

西安电力高等专科学校 编
大唐韩城第二发电有限责任公司



600MW火电机组培训教材

汽轮机分册

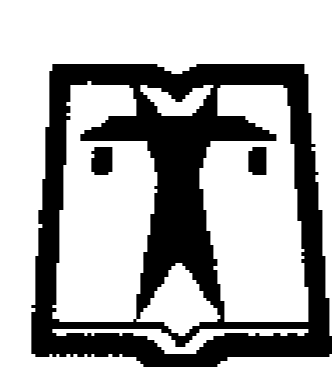


中国电力出版社
www.cepp.com.cn

600MW 火电机组培训教材

汽轮机分册

西安电力高等专科学校 编
大唐韩城第二发电有限责任公司



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本套《600MW 火电机组培训教材》是由西安电力高等专科学校和大唐韩城第二发电有限责任公司联合组织编写的。本分册是其中的《汽轮机分册》，全书共分为十章：汽轮机本体结构、凝汽设备、主机供油系统、汽轮机调节和保安系统、驱动给水泵的小汽轮机及其系统、热力系统及其设备、压缩空气系统、发电机冷却及密封油系统、600MW 机组汽轮机的运行、汽轮机常见的典型事故及处理。

本套教材以大唐韩城第二发电有限责任公司 600MW 机组的设备和控制系统为主，结合国内 600MW 机组的情况，以实用为出发点，突出 600MW 机组的设备、系统特点，注重基本理论与实践的结合，注重知识的深度与广度的结合，注重专业知识与操作技能的结合，可以作为 600MW 机组运行、检修人员、技术和管理人员的培训教材，还可以作为相关专业大、中专院校的教材和教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

600MW 火电机组培训教材. 汽轮机分册/西安电力高等专科学校, 大唐韩城第二发电有限责任公司编. —北京: 中国电力出版社, 2006

ISBN 7-5083-4120-1

I. 6... II. ①西...②大... III. ①火力发电—发电机—机组—技术培训—教材②火电厂—蒸汽透平—技术培训—教材 IV. TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 009255 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 5 月第一版 2006 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.125 印张 471 千字 2 插页

印数 0001—3500 册 定价 36.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《600MW 火电机组培训教材》

编委会

主任：张明 王元春

副主任：李新民 解建宝 张宝瑞 蔺昌宇 齐强

委员：孙文杰 冯宏涛 孙朝阳 何方 宁海琪

杨升军 刘佩芬 张建丁 赵丽 付妍玉

赵胜林 贾品丽 党争奎 穆顺勇 梁振武

杨曙光 田风 王军峰 王崇军

丛书主编：解建宝 蔺昌宇

丛书主审：李新民 齐强 宁海琪

《汽轮机分册》

主编：孙文杰

主审：付忠广

参编：冯永宁 李光炜 付妍玉

前 言

随着我国经济的快速发展,高参数、大容量、低能耗、小污染、高自动化程度的600MW机组将逐渐成为主力机组,近几年来,有一大批600MW机组相继投产,通过培训提高生产人员和技术人员的技术水平是确保机组安全、经济、可靠运行的基础。本套培训教材由西安电力高等专科学校和大唐韩城第二发电有限责任公司联合组织编写。本套教材共分为《锅炉分册》、《汽轮机分册》、《电气分册》、《仪控分册》、《集控分册》、《辅助系统分册》六个分册。

本套教材在西安电力高等专科学校张明教授和大唐韩城第二发电有限责任公司王元春高级工程师为主任的编委会的精心组织下,用两年多的时间,由具有丰富的大机组培训教学经验的教师和具有丰富生产实际经验的工程技术人员共同完成。内容以大唐韩城第二发电有限责任公司600MW机组的设备和控制系统为主,并结合国内600MW机组的情况,以实用为出发点,突出600MW机组的设备、系统特点,注重基本理论与实践的结合、注重知识的深度与广度的结合、注重专业知识与操作技能的结合,可以作为600MW机组运行、检修人员、技术和管理人员的培训教材,还可以作为相关专业大、中专院校的教材和教学参考书。

《汽轮机分册》为本套教材的一个分册。该分册主要是以大唐韩城第二发电有限责任公司600MW汽轮机的技术资料为基础、并考虑到一定的通用性而进行编写,主要讲述600MW汽轮机设备的结构、调节特性、汽轮机运行、事故处理等,全书共分十章:绪论,汽轮机本体结构,凝汽设备,主机供油系统,汽轮机调节和保安系统,驱动给水泵的小汽轮机及系统,热力系统及设备,压缩空气系统,发电机的冷却及密封系统,汽轮机运行,汽轮机常见的典型事故及处理等。

本分册由西安电力高等专科学校孙文杰担任主编,参加本分册编写的人员有:冯永宁(绪论、第一章和第二章);孙文杰(第三章、第四章、第五章、第七章、第八章);李光炜(第六章、第七章);付妍玉(第九章、第十章)。本分册由孙文杰进行统稿。

本分册由华北电力大学(北京)付忠广教授(博士)担任主审,西安电力高等专科学校齐强高级工程师及大唐韩城第二发电有限责任公司冯宏涛工程师、孙朝阳工程师参与了审稿,并提出了许多宝贵意见,最后由编审委员会集体定稿。

在本分册编写过程中,得到了大唐韩城第二发电有限责任公司赵胜林主任及党争奎、王润兴、段东平、杨宏彦、王辉等同志的大力支持、帮助及配合,在此一并表示衷心的感谢。

由于水平和条件所限,书中不妥之处,敬请读者指正。

编 者

2005年12月于西安

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

第一章 汽轮机本体结构

8

第一节 汽轮机的进汽部分	8
第二节 汽缸及滑销系统	14
第三节 隔板	23
第四节 转子及动叶	28
第五节 轴封及轴封系统	36
第六节 轴承	40
第七节 联轴器	46
第八节 盘车装置	49

第二章 凝汽设备

52

第一节 凝汽设备的任务及组成	52
第二节 凝汽器的类型及结构	53
第三节 凝汽器的热力特性	65
第四节 凝汽器的运行与维护	71

第三章 主机供油系统

76

第一节 概述	76
第二节 润滑油系统	78
第三节 润滑油净化系统	86
第四节 液压油系统	91

第四章 汽轮机调节和保安系统

99

第一节 汽轮机调节系统概述	99
第二节 汽轮机的数字电液调节系统 (DEH)	104
第三节 汽轮机电液调节系统中的主要部件及控制盘	119
第四节 DEH 液压调节系统	133
第五节 汽轮机的保安系统	141

第五章 驱动给水泵的小汽轮机及其系统

147

第一节 概述	147
第二节 小汽轮机的结构	149
第三节 小汽轮机的热力系统	159
第四节 小汽轮机的润滑油系统	161
第五节 小汽轮机的调节保安系统	166

第六节	小汽轮机的运行	177
第六章	热力系统及其设备	181
第一节	主蒸汽、再热蒸汽系统	181
第二节	旁路系统	183
第三节	轴封蒸汽系统	186
第四节	辅助蒸汽系统	188
第五节	回热抽汽加热系统及其设备	189
第六节	给水除氧系统及其设备	199
第七节	真空抽气系统	204
第八节	凝结水系统及其设备	206
第九节	给水系统及其设备	209
第十节	循环水系统	219
第七章	压缩空气系统	225
第一节	系统概述	225
第二节	空压机的结构及运行	226
第三节	储气罐和干燥器	231
第八章	发电机冷却及密封油系统	234
第一节	发电机氢气冷却系统	234
第二节	发电机密封油系统	241
第三节	发电机定子冷却水系统	245
第九章	600MW 机组汽轮机的运行	250
第一节	汽轮机的热应力、热膨胀、热变形	250
第二节	汽轮机的启动	260
第三节	汽轮机的正常停机	272
第四节	汽轮机的正常运行维护	277
第十章	汽轮机常见的典型事故及处理	286
第一节	事故处理原则	286
第二节	汽轮机严重超速	288
第三节	水冲击	289
第四节	汽轮发电机组振动大	292
第五节	轴承温度高	293
第六节	轴向位移异常	295
第七节	汽轮机绝对膨胀及高、低压胀差异常	295
第八节	主机润滑油系统故障	296
第九节	主机 EHC 油系统故障	297
第十节	凝汽器真空下降	298
	参考文献	300

绪 论

一、大唐韩城第二发电有限责任公司 600MW 汽轮机的整体概述

大唐韩城第二发电有限责任公司（简称韩城第二发电厂）一期工程为 $2 \times 600\text{MW}$ 机组，主汽轮机的型号为 TC4F-42。其中，T——Tandem，指串联单轴；C——Condensing，指凝汽式；4F——FourFlows，指四个排汽口；42——指末级叶片长度为 42in (1066.8mm)。该两台汽轮机的型式都是亚临界、单轴、四缸四排汽、一次中间再热、冲动、双背压凝汽式，由日本东芝公司京滨事务所分别于 2003 年和 2004 年制造。

汽轮机由高、中压缸和低压缸 A、B 四个汽缸组成，高压缸为单流式，中、低压缸都采用分流式，以缩短机组轴向尺寸，控制末级叶片长度和减小转子轴向推力。四个汽缸均采用了内、外双层缸结构，高、中压缸采用双层结构可以减小汽缸的热应力，提高机组对负荷变化的适应性，低压缸采用双层结构可以减小外缸的热膨胀量并有利于排汽的径向扩压。高、中压内、外缸均为 Cr-Mo-V 铸钢件，低压缸的内、外缸为碳钢板焊接件，各汽缸均为水平中分面结构，高、中压缸用双头螺栓将上、下两个汽缸连接。高、中压缸均采用猫爪支承方式，两个低压缸利用外下缸的机脚坐落在四周布置的台板上。

汽轮机的高、中、低压转子全部为整锻式转子，各段转子之间均采用刚性联轴器连接。每段转子都有两个轴承支撑，其中，高、中压转子的四个轴承分别位于前轴承座、中轴承座和 3 号轴承座内，这三个轴承座为直接落地式。低压转子的四个轴承分别位于低压缸 A 和低压缸 B 两端的轴承座内，这四个轴承座与低压外下缸焊接成一体并与低压缸一起坐落在底部的台板上。汽轮机布置在标高为 13.8m 的运转层，其整体结构如图 0-1 所示。

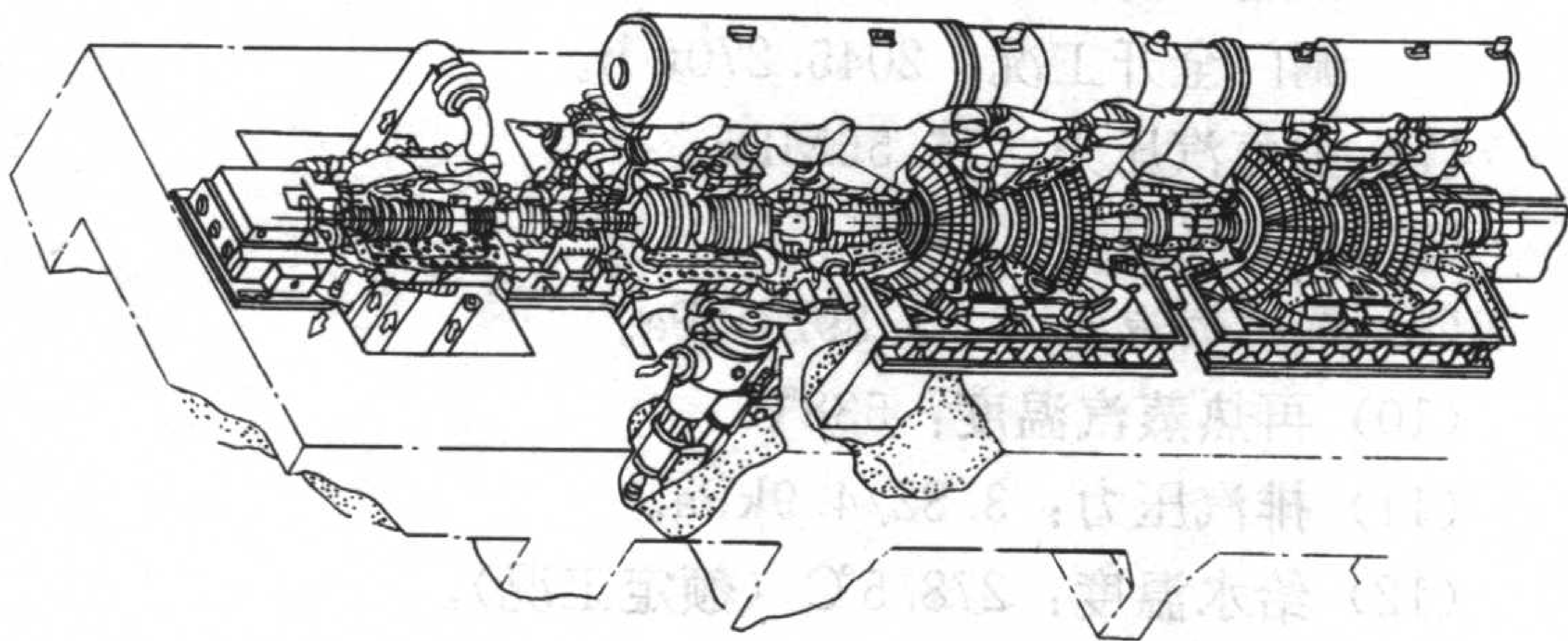


图 0-1 TC4F-42 型汽轮机结构图

TC4F-42 型汽轮机通流部分的级数有两种。一种是东芝公司 2000 年以前的产品，全机共有 40 个级，安装在我国北仑电厂的汽轮机就属于这一种。另一种是东芝公司 2000 年以后生产的，全机共有 46 个级，即在中、低压缸的每个流向上都增加了一个级，大唐韩城第二发电有限责任公司一期工程的两台汽轮机就是这一种。各汽缸级数的分布为：高压缸 1+7 级，中压缸 7×2 级，低压缸 $6 \times 2 \times 2$ 级，图 0-2（见文后插页）是该汽轮机的纵向剖面图。

汽轮机正常运行采用喷嘴调节方式，在高压内缸的前端布置有调节级的喷嘴蒸汽室，沿圆周分为 4 个喷嘴组，4 个高压调节汽阀各控制一个喷嘴组的进汽。

汽轮机设有 2 个高压自动主汽阀，2 个主汽阀的出口与 4 个调节汽阀的进口对接焊成一体，4 个调节汽阀共用一个壳体，这些阀门均采用立式结构由吊架支撑，布置在前轴承箱前方的运行层之下。中压缸的进汽设有 2 只中压联合汽门，每只联合汽门由一个中压主汽阀和

一个中压调节阀组成，也是立式结构，2 只中压联合汽门布置在中压缸中间进汽部位的左右两侧。

全机共有 8 级回热抽汽，分别抽至 3 个高压加热器、1 个除氧器和 4 个低压加热器。驱动两台汽动给水泵小汽轮机的汽源为第 5 级抽汽（中压缸排汽），在机组低负荷运行时，自动切换为冷段再热蒸汽供汽，两台小汽轮机的排汽分别排入主机的高、低压凝汽器。

机组的主蒸汽管道采用了“2—1—2”的布置方式，即从锅炉左右两侧的过热器出口联箱分别引出 $\phi 615.57 \times 92.57\text{mm}$ 的主汽管，汇成一根 $\phi 715.82 \times 107.57\text{mm}$ 的总管之后进入汽机房运转层的下部，然后分成两根 $\phi 465 \times 70.6\text{mm}$ 的主汽管分别接至两个主汽阀。这种布置方法，目的在于均衡进入汽轮机的蒸汽温度并节约管材。再热蒸汽的冷、热汽管也都采用了“2—1—2”的布置方式。本机蒸汽旁路系统的容量为锅炉最大连续蒸发量的 30%，型式为高、低压串联的两级旁路系统，其中，高压旁路旁通高压缸，低压旁路旁通中、低压缸，通过低压旁路的蒸汽分别排入高、低压凝汽器。本机的原则性热力系统如图 0-3 所示。

二、TC4F-42 汽轮机的主要技术规范及保证值

- (1) 型号：TC4F-42。
- (2) 型式：亚临界、单轴、冲动、四缸四排汽、一次中间再热、双背压凝汽式。
- (3) 额定功率：600 MW（铭牌工况 TRL）。
- (4) 最大连续功率：643.6MW。
- (5) 调门全开工况：665.4MW。
- (6) 主蒸汽流量：
额定工况：1947.875t/h；
调门全开工况：2045.270t/h。
- (7) 主蒸汽压力：16.56MPa。
- (8) 主蒸汽温度：538℃。
- (9) 再热蒸汽压力：3.392 MPa。
- (10) 再热蒸汽温度：538℃。
- (11) 排汽压力：3.82/4.9kPa。
- (12) 给水温度：278.5℃（额定工况）。
- (13) 保证热耗率：
额定工况：8246kJ/（kWh）；
保证工况：7768 kJ/（kWh）。
- (14) 汽轮机级数：46；
高压缸：1 单列调节级+7 个压力级；
中压缸：2×7 个压力级；
低压缸：2×2×6 个压力级。
- (15) 调节方式：喷嘴调节。
- (16) 回热抽汽级数：八级（四台低压加热器，一台除氧器，三台高压加热器）。
- (17) 工作转速：3000r/min。
- (18) 转动方向：逆时针（从机头向发动机方向看）。
- (19) 盘车转速：4.4 r/min。

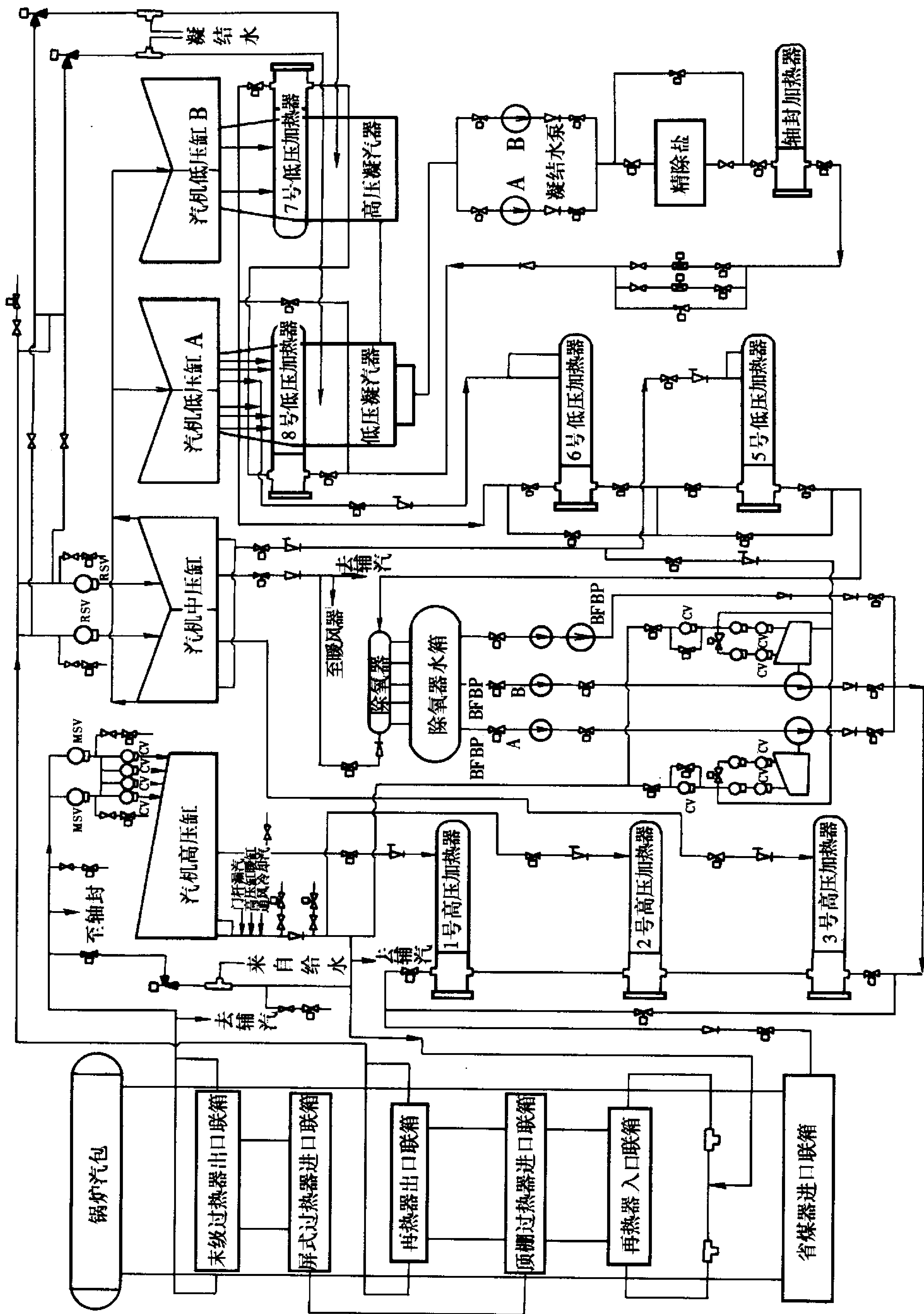


图 0-3 原则性热力系统图

- (20) 末级叶片高度：42in (1066.8mm)。
- (21) 允许频率变化范围：48.5~50.5Hz。
- (22) 汽机总长：34.058m。
- (23) 制造厂：日本东芝公司。

三、我国电站 600MW 机组的情况简介

从 20 世纪 60~90 年代的 30 年间，电站汽轮机产品在单机功率和蒸汽初参数上都没有重大的突破，只是在产品的可靠性、机动性、控制水平和经济性等方面有所进展。

为了进一步降低机组单位功率的重量，提高机组的内效率，有的制造厂正在研制更高参数的大型机组。如日本川越电站 700MW 燃用天然气的超临界压力机组，其初参数压力为 31.6MPa、温度为 566/566℃，汽轮机的设计热耗为 7461kJ/ (kWh)，汽轮机组热循环效率为 48.26%。

我国最大的汽轮机制造厂——哈尔滨汽轮机厂，生产的 600MW 机组，其设计热耗为 7829kJ / (kWh)，接近世界最先进水平。该厂已投运的合金钢长叶片为 1000mm，已研制的钛合金叶片系列有 700、1000、1200mm；正在设计制造的单机功率有 800、1000MW。

各国电站汽轮机组典型产品的经济技术水平如表 0-1 所列。

我国电站自 20 世纪 80 年代以来开始装备 600MW 等级的汽轮发电机组，这些机组的基本特点参见表 0-2。图 0-4 为哈尔滨第三电厂 600MW 汽轮机的总体结构图。

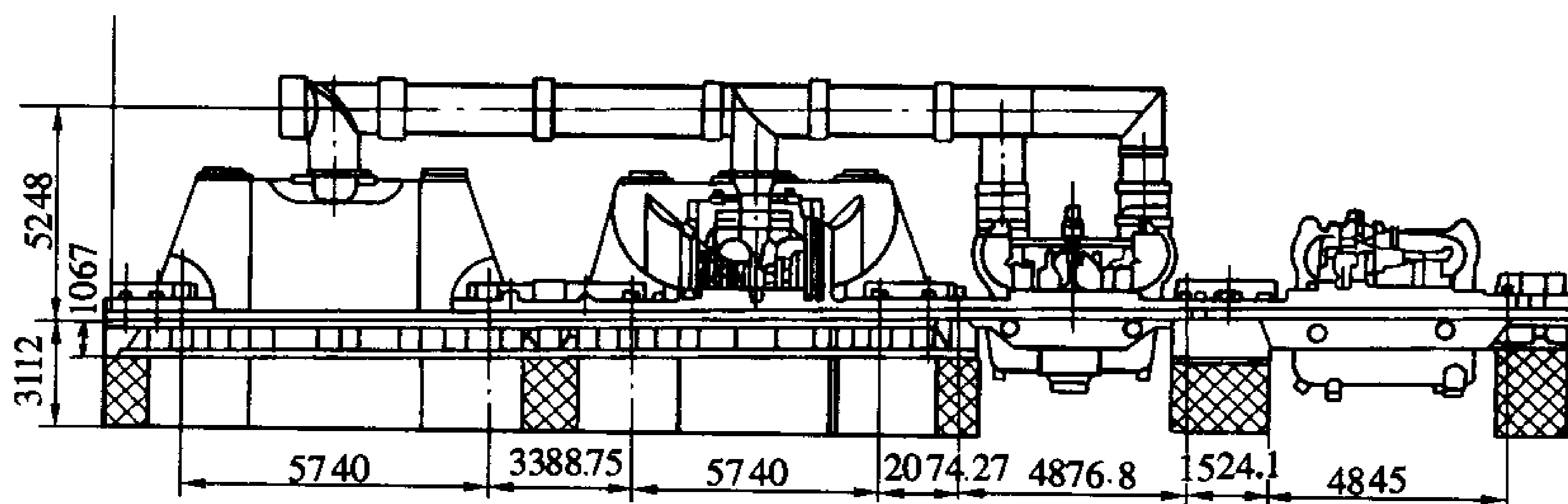


图 0-4 哈尔滨第三电厂 600MW 汽轮机 (哈尔滨汽轮机厂制造)

从表 0-1 和表 0-2 中可以看出，国内外 600MW 等级汽轮机组的总体结构状态和主要的技术经济指标。在通流部分的结构方面，冲动式和反动式的优点得到了很好的应用；蒸汽参数多采用以亚临界压力 16~19MPa、温度 530~566℃ 的参数，且以 16.6~16.7MPa、540℃ 最为普遍，而采用超临界压力的蒸汽压力约为 24MPa、温度 536~566℃。

表 0-1 各国电站汽轮机组典型产品的经济技术水平

制造厂 (所在国)	功率 (MW)	转速 (r/min)	蒸汽参数		末级叶片高 (mm) ×排汽门数	可用率 (%)	负荷 方式	设计热耗 [kJ/ (kWh)]
			压力 (MPa)	温度 (°C)				
哈尔滨汽轮机厂	600	3000	16.7/3.2	537/537	1000×4		基本	7835.6
东方汽轮机厂	600	3000	16.7/3.36	538/538	1016×4		基本	7888
上海汽轮机厂	600	3000	16.7/3.2	538/538	869×4		基本	7901
JLM3 (俄罗斯)	800	3000	23.5/3.75	540/540	960×6	98	基本	7708
XT3 (俄罗斯)	500	3000	23.5/3.75	540/540	1050×4	97	基本	7712

续表

制造厂 (所在国)	功率 (MW)	转速 (r/min)	蒸汽参数		末级叶片高 (mm) ×排汽门数	可用率 (%)	负荷 方式	设计热耗 [kJ/ (kWh)]
			压力 (MPa)	温度 (°C)				
GE公司 (美国)	600	3000	17/3.5	538/538	851×4	91.5	调峰	8441
WH公司 (美国)	600	3000	16.7/3.36	537/537	869×4	89.5	两班	8005
KWU公司 (德国)	785	3000	18.6	525/525	875×4	96	调峰	7997
ABB公司 (瑞士)	600	3000	24.2/4.34	536/566	867×4	91.7	基本	7648
Alsthom (法国)	600	3000	16.7/3.62	537/537	1072×4		基本	7790
GEC公司 (英国)	660	3000	16.3	538/538	945×4		两班	7955
Parsons (英国)	600	3000	16.7/3.49	537/537	965×4		基本	7878
斯柯达 (捷克)	500	3000	16.2	535/535	1050×4		基本	7942
日立 (日本)	600	3000	16.7/3.61	538/538	1016×4		基本	7888
东芝 (日本)	700	3000	24.1	538/538	851×4		调峰	7909
三菱 (日本)	600	3000	16.6/3.24	537/537	1016×4		调峰	7878

表 0-2 我国电站典型 600MW 等级汽轮发电机组的基本特点

序号	电厂名称		平圩电厂	石洞口二厂	北仑港电厂 (1号)	北仑港电厂 (2号)	邹县电厂	
	制造厂 名称		哈尔滨汽轮机厂 (WH技术)	瑞士 ABB 公司	日本东芝公司	法国 Alsthom 公司	东方汽轮机厂 (日立技术)	
1	型号		N600-16.7/ 537/537	D4Y454	TC4F-33.5	T. 2. A. 650. 30.4.46	DH-600-40-T	
2	型式		亚临界压力、 一次中间再热、 四缸四排汽反 动凝汽式	超临界压力、 一次中间再热、 四缸四排汽反 动凝汽式	亚临界压力、 一次中间再热、 四缸四排汽冲 动凝汽式	亚临界压力、 一次中间再热、 四缸四排汽冲 动凝汽式	亚临界压力、 一次中间再热、 三缸四排汽冲 动凝汽式	
3	额定功率 (MW)		600	600	600	600	600	
4	最大连续功率 (MW)		618	645	656.6	661.03	658	
5	主要 参数	主 蒸 汽	流量 (t/h)	1815	1844.2	1794.5	1747.1	1810
			压力 (MPa)	16.57	24.2	16.56	16.66	16.7
			温度 (°C)	537	538	537	537	538
		再 热 蒸 汽	流量 (t/h)	1496	1568.9	1517.3	1525.5	1517.4
			压力 (MPa)	3.36	4.34	3.6	3.62	3.61
			温度 (°C)	537	566	537	537	538
		排汽压力 (kPa)		4.1/5.7	4.9	4.57/5.69	4.04/5.25	4.4/5.4
		冷却水温 (°C)		20	20	20	20	20
给水温度 (°C)		273	285.5	272.5	269.1	271.5		
6	回热抽汽级数		8	8	8	8	8	
7	保证热耗 [kJ/ (kWh)]		8005	7647.6	7871.6	7790	7888	

续表

序号	电厂名称		平圩电厂	石洞口二厂	北仑港电厂 (1号)	北仑港电厂 (2号)	邹县电厂
	制造厂 名称		哈尔滨汽轮机厂 (WH技术)	瑞士 ABB 公司	日本东芝公司	法国 Alsthom 公司	东方汽轮机厂 (日立技术)
8	汽轮机内效率	高压缸	88.78	88.46	87.10	89.39	
		中压缸	92.52	93.55	95.64	94.34	
		低压缸 A	87.91	85.36	85.35	85.92	
		低压缸 B (%)	90.33	90.46	89.32	87.85	
9	启动方式		高压缸 (可中压缸)	高压缸	高压缸	中压缸	中压缸 (可高中压缸)
10	汽轮机级数	高压缸	单列调节级+ 10级反动级	单列调节级+ 21级反动级	单列调节级+ 7级压力级	单列调节级+ 8级压力级	单列调节级+ 6级压力级
		中压缸	2×9级 反动级	2×17级 反动级	2×6级 压力级	9个压力级	5个压力级
		低压缸	2×2×7级 反动级	2×2×5级 反动级	2×2×5级 压力级	2×2×5级 压力级	2×2×7级 压力级
		合计	57级	76级	40级	38级	40级
11	转子结构		高、中、低 压转子均为整 锻转子,有中 心孔	高、中、低 压转子均为组 焊转子,无中 心孔	高、中、低 压转子均为整 锻转子,无中 心孔	高、中、低 压转子均为整 锻转子,无中 心孔	高、中、低 压转子均为整 锻转子,无中 心孔
12	汽轮机总长 (m)		31.592	25.00	29.27	28.91	27.24

对于汽轮机组的热耗,亚临界压力机组约为 7790~8000kJ/(kWh) [GE 公司的 600MW 调峰机组热耗为 8441kJ/(kWh)],超临界压力机组约为 7650~7910kJ/(kWh)。

汽轮机末级叶片长度对机组的功率和效率有明显的影响。目前用于 3000r/min 的 600MW 等级机组的合金钢末级叶片长度约为 787~1072mm;已研制成功的钛合金叶片长度有 700、900、1000、1200、1300mm,长度为 1500mm 的钛合金叶片正在研制之中。我国早期安装的 600MW 等级汽轮机组的末级叶片长度为 850~900mm,近期安装的机组末级叶片长度为 1000~1072mm。

在汽轮机组的总体结构方面,600MW 等级机组多数采用四缸四排汽的形式,即高压缸、中压缸(单流程、双流程均有采用)、两个双流程低压缸。也有采用高、中压缸合缸的结构,构成三缸四排汽的总体结构,其好处是使机组更加紧凑。但由于合缸高中压缸尺寸较大,热惯性大,有可能造成调峰性能较差。这种结构形式的中压缸级数较少,有可能限制中压缸效率的提高。

600MW 等级机组的高、中、低压缸采用双层(内、外)缸形式。高、中压缸由铸造制成,低压缸多数为焊接结构。绝大多数制造厂的汽缸采用带法兰的水平中分面。由 ABB 公司制造的上海石洞口二电厂超临界压力 600MW 机组,其高压内缸的中分面没有法兰,而是用 7 只钢套环将内缸上、下半紧箍成一个圆筒体,且内缸中分面与水平面成 50° 夹角。现代 600MW 等级汽轮机汽缸采用窄法兰,不设法兰螺栓加热装置,运行、检修较为方便。采用双层缸结构,汽缸壁可以较薄,有利于降低启动、停机过程的热应力。

600MW 等级机组的汽轮机转子,绝大多数制造厂采用整锻转子或焊接转子,只有俄罗

斯和日本的三菱公司还有套装转子。现在制造的整锻转子大多数没有中心孔。

汽轮机转子的支承方式，有采用两根转子四个轴承和两根转子三个轴承两种基本形式（即四支承和三支承）。中国、俄罗斯、美国的 GE 公司和 WH 公司、法国 Alsthom、英国 GEC 公司、日本等多数采用每根转子由两个轴承支承。瑞士的 ABB 公司和德国的 KWU 公司在两根转子中间只用一个轴承，组成单支点轴系。

支持轴承的形式，中国的哈尔滨汽轮机厂和上海汽轮机厂、美国的 GE 公司和 WH 公司、日本的三菱和东芝公司，对承受负荷不很重的轴承（如高中压转子和第一根低压转子），采用可倾瓦轴承，对承受负荷很重的轴承（如第二根低压转子和发电机转子），则采用圆筒形轴承，轴系的稳定性较好。中国的东方汽轮机厂、俄罗斯、日本的日立公司，对负荷不很重的轴承，采用可倾瓦轴承，对承受负荷很重的轴承，采用椭圆形轴承，瑞士的 ABB 公司采用类似于椭圆形轴承的改良型袋式轴承。

汽轮发电机轴系的盘车，多数采用低速盘车方式。在重载轴承处，有用顶轴油设施和不用顶轴油设施两种形式。

为了提高大型汽轮机组的经济性和可靠性，各制造厂正在对大型汽轮机从参数、单机功率、控制水平、安全设施等方面进行不懈的努力。

美国的西屋公司正在研制 800MW、31.0MPa、593/566/566℃ 的超临界压力两次再热汽轮机组。在煤、水耗量不变的条件下，效率和功率各提高 10%，厂用电降低 4%，在整个机组寿命期内估计可节约 1.4 亿美元。

俄罗斯正在研制 23.5MPa、585/585℃ 和 31.5MPa、650/570℃ 的 800~1000MW 和 2000MW 的电站汽轮机。

瑞士正在研制 1600MW、26.0MPa、538/552/565℃ 两次再热汽轮机。

这些努力的主要目的是提高机组的经济性和可靠性。如西欧、俄罗斯和日本各公司都制定了电站汽轮机的可靠性指标：可用率不得低于 0.97，大修间隔不得小于 4 年，无事故累计运行时间不得少于 5000h，使用寿命不得少于 30 年。俄罗斯国家标准规定超临界压力参数汽轮机组的热耗率，300MW 机组为 7725kJ/(kWh)，500~800MW 机组为 7641kJ/(kWh)。

目前各国公司正在积极采取措施来达到或超过上述指标。

采用燃气—蒸汽联合循环电站是提高电站热效率的另一重要途径。如浙江镇海 300MW 的燃气—蒸汽联合循环电站，采用了两台 100MW 等级燃气轮机和一台 100MW 等级的汽轮机，电站的热效率达到 47.8%。

第一章 汽轮机本体结构

汽轮机本体由静止和转动两大部分组成，静止部分有汽缸、喷嘴、隔板、汽封和轴承等部件；转动部分又称转子，它包括主轴、叶轮、动叶片、联轴器和其他转动部件。本章以 TC4F 型 600MW 汽轮机为主，介绍其本体主要部件的作用、结构特点和基本工作原理，对其他冲动式汽轮机也具有借鉴意义。

第一节

汽轮机的进汽部分

汽轮机的进汽部分是指从进汽阀门至汽缸内的喷嘴蒸汽室这一段，它包括调节汽阀蒸汽室、阀门、导汽管等，对中间再热式汽轮机有高压进汽部分和中压进汽部分。

一、高压进汽部分

(一) 布置方式

进汽部分的结构及其布置方式对汽轮机来说是至关重要的，因为它是汽轮机中承受压力、温度最高的部分，在结构上应力求使汽缸的进汽部分简单、对称，沿圆周受热均匀。在布置方式上，要保证进汽阀门和导汽管在任何工况下的热应力和热变形都在允许的范围，对所连接的汽缸应不产生超过允许值的附加热应力及推力。

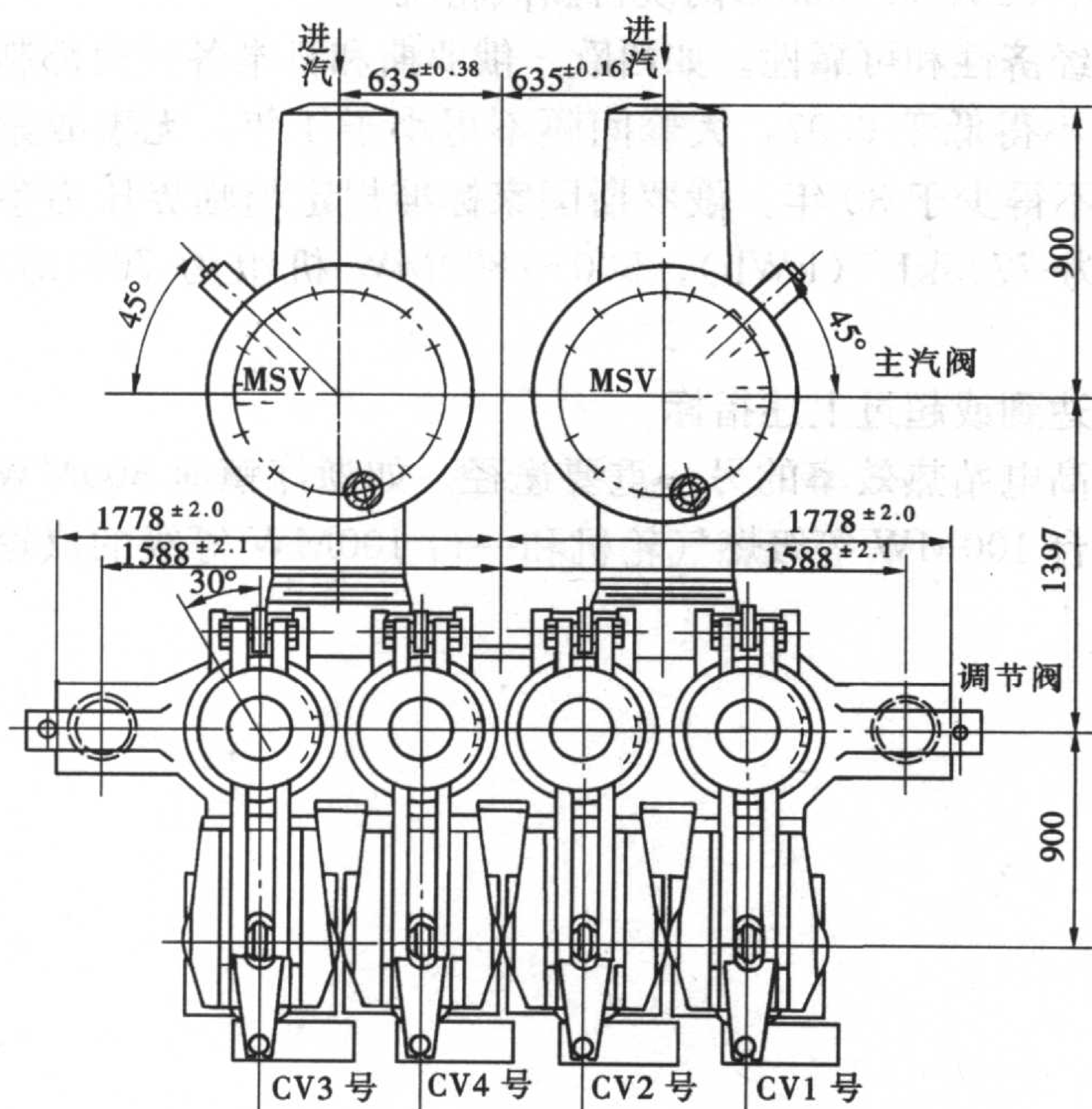


图 1-1 高压主汽阀、调节汽阀布置
MSV—高压主汽阀；CV—高压调节汽阀

TC4F 型汽轮机高压进汽部分的布置有一定的特色。该机有 2 个主汽阀和 4 个调节汽阀，阀门都采用立式结构，4 个调节汽阀合用一个壳体，2 个主汽阀的出口与 4 个调节汽阀的进口对接焊成一个整体，用吊架支撑，布置在前轴承座前方的运行层之下。阀门的布置如图 1-1 所示。

主蒸汽经 2 个主汽阀和 4 个调节汽阀后，由 4 根高压导汽管引入高压缸。4 根高压导汽管的一端与高压调节汽阀的出口焊接，另一端则分别采用法兰、螺栓与高压外上缸的 2 根进汽短管的垂直法兰相连接和采用焊接的方式与高压外下缸的 2 根进汽短管连接。因导汽管具有一定的弯曲形状，这就使它与汽缸之间的连接成为柔性连接，工况变化时能有效地减小

进汽管道对汽缸的推力。因大机组高压缸都是双层结构，进汽管要先穿过外缸再穿入内缸接至喷嘴蒸汽室，考虑到温度和材质的不同，运行时内、外缸之间有相对膨胀，因此进汽管就不能与内、外缸同时固定在一起，而必须是一端做成刚性连接，另一端做成活动连接，并要求进汽管在穿过内、外缸时，既要保证良好的密封性，又要保证内、外缸之间能自由膨胀。因此，高压调节汽阀后的导汽管与汽缸内的喷嘴蒸汽室入口之间要设置一根特殊结构的进汽短管，目前国内外大型机组多采用滑动密封式的双层进汽短管。该机高压缸上的4根进汽短管也有特色，四根进汽短管以其钟罩形结构扣在高压外缸的进汽口上（上、下缸各两个），并与外缸焊接为一体。外缸与内缸的进汽口之间、内缸与喷嘴蒸汽室的进汽口之间也都采用了钟罩形结构，即外层扣内层，一层扣一层，在它们之间设有密封环密封。这样，既不妨碍内、外缸之间的相对膨胀，又保证了进汽部分的密封性能。

高压缸共有4个喷嘴蒸汽室（喷嘴组），它们对称地布置于高压缸的上、下汽缸，使汽缸受热均匀。进汽部分的结构见图1-2。

该机组进汽部分布置方式的优点是显而易见的，它在注意满足性能的前提下，做到了结构紧凑、整齐美观，汽轮机运行层显得宽阔、畅通。

（二）高压主汽阀和调节汽阀

1. 高压主汽阀

大型机组为减小流动损失，在主汽阀前边的蒸汽管道上不再装设电动主汽阀及其他阀门，因此主汽阀就是汽轮机进汽的总阀门。主汽阀打开，汽轮机就有了汽源，有了驱动力；主汽阀关闭，汽轮机就被切断了汽源，失去了驱动力。

汽轮机正常运行时，主汽阀全开；汽轮机停机时，主汽阀关闭。主汽阀的主要功能是，运行中当汽轮机的任一遮断型保护装置动作时，主汽阀应能快速关闭，实现停机。

主汽阀的关闭速度主要由其控制系统的性能所决定。对于600MW等级的汽轮机，要求主汽阀完成关闭动作的时间小于0.2s。

在汽轮机中，主汽阀处于最高的压力、温度区域。为了在高温条件下可靠地承受甚高的压力，其构件必须采用热强钢，阀壳也做得比较厚。为了避免产生太大的热应力，阀壳各处厚度应尽量均匀，阀壳外壁面必须予以良好的保温，阀腔内应采取良好的疏水措施，并在运行时注意疏水通道的畅通。在启动、负荷变化或停机过程中，应注意主汽阀避免发生热冲击（汽流与金属表面相对速度较高且温差大于 100°C ），以免金属表面产生热应力疲劳裂纹。注意尽可能不采用“甩负荷带厂用电”或“甩负荷维持空转”的运行方式。

急剧的温度变化，对主汽阀上螺栓的危害也是很严重的。这些螺栓在高温环境中承受着极大的拉伸应力，产生缓慢的蠕变，其材料随之逐渐硬化、韧性降低、脆性逐渐明显；温度急剧变化所产生的热交变应力，将会使其产生热疲劳裂纹。螺栓工作的时间越长，蠕变就越

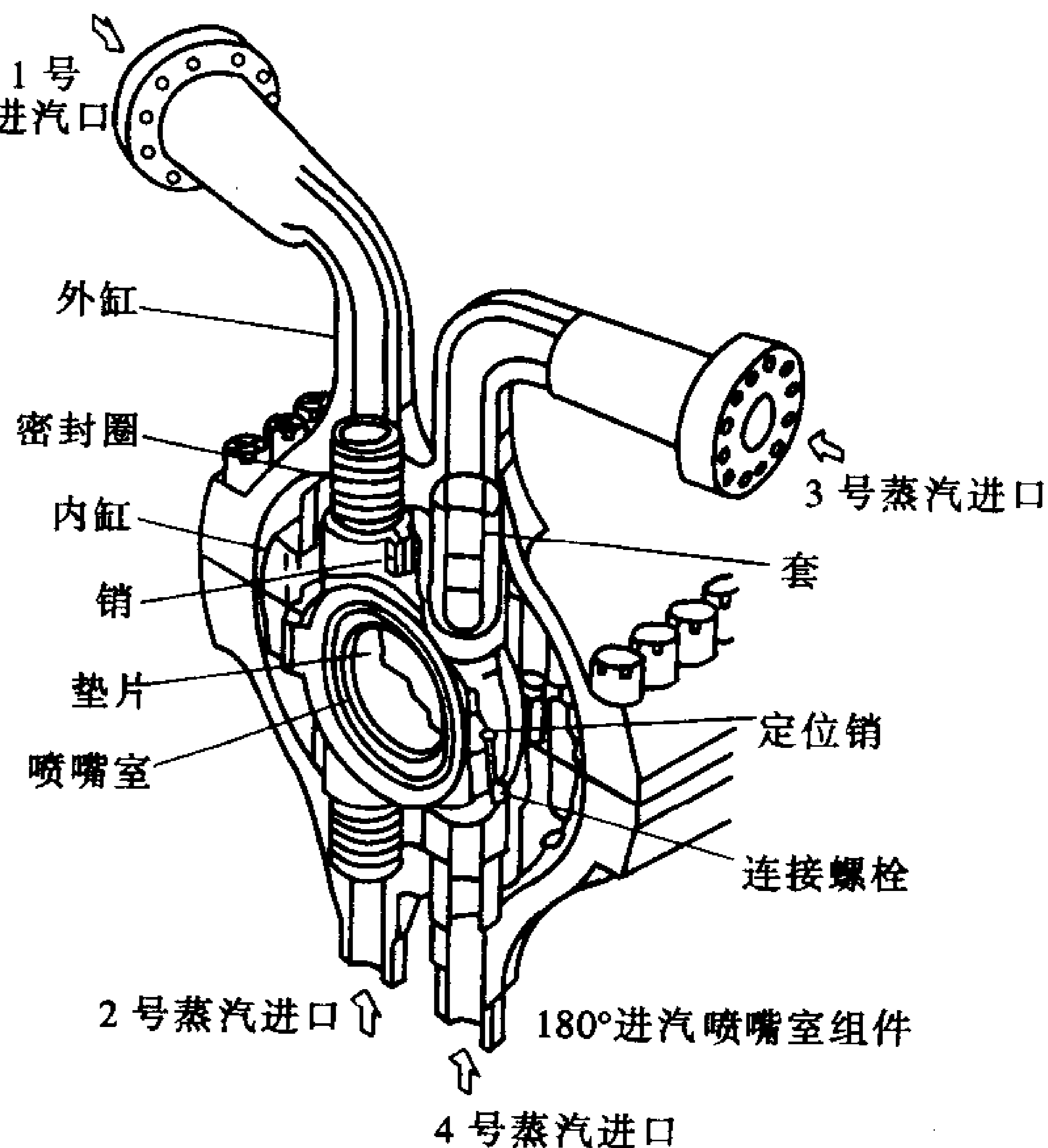


图 1-2 高压缸进汽部分

大，材料就越脆，就越容易在热交变应力的作用下产生裂纹，甚至断裂。

此外，急剧的温度变化，将使阀盖与阀壳之间产生明显的膨胀差，致使螺栓的受力面倾斜，螺栓发生弯曲，从而在已承受极大拉伸应力的螺栓上又增加了弯应力；急剧的温度变化，还造成阀盖内外表面很大温差，阀盖产生凹、凸变化，又增加了螺栓的弯应力。这种交变的弯应力和热应力，将导致螺栓很快产生裂纹，甚至折断。因此，对螺栓应当有计划地进行检查。对于工作期在 60000h 以内的，硬度不合格、有裂纹的个别螺栓，应更换新的；对于工作期在 60000h 以上的，硬度不合格、有裂纹的该批（组）螺栓，应整批（组）更换新的。

上述对主汽阀上螺栓的讨论，也适用于调节汽阀及高、中压汽缸的法兰螺栓。

阀杆在工作过程中，将承受很大的冲击力，阀杆应选用冲击韧性良好的热强钢，而且其截面尺寸的选取应保证能承受这种冲击力，应避免阀杆截面尺寸的突变，尽量避免应力集中。由于密封的要求，阀杆与套筒之间的间隙比较小，因此要求阀杆、套筒配合表面平直，并予以硬化处理（如氮化处理）或涂、敷耐磨金属层，还要注意防腐，以保证其光滑耐磨。

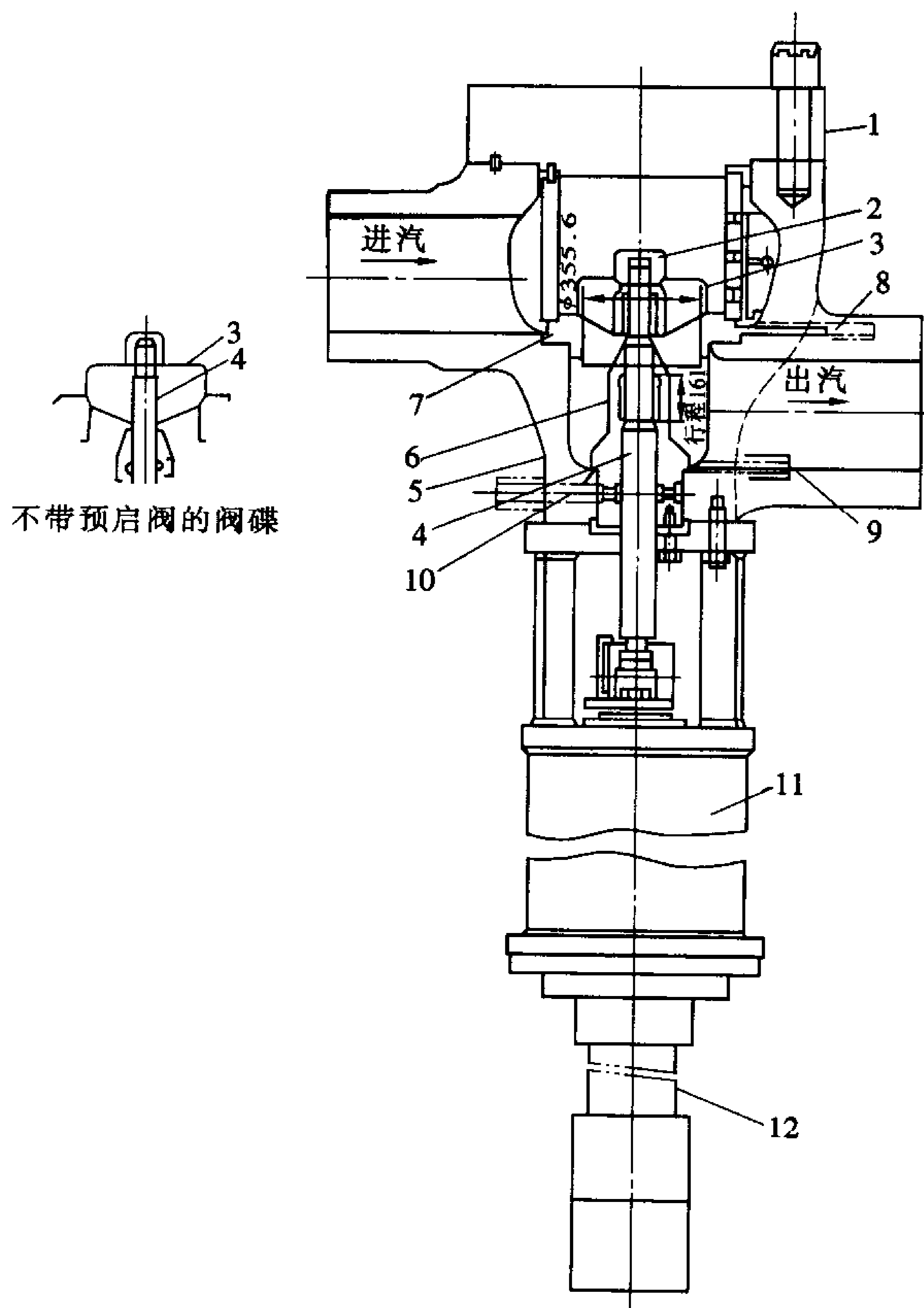


图 1-3 高压主汽阀结构示意图

1—阀盖；2—预启阀；3—阀碟；4—阀杆；5—阀壳；6—阀杆套筒；7—阀座；8—阀座前疏水；9—阀座后疏水；10—阀杆漏汽；11—弹簧室；12—油动机

图 1-3 是 TC4F 型 600MW 汽轮机的高压主汽阀结构图。该阀为立式结构，主要包括阀壳、阀座、阀碟（其中右侧高压主汽阀阀碟内装有预启阀）、阀杆、阀杆套筒、阀盖、蒸汽滤网等部件。该高压主汽阀为单座球形阀。其中一个主汽阀（右侧）的主阀碟 3 上钻有通孔，阀杆 4 端部从孔中穿过，预启阀 2 置于阀杆的端部，并采用螺纹、定位销与阀杆连成一体。预启阀与主阀碟的密封面呈圆锥形，并经过淬硬处理；主阀碟与阀座的密封面也经过硬化处理。主阀碟开启时，由阀杆上的凸肩推动向上移动，关闭时由预启阀向下压紧。为了防止阀碟转动，在阀碟内孔的两侧开有导向槽，而一个横穿阀杆的销子两端则嵌入该槽内，阀碟与阀盖之间有一定的自由度，这样既为阀碟的上下移动起导向作用，又能使阀碟在阀座上找中，防止阀碟转动。主阀碟下的阀座成扩展形状，作为主阀碟下游的扩压段。不带预启阀的阀碟则通过阀杆的凸肩与阀杆端部的螺母（另加定位销）直接紧密地连成一体。

主汽阀开启时用油动机 12 推动，关闭时由弹簧室 11 内的弹簧压下。油动机按控制系统的指令对主汽阀实施控制。

机组启动时，先开预启阀，主蒸汽通过主阀碟上的通孔（即预启阀的通道）流入该高