

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.008

# 阳西电厂 2 × 1 240 MW 机组热机设计方案研究

邓宏伟, 梁展鹏, 胡琨

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 详细论述了广东华厦阳西电厂二期工程 2 × 1 240 MW 超超临界发电机组热机专业的热力系统方案设计研究、主厂房布置设计及主辅机配置设计方案研究, 阐述了建设国内首批超 600 °C、1 200 MW 等级超超临界机组对于实现我国火力发电技术的突破及对发电设备制造行业的重要意义, 可作为同类大容量机组工艺设计借鉴参考。

**关键词:** 1 240 MW; 超超临界; 系统; 布置

**中图分类号:** TM611

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2017)04-0037-05

## Research on Mechanical Design Features of 2 × 1 240 MW Unit for Yangxi Power Plant

DENG Hongwei, LIANG Zhanpeng, HU Kun

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** The thermodynamic system design, the main building layout design, the main and auxiliary equipments configuration design were reviewed in detail for Guangdong Yangxi power plant 2 × 1 240 MW ultra supercritical units, which expound the important significance of the construction of the first domestic over 600 °C and 1 200 MW grade ultra supercritical units, it achieves the breakthrough of China's thermal power generation technology and thermal power technology manufacturing industry. The design can be used as a reference for similar large capacity units design.

**Key words:** 1 240 MW; ultra-supercritical; system; layout

我国以燃煤发电为主的电力生产格局, 在相当长的时间内无法改变, 因此提高火力发电机组的热效率、降低一次能源消耗、减少污染物排放, 对于建设节约环保型社会具有重要意义。

我国 600 °C 等级超超临界发电技术的发展走的是一条引进、消化、吸收的技术路线, 在促进我国发电技术迅速提升的同时, 也受到国外知识产权的约束, 机组成套出口更受到限制。因此如何通过创新形成一批自有技术, 使我国在高参数大容量发电机组上摆脱国外知识产权的束缚, 形成自己的制造

技术和产业, 实现火力发电技术的突破, 是我国发电设备制造行业面临的一个重大课题。研发超 600 °C、1 200 MW 等级超超临界发电技术正是解决上述问题的重要途径之一<sup>[1]</sup>, 2012 年科技部组织开展了名为《超 600 °C 的 1 200 MW 等级超超临界发电技术开发》国家科技支撑计划课题。

阳西电厂二期工程作为国内首批超 600 °C、1 200 MW 等级超超临界机组, 所采用的锅炉、汽轮机、发电机、电站辅机以及与之相适应的污染物排放控制等技术, 集中体现了近年来我国在高温热部件、结构设计、制造技术、系统优化等方面的自主创新成果<sup>[2]</sup>。

### 1 工程概况

广东华厦阳西电厂位于阳江市阳西县南部溪头镇的青湾仔, 距县城约 25 km, 厂址西依青湾岭,

收稿日期: 2017-05-25

基金项目: 中国能建广东院科技项目: GEDI 百万超超临界电厂设计导则 (EV00591W)

作者简介: 邓宏伟(1974), 男, 四川射洪人, 高级工程师, 学士, 主要从事电厂热能动力工程设计工作 (e-mail) denghongwei@gedi.com.cn。

东傍南海,南至白虎岭,北面2 km外则为溪头镇。电厂原规划建设规模为6 400 MW,分二期建设,一期工程1、2号2×600 MW机组已于2010年投入商业运行,3、4号2×660 MW机组于2013年投入商业运行,本项目为阳西电厂二期5、6号机组工程,建设二台1 240 MW高效超超临界燃煤机组,同步建设脱硫、脱硝装置。

项目投资方为阳西海滨电力发展有限公司,资本金占动态总投资的20%,其余资金由银行贷款,本期工程首台机组计划于2017年6月投产,第二台机组2017年9月投产。

### 1.1 煤质资料

工程的设计煤种为神华混煤,校核煤种1为青春塔煤,校核煤种2为混煤。设计和校核煤种的煤质成分分析如表1所示。

表1 煤质资料  
Tab. 1 Coal analysis

项目	燃料品种	符号	单位	设计煤种	校核煤种1	校核煤种2
				神华混煤	青春塔煤	混煤
工业分析	收到基全水分	Mar	%	14.50	8.35	15.62
	空干基水分	Mad	%	8.00	3.85	9.04
	收到基灰分	Aar	%	7.04	20.96	14.35
	干燥无灰基挥发分	Vdar	%	35.00	31.00	39.76
	到基低位发热量	Qar.net	MJ/kg	23.31	21.74	20.50
	元素分析	收到基碳	Car	%	62.87	55.00
收到基氢		Har	%	3.72	3.21	3.43
收到基氧		Oar	%	10.28	10.67	11.82
收到基氮		Nar	%	0.89	1.11	1.23
收到基硫		Sar	%	0.70	0.70	0.67
可磨指数	哈氏可磨指数	HGI	—	55	63	48
	磨损指数	Ke	—	0.77	0.81	—
灰熔融性	变形温度	DT	℃	1 100	1400	1210
	软化温度	ST	℃	1150	1450	1230
	流动温度	FT	℃	1190	1500	1340

## 2 主要设备选型研究

烟风煤粉系统设计、主辅机选型均能适应上述煤质特点。

本期工程三大主机均采用上海电气集团产品,机组按基本负荷考虑,并具有较好的调峰性能,机组年利用小时为5 500 h。主机设备的技术参数及关

键技术点如下。

### 2.1 锅炉

1)生产厂家:上海锅炉厂。

2)炉型:高效超超临界参数变压运行直流炉、一次再热、单炉膛单切圆燃烧、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构塔式布置。

3)BMCR工况主要技术参数如下:

(1)最大连续蒸发量:3 700 t/h。

(2)锅炉过热蒸汽温度:605℃。

(3)再热器入口/出口汽压:6.31/6.11 MPa。

(4)再热器入口/出口汽温:366/623℃。

(5)再热蒸汽流量:3 095 t/h。

(6)给水温度:310℃。

(7)排烟温度:125℃(修正后)。

(8)锅炉保证热效率:≥94.40%(LHV, BRL工况)。

(9)再热蒸汽调温方式:烟气挡板+摆动燃烧器+调整过量空气系数,喷水减温仅用作事故调温。

4)上海锅炉厂超超临界锅炉关键技术。

上锅1 200 MW等级超超临界锅炉以现运行良好的1 000 MW等级超超临界锅炉的成熟设计结构和设计经验为基础,自主设计开发<sup>[3]</sup>,因此炉型基本与其1 000 MW等级超超临界锅炉炉型相同,整体布置及燃烧方式基本一致,包括采用相同的汽水流程及烟风流程、过热器及再热器的调温方式等,可靠性高。上海锅炉厂在1 200 MW等级超超临界锅炉开发过程中重点研究了以下关键技术。

(1)锅炉设计计算程序开发。

超600℃、1 200 MW等级超超临界锅炉是目前世界上最先进的超超临界锅炉产品,其设计计算程序既无现有程序可借用,又无引进程序可借鉴,因此根据锅炉的特点进行了新计算程序的开发。

(2)超大炉膛燃烧特性分析及新型低氮燃烧器的开发。

锅炉容量的升级必然带来燃烧特性的变化,为保证燃烧的稳定性及避免炉膛结渣,针对设计煤种分析其着火和燃尽特性,与受热面传热特性相耦合,对炉膛尺寸进一步优化;另一方面针对污染物控制的要求,开发了新型的低氮燃烧器。

(3)锅炉关键部件制造技术及新材料特性、加工特性研究。

锅炉蒸汽温度提升到620℃时,锅炉关键部件的选材,尤其是对高温部件(如过热器、再热器)选用的材料特性及加工特性进行了细化研究。

## 2.2 汽轮机

- 1) 生产厂家:上海汽轮机厂。
- 2) 汽轮机型号:N1240-28/600/620。
- 3) 汽轮机型式:超超临界、一次中间再热、单轴、五缸六排汽、凝汽式汽轮机。
- 4) 额定功率:1240 MW。
- 5) 阀门全开功率(VWO):1329.697 MW。
- 6) 主蒸汽流量(VWO):3700 t/h。
- 7) 额定功率下主蒸汽流量:3591.4 t/h。
- 8) 额定功率下主汽门前压力:28 MPa(a)。
- 9) 额定功率下主汽门前温度:600℃。
- 10) 额定功率下再热汽门前温度:620℃。
- 11) 额定背压:5.88 kPa(a)。
- 12) 夏季工况背压:11.8 kPa(a)。
- 13) 给水回热级数:9(4高+4低+1除氧)<sup>[12]</sup>。
- 14) 汽机考核热耗工况下热耗值:7262 kJ/kWh。
- 15) 上海汽轮机厂超超临界汽轮机关键技术。

上海汽轮机厂1200 MW等级超超临界汽轮机采用的SIEMENS公司成熟的单轴反动式HMN积木块式汽轮机<sup>[4]</sup>,在沿用1000 MW机组的技术方案的基础上,调整为同系列、更大容量的模块,高、中压缸分别选择H80和I70标准模块。上海汽轮机厂在开发该此系列的汽轮机过程中,重点研究了以下关键技术:

- (1) 超600℃、1200 MW等级超超临界的汽轮机总体设计及优化,确定最优的进汽参数及回热系统方案,使整体的经济性、可靠安全性提高。
- (2) 超高参数大容量高、中压积木块开发,涉及汽缸、转子、阀门、轴承、轴系等大型关键部件或技术指标的确定。
- (3) 高温部件转子、动叶、汽缸、阀门、主汽门、再热汽门等的设计与优化<sup>[5]</sup>。
- (4) 蒸汽透平的热力设计和结构设计、冷却方式优化。
- (5) 机组冷端特性分析及研究,根据电厂的当地实际水温条件进行综合性优化分析,提高发电厂的热效率。

(6) 转子动力学及轴系稳定性和诊断技术研究。

## 2.3 发电机

- 1) 生产厂家:上海发电机厂。
- 2) 型号:QFSN-1240-2。
- 3) 额定容量:1378 MVA。
- 4) 额定功率:1240 MW。
- 5) 额定电压:27 kV。
- 6) 功率因素:0.9(滞后)。
- 7) 额定转速:3000 r/min。
- 8) 频率:50 Hz。
- 9) 励磁方式:自并励静态励磁。
- 10) 冷却方式:水、氢、氢。
- 11) 额定功率因数:0.9。
- 12) 保证效率:99%。
- 13) 上海发电机厂1200 MW等级发电机关键技术<sup>[6]</sup>。

上海发电机厂在1200 MW等级发电机的开发过程中重点研究了以下关键技术:

- (1) 发电机励磁方案研究。
- (2) 发电机通风冷却技术研究。
- (3) 发电机特殊工况运行方式研究。
- (4) 发电机转子动力学特性研究。

## 3 主要系统设计研究

针对超600℃、1200 MW等级超超临界机组的特点,对工艺系统的设计和辅助设备的配置进行重点研究,采用成熟可靠的工艺技术,确保电厂的安全运行。工艺系统最终研究配置的成果如下:

### 3.1 热力系统

- 1) 热力系统采用单元制。
- 2) 给水系统配置2×50%容量汽动给水泵。结合一期工程3、4号机组不设置电泵而直接启动主泵的运行经验,本期设计也采用一期工程的辅助蒸汽母管来直接启动主给水泵,取消了电动启动泵,节省设备投资。
- 3) 凝结水系统配置2×100%容量凝结水泵,配一套变频器。
- 4) 凝汽器抽真空系统设3×50%容量水环式真空泵。
- 5) 辅机采用全闭式冷却水系统冷却,设2×100%容量闭式循环冷却水泵和2×65%容量管式热

交换器。

6) 汽机旁路系统采用高、低压串联两级旁路, 针对上海锅炉厂 1 000 MW 级直流炉的技术特点, 高旁阀采用了 100% 容量带安全阀功能的三用阀<sup>[7]</sup>, 低旁阀为 65% BMCR 容量。

7) 除氧器采用内置式除氧器。

8) 高、低压辅汽母管各设置一个辅助蒸汽联箱。

### 3.2 烟风、煤粉系统

1) 制粉系统采用中速磨煤机冷一次风机正压直吹式制粉系统。

2) 烟风系统按平衡通风设计, 空气预热器为三分仓回转式。

3) 设两台双室五电场静电除尘器, 除尘器效率不低于 99.80% (设计煤种)。

4) 设两台 50% 容量动叶可调轴流式引风机, 脱硫增压风机和引风机合并设置。

5) 脱硫塔与烟囱之间设置湿式静电除尘器。

6) 锅炉采用等离子点火方式, 点火及助燃备用采用电厂一期现有燃油系统。

## 4 主厂房布置设计

主厂房布置采用了常规的布置方案, 厂房大小适宜, 运行维护条件好, 通道顺畅。

1) 主厂房采用“汽机房 + 除氧间 + 煤仓间 + 锅炉房”的常规顺列式布置方案<sup>[8]</sup>, 除氧器露天布置在除氧间屋顶, 主厂房采用钢筋混凝土结构。

2) 给水前置泵与主泵同轴布置在运转层, 给水泵汽轮机向下排汽进入主机凝汽器, 运行检修条件好。

3) 主厂房左扩建, 机头朝向扩建端, 从固定端上煤。主厂房采用双框架方案, 柱距采用变柱距 10 m (9 m) 共 21 档, 两台机组纵向长度 205.2 m, 汽机房跨度 32 m, 除氧框架跨度 10 m, 煤仓间跨度 14.5 m, 炉前跨度 8 m。

4) 汽机房 - 除氧间运转层标高 16.5 m, 煤仓间 - 锅炉运转层标高为 18.0 m, 除氧层标高 38.5 m。除氧间共 5 层, 即底层 ( $\pm 0.0$  m)、中间层 (标高 7.5 m)、运转层 (16.50 m)、加热器夹层 (27.0 m)、除氧层 (标高 38.50 m)。

5) 锅炉采用露天布置, 运转层为钢格栅大平台。脱硝装置安装在锅炉框架内的空预器上方。

6) 脱硫岛采用烟囱前布置, 脱硫塔布置在烟囱两侧; 湿式静电除尘器布置在脱硫塔与烟囱之间。

## 5 主要配套辅机情况

本工程 1 240 MW 超超临界机组所采用的设备参数与 1 000 MW 等级超超临界机组参数 (压力和温度) 相同, 蒸汽参数有少量提高, 除了对泵类的选型略有影响外, 对大部分辅机而言主要是考虑系统容量的增加 (除凝汽器外)。

现阶段国内发电机组配套辅机设备的国产化、大型化已经较为成熟, 因此对于 1 200 MW 容量等级机组的配套辅机的设计和制造不存在大的困难, 除旁路设备、给泵芯包等需进口外, 其他大部分设备都可以在国内生产。本工程主要的辅机配置方案如下:

1) 结合国内厂家当时的生产制造能力, 确定高压加热器采用双列半容量型式<sup>[9]</sup>, 3 号、4 号高加设置外置式蒸汽冷却器; 除氧器采用单台全容量内置式除氧器; 均采用了上海电气电站设备有限公司电站辅机厂产品。

3) 给水系统设 2 台 50% 容量的汽动给水泵, 上海 KSB 泵公司供货; 配套汽轮机采用上海汽轮机厂生产的半容量小汽机。

4) 凝结水泵采用 2 × 100% 容量国产泵, 由上海 KSB 泵公司供货。

5) 磨煤机与给煤机各配 6 台, 磨煤机采用上海重型机器厂生产的中速磨煤机, 给煤机采用上海发电设备成套设计研究院的电子称重式给煤机。

6) 一次风机、送风机、引风机均采用 50% 容量的动叶可调轴流式风机, 由上海鼓风机厂有限公司生产。

7) 采用先进的干式除尘器加湿式电除尘器的组合除尘方案, 烟尘排放达到超洁净排放标准, 干式除尘器由上海电气斯必克工程技术有限公司供货, 湿式除尘器由上海电气电站环保工程有限公司供货。

本工程辅机与常规 1 000 MW 机组有较大差异的主要辅机为凝汽器, 凝汽器的设计压力、温度等参数与常规 1 000 MW、600 MW 机组的参数基本相同, 容量和参数可参考同类机组的容量和参数进行优化设计, 国内主要厂商均有能力生产制造。为了更好地与主机相匹配, 选用上海电气集团电站辅

机厂的产品。针对本工程汽轮机三个低压缸六排汽的结构特点,凝汽器型式采用单背压、三壳体、双流程、表面式,由凝汽器A、凝汽器B和凝汽器C组成<sup>[10]</sup>。每个凝汽器由接颈、壳体、热井、排汽接管、水室等组成。接颈内设有组合式低加和减温减压装置。凝汽器与低压缸为刚性联接,与基础为柔性联接。每台凝汽器喉部布置一台低加(1台8号低加+2台9号低加)。在外端两侧壳体的外侧各附有一只本体疏水扩容器,每个凝汽器底部用两个长条形支墩支撑。凝汽器受运输条件限制,壳体、接颈等散件用专用包装运至工地进行组装,水室和6台减温减压装置在制造厂组装后整体出厂。

## 6 结论

作为国内在建的最大单机容量火力发电机组之一,本项目在成熟可靠安全的基础上进行了大量的设计优化工作。现阶段阳西电厂5、6号机组现场的安装工作正在如火如荼的进行着。

本工程的实施是对我国大容量、高参数超超临界电站的设计、制造、建设和运行能力迈上新台阶的一次综合检验,将会进一步带动电力行业、设备制造业和材料工业的发展和提升,促进我国发电技术实现跨越式发展,响应中国制造2025和一带一路两大国家战略,增强电力设备制造、电力工程建设企业走向全球市场、提供更高层次产品的能力。

### 参考文献:

- [1] 刘鹤忠,叶勇健. 当前技术条件下火电机组最大单机容量的探讨[J]. 电力建设, 2011, 32(2): 67-70.  
LIU H Z, YE Y J. Discussion on the largest possible capacity of thermal power unit under present technology level [J]. Electrical Power Construction, 2011, 32(2): 67-70.
- [2] 王东雷,张鹏. 1200 MW 等级超超临界机组可行性研究[J]. 电力建设, 2015, 36(2): 131-136.  
WANG D L, ZHANG P. Feasibility study on 1200 MW ultra-supercritical unit [J]. Electrical Power Construction, 2015, 36(2): 131-136.
- [3] 徐雪元. 1200 MW 超超临界参数锅炉的研制与开发[J]. 电力建设, 2010, 31(3): 60-62.

- XU X Y, 1200 MW USC parameter boiler development [J]. Electrical Power Construction, 2010, 31(3): 60-62.
- [4] 华洪. 西门子1000 MW 超超临界汽轮机的技术特点[J]. 上海电力, 2005(4): 408.  
HUA H, Technology features of Siemens 1000 MW ultra-supercritical steam turbine [J]. Shanghai Electric, 2005(4): 408.
- [5] 梅林波,沈红卫,王思玉. 620℃超超临界汽轮机新型高温转子钢的应用[J]. 热力透平, 2014, 43(3): 219-221.  
MEI L B, SHEN H W, WANG S Y. Application of advanced rotor steel in 620℃ USC steam turbines [J]. Thermal Turbine, 2014, 43(3): 219-221.
- [6] 刘明慧. 自主研发世界最大容量1240 MW 火电发电机[J]. 电机技术, 2014(3): 31.  
Liu M H. Independent research and development of the world's largest capacity 1240 MW thermal power generator [J]. Motor Technology, 2014(3): 31.
- [7] 石司默. 100% 高压旁路对超超临界锅炉设计的影响[J]. 锅炉制造, 2016(5): 21-24.  
SHI S M. Influence of 100% high-pressure bypass to USC boiler design [J]. Boiler Manufacturing, 2016(5): 21-24.
- [8] 范永春,霍沛强. 1000 MW 超超临界机组主厂房布置格局探讨[J]. 电力勘测设计, 2009(5): 36-39.  
FAN Y C, HE P Q. Discussion on main building layout of 1000 MW ultra super critical unit [J]. Electric Power Survey & Design, 2009(5): 36-39.
- [9] 马晓峰,李宏保. 1000 MW 汽轮机单/双例高压加热器选型[J]. 黑龙江电力, 2008, 30(6): 450-452.  
MA X F, LI H B. Selection of single row/double row high pressure heater for 1000 MW unit [J]. Heilongjiang Electric Power, 2008, 30(6): 450-452.
- [10] 陈俊斌. 1200 MW 超超临界机组三壳体凝汽器的特点分析[J]. 电站辅机, 2016, 37(3): 11-13.  
CHEN J B. Characteristic analysis of three shell condenser for 1200 MW ultra supercritical power unit [J]. Power Station Auxiliary Equipment, 2016, 37(3): 11-13.
- [11] 凌芳,霍沛强,邓成刚,等. 1000 MW 等级湿冷机组回热级数优化研究[J]. 南方能源建设, 2014, 1(1): 45-49.  
LING F, HUO P Q, DENG C G, et al. Optimization of re-generative stage numbers for 1000 MW wet cooling units [J]. Southern Energy Construction, 2014, 1(1): 45-49.

(责任编辑 高春萌)