废物,因为可以把已达到免管水平的废物撤走。

为了成功地实施这一选择,必须有一套将废物分类的操作制度,以保证把短寿命废物与长寿命废物正确分开。在一个废物包中,衰变所需的贮存时间将由半衰期最长的放射性核素决定。

这种选择虽然适用于诊断核医学所产生的几乎一切放射性废物,但用于密封辐射源的事例却很少。

短期贮存后近地表处置。这一程序可简述如下:废物生产者将废物(在转形之前或之后)运至本国的废物集中处理与贮存设施,以便随后进行近地表处置。

半衰期小于30年左右的放射性废物,一般可在适当转形之后在近地表处置库中处置掉。这种处置库的建设和运营目前在技术上是成熟的,专家们在这一概念的可接受性方面不存在重大的意见分歧,只要要求废物和处置库都要适当地加以限制和具备一定的条件。在某些政治家、要求“绝对无风险”的人以及那些不管怎么说都反对核能的人中,可能仍然存在着不同意见。

原则上几乎每个国家都可以在其领土上建立起处置该国产生的短寿命废物的近地表处置库。由于数量少,普遍认为一个国家不必建一个以上或几个处置库。建设一个处置少量短寿命废物处置库的费用,即

使对小国家来说也不是不可接受的,因为对于废物量很小的生产者来说,一些简单的解决办法就足够了。

供此种贮存或处置的放射性废物必须经过适当的转形。这些操作往往不是每个废物生产者都能做的,而是要由废物集中处理单位来完成。IAEA已经编写了一套一般地介绍废物处理和贮存设施的技术资料,可供拥有核研究中心该中心又拥有研究堆的国家使用。内容包括此类设施和所用设备的详细说明、平面布置图以及该设施的一般安全分析。这套资料最近已提供给IAEA成员国,并已用于新建的废物集中管理与贮存设施。类似的一套有关废辐射源的转形和中间贮存的资料最近已经完成,并准备于1994年提供给成员国。

为了实施这种选择,国家必须建立一座废物集中处理和贮存设施,将废物存放在这里直到在近地表处置库中处置。这样的国家迟早要为其短寿命放射性废物建立此类处置库的。

长期贮存后深地质处置。这一程序可简述如下:废物生产者将废物(在转形之前或之后)运至本国的废物集中处理与贮存设施。如果需要,以后再将废物运至地区性的贮存库长期贮存,等待深地质处置。

各种核应用产生的废物中,有些由于其半衰期长和活度大而不宜于近地表处置。含有镭-226和镭-241的密封源就属于此列。正如IAEA 1991年的一份报告《废辐射源问题的性质与大小》(IAEA TECDOC-620)所谈到的,预计这些辐射源都将在深地质处置库中处置。

建立深地质处置库的费用极大。那些只有一些密封辐射源需要进行深地质处置的国家是负担不起这种费用的。另一方面,拥有核电的国家多半会建立这样一种处置库。因为与乏燃料或高放废物的活度相比,密封辐射源的活度是可以忽略不计的,因而有人提出的解决办法是将长寿命密封源与由核动力堆引起的高放废物一起处置,包括来自国外的长寿命密封源。

一国的密封源与另一国的高放废物共

同处置的做法,需要签署国际或双边协议。鉴于进入下世纪后很多年才会建立深地质处置库,因而签署这种协议的紧迫性目前还不小。尽管如此,现在就着手进行这一极有可能既困难又耗时的谈判工作仍然是明智的。

在深地质处置库建成之前,需要建立若干个贮存转形后废物的中间贮存库,它们应该能安全运营好几十年。考虑到废辐射源的体积很小,对中间贮存库的要求又高,因而最好还是为转形后长寿命密封源



辐射的多种应用中包括射线照相,在航空和钢铁工业中一般用于安全控制与质量控制。(来源:Tech/Ops; Dahiström, Bildhuset Sweden)

的长期贮存寻找地区性的解决办法。IAEA已着手进行建立这种地区性安排的工作。

眼下许多国家的法律都禁止进口等待处置的放射性废物,许多政策声明的大意是“各国应料理和处置各自的废物”。然而,这些要求和声明的背景是担心来自核电厂的大量放射性废物,而不是指例如由核医学应用产生的少量放射性废物。

管理长寿命废辐射源的善终措施目前尚未提上日程。在能够采取这些措施之前,需要就地区性长期贮存库的必要性,以及就签署密封源与核动力堆引起的高放废物共同处置的国际或双边协议等问题作出决定。

未来的挑战

目前,以国家为单位管理核应用产生的一切放射性废物是可能的,只有几种长寿命密封辐射源例外,它们需要国际性的解决办法。此事能否在一国范围内实际完成,这取决于本国的专业力量和资源。IAEA正在帮助其成员国创造这种可能性。然而,在大多数成员国能够建立起相应的本国废物管理基础设施之前,仍然有一段漫长的路要走。 □

