

300MW 热电联产机组技术丛书

汽轮机及辅助设备

国电太原第一热电厂 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

TM311

9

300MW热电联产机组技术丛书

汽轮机及辅助设备

国电太原第一热电厂 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是300MW热电联产机组技术丛书之一，丛书分锅炉及辅助设备、汽轮机及辅助设备、发电机及电气设备三册，介绍了我国300MW热电联产机组的相关技术。本书为汽轮机及辅助设备分册，分十二章介绍了汽轮机本体结构、调节系统、热力系统、热网系统等设备及系统构成特点，详细讲解了汽轮机启动、停运、运行调整、运行维护、汽轮机振动、汽轮机热变形以及汽轮机典型事故及其预防等技术要点。

本书适用于汽轮机专业人员的培训，也可供与汽轮机专业相关的其他人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮机及辅助设备/国电太原第一热电厂编著. —北京:
中国电力出版社, 2005

(300MW 热电联产机组技术丛书)

ISBN 7 - 5083 - 3006 - 4

I. 汽... II. 国... III. ①火电厂 - 蒸汽透平②火
电厂 - 蒸汽透平 - 附属装置 IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 108446 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

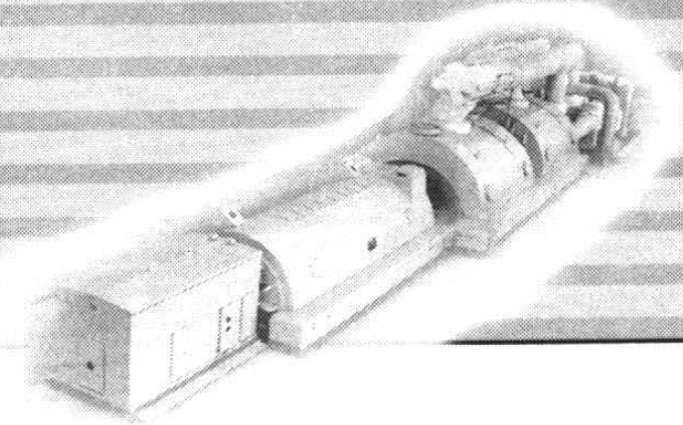
2006年1月第一版 2006年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 22.625印张 571千字 1插页

印数 0001—3000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)



编委会

编写顾问 魏建朝 任晓林

编委主任 周茂德

编委成员 姚泽民 柴吉文 李朝平 赵富春 裴志伟

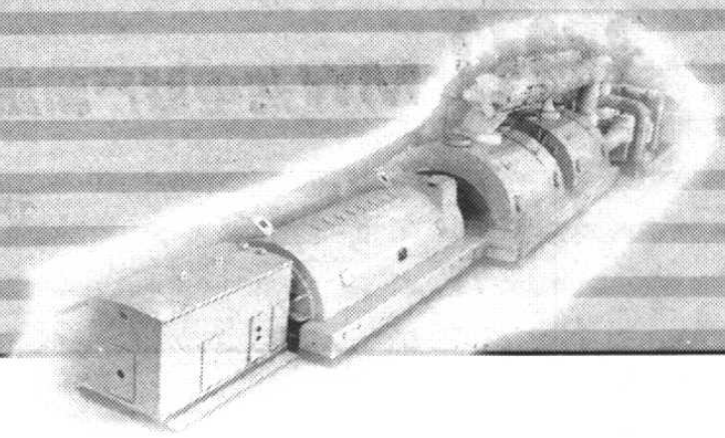
丛书主编 卫泳波

丛书副主编 王文飏 郭友生 石占山

锅炉分册主编 石占山

汽机分册主编 徐进

电气分册主编 倪红



序

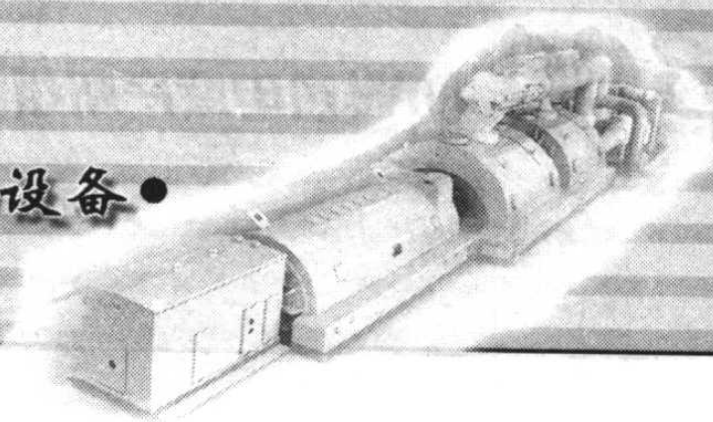
国电太原第一热电厂创建于 1953 年，属“一五”期间国家 156 项重点工程之一。经六期建设，装机容量达到 1461MW，成为全国最大的热电厂。为了适应城市清洁生产的要求，老厂机组已逐步关停。

目前，国电太原第一热电厂装有四台 300MW 供热发电机组，是典型的热电联产企业。其中，两台机组是由波兰拉法克公司生产的低倍率循环半塔式燃煤锅炉与东方电站集团公司生产的汽轮发电机组相配套，该机组在冬季除发电外还向太原市居民供热，其余时间为纯凝汽工况运行；另两台机组的锅炉、汽轮机和发电机均由东方电站集团公司生产，该机组除发电外，常年向化工企业供热。

随着我国经济的快速发展，国民的环保意识逐步增强，热电联产的优势越来越明显，为了提高热电联产机组的技术水平，不断扩大各单位的技术交流，我们组织编写了《300MW 热电联产机组技术丛书》，丛书包括《锅炉及辅助设备》、《汽轮机及辅助设备》、《发电机及电气设备》三个分册。

在编写过程中，广大技术人员付出了辛勤的劳动，中国国电集团公司、中国国电集团公司华北分公司及山西电网公司都给予了大力的支持，在此表示感谢。

国电太原第一热电厂厂长 **魏建朝**



前 言

国电太原第一热电厂六期 $2 \times 300\text{MW}$ 机组是抽汽供热式机组，汽轮机是由四川东方汽轮机厂生产的，该汽轮机为冲动式、单抽三缸双排汽、亚临界、一次中间再热、一次可调、一次不可调供热凝汽式汽轮机。它是东方汽轮机厂根据用户的需要，在总结原东方汽轮机厂 300MW 机组设计制造和运行经验的基础上，新开发设计的 300MW 供热抽汽凝汽式汽轮机。该汽轮机采用了美国西屋过程控制公司生产的 WDPF - II 型 DCS 控制系统。机组投产后运行情况良好，于 2001 年获中国建筑鲁班奖，受到了国内电力生产工程技术人员的广泛关注。为了扩大交流，不断提高职工的技术水平，我们编写了本书。本书主要依据制造厂家提供的技术资料并结合我厂的检修和运行实践编写而成，对 NC300/225 - 16.7/537/537 汽轮机的结构、设备运行及设备检修作了详细的介绍。

全书共分十二章，其中第一章、第二章、第五章由刘卫东同志编写，第三章、第四章由徐进、王艳云、崔拥军同志编写，第六章~第十二章由杨世斌同志编写。在编写过程中，得到了各级领导和相关工程技术人员的大力支持，并提出了宝贵意见。生产技术部郭有生同志、运行调度部刘为众同志对全书进行了审定。刘素青、杜改兰同志为本书的编写提供了大量的资料，在此表示感谢。

因受时间条件及编者能力所限，本书不免存在不妥之处，恳请广大读者及各级工程技术人员批评指正。

编者

2005 年 8 月

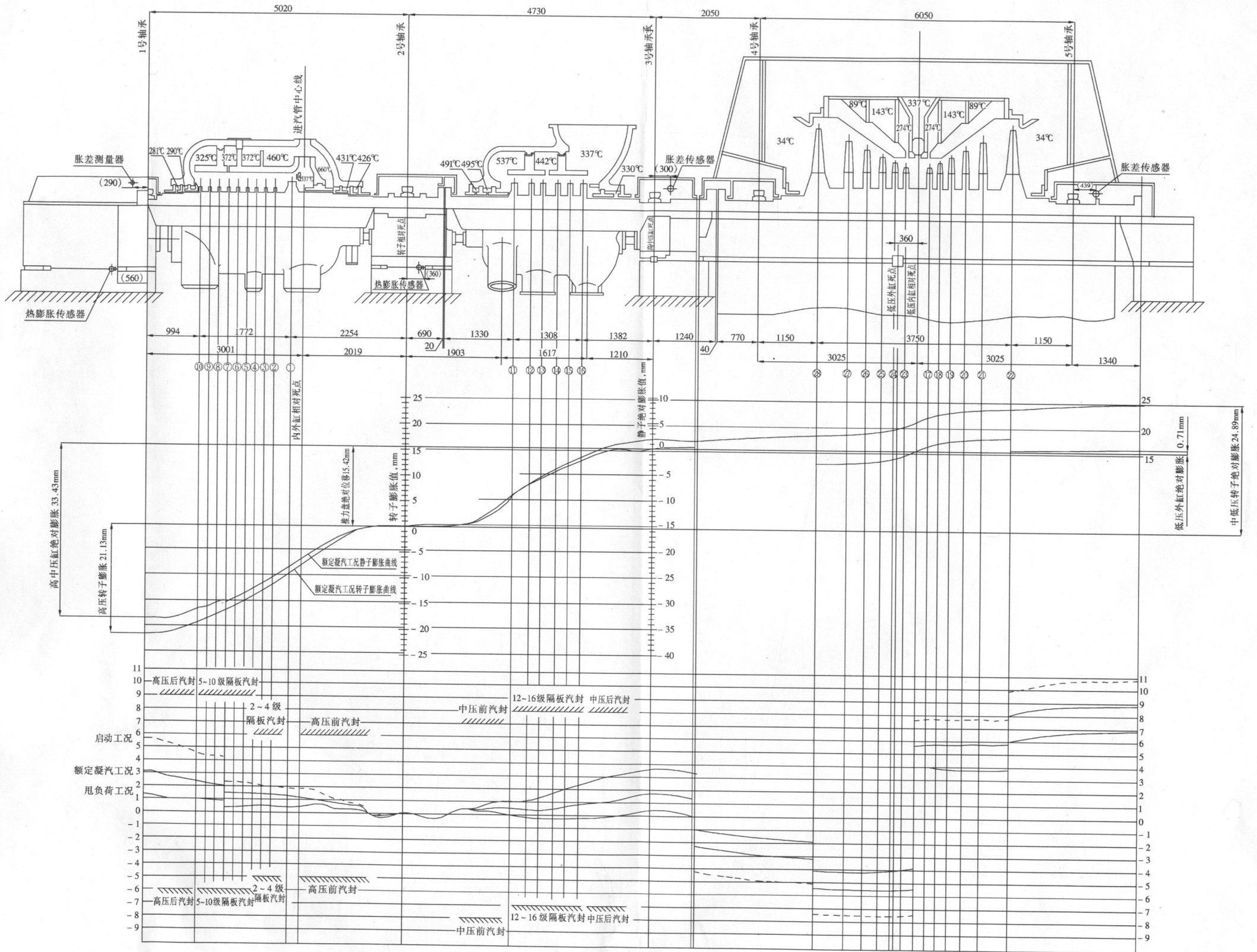
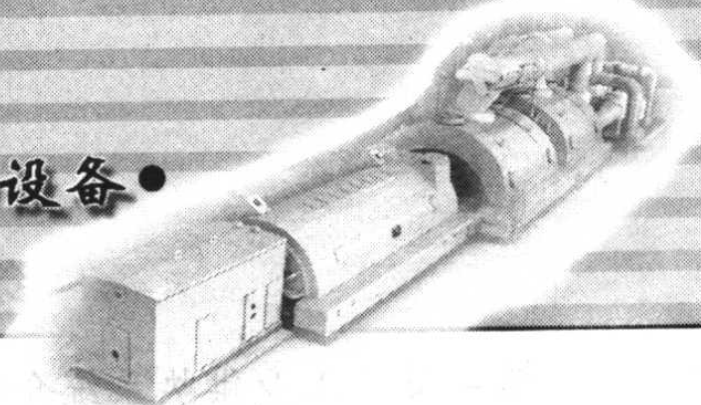


图 2-60 汽轮机热膨胀曲线



目 录

序
前言

第一章 NC300/225-16.7/537/537 型汽轮机概述

第一节	机组主要设计原则	1	第四节	机组技术经济指标及保证条件	14
第二节	机组概况	3	第五节	运行特性和运行限制	14
第三节	主要技术性能参数	12			

第二章 汽轮机本体结构

第一节	汽缸	16	第七节	盘车装置	48
第二节	隔板与隔板套	26	第八节	汽轮机阀门结构及布置	52
第三节	汽封	29	第九节	滑销系统	55
第四节	转子	33	第十节	汽轮机本体疏水系统	58
第五节	动叶片	37	第十一节	汽轮机的保温和罩壳	59
第六节	轴承、轴系及支承系统	42			

第三章 调速保安及供油系统

第一节	汽轮机自动调节和保护的基本原理	61	第三节	DEH 调节系统的液压系统	79
第二节	汽轮机数字电液控制系统 (DEH)	74	第四节	润滑油系统及设备	90
			第五节	抗燃油系统及设备	104

第四章 热力系统及辅助设备

第一节	热力系统概述	119	第七节	辅助蒸汽系统	192
第二节	主蒸汽及再热蒸汽系统	119	第八节	凝汽设备	193
第三节	旁路系统及设备	126	第九节	真空抽汽系统	200
第四节	给水回热抽汽及疏水系统	144	第十节	凝结水系统	205
第五节	除氧给水系统及设备	161	第十一节	循环水系统	214
第六节	汽封系统	185	第十二节	工业水系统	224
			第十三节	发电机冷却密封系统	225

第五章 热网系统

第一节	工业供热系统介绍	243	设备	250
第二节	城市集中供热系统及			

第六章 汽轮机的启动

第一节	启动方式分类	260	第三节	热态滑参数启动	273
第二节	冷态滑参数启动	262			

第七章 汽轮机的停机

第一节	停机的分类	277	第三节	停机后的冷却	281
第二节	滑参数停机	277			

第八章 汽轮机的热应力、热膨胀及热变形

第一节	汽轮机的受热特点	286	第三节	汽轮机的热膨胀	291
第二节	汽轮机的热应力	287	第四节	汽轮机的热变形	293

第九章 汽轮机转子与汽缸的相对膨胀

第一节	高、中、低压胀差及 相互关系	297	第二节	胀差的变化与控制	299
-----	-------------------	-----	-----	----------	-----

第十章 汽轮机的正常运行与维护

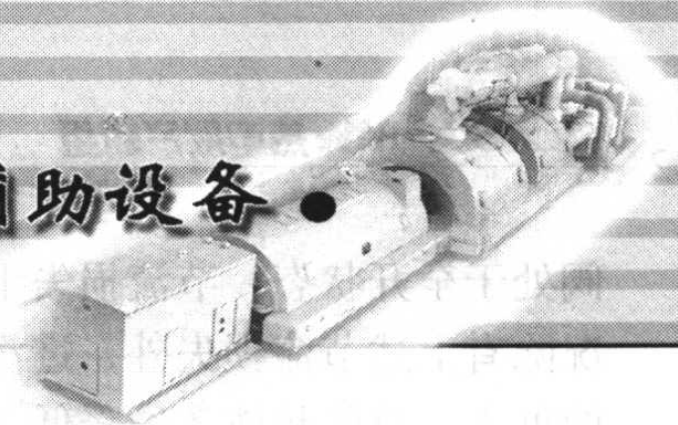
第一节	运行维护的基本要求	302		的监督	311
第二节	参数变化对安全和经济 的影响	309	第四节	轴向位移的监督	311
第三节	调节级压力及抽汽压力		第五节	转子寿命的监督	312

第十一章 汽轮发电机组的振动

第一节	概述	323	第三节	机组振动的一般原因 及其特征	328
第二节	临界转速及其振动 特征	324			

第十二章 汽轮机的几种典型事故及其预防

第一节	通流部分磨损事故	343	第四节	汽轮机的叶片损坏 事故	349
第二节	汽轮机大轴弯曲事故	345	第五节	汽轮机油系统事故	352
第三节	汽轮机进水进冷汽 事故	347			



NC300/225-16.7/537/537型汽轮机概述

第一节 机组主要设计原则

NC300/225-16.7/537/537型(分缸)汽轮机是东方汽轮机厂制造的我国目前最大的供热冷凝机组,它是根据用户使用要求,在总结东方汽轮机厂300MW机组设计制造和运行经验的基础上新开发设计的300MW供热抽汽凝汽式汽轮机,它与相应容量的锅炉和汽轮发电机配套,构成大型供热抽汽火力发电机组,可以在并网发电的同时向热用户抽汽供热,也可作为纯凝汽式机组运行,在电网中以带基本负荷为主,也可承担部分调峰任务。

众所周知,热电联供比热电分供具有明显的优越性。它可以显著提高热的利用率,节省能源消耗;还可以减少大气污染,有利于环境保护;又可为热用户提供参数稳定、优质可靠的热源,且容易实现大型化、节省一次投资费用、减少运行维修人员等。因此,热电联供成为我国能源工业发展的重点之一。

早期设计的供热机组容量较小,而且不区分热用户性质,一律按照统一的设计原则设计——不论供热工况还是纯冷凝工况,都要求发足铭牌功率。这对于小型工业抽汽供热机组是合理的。相反,大型抽汽供热机组,从时间上来说,有相当一段时间内是按纯冷凝工况运行,或在需要时按纯冷凝工况运行,如按上述统一的设计原则设计,则在供热冷凝工况下设备潜力(主要指锅炉与汽轮机前置部分)得不到发挥,而且在部分负荷下运行,热效率也会有明显的下降,因此是不合理的。当机组大型化之后,一般都采用再热循环及与之相应的一机对一炉的单元布置,其不合理性就更为明显了。

由此可知,针对不同性质的热用户按不同设计原则设计热电联供机组就显得顺理成章了。不同的设计原则将在机组容量匹配、通流、调节方案等方面反映出原则性的差异来。

大型抽汽供热冷凝机组从发挥设计投资效益、节省运行费用两方面达到最佳的综合经济性来看,都有必要将纯冷凝工况作为它的设计工况或额定铭牌工况,在该工况下达到设备利用率最高、热经济性最高(或与非供热的同类冷凝机组相比有差不多高的热效率);在供热工况下,此机组将发不足额定功率,且抽汽量越大,发电功率越小。按此原则设计的供热机组从三大主机及主要辅机的容量匹配及汽轮机的通流设计等方面来看更接近于一台纯凝汽机组。不言而喻,它仍然具备全部可调抽汽供热机组的共性。

按此设计原则设计的供热机组有以下基本特点:

(1) 在供热工况下,仅低压缸、低压加热器及发电机未达到设计能力。在冷凝工况下运行,所有设备利用率均达到100%,可收到最大的投资效益。相反,按早期供热机组的设计原则设计,锅炉包括进汽部分在内的高压部分及除氧器、给水泵、高压加热器能力远不能得到发挥,故很不经济。

(2) 在非供热工况有较高的热效率,其汽轮机热耗仅比同容量纯冷凝机组高0.2%~0.3%,增高部分主要是由供热抽汽调节阀引起的额外节流压损所造成的。此时,该

阀处于全开状态, 节流损失十分有限。相反, 按早期供热机组的设计原则设计, 在非供热工况除有上述节流损失外, 进汽调节阀远没有开足, 高压通流部分负荷率不足 60%, 变工况幅度大, 总的热效率约降低 2% ~ 3%, 这是不容忽视的。

(3) 与同容量同型式的冷凝式汽轮机在主体结构上有很大的通用性, 设计修改工作量很小, 且主辅机配套也不成问题, 几乎全部都可通用。相反, 按早期的供热机组设计原则设计, 则包括进汽部分在内的高压通流部分都要重新设计, 锅炉及锅炉附属设备、除氧器、给水泵、高压加热器及有关管道阀门都不能通用。

按新设计原则设计的供热机组在具体设计上的特点:

(1) 额定工况的定义。机组的铭牌工况或额定工况为额定纯冷凝工况。该工况下进排汽参数及功率为铭牌额定参数, 通流及热力系统按此工况设计, 该工况下的热耗仅比同类非供热冷凝机组高 0.2% ~ 0.3%。

(2) 主机容量匹配。机、炉、电基本上属 100% 等容量匹配。

(3) 调节系统总体方案。按“以热定电”的原则设计非牵连型调节系统。大型供热机组多为高参数一次再热型单元机组, 机炉按 100% 等容量匹配, 在额定进汽量、额定供热抽汽量工况下, 机组仅能发约 2/3 额定功率。如按牵连调节设计, 则一方面可牵连范围不大, 另一方面因单元机组及中间再热两大因素, 使调节动态品质变差, 故只适宜按“以热定电”原则设计非牵连型调节系统。

(4) 供热抽汽调节阀型式。大功率供热机组多采用蝶阀, 并装于连通管上, 只能实现节流调节。

(5) 轴向推力。大型供热机组低压缸采用双分流对称结构, 推力互相抵消, 故机组总推力变化范围较小, 设计推力时零推力工况易于避免。前置机部分(高、中压缸)最大推力常发生在最大流量及最低允许抽汽压力工况下。

(6) 前置机末级强度(中压缸末级)。抽汽压力低, 容积流量大, 叶片较长, 且变工况范围大, 强度校核工况下的轮周功率往往是设计工况下的 2 ~ 3 倍, 故一般都应加宽加强。

(7) 低压缸超温。该机组以亚临界一次中间再热纯冷凝分缸型 300MW 机组为母型改型而成。各缸通流能力都没有改变, 供热抽汽口设在中压缸排汽口处, 蝶阀装在中低压缸之间的连通管上, 额定冷凝工况时中低压缸分缸压力为 0.85MPa (8.4ata), 对应温度为 340℃, 额定供热抽汽压力为 0.81MPa (8ata), 允许在 0.76 ~ 0.91MPa (7.5 ~ 9ata) 范围内变化。低压缸采用双层结构, 允许进口温度最高为 350℃, 在电网要求机组带约 30% (指主蒸汽量减少至额定值的 30%) 调峰量, 在再热温度不变的条件下, 中压缸流量减少 30%, 再热压力成正比地降低 30%, 在焓熵图上, 过程线右移, 如要求中压排汽温度不变, 必须让排汽压力按同样比例下降 30%, 纯冷凝工况下情况确实如此, 但在供热工况下, 供热压力不随中压进汽量下降而下降, 故排汽温度升高。当供热压力为允许最高值 0.91MPa (9ata), 调峰量同时达到最大 30% 时, 中压缸排汽口温度达到最高 370 ~ 380℃, 大大超过低压缸允许最高进汽温度 350℃。为此, 可采用减小再热器受热面和再热器喷水调温的方法来避免低压缸超温。

(8) 不宜采用汽动给水泵方案。如采用汽动给水泵, 则小汽轮机汽源和供热源相同。在供热工况下采用汽动给水泵将使低压缸流量进一步减小, 减小量近似等于小汽轮机进汽量。抽汽蝶阀只能实现节流调节。通过蝶阀进入低压缸的流量越小。蝶阀节流损失越大。计算表

明：汽动给水泵方案增加的这部分节流损失比采用电动给水泵而增加的多环节能量传递损失大，故电动给水泵方案电厂对外净输出功率反而高于汽动给水泵方案，不论额定工况或变工况都是如此。

对于大型再热式供热冷凝机组，在供热工况下，电动给水泵经济性高于汽动给水泵方案，在纯冷凝工况下，汽动给水泵经济性高于电动给水泵方案。因此考虑投资在内的综合经济性，汽动给水泵方案劣于电动给水泵方案；另外，考虑到电站布置、维修费用及供热工况下变工况性能的变坏（如汽源稳定性、超负荷工况的功率余量及低负荷时的内效率等综合因素），则汽动给水泵方案的缺点就更突出。因此，大型再热式供热机组不论热负荷性质如何，都以采用电动给水泵方案为佳。

第二节 机 组 概 况

一、汽轮发电机组

太原第一热电厂六期工程 300MW 机组是东方汽轮机厂生产的 NC300/225/—16.7/537/537 型机组，它是冲动式、单抽三缸两排汽亚临界一次中间再热、一次可调、一次不可调供热凝汽式汽轮机。一级不调整抽汽从中压缸第三段抽汽口抽出，一级调整抽汽从中压缸排汽口抽出，抽汽通过安装在中、低压之间连通管上的蝶阀来实现压力调节。

该机组全长 22m，宽 7.68m，高 6.434m。汽轮机主机质量 720t。

该机通流部分由高、中、低压缸三部分组成，本体采用高、中压分缸结构。汽轮机的高压缸采用双层缸结构，高压缸有一个单列调节级和 9 个压力级；中压缸为单层缸隔板套结构，共有 6 个压力级；低压缸采用焊接双层缸结构，分流对置，低压缸共有 2×6 个压力级。

高、中、低压三根转子均采用整锻结构，三根转子之间采用刚性联轴器。

为了改善经济性和变工况性能，在参数高、焓降大、工况恶劣，效率较低的调节级采用了可靠性高、效率高的三销钉三胞胎整体围带叶片；所有压力级都采用带围带的扭叶片，其中低压部分为斜围带结构，形成高效光滑子午流道，低压末级采用 851 叶片。

该机组共有 7 个支持轴承，其中汽轮机 5 个，发电机 2 个。汽轮机的 5 个支持轴承均为带球面轴瓦套的椭圆型轴承，设有 1 个推力轴承，推力轴承与 2 号支持轴承联为一体组成支持推力联合轴承。

该机组的盘车装置安装在低压后轴承箱盖上，盘车转速为 4.05r/min。

汽轮机汽缸通过横键相对于基础保持两个固定点——绝对死点，一个在中低压轴承箱基架 3 号轴承中心线处，另一个在低压缸左右两侧基架上低压进汽中心前 360mm 处，机组启动时，高、中压缸，前轴承箱和高、中压轴承箱向前膨胀，低压缸向前后两个方向膨胀。

汽轮机转子相对于静子的固定点——相对死点，在高、中压轴承箱内推力轴承处（2 号轴承），机组启动时，转子由此处向前后膨胀。

二、主蒸汽及再热蒸汽系统

该机组主蒸汽及再热蒸汽系统采用单元制。主蒸汽管按“1—2”制配置，从锅炉过热器

出来的主蒸汽经过两根主蒸汽管和两个电动阀门进入高压主汽调节阀，再经四根高压主汽管进入高压缸。再热蒸汽冷段管道按“2—1—2”制配置，即在高压缸内做功后的蒸汽经过两个高压缸排汽止回阀，再经过两根冷段再热蒸汽管，然后合并为一根，到锅炉时再分为两路。再热蒸汽热段管道为“2—1—2”制配置，即两根再热蒸汽管道从再热器出口联箱接出后合并为一根，到汽轮机入口再分为两路，再经过两根中压主汽管进入中压缸。这种设计有利于消除两侧蒸汽的温差，节约钢材，节省投资，简化布置。

该机组选用 35% 容量的二级串联旁路，使机组具有冷热态启动功能。高压旁路蒸汽从电动阀门前引出，经一级减温减压后排至冷段再热蒸汽管；低压旁路蒸汽由中压联合汽阀前引出，经二级减温减压后排至凝汽器。该旁路系统不能满足机组带厂用电和停机不停炉的运行工况。如果机组在这种工况下短时运行，必须开启锅炉的电动泄压阀排出一部分锅炉的蒸汽。

三、回热抽汽系统

该机组回热抽汽系统共 8 级回热，7 级非调整抽汽和 1 级调整抽汽，安装有 3 台高压加热器，1 台除氧器和 4 台低压加热器。8 段抽汽分别接到各回热加热器，同时三段抽汽还提供 120~150t/h 的工业抽汽，4 段抽汽除提供除氧加热用汽外，还提供厂用汽和 250~270t/h 的工业用汽，该机组额定纯冷凝工况的回热热力系统如图 1-1 所示。

该机组高压加热器疏水逐级自流至除氧器，低压加热器疏水逐级自流进入凝汽器，不设疏水泵。除氧器为混合式加热器，高、低压加热器均为表面式加热器。高压加热器均设有过热蒸汽冷却段和疏水冷却段。

除氧器采用滑压运行，工程系统设计和辅助设备所有选型均需满足滑压运行的要求。

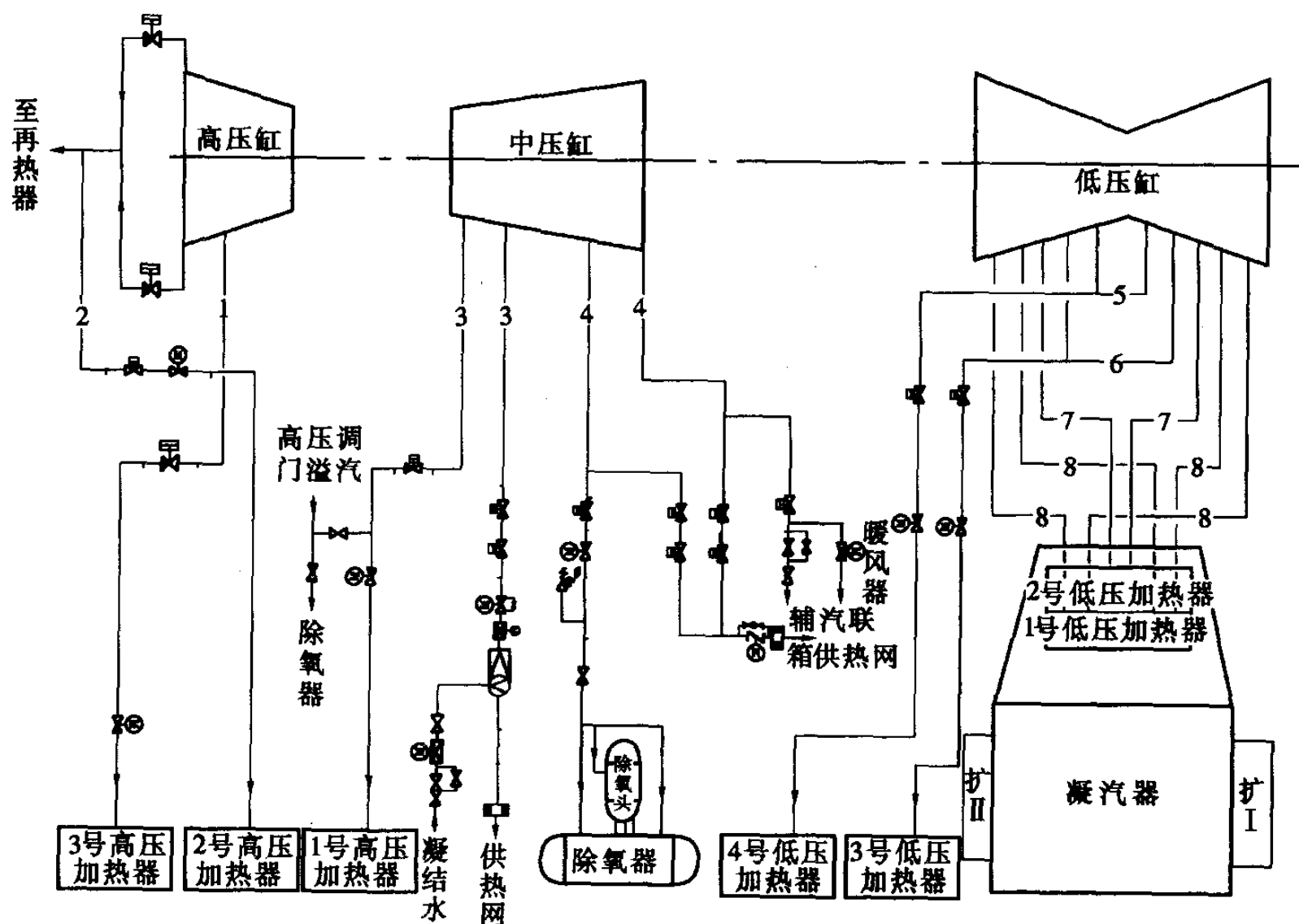


图 1-1 机组回热热力系统

额定纯冷凝工况各段抽汽参数及流量见表 1-1。

表 1-1 额定纯冷凝工况各段抽汽参数及流量汇总 (除氧器滑压运行)

抽汽段	1	2	3	4	5	6	7	8
加热器	JG3	JG2	JG1	CY	JD4	JD3	JD2	JD1
抽汽点 (第几级后)	7	10	13	16	17/23	18/24	19/25	20/26
抽汽压力 (MPa)	5.71	3.86	1.86	0.88	0.5	0.28	0.14	0.07
抽汽压损 (%)	5		5	6			5	
抽汽温度 (°C)	378.4	325.3	442.5	338.6	275.4	212.3	143.9	89
抽汽流量 (t/h)	50.31	72.82	39.8	18.56	27.32	26.3	26.77	49.13

由于 3 段抽汽的压力和温度均超过用户的要求, 所以非调整工业用汽均装有一个额定流量为 150t/h 的减温减压器。调整抽汽的温度为 332.8°C, 超过了用户要求的 260°C, 但经过与用户协商, 这样高的温度对用户有利, 不需要把温度降低。

由于低压缸在供热工况下抽汽压力低, 不稳定, 抽汽量受到了限制, 所以全部厂用汽均从 4 段抽汽上接出。

为保证机组的运行安全, 在 1~6 段抽汽管道上设有气动止回阀, 在供热抽汽管道上亦设有气动止回阀, 止回阀的关闭时间均小于 0.5s。

四、配汽和运行方式

1. 配汽方式

该机组采用喷嘴配汽, 主蒸汽通过 4 个高压调节阀进入高压缸, 每只调节阀分别对应 4 组喷嘴。喷嘴组的序号及汽道数量如图 1-2 所示。

喷嘴组与调节阀的序号相对应, 当 I、II 号调节阀阀杆开启到 24.4mm 时, III 号调节阀开启; 当 I、II 号调节阀阀杆行程达到 41mm 时, IV 号调节阀开始开启。I、II 号调节阀同时开启使调节级有较大的部分进汽度, 有利于改善调节级动叶的受力情况。同时, I、II 号喷嘴组对角布置可使上下缸温度比较均匀, 有利于机组启动。

再热蒸汽通过 2 个中压联合汽阀从左右两侧分别进入中压缸下部, 中压缸为全周进汽。

中压联合汽阀由主汽阀和调节阀组成, 共用 1 个阀座, 由独立的油动机分别控制, 中压联合汽阀在 30% 额定负荷以下时起调节作用, 以维持再热器内必要的最低压力, 负荷大于 30% 额定负荷时, 调节阀一直保持全开, 仅由高压调节阀调节负荷。

2. 运行方式

该机组可以按定压和定—滑—定两种方式运行。

调峰运行时宜采用定—滑—定运行方式, 机组在带 90% 以上负荷时采用定压运行, 机组在带 90%~50% 负荷时采用滑压运行, 机组在带 50% 以下负荷时采用定压运行。这种运行方式能够提高机组变工况运行时的热经济性, 减小了进汽部分温差, 因而降低了机组的低

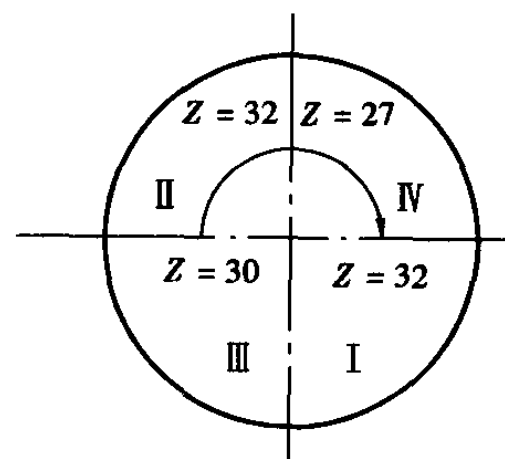


图 1-2 喷嘴组顺序及汽道数量

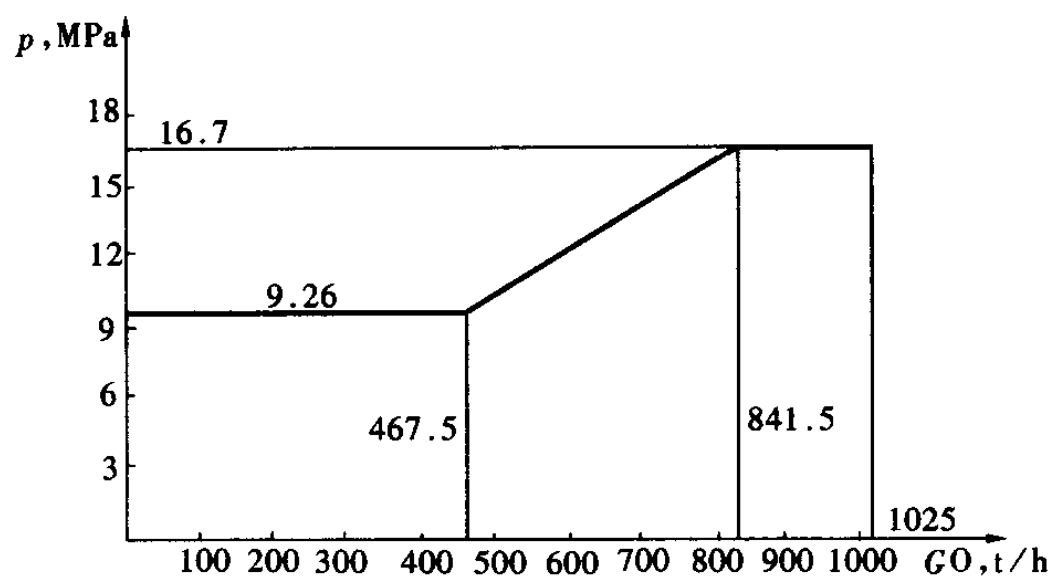


图 1-3 主蒸汽压力与主蒸汽流量的关系

周热疲劳损伤。主蒸汽压力与流量关系如图 1-3 所示。

当主蒸汽流量为 1025 ~ 841.5t/h (最大工况至 90% 流量工况), 蒸汽初参数保持 16.7MPa/537℃ 不变, 最大工况时 4 个高压调节阀全开, 随负荷降低先关 IV 号阀门, 再顺序关小第 III 号阀门, 到 90% 工况时, I、II 号阀门全开, III 号阀门部分开启。当主蒸汽流量小于 841.5 ~ 467.5t/h (90% ~ 50% 流量工况) 时, 锅炉进入滑压运行阶段, 主蒸汽压力随负荷降低而降低, 高压调节阀开度基本不变。当流量小于 467.5t/h (50% 以下负荷) 时, 机组进入较低压力下的定压运行, 主蒸汽压力维持 9.6MPa 不变。根据工程具体情况, 滑压运行的下滑点还可以下滑到 374t/h (40% 流量)。

机组在启动过程结束后, 当负荷大于 70% 额定负荷时, 可向热用户抽汽供热, 供热抽汽在中压缸排汽口下部的抽汽口抽取, 中压缸上部排汽口装有 $\phi 1400$ 的供热蝶阀, 蝶阀由油动机驱动, 其开度可在 $0^\circ \sim 65^\circ$ 范围内变化。调整蝶阀开度, 可以控制低压缸的蒸汽流量, 进而改变供热抽汽压力 (即中压排汽压力) 和抽汽量, 蝶阀开度越小, 低压缸蒸汽流量越小, 供热抽汽流量越大。本机组为供热、凝汽两用机组, 以工业抽汽供热为主, 采用以热定电, 独立调节, 调速和调压均不牵连调节。为了保证低压缸叶片的安全, 所有工况下低压末级蒸汽流量均不得小于 $2 \times 50\text{t/h}$, 为此, 蝶阀后压力不得低于 0.195MPa。所有工况下调节级后压力和各段抽汽压力不得超过最大负荷工况下各段的压力。各段抽汽压力限制值见表 1-2。

表 1-2 各段抽汽压力限制值 (纯凝汽工况)

调节级 后压力	抽 汽 段 号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
13.5	6.24	4.2	2.01	0.95	0.54	0.3	0.15	0.07

五、汽封系统

汽轮机汽封系统的主要作用是利用汽封系统供给的蒸汽封住高、中压缸内的蒸汽, 防止向缸外泄漏, 防止空气沿轴端进入低压缸破坏汽轮机真空。

该机组采用自密封系统 (SSR), 其工作过程为: 机组正常运行时, 高、中压汽封漏汽经减温后供低压汽封, 多余蒸汽溢流至 1 号低压加热器 (JD1), 如 JD1 停用, 可溢流至凝汽

器。低负荷时由再热冷段蒸汽经辅助汽源站补充供汽。机组启动时，用汽封系统的外供蒸汽分别供给高、中、低压轴端汽封。

本系统与传统系统相比，具有系统简单、安全、可靠、经济、工况适应性好等优点。

六、汽轮机本体和管道疏水系统

汽轮机启动、停机、低负荷运行或低参数运行时，汽轮机本体、阀门、主蒸汽管、再热蒸汽管、抽汽管道、汽封送汽和抽汽管道等都可能凝聚凝结水。这些凝结水必须及时疏泄出去，否则可能造成汽轮机进水，引起热冲击，并导致机械损坏，因此合理布置疏水系统管路并保证及时疏水是保证汽轮机安全运行的必要条件。

本疏水系统考虑汽轮机本体及部分管道的疏水，即主汽阀及其至汽轮机本体之间管道的疏水，高压缸排汽止回阀及其至高压排汽口之间管道的疏水，自密封汽封系统高压汽源控制站、辅助汽源控制站，溢流控制站内的阀门、管道以及供汽母管和供汽支管的疏水。各疏水管分别引入两台疏水扩容器。该系统采用挎篮式疏水扩容器，分别置于凝汽器壳体两侧。

在启动和停机时，必须保证汽机本体和管道疏水系统保持畅通。

由于各疏水点出现凝结水的时间不一致，故应根据《汽轮机启动运行说明书》要求具体安排关闭和开启疏水阀的时间和顺序。

七、真空系统

真空系统的作用是在汽轮机排汽口建立并保持高度真空，真空系统的工作性能直接影响到机组的热经济性和运行可靠性。

本机组采用机械真空泵系统，其主要设备包括：凝汽器水环式真空泵两台（一台运行、一台备用）、汽水分离器、表面式冷却器、凝结水泵、循环水泵及附属的阀门与管道等。

回热系统中高压加热器里的不凝结气体，利用各级高压加热器的压差，逐级疏出，最后疏至除氧器排入大气。低压加热器里的不凝结气体，也依靠各级压差，逐级疏出，最后疏至凝汽器，与凝汽器中的汽气混合物混合，一起经电动蝶阀进入真空泵，在泵内将水蒸气压缩或凝结成水，空气进入汽水分离器，分离后的空气从分离器顶部排入大气，水从分离器下部进入表面式冷却器。冷却后的水一部分进入水环真空泵，一部分进入泵前入口管内，使进入泵的气体进行预冷却。由于水的循环流动，一方面带走泵内产生的热量，同时水泵中的水又起到水封作用。

汽封系统中的不凝结气体，必须单独设置抽气设备排入大气，不得接入真空系统，以免影响真空系统的运行。为保证真空系统的严密性，所有阀门均需采用水封阀门，管道连接尽量避免法兰连接。

八、汽缸夹层和法兰加热系统

1. 高压缸夹层加热系统

该机组高压缸为双层结构，冷态启动时，外缸温度的升高滞后于转子温度的升高较多，容易造成大的正胀差。本机组设置的高压缸夹层加热系统是减小冷态启动正胀差的有效措施，夹层加热系统简图如图 1-4 所示。

冷态启动时，夹层加热蒸汽在机组冲转后即可投入，投入前应注意充分疏水，一般当高

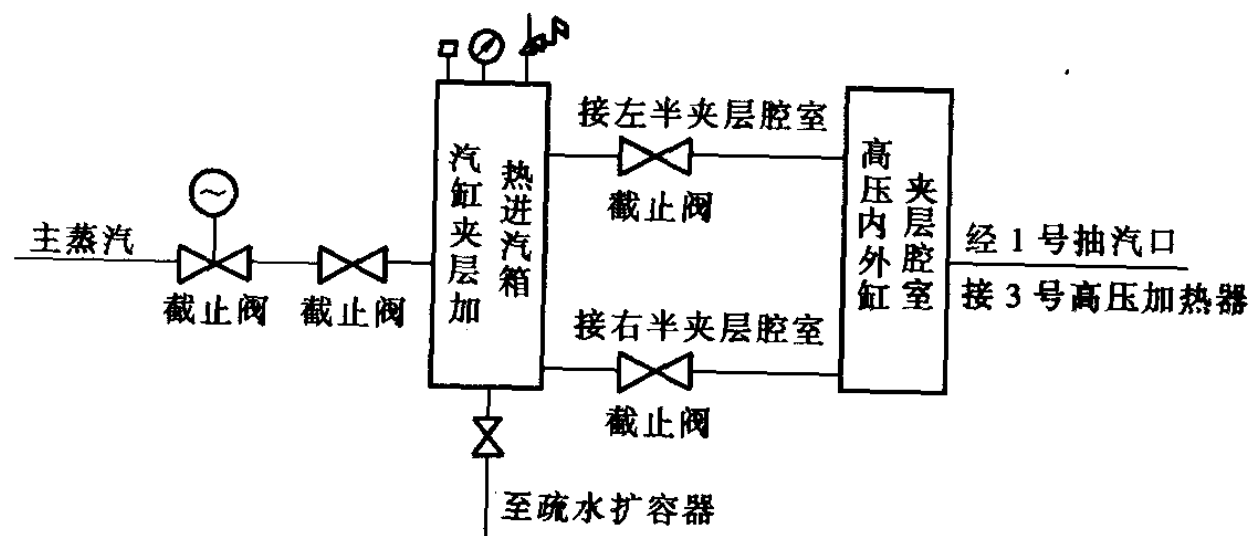


图 1-4 夹层加热系统简图

压外缸内壁温度达 300°C 以上、各部金属温差及胀差下降时，可停止夹层加热蒸汽。

2. 高中压缸法兰加热系统

汽轮机冷态启动时，如果高压外缸和中压缸法兰内外壁温差过大，容易引起汽缸变形，甚至引起中分面漏汽。汽缸法兰外壳表面加热，可以有效地减小法兰内外壁温差，避免汽缸变形，并可控制高压缸和中压缸的正胀差，使其在允许范围内。

法兰加热系统可在冷态启动时与夹层加热同时投入，并可采用同一汽源，调整混温联箱前阀门开度，保持混温联箱蒸汽压力 0.98MPa ，温度 $250\sim 280^{\circ}\text{C}$ 。法兰加热高温汽流的使用应根据当时的汽缸温度水平和胀差来掌握，一般当高压内壁温度达到 300°C ，且法兰内外壁温差小于 80°C 时，可停止法兰加热。汽缸法兰加热系统简图如图 1-5 所示。

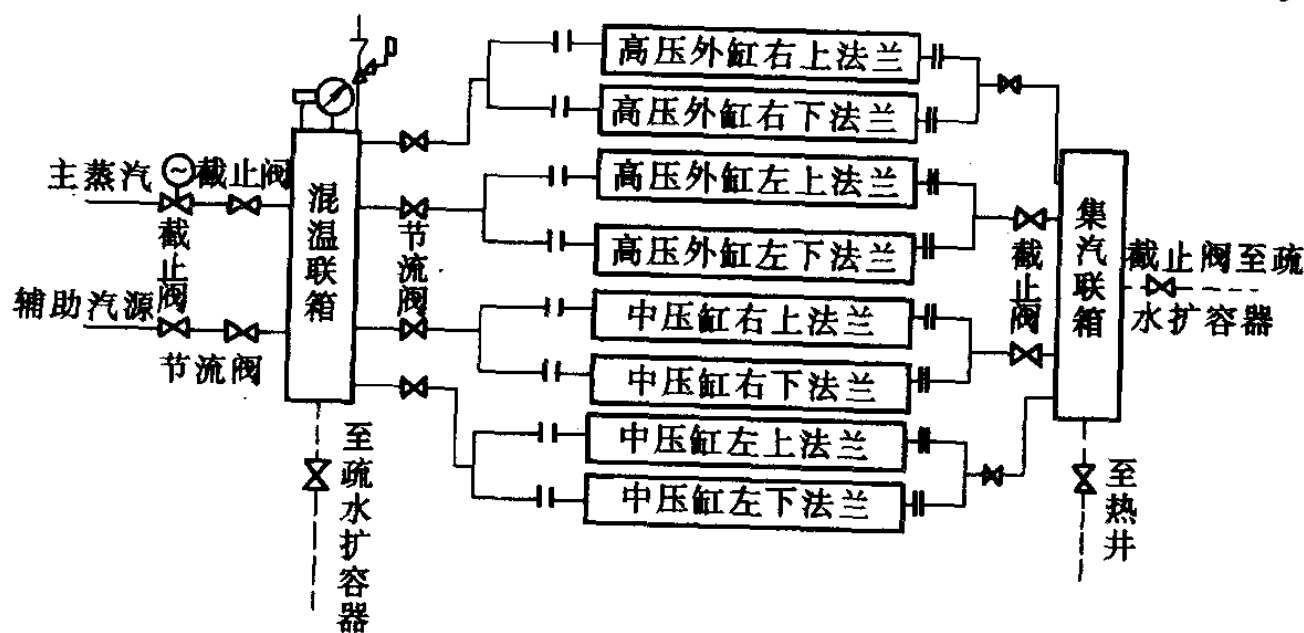


图 1-5 汽缸法兰加热系统简图

九、油系统

油系统主要是向汽轮发电机组轴承提供润滑油；向调节保安系统提供压力油；向盘车装置和高压油顶起装置供油；向发电机提供氢密封油。

本系统采用由汽轮机转子直接驱动的主油泵—射油器供油方式。当主油泵进口压力为 0.098MPa （表压），供油泵出口油压为 1.96MPa （表压），供油量大于 $3000\text{L}/\text{min}$ 时，主油泵除向调节保安系统供油外，还向供油射油器、润滑射油器及氢密封射油器提供动力油。

本机组油系统采用了集装油箱、套装式油管技术。在集装油箱顶部装有一台高压启动油泵，一台交流润滑油泵、一台直流事故油泵及两台排烟风机（一台工作，一台备用）。集装