

反应堆自身安全时代即将来临

要评价苏联切尔诺贝利反应堆事故的最后影响,尚为时过早。但一个积极的后果是因此而加强了对反应堆安全的重视,其效果比美国和西方核工程师呼吁十年的作用还大。

1979年美国三里岛核事故之后,反应堆安全问题已受到重视。

全世界目前运行的商业核反应堆多达12种类型。已知的反应堆中,一半以上是压水堆,美国压水堆占62%之多。

美国西屋公司是压水堆的主要制造商,已有三十年历史。三十年来,压水堆的安全性没有重大改进。最近西屋公司提出了改进型压水堆计划,对核技术产生了强烈影响。这项计划采用广泛模拟手段进行了研究,一项重大结果是决定把核动力操作中的控制系统和安全系统分开,前者涉及反应堆例行操作,后者则在遇到异常时启动。这两个系统相互关联而又独立工作。

这项计划的前任工程管理人乔治认为,目前的压水堆本质上是安全的,由最可能的事故造成的停堆几率不到 10^{-6} 。还可以将停堆几率降低到 10^{-8} 以下,但许多人认为这样做意义不大。

在经历了约三十五年的安全运行之后,压水堆目前是核市场上的佼佼者,因为它不仅运行安全,而且有效,新型反应堆难以与之竞争。

自三里岛事故以来的十年中,计算机取得了重大进展。拥有核电站的公用事业单位都建立了大型计算机网络,用以进行控制、报警、安全和负载管理。许多人认为,附加的计算机控制会以某种方式稍为提高反应堆的安全性。

伊利诺伊大学正在研制一种更广泛的计算机监控系统。研究人员认为,核事故的主要原因是人为错误和设备故障。操作人员无法适应核设备中甚至微小扰动引起的数据雪崩。解决办法是,用超级计算机处理数据,以快于实际发生的速度模拟出现的问题并预测后果。从原则上说,这会使操作人员在需要时予以干预或自动停堆。

在此期间,反应堆安全方面也出现了一些明显进展,这涉及到固有安全、利用新型燃料、建造和运行费用更为低廉的新堆型的设计。

在能源部赞助下,目前正在开发液体金属堆。这项计划的主要推动力是一体化快堆的概念。据阿贡国家实验室工程研究室副主任蒂尔说,一体化快堆的特点是采用液钠冷却、池型堆结构、新金属燃料和一体化燃料循环。设计的基本思想是用液钠作为反应堆冷却剂。采用钠冷却,可使主冷却系统在大气压下操作。钠的沸点约为 870°C 。在钠冷堆中,冷却剂入口温度一般为 343°C ,出口温度约为 510°C ,因而可提供 260°C 的温度

缓冲,并使温度范围保持在普通外壳材料的极限之内。在结构设计中加进了一个冷却剂池。冷却剂池可在较长时间内吸收反应堆热能,从而在大的热惯性中产生了固有的安全性。即使冷却剂诸泵全部损坏,池中的自然对流也足以将反应堆热能转移给冷却剂而不损坏堆芯。

长期以来,设计人员一直在努力开发新型金属燃料。金属燃料导热性好,可允许低温操作,同时可使反应堆在功率降低时仍保持稳定。这是另一个固有的安全条件。

另外,采用金属燃料,冶金制造过程比较简单。目前,一般的金属燃料可以设计得具有极好的辐射性能。例如,为阿贡实验增殖堆-II研制的新燃料每吨已产生140 000 000千瓦·日以上的热能。

正如阿贡国家实验室设想的,一体化快堆也包括其本身的燃料制造和后处理设施。如果在未来的商业设施中使用这种燃料循环,那么,只有在建造反应堆时才需要将放射性材料放入,而在反应堆退役时才需要将放射性废物取出。估计,若使用容量足够高的增殖堆,就不必再由外界添加燃料,从而可排除核燃料和核废物的长途运输,显著提高操作安全性。

蒂尔认为,一体化快堆至少有如下九个优点:燃料性能极好,金属燃料的燃率至少与普通氧化物燃料一样高,而其中子学优势远高于一般氧化物燃料;金属燃料易于制造;后处理技术比氧化物燃料的常规普鲁克斯流程简便,且成本低廉;使用金属燃料具有较大的固有安全性;其经济性与轻水堆相当,明显优于其它液体金属堆型;放射性废物数量很少,易于管理;无需再运输含钚燃料;燃料现场制造,被窃机会大大减少;非常适用于 10^6 千瓦以上的核电站,且因其组件化特征,也适于小型核电站,因而核电站可以分散配置,这是另一个固有安全因素。

对1 200 000~1 400 000千瓦一体化快堆进行的初步成本估算表明,初始投资约5700万美元。燃料循环可用钚或铀-235开始,铀-235比较理想,但比较昂贵。

洛克韦尔公司是一体化快堆的商业开发者之一,已建成一种改进型液钠冷却堆,功率350 000千瓦,可使用金属燃料,反应堆控制系统与安全系统分离,但还未设计成增殖运行。据称,这是通向未来需要的增殖堆的桥梁,实际上是第二代反应堆技术。另一个开发者是通用电气公司,已设计出135 000千瓦的反应堆,也采用液钠冷却,池型结构,并将能增殖足够的燃料供自身使用。

今年2月至4月初,阿贡国家实验室用实验增殖堆-II进行了一系列试验,试验清楚表明,事实上已开发出了固有安全的反应堆设计。据称,在4月3日,几小时之内,连续出现了两次潜在的严重事故状态,但都由装置自行关停,操作人员和通常的安全系统都没有采取任何行动。因此,专家认为,反应堆安全问题已有了重大改进,新一代反应堆即将投入商业应用。