

## 未来的核电机组：使安全目标协调一致

人们正在通过多种合作途径，审视未来核反应堆的技术特性

Leonid  
Kabanov

按 现行安全目标和安全原则设计和运行的当代核电机组，一般能够达到高的安全水平。虽然运行中的大多数核电机组有良好的安全记录，但核安全和核动力专家仍在认真讨论提高安全性的方法。

这种对完美的追求，是以几个因素为依据的。首先，任何一种工业活动随着时间的推移都有向更安全和更有成效发展的趋势。对于核工业，这意味着要通过从累积许多堆年的运行经验（包括已发生的事故）中汲取经验教训，不断提高核电机组的安全水平。另外，正在通过研究、试验和诸如概率安全评定（PSA）等其它分析，来找出安全问题。其次，人们希望将来核电机组数量增多之时，也要把核电给公众带来的风险保持在目前的低水平。第三，人们希望进一步减小任何潜在的大量厂外释放的可能性和放射学后果。通过最大限度地减轻对公众健康和安全的潜在影响，可减少对厂外防护措施的需要。最后，在有些国家，为提高安全水平作出的努力是公众接受新的或扩大的核动力计划的一个先决条件。

1992年，就安全问题向IAEA总干事提供咨询的国际核安全咨询组（INSAG），提出了一些可取的旨在提高未来核电机组安全性的想法和作法，其中包括经过改进的安全概念例如有关人为因素的安全概念和具

体设计细节。

在人为因素方面，根据这些想法和作法，设计应是对使用者要求不严的，要考虑到运行和维护程序，并要减少对操作员及早行动的依赖。这些想法和作法的实施，将使操作员有更充裕时间采取安全措施，和从而更好地保护环境免受任何可能的放射性释放的影响。

至于机组设计，根据这些想法和作法，它特别应该减小严重事故发生的概率并减轻其造成的后果，应该具备一些约束系统以适应严重事故期间发生的压力和温度变化，并应能充分保护电厂免受人为破坏和常规武装袭击的影响。此外，还应考虑以自然力（诸如对流和重力）为基础的非能动式安全装置，使安全功能较少依赖泵和阀门之类能动式系统和部件。

实际上，其中的若干想法和作法已被纳入建造中的或近期投入试运行的新式机组。其它一些想法和作法，预计将被纳入目前正在开发的新的设计中。

本文综述国际上为制订未来核电厂安全目标和安全原则正在做出的努力。这项工作的目的是，促成世界各国在安全方案上协调一致，并帮助确保世界各地的未来核反应堆都达到高的安全标准。

Leonid Kabanov 先生是 IAEA 核设施安全处工程安全科科长。

\* 参见 *The Safety of Nuclear Power*, INSAG-5, published by the IAEA (1992).

## 未来核电机组的类型

人们现在用许多不同的术语来称呼明天的核电机组,最常用的有:“下一代的”、“先进的”和“未来的”核电机组。这些在本文中可交替使用的术语,主要与时间有关,且一般是指那些符合正在为尚未运行或在建的核动力堆拟定的国家或国际安全目标和安全原则的核电机组。

开发中的先进设计堆包括如下三种基本类型:

- 利用水作为冷却剂和慢化剂的水冷堆;
- 利用液态金属(例如钠)作为冷却剂的快中子堆;和
- 利用气体(例如氦气)作冷却剂和石墨作慢化剂的气冷堆。

目前运行中的大多数(约 85%)核动力堆是水冷堆。已充分开发的大多数先进设计也是水冷堆。它们有两种基本类型:用普通水作慢化剂和冷却剂的轻水堆(LWR),和用氧化氘(D<sub>2</sub>O)的重水堆(HWR)。LWR 又分沸水堆(BWR)和压水堆(PWR)。有时称作渐进堆的先进轻水堆(ALWR),正在按两条路线发展:1300—1500 兆瓦电(MWe)规模的大型反应堆机组和 600 MWe 左右的中型堆机组。主要由加拿大原子能有限公司开发中的先进 HWR,同样可分为大型的(功率约为 900 MWe)和较小型的(功率约为 500 MWe)反应堆机组。

第一类的大型 ALWR 由许多设计组成,其中有些是由一些国家联合设计的。通常,这些大型机组与现有的一些机组类似,但采用若干与安全、控制等相关的先进装置,和在设计上作了一些修改使电厂更具有对严重事故的抵抗力。处在设计开发阶段和监管部门审查中的若干先进 PWR 和 BWR 的例子有:美国通用电气公司正在开发的 1300 MWe 的先进沸水堆(ABWR);美国 ABB 燃烧工程公司正在开发的 1300 MWe PWR,即系统 80+;以及法国和德国国际核动力公司正在开发的 1500 MWe 机组的欧洲压水堆(EPR)。美国核管理委员会(NRC)

于 1994 年发布了 ABWR 和系统 80+ 的最后安全评价报告和设计批准书。

第二类的 ALWR 是主要采用现代技术设计的机组,但为了充分利用非能动式安全装置,作了一些重大改进。其中一些 ALWR 已处在设计的后期阶段,可看作是具有代表性的例子。它们包括正在由美国西屋公司开发的 600 MWe 机组即先进的非能动式安全 PWR(AP-600);正在由美国通用电气公司开发的 600 MWe 机组即简化沸水堆(SBWR);和正在由俄罗斯原子能工程和压水堆公司开发的 640 MWe 机组即 WWER-640(V-407)。目前 NRC 正在审议 AP-600 和 SBWR 的设计说明书。WWER-640 处于俄罗斯监管机构国家原子监管局的许可证初步审批阶段。

从核电机组安全的角度看,这种开发的渐进过程已得到广泛认可。与此同时,人们正在讨论建造为防止严重事故在其设计原则上要作根本性修改的新一代革新核电机组的必要性。这样一些建议仍处在早期设计阶段,而且其开发面临着一些问题,特别是与试验和验证这些设计所需资金和技术有关的问题。

## 使安全目标协调一致

全球为协调未来核电机组的安全目标而作的努力,涉及许多国家和机构。除 IAEA 外,包括经济合作与发展组织核能机构(OECD/NEA)和欧洲委员会(EC)在内的一些政府间机构,也深深涉入到这项工作中。

IAEA 的任务之一是为所有的核活动制定核安全标准。在核动力领域,这些标准是在成员国帮助下制定的,是为沟通不同观点并取得共识而作的努力的一部分。商定的这些安全标准分成 4 个层次:最高层是安全基本原则,以下依次是安全标准(或 NUSS 法规)、安全导则和安全实施规程。

有关核安全研究的信息交流,经常在 OECD/NEA 的若干工作小组内进行。在 EC 内部,由安全主管部门、卖方和电力公司的

代表组成的反应堆安全工作组(RSWG),积极参与核电机组设计和运行适用的规则和实施细则领域内的信息交流。并积极促进这方面工作的协调。监管机构间也进行双边和多边交流,这种交流常常是在 IAEA、OECD/NEA 和 EC 的核监管者工作组(NRWG)的支持下进行的。

法国核防护和安全研究所(IPSN)和德国核反应堆安全研究所(GRS)在协调安全方案方面做了一件特别的工作,其中包括1993年发表GPR/PSK文件《有关未来压水堆共同安全方案的建议》。

核电公司中,许多运营者感兴趣的是确定他们对未来要定购的核电机组的需要和目标。为此目的,许多电力公司已在寻求国家和国际两级的合作途径。1985年,美国一些电力公司发起了一项行业范围内的活动,旨在确立ALWR设计的技术基础。这个ALWR计划现在由美国电力研究所(EPRI)管理,并包括一些国际电力公司的参与和赞助,以及与美国能源部(DOE)的密切合作。该计划的基础是一份陈述电力公司设计要求(UDR)的文件。在别处,一些电力公司也曾协同工作提出《欧洲电力公司要求》(EUR)。

UDR和EUR载明电力公司的要求,包括它们尤其是为促进新的反应堆设计被认可而确定的安全目标。例如,UDR完整地叙述了电力公司对下一代核电机组的希望,并特别对ALWR的安全政策作了说明。ALWR的安全政策以建立在纵深防御原则基础上的保证安全的一体化设计方案为特点。它含三个叠加的安全防护层次:事故抗御、堆芯损伤预防和事故减轻。最高等级的安全设计 requirements 是依据有关每个安全防护层次和ALWR的具体类型的安全政策中的说明制定的。

EUR是欧洲主要电力厂家和协会的产品。它着重于对欧洲要建造的未来LWR的共同要求。人们打算以此作为促使特别是主要安全目标和安全要求协调一致的手段。

亚洲、欧洲和北美的许多电力公司一直参加这两套要求的起草和审议工作。尽管这

些文件涵盖了对整座核电机组的总体要求,但文件中还是具体地论述了一些主要的安全目标和详尽的安全方案。这些努力也可被看成是对未来核电厂的安全方案和目标的全球协调一致的重要贡献。

## IAEA 的活动

1991年,IAEA大会通过的一项决议,使其在这方面的工作得到了推动。这项决议要求在INSAG等所做工作的基础上,就与未来核电机组的渐进设计相关的安全原则方面开展活动。

自那时起,机构已召开了一系列旨在就未来反应堆的安全定义、术语和分类达成共识的会议。这些会议找出一些可取的增强安全的方法,并列出一一些与新原则制定有关的课题。会议审议了一些INSAG安全报告,因其与未来核电机组适用的安全原则有关。会议指出了这些文件中需要阐明的部分和需要补充的部分。

1995年6月,机构在经INSAG审议和成员国提出意见后,出版了技术文件《未来核电机组设计适用安全原则的制定》(IAEA TECDOC-801)。该文件建议,修订现有的安全目标和安全原则,并认为它们可能成为制定为未来核电机组设计的安全目标和安全原则的基础。因此,预计该文件对反应堆设计人员、业主、运营人员、研究人员和监管人员是有用的。文件中的建议是为提供一般性指导而提出的。这些建议如果被谨慎地和恰当地采纳,将会使反应堆设计有超过目前运行中的反应堆的增强的安全特性。这些建议是从最近的运行经验、研究与开发、设计、试验和分析中得出的,也是为反映目前反应堆设计趋向例如采用新的技术而提出的。

这些建议有助于国际社会就未来反应堆设计所需的一套完整的技术原则应该包括的内容达成更多的共识。该文件的出发点是,载于IAEA 1988年出版的INSAG安全报告《核电机组基本安全原则》的一套成熟

的适用于核发电机组的目标和原则。按照该文件中的定义,安全目标指要达到的东西。安全原则是说明这些目标将如何达到。

当今核发电机组适用的安全目标和安全原则,在很大程度上也适用于未来的设计。然而,1995年的技术文件建议对技术安全目标做些修改并提出了一些新的原则。关键性的建议是,在未来反应堆的设计过程中,应对超过现有设计基准的严重事故作系统的考虑和明确的处理。

该文件还强调有必要进一步降低产生任何严重放射学后果的风险,并确保能够减小或甚至排除采取迅速的厂外预防性行动的潜在必要性。纵深防御仍然是对付未来核发电机组严重事故的主要战略,并且它是有效的预防措施和减轻后果的措施为基础的。

#### 需要更多合作的方面

为了协调与未来核发电机组有关的技术和政策问题,需要在若干方面做出更大的努力。尽管其中许多方面存在进行有希望的合作机会,但其余方面缺少这种机会。由于国家间在地理、文化、政策和管理方面存在很大差异,所以在一些目前缺少协调方案的方面很可能把这种状态保持许多年。其余一些方面,由于市场压力可能仍是灵活的。

总之,需要加大合作力度来解决重大的技术和政策差异问题。加强协调可能会改善未来核发电机组的安全性、降低其成本和提高其可利用率,并可能会改善许可证审批程序的连贯性和效率。这在公众认可方面也许还有间接的好处。全世界的安全专家、监管人员和电力公司营运单位若能在一套协调原则上达成技术一致,则可能增强这样的信心,即已就安全问题取得正确的结论。

在安全评价(包括严重事故评价)领域,存在加大协调力度的好机会。首先需要做的是使许多从事安全评价工作的组织之间,就更多的共同方案取得一致意见。需要进行协

调的合作努力的具体方面有:

- 概率安全分析(PSA)方法和 PSA 在安全决策过程中的作用,包括 PSA、确定论法和工程评价间的适当平衡;

- 用于选择需在未来核发电机组设计中解决的那些严重事故序列的方法和准则;

- 用于处理不确定因素的方法和准则,和要求分析所有严重事故考虑的政策的实际实施;

- 关于区分许可证审批过程中要分析的设计基准事故和设计中考考虑及监管部门也要考虑的严重事故的方法;

- 应考虑协调各国的许可证审批过程中的安全评价程序,包括技术文件要求;还应考虑一些协调步骤,使按另一个国家的法规和标准设计的反应堆的审批过程中种种特有的复杂手续变得简单;

- 改善事故放射学后果计算中所用多种源项评价方法和一致性的其它一些方法的一致性。

还应指出的是,各国处理外部危险的方法是极不相同的。由于外部危险的类型和程度因场址而异,因此协调未来核发电机组可用的处理办法似乎是困难的。鉴于在内部危险方面已达到较高安全水平使外部危险的相对影响变得更加重要,外部危险问题已成为一个日益重要的问题。

此外,还应该在高层次上确定一些安全目标。有了这些目标,人们才可从针对其他企业的有关公众健康和安全防护的更广泛的问题中得出核发电机组特有的安全指标,并将其与之相比较。IAEA 出版的技术文件《监管安全目标的确定和评价政策》(IAEA TECDOC-831)是沿此方向迈出的一步。它反映了 22 个成员国高级监管人员同行小组讨论的结果。

这项工作是机构为推动在未来核发电机组的安全目标、目的和原则方面进行广泛的国际讨论所作的不懈努力的一部分。这种讨论有助于确保各种不同意见得到充分考虑并通过在这个重要领域内更多的国际合作得到平衡。 □