

秦山——中国核电将从这里起飞

何惠民

(秦山核电工司 浙江海盐 314300)

摘要 本文介绍了秦山核电站工艺流程并列出了主设备的有关参数,同时从多方面阐述了秦山核电站的安全性及其相应的安全设施,并指出秦山核电站的建成有着深远的意义。

关键词 秦山, 核电, 安全。

秦山核电站是我国自行研究、设计、建造的压水堆核电站,已于1991年12月15日零时15分并网发电了。

秦山核电站反应堆热功率为966 MW,电站设计功率为300 MW,冷却剂进口温度为288.8 °C,出口温度为315.2 °C,冷却剂压力为15.2 MPa,冷却剂流量为24000 m³/h。

秦山核电站始终严格遵循:“安全、适用、经济、自力更生”和“不污染国土,不危害人民”的指导思想,坚持“安全第一”和“质量第一”的方针。正如国际原子能机构(IAEA)于1989年和1991年两次对秦山核电站运行前安全审评后,给中国政府的报告中所说的那样:“……没有发现安全问题,没有任何会危及建造的完成和建成电厂的启动安全问题。专家们预期秦山将是一个安全的,高质量的核电站。”

1 秦山核电站厂址概况

秦山核电站位于浙江省海盐县的秦山,距上海126 km,距杭州92 km,交通便利,厂址地质构造稳定,地震频度低、裂度小,主厂房直接座落在基岩上。秦山东北面临杭州湾,水源丰富、水文地质条件比较单纯,地区年平均温度15.8 °C,年平均降雨量约1076 mm。

2 秦山核电站生产工艺配置状况

秦山核电站是一座压水堆核电站,它由压水型反应堆、一回路、二回路三个基本部分组成能量转换体系,实现着由核能→热能→机械能→电能的能量转换过程。

组成压水型反应堆的主要部件和设备由核燃料组件、控制棒组束、控制棒驱动机构、堆内构件和压力壳。

一回路主要设备是冷却剂主泵(简称主泵)、蒸气发生器和稳压器。

二回路主要设备是饱和汽轮机及相关的冷凝器、给水系设备、汽水分离再热器及主发电机。图1为秦山核电站动力系统装置示意图。

为了使核动力装置能完全在可控状况下按照规定安全可靠地运行、具备预防和处理事故的能力,并对放射性物质进行妥善防护和妥善处理,还设置了一系列的工艺保证、安全保障、控制保护、环境保护和三废处理等系统。

反应堆堆芯由121个燃料组件按正方形栅格排列成横截面近似于圆形的结构,UO₂的总装重量为40.744 t,首炉堆芯有三种不同的浓度,即2.4%;2.67%;3%,以后平衡换料浓度为3.4%,燃料组件的燃料棒按15×15的正方形截面排列,相邻两棒的中心距离为

13.3 mm,包壳采用锆-4合金管(Zr-4),外径10 mm,壁厚0.7 mm.

反应堆采用棒束型控制和溶硼两种方式控制反应,控制棒驱动机构为磁力提升式.

压力壳由SA-508-III钢制造,总高10.705 m,筒体处外径为3.732 m,壁厚

175 mm.

秦山核电厂一回路由两个并联的环路组成,每个环路有一台蒸气发生器和一台主冷却剂泵,用316不锈钢的主管道把这些设备与反应堆连接起来构成一回路.

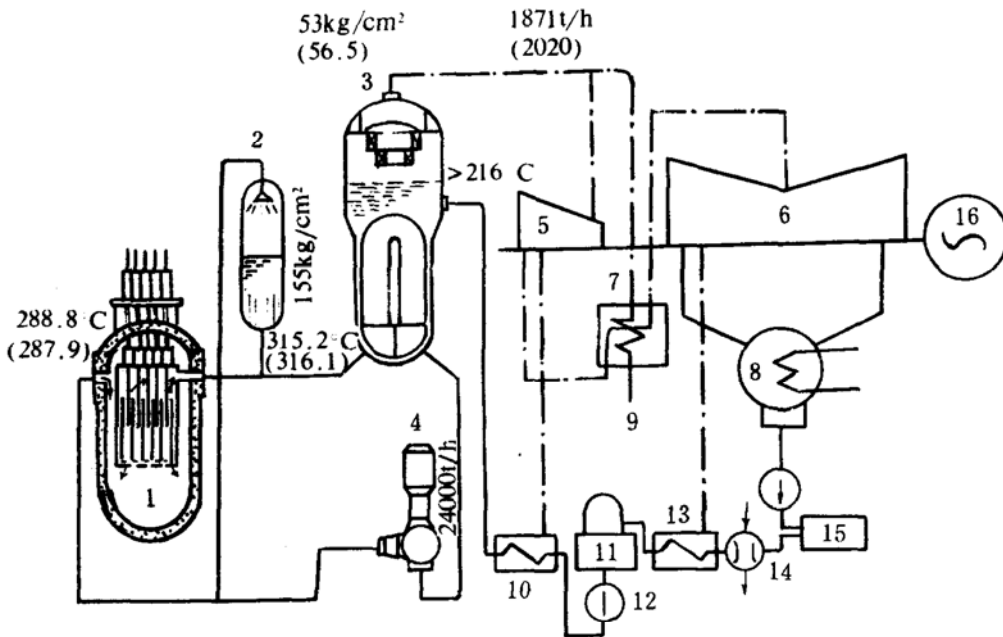


图1 秦山核电站动力装置示意图

1. 反应堆 2. 稳压器 3. 蒸气发生器 4. 主泵 5. 高压缸 6. 汽轮机低压缸 7. 汽水分离再热器 8. 冷凝器
9. 去水器 10. 高压加热器 11. 除氧器 12. 给水泵 13. 低压加热器 14. 抽气器 15. 除盐装置

蒸气发生器为立式自然循环蒸发器,它由两大部分组成,下部分为立式倒U型管蒸发器,由2977根800合金U型管组成管束,上部为装有汽水分离器的上筒体,为保证向汽轮机提供足够的蒸气,蒸气发生器设计有足够的传热面,在核电厂运行30年管子脏污的情况下,且假设在5%的堵管率下,蒸气发生器仍能提供压力和流量满足要求的蒸气.

主冷却剂泵为直立式、单级、单速混合式轴封泵,轴密封采用三级相同的串联的流体动压密封,三级密封中,各级承受的压降按系统压力的40%;40%;20%来分配,但是每级密封都设计得能承受系统的全压力,因此主冷却剂泵有良好的密封性.

一回路主系统的压力由稳压器调节.

除了主系统外,还有为保证反应堆和一回路的正常运行、启动和停堆的系统;为在失水事故时保护反应堆和一回路的系统;为回收和处理放射性物质以保护环境的系统,为了满足以上三大功能,秦山核电厂一回路还设有许多辅助系统,诸如启停堆、化容、轴封、疏排水、设冷、余热冷却、通风、安注、喷淋、消氢、及三废处理等系统.

二回路的主要设备是汽轮发电机组.汽轮机是单轴、三缸、四排汽的冷凝式饱和汽轮机.发电机为双水内冷发电机,机组转速为3000转/分,电厂电能经236/18kV-400MVA

主变压器升压后通过220 kV全封闭六氟化硫开关站(GIS)向华东电网送电.

3 秦山核电站主设备有关参数

3.1 堆内构件

堆内构件的主体材料为OCr18Ni9Ti不锈钢. 焊接材料为HOCr18Ni9Ti. 它的设计参数为:

工作压力	15.2 MPa
设计压力	17.2 MPa
液压试验压力	21.5 MPa
冷却剂进口温度	288.8 °C
冷却剂出口温度	315.2 °C
设计温度	350 °C
冷却剂最大含硼量	2400 ppm
最大快中子通量	$2.803 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
回路数	2个
燃料组件	121个
控制棒	37个
设计寿命期	30 a

3.2 稳压器

稳压器的设计参数为:

设计压力	17.2 MPa
工作压力	15.2 MPa
水压试验压力	21.5 MPa
设计温度/工作温度	370°C/343°C
喷雾器流量	40 t/h
最小连续喷雾流量	0.15 t/h
电加热器总功率	1350 kW
稳压器设计寿命	≥30 a
稳压器总容积	35 m ³
满功率时蒸气容积	17.5 m ³
满功率时水容积	17.5 m ³

3.3 蒸气发生器

蒸气发生器热工设计参数为:

一次侧工作压力	15.2 MPa
一次侧流量	12000 t/h
一次侧进/出口温度	316.1°C/287.9°C

饱和蒸气压力	5.54 MPa
饱和蒸气温度	271.5 °C
蒸气流量	1010 t/h
出口蒸气湿度	≤0.25%
给水温度(满负荷)	≥220 °C
排污量	(7.5~15) × 10 ³ kg/h

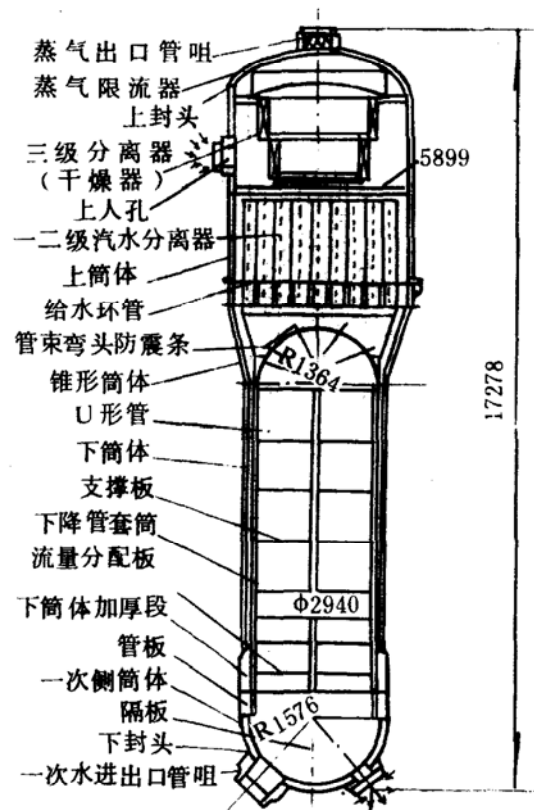


图2 秦山300 MWe核电站蒸气发生器简图

3.4 控制棒驱动机构

控制棒驱动机构的设计参数为:

设计压力	17.2 MPa
设计温度	350 °C
提升力	1960 N
提升负荷	150 kg
步距	10 mm
行程	2800 mm
速率	10 mm/s

落棒时间	全高度到导向管缓冲的落棒时间为2 s
寿命	总行程 1×10^6 步、落棒 500 次
电源	直流120 V \pm 10%、平均功率1.5 kW/台。

阻抗电压	14%
接线方式	YNd//

3.5 主冷却剂泵

主冷却剂泵设计参数为:

泵:	流量	16100 m ³ /h
	扬程	75 m
	汽蚀余量	60 m
	转速	1488 rpm
	泵/电机总效率	79%
	系统压力	15.2 MPa
	系统温度	289 °C
	设计压力	17.2 MPa
	设计温度	350 °C
	试验压力	21.9 MPa
电机:	额定功率	4500 kW
	额定电压	6 kV
	频率	50 Hz
	额定转速	1488 rpm

3.6 二回路系统的主要参数

二回路系统的主要参数为:

蒸气发生器出口蒸气压力 5.54 MPa, 蒸气流量 2020 t/h, 蒸气干度 99.75%。蒸气发生器零功率压力 6.31 MPa。汽轮机主阀前的蒸气压力 5.25 MPa, 蒸气流量 2015 t/h, 蒸气干度 99.5%。

低压缸排汽压力(凝汽器压力)	0.0048 MPa
冷却水温度(平均)	18 °C
冷却水最高温度(夏季工况)	31 °C
冷却水流量	6500 t/h
给水压力	7.23 MPa
给水温度	221.5 °C
汽轮机最大连续功率	330 MW
汽轮发电机组额定功率	310 MW
主变压器额定容量	400 kVA
额定电压	236 kV/18 kV

4 纵深防御, 确保电站安全可靠运行

秦山核电站的安全设计是参照七十年代后期国际上通用的标准进行的, 它严格遵循下列四个原则:

(1) 尽力排除事故根源: 电站设计中采用多重和多样的安全保护设施, 对关键性的材料和设备, 设计时留有足够的安全裕度。

(2) 防止异常工况扩大为事故: 采用多重而又独立的安全保护及控制系统。

(3) 减少事故危害: 千方百计防止放射性物质扩散污染环境, 对自然灾害如地震、潮汐、洪水、台风等采取有效的防御措施。

(4) 严格的剂量监测和辐射防护: 为了防止放射性物质逸出, 电站设置了燃料组件、压力壳及一回路系统、安全壳等三道屏障。

燃料为UO₂陶瓷体芯块, 制造时, 芯块的初始含氢量小于2.5 ppm, 以减少燃料包壳的氢脆破损, 芯块密封在Zr-4合金包壳管中, 燃料棒经过内压爆破、外压失稳试验, 动水腐蚀试验, 水力缓冲和水力振动试验, 机械强度试验和辐照试验等, 证明这种包壳材料耐高温, 耐腐蚀, 不溶于水, 性能稳定, 可使98%的放射性物质保存在里面, 这就是压水堆核电站的第一道安全屏障。

第二道屏障为压力壳和一回路系统, 它是选用SA508-Ⅲ和国产核级钢材S271及316型奥氏体不锈钢作一级核容器材料, 并按核要求严格控制铜、磷、钴、硫等元素含量。这个系统耐高温高压, 耐腐蚀, 即使燃料包壳密封万一破裂, 放射性物质漏到主冷却剂中, 但仍然在密闭的一回路系统中。这个密闭的一回路系统, 也称为反应堆冷却剂压力边界, 它有良好的密封性能。

第三道屏障是安全壳, 秦山核电站安全壳是由直径为36 m, 底面到顶端高73 m, 壁

厚1 m,内衬一层6 mm钢板,顶部为球面的圆柱形钢筋混凝土构成的建筑物,反应堆及一回路的重要设备都被包容在里面.安全壳是按能承受失水事故下1.4倍的峰值压力及自重、预应力和温度应力等载荷的组合作用力设计的.对整个壳体强度的应力分析计算表明:安全壳结构在事故压力作用下,抗破坏的安全系数大于2.0.建成后的安全壳,打压试验和密封泄漏试验数据表明,安全壳的强度和一昼夜整个安全壳内空气的泄漏率均优于设计标准.可见,安全壳具有良好的耐压性、密封性、能承受住内压和高温.因而,即使反

应堆及一回路系统有放射性物质泄漏,它也能保证放射性物质被包容在安全壳内,不致外逸.

同时,在设计安全壳时,还考虑了地震,外来物的撞击等因素.

电站的三废处理和环境保护,严格遵守“尽可能合理降低”的原则,尽量回收,把排放量减至最小,排放方式严格遵照国家规定.排放的放射性远低于标准规定的允许值,并接受地方环境卫生机关的监督.

秦山核电站三废处理流程示意图见图3.

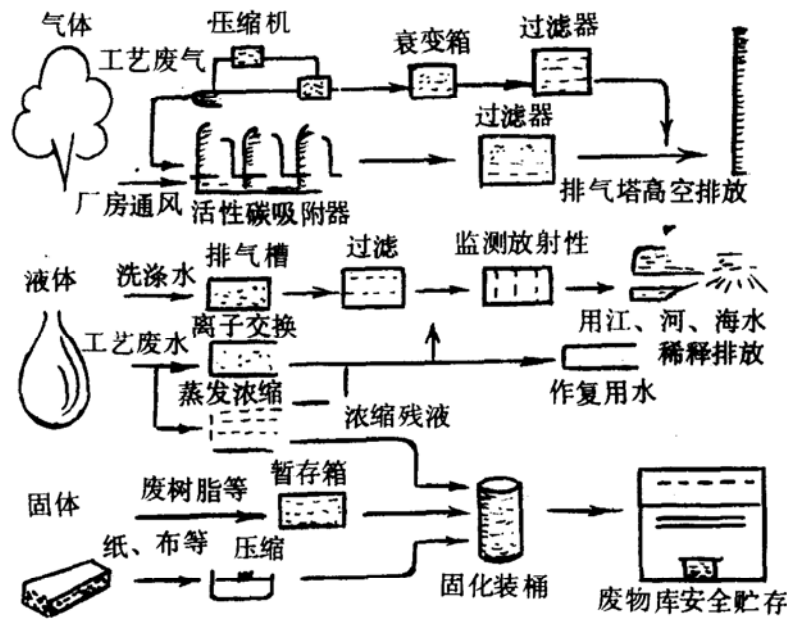


图3 三废处理流程示意图

为了确保核电站的安全性,从设计、设备、建造和监督等方面都有一整套完整的措施.

设备设计时,秦山核电站大致参照的规范标准有:

- 1) ASME-III 美国机械工程师学会锅炉及压力容器规范第III卷;
- 2) ANSI 美国国家标准学会有关标准;
- 3) ASTM 美国试验和材料学会有关标准;
- 4) AMS 美国宇航材料标

- 准;
- 5) RCC-M 法国压水堆核岛机械部件设计和建造规范;
- 6) RCC-C 法国压水堆核电站燃料组件设计和建造规范;
- 7) IEEE 国际电气和电子工程师学会有关标准;
- 8) IEC 国际电工委员会有关标准;
- 9) ACI 美国混凝土学会标准;
- 10) R.C 美国标管会管理标准;
- 11) KTA 西德标准;
- 12) 728DS 上海核工程研究设计院编制的设计技术条件;等等.

在核电站设备制造过程中,将设备严格

按《728DS7a-84》设备等级分级规定,分为不同的安全、抗震和质保等级。

如把执行停堆的设备、冷却堆芯和其他执行安全功能的和防止事故后放射性物质扩散的保护功能的设备按其重要程度划分为安全 I 级、安全 II 级、安全 III 级。

凡是为事故后保护公众免受辐照的系统的电气设备或系统本身的电气部件或设备属

IE 级设备。

在外来事件影响下,机械、电气设备要保持其安全功能,能承受一定地震载荷要求的机械和电气设备被划分为抗震类,抗震设计总的原则是设备能承受安全停堆地震(SSE)引起的载荷。表 1 为设备部件的安全等级、抗震要求和质量等级。

表 1

序号	设备部件名称	安全等级	抗震要求	质量等级
1	反应堆压力容器	1	SSE	A
2	主冷却剂泵	1	SSE	A
3	稳压器	1	SSE	A
4	蒸气发生器(一次侧)	1	SSE	A
	蒸气发生器(二次侧)	2	SSE	B
5	高压安注泵	2	SSE	B
6	主给水泵	2	SSE	B
7	电气贯穿件	2	SSE	B
8	堆内构件	3	SSE	C
9	辅助给水泵	3	SSE	C
10	辅助给水泵电机	1E	SSE	C
11	应急柴油机/电气	3/1E	SSE	C
12	汽轮机	NNS	NA	D

核电厂设备根据不同的质保类别,在设备制造、鉴证、鉴定、验收等方面均需符合业主质保规范规定的“IAEA-50-C-QA”法规总要求和供货总要求中的规定。

对具体设备而言,有它各自的采购程序、质保大纲和验收大纲。

整个核电站的设计、建造和运行,严格按照由国家核安全局负责制定和颁发的“国家实行核设施安全许可证制度”,同时也直接接受国际原子能机构(IAEA)的监督和审评。

在秦山核电站,管理人员的配备和培训方面也是根据 IAEA 核安全导则 50-SG-01 的有关规定进行配备考核的。

总地说来,秦山核电站的设计和建造标

准是比较高的,要求是严的,IEAE 评审团在“给中国政府的报告”中指出:“建造质量是好的,管理人员和技术人员队伍水平是高的,相信秦山核电站将是一座高质量的核电站。”

秦山核电站已经并网发电,现在正在继续努力向满功率进军。秦山核电站的建成,不仅可向华东电网每年输送约 15 亿度电能,更重要的是达到了“积累经验、培训队伍、打好基础、促进发展”的目的。现在,在秦山还将建设二期工程,其装机容量为 2×600 MW。我们相信,秦山核电站的建成,将是我国核工业发展的一个重要里程碑,中国核电将从这里起飞!

(下转第 38 页)

班,交流了已取得的研究成果,讨论了今后的研究方向.我们相信,为了人类的自身利益,低剂量率长时间持续照射的生物效应研究在近十年时间里将会有更多、更深入的研究成果出现.

参 考 文 献

- 1 Sagan L A, Cohen J J. *Health Physics*, 1990, 59(1): 11
- 2 Grososky A J, Little J B. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, 1985, 82: 2092~2095
- 3 Tabocchini M A, et al. *Low Dose Radiation—Biological Basis of Risk Assessment*. London: Taylor and Fransis, 1989
- 4 Cox R, Masson W. *Mutat. Res.*, 1976, 27
- 5 DeRuiter Y C E M, et al. *Mutat. Res.*, 1980, 69
- 6 Corn B W, et al. *Radiat. Res.*, 1987, 109: 100~108
- 7 Liber H, et al. *Mutat. Res.*, 1983, 111: 387~404
- 8 Little J B, et al. *Cancer Res.*, 1978, 38: 1929~1935
- 9 Shami S G, et al. *Cancer Res.*, 1982, 42: 1405~1411
- 10 Little J B. *Radiat. Res.*, 1981, 87: 240~250
- 11 Leadon S A. *Health Physics*, 1990, 59: 1
- 12 Little J B, Kennedy A R. *Radiat. Res.*, 1985, 103
- 13 Ulrich R L. *Health Physics*, 1988, 55, *Radiat. Res.*, 1984, 97
- 14 Mays C W. *Health Physics*, 1988, 55: 637~652
- 15 Little J B. *Low Dose Radiation in Human Cell*. In: Castellani, A., ed. *DNA Damage and Repair*, New York: Plenum Press, 1989

Study of Biological Effect of Radiation—— the Latent Risk of Protract Exposure to Low Dose Rate Radiation

Li Guisheng

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

Abstract This paper reports some progress on the study of biological effect for protract exposure to low dose rate radiation, and indicates the latent risk of this exposure for the human health and the importance of the routine monitoring of radiation dose for various nuclear installations. The latent exposure to the low dose rate radiation would attract people's extra attention.

Key Words radiation, biological effect, exposure, dose, mutation, cancer.

(上接第 49 页)

Start-up of Chinese Nuclear Power at Qin Shan

He Huimin

(Qin Shan Nuclear Power Company, Zhejiang Haiyan 314300)

Abstract Qin Shan Nuclear Power Plant's (QSNPP) technological process and main equipment's relative parameters are introduced. QSNPP can operate safely, of which, the safety and the relative safety facilities are mentioned. QSNPP's successful completion indicates the start-up of Chinese nuclear power.

Key Words Qin Shan, nuclear power, safety.