

# 超临界压力 600MW 机组的 启动和运行

汪祖鑫 编著

中国电力出版社

为发展我国超临

界电站而努力

汪德方

## 序

为了节约一次能源消耗、降低单位千瓦投资、更快地满足日益增长的负荷需要，超临界压力大型火电机组是世界电力工业发展的共同趋势。尽管超临界压力火电机组在70年代的发展过程中有过曲折，随着可适应负荷变化的超临界压力变压运行机组的出现和日趋成熟，又重新受到世界各国的重视，并且正向着蒸汽参数更高的机组发展。从我国的资源情况出发，超临界压力大型火电机组也将成为我国电力工业的一支生力军。

华能上海石洞口第二电厂两台成套引进的600MW超临界压力火电机组于1992年建成投产。两年多时间的运行实践证明设备性能和施工质量较好。回顾从对外谈判、设计制造、施工调试到投产的全过程，有四个特点：第一，它是我国首次采用的超临界压力大容量变压运行的燃煤机组，设计水平较高、技术先进、自动化程度高、供电煤耗低、调峰能力强、属于国际上的80年代水平；第二，两台机组的进口价格较低，相当于当时的亚临界压力机组的水平；第三，建设速度快、质量好，从开工到建成只用了54个月，开创了一年投产两台600MW超临界压力大型火电机组的新水平；第四，投产两年来，已创造了四个百日安全无事故记录，全面完成各项经济指标，并实现了双达标目标。所有这些都说明在掌握超临界压力大型火电机组的技术和管理方面我们已积累了一定的经验。全面总结每个环节的经验，对于电力工业的发展将是十分有益的。汪祖鑫同志对两台600MW机组的调试和运行工

作进行了总结，是一个很好的开端。

这本书的第一章从技术角度对 600MW 机组的起动和运行特性进行了总结，是全书的主题；第二章对 600MW 超临界压力机组作了初步评价并提出了存在的问题；第三章总结了“软件”方面的经验也很有特色。三章内容自始至终贯穿了如何学习和掌握新技术的指导思想，它给了我们不少启迪；作者还在一些方面进行了探索，也可供大家参考。

魏长伟

# 目 录

序	
绪 论	1
第一章 超临界压力 600MW 机组的启动、运行 和停机	10
第一节 点火及升温升压	10
第二节 汽轮机冲转到额定转速	30
第三节 并网前的试验和并网	41
第四节 初负荷和纯直流运行	45
第五节 初负荷阶段的几个运行操作问题	53
第六节 升负荷	62
第七节 特殊工况下的运行	114
第八节 热态和极热态启动	134
第九节 机组正常停用和不正常停用	139
第十节 几个专门问题	146
第十一节 关于长期安全运行的几个关键问题	155
第二章 超临界压力 600MW 机组的初步评价和 存在问题	158
第一节 概况和调试实绩	158
第二节 对两台超临界压力机组的初步评价	162
第三节 关于机组 MFT 次数多的原因分析	168
第四节 超临界压力 600MW 机组调试中出	

现的主要问题·····	172
第五节 投运后锅炉和汽轮机暴露的几个重要问题·····	185
第三章 两台 600MW 超临界压力机组的调试工作·····	196
第一节 调试的组织和协调·····	196
第二节 调试的有关制度和规定·····	200
第三节 外商在调试中的作用及同外商关系的正确处理·····	202
第四节 安装、调试、生产间关系的协调·····	206
第五节 做好调试工作的一些经验·····	212
第六节 对几个问题的看法·····	224
附录·····	228
附录一 水冷壁管壁温度一览表·····	228
附录二 调试有关制度(规定)一览表(供参考)·····	232
后 记·····	234

## 绪 论

超临界压力火力发电技术虽然经过一段曲折的过程,但是实践已经证明它是一种经济而又可靠的发电方式,并且正在向更高的压力和温度发展,特别是提高压力方面,因此超临界压力机组仍将成为大容量发电机组的支柱。在我国电力工业突飞猛进的今天,必将有大批超临界压力机组投入运行。

华能上海石洞口第二电厂装有的两台 600MW 超临界压力火电机组于 1992 年内先后投产。这是我国首次整套引进的超临界压力机组,机组的主设备分别由 ASEA Brown Boveri (ABB), ABB-Boiler Plant (ABB-BP), ABB-Combustion Engineering (ABB-CE) 供应。经过三年多的运行,到 1994 年上半年为止总共已发电 143.7 亿  $\text{kW} \cdot \text{h}$  (包括调试期间发的电量)。等效可用系数分别为:一号机组 61.18% (1993 年), 89.70% (1994 年); 二号机组 71.65% (1993 年), 79.10% (1994 年) (由于二号机组在 1994 年四季度进行了大修,因此等效可用系数比较低,如果去除大修因素,等效可用系数将超过 90%)。对两台机组的总的评价是较好的。

通过两台机组的调试运行实践,提高了对超临界压力机组的认识,初步了解、熟悉和掌握了超临界压力机组的有关性能和特点;尤其是通过对暴露出来的问题的处理和解决,对超临界压力机组有了更进一步的体会。本书就是在总结以下三方面问题的基础上编写的:

(1) 超临界压力 600MW 机组的启动、运行和停机。这一

部分是以超临界压力 600MW 机组的启动和停机为重点选写的,它提供了机组从启动准备开始到带上满负荷的全过程的做法、要求和注意事项以及有关的数据。

(2) 超临界压力 600MW 机组的初步评价和存在问题。这一部分总结了两台超临界压力机组的调试和早期运行的实践,对超临界压力 600MW 机组提出了初步的评价并叙述了存在的主要问题,对这些问题的原因也作了探讨和分析。

(3) 超临界压力 600MW 机组的调试。这一部分从管理和组织角度总结了两台 600MW 机组调试工作的具体做法和取得的实际效果。

本书可以提供给今后从事超临界压力机组和大容量机组设计、制造、安装、调试和运行的读者们作为参考。

由于两台超临界压力机组在运行和发电中会不断有新的问题暴露出来,对超临界压力机组的认识也一定会继续深化和提高,这些都说明本书的取材有一定的局限性,不可能对所有的事物进行分析和探讨,只能请广大读者在阅读时理解这个客观的背景。为了弥补这点,作者计划在这本书之后,再写一本以 600MW 超临界压力机组电厂的设计为专题的书。

华能石洞口第二电厂的超临界压力 600MW 机组是由原 Sulzer 和 CE 公司提供的螺旋管圈变压运行直流锅炉、ABB 公司提供的四缸四排汽汽轮发电机组组成;配以 Bailey 的 N-90 控制系统、Graver Water 的水处理和凝结水除盐系统、原 Dravo Wellman 的输煤系统、原 CE 的灰处理系统、MG 的 500kV GIS 装置和原 ASEA 的 500kV 主变压器等主要辅助设备。电厂的总体设计由美国 Sargent & Lundy (S & L) 工程公司承担,华东电力设计院协调厂区内外观设计。整个电厂的设计水平较高,技术先进,自动化程度高,供电煤耗低,调



峰能力强，具有国际 80 年代水平。

两台机组的主要参数见表 0-1。

表 0-1 两台机组的主要参数

参数名称	单位	数值	备注
主蒸汽压力 (炉侧)	MPa	25.3	调节汽门全开 (VWO) 工况
主蒸汽压力 (机侧)	MPa	24.1	
主蒸汽温度 (炉侧)	°C	541	VWO 工况
主蒸汽温度 (机侧)	°C	538	
再热蒸汽压力 (炉侧)	MPa	4.47	
再热蒸汽压力 (机侧)	MPa	4.36	
冷再热蒸汽温度 (炉侧)	°C	301	
冷再热蒸汽温度 (机侧)	°C		
热再热蒸汽温度 (炉侧)	°C	569	
热再热蒸汽温度 (机侧)	°C	566	
锅炉最大出力 BMCR	t/h	1900	
汽轮机最大出力 TMCR	MW	627	
汽轮机额定出力	MW	600	功率因数 0.9
发电机最大出力	MVA	747.7	
发电机额定出力	MVA	716	功率因数 0.9
发电机氢压	MPa	0.46	
主变压器容量	MVA	690/773	温升 55°C/65°C
厂用总变压器容量	MVA	24/40*	
公用备用变压器容量	MVA	24/40*	
给水温度	°C	286	省煤器进口处
高压旁路容量	%	100	指 BMCR 的百分数
低压旁路容量	%	65	指 BMCR 的百分数

\* 指在 65°C 温升下的自然冷却/强制冷却两种工况的变压器容量。

机组的主要系统图见图 0-1~图 0-7。

机组的主要规范和供应商如下：

### 一、锅炉(见图 0-8)

#### 1. 锅炉本体

(1) 炉膛宽度：18.816m；

(2) 炉膛深度：16.464m；

(3) 从灰斗顶部至炉顶距离：53m；

(4) 炉膛容积/至炉顶包括再热器在内的炉膛总容积：  
12040m<sup>3</sup>/17255m<sup>3</sup>；

(5) 炉膛燃烧器区面积：1430m<sup>2</sup>；

(6) 炉膛断面热负荷（在 BMCR 时）：4800000W/m<sup>2</sup>；

(7) 燃烧器区面积热负荷（在 BMCR 时）：1039380  
W/m<sup>2</sup>；

(8) 炉膛容积热负荷（在 BMCR 时）：123450W/m<sup>3</sup>；

(9) 炉膛总容积热负荷（在 BMCR 时）：86100W/m<sup>3</sup>；

(10) 直流负荷时螺旋管最小质量流速：980kg/(m<sup>2</sup>·s)。

注：以上热负荷均以低位发热量计算。

#### 2. 制粉系统

(1) 六台 54t/h 出力 原 CEHP943 型立式中速磨煤机；

(2) 六台 67t/h 出力 Stock 皮带型重力式给煤机。

#### 3. 烟风道系统

(1) 两台 196m<sup>3</sup>/sNOVANCO 动叶可调轴流式送风机；

(2) 两台 415m<sup>3</sup>/sNOVANCO 双吸双速离心式引风机；

(3) 两台 63.1m<sup>3</sup>/sNOVANCO 进口导叶调节式离心式  
一次风机。

4. 两台受热面为 38600m<sup>2</sup> 上海锅炉厂的三分仓容克再生式空气预热器

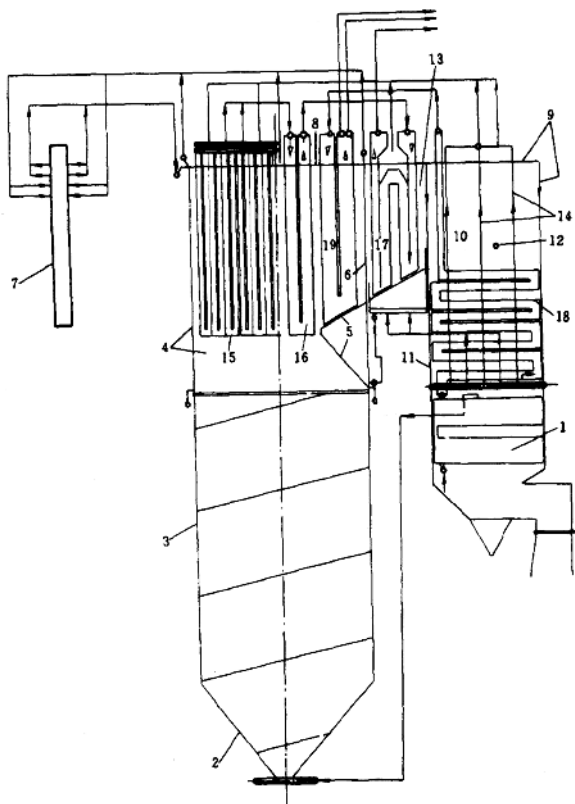


图 0-8 600MW 超临界压力锅炉断面图

- 1-省煤器；2-冷灰斗；3-螺旋盘绕式蒸发管；4-垂直蒸发管；5-折焰角；  
 6-后墙悬吊管；7-汽水分离器；8-顶圈悬吊管；9-后部烟道顶棚及后墙；  
 10-捕渣管；11-后烟道前墙；12-后烟道侧墙；13-延伸管；14-悬吊管；  
 15-过热器管圈；16-屏式过热器；17-末级过热器；18-一级再热器；  
 19-末级再热器

5. 两台 CEX2P4C18F 刚性框架型电气除尘器
6. 一套 Sulzer100%BMCR 容量的高压旁路系统

## 二、汽轮机

汽轮机见图 0-9, 为原 BB4D4Y454 型反动式单轴四排汽再热凝汽式汽轮机, 汽轮机长 25m, 发电机长 15.5m, 总长 40.5m。

### 1. 高压缸

- (1) 单流带调节级反动式汽轮机;
- (2) 焊接转子;
- (3) 内缸无法兰, 上下缸用紧箍圈紧固。

### 2. 中压缸

中压缸为双流, 焊接转子由 ST 12 TS (X21CrMoV121) 和 ST 461 TS (21CrMoV511) 异种钢焊接组成。

### 3. 低压缸

低压缸共两组, 四排汽口, 焊接转子, 末叶片为 867mm 自由叶片。

### 4. 回热加热系统

机组共有八级非调整式抽汽, 高、低加热器均为卧式布置, 由上海汽轮机厂设计制造。

### 5. 凝汽器

凝汽器由上海电站辅机厂根据 ABB 设计图纸制造。

- ① 纯钛管和复合钛板, 焊接密封;
- ② 教堂窗式管束布置;
- ③ 整个冷却面积为 29000m<sup>2</sup>;
- ④ 带反洗和小球清洗系统。

### 6. 纯电调控制

### 7. 凝结水泵

两台 100%容量 Sulzer 凝结水泵。

#### 8. 给水泵

(1) 两台 50%容量 Byron Jackson 双壳体汽动给水泵；

(2) 两台 50%容量 ABB 双流反动带调节级的 DKZ-2531 给水泵汽轮机；

(3) 一台 40%容量 Byron Jackson 双壳体电动给水泵。

#### 9. 循环水泵

两台 50%容量 Byron Jackson 固定叶片立式循环水泵。

#### 10. 冷却水系统

一套包括三台 50%容量的卧式热交换器和两台 100%容量的闭式循环冷却水泵的闭式冷却水系统。

#### 11. 低压旁路装置

一套 65%BMCR 容量的 ABB 低压旁路装置。

#### 12. 油净化装置

液压油和润滑油采用同一油种，并合用一套油净化装置。

### 三、发电机及机组电气系统

(1) 发电机为 ABB 的 716MVA50WT23E-128 型两极水氢氢冷却发电机组，氢温 45℃，氢压 0.5MPa (4.6kgf/cm<sup>2</sup>)，功率因数 0.9，最大连续出力为 747.7MVA。

(2) 一套带有三台 2200kVA 单相励磁变压器的 ABB 静态励磁系统：额定电流 5700A，顶值电流 10140A，顶值电流持续时间 10s；包括一套调压范围为 80%~110%发电机额定电压、控制误差为 ±1%的 DAVR 装置。

(3) 容量为 773MVA 三相双绕组带油枕强冷式 21kV/510kV ABB 升压变压器，最大温升 65℃，带有连续式气体监视系统。

(4) 容量为 40MVA 三相三绕组带油枕强迫风冷式

24kV/6.3kV Jemom Schneider 厂用降压变压器，最大温升 65 C。

(5) 容量为 40MVA 三相双绕组带油枕强迫风冷有载调压 220kV/6.3kV Jemom Schneider 启动降压变压器，最大温升 65 C；包括 220kV 的 MG SF6 开关、GIS 装置和地缆。

(6) 一套由 Merlin Gerin 提供的以一只半断路器运行方式联接两台机组和两回 500kV 出线以及一条联络线的 500kV GIS 装置。

(7) 一套由 Unibus 提供的联接发电机和主变压器、厂用变压器以及励磁变压器之间的分相封闭母线。

(8) 一套由 CPC 提供的，包括 6.3kV 金属铠装空气断路器装置、400V 动力中心、400V 电动机控制中心等在内的机组电气系统。

(9) 一套机组独用的 Cummings 提供的 750kVA 紧急柴油发电机装置。

(10) 一套由 GE 供应的 500kV 线路保护和发电机保护系统。

#### 四、仪表控制和保护系统

##### 1. 仪表控制系统

以 Canada Bailey 提供的 N-90 分散式微机系统为机组仪表控制系统的主体，包括闭环控制、燃烧器管理、顺序控制和机组自启停控制系统、数据采集系统、运行人员操作站和工程师工作站等内容，它能通过专门接口同 Pro Control P 和 AV 6 连接，实现闭环或顺序控制、交换数据信息。

##### 2. ABB 提供的 Pro Control P 系统

(1) 汽轮机数字式电液控制系统，包括手动运行控制器 Turbo Trol51 (TT51)、主控制器 TurboTrol52 (TT52) 和

热应力控制器 Turbo Max 6 等内容。

(2) 给水泵汽轮机数字式控制系统 Turbo Turn, 包括自动启动、升速和停止以及参与锅炉给水控制等内容。

(3) 低压旁路的控制装置。

3. Sulzer 提供的数字式高压旁路控制系统 AV6

4. 机组联锁保护系统

(1) 由 N-90 实现的机组快速甩负荷 (FCB)、辅机故障减负荷 (RB)、迫升 (Run Up)、迫降 (Run Down) 和汽轮机防进水等保护功能, 以及与辅助设备联锁保护回路的联系。

(2) 由硬接线实现的主燃料切除 (MFT) 功能。

(3) 由 Pro Control K 实现的主汽轮机和给水泵汽轮机保护逻辑。

(4) 由 Bently 7200 实现的主汽轮机和给水泵汽轮机振动、差胀等保护。

补给水和凝结水处理系统全套由 Graver Water 提供, 自动控制系统为 Allen Bradley 的 AB-5 型。码头卸煤和输煤系统全套由原 Dravo 提供, 自动控制系统为 Gould 的 Modicon984 型。灰处理系统由 ABB-CE 提供, 它的自动控制系统为 Allen Bradley 的 AB-3 型。

# 第一章 超临界压力 600MW 机组 的启动、运行和停机

## 第一节 点火及升温升压

### 一、点火前

#### (一) 水洗

图 1-1 是机组的启动系统图。水洗在凝结水系统和锅炉给水系统两部分中进行。

#### 1. 凝结水系统水洗

凝结水系统水洗是除去凝汽器汽侧、热井、凝结水泵、凝结水管路、低压加热器水侧和除氧器内部的铁屑和杂质。

在初次启动时为了防止较多的垃圾进入凝结水泵而卡住，将凝结水泵进口滤网换用较细的网眼，原来设计为 0.1mm 的孔眼，由于太细，故改用 0.5mm 孔眼。水洗刚开始时，滤网要勤拆洗，对于 0.1mm 孔眼的滤网，几乎 0.5h 不到就完全堵塞甚至可使滤网变形破裂；两台凝结水泵必须交换开启，以防滤网破坏，杂质进入凝结水泵而振动或卡死。0.5mm 孔眼的滤网一般可以从 2h 一次，逐步根据滤网前后差压延长到每 8h 清理一次。

在这个时间里，利用旁路，暂不投凝结水除盐装置，除氧器直接排放。

当凝结水泵出口的凝结水质达到  $Fe < 500\mu g/L$ （一般在  $200 \sim 300\mu g/L$ ）、浊度为  $2mg/L$  左右时，除氧器可不再排放，



