

研究堆场区的乏燃料管理

日益增大的规模

IAIN G. RITCHIE

世界上运行中的和已关闭的核研究堆共有 550 多座。许多研究堆都贮存有运行所产生的乏燃料，等待最终处置的决定。近几年来，与这类乏燃料的贮存相关的一些问题日益引起国际核工业界的关注。人们的担心主要集中在日益老化的燃料贮存设施、贮存设施使用寿命的延长和乏燃料组件的最终处置方面。不管是研究堆还是试验堆，其贮存的乏燃料都比原计划的时间长，数量多。

为了判断这类问题所涉及的范围和建立该课题的数据库，IAEA 已对其成员国中的研究堆运营者进行了调查。迄今已从数量有限但却有代表性的研究堆收集到了建立研究堆乏燃料数据库 (RRSFDB) 所需的信息。这些信息是对机构已建立的另一个研究堆数据库 (RRDB) 中已有数据的补充。

本文依据这些数据库资源，联系该领域中有关的国家计划和国际计划，介绍世界研究堆场区的乏燃料管理和贮存的全貌。

全球情况

目前在研究堆和试验堆

乏燃料的管理、中间贮存和最终处置活动方面有两项起主导作用的重大计划：

降低研究堆和试验堆浓缩度 (RERTR) 的计划。 这项计划是美国为支持其核不扩散政策而发起的，其目的是使研究堆从烧高浓铀 (HEU) 改为烧低浓铀 (LEU)。现在它几乎成了世界性的计划，得到了俄罗斯联邦的全面支持，同时，中国也在考虑这项计划。RERTR 计划已经限制并将在成为全球性计划之后最终消除研究堆用 HEU 的所有贸易，以满足国际社会的最高利益。然而，在许多情况下，改烧 LEU 已使乏燃料管理问题复杂化，这是因为有关的设施中已经存有 HEU 乏燃料，而且为数不多的几个设施还必须解决改烧 LEU 后遇到的 LEU 燃料通过量增大的问题。

“收回”计划。 当研究堆在几十年前开始投入运行时，曾假定在大多数情况下，乏燃料最后要运回原先浓缩这些核燃料的国家，即原产国。在许多设施，因种种原因而未将乏燃料返回原产国。结果，在一些国家里，不断老

化和不断腐蚀的燃料目前仍贮存在并非为这种长期贮存设计的设施里。两个主要的原产国是美国和俄罗斯联邦。1996 年 5 月，美国确认其收回外国研究堆所用的美国产核燃料的意图，从而恢复了原先的政策。人们希望其他供应国和参与 RERTR 计划的各方效仿美国并实施他们自己的收回计划，即收回他们原先供给燃料的外国研究堆所产生的乏燃料。

虽然自 RERTR 开创以来 IAEA 一直全力支持该计划，但直到 1993 年，核燃料循环和废物技术处才将其计划扩大至专门处理研究堆和试验堆所产生乏燃料上来。这方面的活动现在涉及：收集、分析和宣传乏燃料的贮存、管理和相关经验的信息；制定标准；和给发展中成员国提供技术援助。

1993 年初，许多让人担心的事情立刻变得明显起来。许多研究堆处于危机状态或正在迅速接近危机状

Ritchie 先生是核燃料循环和废物技术处核燃料循环和核材料科职员。

态。上述的任何一种情况,都是由于乏燃料的贮存和管理问题以及本国法律的制约所致。显然,在许多研究堆场区,乏燃料贮存库的能力已经用完或已接近极限;而且从材料学的角度看,人们对老龄贮存设施中日益老化的材料十分担心。

IAEA 已确定了在该领域的活动以解决这些担心。不过,第一步是要了解全世界乏燃料管理和贮存的概貌。

到 1997 年 12 月,IAEA 的研究堆数据库(RRDB)存有遍布全球的 589 座研究堆的信息。其中可运行的有 269 座,已关闭的有 303 座。此外,在建的有 12 座,计划建造的有 6 座,情况未完全核实的有 1 座。

在 RRDB 中,可运行研究堆的堆龄分布的峰值为 30—40 年。实际上,19%的可运行研究堆堆龄为 20—29 年,51%的堆龄为 30—39 年。大部分可运行研究堆(46%)的热功率为 100kW 以下,这部分共 122 座研究堆几乎都有足够整个寿期使用的燃料,因而在它们永久关闭之前不存在乏燃料问题。

问题的范围

机构正在以 IAEA 成员国对问卷调查表的回答为基础,开发研究堆乏燃料数据库(RRSFDB)。虽然该数据库目前的覆盖范围限于约

210 座研究堆,但对现有信息的分析能使人们比较清楚地确定许多国家正面临的问题的类型。在今后岁月里,不断充实该数据库,以获得更加清晰和更加准确的全貌,并使问题得到适当的解决是很重要的。迄今为止的数据分析可描绘出如下图像。

研究堆和试验堆使用的燃料类型和燃料组件的几何构型种类繁多。因此,除了需要不同类型的运输容器以及处理破损燃料的不同技术以外,还往往需要特别的贮存条件。

大多数研究堆燃料是以组件形式装运的。为此,在 RRSFDB 中,乏燃料数量是按组件数记录的,在这种情况下,燃料组件被定义为“反应堆正常运行或贮存期间可被移动的最小燃料单元”。在任何特定的设施中,通常贮存着类型或浓缩度不同的多种乏燃料。例如,在贮存设施中或许含有一种或多种来自堆芯换用 LEU 前的 HEU 燃料,以及一种或多种换用 LEU 后的 LEU 燃料。

总的说来,在至今已回答 RRSFDB 问卷调查表的设施中,贮存有 62 870 个乏燃料组件;另有 32 932 个组件贮存在标准堆芯中。在上述的 62 870 个组件中,46 394 个在工业化国家,16 476 个在发展中国家;22 686 个是

HEU,40 184 个是 LEU。

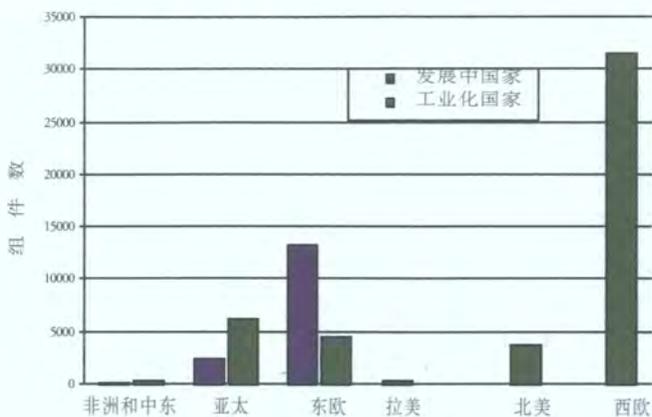
RRSFDB 中燃料类型在反应堆中的分布表明,相当大百分数(28%)的燃料列入“其他”类型。这突出地表明这一事实,在世界各地的研究堆中,有许多实验性的和奇特的燃料,这给这些燃料的贮存、运输和最终处置带来了许多问题。

按地区来分,大多数乏燃料组件贮存在工业化国家中。(见第 30 页图。)在考察 RRSFDB 中的乏燃料的浓缩度地时,与人们预料的一样,数据表明美国供应了北美地区的全部和亚太地区的大部分浓缩燃料;而俄罗斯(或前苏联)供应了东欧地区的大部分浓缩燃料。

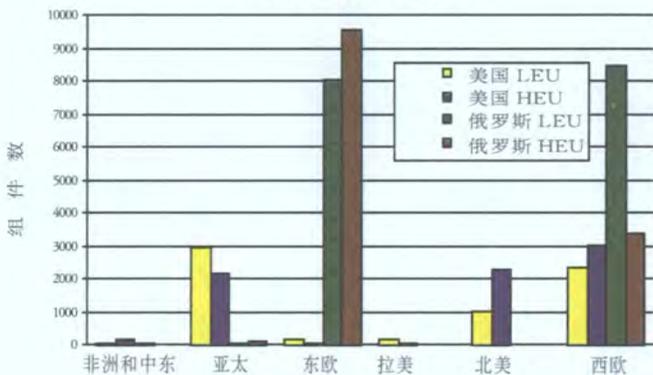
在美国和俄罗斯供应的燃料中,7756 个 HEU 组件和 6775 个 LEU 组件来自美国,13 035 个 HEU 组件和 16 620 个 LEU 组件来自俄罗斯。有趣的是,北美的 HEU 组件多于 LEU 组件,而西欧的情况则相反。(见第 30 页图。)这在一定程度上是因为西欧换用 LEU 的研究堆多于北美。值得一提的是,俄罗斯供应的大部分 HEU 燃料最初只浓缩到 36%,而美国供应的多数 HEU 燃料最初就浓缩到 90%以上。

还比较了收回计划可能涉及的外国研究堆中原产于

研究堆乏燃料在发展中国家和工业化国家的分布



按富集度分列的美国和俄罗斯供应的铀燃料的地区分布



美国和俄罗斯的 HEU 和 LEU 乏燃料组件数。目前,在外国研究堆中,原产于美国的乏燃料组件为 15 531 个,原产于俄罗斯的为 29 673 个。

如前所述,RRSFDB 只涉及世界上已知研究堆的有限数量;尽管如此,这些数据还是能使人们大体上看出研究堆燃料所存在的问题范围。以这些数据和每年使用的组件数目的粗略了解为基础进行的预测显示,今后 8 年里,问题的严重程度呈上升趋势。

贮存方法。迄今,贮存乏燃料的最常用形式是在堆水池、槽或坑。鉴于 RRSFDB 中的这些贮存设施的平均年龄为 25 年,因而水化学性质一直受到良好控制的湿法贮存取得了明显的成功。事实上,许多以铝做包壳的材料试验堆燃料和以铝做衬里的水池,即使在研究堆的水中泡了 30 多年局部腐蚀或普遍腐蚀的迹象即使有也极少。相反,当水质较差不能保持铝包壳的质量时,燃料就会受到严重的腐蚀。

数据还表明,许多设施

还建有辅助性的离堆水池或干井。在离堆设施中,新的趋势是把燃料从湿法贮存变为干法贮存,后者可以省去用于水处理设施及其维护的某些费用。

显然,干法贮存所需的监测和维护比湿法贮存的少,并且在大多数干法贮存设施中,运营者可以连续地监测乏燃料的放射性活度。不过,有些运营者正在认识到监测干法贮存设施内的湿度的重要性。

IAEA 的这项问卷调查还调查了研究堆运营者对其乏燃料管理计划有哪些担忧。果不其然,大多数运营者为其燃料的最终处置担忧。其次是对贮存能力有限和材料降质担忧。出人意外的是,与以前对 IAEA 的这种调查表的答复相比,人们现在对经费的关注少了。据推测,至少部分原因是由于美国制定了“收回”计划,该计划打算为拥有原产于美国的燃料的低收入国家支付研究堆乏燃料的处置费用。

寻找解决办法

IAEA 对研究堆场区乏燃料管理的分析得出的全球情况突出地表明,需要进一步加强国际合作以解决现存的问题和课题。这包括进一步了解人们所担忧的问题的范围和紧迫性。

同样明显的是,收回外

满 足 需 要

IAEA 正通过各种途径支持国家和全球与研究堆和试验堆场区的乏燃料管理有关的努力。机构除编制和维持研究堆及与其相关的乏燃料管理计划的数据库外,还一直积极支持美国的称作“降低研究堆和试验堆浓缩度”(RERTR)的计划,该计划是为核不扩散目标服务的。

此外,机构还以观察员身份参加了称为埃德洛集团的“特别”研究堆运营者小组召开的大多数会议,该集团曾成功地设法让源产于美国的外国研究堆的乏燃料返回美国。为此,IAEA 总干事曾于 1993 年 7 月致函美国能源部部长并于 1995 年 2 月致函俄罗斯联邦原子能部部长,建议 RERTR 计划的这两个主要伙伴如能收回外国研究堆的乏燃料定能推动 RERTR 计划的不扩散目标的实现。为了帮助美国的收回计划,尤其是为发展中成员国着想,机构组织了各种活动帮助其成员国为将其乏燃料运回原产国做准备。主要的活动包括 1997 年 1 月 13—24 日在美国阿贡国家实验室举办了一期培训班和编写了一份技术性指导意见《有关将研究堆乏燃料运回其原产国所需的技术和行政准备工作的细则文件》(草稿)。

最近开展的另一一些活动包括请一些国家专家和国际专家参与安全导则《研究

堆场区乏燃料贮存设施的设计、运行和安全分析报告》的编写工作,该文件已送去出版。1997 年,IAEA 还召开了一次技术委员会会议,以收集和评价关于管理从研究堆卸出的破损燃料的程序和技术的的信息,并召开了一次咨询组会议,以讨论从研究堆和试验堆卸出的实验性的和奇特的乏燃料的管理和贮存。此外,机构还通过 IFMAP(辐照燃料管理咨询计划)向乏燃料贮存设施的运营者提出建议,并通过 IAEA 的技术援助和合作计划向发展中成员国提供更实际的援助。

鉴于老化引起材料、设备和设施的降质这一问题日益引起许多运营者的关注,机构已在材料学领域组织了几次活动。其中比较突出是编写关于湿法贮存的核燃料和部件的耐久性的文件,该文件即将由机构出版。该文件载有有关研究堆中使用的铝包壳燃料的资料,这部分资料是作为关于辐照加剧乏燃料贮存设施中的材料的降质的协调研究项目(CRP)的一部分开发的。另一个 CRP 专门研究研究堆燃料包壳问题,并重点研究湿法贮存中的腐蚀的监测和控制。作为对这些计划的补充,还举办了一系列的地区性讲习班,内容涉及乏燃料的装卸、管理、贮存和为运输作准备的各个方面。

国研究堆燃料的计划如果得以实施,也不会无限期地持续下去的。在不太遥远的未来的某个时候(对使用美国供应的燃料的外国研究堆是 2006 年),研究堆运营者将不得不自己寻找乏燃料永久

处置办法。对于未实施核动力计划的国家来说,为从一两座研究堆卸出的少量的乏燃料建造地质处置库显然是不切合实际的。对这类国家而言,利用地区性研究堆燃料中间贮存设施并最终利

用地区性的或国际性的处置库可能是一种理想的解决办法。认真讨论地区性的或国际性的解决办法,并开始为收回计划已经结束又不能采用后处理方案的日子做出计划的时机已经成熟。 □