

高温气冷堆—气体涡轮机——新型电力系统

自从美国三里岛核电站 1979 年发生核泄漏事故和前苏联切尔诺贝利核电站 1986 年 4 月发生大爆炸事故后,核反应堆的安全成了公众十分关心的问题,许多人因此反对再建立核电厂。这对主张发展核电的设计人员提出了严峻的挑战。

为了确保核电站的安全,核电设计人员提出了各种安全方案。其中之一就是避免用水作冷却剂,而以往苏联的压水堆和美国的沸水堆都是用水作冷却剂。

对切尔诺贝利核电站事故的调查表明,发生事故的原因除工作人员违反操作规程外,反应堆的设计不合理也是原因之一。

为此,美国加利福尼亚圣地亚哥通用原子公司提出了一种新型核反应堆发电系统。它改用惰性气体氦作冷却剂,并用氦气作推动涡轮发动机的工作流体,取代水蒸汽驱动涡轮机发电。同时改进了核燃料包壳材料,使其具有大的负温度系数。据该公司称,由于氦冷核反应堆是用外包多层耐火材料的颗粒状核燃料,并用石墨作减速剂和核芯结构材料,再用惰性气体作冷却剂,因此在核反应过程中,冷却剂不会和反应堆的任何部件起化学反应(而水蒸汽则有氧化和腐蚀作用),从而增加了安全可靠。切尔诺贝利的核燃料包层是用金属壳,因此当出现高温、有熔化的金属时就和水起化学反应形成可能爆炸的氢气。据调查,切尔诺贝利和三里岛核电站发生的事故,都和核燃料包层金属熔化和冷却水起化学反应有关。

1. 高温气冷堆—气体涡轮机——新型发电系统的工作原理

整个发电系统由两个互连的压力容器组成,两个容器都安装在埋于地下的封闭式混凝土外壳内,其中大的容器是核反应堆,较小的容器是动力转换系统,内装涡轮发电机、两个压缩机和三个换热器(见封底上图)。

在核反应堆和动力转换系统之间,由氦气充当传递能量的工作流体。核反应堆裂变产生的能量将其周围的氦气加热到 849℃(1562°F),然后通过管道到达第二个容器的涡轮机入口,驱使涡轮机旋转,涡轮机带动发电机发电并驱动压缩机,使氦气通过热交换器后再返回到核反应堆容器内(见封底流程示意图)。

热交换器的作用是将涡轮出口排出的氦气余热(涡轮出口的温度为 513℃)再返回到核反应堆内重新利用,从而使热效率达到 95%,并使热—电转换效率达到 34~48%。在不是用氦气作工作流体的压水反应堆中,发电效率最高不超过 40%。

新型发电系统因不用水蒸汽作工作流体,不仅提高了反应堆的安全性,也大大简化了发电系统的结构。它取消了常规压水或沸水反应堆发电系统的二级冷却回路,使整个系统及其配置大大减少,从而大大降低了系统的复杂性和建造成本,最终使发电成本降低(见封 3 图)。

2. 核燃料的特点

在该发电系统中,核燃料采用了外面包有多层耐热材料的颗粒状碳氧化铀,包层由外至里依次是热解石墨—碳化硅陶瓷—热解石墨—多孔碳缓冲层,中心才是碳氧化铀核燃料。将颗粒状的包覆耐热材料的核燃料作成燃料棒后,再插入到石墨元件中(见封 3 图)。

这种结构的特点是铀燃料和石墨的比例是平衡的,因此有很大的负温度系数。这意味着一旦反应堆的温度上升到明显超过正常运行的标准温度时,反应堆受核燃料和石墨组合的负温度系数的制约,将自行关闭,即无须控制系统的干预就会自动停堆,保证了反应堆的安全。封 3 上有反应堆出现高功率脉冲(比常规功率高 4 000 倍)时拍摄到的图片。由于反应堆立即出现非常大的负温度系数,反应堆自动关闭而安然无恙。而切尔诺贝利核电站的反应堆是具有正温度系数的反应堆。因此当操作人员失误造成温度突然上升时,只会加剧裂变反应而引起核泄漏。

大家知道,裂变产物的衰变会产生衰变热,这是所有反应堆中都存在的现象。在切断电源时,加热也不会停止。因此反应堆有负温度系数是好现象,但这仍然不够绝对安全。例如,在三里岛核反应堆中,甚至在裂变反应完全停止后,衰变热也引起了反应堆燃料的熔化。而高温气冷反应堆的衰变热即使在冷却剂流失的情况下也不会引起核燃料熔化。这是因为这种反应堆设计的低功率密度和特殊的几何形状保证衰变热会通过传导和辐射方式散失。

3. 大型气体涡轮机(见封 3 图)

该发电系统的气体涡轮机借用了现代化喷气发动机的技术。但对温度、应力和叶片端部温度的要求比航空发动机中的涡轮机要低得多。因此,为达到最经济又可靠的目的,一些组件作了降低成本的补充设计工作。

4. 换热器(见封 3 图)

该发电系统采用的换热器是散热片式的换热器,其特点是体积小、效率高,使热效率接近 50%,而常规核反应堆中的换热器热效率只有 32%左右。

(本刊记者 刘先曙)

(上接第 55 页)

主要参考文献

- [1]《生物多样性研究的原理和方法》,P1~35,中国科学院生物多样性委员会编,中国科学技术出版社,1994
- [2]林家彬:“环境伦理学——关于环境与发展问题的新思维”,《科技导报》,1994. 10,P51~52。

- [3]蓝盛芳:“试论生物多样性协同进化论与达尔文主义进化论”,“生物多样性研究进展”,首届全国生物多样性保护和持续利用研讨会论文摘要汇编,1994. 9 (内部印刷)

(责任编辑 王宏章)