

秦山核电站

Qingshan Nuclear Power Station

欧阳予

(秦山核电站总设计师, 学部委员)

秦山核电站是我国第一座自行设计、自行建造的核电站, 名义电功率为300兆瓦, 反应堆为压水堆型。

1974年3月, 中央专门委员会审查批准了核电站的原则方案, 经过8年的研究设计、试验攻关、设备和核燃料研制, 证明了工程方案切实可行。1982年国家计划委员会批准了可行性报告, 秦山核电站作为国家重点建设项目正式列入国家计划。1983年6月开始土石方开挖, 1985年3月反应堆主厂房正式开工, 1991年12月15日秦山核电站全部建成, 并网发电, 进入试运行。

秦山核电站位于浙江省海盐县城东南11公里处, 东北面临杭州湾, 南靠秦山, 距上海市公路126公里, 距杭州市92公里。主厂房所在地原为低山和丘陵, 开挖平整后, 把反应堆厂房、核燃料厂房、主控制室厂房、汽轮发电机厂房等主要生产厂房布置在岩石地基上, 地基稳定, 无沉降之虞。在主厂房西北部原为一片滩地, 在滩地沿海边修筑了一条高9.7米、长1780米的海堤, 围得56.6万平方米的场地, 用以布置其他辅助建筑, 如废物处理间、水泵房、水处理间、供气、供汽、冷冻站、修配车间等。厂址交通方便, 水源充足; 靠近华东电网, 联接电网较易。

基本原理

核电站的核心装置是核反应堆。装载于反应堆芯部的重元素铀(或钚)的原子核在中子轰击下裂变, 产生核能。铀含有两种同位素, 绝大部分为不易裂变的铀-238, 小部分为容易裂变的铀-235(在水堆内约占3%左右)。铀-235的原子核在受到中子轰击后, 分裂为两个较小的原子核(称为

裂变碎片), 同时产生下列效应:

1. 释放能量。裂变碎片带有巨大动能, 在核燃料内高速运动, 与周围物质撞击、摩擦, 使动能转化为热能放出, 这就是被用来发电的能源。

2. 放出中子。每个原子核裂变时放出2~3个中子。其中至少有一个中子又撞击另外的铀原子核, 又引起新的裂变, 使反应持续下去, 形成链式反应, 持续释放能量。其他的中子, 有的被铀-238吸收, 使铀-238变成新的核燃料钚-239, 有的则被反应堆结构材料或冷却水吸收, 有的则向反应堆外离散, 损失掉了。在同一瞬间内, 撞击原子核的中子越多, 核裂变次数就越多, 放出的能量就越大, 也即反应堆功率水平越高。控制中子流密度的大小, 就能控制反应堆的功率水平。

3. 放出放射性射线 α 、 β 、 γ 。原子核在裂变瞬间同时放出强烈的放射性射线。另外, 反应堆结构材料和流经堆芯的冷却水及其中的杂质, 由于受中子照射也产生感生放射性。核安全的任务, 主要就是屏蔽放射性射线和中子流, 封闭放射性物质, 防止其往环境扩散, 做到不污染国土, 不危害人民。

核电站的燃料运输量很小, 特别适合建在缺煤少油, 而需要靠外地运送燃料的地区。1公斤核燃料铀产生的热量相当于2700吨标准煤产生的热量。秦山核电站每年至多只需要14吨核燃料, 而一座同等功率的火力电站则至少需要100万吨煤。

核动力装置

秦山核电站的动力装置是由压水型反应堆、一回路系统、二回路系统三个主要部分组成的能量转换体系, 实现着核能→热能→机械能→电能

的能量转换过程。反应堆芯部的裂变核能,以热能的形式释放出来,被流经堆芯的一回路高压(15.2兆帕)冷却水带出(这就是压水堆名称的由来)。冷却水是由主泵唧送而流入反应堆的,水在堆芯中吸热,温度升高后流出,进入蒸汽发生器;在流经蒸汽发生器的传热管时,把热量传给管外的二回路水,温度随之降低。水从蒸汽发生器流出后,又流回主泵,经主泵驱动,再次进入反应堆。

处于蒸汽发生器传热管外(壳侧)的二回路水,压力较低(5.54兆帕),在吸收了从一回路水经过传热管传来的热量以后,便蒸发成饱和蒸汽。蒸汽流进汽轮机,驱动汽轮机做功,从而带动发电机发电。做功后的乏蒸汽离开汽轮机进入冷凝器,被循环水冷却,凝成冷凝水,再经过净化、加热、除氧,由给水泵打回蒸汽发生器,如此反复循环,构成二回路。

1. 反应堆

反应堆本体包容于一个耐高压的,由高强度合金钢制成的容器内。这个容器称为压力壳。在压力壳内,用不锈钢构件支承,安置着121个燃料组件,组成堆芯。首次装入堆芯的燃料组件有三种不同的铀-235浓度:2.4%、2.67%和3%。每个燃料组件又由204根细长的燃料棒按15根×15根排列成截面为正方形的拼形体件。燃料棒的包壳是外径为10毫米、壁厚为0.7毫米的锆合金细管,内盛高度为10毫米的二氧化铀燃料锭块290个。整个堆芯共有燃料棒24 684根。在每个燃料组件里,还有20根控制导向管和一根中子测量管。在导向管中可插入控制棒。控制棒由银—铟—镉合金制成,具有很强的吸收中子的能力。利用控制棒的插入或拽出控制反应堆功率的高低。控制棒的抽插运动,是靠用电磁力提升的驱动机构来实现的,它们安装在压力壳顶盖上,共有37束。当电磁力驱动机构断电时,控制棒靠重力全部落入堆芯,核反应立即停止运行。所以,控制棒系统是很重要的安全机构。此外,反应堆的控制,还利用在一回路水中溶解硼酸来实现。硼也是吸收中子很强的元素,增大或减少一回路水中的硼浓度,也能控制反应堆功率的高低,或实现停堆。

一回路冷却水由反应堆进水管流进,先从外围往下流,然后自下而上流经堆芯,吸热升温后,再从出水管流出。流经堆芯的水,除了带走热量外,还同时对中子起慢化作用。

组成反应堆的设备和部件处于高温、高压和强辐照条件下,必须确保其在运行苛刻条件下结构的完整性和稳定性,严加密封,防止泄漏;还要求能承受含硼水的冲刷,具有良好的抗腐蚀性能。反应堆的结构和材料不仅要有较高的强度,还应有良好的塑性、韧性,而且在中子和 γ 射线的辐照下

也不易变脆,以防止脆性断裂。这些材料还应尽力减少吸收中子和放射性强的杂质。这些设备和部件还必须满足抗地震、抗振动、抗热冲击、抗疲劳断裂等一系列要求;其精度既要保证控制棒能抽插自如,也要保证传热,有些部件还必须设计成为永不检修也能可靠工作的型式。

2. 一回路系统

一回路主系统由两个并联的环路组成。每个环路各有一台蒸汽发生器和一台冷却水主泵,用不锈钢主管道与反应堆连接,组成密闭回路。

蒸汽发生器为直立式,内装有近3 000根倒U形传热管,一回路水在管内,二回路水在管外腔室中。在蒸汽发生器上部设有三级汽水分离器。当二回路水被一回路水加热而蒸发成蒸汽时,还含有大量水份,汽水分离器的作用就是把流经它的水蒸汽中的水分离出来,以保证蒸汽在蒸汽发生器出口处的含水量不超过0.25%。

主泵为直立式、单级、单速、混流式轴封泵。为了防止一回路放射性水沿泵的转轴向外泄漏,轴封必须十分严密。为此,除了设置由三道机械密封组成的密封组件外,还另外引进一股高压的无放射性轴封水,这股水的压力比一回路水的压力还高,这样,清洁的轴封水往泵里流,就阻止了放射性水由泵里往外泄漏。

在一回路的一条环路上,还装设有一台稳压器,用以稳定一回路压力于15.19兆帕。若压力过高,易导致设备管道破损,威胁安全。若压力过低,一回路水易汽化,致使反应堆传热不良,热导不出去。稳压器上半部为蒸汽空间,下半部为水空间。在蒸汽空间顶部有一个喷雾器,当压力升高时,自动喷出水雾,使压力降低。在水里面淹有电热元件,当压力降低时就自动加热,产生蒸汽,使上部蒸汽空间的密度加大,压力增大。稳压器顶上还装有安全阀、卸压阀,当压力过高时,自动打开,放汽卸压,以保证安全。

一回路主系统是保证反应堆冷却,防止其烧毁,并将其核发热导出用以发电的“主循环系统”,它的水又有较强的放射性,故确保其不破不漏,能正常导热,乃保证其安全运行的关键。因此,对其设备、管道必须经过反复检验,确认其具有高度的安全可靠性能。投产运行后,还要定期检查。

除主系统外,一回路还有16个辅助系统,它们按其功能大体上可分为下列三类:

(1)为保证反应堆和一回路正常运行、启动和停堆的系统,包括化学容积控制系统,硼回收系统、主泵的轴封水系统、设备冷却系统、停堆后的余热冷却系统、疏排水系统以及工艺厂房的通风系统等。

(2)专设安全系统,即在失水事故时保护反应

堆和一回路,阻止事故扩大并防止放射性向环境扩散的系统,包括安全注射系统、安全喷淋系统、消氢系统、安全壳隔离系统等。

(3)回收和处理放射性物质以保护环境的系统,如废气、废液的收集、净化、储存系统,以及废液固化和固体废物处理、储存系统。

3. 二回路系统

二回路的主体设备是汽轮发电机组。

在蒸汽发生器内产生的蒸汽从出口处流出后,进入汽轮机做功,使汽轮机转动,带动发电机发电。在正常情况下,二回路的水和蒸汽,由于有蒸汽发生器的传热管隔离,是不带放射性的。

核电站用的蒸汽是饱和蒸汽,与火电站用的过热蒸汽比较,其含热量较低,且在做功过程中容易变湿(含较多水分),故核电站每发1千瓦小时电的耗汽量大约是火电机的两倍,这就使得核电厂汽轮机的体积比火电汽轮机的体积要大,300兆瓦秦山核电站汽轮机的体积大体与600兆瓦火电站汽轮机的体积相当。由于饱和蒸汽易变湿而含较多的水雾,水雾冲击汽轮机叶片易使叶片损坏,故核汽轮机的叶片应设计成具有抗水雾冲击的能力,并应设法去除水分。秦山核电站在汽轮机的高压缸和低压缸之间设置有两个除湿再热器,当蒸汽在高压缸做功,降温降压后,从高压缸流出时,约含有11%的水分,这样的湿蒸汽不宜进入低压缸继续做功,必须让它先进入除湿再热器,用一股新鲜的蒸汽(也来自蒸汽发生器)对它进行再热,使其温度回升,然后再进入低压缸。从低压缸做功后出来的乏蒸汽,进入冷凝器时,温度已降至约30~40℃,在冷凝器中冷凝成水,再经过除盐、除氧、低压加热、高压加热后,由给水泵唧回蒸汽发生器,重复使用。

安全保证

核电站的生命在于安全。秦山核电工程设计和建造的指导思想,是把确保安全放在首位。在安全设计中,遵循以下四条基本原则:

1. 尽力排除事故根源

周密细致的设计、优良的工程质量和正确无误的操作运行,是确保安全的三项首要条件。为此,对整个工程,从设计、建造到调试运行,建立了质量保证和质量检查体系,以排除事故根源,确保安全。安全系统和安全设施要具有:独立性、多重性、多样性、单一故障性。独立性是指各安全系统互不干扰,也不受其他系统的制约;多重性是指每项安全保护设施均不止一套,且互为备用;多样性是指安全保护办法不止一种;单一故障性是指单一系统或设备的故障不连累其他系统或设备,也

不会导致安全功能的丧失。

2. 防止异常工况扩大为事故

及早发现不正常情况,及时纠正,以防事故发生。规定安全的压力、温度、功率等限值,当运行参数超出保护限值时,及时发出报警,降低功率,直至自动停堆、停机等信号,以策安全。加强监督测量和定期检查,制定安全运行方式和操作规程,培训具有合格证书的操作人员,以保稳定安全运行。

3. 采取周全的反事故措施

针对各种可能发生的事故进行分析,采取安全对策。还针对各种可能的自然灾害,诸如地震、海潮、洪水、台风等,采取有效的防卸措施,保证与安全有关的建筑物、设备、系统不会遭受破坏而丧失其功能。

4. 设置严格的辐射防护和剂量监测

设置放射性三废处理和净化系统、剂量监测系统 and 屏蔽防护设施,以保证厂区和周围环境的剂量远低于国际标准和我国规范规定的允许值,一有偏离,立即设法纠正。

在工程设计中采取的主要安全措施有十条:

(1)增强反应堆固有安全性。例如:反应堆具有足够的负温度系数,即堆芯温度升高时,反应性下降,功率也随之降低,自然趋于安全;反应堆冷却系统具有自然循环能力,即使主泵失电停转,靠泵的情性和水的自然循环,也能将余热导出。

(2)堆芯热工设计上留有较大的裕量。设计中取的堆芯功率不均匀系数较实际值为大,以保证在一般异常工况下不会发生燃料包壳烧损,燃料芯块温度也不会达到熔点,并为防止异常工况向事故发展提供了较富裕的处理时间。

(3)反应堆安全保护系统可靠。反应堆有37束控制棒,当运行参数超过安全限值时即发出自动停堆信号使控制棒迅速下插,停止反应堆运行,同时汽轮机也自动脱扣停机。

(4)设置了三道防止放射性物质外逸的屏障。第一道是用强度高、耐腐蚀,吸收中子又少的锆合金包壳管,它密封二氧化铀燃料及裂变后的放射性物质,使之与外界隔离。第二道是密封耐压的反应堆压力壳和一回路系统,它保证冷却堆芯,密封放射性水、汽,阻止其向外泄漏。第三道是全封闭的安全壳厂房,它是内径36米,内高64米,壁厚1米的预应力钢筋混凝土结构,将反应堆和一回路主系统封闭在内,以保证即使在反应堆大失水事故(即失掉冷却,可能烧毁)时,也能将放射性物质密封在内。安全壳对保护环境和居民安全具有特殊重要的作用。

(5)专设置了安全设施。为了防止反应堆失水或在主蒸汽管破裂时保护堆芯,限制放射性物

质外逸, 电站设置有专设安全系统。它由下列系统组成①安全注射系统。系统中设置四台高压安注泵、两台低压安注泵和四只安全注射箱。高、低压安注泵根据事故时一回路主系统压力降低的信号向堆芯注入含硼水。当压力降到4.9兆帕时, 四只安全注射箱也自动向堆芯注入硼水。②安全喷淋系统。系统中设置两台安全喷淋泵, 发生失水事故时自动启动, 向安全壳内喷淋溶有NaOH(能吸收放射性碘)的硼水, 以吸附放射性物质和降低安全壳内压力。③安全壳隔离系统。在发生失水事故或蒸汽管破裂事故时, 与安全注射信号同时, 发出安全壳隔离信号, 将安全壳通往外界的管道隔离, 使安全壳全封闭。④消氢系统, 其功能是清除安全壳内可能积累的氢气, 使其浓度不超过4%, 以防止发生氢爆炸。

(6) 电源安全可靠。为确保在任何事故工况下不失电, 电站设有独立的三路来自不同方向变电所(嘉兴、金山、峡石)的厂外电源。如果两个厂外电源同时断电, 则电站自备的应急柴油发电机组在10秒内启动, 供应安全系统及控制系统用电。应急柴油发电机组共三台, 每台2 000千瓦。

(7) 采取了抗地震措施。经国家地震局确定, 秦山地区最大地震烈度为6度。据此, 对厂区与安全有关的建筑物、设备、系统均考虑了抗地震措施, 以保证在遭到6度地震时, 核电站仍能安全运行; 遭到7度地震时, 仍能实现安全停堆。

(8) 采取了防火、消防措施。建筑物材料采用非燃烧体材料, 电缆采用阻燃电缆。控制室、计算机房、应急柴油发电机房、开关室等均采取防火隔离屏隔, 耐火火3小时以上。主要厂房内设有火警探测器600多个, 关键部位设有自动灭火系统, 重要安全系统均设置两套, 互相之间有防火隔离。

(9) 采取了防洪水、海潮、海浪、台风、龙卷风等自然灾害及防外来冲击物的措施。核岛厂房已考虑能承受台风、龙卷风, 以及外来冲击物(如飞机、飞射物等)的冲击。海堤高度9.7米, 能抵挡千年一遇的高潮位与最大风浪的叠加。厂区排洪设施能排除万年一遇的特大暴雨时的积水。

(10) 按人一机关系学原理设计控制室, 给操纵人员提供清醒舒适的操作条件。检测系统、操作按钮等布置有条不紊, 使操纵人员一目了然; 重要仪表双重设置以防误指示。除正常控制室外, 另设应急控制室, 以便火灾或其他紧急情况时仍能安全停堆。设置技术后援中心, 以便集中专家研究应急情况下的操作和处理措施。

秦山核电站于1989年完成了《最终安全分析报告》和《环境影响评价报告》, 分别报送国家核安全局和国家环保局审查。国家核安全局和国家环保局组织各方面专家对这两份报告进行了详细的

审评后, 批准了这两份报告。

1989年4月, 联合国国际原子能机构组织了来自9个国家的11名核电专家来秦山工地和有关制造厂、设计院进行了为期三个星期的运行前安全审评。国际原子能机构在1989年11月发出的《给中国政府的报告》中说:“整个电站的建设是高标准, 是在国际上认为满意的水平上进行的”, “没有发现可能危及建造完成和建成后电厂启动的安全方面的担心”。1991年1月, 国际原子能机构又再派3位核电专家来秦山进行后续复查, 对建造质量和安全再次做了肯定评价。

(责任编辑 刘先曙)

(上接第54页)

4. 国内、院内筹款部: 主要负责开辟国内的资金渠道, 为重大项目的可行性研究提供财务方面的意见, 并办理筹措款项的事务。

5. 外资外贷部: 主要负责开拓国外资金渠道, 并办理相关手续。

6. 法规条例部: 负责制定财会标准与条例, 授权审计事务所对所属单位进行财务监督, 并根据需要完善报表系统和有关规章制度。

7. 会计部: 负责汇总所属机构的报表, 编制总表, 并做会计分析。

由于我们的科研机构对以上管理体制不论在思想上还是组织上均缺乏准备, 因此建议采取以下紧急措施:

1. 组织一个工作组, 从高校或其它单位聘请专家, 进行调查研究, 总体设计, 同时与现有财会人员共同设计统一的会计报表、统计规范和有关规定, 并进行培训。

2. 各级财务必须尽快建立自己的财务分析能力, 要逐渐汇编出资产负债表、损益平衡表、现金流量表, 从每季一次, 达到周报、日报。

3. 尽快培养财务管理人才, 除了从大学、院外吸引一批人才外, 还可从基层或管理部门抽调一批年青、有志于管理的人员, 组织为期一年的培训, 培养一批既懂科研管理又懂财务管理的新型管理人才。

现代财务管理体制的建立是科技体制的深层次改革。它将冲击各管理层的原有工作秩序和工作方法, 我们要下功夫普及财务管理的基本知识, 增强财务意识。

随着新的财务管理体制的建立, 不仅能大大提高我们的管理水平与管理效率, 也能大大提高我们的管理干部素质。一批适应我国科研机构经营管理工作的管理队伍也会随之形成。最终必将大大推动我国科研资金的科学效益和经济效益普遍、稳定、持久的提高。

(责任编辑 蔡德诚)