

核电站乏燃料的管理

不断增加的需要

PETER H. DYCK 和 MARTIN J. CRIJNS

去年,从全世界的核电站中卸出了大约 10 000 吨重金属乏燃料。这些乏燃料被贮存在专门设计的设施中并接受必要的监测,以便今后回取进行后处理或在废物最终处置库中进行最终处置。

在今后的岁月中,预计将有更多的乏燃料需要贮存较长的时间。因此,世界核工业界正在建造新的贮存设施、扩充现有的设施并采用能确保废物更有效地长期贮存的技术。

本文概述各国在管理核电站产生的乏燃料方面所采用的方案,并简述 IAEA 在该领域内的部分活动。

基本方案

乏燃料管理包括一整套的技术操作,从反应堆中卸出乏燃料组件开始,到将乏燃料直接处置(开式或称“一次通过”式燃料循环),或进行后处理并将随之产生的高放废物最终处置(闭式燃料循环)而结束。直接处置是通过一些步骤将乏燃料置入某一场所(如地质处置库)并且不允许以后被移出。后处理是将易裂变的铀和钍从废材

料中分离出来,作为回用燃料在反应堆中重新使用。

闭式燃料循环概念的原意是,在快中子增殖堆中回用分离出的铀和钍。不过,由于增殖堆计划的一再推迟和取消,已导致这些分离出的易裂变材料在已经运行的热堆中的回用。目前,铀的热堆回用(如混合氧化物燃料,或称 MOX 燃料)主要是在比利时、法国、德国、日本和瑞士;俄罗斯联邦和联合王国正在进行铀的热堆回用,德国也计划进行这项工作。

管理乏燃料的第三种方案是暂不做出决定,进行中间贮存。这种方案使运营者能连续地监测所贮存的乏燃料,并在将来能够回取进行直接处置或后处理。大多数有核动力计划的国家都采取这种方案。(见第25页表。)乏燃料战略的选择是一个非常复杂的决定,要考虑许多因素,包括政策、经济、核保障和环境保护等方面。不管采取何种乏燃料管理策略,多数国家共同拥有的一个特点是需要不断地增加贮存容量。

不断变化的实践

在核动力发展的早期,

采取闭式燃料循环的国家,通常将乏燃料贮存在反应堆的贮存水池中(燃料组件放在浸在水中的格架上或装入容器放入水池中)或运到后处理厂的贮存水池中贮存。

但是,后处理厂缺乏足够的贮存能力使这一情况发生了变化。同时,并非所有国家都选择闭式燃料循环方案,而是选择将乏燃料暂时贮存起来等待做出最终处置的决定。结果,核电力公司开始扩充其乏燃料贮存水池的容量。另外,在反应堆场区或其它地方建造了一批池式贮存设施。此后,一直没有建造乏燃料的最终处置场,因而对长期贮存的需求大大增加。为满足这种需求,一直在开发其它的贮存工艺,包括把乏燃料置于利用容器、筒仓或处置室的干燥气体环境中,这些设施一般都位于堆外(AFR)的场区。

现在,在不同的国家中正在运行或正在建造着不同

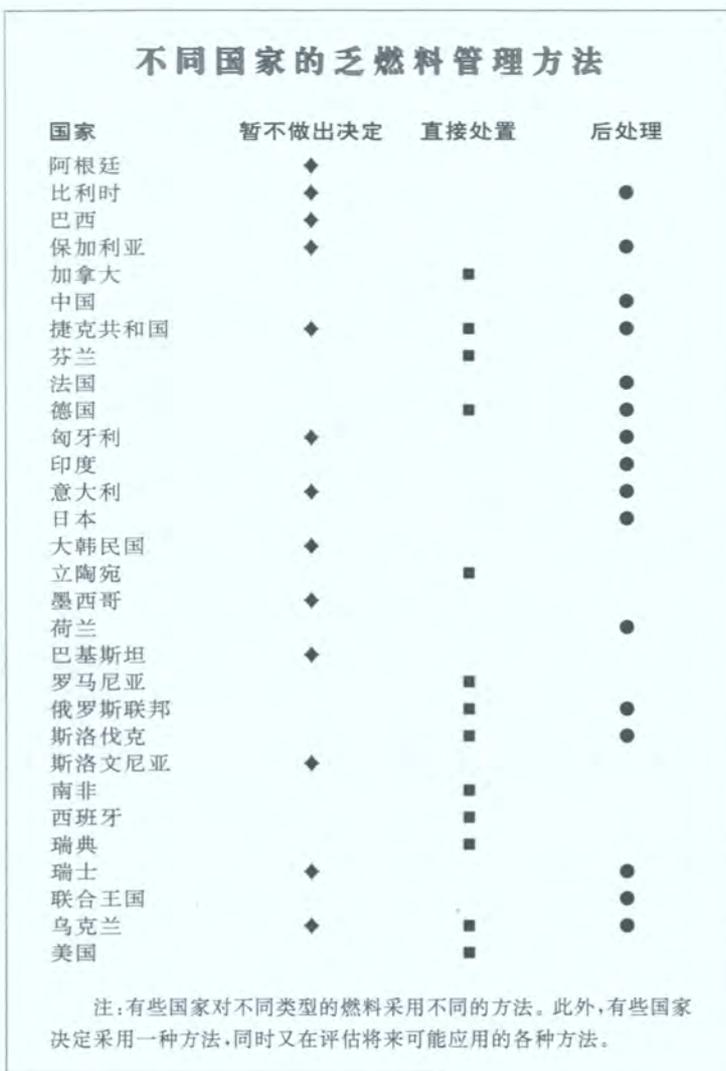
Dyck 先生是 IAEA 核燃料循环与废物技术处职员, Crijns 先生是该处的顾问。

种类的湿法和干法贮存设施。乏燃料能安全贮存较长的一段时间,有的已经贮存了30多年。

从总体上看,正在使用或计划使用各种不同的技术和系统。在大多数国家中,反应堆场区的贮存水池已经或将要安装带中子吸收体的高密度格架,以便效率更高地利用现有的贮存空间。在某些情况下(如斯洛文尼亚和南非),将使用超高密度格架,以便贮存反应堆计划寿期内的全部乏燃料。对于AFR贮存水池而言,正在使用经改进的钢箱和钢罐来更密实地贮存燃料以提高贮存容量。

1997年,所有类型核电站反应堆每年产生的乏燃料总量约为10 500吨重金属(tHM)。截至1997年年底,全世界累积的乏燃料总量约为200 000 tHM,预测表明,2010年前将产生的乏燃料总量累计可能超过340 000 tHM。目前贮存存在堆或离堆贮存设施中等待后处理或最终处置的乏燃料大约有130 000 tHM。(参见第26页表。)

累积的乏燃料量是现有年后处理能力的20倍以上。假设今后产生的乏燃料中有一部分将进行后处理,则到2010年时需要贮存的总量预计约为230 000 tHM。由



于用于乏燃料最终处置的第一座大型处置库预计要在2010年之后才有可能投入运行,这表明中间贮存将是下个世纪相当长的一段时间内的主要选择。

各国的发展

在过去的三年中,许多国家采取了重要措施,以提高其有效管理乏燃料的能力。其中包括:

- 在加拿大,2座离堆干法中间贮存设施分别在

1995年和1996年投入运行。

- 在捷克共和国,位于杜库凡尼的贮存能力为600 tHM的干法贮存设施于1997年1月获得了为期10年的运行许可证。到1997年年底,它已贮存了232 tHM。

- 在法国,制造混合氧化物燃料的MELOX厂达到了许可证规定的120 tHM生产量。它还决定在28座反应堆中装载MOX燃料,其

1997年一些国家的贮存容量和存量(吨重金属)

国家	在堆容量	在堆存量	离堆(AFR)容量			离堆库存量
			正在运行	正在建造	正在计划	
巴西	576	130				
保加利亚	828	387	600			356
加拿大	31 407	22 555	8567		14 496	1930
中国		177		550		
捷克共和国	480	306	600			232
芬兰	676	204	1047			684
法国	11 290	5795	14 400			9159
德国	4561	2756	7767	585		594
匈牙利	480	357	160			54
日本	9920	5800	213	3000		169
大韩民国	5251	3072	609	812		609
立陶宛	2093	1380		352		
罗马尼亚	940	100				
俄罗斯联邦	5230	3480	13 800	1900	13 000	6046
斯洛伐克	480	150	600			523
南非	670	392				
西班牙	4390	2000				
瑞典	1500	730	5000		3000	2703
联合王国	3345	1035	11 153			7157
乌克兰	3051	1650	2000			1695
美国	60 700	35 300	2164	2000	43 000	2164
总计	147 868	87 756	68 680	9199	73 496	34 075

中有 12 座已经在使用 MOX 燃料。

■ 在匈牙利,一座模块式穹顶干法贮存设施于 1997 年投入运行,到 1997 年年底已装载了 54 tHM。

■ 在印度,位于卡尔帕卡姆的新的后处理厂已完成了许可证审批所要求的试运行。

■ 在日本,位于六所村的贮存容量为 3000 tHM 的湿法贮存设施正等待当地主管部门批准运行。已制定一项从 1999 年开始在轻水堆中使用 MOX 燃料的计划。

■ 在大韩民国,在早期挑选的中央中间贮存场区因地质原因被取消后,正在审

查未来的方案。在月城,已建成了一座容量为 609 tHM 的干法贮存设施,另一座容量为 812 tHM 的干法贮存设施正在建造之中。此外,建造一座在加压重水堆中再利用(再制造)轻水堆乏燃料的实验设施的计划已经开始执行。

■ 在俄罗斯联邦,一座能贮存从 RBMK 反应堆卸出的 2000 tHM 乏燃料的湿法中间贮存设施,已在斯摩棱斯克核电站投入运行。

■ 瑞典继续在设计用于在最终处置之前将乏燃料封装起来的工厂,计划于下个世纪初完成许可证的申请工作。另外,为在 2004 年前将

其中央贮存设施(CLAB)贮存容量增加 3000 tHM 采取了一些申请许可证的步骤。

■ 在联合王国,经过一段时间的公开磋商之后,监管部门已经颁发了热氧化物后处理厂(THORP)的运行许可证。核工业放射性废物管理局(NIREX)计划在塞拉菲尔德建造一个岩石表征设施的申请已遭否决。未来的选择方案正在审查之中。

■ 在乌克兰,监管部门正在审查可在扎波罗热场区建造的一个干法屏蔽容器贮存设施。

■ 在美国,在核电站场区的三个新的干法贮存设施已投入运行,美国核管理委

员会正在审查可在反应堆场区和其它地点建造的几种干法贮存系统。

全球合作和 IAEA 活动

IAEA 与由成员国的专家组成的咨询组一起,定期评议动力堆乏燃料管理的现状和前景,以便研究重要的发展与趋势及确定需要更多地合作进行合作的领域。

机构工作的一个方面集中在各国感兴趣的一个问题上,即更多地利用远程技术处理乏燃料元件。除了用于与后处理和乏燃料直接处置情况下的最终封装有关的活动外,乏燃料从反应堆中卸出时也要使用这种技术。

对地区性乏燃料贮存设施的技术和安全问题也表现出了极高的兴趣。一些有小规模核计划的国家面临着贮存和处置其乏燃料的问题。他们认为从经济角度讲,建造自己的贮存设施没有多大意义。由 IAEA 召集起来的一些专家已开始搜集和评估有关地区性乏燃料贮存设施的资料,这是一个从原则上看似乎是可行的概念。

IAEA 正在帮助中欧和东欧国家运行两种类型的核电机组(WWER 和 RBMK 型机组)。这方面的工作是通过于 1995 年开始执行的由日本政府资助的关于 WWER 和 RBMK 核电机组安全性的预算外计划进行的。

1997 年 10 月,专家们出席了关于干法贮存设施试运行的技术委员会会议和情况交流会。他们深入讨论了这类设施试运行所涉及的一些重大步骤;资源要求;许可证审批程序;辐射防护目标;安全基本原则;以及标准和实践。1998 年,除了其它的活动外,IAEA 还计划举行一次关于乏燃料长期贮存的安全性的情况交流会,着重讨论来自 WWER 和 RBMK 型反应堆的乏燃料。

做为此项预算外计划的一部分,几个国家已经完成了关于乏燃料行为的计算机程序和模拟研究。例如,匈牙利的 KFKI 原子能研究所利用 COBRA-SFS 程序完成了乏燃料在长期干法贮存条件下的行为的热工水力学计算。这个模型的说明和使用手册已经成文,相关的手册也已编写好。成果之一是所有运行着 WWER 型核机组的 IAEA 成员国现在都能够利用该程序来提高乏燃料贮存的安全性。

各国越来越感兴趣的一个领域是“燃耗信任”的概念,它适用于乏燃料管理系统的许可证审批。该术语指的是烧过的核燃料反应性下降,这一下降是由于燃料在堆芯内受辐照期间成分发生了改变所致;其数据是通过燃料的物理计算得

出的。对于乏燃料的贮存和运输系统来说,使用“燃耗信任”概念有望实现更高的效率。例如,它能允许将乏燃料更紧密地包装起来,从而提高贮存容量,也可用于提高乏燃料运输容器的容量以减少所需的货包数。它在运输、贮存、处置和后处理操作方面还有其它的应用。使用该概念的主要动力是经济因素,但从公众健康和环境安全以及环境保护方面看它也具有一些优点。由 IAEA 召集的专家们最近考查了该课题,机构还将发表一份技术文件,内容将涵盖国家实践的现状和如何在乏燃料管理系统中使用“燃耗信任”概念。

另外,IAEA 还出版了三份有关核电站乏燃料管理的安全文件:一份有关动力堆乏燃料安全贮存的导则;一份有关这些设施的运行的导则;以及一份关于如何编写乏燃料贮存的安全分析报告的文件。

这些及其它一些活动旨在帮助各国更有效地对不断出现的乏燃料管理方面的技术挑战作出响应。到目前为止,在核电站乏燃料的长期贮存方面已经有了约 40 年的经验。但是,预期贮存期还会大大加长,因而需要采取进一步的措施以改进贮存技术和贮存方法。 □