

我国自主设计的秦山核电二期工程

黄坚持

(北京核工程研究设计院 北京 100840)

摘要 本文简要介绍了我国自主设计的秦山核电二期工程的情况,着重分析了厂址的特点以及核蒸气供应系统、专设安全设施、核辅助系统、附属系统、常规岛设计、仪表与控制系统、厂用电系统和厂房布置的设计特点,扼要概括了总的设计原则及其技术特点。

关键词 初步设计,系统设计,厂房布置,技术特点。

1 引言

秦山核电二期工程自1987年10月29日立项之后,经过可行性研究、总体设计和初步设计,现处于可开工阶段。初步设计已由中国核工业总公司组织审查,于1992年11月下达审查批准书,决定1993年6月1日破土动工。

秦山核电二期工程由我国自主设计,北京核工程研究设计院为总包设计院,中国核动力分包反应堆和反应堆冷却剂系统的设计,华东电力设计院分包常规岛设计,聘请法国的法马通公司和电力公司咨询,聘请美国Stonewebster公司为常规岛的咨询顾问。

本工程的建设规模为两台装机容量各为650MW核电机组的商用核电厂,采用世界上技术成熟、安全有保证、经济性好的压水堆堆型。以后,在该厂址还计划再扩建两台650MW的同类型核电机组和公用辅助设施,即三期工程。因此,总的建设规模为2.6GW,连同一期的300MW,本地区将拥有近3GW装机容量的核电机组。

2 厂址与设计概况

秦山核电二期工程的厂址位于浙江省海盐县城东南11公里的秦山山麓南,地处杨柳山。本厂址距上海98公里,距杭州74公里。杨柳山山体岩性为第四纪坡积岩及中酸性火山碎屑岩系,构成地基的岩石为凝灰岩、角砾岩、集块岩。岩石完整坚硬,自然边坡稳定,无其它

不良物理地质现象。基岩无稳定含水层,海滩无富水层,地下水不发育。厂址地质构造稳定,地震活动微弱,不存在活动断层,在地震地质上是稳定的,厂址地震基本烈度鉴定为VI度。根据国家地震局的评定结论,本厂址的安全停堆地震S2级地面水平运动峰值加速度为0.15g(设计上选用0.20g)。

杭州湾流态以海水潮流作用为主。潮流作用强劲,潮差大,夹砂能力强。潮汐属非正规的半日潮型,大潮汐含砂量为10kg/m³。

本工程淡水水源来自盐嘉塘水系,属太湖流域嘉兴水系。

本地区属亚热带气候区。年平均气温15.8℃,年平均风速3.5m/s,年平均降水量1076mm。

厂址8公里范围内无大中型工矿企业和产生有毒气体的工厂,没有易燃易爆物品的工厂仓库。厂址近海无航运业务,附近无铁路通过。50公里内无民用航线通过。限制区内人口密度为185人/公里²,10公里范围内万人以上城镇仅有一处,即海盐县武原镇。

本厂址地处华东电网杭州-嘉兴-湖州负荷中心。目前正在逐步建设500kV电网,嘉兴地区将建设一座500kV的变电所。

所完成的工程初步设计文件有:(1)系统设计说明书;(2)设备设计文件;(3)设备材料清单;(4)厂房布置及设备布置图;(5)土建设计文件;(6)子项设计文件;(7)计算书;(8)分析、论证报告;(9)经济分析。

经过初步设计,确定全厂共有 312 个系统,其中属于核岛系统的有 162 个系统,属于常规岛和电厂配套设施(BOP)共有 150 个系统。

全厂的子项按建筑物或构筑物来划分,共有 131 个子项。子项的构成、布置、规模和标准,经初步设计审查已获准通过。

3 总的设计原则

本工程的设计原则如下:

1)采用同类型压水堆核电厂作为设计参考,除了由功率环路数和厂址条件不同等因素带来的布置和系统容量变化外,原则上不作大的变更,保持与设计参考的电站基本相同。

2)本电站为商用核电站,应确保其安全性、可靠性和经济性,使电站的总效率,可利用率及燃料的燃耗深度等达到 80 年代国际同类核电站的水平。

3)贯彻“以我为主,中外合作”的方针,不采用需要经过长期论证和试验的方案。核岛和常规岛的设计、设备制造、施工、安装、调试及工程管理均主要立足于国内。根据需要聘请国外专家咨询,设备进口以价格计约 30%左右。

4)核燃料组件采用国内生产制造的国产改进型燃料组件“AF4”。

5)有利于我国核电发展的标准化、系列化和大型化。要尽量吸取秦山一期工程和广东大亚湾核电厂的设计、设备制造、施工、安装和调试的经验,结合国情,逐步实现我国核电的标准化和系列化。

4 设计的技术特点

本期工程的设计在技术上具有如下特点:

1)采用了符合核安全要求和符合国情的标准规范。总的原则是遵守我国的核安全与环境保护法规,导则和标准。核岛设计原则上参照法国的 RCC 规则,并参考了我国有关核电的国标与核工业标准。常规岛原则上采用国内的火电规范标准。不足处,采用了美国的标准规范中的有关规定,与核安全无关的部分采用

我国的现行标准规范。接口上按偏安全的标准执行。

2)主要技术参数符合当前压水堆发展趋势。从提高安全性出发,在主要技术参数的选择上选得较低,例如,堆芯的比功率、燃料棒平均线功率密度和最小 DNBR 等参数的选取都有较大的安全裕度。

3)核电厂的运行方式符合客观实际。华东电网目前的装机容量为 2.213GW,到本世纪末,全网最高负荷为 3.58GW,需电量为 2.2PW 时,目前缺电是较为严重的问题。因此,第二期工程的建成与运营,可基本缓解其电力不足的问题。本电厂的基本运行方式是以带基本负荷为主,并具有一定的调荷能力,电厂不参加电网调峰,也不考虑偏环运行。

4)安全标准。本工程在安全标准方面考虑了下列超设计基准事故:(1)紧急停堆装置失效;(2)丧失全部热井;(3)丧失蒸气发生器全部给水;(4)丧失厂外电源;(5)低压安注泵组或安全壳喷淋泵组失效。在设计上还将考虑实施 H 规程的有关措施。为了防止堆芯损坏,还设置了堆芯状态监测,如堆芯欠热度监测,压力容器水位测量等。

5)总平面布置更加适应厂址的具体特点。本工程的总平面布置是沿海岸线呈一字型布置,主厂房群基础均坐落在基岩上。场坪标高考虑了历史最高天文潮和千年一遇风暴潮增水,并考虑波浪爬高。因此,核岛实际上是干厂址。常规岛厂房采用降标高的方案。

6)主回路设计采用标准化的两环路设计。主回路设计采用两条环路,每条环路采用 300MW 一环的标准化设计,其进出口接管呈 60° 夹角布置。余热排出系统采用两进两出方案。专设安全设施除了在每条环路的冷、热段均有注入点外,还在压力容器上增加了一个冷端注入点。

7)主厂房布置特点。由于秦山地区海水含砂量较高,为防止换热器淤积堵塞,特将设备冷却水系统中的板式换热器改成列管式换热器。其次,将废液处理系统的强迫循环蒸发改

为外加热式自然循环蒸发,以适应设备国产化的要求.在正常厂用母线的接线方式上,则采用常规岛与核岛及 BOP 的接线分开布置的方案,常规岛的布置在气轮机厂房内,核岛的布置在电气厂内.

5 设计简述

5.1 核蒸气供应系统

本电站的堆芯额定功率为 1930MW,堆芯布置了 121 组 17×17 的国产 AFA 组件,33 组控制棒组件,52 组可燃毒物组件,4 组中子源组件,32 组阻力塞组件,共分三区装载.三区的燃料富集度分别为 1.9%、2.6% 和 3.1%.燃料的换料周期约为 1 年,每年换 1/4 堆芯的燃料组件.换料组件的平均富集度为 3.25%.堆芯还布置了 32 个铠装热电偶,用于测量燃料组件的出口温度;38 个可移动式的微型裂变室,用于测量堆芯的中子通量.

反应堆压力容器的筒体内径为 3850 毫米,壁厚 201 毫米,总高为 12927 毫米,总重 318 吨.

堆内构件由上部组件、下部组件和压紧弹簧三部分构成,均采用国产部件.

反应堆冷却剂系统采用两条冷却剂循环回路,每条回路可带出 965MW 的堆芯功率.向二回路输出的饱和蒸气流量为 3835t/h,压力为 6.65MPa,最大湿度为 0.25%.主系统中的蒸气发生器是一种立式,具有内置式汽水分离器和倒 U 型管式的管壳式自然循环蒸发器,由国内制造.主泵采用三相感应电机驱动的立式、单级和轴密封泵,将采用进口产品.稳压器是一个立式、带半球形顶、底封头的圆筒形容器,由国内制造.

5.2 专设安全设施与核辅助系统及附属系统

专设安全设施有安注系统、辅助给水系统、安全壳喷淋系统、安全壳空气监控系统等.这些系统的设计以及容量的确定,都经过了各种严重事故分析以后确定的.选定高压安注泵的容量为 160m³/h,共设 3 台.低压安注泵设 2

台,每台容量为 750m³/h.浓硼酸浓度为 7000ppm.安全壳喷淋系统的喷淋泵设计流量为 737m³/h(直接喷淋阶段)和 770m³/h(再循环阶段).

核辅助系统包括化学与容积控制系统、反应堆硼与水补给系统、蒸气发生器排污系统、核取样系统、核岛疏水排气系统、余热排出系统、乏燃料水池冷却和处理系统、硼回收系统、设备冷却水系统、废气与废液处理系统、固体废物处理系统、核岛污水回收系统、放射性洗衣房系统、核燃料装卸运输和储存系统及硼加热系统等.

附属系统包括全厂的各个采暖通风空调、辅助流体、核岛消防、核岛冷冻水、核岛气体、照明、核岛厂房通信与闭路电视、废物处理与储存、废液排放、压缩空气、气体储存与分配、氢气制备与储存、辅助蒸气生产、海水循环水、安全厂用水、消防水生产与分配、淡水及除盐水生产等系统.

5.3 常规岛

常规岛包括热力系统、汽轮机旁路系统、主给水系统、凝结水系统、凝结水精处理系统、闭式冷却水系统、化学添加剂注入系统、主蒸气系统、电气系统、运动与通信系统、热力控制系统、采暖通风系统和消防系统等,同时还对厂房作了布置,并对结构作了考虑.

本工程装设两台 600MW 级汽轮发电机,其出口装设发电机负荷开关或断路器,经三只单相升压变压器,接入 500kV 电网.500kV 配电系统按 $4 \times 600\text{MW}$ 机组进行规划,本期按 $2 \times 600\text{MW}$ 设计.500kV 配电系统采用 $1\frac{1}{2}$ 断路器接线,根据两回出线和出线方向建设一个完整串和两个不完整串.远期按四个完整串规划并留有扩建一串的场地.

本工程选择 220kV 系统经备用变压器向 6kV 供电的电源作为厂外辅助电源.220kV 配电系统一次建成,采用单母线分段接线方式,并且有两回从不同方向的电源线引入.每段母线接两台备用变压器,共四台.本期工程安装

两台,每段母线接一台。

5.4 仪表和控制系统设计

设计考虑了监测控制方式和操纵员干预运行的程度。设计了仪表系统,包括核仪表系统、堆芯核测量系统、棒位监测系统、过程检测系统、堆内过程检测系统、辐射监测系统、事故后监测系统(PAMS)、汽机监测仪表系统、振动松动部件监测系统和地震仪表系统等。反应堆控制系统,主要是控制反应堆冷却剂平均温度、轴向功率分布、反应堆冷却剂压力、稳压器水位、蒸气发生器水位和主蒸气压力等,包括棒控系统、蒸气发生器水位控制、稳压器压力控制、稳压器水位控制和蒸气排放控制等。反应堆保护系统,包括安全停堆系统、专设安全设施驱动系统、ATWT系统,用于限制Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类工况的后果。电厂过程计算机系统,用于数据处理、显示记录、电厂运行与事故后分析、反应堆监督和安全显示。报警处理系统,通过音响和灯光信号将故障通知操纵员,用不同的灯光信号确定故障的缓急程度,根据不同的缓急程度采取不同的措施。控制室,包括主控室、公共控制室和应急停堆盘。

5.5 厂房布置

核岛厂房的布置采用了两个反应堆厂房呈镜面对称布置,共用一个核辅助厂房。反应

堆安全壳采用预应力钢筋混凝土结构,其设计压力为0.43MPa,设计温度134℃。安全壳内布置了反应堆及反应堆冷却剂系统、反应堆的辅助系统、工艺运输系统和为反应堆主辅系统配备的水、暖、电、气以及自控仪表系统。核辅助厂房为现浇钢筋混凝土结构,厂房内布置了与核安全有关的设备、核辅助设备、三废处理设备及风、水、电、气附属设备。每个反应堆厂房对应有一个燃料厂房,在该厂房内布置了乏燃料储存水池、燃料转运通道、新燃料存放间及一部分专设安全设施的设施。在燃料厂房外侧紧贴着柴油发电机厂房,每个燃料厂房分别贴着两个柴油发电机厂房,每个柴油发电机厂房布置一台应急柴油发电机组。电气厂房主要布置主控室、计算机房、办公室、值班室、继电器室、蓄电池室、中低压配电盘、电缆廊道、通风机房、冷冻机房、压缩机房、实验室和车间等,并且是整个核岛厂房的总出入口。

气轮机厂房沿反应堆厂房的辐射线方向布置,以防止气轮机叶片断裂时产生的飞射物对核岛厂房造成损坏。气轮机主厂房包括气轮机房,除氧间,凝结水精处理辅助车间,整个厂房长100米,宽62米。厂房为现浇钢筋混凝土框架结构,气轮机厂房的屋面为钢结构。

Basic Design for Qinshan Nuclear Project II

Huang Jianchi

(Beijing Institute of Nuclear Engineering, Beijing 100840)

Abstract The basic design for Qinshan Nuclear Project II is briefly introduced, which mainly analyzes the project site and the design for NSSS, special engineered safety, nuclear auxiliary system, annex systems, conventional island, Instrument and Control systems, power supply and distribution systems and arrangement for buildings. The general design principle and technical features are summarized in this paper.

Key Words basic design, system design, arrangement for buildings, and technical features.