

核动力发展：全球挑战和战略

今日的全球能源供应模式不是可持续的，出于环境等原因
世界必将使用多种燃料

Victor M.
Mourogov

里约热内卢地球首脑会议之后 5 年，于 1997 年 6 月召开的联合国大会一次特别会议审议了为实现可持续发展的目标所取得的进展。可持续发展联系到环境保护，因而无疑也联系到能源的供应和利用。

随着工业化、经济的发展以及预计 21 世纪世界人口翻一番，全球能源消费必将继续增加。这种增长将主要由发展中国家的需求所驱动。它们现在拥有世界人口的 75%，而消费的能源只有世界生产的所有能源的 31%。节能和提高能源利用效率，会抑制但不会止住需求增长。世界能源委员会(WEC)预计，今后 50 年内世界任何地方的能源需求增长率都将达到 50%—300%，具体数字取决于当地环境 and 经济因素。

全球能源问题

鉴于预计的能源需求，今日的全球能源供应模式不是可持续的。国际上一致坚定地认为，必须控制对化石燃料的严重依

赖——化石燃料目前几乎占总能源供应量的 90%。它们的使用会释放温室气体及其他有害气体和有毒污染物，从而对大气产生不利影响。

尽管核动力不是没有问题，但因为它在促进实现可持续发展的目标方面有着明显优势而仍为人们所认可。就其从燃料生产到废物处置的整个能源链来说，核动力的温室气体和其他污染物的排放是有限的。核动力目前提供了全球能源的约 6%和全球电力供应的 17%。在 32 个国家中有近 480 台核电机组正在运行或正在建造。

尽管核动力有这样好的实绩，但关于核能的未来作用却尚无国际共识。有几个国家的政策是绝对反对核动力的。尽管有些国家无疑是积极的，但大多数国家充其量只能算是消极的。尽管核动力在欧洲和北美的发展已停滞，但它在亚洲却不断扩大。由于维持核电厂运行所必要的基础设施瓦解，那些大量依赖核电的东欧和前苏联国家，正经受严重困难。

未来将会出现一种能源的混合结构。这种混合结构的构成尚不能准确定义——它不仅取决于环境上的考虑，而且取决于技术、政策和市场因素。预计化石燃料在许多年内将继续是能源生产的主角。如果有充分的支持，新的可更新能源供应

Mourogov 先生是 IAEA 主管核能司的副总书记。

的比例将增加。WEC 预计,可更新能源在全球能源中的比例在今后 25 年内将达到 5%—8%。水电的比例可能仍保持在目前的 6%左右。

核动力的潜力

核工业面临的挑战是,确保核动力仍然是满足下个世纪能源需求的一个切实可行的方案。它除了可能是基本负荷以及大城市市内交通所需电力的主要提供者外,还可以在地区供热、加工工业、海洋运输、海水淡化、氢气生产等非电力应用以及边远地区的一些应用中起重要作用。它还可以为保障能源供应做出重大贡献,并有可能通过利用增殖堆成为一种几乎用之不竭的长期能源。

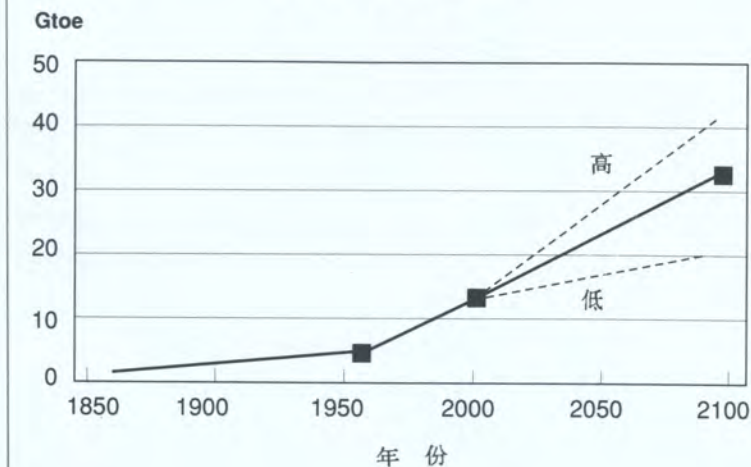
不过,由于目前缺少公众的支持,新的核电机组的引入无疑会受到限制。有必要公开讨论限制核电被接受的问题。但是,不要象经常做的那样,孤立地讨论健康和环境影响与严重事故和废物处置的关系。因为没有无风险的能源,所以必须广泛地研讨各种能源的比较性影响。对核能、化石燃料和可更新能源的能源链的研究表明,所有方案都存在一些固有的重大问题和影响。

若干权威性的比较性评估报告表明,核动力有减少与能源相关的健康和环境损害的能力——核动力可被证明是环境上最可接受的发电方案之一。如果将气候变化、环境损害和健康效应的社会代价等外部因素包括在所有分析中,就会看到核燃料比化石燃料有明显优势——核动力在发生根本性变化中的财政环境中的经济竞争性会逐渐上升。

本文重点介绍将决定今日和明日的最佳能源战略的关键因素;讨论利用铀的高潜在能量值的方法;讨论钚作为燃料在反应堆中的利用,因为钚是将来钍燃料循环的资源;还将提出增加核动力经济可行性的各种战略;论及进一步减少环境影响

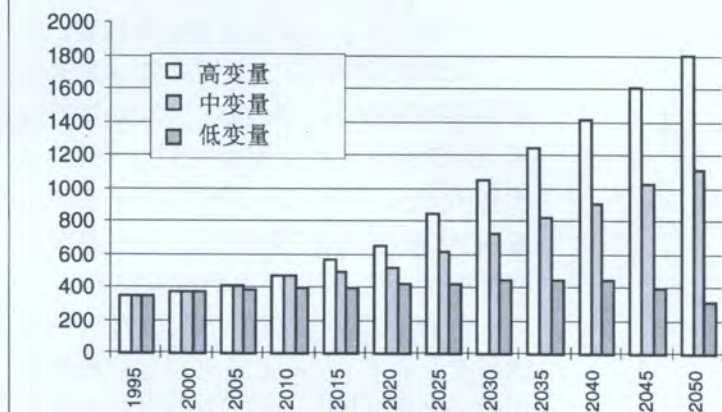
全球能源利用

吉吨石油当量(Gtoe)



世界核电装机容量

吉瓦电



和提高安全性的技术方法,因为它们公众接受核电时考虑的一类重要因素;还涵盖预计到下个世纪中叶核反应堆和燃料循环工艺技术方面的进展。

燃料循环和反应堆战略:关键因素概述

如果核动力的重大贡献将在下个世

纪中叶产生,那么届时将需要大量新增发电容量,平均每年将建造多达 20 台的新机组。为了给将来核电作用的增强创造最佳条件,现在就必须解决与所要求的燃料循环和反应堆类型相关的若干问题。

IAEA 最近的“核燃料循环和反应堆战略:适应新现实”学术会议(1997 年 6 月 2—6 日在奥地利维也纳召开)讨论了许多课题。其中包括由于核动力增长放慢和预计从拆除的核弹头中回收大量钚带来的若干课题。在一份主题论文中,专门讨论了未来的燃料循环和反应堆战略。

在竞争性和国际化日益加强的全球能源市场中,一些关键因素将不仅影响能源的选择,也将影响不同能源利用的程度和方式。这些因素包括:

- 已有资源的最佳利用;
- 总成本的降低;
- 将环境影响减至最小;
- 对安全性的令人信服的论证;和
- 满足国家的和全球的政策需要。

就核能而言,这 5 个因素将决定未来的燃料循环和反应堆战略。为优化这些因素,我们将按下述标题依次讨论它们:最大限度利用资源;最大限度取得经济利益;最大限度取得环境利益;最大限度提高反应堆安全;和满足关键政策需要。

尽管获得公众接受一直没有当作关键因素包括在内,但实际上它是核能发展中的一个重要因素。有必要公开地和如实地把核动力带来的实际好处告诉公众和决策者。公众越来越不愿接受新的大型工业设施,尤其是在发达国家。这种情况不仅影响整个能源部门的政策,而且影响所有电厂项目的实施。

最大限度利用资源。即使反应堆主要以乏燃料直接处置的一次通过循环运行,已知的和可能的铀资源也将能够保证中短期内有足够的核燃料供应。然而,由于铀需求增加和储量因满足增加的核装机容量需求而减少,因此出于经济考虑,人们将以利用每单位量矿石中铀的总潜

能含量的方式最佳使用铀。在浓缩工艺过程中和在运行阶段都有实现这一目的的多种方法。从较长期来看,在热中子堆中循环使用产生的可裂变材料和引入快中子增殖堆将是必要的。钍也可能是较长期内的一种宝贵的能源资源。

铀燃料循环。同位素分离工艺可以降低浓缩工艺废尾料中的铀-235 含量,从而可从主要由非可裂变铀-238 组成的、铀-235 占 0.7% 的天然铀矿石中提取更多的这种可裂变同位素。在运行阶段,较深的燃料燃耗循环将用掉更多含在浓缩铀燃料元件中的铀-235——同时减少了与所产生的能量相应的乏燃料量。

不过,后处理乏燃料代替处置可以使产生的钚通过混合氧化物燃料在热中子堆中及快中子增殖堆中循环使用,并获得含在乏燃料中的铀及其可裂变同位素。后处理会大大增加今天的铀资源的能源潜力——理论上增加约 69 倍——而且还显著地减少余留废物中棘手的长寿命放射性元素的数量。迄今,循环使用是利用已有铀资源的最佳方法。现行的最终处置前中间贮存乏燃料的政策,保存了将来进行后处理以提取可裂变材料(尤其是钚)的潜力。

钍燃料循环。尽管铀很可能依然是核动力系统利用的主要天然资源,但从较长远来看,利用可转换的钍作原料也是可能的。铀含有可裂变同位素,而钍不含。因此,要启动钍燃料循环就必须在钍燃料中添加可裂变铀-235 或钚。此后,在反应堆中从钍转换产生的铀-233 是可裂变的。钍燃料循环由于具有较低的运行燃料温度,在燃料元件的物理性能和堆芯物理的特性方面有许多优点。

在一些铀矿不多的国家,当地钍资源的存在使得钍燃料循环成为有吸引力的方案。若干国家已开发以钍为基础的燃料循环。这些国家中有美国、德国、印度、联合王国、日本和加拿大,前三个国家已成功示范了钍在动力堆中的使用。钍燃料

循环可以用于目前所有类型的系统中——轻、重水堆以及高温气冷堆和快堆——不需要在反应堆设计或安全概念上做重大变更。

不过,尽管已在世界各地找到不少有高品质矿石的钍矿床,但目前对世界钍资源范围的了解还比较缺乏。从矿石中提取钍是较为困难的过程,而且它的经济性尚未确定。从乏燃料中分离出产生的铀-233也有许多困难。但是余下的废物处理起来,比处理目前以铀为基础的燃料循环产生的未经后处理的废物容易得多。

最大限度取得经济利益。因为燃料费用相对很低,所以通过减少开发、选址、建造、运行和初始筹资费用来降低整体费用,对于核能的总的经济可行性是极为重要的。排除许可证审批要求方面(尤其是在调试以前)的不定因素和变化性,将使投资和财政战略更加可以预见。

开发费用。开发新设计的费用很高,这很可能导致以较低的费用渐进式改进今日的反应堆系统,而不是以较高费用引入革命性的新设计和技术。近几年政府开发资金已显著减少,而且如同所有成熟技术那样,资金来源将全部移向私有部门。

基建费用。要减少高的初始基建费用,就需要鼓励在选址和建造时采取节约措施。可以在已有场所的场址建多台机组,这样也可以充分利用基础设施投资。配备有法国成功地采用的标准化系统和部件的机组将越来越受重视。电厂规模和机组功率水平要与当地需求相适合,而且供应商的选择要基于长期的经济性而不是短期的好处。

运行。在运行方面,减少费用将需要高的可利用因子和负荷因子。这两者是由高质量系统、长的堆芯燃料循环周期、短的停堆时间和迅速恢复功率的能力决定的。要不断地发展向电厂和燃料循环提供各种服务的多种组织,尤其是地区性多种组织。

许可证审批。新设施的部分高基建费

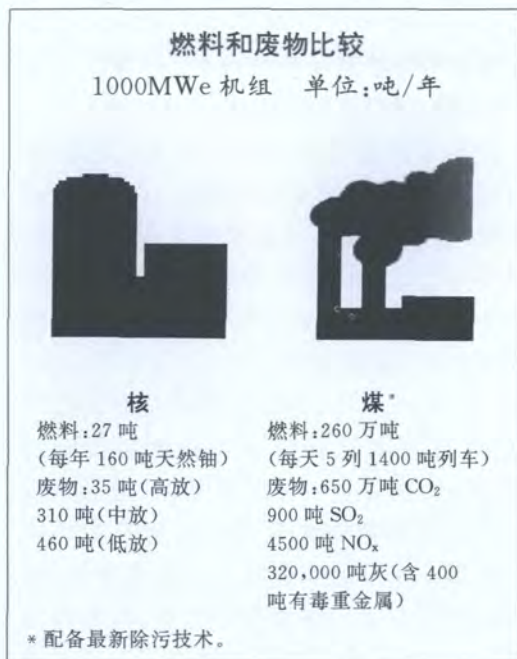
用和延长的建造周期与许可证审批要求方面的不定因素和要求有关。不确定的废物管理和退役要求及费用妨碍了投资。这些因素或许能导致许可证审批过程的合理化,从而使监管更加明确同时缩短从选址到运行的时间。根据其他工业实践的比较性分析结果确定的废物和退役要求,可能导致一个更切实可行又不损害安全的放射性物质管理方案。

筹资。为了适应不断发展变化的投资目标,需要制定有创造性的新的投资战略。在各国筹资安排的框架内,筹措核动力项目所需要的大笔初始基建投资可能更容易。在发展中国家可以采用建造、运行和移交方案。采用这种方案,可在移交所有权前充分收回非国内的投资。通过采用模块式能源系统而实施的递增投资战略,也会减少初始资金筹措需求。

最大限度取得环境利益。尽管在燃料消耗、污染物排放和废物产生方面,核能比目前的燃化石燃料系统有许多明显优势,但进一步减少环境担心可以对公众态度产生重大影响。

尽管核燃料循环的总的健康和环境影响很小,但是应注意改进技术以解决放射性废物问题。这将有助于全球可持续发展目标,同时增加与需要充分解决其废物问题的其他能源的竞争性。可以调整反应堆系统和燃料循环以便将废物产生量减至最少。将采用可减少废物量的设计要求和诸如超压实等减容技术。

正在开发包容和固定高放废物的先进技术。但是,最重要的是,目前已制定论证深层地下处置高放废物的充分性的计划。今后10年内,地质处置库的建造和运行可以消除公众对处置的安全性和费用的担心。必要时,可以在铀系元素反应堆内嬗变放射性长达万年的长寿命同位素(铀系元素)。这类堆及其相关化学分离厂所需的技术已经成熟。正如已指出的,钍燃料循环会使长寿命同位素产生得更少并使处置要求降低。



最大限度提高反应堆安全性。全世界现有 430 多座反应堆,平均运行了 20 多年,核动力总的来看有良好的安全记录。但是,1986 年发生的切尔诺贝利事故表明,非常严重的核事故有可能造成国家和地区的放射性污染。尽管安全和环境的影响正成为所有能源来源要解决的关键问题,但是公众中有很多人认为核动力本来就是非常不安全的。对安全问题的担忧加上有关的监管要求,在近期内将会继续对核动力的发展产生强烈影响。为了减少实际事故和已察觉到的事故的严重性,将在新设施中采用若干解决方法。

特别有效的屏障(如双层安全壳)将使产生重大厂外放射学事故后果的可能性降低到最低水平,以致不需要建立应急行动计划。增强反应堆压力容器和反应堆系统的完整性,也会减少产生厂内后果的可能性。

国际合作将提供吸纳了全球已认可的安全标准和工程标准的反应堆和系统设计。这将有助于确保世界范围的反应堆安全性,和鼓励把反应堆来源国的许可证

审批作为进口反应堆国家的许可证审批的可接受的依据。通过采用非能动安全设施而不是能动保护系统,机组设计和工艺具有更大的固有安全性。采用陶瓷石墨燃料的高温气冷堆可以限制放射性物质释放的可能性,也许是一个可行的方案。

通过旨在加强全球范围反应堆安全的国际协调努力,强有力的全球核安全文化得到不断发展。这将有助于公众了解国际社会为确保安全做出的承诺。在目前被人们明确认定的国际核安全制度中,已经有了范围广泛的国际协议、非约束性安全标准以及国际评审和咨询服务。这个制度的两个重要组成部分是 1996 年 10 月生效的《核安全公约》(缔约方最近已就该公约实施的审议过程达成一致意见);和预期将在今年外交会议上通过的《乏燃料管理的安全和放射性废物管理的安全联合公约》。

无疑,通过已有机组的安全运行和避免将来发生任何重大事故将使安全性得到最令人信服的证明。

满足关键政策需要。在国家 and 国际一级严重影响核选择的政策因素清单中,居前的除不扩散问题和过剩军用钚之外还有能源独立性。

在政治社会里,通过能源供应保障实现的能源独立性和平衡的能源结构是最高国家利益。有了核动力,对保障供应的担心就会减少,因为可用低的财政费用较容易地建立充分的战略储备。今日全球能源结构中,化石燃料几乎占 90%。显然,在缺乏当地化石燃料资源的地方,核能可对能源结构做出重大贡献,就象在法国、大韩民国和日本一样。

核材料和核技术被转用于核武器生产的可能性的确令人担心。国际社会已认识到扩散风险,并建立了用以防止可裂变材料转用的措施。其中包括《不扩散核武器条约》及与 IAEA 缔结的相关的保障协定以及若干其他的多边协定。为进一步减少扩散风险,正在设计防转用的反应堆和

燃料循环。它们将产生不适合武器用的可裂变材料。

在目前军用钚存量的处理方面,已为将其制成混合氧化物燃料并用于当前这代水堆提出若干建议。采用快中子增殖堆的战略也会减少目前乏燃料中存在的钚存量,并且从长远来看可最终消除其积累问题。

与核动力发展有关的 IAEA 计划的方向

从世界核能的目前状况考虑,国际社会有必要做出更大努力,以实现核技术的潜在好处。在涵盖正由成员国和不同国际组织或专门组织处理的所有能源问题的行动协调方面,机构将继续起催化剂作用。IAEA 的计划和活动将按下列标题分别加以说明:核动力、核燃料循环、废物管理技术和能源来源的比较性评估。

强调上述工作,源于加强了的全球承诺,即通过法律上的协议、安全标准和有关的专家服务(见方框。)提高核安全运行水平。1996 年 4 月莫斯科首脑会议的宣言重申,安全是核活动中的头等大事。此外,预期安全指标将继续提高。这将要求 IAEA 及其成员国不断努力和保持警惕,以确保适当的水平得到保持。

核动力。IAEA 在核动力方面的努力目标是核能对可持续发展的贡献,重点在于:

- 促进实现核动力安全发展所需要的设计和运行措施;
- 帮助发展中成员国规划和实施核动力计划及改进对核动力项目和运行机组的管理;
- 通过共享世界范围内各领域(包括人员培训和资格鉴定)的运行经验和信息,来提高核电机组的运行实绩和可靠性。

为赶上某一领域内的技术发展,IAEA 采用的一种机制是组建针对这一领

核安全全球体制

一些法律上有约束力的国际协议和公约已被通过,并涵盖一系列问题。这些问题包括:

- 核损害的民事责任
- 核材料的实物保护
- 核事故的及早通报
- 核事故或辐射应急情况下的援助
- 核安全
- 乏燃料管理的安全和放射性废物管理的安全

非约束性常用核及辐射安全标准包括:

- 辐射防护基本安全标准
- 安全基本原则
- 核安全标准计划
- 放射性物质安全运输条例
- 放射性废物安全标准
- 安全导则和实践

核动力领域的国际工作组

- 轻水冷却堆先进技术
- 重水冷却堆先进技术
- 快堆
- 高温气冷堆
- 核电厂机组的寿期管理
- 核电控制和仪器仪表
- 核电厂人员培训和资格鉴定
- 水堆燃料性能和技术

域的国际工作组(IWG)。(见方框。)它由不同成员国的一流专家组成。IWG 定期召开会议,审议所涉领域内的活动的目前状况和今后方向,并就满足成员国需求所需要的活动的计划向机构提出建议。

机构将通过关于先进堆技术的 IWG,鼓励有关非商业性技术和合作研究的信息的国际交流。IAEA 的另一个重要作用是帮助各国保存先进核动力系统方面的关键技术数据。机构还将继续为研究下列革新核能系统发展方面的信息提供场所:

- 有非能动安全设施的先进核反应堆;
- 钍燃料反应堆;

- 用铅或铅/铋冷却的快堆；
- 加速器驱动的和混合式聚变/裂变概念反应堆。

活动的一个新领域与目前需要研究针对海军和空间应用而开发的军用核技术的民用可能性有关。另外一个领域涉及海水淡化。1997年5月在大韩民国召开的国际核能海水淡化学术会议是一个重要活动,这次学术会议回顾了这方面所获得的经验,会议成果将用来更准确地确定IAEA在这一领域的工作。

核燃料循环。最近召开的IAEA核燃料循环学术会议上讨论的关键题目有:燃料循环发展的不同方案的比较性评估;乏燃料和铀管理;以及放射性废物处置。在动力堆和研究堆附近作中间贮存的乏燃料越来越多,不管选择哪种管理方案,乏燃料在不断老化的设施中的长期贮存都将成为日益严重的问题。确定老化中的乏燃料在环境、健康和安全方面的弱点和采取的补救措施是工作的重点。与交流该领域技术解决办法方面的信息、经验和建议有关的活动将得到扩大。

就源于乏燃料和拆卸的弹头的铀的管理而言,人们对国际上为解决与这类铀的生产、运输、贮存和处置有关的问题所采取的附加措施越来越感兴趣。

废物管理技术。与放射性废物管理有关的活动,将以下述方面为重点:

- 收集、评价和交流有关废物管理战略和技术的资料;
- 提供一般技术指导性意见,帮助进行技术传播,以及促进国际协作;
- 研究地区废物管理设施向发展中国家提供新的机会,使其以成本效益高的方式解决他们的废物管理问题的长期前景。

不同能源的比较性评估。IAEA的有关不同能源的比较性评估的计划将以下述三项工作为重点:

- 能源系统的经济、健康和环境问题的比较性评估,并将评估结果引入能源政策制定和电力系统扩大规划过程;

- 加强成员国在对能源部分做出决定的过程中纳入健康和环境考虑因素的能力;

- 为制定符合可持续发展目标的能源部分发展的最佳战略提供依据。

开发和推广用于从经济、健康和环境影响角度对各种能源进行比较性评估的数据库和成套方法,是一个关键因素。对于解决电力部门以外的能源供求问题也将给予考虑。

达到环境目标

世界的能源利用记录表明,坚持目前的对化石燃料的依赖不是可持续的。核能在减少能源利用的不利环境影响中可以起重要作用。随着核能作用的增加,到下个世纪中叶的主导反应堆类型将是经济性和安全系统已提高的轻水堆和重水堆。高温气冷堆可能只是在专门应用中起作用。钍燃料堆的作用可能不大,因为不大可能建立支持其利用的基础设施。将继续努力保持快中子增殖堆的潜力,它们可能在下个世纪中叶逐渐被引入。

为使核能在经济上更具竞争性,人们将不得不寻找新的筹资办法。此外,为获得公众的认可,有必要采取一些措施。废物管理政策和高放废物处置的充分性,将通过选择和使用地质上可接受的处置库来论证。为保持和提高核动力的安全和实绩记录,必须时刻注意通过设计提高安全性、贯彻有效的运行安全文化和履行国际安全协议。

为实现核能可能给世界可持续发展带来的好处,IAEA今后必须在协调成员国和其他国际组织的努力中起越来越重要的作用。IAEA计划的一个重要作用将是,加强地区性和国际性合作以及共用基础设施、分担开发费用和分享运行经验,以便使核技术能继续以安全、可靠和经济的方式发展。 □