

300MW火力发电机组运行与检修技术培训教材

汽轮机

望亭发电厂 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

203913

TM621

W463

发电厂运行与检修技术培训教材

汽轮机

望亭发电厂 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本套书包括锅炉、汽轮机、电气、仪控、化学五个分册。

本书是本套书的一个分册。本书以国产引进型 300MW 机组为主题,适当兼顾国产改进型 300MW 机组的内容。主要讲述了 300MW 汽轮机本体、调节保安与油系统、辅助系统等设备结构、性能和基本原理;汽轮机热力系统概况;汽轮机组的启动和停机;运行中的监视、检查和分析;汽轮机事故处理;汽轮机检修管理;汽轮机本体静体部分、转子部分、调节保安与油系统以及辅助系统等设备的检修工艺等内容。

本书为 300MW 机组运行和检修人员的岗位培训教材,也可作为 300MW 机组运行管理人员制订运行规程、运行操作卡,检修管理人员制订检修计划、检修工艺卡的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

300MW 火力发电机组运行与检修技术培训教材. 汽轮机/望亭发电厂编. -北京:中国电力出版社, 2002

ISBN 7-5083-1022-5

I.3… II. 望… III. ①火力发电-发电机-机组-运行-技术培训-教材②火力发电-发电机-机组-检修-技术培训-教材③汽轮机运行-技术培训-教材④蒸汽透平-检修-技术培训-教材 IV. TM31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 030371 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>)

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 7 月第一版 2002 年 7 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.75 印张 557 千字
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)

序 言

新中国成立以来，我国的电力工业得到飞速发展。目前，全国电力装机容量和年发电量均居世界第二位，火电单机容量从6MW已发展至600MW，300MW机组已成为全电网的主力机组。我国国产第一台300MW火力发电机组，即望亭发电厂12号机，于1974年正式发电，距今已有28年的历史。

为了确保机组的安全运行，原能源部、原电力工业部、国家电力公司、中国电力企业联合会、国家电力公司华东公司非常重视300MW机组运行与检修技术的总结与推广工作。

1990年，原能源部电力司组织原华东电管局、山东省电力工业局、原华中电管局及原电力工业部电教中心等单位，共同组织编写《300MW火力发电机组运行和检修技术培训教材》，并由望亭电厂担任主编，山东电力工业局参加了该书教材大纲的编写。

1990年2月，受原能源部电力司委托，由华东电管局在上海主持召开该教材大纲的审查会。在此基础上，同年7月，由原能源部电力司主持召开该教材大纲的审定会。根据编写大纲，望亭电厂组织有关技术人员参加了该教材的编写，山东电力局也组织人员编写了部分章节。

1992年10月，由原能源部电力司组织召开该套教材的审稿会。

1993年上半年，该教材内部出版，并由原能源部电力司发通知组织发行。

1998年8月，中国电力企业联合会、部电教中心及望亭电厂联合召开会议，专题研究该套教材的正式出版工作，会上明确300MW机组是目前全国电力系统的骨干机组，本套培训教材要以实际的运行和检修经验为主要内容，辅以相关的理论和计算，突出实用性，反映新技术，以满足各电力企业及有关院校的培训 and 教学需求。

1998年11月，望亭电厂成立编委会，并确定本套培训教材五个分册的主编。

编委会成员：

主	任	孙孜平			
副	主	任	徐经华		
委	员	杨大为	孙道逵	吕永鑫	张克纯
		季本忠	凌荣宇	王智雷	王克平
主	编	王智雷	邹翠芳		
分册	主编	孙道逵	(锅炉)	吕永鑫	(汽轮机)

43075/34

王智雷 (电气) 凌荣宇 (仪控)

王克平 (化学)

国家电力公司华东公司及其科学技术委员会、人教处对该项工作给予了高度的重视，成立了以刘维烈为主审的审核专家组。

审稿专家组成员：

审核专家组主审 刘维烈

成 员 乐长义 (锅炉) 邵关兴 (汽轮机)

 郑邦樑 (电气) 冯亚民 (仪控)

 程黎明 (化学)

国电公司、中电联、国电华东公司各级领导对本套培训教材给予了强有力的支持，特别是陈占梅、刘治国、徐玉华、刘维烈、冯良芳等同志对本书的定位、内容、大纲提出了中肯的指导意见。在此，我们诚挚地表示感谢。

本套《300MW 火力发电机组运行与检修技术培训教材》包括锅炉、汽轮机、电气、仪控、化学五个分册，每分册有设备篇、运行篇、检修篇。本套培训教材所提供的技术、经验、方法都经过了长期的实践考验，并被证明是正确的、有效的。可作为从事火电机组运行与检修的技术人员的培训教材，也可以作为其他相应工作参考书及相关专业的大中专院校教学参考书。

由于我们的能力、学识有限，书中不妥之处在所难免，望广大读者批评指正。

望亭发电厂厂长

孙致平

2002年4月1日

分册 前言

本套书包括锅炉、汽轮机、电气、仪控、化学五个分册。

本书是本套书的一个分册。本书以国产引进型 300MW 机组为主题，适当兼顾国产改进型 300MW 机组的内容。主要讲述了 300MW 汽轮机本体、调节保安与油系统、辅助系统等设备的结构、性能和基本原理；汽轮机组热力系统概况；汽轮机组的启动和停机；运行中的监视、检查和分析；汽轮机组事故处理；汽轮机组检修管理；汽轮机本体静体部分、转子部分、调节保安与油系统以及辅助系统等设备的检修工艺等内容。

本书主编为吕永鑫。

本书编写人员均为望亭发电厂的技术人员。其中，第一章第一节至第四节由赵锋编写，第五节由肖林生、黄道平编写；第二章第一节、第三节由黄道平编写，第二节由黄道平、肖林生、华宇东编写；第三章由丁杰、冯国良编写；第四章第一节由林泉编写，第二节由赵锋、林泉编写，第三节由李跃编写，第四节由徐国飏编写，第五节由林泉、李跃、殷福定编写，第六节由李跃、钱智敏编写；第五章第一节、第二节由秦明宝编写，第三节至第五节由赵文奎编写；第六章由丁杰编写；第七章由丁杰、夏剑泓编写；第八章由赵文奎编写；第九章由丁杰、杨圣冠编写；第十章由郭海军、许世诚编写；第十一章第一节由华宇东编写，第二节由汪文鉴、华宇东编写，第三节由华宇东编写，第四节由肖林生、黄道平编写；第十二章第一节由黄道平、华宇东编写，第二节由黄道平编写；第十三章第一节由钱智敏、许世诚、林泉编写，第二节由李跃编写，第三节由徐国飏编写，第四节由林泉、李跃、殷福定编写，第五节由李跃、钱智敏、翁戌华编写。全书由郭海军、吕永鑫统编。

本书由孙孜平、徐经华审阅后交国家电力公司华东公司技术委员会组织审核，由刘维烈、邵关兴审定。

本书的资料主要来源于各设备制造厂的出厂文件，望亭电厂的运行、检修规程和技术总结报告等，并参考了兄弟电厂提供的有关资料。本书从审定编写大纲、组织审核直至定稿，一直得到国家电力公司华东公司人教处冯良芳，中国电力企业联合会刘治国、徐玉华以及国家电力公司陈占梅等同志的大力支持。在此，我们诚挚地向为此作出贡献的诸位同志深表谢意。

本书为 300MW 机组运行和检修人员的岗位培训教材，也可作为 300MW 机组运行管理人员制订运行规程、运行操作卡及检修管理人员制订检修计划、检

修工艺卡的参考书。

因水平和条件所限，本书谬误欠妥之处难免存在，祈请不吝赐教。

汽轮机分册主编 吕永鑫

2002年4月

目 录

序言
分册前言

第一篇 设 备

第一章	汽轮机本体	3
<hr/>		
第一节	概述	3
第二节	汽轮机静体部分	4
第三节	汽轮机转子	14
第四节	轴承和盘车	22
第五节	进汽部分	30
第二章	调节保安及油系统	34
<hr/>		
第一节	概述	34
第二节	油系统	34
第三节	保安系统	44
第三章	汽轮机组的热力系统	53
<hr/>		
第一节	汽轮机的主蒸汽、再热蒸汽、旁路系统	53
第二节	抽汽回热系统	55
第三节	汽轮机疏水系统	58
第四节	凝结水及锅炉给水系统	58
第五节	循环水系统	60
第六节	发电机冷却系统	61
第七节	闭冷水系统	65
	复习思考题	65
第四章	辅助设备	67
<hr/>		
第一节	概述	67
第二节	凝汽设备	67
第三节	主要阀门	71
第四节	给水泵汽轮机	76
第五节	水泵	88
第六节	回热系统	120

第二篇 运行

第五章 300MW 汽轮机组的启动	127
第一节 汽轮机组启动的基本要求和启动方式分类.....	127
第二节 汽轮机组启动前的准备.....	129
第三节 汽轮机冷态冲转前的操作.....	135
第四节 汽轮机的冷态启动.....	148
第五节 汽轮机组的热态启动.....	156
第六节 汽轮机寿命管理简介.....	163
复习思考题.....	164
第六章 300MW 汽轮机组运行中的监视检查和分析	166
第一节 汽轮机的正常运行.....	166
第二节 汽轮机调节系统和油系统的运行.....	170
第三节 辅助设备的运行.....	171
第四节 汽轮发电机水冷和氢冷装置的运行.....	177
第五节 汽轮机组运行的优化管理.....	180
复习思考题.....	181
第七章 机组运行中的维护和试验操作	182
第一节 机组运行中的维护操作.....	182
第二节 机组运行中的试验操作.....	191
复习思考题.....	195
第八章 300MW 汽轮机组的停机	196
第一节 300MW 汽轮机组的停机方式和停机前的准备.....	196
第二节 配汽包炉机组的停机.....	197
第三节 配直流炉机组的停机特点.....	198
第四节 机组解列前的工作.....	199
第五节 机组解列后的工作.....	201
第六节 转子停止后的工作.....	203
第七节 汽轮机的快速冷却.....	206
第八节 汽轮机停机后的保养.....	207
复习思考题.....	209
第九章 汽轮机组的事故处理	210
第一节 事故处理原则和停机操作要求.....	210

第二节	通流部分动静摩擦	211
第三节	汽轮机水冲击	211
第四节	汽轮机组异常振动及大轴弯曲	212
第五节	汽轮机断叶片事故	214
第六节	汽轮机严重超速事故	214
第七节	汽轮机油系统、轴承工作失常	215
第八节	油、氢系统着火	216
第九节	汽轮机真空下降	217
第十节	发电机冷却系统故障	219
第十一节	闭冷水系统异常	221
	复习思考题	221

第三篇 检修

第十章	检修管理	225
第一节	概述	225
第二节	检修计划管理	225
第三节	检修过程管理	227
第四节	检修验收管理	227
第五节	检修总结管理	228
第十一章	汽轮机本体检修	229
第一节	汽轮机静体部分	229
第二节	汽轮机转子	247
第三节	轴承和盘车	255
第四节	进汽部分	269
第十二章	调节保安及油系统检修	278
第一节	油系统	278
第二节	保安系统	288
第十三章	辅助设备检修	290
第一节	凝汽设备	290
第二节	主要阀门	294
第三节	给水泵汽轮机	300
第四节	水泵	312
第五节	回热系统	348

第一篇

设 备

第一章

汽轮机本体

第一节

概 述

引进型 300MW 汽轮机是具有亚临界参数且具有一次中间再热、双缸双排汽、单轴凝汽式汽轮机。其特点是采用数字电液调节系统，操作简便、运行安全可靠、效率高，轴向尺寸紧凑，便于抽汽口布置。

该机组共有两缸，即高中压缸和低压缸。高中压部分采用合缸反流结构；低压缸采用三层缸结构。高中压汽轮机为冲动、反动混合型式，低压缸为双流反动式。

该机组高中压转子及低压转子由整体合金钢锻件加工制成，有较好的刚性。有一个冲动式单列调节级和 11 个压力级，中压转子有 9 个压力级。各转子之间用刚性靠背轮连接，高中压转子与低压转子间配有调整垫片，用以调整各转子之间的距离，确保缸内动静间隙。

该机组共有 3 个落地式轴承座。设有 4 只径向轴承，其中：1、2 号轴承为可倾瓦；3 号轴承下半部为可倾瓦块结构，上部为圆筒形轴承；4 号轴承为圆筒形轴承，设有一只推力轴承，推力轴承布置在 1 号轴承座内。

该机组配套 2 台由小汽轮机驱动的主给水泵。备用给水泵由电动机驱动，其容量为 50% 额定工况流量。

该机组的主要技术指标：

(1) 型号：N300—16.7/538/538；型式：亚临界、一次中间再热、双缸双排汽、单轴凝汽式。

(2) 额定功率：300MW；最大功率：327MW。

(3) 额定转速：3000r/min；旋转方向：自汽轮机向发电机看为顺时针方向。

(4) 蒸汽参数：

1) 主汽门前蒸汽压力/温度：16.7MPa/538℃；主蒸汽流量：905.3t/h。

2) 中压主汽门前蒸汽压力：3.21MPa；再热汽热/冷段汽压：3.22/3.58MPa；再热汽热/冷段汽温：538/316.9℃；再热蒸汽量：745100kg/h。

3) 排汽压力：5.39kPa；凝汽流量：547500kg/h。

4) 排汽温度：34℃；

5) 冷却水温：20℃。

(5) 汽轮机在工作转速下，轴颈振动值 $\leq 0.075\text{mm}$ ；汽轮机在越过临界时，轴颈振动最大允许值：0.25mm。

(6) 汽轮发电机组的临界转速 (r/min)：

	高压转子	低压转子	发电机转子	励磁机转子
一阶	1732	1583	867	2532
二阶	>4000	>4000	2256	>4000

(7) 回热抽汽级数:

高压加热器	除氧器	低压加热器
3	1	4

(8) 给水温度: 额定工况下是 273.5℃。

(9) 低压缸末级叶片参数: 末级叶片长度为 905mm; 末级叶片最大外圆直径为 3548.38mm; 叶顶圆周速度为 557.475m/s。

(10) 汽轮机本体最大尺寸 (包括罩壳): 18.069m×10.373m×6.882m。

(11) 驱动给水泵汽轮机排汽压力: 6.7kPa_c。

第二节 汽轮机静体部分

一、汽缸及持环

对于大功率机组的高中压缸, 在汽缸设计时, 一方面要保证有足够的强度、刚度, 保证各部分受热时自由膨胀及通流部分有较好的流动性能; 另一方面应尽量避免特别厚重的水平中分面法兰, 以便尽量减少汽缸的热应力和热变形。

1. 高中压汽缸

该机采用高中压部分合并, 级组反向布置, 见图 1-1。这种布置的优点是高温部分集中在汽缸中部, 加上又采用双层结构, 汽缸热应力较小。高中压缸的两端分别是高压缸排汽和中压缸排汽, 压力温度均较低, 因此两端外汽封漏汽较小, 轴承受汽封温度的影响也较小。另外, 增加了平衡活塞, 轴向推力也较容易平衡, 推力轴承的负荷减小, 推力轴承的尺寸变小有利于轴承座的布置, 而且采用高中压缸合缸形式更可缩短主轴的长度, 减少轴承数。

该机组采用双层缸结构, 其作用是把单层缸受的巨大蒸汽压力分摊给内外两层汽缸, 从而使每层汽缸的壁厚和法兰尺寸都大大减小。这样内缸主要承受高温, 蒸汽的高压由内外缸共同承担。而且内缸尺寸较小, 所以内缸壁可以较薄, 虽然要用贵重的耐热合金材料, 但耗用的材料相对减少。在内缸和外缸之间有蒸汽流动, 因此在正常运行时外缸得到冷却, 温度较低, 可以采用一般的合金钢制成; 而且在启动过程中, 内外缸夹层中的蒸汽可使汽缸迅速加热, 有利于缩短启动时间。在双层缸中, 内缸和外缸的应力要比单层小得多。

如图 1-2 所示是该机组高中压内、外汽流夹层图。从图中可以看出, 内外缸夹层中的冷却蒸汽来自高压轴封的排汽, 这股汽流在夹层中起冷却作用后, 一部分汇入高压排汽, 另一部分经连通管进入中压部分进行冷却。

高中压外缸是一个合金钢壳, 在中分面处对开形成下缸和上缸。内缸同样是一个合金钢壳, 在中分面处对开形成下缸和上缸。水平中分面处支承在外缸上, 顶部和底部用定位销导向, 以保持对汽轮机轴线的正确位置, 同时允许随温度变化能自由地膨胀和收缩。

内缸被用来支撑高温密封和叶片持环, 以形成蒸汽的高压通道和中压通道。汽缸夹层中的蒸汽状态决定了缸体承受的应力情况。由于该机组设计内缸两侧温差小、压差大, 主要承受压应力, 沿内缸壁的温度梯度减至最小, 导致较低的热应力。内缸实际上起着—个压力容

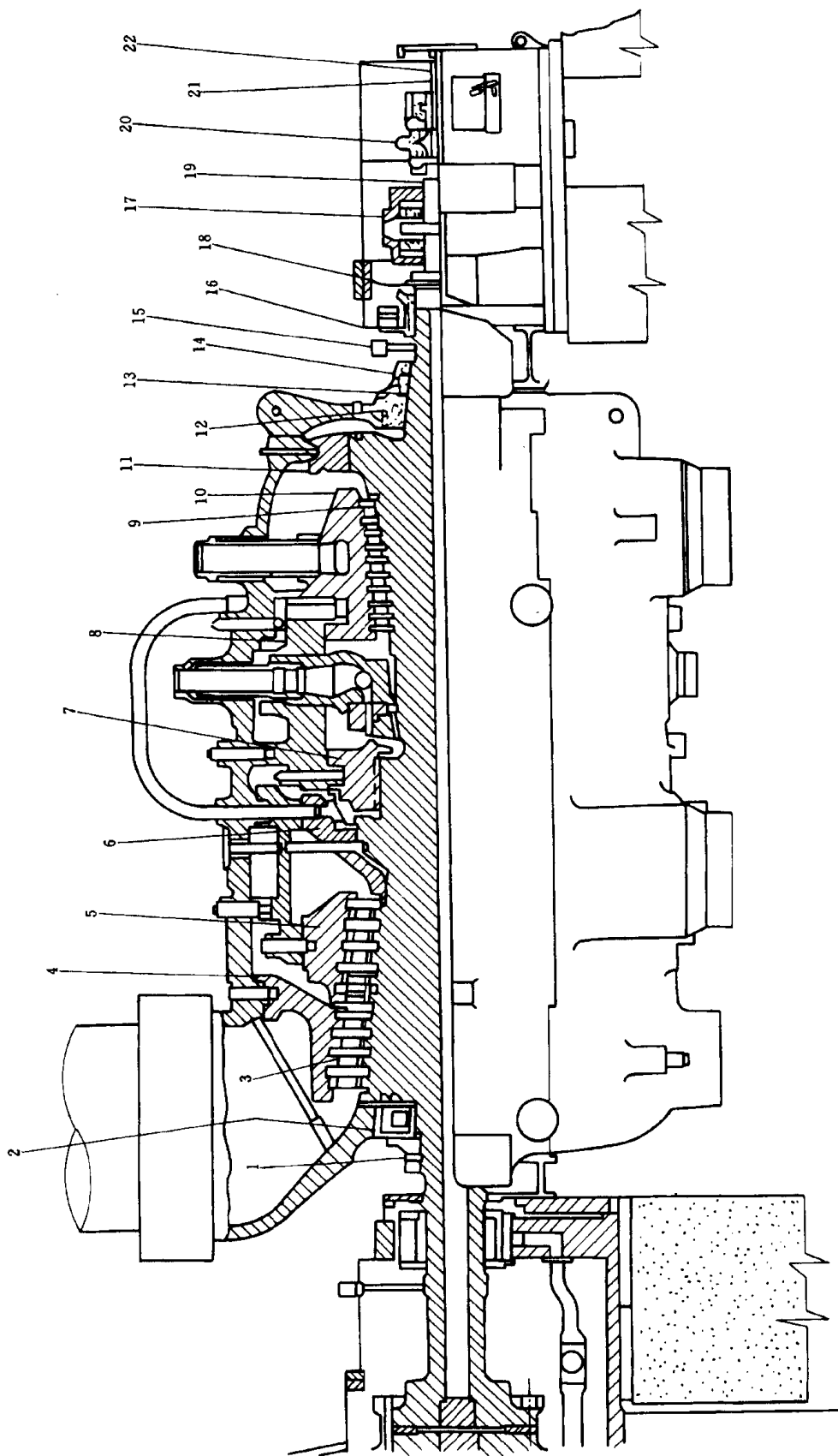


图 1-1 汽轮机纵剖面图

- 1—外汽封；2—内汽封；3—叶片；4—中压2号持环；5—中压平衡活塞；6—中压平衡活塞；7—高压进汽侧平衡活塞；8—高压内缸；9—叶片；
 10—高压1号持环；11—高压排汽侧平衡活塞；12—内汽封；13—汽封；14—外汽封；15—振动检测器；16—轴承；17—推力轴承；
 18—轴向位置和推力轴承脱扣检测器；19—转速传感器和零转速检测器；20—主油泵；21—危急遮断油门；22—偏心和鉴相器

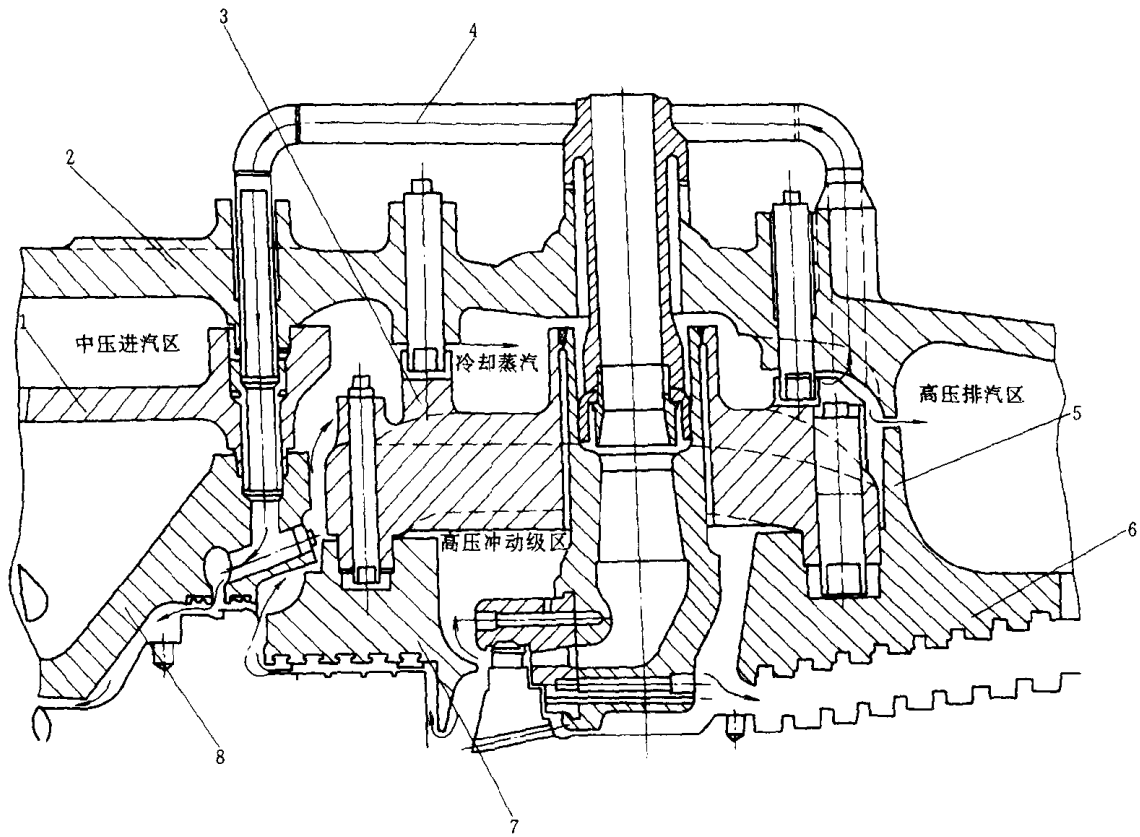


图 1-2 高中压内、外汽流夹层图

1—中压内缸；2—高中压外缸；3—高压内缸；4—平衡漏汽管；5—持环挡热板；
6—高压静叶持环；7—高压平衡持环；8—中压平衡持环

器的作用，而外缸两侧温差大，压差在中等参数范围内，主要受承受热应力。运行中引起缸体变形的主要原因是热应力的变化。该机组温差较小，因而可采用较薄的外缸壁、较小的法兰。这样就使得汽缸、法兰、螺栓都比较容易加热，所以对法兰、螺栓等未采用加热或冷却措施。

2. 低压汽缸

大功率机组的低压缸由于蒸汽容积流量大、排汽真空高，因此低压缸尺寸很大。但低压缸内的压力、温度较低，因此缸体强度不存在什么问题。而足够的刚度，排气通道的合理设计是大功率机组低压缸的关键所在。

大功率机组低压缸普遍采用钢板焊接结构代替小机组的铸铁结构，这有利于减轻重量，节约材料，增加刚度。

大机组后几级的容积流量很大，相应需要很大的通流面积。若不采取必要措施，排汽口余速必将很大，排汽损失很大，使机组效率降低，限制机组的单机功率的增大，甚至可能使低压部分无法设计。增大低压部分通流面积的办法是加大末级叶片长度和末级节圆直径，也可以增加低压缸排汽口数。本机组低压转子末级叶片的最大外圆直径为 3548mm，末级叶片高度 905mm，同时采用分流布置以增加低压排汽口数。

该机组低压缸进口温度为 337℃，而排汽温度为 34℃，因此低压部分将承受较大的温度变化。为使低压缸的巨大外壳温度分布均匀，不产生翘曲和热变形影响动静部分的间隙，将低压缸制成由一个外缸和二内缸组成，和高中压缸形成多层缸的结构。较大的温度梯度将在这三层壁面之间得到合理的分配。

如图 1-3 所示，在低压第一层内缸中有低压缸的前五级，第二层内缸中有低压末两级，这样每层缸所承受的温度梯度将相应减少。

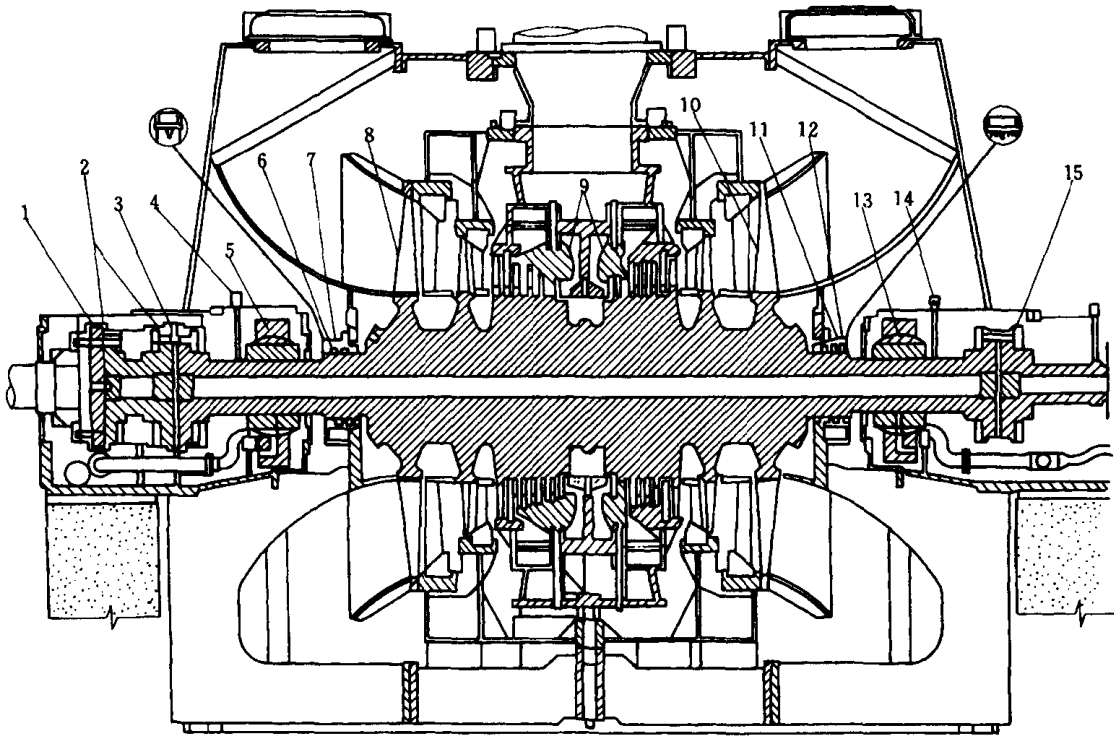


图 1-3 汽轮机低压缸剖面图

1—测速装置（危急遮断系统）；2—联轴器；3—差胀检测器；4—振动检测器；5—轴承；6—外汽封；7—汽封；8—叶片；9—低压持环；10—叶片；11—偏心和鉴相器；12—汽封；13—轴承；14—振动检测器；15—联轴器

低压内缸和外缸由焊接的下缸和上缸组成。外缸垂直分为两部分，并各在水平中分面上形成上缸和下缸。安装的时候垂直结合面被焊成永久连接，因而缸盖可作为一整体对待。

在第一层内缸中为简化结构，有利于热膨胀，采用了静叶持环。在发电机端静叶持环上装有四级静叶，调速端持环中装有二级静叶。在第一层内缸中，在圆周的凸缘部分持环的凹槽相互配合，并由固定销使持环定位，以保持正确位置。在第一层内缸的低压部分，在内缸凸缘部分直接开有静叶槽，发电机端有一级静叶，调速端装有三级静叶。

考虑到第二层内缸中温度已较低，内外温差也不大，因此把二级静叶直接安装在第二层内缸的静叶槽内，而不再采用静叶持环结构。在第二层内缸、低压外缸与低压进汽管之间采用顶部密封环结构，如图 1-4 所示。这样只有第二层内缸承受低压进汽的高温，而且还有利于吸收中低压连通管的膨胀。

第二层内缸和低压外缸之间形成排汽空间，有利于排汽做成径向扩压式，可使排汽缸出口静压高于进口静压。在

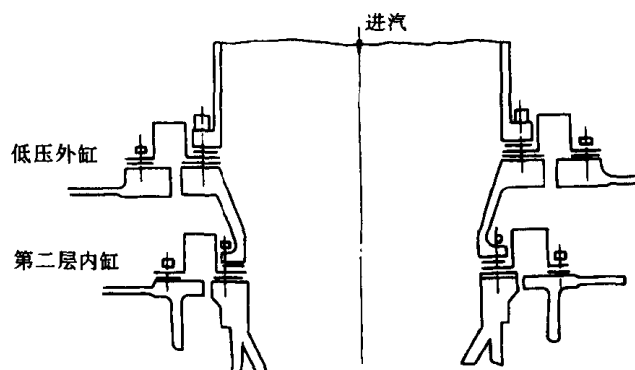


图 1-4 低压缸顶部密封环