

进入下个世纪的核燃料循环

不断变化的全球形势

NOBORU OI 和 LOTHAR WEDEKIND

随着越来越多的国家面临着日益增长的能源需求和环境挑战,核能在生产安全清洁的电力方面所能起的作用受到更加密切的关注。与此同时,不断变化的条件影响着世界核动力工业的发展规划,并促使人们重新审查核技术的未来发展。

过去二十年中,关于核动力在技术上和商业上应如何发展的问题已经有了明显的变化。科学家和技术专家一度普遍认为闭式燃料循环是最佳选择。换句话说,燃料用过一次后从动力堆中卸出进行后处理,然后从中回收铀用作“快增殖”堆的燃料。接着这些堆还能生产更多的铀,它们可用作其他反应堆的燃料。核燃料循环这样闭合之后,有希望提供一种长期的和有竞争力的能源技术。

但条件已发生了变化,过去二十年中已经出现了一系列“新的现实问题”。这首先包括核能发电的增长速度比预计的慢得多。其次,目前

人们对快增殖堆的兴趣有限,这些堆的商业化进程也推迟了。第三,并没有象原先期望的那样广泛采用闭式核燃料循环,即使在采用它的地方,也只是部分地实现了闭式循环。这些新现实造成了民用核计划中的铀积累,并造成贮存库中的乏燃料存量不断增加。此外,由于冷战的结束,来自已拆解核弹头的铀不久会大量转到民用部门,这就会进一步加大铀的存量。

在全球范围内,各国正在共同努力解决由于这些不断变化的条件所产生的具体的政策和技术问题,并且更加明确地确定全球合作的领域。1997年6月举行的“国际核燃料循环和反应堆战略:适应新现实”学术会议,就是一个重要的论坛。来自40个国家和5个国际组织的300多位专家出席了这次学术会议。这次会议由IAEA与欧洲委员会(EC)、经济合作与发展组织核能机构(OECD/NEA)和铀协会

(UI)联合组织。(见第11页方框。)

本文重点介绍本次学术会议上研究的几个专题的部分内容。这些专题由该学术会议的六个工作组事先进行了深入的研究,每个小组都提出了结论,这些结论反映了国际上对影响下个世纪相当长一段时间内的核燃料循环发展的现状和趋势的共同认识。

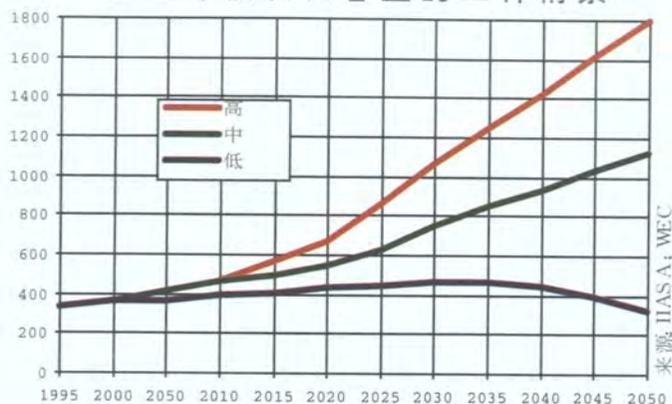
全球能源展望

由德国的 H. F. Wagner 先生任主席的工作组,研究了今后很长一段时间内的核能形势。其主要结论包括:

- 用于核动力堆的铀的供应量大将足以满足直至

Oi 先生是 IAEA 核能司的高级职员。他和该司的 Peter Jelinek-Fink 先生曾作为国际核燃料循环和反应堆战略学术会议科学秘书。Wedekind 先生是 IAEA 新闻处期刊和电子信息部主编。

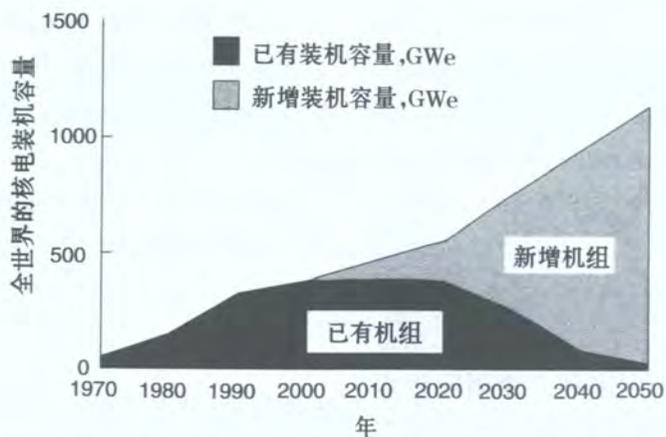
全世界核装机容量的三种情景



预测的 2050 年前累积天然铀需求量



按照 IASIA/WEC 的中间情景预测的核装机容量



2050 年的全世界核计划的需要。根据国际应用系统分析研究所 (IIASA) 和世界能源理事会 (WEC) 的研究成

果, 考虑了三种核能情景, 它们被看作是“有明显差别但还不算极端”的情景。(见图表。) 对预计的 1995—2000

年间天然铀的累积需求量与《铀资源、生产和需求》(一般称为“红皮书”) 中发表的铀资源量进行了比较。就中间情景而言, 工作组发现, 如果假设现有动力堆的平均运行寿期长达 40 年, 甚至 60 年, 那么 2050 年之后铀资源或许不足以满足反应堆的需求。因此, 更好地利用铀资源的途径和方法, 以及所采取步骤的可能影响, 都是十分重要的。

■ 许多技术措施为更好地利用铀资源提供了有希望的选择。这包括在反应堆运行期间增加核燃料的燃耗, 降低燃料浓缩过程贫化流中的尾料浓度以及回用铀。尾料浓度从 0.3% 降到 0.15% 大约可以节约全部铀资源的 25%, 而将所有铀在轻水堆中重新使用可以节约大约 17% 的铀资源。这两种选择从技术和工业角度看都是可以实现的。

■ 从全世界的角度长远地看, 在 2050 年之前或许就不得不考虑旨在效率更高地利用铀资源的战略和技术。

铀的管理

由法国的 A. Gloaguen 先生领导的第二工作组, 研究了铀管理的现状和近期前景。

铀的生产、贮存和使用

一直是国际上非常关注的课题,但在应采取何种政策方面国际上尚无共识。70年代后期,有40个国家和4个国际组织参加的“国际核燃料循环评价”(INFCE)计划,研究了各种燃料循环的不扩散问题。该项研究表明,可以而且应该在国家和全球两个层次上采取有效的措施并制定尽可能减少核武器扩散危险的协议,同时不要对能源的供应或和平利用核能的发展造成损害。

该工作组的主要结论包括:

- 就政策而言,从大约20年前INFCE计划启动以来,似乎没有发生多大的变化。自那时以来,决定实行后处理/回用计划的大多数国家一直没有改变它们的立场。欧洲已建立一个大规模的充满生机的回用工业,日本也正在发展这一工业。

- 已经具备有效管理闭式和开式核燃料循环和处置剩余军用钚的关键技术。此类技术中有许多已经付诸实施。

- 1996年底,分离的民用钚的存量已达到大约150吨,预计1999年底可增加到170吨,此后将会下降。2015年时将会降至150吨。如果开放钚的自由市场,钚的存量到2013年可能降至50吨。上述数字没有包括俄美

三种燃料循环方案的职业性集体剂量 (每400太瓦时),不包括放射性废物处置

	职业性受照量	主要来源
一次通过式燃料循环	153人·Sv	反应堆69%;采矿/水冶29%
混合氧化物(MOX) (在热堆中回用)	147人·Sv	反应堆72%;采矿/水冶26%
MOX-FR (在热堆和快堆中回用)	139人·Sv	反应堆76%;采矿/水冶22%

两国拥有的超出其国防需要并可能会进入民用部门的钚。

- 由于使用现代化的燃料制造厂生产混合氧化物燃料(MOX)和允许轻水堆燃烧MOX燃料,预计分离钚的存量将会减少。

- 可以在反应堆内和反应堆外进行中长期的乏燃料贮存。

- 为了给公众提供准确的信息并建立国与国之间的信任,在钚的管理方面采取国际上透明的措施是十分重要的。

燃料循环和反应堆战略

由加拿大的D. Meneley先生领导的工作组,研究了直至2050年的燃料循环和反应堆战略的大致框架。主要的结论包括:

- 目前这些堆型和设计的缓慢发展将成为核电机组商业市场上的主导趋势。得

出这个结论的依据是,投资高、监管要求严格和需要在较长的时期内保持较高实绩要求,会使核设备的多数买主采取非常保守的姿态。

- 核电的扩大取决于三个基本因素:政府和公众的兴趣,经济方面的竞争性,以及可能要求核能在使世界保持健康的环境方面起有益的作用。

- 在今后50年和可能更长的时间内,水堆将继续发挥重大作用。

- 对于在热堆中回用钚来说,可能的回用次数是有限的。多次的回用会产生降质的钚,因而使钚在热堆中的回用次数限于两三次。但这种降质的钚能用作快增殖堆的燃料。如果快堆或其他能有效地燃烧钚的装置不能实现,则此种乏燃料仍要在最终处置库中处置。

- 尽管可持续地生产核能的这个目标可以非常有效地借助快增殖堆实现,但它

们进入有竞争性的电力市场的时间也许要到 2030 年以后。预计那时快堆能在核电总装机容量中占有百分之二二的份额。

健康和环境影响

由法国的 J. Lochard 先生和瑞典的 B. Loewendahl 先生领导的第四工作组,研究了不同的核燃料循环方案对健康和环境的影响。主要的结论包括:

- 在正常运行时,就对人体健康和环境安全的影响而言,所考虑的几种核燃料循环方案之间没有明显的差别。(见第 9 页表。)

- 剩下的一个对所有这三种燃料循环来说是共同的问题是,发生或许会有明显的健康和环境后果的重大事故的可能性。防止这种事故要求保持高度的警惕性并不断改进安全性。

- 乏燃料或放射性废物的长期贮存和处置不会给健康带来特殊问题。只要不发生侵入处置场事件,个人受照量能保持在极低的水平。

- 就正常运行的影响来说,铀的毒性不是一个重要的因素。然而,对这个问题的确存在着许多误解,并常常被用作反对燃料循环,包括反对核燃料后处理的重要论据。

核不扩散和核保障问题

由日本的 H. Kurihara 先生领导的工作组,研究了与核燃料循环有关的核不扩散和核保障问题。其主要结论包括:

- 核不扩散体制正变得越来越有效。对该体制提出的附加要求必须由国际社会提供充足的基金。

- 核不扩散体制需要不断适应影响核电发展的“新现实”。两个很好的例子是:IAEA 加强核查体系的核保障发展计划;核查已转入民用部门的剩余军用核材料的倡议。

- 今后几十年摆在核不扩散体制面前的一个主要问题是,IAEA 将来参与核查剩余军用核材料的活动的范围,以及如何保证这种活动和对核保障体系提出的其他要求所需的资源。这将需要从技术上和制度上采取一些措施。

- 关于反应堆和燃料循环的选择以及民用核动力部门未来的技术发展问题,不论选用的是何种核技术,核不扩散体制理应有能力提供必要的担保不应束缚未来的选择。

国际合作

由美国的 M. Kratzer 先

生和俄罗斯的 I. Kouleshov 先生领导的第六工作组,研究了国际合作问题。其主要结论包括:

- 国际合作一直是核动力发展和应用中的一个关键因素和主要驱动力。这种合作最具特色的一个方面——核不扩散体制——已经成功地把核武器扩散限制在远低于人们曾经预料到的水平。

- 拥有国向其他国家提供用于和平目的的核材料、核设备和核技术,一直是国际合作中重要和给人印象非常深刻的成就之一。

- 现有的国际合作方面的安排和机制,一般说来足以满足目前和未来的需要。但在许多方面还希望有所改进,例如剩余军用铀的处置、快增殖堆的发展、地区性的燃料循环中心、国际性的铀贮存库,以及铀管理的透明度。

- IAEA 应当寻求合适的步骤来确保能交换有关事态的重要发展的基本信息和燃料循环的经济与计划方面的信息,这或许可以通过与其他国际机构的密切合作建立一个正规的信息交流机制来实现。

继续这种对话

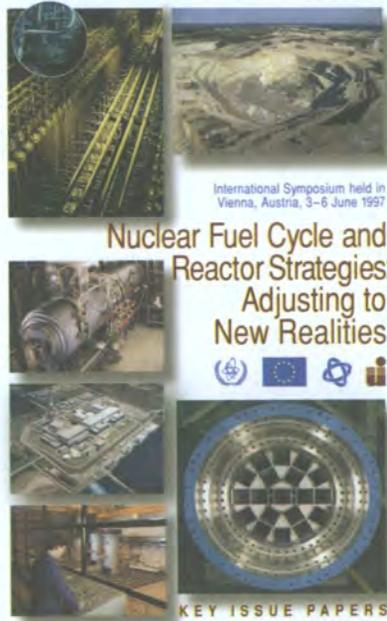
总而言之,本次学术会议对于研究利用核能的许多

国际核燃料循环学术会议概况

“国际核燃料循环和反应堆战略:适应 题(特别提到了钷的问题)的共同认识,这是新现实学术会议”对未来的能源、经济和技术发展趋势的各个方面进行了深入的讨论。

由来自 12 个 IAEA 成员国和两个国际组织的高级专家组成的指导小组,多年来一直领导着此次学术会议的组织工作。小组主席是美国的 M. Kratzer 先生。此外,由来自 12 个国家和经济合作与发展组织核能机构、欧洲委员会、国际能源机构和铀协会的 70 多位专家组成的六个

工作组分别编写了六篇主题论文。这 12 个国家是:阿根廷、加拿大、中国、法国、德国、印度、日本、俄罗斯、南非、瑞典、联合王国和美国。这些论文描述了国际上对 2050 年以前核燃料循环和反应堆战略方面的许多问



在会上仔细探讨了这些主题。

IAEA 最近以会议文集丛书的形式出版了本次学术会议的主题论文,1997 年 12 月又以技术文件(IAEA-TECDOC-990)的形式印发了口头宣读的论文。

这些专家们辛勤工作了两年所取得的成果。

总共有来自 44 个国家和 5 个国际组织的 300 多位专家出席了本次学术会议,日本提供了预算外的资金支持。除上述六篇主题论文外,会上还宣读了 24 篇特邀论文和张贴了 45 份宣传画报。本领域的著名专家和决策者也讲了话。与会者和由印度、大韩民国、日本、法国、德国、俄罗斯、联合王国和美国的专家组成的小组

国家所面临的新现实和新选择来说是一个非常有价值的论坛。会上发表的六篇主题论文总结了国际上对与燃料循环有关的各种问题的共同认识,包括技术、安全、核保障、环境和体制发展方面的问题。

鉴于目前面临的种种问题的重要性及核动力在世界电力供应方面已经和

可能发挥的作用,本次学术会议也提高了在全球这一级继续进行对话的兴趣。为此,IAEA 在 1998 年初建立了一个核燃料循环方案国际工作组。在该工作组将要研究的专题中,包括钷和废物管理的不同燃料循环战略的优缺点,这些战略对于未来的核能发展将起关键的作用。

总之,IAEA 有关核燃料循环的计划的不调整,必须考虑国际社会当前面临的现实,包括原先的核武器材料对安全和商业的影响。此外,必须使这些活动与促进核能的可靠性、安全性和经济可行性相适应,以帮助有关国家满足下个世纪相当长一段时间内的电力需求。 □