

放射性废物管理的系统分析

略谈管理低中放废物的决策框图

William L. Lennemann

放射性废物管理可看成是核能应用和放射性废物对人类及其环境产生潜在危害之间的一道屏障。一个合格的和可以接受的放射性废物管理及处置系统，需要用到各种技术和(或)多种学科中的技术能力，诸如工程学、化学、生物学、地质科学、保健物理学、代价和风险-利益分析、经济学或费用效率、可行性和环境评定以及系统分析，还需要精通信息业、公共关系，和了解政治诉讼程序、社会思潮和政治气候等。

任何一个人都不可能具备所有的技能和了解所有学科，因此放射性废物管理需要集体的努力。

目前，在放射性废物管理方面，公众很少考虑经济、费用效率以及风险-利益。人们只是根据政治和社会压力做那些不得不做的事。在所有的国家中，放射性废物管理和处置都受到政治控制和监督以及官僚主义规章制度的影响，有时，社会压力比技术要求对决策更有影响。尽管如此，放射性废物管理者的责任，是将各种不同的处理放射性废物的方法和系统的费用效率以及风险-利益，介绍给政治部门和管理部门的决策者，因此不管决策者的决定可能是什么，他们对这些决定的含义都是很清楚的。

选择放射性废物管理的流程或设备，不应只听信卖方的意见，或者，如俗语所说，买主要多加小心。放射性废物的产生者或处理者，本身应当具有放射性废物管理方面的专门知识，或者请合适的、公正的、独立的专家们咨询。由于没有坚持这一原则，在核工业中，业已白白地浪费了千百万美元。

评价放射性废物管理流程及其方案的最合乎逻辑的方法，是将放射性废物的管理、处理和处置，作为一个从废物的产生直到它们的处置为止的完整而复杂的系统来考虑。这个系统可按逻辑划分为几个可独立执行的部分。一个部分的所作所为，会给该系统其他部分中的一个或几个部分带来制约或灵活性。

Lennemann 先生目前在美国弗吉尼亚州麦克莱恩科学应用国际公司供职。他是国际原子能机构废物管理科的前任科长，他还曾以国际原子能机构提供的专家的身份在发展中国家讲过放射性废物管理方面的课。

放射性废物管理体系

实际上，从处理和包装角度考虑，可以将放射性废物*分为以下五大类：

- 液体，包括稀的浆液
- 湿固体，包括粘稠浆液
- 干固体
- 可压缩废物
- 气体。

通常需要注意的气体放射性核素是氦-85、碳-14、氢-3(氚)和碘-129。一般说来，这些气体放射性核素释放大气后将被大气过程所稀释。究竟将它们收集起来还是允许以气体形态加以处置，这是有争论的。另一方面，将这些气体放射性核素收集起来并转变为其处置更易接受的固态形式，在技术上也是可行的。因此，当这些放射性核素达到必须收集和封闭的程度时，将会出现这种情况。

放射性废物管理体系的每个部分都有两种或两种以上的方案，需要根据目标、技术和规范作出决定，这些决定会影响正在做的或将要做的事情；也就是说，会影响就体系中其他部分的各种可用方案所做出的其他决定。例如，处置场和(或)处置方法的选择，可以严重影响放射性废物的处理或包装，反之亦然。

为了便于讨论和解释，可将放射性废物管理体系的各部分称作“决策点”。若可能的话，在涉及放射性废物管理的决策过程中，应当调查和考虑一项决策对该体系所有部分的影响，而不仅仅是限于所涉及的部分，或者局限于一两个其他部分(见附图)。

一个比较明显的但常被忽视的问题，是要使放射性废物包及早标准化。废物包由其内容物和包容物或容器组成。放射性废物处理和废物形式标准化的好处，可能与时

* 本文所用的“放射性废物”一词，系指低中放放射性废物，它们所含的长半衰期超铀放射性核素的量极微。有些国家还对长半衰期的裂变产物和活化产物的含量作了限制。为了定义起见，长半衰期系指半衰期超过50年。

间、地点和(或)国家的情况有关。另一方面,从放射性废物包的装卸、运输和处置角度看,将容器的大小、形状及吊装工具标准化,将会取得明显的利益。如果有了主要根据放射性废物的形式和辐射危害设计的几种标准化货包,这就为以后将若干个相同的货包装入一个较大的容器或框架内,然后成组地处理和处置创造了条件。

管理方案的选择

对于放射性废物管理体系的各个部分或各个环节,现在均有若干种方案和技术可供选用。放射性废物的减容,实质上是除去非放射性组分,如水、空气和可燃有机物。包装一般是将液体或固体废物稳定化,形成坚实基体。另一方面,若放射性核素和固体废物形式是不易飞散的,或放射性核素已很好地包容在废物本身内(例如诱发的放射性被固定在金属基体中),也可能不需要包装。

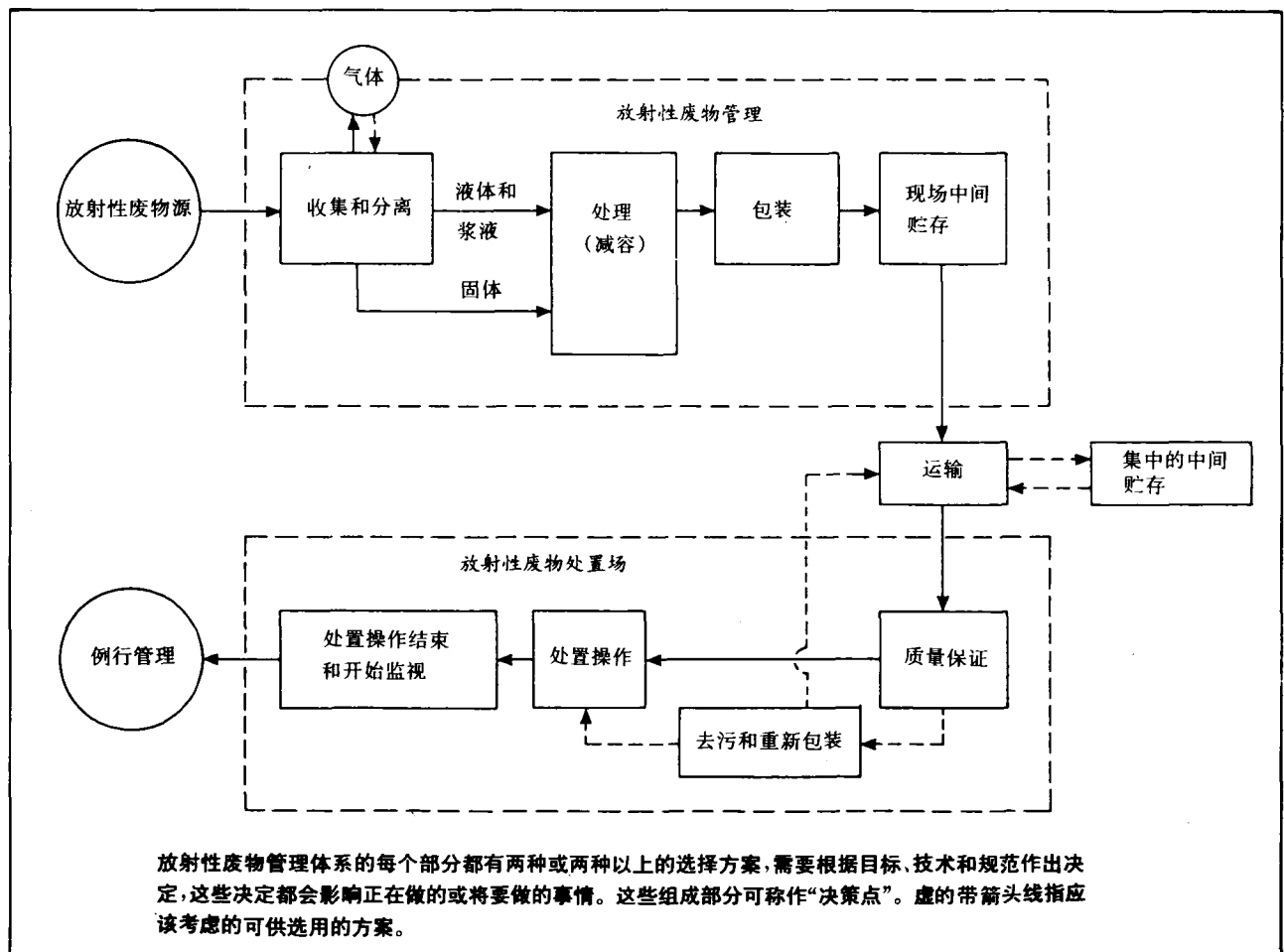
决策过程包括就放射性废物管理体系的每一部分使用

哪些方案和(或)技术(或二者一起)作出管理性决定。因此,应当检查整个体系,以判断体系内的某一项决定与该体系中的其他部分相容到什么程度。这项决定也许会引起该体系进行必要的调整,因此还应判断这种调整所带来的有害的和(或)有利的影响。

通过对系统的分析,可以从费用和有害影响(如危险和辐射照射量)的角度,使包装好的放射性废物的体积和操作最优化。一个简单的例子是将非放射性废物和放射性废物分开,或将放射性废物分门别类地分开后处理或处置;这种做法有时也可以看成是一种减容。应当权衡这种分选的可能利益和其相关的危害,包括分选的费用和分选操作的职业性危险。

系统最优化

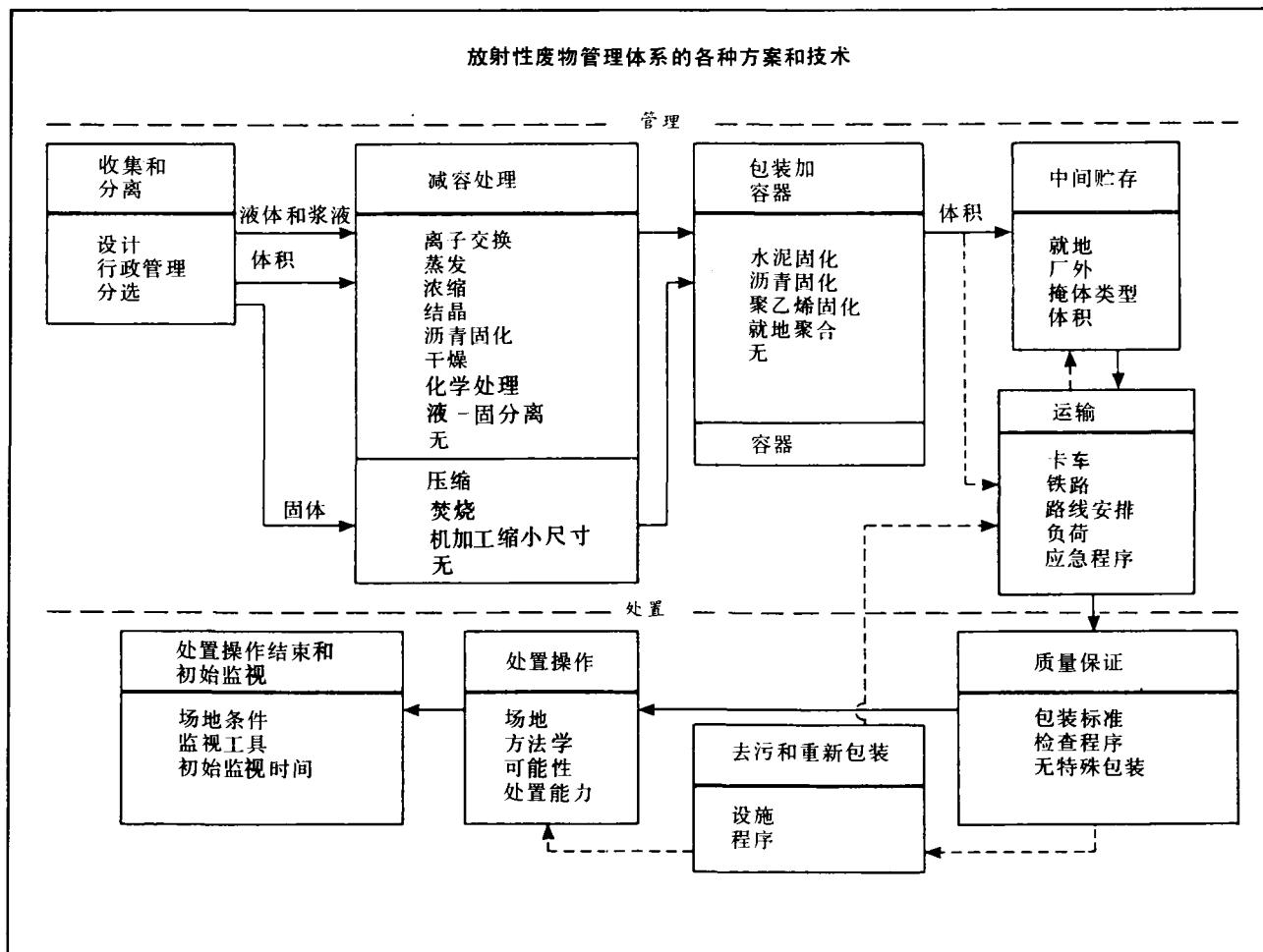
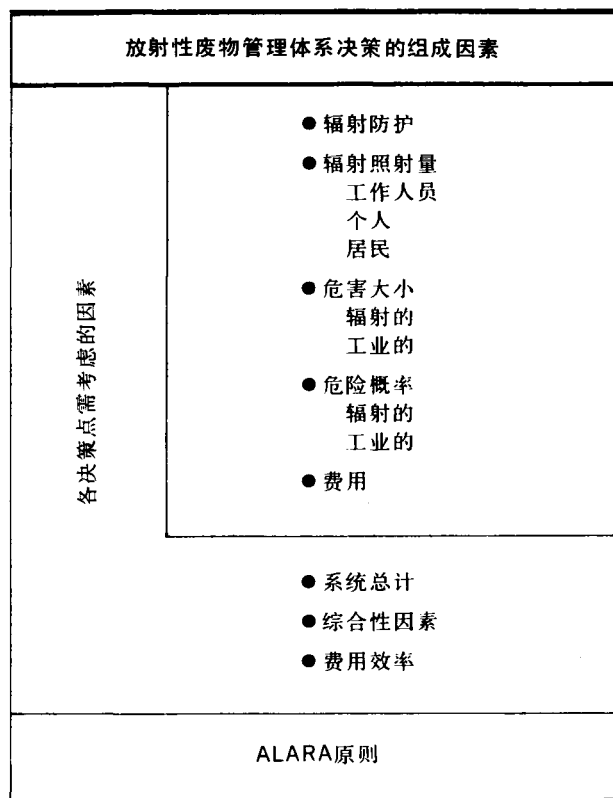
当对放射性废物管理体系的一个或多个部分进行决策时,应当考虑的主要参数是辐射剂量或危害——辐射安全



和工业安全(危害和危险)以及基本建设投资和运行费用(见附表)。要让运行根据某一组决策或方案构成的系统所引起的危害、整体安全性和代价的估价,与运行由另一组或多组决策所引起的结果相比较,这可以通过将该系统各部分的诸参数——使用通用的估价标准或调整过的排列法得到这些参数——综合起来的办法实现。这样,就能得到一个达到预期目标而且最优化的放射性废物管理体系。

在使某一系统最优化的过程中,要进行一些折衷,也就是通过降低系统中其他的一个或多个部分的目标使该系统的一个部分的运行和利益得到改进和提高。换言之,究竟将资金用在该系统的什么地方才能得到最大的整体利益?例如,把花在降低放射性废物管理体系中的个人辐射照射量上的钱,花在减少某个危险因素上也许更为明智。

在私人和国家企业中,金钱是一种资源。费用效率涉及就下述问题作出决定,即支出或节约是否真正值得,或把钱花在另外的某个地方会不会获得更大的私人或公众利益?例如,把为降低居民群体的辐射照射水平所花的钱,花



在医学研究(如有关癌症的研究)上,或花在减轻严重影响居民健康的其他危害上也许效果更好些。这种观点的根据或许是一个国家中人的生命价值是相同的,而不管使人衰弱的疾病或死亡的原因何在。

在资金来源有限的国家中,用于保护居民健康的开支应当用于可得到最大利益的地方,不管这是不是辐射照射量。同样,把同样数量的钱花在放射性废物管理体系的另一部分,或者甚至花在核能计划的其他地方,也许能使辐射照射水平降低更多。国际放射防护委员会(ICRP)建议的可合理做到的尽可能低(ALARA)原则,确实就给辐射照射量的目标值留有一定的灵活性,因为各国管理机构所考虑的社会和经济因素,各个国家可能很不相同,而且可以加以调节以适应各种环境或情况*。

对不同的放射性废物或减容技术进行对比的系统分析

需要考虑许多因素,附图用两个例子作了说明,这两个例子为:

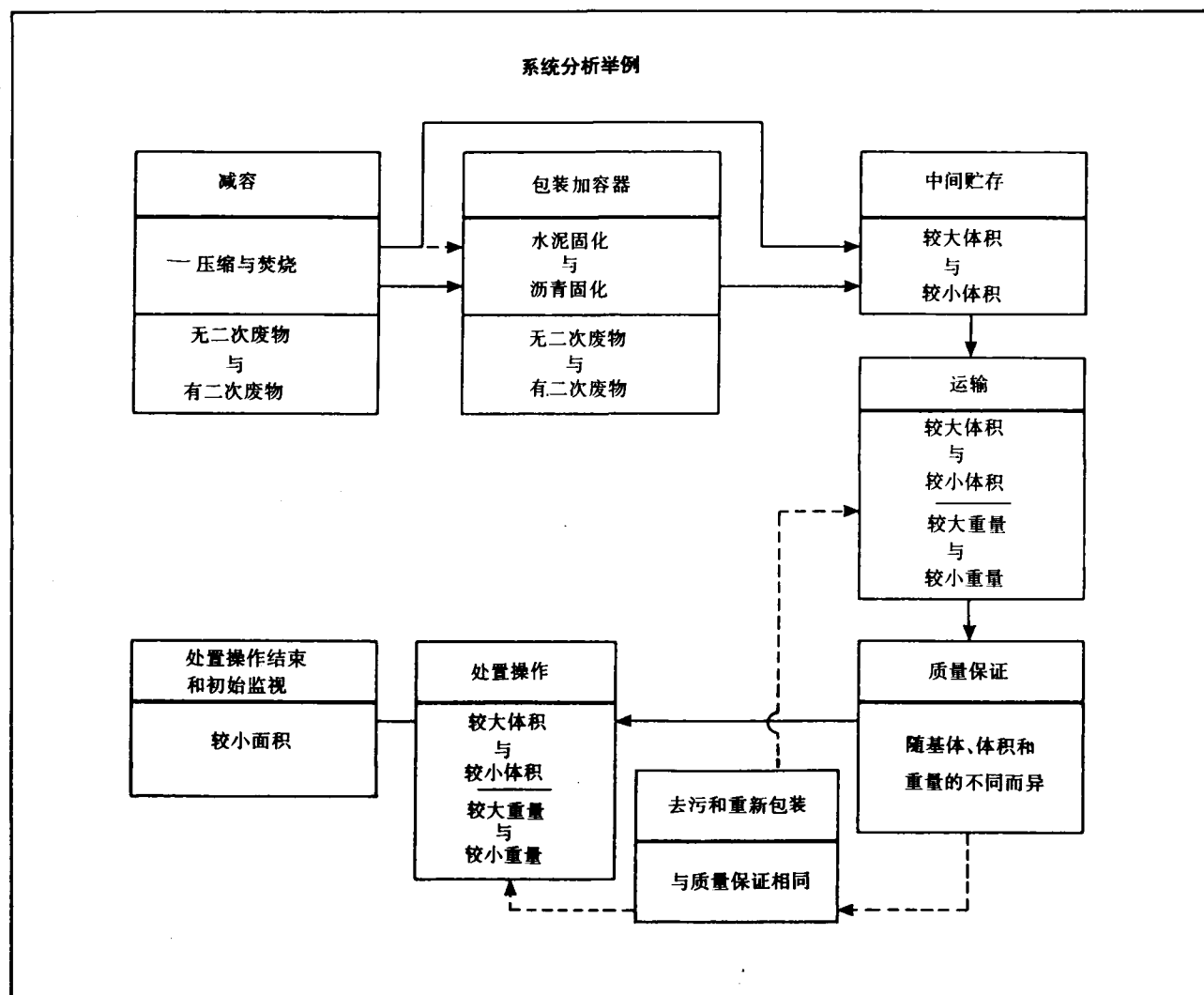
● 用于稀浆液和蒸发器残留物的水泥固化与沥青固化。

● 用于可燃固体废物的压缩与焚烧。

虽然压缩的废物早已是带包装的,但焚烧炉的灰很易飞散,可能需要用水泥固化或沥青固化予以固定和加包装。需要考虑的主要后果是体积和重量的减少量,以及由减容操作带来的二次放射性废物。对系统分析来说,这些后果可以用照射量、风险和费用表示。

沥青固化与水泥固化相比,以及焚烧和压缩相比,在系统分析时应该考虑的明显收益和缺点(得分和扣分)摘录于

* ALARA系指考虑到社会和经济因素,“可合理做到的尽可能低”。



减容技术的比较		
水泥固化—沥青固化 *		
压缩—焚烧 **		
明显的得分		明显的扣分
● 减少单元体积 ● 降低贮存要求 ● 降低运输要求 ● 减少所需的处置场面积 ● 沥青具有更好的抗水性		● 流程比较复杂 ● 基建费用较大 ● 运行费用较高 ● 每个标准体积单价较高 ● 屏蔽差 ● 辐射较高 ● 有二次废气流 ● 有不大的着火危险
需要综合考虑的因素		
● 节约的土地面积价值大于附加费用 ● 减容流程的风险与参考流程的风险比较 ● 减容流程的辐射照射量与参考流程的辐射照射量比较		
• 用于稀浆液和蒸发器残留物。 • 用于可燃固体废物。		

附表中。肯定还有其他的优点和缺点,但表中列出的已足以说明问题,且不致过于赘述。对沥青固化和焚烧来说,得分和扣分大体上相同,只是沥青比水泥或混凝土的抗水性更好些。

表中还列出了就达到减小待处置废物的体积而言应该予以考虑的几个综合性的因素。从费用效率的观点看,可能要考虑以下问题:

- (1) 如何使减容的附加费用等于处理、运输或处置费用中的节约额,加上陆地处置带包装的废物时少占用的土地的价值?
- (2) 这一附加费用还能用在其他什么地方从而能在核能中取得更大效益呢? 如用于培训,或用于改善道路和其他运输设备使核材料包括放射性废物的运输更安全,或用于或许能使本国取得更大效益的领域(例如,研究和发展,建设医疗设施,改良农田,或建筑住房)?

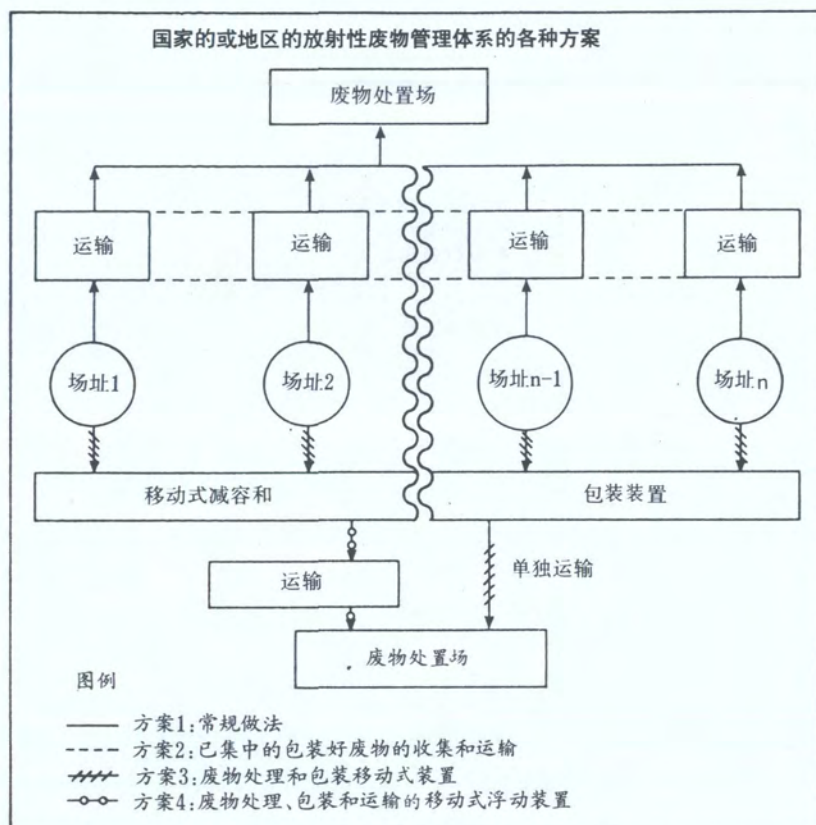
可供选择的系统

在可供一个国家或一个地区的放射性废物管理体系考虑的方案中,人们通常选用的一种方案,是每个核电厂或其他放射性废物产生者各自作出安排,将带包装的放射性废物运到国家的或地区的处置设施,如某个陆地埋藏场。

第二种可能节约费用、减少管理和风险的方案,是由电力公司集团(也许包括其他拥有和处理材料的许可证持有者)建立一个联合经营或合作性的机构,由它处理和将包装好的放射性废物运到国家的或地区的埋藏场,或者建立一个能提供这种服务的政府机构,负责收集放射性废物。

第三种方案是建立供全部核电厂贮存蒸发器残留物、离子交换树脂、可压缩和可燃放射性废物等用的中间贮存设施。这些废物可通过移动式装置定期地进行处理和包装。由于避免了在每座核电厂重复设置昂贵的一般隔一段时间才使用一次的放射性废物处理和包装设施,省去了人员培训和运行人员,以及避免了对这些设施进行定期检查所带来的不便,因而这个方案是比较经济的。这种方案也将排除为同一目的而运行多套设施(这里指放射性废物处理和包装设施)所固有的一些附加危险因素。换言之,它可能是一种较为安全的方案。这个方案对位于海岸或可通航的水路两旁因而大型浮动放射性废物管理设施可以靠近的核电厂,可能特别有吸引力。

第四种方案是第三种方案的延伸。按照这一方案,浮动放射性废物管理设施应具有临时贮存带包装放射性废物的能力,由它定期地把包装好的废物运到浮动设施容易靠近的处置场。理由很明显,陆地的可移动放射性废物管理装置不可能实现第四种方案的目标。



苏联部长会议主席N.I. 雷日科夫先生(左)和布利克斯博士在莫斯科会晤。(来源:APN, 莫斯科)

