

切尔诺贝利：核电工业的前景

CHERNOBYL: THE FUTURE OF NUCLEAR POWER INDUSTRY

哈罗德·M·埃格纽
托马斯·A·约翰斯顿

本文为本刊美方顾问编委施铨元教授推荐,原文载美国杂志
《Issues in Science and Technology》1986年秋季号。

切尔诺贝利事故,在世界范围内引起了对核电站的重新评价。对核电的批评者们重申了他们的观点:核技术有它固有的危险性。核电的支持者们承认:公众对反应堆安全的信念再次被动摇,如果核工业要继续存在下去,并且发挥其巨大潜力,那么必须恢复这一信念。

一些核电的支持者坚决主张:只有在现有的反应堆上增加新的安全系统,并对核电厂的操作人员加强培训和监督,才能确保反应堆的安全,恢复人们对反应堆安全的信念。本文中,核物理学家哈罗德·埃格纽和核工程师托马斯·约翰斯顿争辩道:增加安全系统的方法在过去可能是有效的,但是现在则要求在核技术方面有更根本的转变。他们主张建设具有先进技术又安全可靠的新一代的核电厂,诸如目前美国正在发展的模式高温气冷反应堆(Modular High Temperature Gas-Cooled Reactor, MHTGK)。这种反应堆的设计使在遇到意外事故时,无需人工操作或电传动系统就能自动关闭。

苏联切尔诺贝利核电厂事故详细过程及在这次事故中人员伤亡、重要投资和生产能力方面损失的总价值的估量,在一段时间里人们将无从得知。然而,切尔诺贝利事故在美国和全世界所引

起的对核电的争论,远远超过了1979年在美国三里岛核场地发生的事故。

这些争论可能对核电事业未来的发展产生深远的影响。关于三里岛事件的耸人听闻的报道给人们带来了不安,而切尔诺贝利电站的惨剧更进一步加深了这种忧虑。要恢复公众对核能安全的信念,要求在技术上有根本的变化,而不能简单地采取官僚主义的态度。

目前,在核能工作者内部,虽然在切尔诺贝利核反应堆和西方安全得多的商品核反应堆之间,技术和设计的差异受到充分的注意,仍准备探索新的途径,以达到比现有的更高的安全水平。

有两种发展更安全的反应堆的途径。一是在反应堆的设计、建造和操作方面作进一步的改进,这是三里岛事件以后所进行的。核安全分析中心和核动力操作研究所的创建,以及在现有反应堆上增加安全系统和控制装置,这些措施无疑地提高了核动力操作的专业化水平和安全。正在发展的先进商品轻水反应堆的设计还将得到进一步的改进。

正如美国核电站典型的安全记录所表明的,这些措施是卓有成效的。但是不能确定的是,这些措施是否能不断满足有关公众、股东和财政机

哈罗德·M·埃格纽 (Harold M. Agnevv) 美国通用原子技术公司总裁。

托马斯·A·约翰斯顿 (Thomas A. Johnston) 美国通用原子技术公司副总裁,主管动力堆开发工作。

构的要求;如果提出一个比较安全的可供选择的方案,是否能够被技术同行们所接受。

另一条途径是发展新一代的核电站,它由于其固有的特点而具有较高的安全水平,而且容易向公众说明并为他们所理解。一个实例就是当前在美国能源部支持下,正在发展中的“模式高温气冷反应堆(MHTGR)”,其他方案还有瑞典人设计的最终固有安全过程反应堆(Process Inherent

Ultimately Safe Reactor, PIUS) 和美国能源部倡议的两座小型液态金属反应堆(Liquid Metal Reactors, LMR)。遗憾的是,过去许多人并不热衷于支持这种技术上先进的和固有安全的系统。因为他们错误地认为,一旦承认这种改进系统的可能性,就意味着放弃对现有反应堆的巨额投资,或许要重新调整核工业。

在遇到意外事故时,模式高温气冷反应堆不用人工操作或电动系统的帮助就能自动停堆。MHTGR反应堆利用外包耐火材料的涂敷颗粒燃料,用氦气作冷却剂,用惰性固体石墨作减速剂和核芯结构材料。每个涂敷颗粒燃料是由包有多层热解碳的细颗粒碳氧化铀和用作隔离层和保存裂变产物的压力容器的碳化硅组成。当温度超过在最严重事故中能达到的温度时,耐火外层仍很稳定。涂敷颗粒粘合在一起,形成手指般大的燃料单元,密封在大块的石墨中。

由燃料单元块、反射层块和支撑物组成的石墨堆芯是一个很大的团块,它的热惰性可防止整个系统的温度迅速升高。石墨实际上达到最高强度是在温度 4500°F 时,这一温度超过了最严重事故所能达到的温度。MHTGR反应堆所用的氦气冷却剂是惰性气体,与石墨涂敷颗粒燃料或系统的任何部件都不会起化学反应。正因为燃料四周没有金属包层,也就是说,不可能有金属熔化和水起化学反应,形成可能爆炸的氢混合物,象切尔诺贝利和三里岛所发生的那样。

为了达到安全的目的,MHTGR反应堆的工程设计有三个关键的特点:一是,堆芯中的铀燃料、钍和石墨的比例是平衡的,这样反应堆就有一个很大的负温度系数。这意味着,一旦反应堆的温度上升到明显超过正常运行标准,核反应堆无须控制系统的干预就会自动停堆。

二是,堆芯的额定功率限制在不超过350兆瓦(热)的范围内(相当于产生大约150兆瓦的电力),大约相当于当前最大的商品反应堆的 $1/8$ 。这种小反应堆将一次事故中要处理的热量减到最小的限度。同时,堆芯环形的几何形状使得表面积和体积的比值最佳,形成了从堆芯到钢安全壳之间的自然传导和辐射通道。一旦发生事故,无须使

用压力泵即可使足够的热量从堆芯释放出来,以维持堆芯的温度低于可能使涂敷颗粒燃料失去其完整性的温度。

三是反应堆容器安置在地下的一个封闭的地坑里,能确保反应堆的安全,即使所有正常冷却系统失效,整个系统由于地震而变形,地球本身还可以作为最后的热沉渠道使热量散发出去。这种地下设施还有一个优点:即使反应堆容器出现大量的孔隙,所有的氦气冷却剂外溢,致使炙热的石墨暴露在空气里,也会由于设施中的空气有限而将火限制在封闭地坑内。由于这种外包耐火材料的颗粒燃料独特的高温特性,在意外事故发生时,不会有明显的裂变产物释放出来。

这样,通过结合利用各种材料的固有特性、设计技术和科学的物理原则,MHTGR能确保安全。在最坏的情况下,事故中堆芯内部产生的热量可通过传导、辐射和自然对流释放到周围的土壤中,而不会有放射性物质释放出来危害人类健康,或迫使电厂周围的居民迁移。仅这一因素即可简化了核发电厂选址的工作。

这种固有安全反应堆的基本技术,在美国和联邦德国已被验证。当务之急是,政府部门和私营企业联合将这些基本技术应用于一个试验型核电厂,以此向所有对此感兴趣的赞助者、核管理人员、财政部门、公共事业,当然,首当其冲的是向社会公众表明它的固有安全性。要允许工厂直接生产较小型的电厂组件,然后移交给核电厂。因此,核管理委员会的设计鉴定要使整个组件能按预定的计划交付,而没有官僚主义的拖延。

显然,由于未来的几十年中世界范围的对电能的迫切需求,而矿物燃料储量日趋下降,再加上人们对环境(从酸雨到大气中二氧化碳含量达到有害于人类健康的水平)的忧虑与日俱增,这都意味着对核能的依赖越来越明显。发展中国家将需要固有安全的核电设备,因为现有反应堆的操作需要有娴熟的技术,而他们获得这种技术的能力却是有限的。较小型的核电系统备受发展中国家的重视,因为他们使用不了大型核电系统产生的大量电能。因此向发展中国家出口150兆瓦的发电设备的固有安全反应堆为上策。

近年来,美、苏合作在核聚变领域里进行着积极的卓有成效的研究计划。鉴于切尔诺贝利的悲剧,更加有理由认为,联合发展第二代核电系统在政治、社会和经济诸方面都有优越性。

切尔诺贝利发电厂事故这样的大悲剧,使世界核电国家重新客观地检查现有的核电系统,以便在将来引进固有安全的核电系统。

(肖庆山译,张士贯校)