

未来核设施的安全性综述

公众对核电站的信心是影响其发展的主要因素

Jeanne Anderer

最近，国际原子能机构（IAEA）和美国阿贡国家研究所（ANL）联合主办了一次有关核设施安全性的研讨会，从讨论情况可以明显地看出，大多数专家都预计今后二三十年内全世界会大规模地推广应用核电。对于这种谨慎而乐观的估计，专家们提出了一些理由。

许多人认为，由于科学家、政治家和公众不断呼吁关注矿物燃料的燃烧，以及气候变暖、同温层臭氧减少和酸雨对环境的威胁，已促使许多人再次考虑在哪些条件下可以把核能作为从环境角度看可持续发展的能源之一。另一些专家认为，对能源尤其对电力需求的迅速增长，以及社会各界日益认识到经济问题和生活方式都同每种重要的能源来源（包括节能）有关，都将逐渐引导人们选择包括核能在内的多种能源共存方案。

时机问题

就核动力界而言，他们已认识到核安全是一个国际性的问题，因而他们签订了涉及事故通报和紧急情况响应，以及为改善目前和今后几十年核动力的安全形象而进行广泛情报交流的一系列国际协议。

Anderer 先生是 IAEA 核安全处技术文书。本文综述了 1989 年 8 月 28 日至 31 日在美国芝加哥召开的“下一代（或几代）核设施安全性国际研讨会”的讨论情况。这次会议是由 IAEA 和美国政府通过阿贡国家研究所联合主办的。

核动力界也逐渐认识到，必须妥善地解决许多人对于与核技术广泛应用相连的辐射照射所带来的健康与环境影响的担心。

即使如此，核工业界面临的关键问题是，它能否抓住目前的时机使广大公众（重新）建立起对核技术的信任，把它看作是安全的、受到良好管理的和对人类与环境无害的技术。80 年代的困难任务是从技术上确保核动力设施的安全性，而 90 年代的任务将是说服社会各界接受核能，把它作为一种必不可少的能源来源。核工业界应如何对待这一新任务，是这次研讨会上讨论的中心议题。

定量地看核动力的必要性

由德意志联邦共和国科学家们制定的 1989 年“于利希 2030 年减少二氧化碳方案”，展望了核动力在未来全球能源体系中可能起到的作用的大小，这种全球能源体系将受到国际上推荐的二氧化碳减少指标的制约，并受到人口和经济增长压力的推动。尽管该方案的一些要点从当前来看被认为是不可能的，但它有意提出这样的问题：为什么说这种“不可能”是不可能的呢？为了达到减少二氧化碳这个目的，该方案设想应转向使用富氢矿物燃料、使用可再循环的生物燃料和非碳替代能源、使用核能，以及推广重要的节能措施。

该方案在结论中指出，要增加核能在发电方面以及高温工业供热方面对全球的贡献，如果用总装机容量来表示，到 2030 年，可能需要运行约 2000 座

1000 MW 级的核动力堆，这相当于把现有总装机容量增加 5 倍。如果有关非核 / 非碳一次能源供应的全部乐观设想都落空，那么核能的份额还必须增大。

如果核电装机容量按照这个方向扩大，那么其结果将给核燃料循环（例如增殖型堆和热堆之比、后处理能力及资源需求等）带来重要影响。由此可推算出，运行约 2000 座动力堆需要每年增加一座核废物处置设施，而且长期如此。在不用增殖型反应堆的情况下，到 2030 年，需要贮存的钚总量大约是 1000 吨。因此，安全保障程序将不得不重新予以评价。对其他能源需求方案——如延长到 2060 年——进行研究后得出的结论，基本上与上面所描述的今后几十年的核动力供应模式大同小异。

安全性考验

如果核动力的利用大幅度地扩大，那么全世界所有核燃料循环设施的安全水平都必须相应提高。一部分原因是核设施数量大量增加；另一部分原因是社会上希望所有核技术的风险都降低。与会者针对此次研讨会的主题，集中讨论了与核电生产有关的安全问题。

专家们的共同意见是，现有的核动力厂是安全的，尽管目前的核动力厂并不全都在所有细节上均符合 IAEA 国际核安全咨询组 (INSAG) 在其一份开拓性报告中 (编号为 INSAG-3) 提出的核动力厂安全基本原则。此外，比较普遍的共同意见是，根据上述应提高安全水平的论点，下一代 (或几代) 核动力厂应当做到在电力公司所有者、监管机构、政界人士和公众的眼里都是“在安全方面经过考验的”。至于安全性考验这一任务，则要求从技术水平和组织管理水平两方面采取协调一致的行动。

为便于讨论，人们往往把核动力厂方面的技术开发项目粗略地分为下面三类。虽然这种分类办法对讨论有利，但实际上要非常明确地加以区分，特别是区分为渐进型反应堆设计还是创新型反应堆设计，则是很困难的。

- 第一类包括目前这一代运行中的或建造中的核动力厂。这些核动力厂的特点是各种类型的动力堆都是大型的，人们经常利用运行中反应堆的多方面反馈经验提高它们的安全性和运行实绩。

- 第二类由渐进型反应堆组成，它们是目前反应堆设计的改进型，有可能在近期内搞成。这类反应堆

中既有压水堆又有沸水堆，一般是在原有反应堆的基础上通过降低功率密度、减小功率大小和简化设计等办法提高它们的安全裕度，以及一旦发生事故时通过重力和热对流之类的非能动安全系统把应急冷却剂打入堆芯和使安全壳得到冷却。这一类反应堆还包括目前正在一些国家 (例如法国、日本、苏联和联合王国) 中开发的已经过改进的液态金属快中子堆 (LMFR)。一般说来，这类渐进型反应堆依靠的都是一些成熟的部件和系统；

- 第三类由采用革命性或创新设计的先进反应堆组成。这些设计也许要经过较长时期的开发才有希望搞成。在此次研讨会上引起人们极大注意的反应堆设计概念中，有德意志联邦共和国、日本、美国和苏联正在开发的先进型模块式高温气冷堆 (MHTGR) 系统；瑞典的完全基于非能动安全系统原理的过程固有极度安全 (PIUS) 反应堆；以及美国正在开发的创新型中等功率固有安全动力堆模块 (PRISM)。这些先进反应堆设计概念多半是模块式设计，有利于反应堆工程和制造的简单化、经济性和适应需求方面的灵活性。当然，这些先进反应堆还没有经过试验和运行的考验，而且还要许多年才能搞出适用的安全分析方法、实验结果、法规和标准。尽管设计工作在继续进行并提出了另一些设计，但有一个问题是明摆着的，即原有的安全标准能否覆盖新设计的全部特点，或者是否需要制订更严格的标准来处理这些先进技术所产生的问题。根据 INSAG-3 报告有可能得出的一个结论是，在审管部门批准和电力公司采用之前，需要对新的反应堆设计进行原型堆试验。在实际工作中，这些创新型反应堆的支持者面临着一个难题，即设计部门目前就需要资金，但要在使投资者充分相信创新型反应堆设计能够满足严格的安全标准以前就想获得这笔资金，恐怕相当困难。

此次研讨会上特别强调纵深防御战略对于所有核动力厂实现国际安全目标的重要性。在讨论限制放射性向环境大量释放的安全指标和是否同时还需要采取场外紧急响应措施时，与会者特别探讨了如何保持安全壳完整性这个问题，因为这是防御设施中的最后一道屏障。有几个国家报告了在研制即使发生氢气爆燃、蒸汽爆炸或引起严重过压的其他事件时也能保持其功能的坚固安全壳系统方面的进展情况。这许多成就当然也都适用于增殖型反应堆。

与会者表示坚决支持用概率安全分析 (PSA) 寻找下一代 (或几代) 核电厂的安全问题，尤其是因为

在人的可靠性的评价方法和处理共因故障与外部事件的不确定性的基本方法方面有了改进。会上举了一个实例，说明把确定论的安全分析方法与概率论的安全分析方法结合起来使用后是如何促进欧洲快堆(EFR)这一新项目的设计一致性的，这种做法还能灵活地处理各国的不同安全要求。

在组织管理水平方面，如果未来核设施要达到更高的安全目标，那就要求设计者、制造者、运营者、维修人员、审管人员和其他直接或间接从事核动力厂安全工作的许多专业人员在“安全文明”方面承担更严格的义务。教育和培训被认为是对全体人员普及安全思想的关键，因此坚决主张制订战略性的培训规

划，这种规划的目的不仅要保持原有的技术水平和工作能力，而且还要满足已预见到的全世界对核动力厂合格人材的更高要求。

除了这些情况外，与会者认为，促使电力公司和审管部门接受下一代(或几代)核动力厂的最好策略，或许是全球统一追踪当前核动力厂安全、可靠和经济地运行的记录。不然的话，为了得到公众的认可，制订的策略很可能会超出这些准则的范围。

让公众建立信心

从讨论情况看，很明显，核工业界的不少人士对

IAEA / ANL 研讨会

1989年8月28日至31日，国际原子能机构(IAEA)和美国政府通过阿贡国家研究所(ANL)在美国芝加哥联合主办了一次有关下一代(或几代)核设施安全性的国际研讨会。200多位专业人员参加了会议，他们代表近20个目前已有或将有核动力计划的国家。

这是一次及时召开的检查基本安全概念和目标的国际讨论会，这些概念和目标将为未来可能大规模地推广应用核能奠定基础。有30名专家应邀作了报告，并举行了多次小组讨论会，探讨了以下一些问题：矿物燃料能源技术对环境的影响；未来对核电的需求；以及现有的和先进型核动力厂的各种安全问题等。此外，10件展品展示了一些国家正在从事的先进反应堆的设计概念和核动力厂安全方面的其他一些改进。美国国务院负责海洋、国际环境和科学事务局的助理国务卿 Frederick M. Bernthal 先生、美国核管理委员会委员 Kenneth C. Rogers 先生以及美国加利福尼亚州帕洛阿尔托电力研究所名誉所长 Chauncey Starr 先生在会上作了特邀讲话。

会议汇编将由 IAEA 出版。更详细的资料可向 IAEA 出版处索取。

法国超凤凰快增殖堆。



于妨碍与公众就核电的未来进行建设性对话的那些问题深有体会，也总想下决心解决这些问题。问题是不知道如何使疑虑越来越大的公众在利用核技术方面（重新）建立信任感。

核工业界的宣传活动常常是受电力公司控制的，而许多国家的这类电力公司既经营核电厂又经营燃煤电厂。因此许多单位总是采用相当微妙的方式告诉公众有关煤的燃烧和煤副产品的使用所造成的健康和环境危害。

核专家们使用的技术用语往往成了与公众沟通思想的障碍。诸如“固有安全”、“无人安全”和“明显安全”等用于描述核动力厂安全改进方面的许多术语，常常被许多不熟悉这些术语内涵的公众所误解。如果我们不加选择地使用这些术语，反而会使公众得出当前核动力厂的核安全性能不怎么样的印象，并指望获得一种“完全安全”或“零风险”的技术。事实上，就安全要求而言，不管怎么说，任何一个工业部门的技术都不可能是“完全安全”和“零风险”的。

专家们有时好心好意地用 PSA 的结果向公众提供安全信息，但结果往往适得其反。几位与会者基于他们在核电对话方面所取得的经验，认为公众想要了解的是在预防核事故和响应放射性紧急情况方面我们正在做些什么这类可靠而全面的信息，而不是数学上的不发生概率多大之类枯燥无味的陈述。事实是，三里岛和切尔诺贝利这样的恶性核事故曾被说成是不可能发生的而实际却发生了，所造成的环境影响和为了减轻事故后果而采取的措施连累到许多公众。许多与会者认为，对于公众关心的“怎样的安全才是充分的”这一问题，切实可行的答案将取决于有关的机构对于它们自己驾驭事故和减轻事故后果的能力是否抱有信心，而不是取决于从安全分析中导出的任何定量的保证。

为（重新）获得声誉和信任，核工业界还必须妥善地消除公众在核动力（尤其是核事故）的放射生物学和放射生态学影响方面的错误概念。事实上，应该设法使辐射环境的这种现实成为公众意识的一部分。

师，都缺乏把辐射看作生活中固有组成部分的一般知识，此类知识中包括照射方式和照射量的大小，规定的放射生物学风险限值，以及表面上看来似乎可不受限制地使用辐射产生实效等等。然而，自相矛盾的是，人们本来就生活在辐射环境中。更为荒谬的是，使人们所受到的平均辐射剂量微不足道的核电，成了众矢之的；而放射医学，这个照射量最大和用得越来越普遍的人造辐射照射源，却因人们认为它有用而毫无怨言地接受。人们对数量最大和最无法控制的照射量来源，例如土壤和住所中的天然放射性核素，却很少去想它。

会上提出一项建议，希望通过国际上协调一致的努力来加快有关辐射环境现实的对话进程。建议中提出了对话方面的 3 个补充目标，以便为个人和集体作出有关某种辐射实践的决策提供符合实情的依据。第一个目标是，低水平辐射应被视为一种严酷的事实。第二个目标是要帮助人们认识到低水平辐射对人类健康和环境的实际影响是如此微小，以致对个人和整个社会几乎没有什么影响。这样做也许要求人们承认，目前支配辐射安全决策的多花钱原则，对公众利益来说未必是最佳的。

第三个目标也是最关键的目标是，要解决核能和其他有生命力的替代能源对人类健康和环境影响的对比问题。这就需要证明正常运行中的核动力厂对环境是无害的，而其他替代能源则做不到这一点。具体地说，要解决许多人对核事故的过分担忧，应当对一次恶性事故的实际后果（无论是健康影响和环境污染，还是由此产生的撤离和搬迁要求）的可承受性问题进行解释。

对 IAEA 来说，它正在认真地考虑开展一项致力于辐射可接受性的新活动，这是一个在国际上至今尚未适当探讨过的领域。第一步应建立起由著名科学家和科学活动家组成的咨询小组，他们将公开而全面地解释与风险有关的统计数字和比较结果，并帮助制定切实可行的辐射安全原则。他们的工作可能有助于为召开辐射、保健与社会方面的大型国际会议奠定基础。第二步，这个小组应当（有点匆忙）在更全面和更有对比性地观察低水平辐射效应的基础上，重新评价过去和现在对切尔诺贝利事故采取的响应对策的适宜性，以便充分吸取教训。IAEA 提出的对核能与其他替代能源进行对比评价的一项新计划，旨在建立有关全球能源体系大循环所产生的人类健康和环境风险的可靠而有权威性的信息库。

提高人们的辐射文化水平

可以这样认为，许多人，甚至某些科学家和工程