

300MW火电机组培训丛书

# 汽轮机设备及运行

---

湖北襄樊发电有限责任公司 刘爱忠 主编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 编 辑 委 员 会

主 任	陈中义				
副主任	钱仲威	骆民强	刘爱忠	周支柱	唐凤平
主 编	刘爱忠				
副主编	许 强				
编 委	(姓氏笔划为序)				
	王小惠	白育西	许 强	李成华	成焕祥
	杨戎凡	陈道禄	聂永刚	翁汉兴	雷体平

# 序 言

襄樊电厂 4×300MW 机组工程是原电力工业部、原机械工业部“优化”工程。为了保证工程投产“达标”及投产后的安全经济运行，必须对生产人员进行培训。襄樊发电有限责任公司，是按照现代企业制度管理运作的公司，生产人员相对较少，且素质要求高。由于生产人员大部分是大中专毕业生，缺乏一定的实践经验和专业知识。因此，编写一套切实可行的培训教材，以供新员工培训之用，已势在必行。

起初，我们考虑了两种方案，一是委托有关大专院校编写；二是自己组织人员编写。经过对两种方案的技术、经济和对培训工作影响等方面的比较，选择了由襄樊发电有限责任公司自己组织人员编写培训教材的方案。我们认为：我公司主、辅设备的制造厂和其他电厂的不尽相同，外委编写需要我们提供大量的资料和人力，而由我们自己利用收集到的资料进行编写，一方面节省了资金，另一方面也锻炼了我们的员工队伍，使他们在编写过程中就得到了培训。

培训教材的编写工作，自 1997 年 8 月下达编写任务至 1998 年 2 月完成主要部分初稿，历时半年，倾注了公司领导、编委、编写人员的心血。教材根据中南电力设计院的设计方案、各制造厂设备说明书和有关技术规程，由简入繁、深入浅出地叙述了相关设备、系统的构造以及运行、调试、维护等方面的问题和解决方法，并且根据运行培训经验和实际情况编写有关章节和内容。培训教材的出版必将对我公司的生产人员技术培训起到良好的作用。同时，本教材也可作为其他同类型火电厂技术培训的参考用书。

培训教材按专业分为《燃煤锅炉机组》、《汽轮机设备及运行》、《电气设备运行》、《电厂化学》、《燃料管理及设备》五部分，按照电力系统常用系统和设备分类编写章节。由于某些制造厂资料及设计资料未能按时提供，个别章节内容待以后以单行本的方式补充。

这次培训教材的编写得到了公司各部门以及相关技术人员的支持和帮助，在此表示感谢。由于编写培训教材的时间短、任务重、编写人员相对较少，又没有足够的编写经验，在教材中难免会出现一些不当之处，敬请各位读者指正。

陈中义

# 目 录

序言	
前言	
<b>第一章 概述</b>	1
第一节 机组概况	1
第二节 汽轮机技术规范及运行特性	2
<b>第二章 汽轮机本体</b>	7
第一节 静子	7
第二节 转子	11
第三节 滑销系统和胀差	13
第四节 汽封及汽封系统	15
第五节 轴系及支承系统	20
第六节 汽轮机配汽机构及阀门管理	24
第七节 盘车装置	28
<b>第三章 汽轮机调节保安系统</b>	32
第一节 调节保安系统概述	32
第二节 汽轮机调节系统	36
第三节 保安系统	47
第四节 EH 供油系统	60
第五节 数字电液调节系统介绍	66
<b>第四章 给水泵汽轮机组</b>	91
第一节 驱动给水泵汽轮机	91
第二节 调节及调节油系统	102
第三节 给水泵	121
第四节 汽动给水泵组的运行维护及调试	133
<b>第五章 汽轮机辅助系统及设备</b>	139
第一节 凝结水系统	139
第二节 给水系统	153
第三节 循环水系统	167
第四节 主、再热蒸汽系统	173
第五节 回热抽汽系统	175
第六节 汽轮机轴封系统	176
第七节 凝汽器真空系统	179

第八节	辅助蒸汽系统 .....	184
第九节	润滑油及顶轴油系统 .....	187
第十节	发电机氢气、油、水系统 .....	201
第十一节	工业水、开式水及闭式水循环系统 .....	212
第十二节	旁路系统 .....	217
<b>第六章</b>	<b>机组运行 .....</b>	<b>222</b>
第一节	汽轮机的启动 .....	222
第二节	运行维护 .....	248
第三节	汽轮机的停止 .....	261
第四节	汽轮机组的事故处理 .....	264
参考文献	.....	294

# 第一章 概 述

## 第一节 机 组 概 况

火力发电厂是将煤、石油、天然气等一次能源转换成高品位的二次能源——电能的工厂。它的生产过程是通过燃料在锅炉内燃烧，将一次能源的化学能转变成电厂工质——水的热能，形成高温、高压的蒸汽，再通过汽轮机将蒸汽的热能转变成转子的机械能，最后通过汽轮发电机将机械能转变成电能。在这一系列的能量转变过程中，汽轮机充当了中间纽带的作用，因此，汽轮机的选择直接影响到电厂的生产。

襄樊电厂一期工程（4×300MW）选用的汽轮机均为东方汽轮机厂生产的 N300-16.7/537/537-4 型机。该机组是东方汽轮机厂引进和吸收国内外先进技术设计制造的亚临界 300MW 系列机型之一，为一次中间再热、两缸、两排汽凝汽式汽轮机，它与相应容量的锅炉和汽轮发电机相配套，构成的大型火力发电机组，在电网中以承担基本负荷为主，也可承担部分调峰任务。

该机组的设计参数较高，为了保证机组的安全性和降低机组的运行成本，同以往国产机组相比，该机组在设计和制造方面经过了一些特殊的处理。

为了减小汽缸的综合应力，增加启停和变负荷的灵活性和安全性，该机组的中、高压缸和低压缸均采用双层结构，内缸和外缸分别主要承受机械应力和热应力，从而减轻每层汽缸所承受的综合应力。由于每层汽缸所承受的应力下降，因而可相应地降低每层汽缸的厚度，减少贵重金属的消耗量，降低设备的成本，提高了电厂的经济性。

为了减小机组运行时的轴向推力，该机组在设计和制造上采用了高、中压合缸对称布置，低压缸采用双缸分流布置，这样可以在运行时，相互抵消部分轴向推力，从而减轻推力轴承的负荷，并可减小推力轴承的尺寸。

本机组通流部分由高、中、低压缸三部分组成。高压缸由一个单列调节级和九个压力级组成，蒸汽从调节汽阀进入汽室内，首先由喷嘴室进入调节级，然后逐级经过九个压力级，前面六个压力级的隔板装在高压内缸中，使高压蒸汽与外缸隔离，后面三个压力级的隔板共同装在一个隔板套中，隔板套直接装在外缸上。利用外缸与隔板套所构成的空间，布置了第一级抽汽口。高压缸排汽直接进入再热器提高汽温，同时在高压缸排汽管上还接了第Ⅱ段抽汽。

中压缸内共有六个压力级，蒸汽从再热器来，经中压联合汽阀进入中压缸，依次流经六个压力级。1~3级和4~6级分别装在一个隔板套中，隔板套装在中压缸内壁上，在中压缸第一隔板套后布置了第Ⅲ段抽汽；在第二隔板套后（即中压缸排汽）下部布置了第Ⅳ段抽汽。中压缸的排汽经过中压缸末端顶部一根连通管送到两个低压缸。低压缸的所有隔板套均装在内缸中，共分为2×6个压力级，在第1~4级后分别布置了第Ⅴ~Ⅷ段抽汽口，最后蒸汽向下排入凝汽器。汽轮机本体纵剖面如图1-1所示。

本机组的控制系统是由东方汽轮机厂和上海新华控制有限公司集各自优势联合开发的

DEH-ⅢA型新一代汽轮机控制系统，它在以往的电液调节系统的基本功能上增加了中压缸启动功能，这样有利于启动时降低高、中压转子的寿命损耗，改善汽缸膨胀均匀性，同时还可缩短启动的时间等。

为了改善启动条件，加快启动速度，该机组设计有高压缸夹层加热装置。为了适应中压缸启动及有利于锅炉稳定燃烧、汽水回收等要求，设置了二级串联旁路系统。

## 第二节 汽轮机技术规范及运行特性

### 一、汽轮机主要技术规范

型号：N300-16.7/537/537-4型；

型式：亚临界中间再热两缸两排汽凝汽式汽轮机；

额定功率：（经济功率）300MW；

最大功率：330MW；

额定蒸汽参数：

新蒸汽：（高压主汽阀前）16.7MPa/537℃；

再热蒸汽：（中压联合汽阀前）3.3MPa/537℃；

背压：冷却水温为20℃时，设计背压5.20kPa；

额定新蒸汽流量：935t/h；

最大新蒸汽流量：1025t/h；

转向：从机头向发电机方向看为顺时针方向；

转速：3000r/min；

轴系临界转速（计算值）：

第一阶：（电机转子一阶）\*1347r/min；

第二阶：（高、中压转子一阶）1679r/min；

第三阶：（低压转子一阶）1753r/min；

第四阶：（电机转子二阶）3406r/min；

\* 发电机转子临界转速值应以电机厂提供的数值为准。

通流级数总共28级，其中

高压缸：1个调节级+9个压力级

中压缸：6个压力级；

低压缸：2×6个压力级；

给水回热系统：3个高压加热器+1个除氧器+4个低压加热器；

给水泵拖动方式：2×50%B-MCR的小汽轮机带动；

1×50%B-MCR的电动调速给水泵作为备用；

汽封系统：自密封系统（SSR）；

末级动叶片高度：851mm；

末级动叶片环形排汽面积：2m×6.69m；

汽轮机本体外形尺寸（长×宽×高）：

18055mm×7464mm×6434mm（高度指从连通管吊环最高点到运行平台距离）；

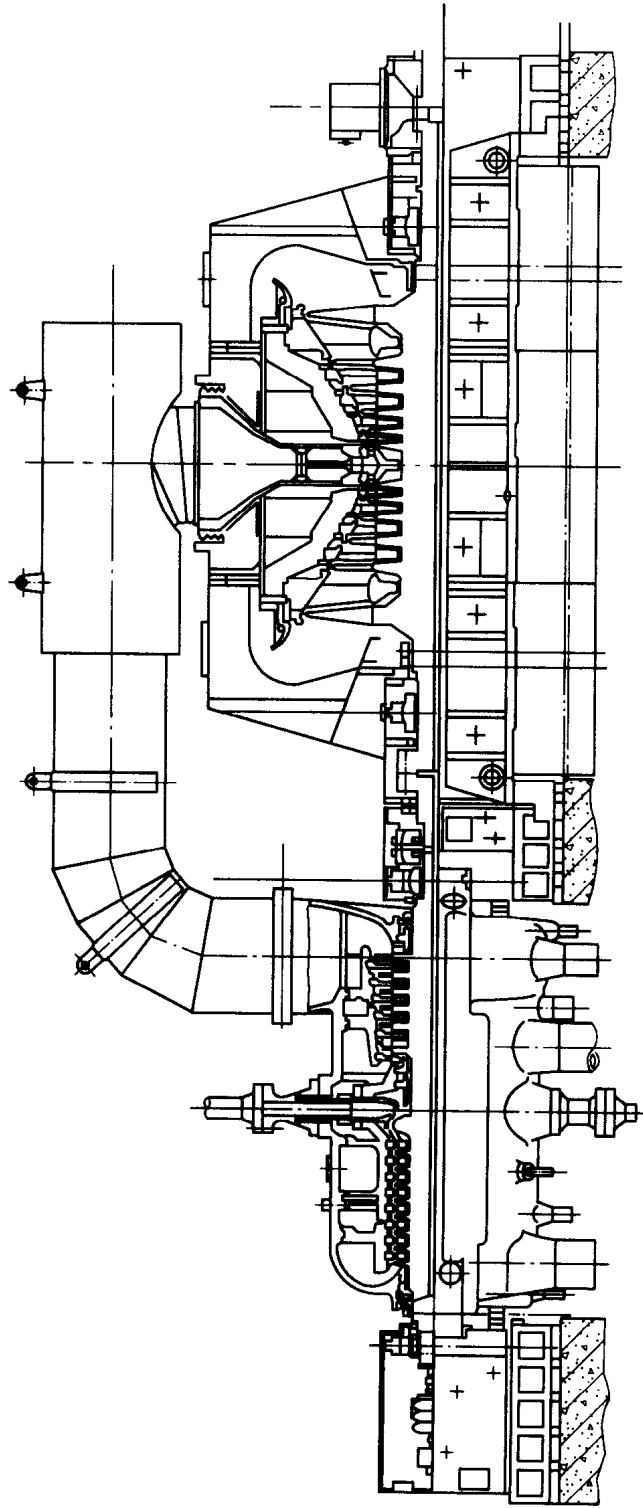


图 1-1 汽轮机本体纵剖面图



主机质量：大约 695t（包括高、中压调节汽阀支吊架，高中压主汽管和主汽管支吊架及基架垫铁）；

最大吊装质量：大约 125t（安装时，低压外缸下半组合）；大约 62.5t（检修时，低压转子包括起吊工具）；

最大起吊高度：9.7m（吊装低压外缸时）；

运行平台高度：12.6m。

## 二、汽轮机技术经济指标及保证条件

(1) 符合下列条件时，可发额定功率。

1) 新蒸汽压力： $16.7\text{MPa} \pm 0.49\text{MPa}$ ；新蒸汽和再热蒸汽温度： $537^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

2) 冷却水温不超过  $33^\circ\text{C}$ ，冷却水流量不小于额定值。

3) 加热器按规定投入。

(2) 汽轮机在额定工况下，计算热耗为： $7971\text{kJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

达到这一保证的必要条件如下。

1) 新蒸汽和再热蒸汽参数为额定值。

2) 背压不高于额定值。

3) 按规定的回热系统运行。

4) 主给水流量等于主蒸汽流量。

5) 发电机效率不低于 98.6%。

(3) 如果机组投运后未及时进行热力鉴定试验，应按国际电工委员会参考资料实行老化折扣。

1) 3~12 个月，每月 0.07%。

2) 13~24 个月，每月 0.042%。

热力鉴定试验的方法、测试仪表的精度、测试数据的误差修正、测热耗的计算方法应符合 GB8117—1987《电站汽轮机热力性能验收试验规程》的规定，经过误差修正的热耗试验值相对于保证热耗的允许偏差为 +1%。

## 三、机组的运行特点

### 1. 启动状态

本机组启动状态的划分根据是高压内缸上半调节级后内壁金属温度。

冷态启动：小于  $150^\circ\text{C}$ ；

温态启动： $150 \sim 300^\circ\text{C}$ ；

热态启动： $300 \sim 400^\circ\text{C}$ ；

极热态启动：大于  $400^\circ\text{C}$ 。

### 2. 启动方式

本机组具有中压缸启动方式 (IP) 和高中压缸联合启动方式 (GHIP) 两种启动方式。采用中压缸启动方式，具有降低高中压转子的寿命损耗、改善汽缸的热膨胀和缩短启动时间等优点，厂家推荐采用中压缸启动。

### 3. 运行操作控制方式

有运行人员手动方式（手动）、运行人员自动方式（半自动）和汽轮机自启动方式（全自动）等方式。

#### 4. 阀门管理

为了兼顾机组的安全性和经济性，本机组的阀门管理采用了节流调节和喷嘴调节两种配汽方式，并可实现两者的无扰切换。

#### 5. 转子寿命管理

为了把转子热应力作为指导启动运行的主要依据，并应用寿命损耗概念对机组运行进行科学技术管理，本机组配置转子应力监控，它来自一个完整的汽轮机自动启动（ATS），转子应力程序提供应力和温度计算的有关信息给 ATS 模块，通过这些信息，即可做出汽轮机启动和升负荷的判据。

汽轮机运行寿命（30 年为基础）见表 1-1。

表 1-1 汽轮机周期寿命及寿命消耗量

	周期寿命 (次)	每次寿命消耗量 (%/次)	30 年的寿命消耗量 (%)
冷态启动	200	0.05	10
温态启动	1000	0.015	15
热态启动	2000	0.01	20
极热态启动	100	0.01	1.0
正常停机	4000	0.0001	0.4
负荷变化	130000	0.0001	13
带厂用电	10	0.01	0.1

#### 6. 偏周波运行

非正常周波运行的限制主要由末级叶片、次末级叶片的共振频率决定。运行周波的限定时间为：

< 47.0Hz	不允许
47.0 ~ 47.5Hz	0.7min
47.5 ~ 48.0Hz	4min
48.0 ~ 48.5Hz	30min
48.5 ~ 50.5Hz	连续
50.5 ~ 51.0Hz	30min
51.0 ~ 51.5Hz	2min
51.5 ~ 52.0Hz	0.7min
52.0 ~ 52.5Hz	0.4min
≥ 52.5Hz	不允许

#### 7. 调峰

本机组可以按定压和定一滑一定两种方式运行。调峰运行时宜采用定一滑一定运行方式。机组在 90% 额定功率（ECR）以上时采用定压运行，机组在 90% ~ 40% ECR 负荷时采用滑压运行，机组在 40% ECR 负荷以下采用定压运行。这种运行方式能提高机组变工况运行时的热经济性，减少进汽部分的温差和负荷变化时的温度变化，因而能降低机组的低周热疲劳损伤。

(1) 若机组年运行时间平均不少于 7500h，调峰运行负荷允许稳定运行时间为：

功率 (ECR)	h/a
100%	4500
75%	4500
40%	1000

(2) 功率变化率:

定压运行最大	3% ECR/min
滑压运行最大	5% ECR/min

(3) 机组最小负荷:

机组最小稳定负荷取决于锅炉的低负荷能力和机组末级叶片振动特性, 在自动控制没有投燃油稳燃情况下, 燃煤最小稳定负荷是 40% MCR, 通过旁路系统调整, 汽轮机最小负荷是 30% MCR。

8. 其他

本机组在 30 年使用期间, 带厂用电不允许超过 10 次, 每次不允许超过 15min。机组甩负荷以后, 空负荷运行不允许超过 15min。

## 第二章 汽轮机本体

### 第一节 静 子

#### 一、高、中压外缸

##### 1. 外缸结构

高、中压外缸内装有高压内缸、喷嘴室、隔板套、隔板、汽封等高、中压静止部件，与转子一起构成了汽轮机的高、中压通流部分。外缸为 ZG15Cr2Mo1 铸件，最大壁厚 100mm，质量约 60t（不包括螺栓等附件），允许工作温度不大于 566℃。

外缸中部上、下有 4 个安装高压进汽管的法兰，高压部分有安装固定高压内缸和 1# 隔板套的凸台和凸缘，下半第七级（高压内缸末端）后有 1 个抽汽口（供 JG1），外缸中部下半左、右侧各有一个中压进汽口，中压部分有安装 2#、3# 隔板套的凸缘，高压缸末端下部布置两个高压排汽口，汇至一条母管至锅炉再热器冷端，母管上设有一个抽汽口（供 JG2）下半中压第三级（2# 隔板套）后有一个抽汽口（供 JG3），外缸后端上部有一个  $\phi 1400\text{mm}$  中压排汽口，下部左右侧有两个抽汽口，供除氧器（CY）和给水泵汽轮机，前后两端有安装高压和中压后汽封凹窝和相应的抽送汽管口。

高、中压外缸左右水平法兰中部共有 20 个 M120 × 4 × 1530 的通孔螺栓，前部有 14 个 M100 × 4 × 1285 的通孔螺栓，材料均为 20Cr1Mo1VNbTiB，允许工作温度不大于 570℃。

螺栓上端的罩螺母下配有自位性能较好的球面垫圈，可以改善螺栓受力状况。下螺母带有特制的止落止动机构，见图 2-1。

高中压外缸水平法兰后部（中压排汽口部分）有 24 个 M76 × 4 × 520 的双头螺栓和 6 个 M56 × 4 × 330 的双头螺栓，材料均为 25Cr2MoVA，允许工作温度不大于 510℃，螺栓的罩螺母下配有球面垫圈。有 6 个 M76 × 4 的螺栓倒挂安装（即螺孔在上缸法兰，螺栓从下方旋入，再加垫圈和罩螺母）。

##### 2. 外缸的支承

外缸由下缸中分面伸出的前后左右 4 个元宝形猫爪搭在前轴承箱和中低压轴承箱的水平中分面上，称为下猫爪中分面支承结构。这种结构有下列优点：

- (1) 动静间隙不受静子温度变化的影响；
- (2) 汽缸中分面联结螺栓的受力状态和汽缸密封性好。

高、中压缸与前轴承箱之间的推（拉）力靠汽缸下半部前端与前轴承之间的推拉机构传递，高、中压缸与中、低压轴承箱之间的推（拉）力靠猫爪下面的横向键传递，如图 2-2 所示。为使汽缸与轴承箱保持中心一致，汽缸下半前后两端均设有立键。

##### 3. 高压进汽管

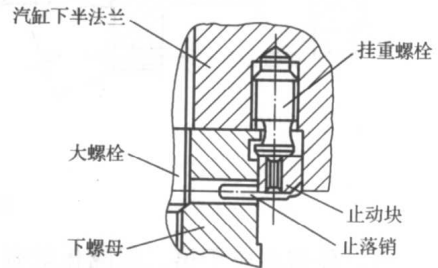


图 2-1 下螺母止落止动机构

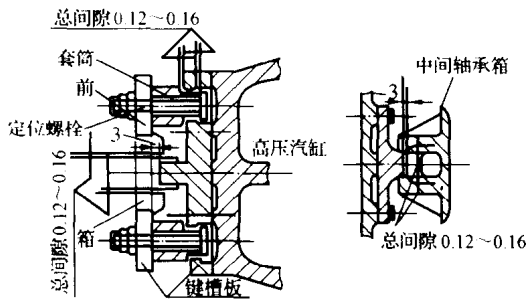


图 2-2 高中压外缸前、后立键和推拉机构图

高、中压外缸中部上下共装有 4 只高压进汽管，分别通过弹性法兰固定在外缸上，进汽内套管插入内缸喷嘴室内，用活塞环密封。内套管可在喷嘴室内滑动，以补偿内外缸热胀差和进汽管与外缸的差胀，并允许有少许轴向及周向移动。弹性法兰与内套管之间有遮热筒，可以降低内套管的内外温差，减少对弹性法兰的热辐射。下部进汽管有疏水管接口。进汽管结构如图 2-3 所示。

## 二、高压内缸

### 1. 内缸结构和安装定位

高压内缸的进汽端装有 4 个喷嘴室，缸内支承高压第 2~第 7 级隔板，工作参数高，因此选用材料 ZG15Cr2Mo1，允许工作温度不大于 566℃。

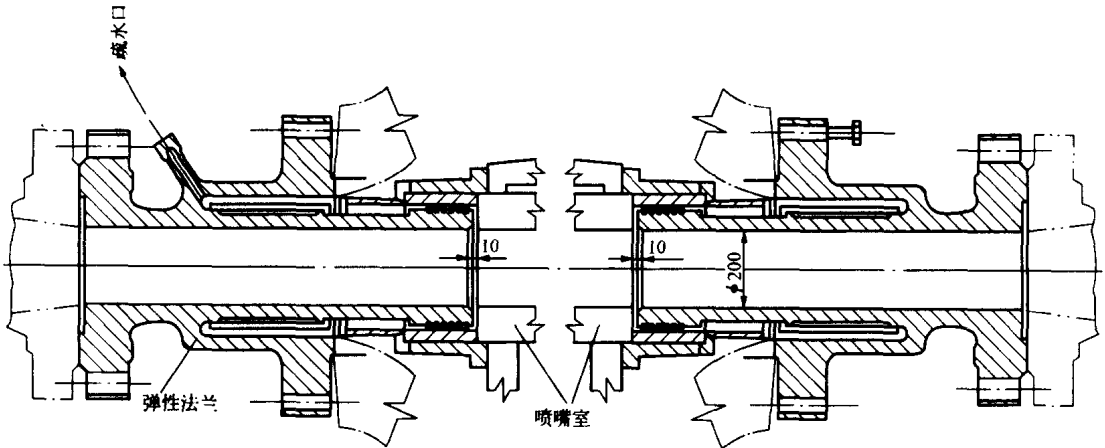


图 2-3 高压进汽管结构

内缸外壁对应于第二级隔板处有一个定位环，其外缘的凹槽与外缸上相应位置的凸缘配合，确定内缸轴向位置，构成内缸相对于外缸的轴向膨胀死点。内缸外壁第一级处设置了隔热环，将内、外缸夹层空间分为两个区域，这样可以降低内缸内、外壁的温差，提高外缸温度，减少外缸与转子的膨胀差。

内缸左、右水平法兰共有 12 个 M120×4×1030 和 8 个 M100×4×985 的通孔螺栓，材料为 20Cr1Mo1VNbTiB，允许工作温度不大于 570℃。螺栓上端的罩螺母下配有自位性能较好的球面垫圈，以改善螺栓受力状况，下螺母带有止落、止动机构。内缸的进汽端装有高、中压间汽封，分为 2 段，都采用高低齿梳式椭圆汽封。

内缸由其下半中分面前后端左、右侧共 4 个猫爪搭在外缸下半近中分面处相应的凸台上，配准下面的垫片，可调整内缸中心高度；配准上面的垫片，在猫爪与外缸上半之间留下热膨胀间隙。在内缸前、后端的顶部和底部各装有一个纵向键，使汽缸在温度变化时，内、外缸中心保持一致。

## 2. 喷嘴室

4个喷嘴室均为铸造成型，材料选用ZG15Cr2Mo1。每个喷嘴室通过配合锥面、卡环与内缸连接和密封，见图2-4，喷嘴室在周向和竖直方向均有导向键，可以保证自由膨胀和进汽中心不变。

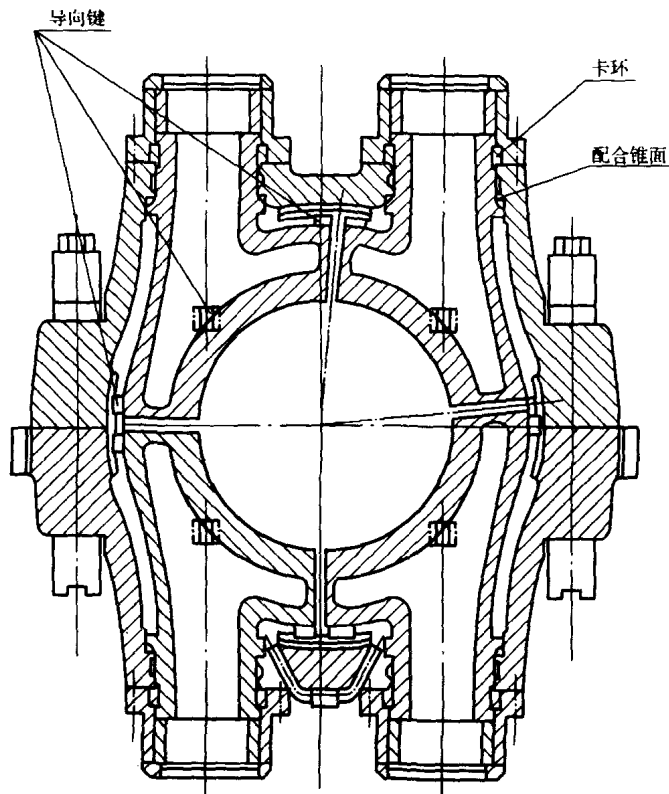


图 2-4 喷嘴室结构图

## 3. 夹层加热

为了在机组启动时，减小高压内缸内外壁的温差，提高双层缸的启动灵活性，降低汽缸热应力，设置了内、外缸夹层加热装置。夹层加热装置结构如图2-5所示。

机组启动时，从外缸下半左右两侧通过加热进汽管送入过热蒸汽，然后经1#抽汽口进入1#高压加热器（以后简称高加）（JG1）。

正常运行时，高压进汽部分处在中压进汽的包围中，内外温差接近于零。高、中压间汽封1段的漏汽经两根 $\phi 38 \times 3$ 的管道穿过定位环引入夹层I区，I区蒸汽通过隔热环外沿5mm宽的环形间隙进入与1段抽汽口相通的II区，随抽汽进入1#高加（JG1）。II区中的温度压力与1段抽汽参数接近，I区的温度较接近内缸内壁温度。

高压部分采用这种结构，由于设计合理，使得

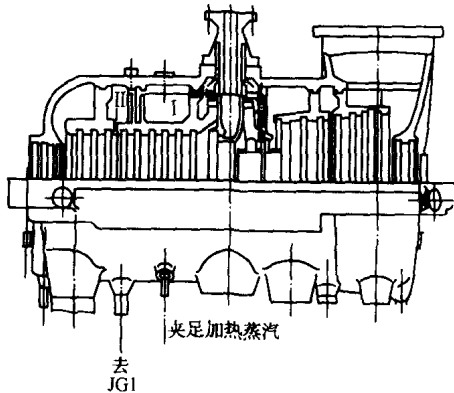


图 2-5 夹层加热示意图

高压内外缸各区域保持合理的温度和压力分布，热应力和压差引起的机械应力都限制在较低水平。

### 三、喷嘴组和高、中压隔板

喷嘴组和隔板是完成蒸汽热能向动能转换的部件，具有工作温度高、前后压差大、转子间隙小等特点。本机在设计时充分考虑了结构强度、温度效应及工作条件，因而具有良好的安全可靠性能。

本机高压部分共 10 级，调节级的喷嘴组装在喷嘴室内，第 2~7 级隔板装在高压内缸里，第 8~10 级隔板装在 1# 隔板套内。中压部分共 6 级，第 1~3 级隔板装在 2# 隔板套内，第 4~6 级隔板装在 3# 隔板套内。

喷嘴组是在整体锻件上铣制出叶片型线，再焊上隔叶件和外环而成的，共 4 组，分别嵌在 4 个喷嘴室的环形槽里。喷嘴组两端用密封键密封，其中一端用定位销固定在喷嘴室上，另一端可以自由膨胀和收缩。

高、中压部分隔板的工作温度均在 350℃ 以上，为适应高温工作条件，隔板都采用焊接结构。静叶片采用了高效分流叶栅，这种叶栅由主流片和分流片构成。由于隔板的强度和刚度较好，因而静叶流动损失小，有利于提高热效率。

隔板汽封都采用椭圆汽封，这样既可保证安全性、又可减少汽封漏汽量。动叶围带顶部设置了径向汽封，动叶根部设置了根部汽封，所有隔板的中分面都用螺栓紧固，以利于提高隔板整体刚性和中分面的汽密性。

### 四、低压缸

#### 1. 缸体

由于进汽温度较高，低压缸采用焊接双缸结构。

低压进汽温度为 350℃ 左右，而内外缸夹层为排汽参数，设计温度仅 34℃ 左右。为了减小高温进汽部分的内外壁温差，在内缸中部外壁上装有遮热板，在中间进汽部分的环形腔室左右水平法兰上各开有弹性槽，并使整个环形的进汽腔与其他部分分隔开，以减少热变形和热应力。

内缸两端装有导流环，与外缸组成扩压段以减少排汽损失。

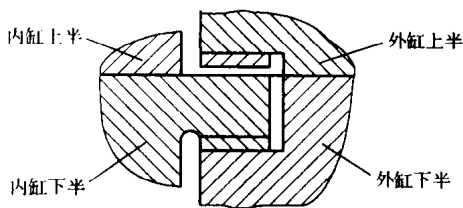


图 2-6 内缸猫爪图

内缸下半水平中分面法兰四角上各有一个猫爪搭在外缸上（见图 2-6），支持整个内缸和所有隔板的重量。水平法兰中部对应进汽中心处有侧键，作为内、外缸的相对死点，使内缸轴向定位而允许横向自由膨胀。内缸下半两端底部有纵向键，沿纵向中心线轴向设置，使内缸相对外缸横向定位而允许轴向自由膨胀。

低压缸外形尺寸为 8372mm × 7272mm（包括撑脚），上半高 3030mm，下半高 3000mm，上半重约 40t，下半重约 125t（包括螺栓等）。为便于运输，低压外缸沿轴向分为三段，用垂直法兰螺栓连接，现场组装后再密封焊接。

低压外缸上半顶部进汽部位有带波纹管的低压进气管与内缸进汽口连接，以补偿内、外缸胀差和保证密封。顶部两端共装有 4 个内径  $\phi 500\text{mm}$  的大气阀，作为真空系统的安全保护措施。当凝汽器中循环冷却水突然中断，缸内压力升高到表压为 0.118~0.137MPa 时，大

气阀中 1mm 厚的石棉橡胶板破裂，使蒸汽排空，以保护低压缸、末级叶片和凝汽器的安全。上半两端正中各留有一个“八”字形空缺，便于吊装轴承箱盖。上半每个端面外侧有六条辐射向筋板和一条圆周向筋板，以加强端板刚性，改善振动频率。

低压外缸下半两端有低压轴承箱，四周的支承台板放在成矩形排列的基架上，承受整个低压部分的质量，底部排汽口的尺寸为  $7.5\text{m} \times 6.4\text{m}$ ，排汽面积  $48\text{m}^2$ ，排汽口与凝汽器采用弹性连接，凝汽器的自重和水重都由基座承受，不作用在低压外缸上。

低压外缸前后部的基架上装有纵向键，并在中部左右两侧基架上距离低压进汽中心 360mm 处设有横键，构成作为整个低压部分的死点。

## 2. 低压隔板

低压部分正反向共 12 副隔板。第 1、2 级采用焊接结构，第 3~6 级是铸造结构。第 1~3 级静叶片为直叶片，其中第 1 级采用分流叶栅；第 4~6 级静叶为扭叶片。隔板汽封都采用斜平齿汽封，各级均带有径向汽封。第 6 级隔板出汽边外沿装有去湿环，如图 2-7 所示。

汽流中的小水滴在离心力的作用下落入去湿环中，绕过末级动叶，直接进入排汽口。去湿环可以有效地减轻末级动叶的水蚀现象。所有隔板中分面都用螺栓紧固，检修时内缸不用翻身。

## 3. 连通管

连通管是中压缸排汽通向低压缸的通道，内径  $\phi 1400\text{mm}$ ，位于中压排汽口、低压缸和中、低压轴承箱上方，是整个机组的最高点。

连通管由虾腰管和平衡补偿管两段组成，现场安装时组焊为整体。虾腰管接中压排汽口，平衡补偿管中部有一向下的管口接低压进汽管，均采用刚性法兰连接。为了吸收连通管和机组的轴向膨胀，平衡补偿管的前端设有波纹管；为了平衡连通管内蒸汽的轴向作用力，在平衡补偿管的后端设置了带波纹管的平衡室，平衡补偿管外有连接圆筒连接两端，蒸汽的轴向作用力由圆筒承受，不作用在波纹管上。

## 4. 低压缸喷水装置

当机组低负荷或空载运行时，特别是高背压运行时，排汽温度升高使低压缸过热，将引起轴承中心高度发生变化，可能导致机组振动等事故。为了保证机组安全运行，低压缸内设置了喷水装置，在排汽温度升高时将凝结水喷入排汽口，以降低排汽口金属温度。

低压缸喷水装置采用自动控制，当低压缸后端任一侧的排汽温度达到  $80^\circ\text{C}$  时，电接点双金属温度计接通电路，电动截止阀开启，来自除盐装置后的凝结水经 16 个雾化喷头形成雾状水帘喷入排汽缸，使排汽温度下降。喷水压力  $0.49 \sim 0.79\text{MPa}$ ，喷水量  $21 \sim 27\text{t/h}$ 。当低压缸前后端两侧的排汽温度均降到  $65^\circ\text{C}$  时，电动截止阀关闭，停止喷水。

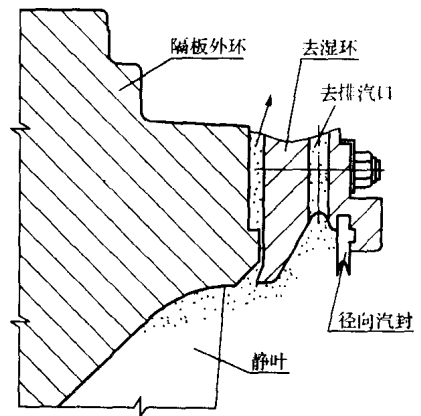


图 2-7 去湿隔板示意图

# 第二节 转 子

## 一、高、中压转子

高、中压转子采用整锻结构，材料为  $30\text{Cr}1\text{Mo}1\text{V}$ ，转子总长为  $7391\text{mm}$ （含调整垫片），



总重量约 21.5t (含叶片重)。

高压部分包括调节级在内共 10 级叶轮, 调节级叶轮为锥形截面, 三叉型叶根槽; 第 2~10 级叶轮为等厚截面, 倒 T 型叶根槽。中压第一级叶轮为锥形截面, 第 2~6 级为等厚截面, 第 1~5 级为双倒 T 型叶根槽, 第 6 级为菌型叶根槽。高压第 2~10 级叶轮在  $\phi 700$  节圆上均设有 9 个  $\phi 30$  的平衡孔, 中压第 2~6 级叶轮在  $\phi 800$  节圆上均设有 7 个  $\phi 40$  的平衡孔, 以减少叶轮两侧压差引起的轴向推力。叶轮间的隔板汽封和轴端汽封都采用梳齿式结构。转子两端和中间的叶轮 (即高压第 1、第 10 级和中压第 1、第 6 级) 外侧端面上有装平衡块的燕尾槽, 供做动平衡用。

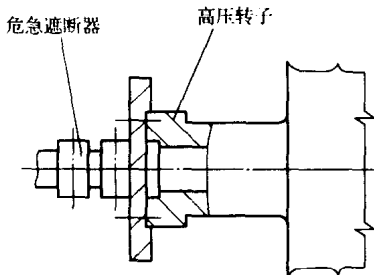


图 2-8 危急遮断器连接图

高压转子中心有贯穿整个转子的  $\phi 125$  的中心孔, 以除去转子中心冶炼杂质, 改善转子的结构, 并可减轻转子的重量。转子前轴颈为  $\phi 360$ , 危急遮断器通过连接螺栓装在轴颈端面上, 其连接形式见图 2-8。

正常运行时, 高压和中压进汽部分是温度最高的工作区域, 当启动升速率或负荷变动率较大时, 蒸汽温度变化较快, 将导致转子热应力过大, 损耗转子使用寿命。因此启动升速和变负荷时, 要按照规程进行操作。尤其要注意热态启动时, 主蒸汽和再热蒸汽的温度要与

调节级叶轮和中压进汽部分的温度相匹配, 以免汽缸转子温度骤变。转子材料的脆性转变温度为  $121^{\circ}\text{C}$ , 因此, 冷态启动时要充分暖机, 在升速到额定转速之前, 转子中心孔部位必须加热到  $121^{\circ}\text{C}$  以上, 防止转子高速旋转时产生脆性裂变。

## 二、低压转子

低压转子采用整锻转子, 材料为  $25\text{Cr}2\text{Ni}4\text{MoV}$ , 总长度  $8330\text{mm}$  (包括齿环及与发电机连接的定位止口), 总重量约  $56\text{t}$ 。在转子中心全长上有  $\phi 150$  的中心孔, 设置原因与高中压转子相同。低压正反向共 12 级叶轮, 叶轮为锥形截面, 轮缘上有叶根槽, 第 1~5 级为 3 菌型叶根, 末级为 7 叉型叶根。转子前后轴颈均为  $480\text{mm}$ , 与中压转子及发电机转子都采用刚性联轴器连接, 联轴器上各均布有 12 个特制螺栓, 分别与高、中压转子和发电机转子连接和定位。第 1~3 级叶轮中部均设有均布的 7 个  $\phi 40$  的平衡孔, 正反向末级叶轮外侧和正反向第一级叶轮之间各有一个平衡槽, 供制造厂做动平衡时用。两端联轴器外圆周面上各有一个平衡槽, 供电厂轴系动平衡用。

## 三、动叶片

该机组在动叶片设计中采用了一系列新技术和新的设计思想, 使气动、振动和强度方面的水平有较大的提高。

为了提高经济性和改善变工况性能, 在参数高、焓降大、工况恶劣的调节级上, 采用了高可靠性、高效率的三胞胎销钉整体围带叶片。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, 构成高效光滑子午面流道。低压末级采用具有高可靠性、高效率的 851 动叶。

根据现代汽轮机的设计思想, 采用了粗壮可靠的大刚性叶根, 强度设计时直接考核相对动应力, 引入调频和不调频动叶的动强度安全准则。采用高频低幅激振力的分流叶栅隔板, 使叶片有优良的动强度特性。