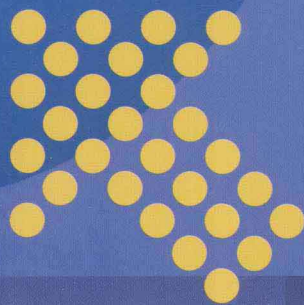


21世纪高等学校规划教材



汽轮机原理 课程设计基础

王运民 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

21世纪高等学校规划教材

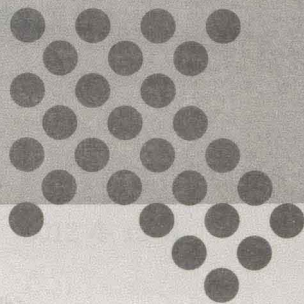


汽轮机原理 课程设计基础

主编 王运民

编写 杨继明 谭欣星 卢绪祥

主审 李 勇 张炳文



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书共分为六章，内容包括大功率汽轮机本体结构简介、等截面级的热力设计、扭叶片级的热力设计、多级汽轮机的热力设计、汽轮机变工况热力核算、汽轮机主要零件的强度核算。

本书可作为高等学校能源与动力工程专业教材，也可供有关专业师生及工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮机原理课程设计基础/王运民主编. —北京：中国电力出版社，2013.7

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5123-4542-3

I. ①汽… II. ①王… III. ①蒸汽透平—高等学校—教材
IV. ①TK26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 120259 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http: //www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 7 月第一版 2013 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 230 千字

定价 18.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

汽轮机原理是能源与动力工程专业的主要专业课程之一,汽轮机原理课程设计又是学完汽轮机原理课程后必修的一门实践性教学课程。为适应我国高参数、大容量机组的发展以及专业课教学改革和学生课程设计指导的需要,我们组织编写了本教材。

本书共分六章,重点介绍了汽轮机本体结构、热力设计方法、变工况热力核算、主要零件强度核算等,具体内容包括大功率汽轮机本体结构简介、等截面级的热力设计、扭叶片级的热力设计、多级汽轮机的热力设计、汽轮机变工况热力核算、汽轮机主要零件的强度核算。

本书由长沙理工大学王运民主编并负责统稿。参加本书编写的人员有:长沙理工大学卢绪祥(第一章);长沙理工大学王运民(第二~第四章,第五章的第三节,第六章的第四、第五节);长沙理工大学谭欣星(第五章的第一、第二节);长沙理工大学杨继明(第六章的第一~第三节)。

本书由东北电力大学李勇教授和张炳文教授担任主审。两位教授认真审阅了书稿,提出了许多宝贵的意见与建议,在此表示诚挚的感谢。

在本书编写过程中,还得到了兄弟院校、火力发电厂、汽轮机制造厂、电力设计院、电力试验研究院等单位的大力支持,并参考了相关的研究成果,在此也一并表示感谢。

本书为长沙理工大学 2012 年规划教材。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 12 月

目 录

前言	
第一章 大功率汽轮机本体结构简介	1
第一节 概述	1
第二节 汽缸	4
第三节 隔板与喷嘴	8
第四节 转子及动叶片	10
第五节 汽封	16
第二章 等截面级的热力设计	22
第一节 等截面级叶片的热力参数与结构参数的选择	22
第二节 汽轮机级的热力计算方法	31
第三节 汽轮机单列级的热力计算示例	39
第三章 扭叶片级的热力设计	46
第一节 概述	46
第二节 简单径向平衡法扭叶片级的热力设计	47
第三节 完全径向平衡法扭叶片级的热力设计	56
第四章 多级汽轮机的热力设计	61
第一节 概述	61
第二节 多级汽轮机热力设计基本参数和形式的选择	62
第三节 多级汽轮机原则性热力系统的拟定与计算	65
第四节 多级汽轮机各级段工作的特点与通流部分的选型	80
第五节 压力级级数确定和各级焓降分配	86
第六节 汽轮机通流部分各级的热力计算及整机校核	89
第五章 汽轮机变工况热力核算	95
第一节 变工况热力核算中的顺序算法	95
第二节 变工况热力核算中的逆序算法	102
第三节 调节级变工况热力核算	105
第六章 汽轮机主要零件的强度核算	112
第一节 汽轮机零件强度校核概述	112
第二节 汽轮机叶片强度核算	112

第三节 叶根与轮缘的强度核算.....	123
第四节 汽缸、法兰及螺栓强度核算.....	127
第五节 汽轮机常用金属材料及其机械性能.....	130
附录 A 常用的国外叶型叶片型线及特性曲线.....	135
附录 B 汽轮机纵剖面图	144
参考文献.....	147

第一章 大功率汽轮机本体结构简介

第一节 概 述

汽轮机是火力发电厂三大主机之一,承担着将蒸汽的热能转变为转子旋转的机械能的任务。汽轮机本体是完成蒸汽热能转换为机械能的汽轮机组的基本部分,即汽轮机本身。汽轮机本体与回热加热系统、调节保安系统、油系统、凝汽系统以及其他辅助设备共同组成汽轮机组。汽轮机本体由固定部分(静子)和转动部分(转子)组成。固定部分主要包括汽缸、隔板、喷嘴、汽封、紧固件和轴承等;转动部分包括主轴、叶轮或轮鼓、叶片和联轴器等。固定部分的喷嘴、隔板与转动部分的叶轮、叶片组成蒸汽热能转换为机械能的通流部分。汽轮机本体还设有汽封系统。

概括起来,汽轮机结构具有以下特点。

一、采用多汽缸结构

随着汽轮机单机功率的增大以及进汽参数的提高,整机的理想焓降会变得较大,在保证每一级最佳速比的前提下,需要的级数会很多。如果一个汽缸中容纳过多的级,则势必增加汽轮机转子的长度,这会使转子的刚性降低,难以保证强度和振动可靠性。因此,必须将转子分成若干段,各段分别支承,因此必须采用多汽缸结构。当然,采用多汽缸结构,还有利于采用再热循环,使单机功率进一步提高,有利于机组轴向推力的平衡,以及扩大通流能力。现代大功率汽轮机均采用了多汽缸结构,而且随着单机功率的增大,汽缸数会增加。必须指出,对于一定容量的机组,采用汽缸的数目既与整个机组的总体设计指导思想有关,还与采用的末级叶片高度及叶片形式有关。

二、采用多排汽口

现代汽轮机采用多排汽口是提高汽轮机单机功率的一种有效途径。例如,国产 300MW 汽轮机采用四排汽口结构,末级叶片高度为 700mm;采用两排汽口结构,末级叶片高度为 1000mm。在末级几何尺寸不变的情况下,可把低压缸设计成分流形式,这样可以成倍地增加汽轮机的功率。图 1-1 给出了几种大功率汽轮机的汽缸配置示意图。

三、采用双轴系结构

为解决大功率汽轮机排汽口增多造成转子过长的困难,可以设计成双轴系结构。图 1-1(d) 为日本三菱公司制造的 600MW 汽轮机双轴系结构,两轴系的转速均为 3000r/min,第一轴系中的高压缸排汽经过一次再热后进入第二轴系的中压缸,其

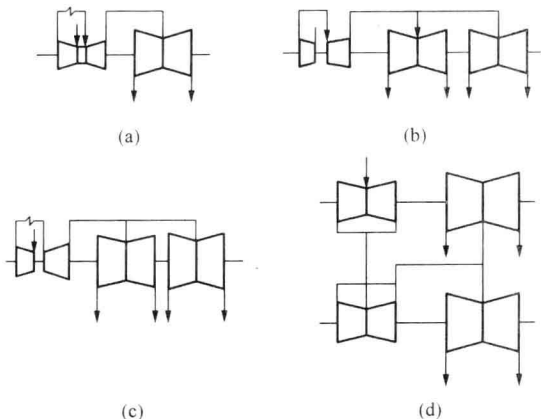


图 1-1 几种大功率汽轮机的汽缸配置示意图
(a) 二排汽口 (300MW); (b) 四排汽口 (300MW);
(c) 四排汽口 (600MW); (d) 双轴四排汽口 (600MW)

排汽再分别引入两个轴系的低压缸。需要指出的是,现代大功率双轴机组大多采用双转速。由汽轮机原理可知,在相同的进汽参数和排汽参数下,汽轮机的极限功率与转速的平方成反比,而汽轮机的单机功率质量与转速成反比。因此,设计中采用低转速虽然可以有效地提高汽轮机的功率,但也增加了汽轮机的质量。如果采用双转速,即大约一半功率由转速为 3000r/min 的转子带动一台二级发电机承担,另外一半功率由转速为 1500r/min 的转子带动一台四级发电机承担,这样提高了单机功率,只是相对增加了机组低转速部分的材料消耗。

目前我国设计制造的机组均为单轴系结构。双轴系结构汽轮机曾在美国、日本等少数国家的一个时期内发展较快,但它与单轴系汽轮机相比,造价较高,电站建设费用大,运行控制困难。因此,近年来随着汽轮机制造水平的不断提高和完善,尤其是末级较长叶片的研制成功,双轴系结构已经较少采用。目前世界上最大的单轴系汽轮机为 1200MW 机组,末级采用 1200mm 长的钛合金叶片。

四、高、中压缸采用分流合缸方式

当一次再热机组的功率不是很大时,可把高压、中压通流部分配置在一个共同的汽缸内。目前,国产 300MW 和 600MW 汽轮机广泛采用这种结构,此种布置方式的优点是:

(1) 高温区集中在汽缸中部,两端的温度、压力均较低,从而减少了对轴承和端部汽封的影响,因而可以改善运行条件,并减少部件的热应力。

(2) 与分缸设计比较,由于减少了一个端部轴段,可以缩短主轴长度,减少了轴封漏汽量。

(3) 减少一个汽缸和一个中间轴承座,缩短机组长度,简化了机组结构。

(4) 可平衡部分轴向推力。

五、采用单独阀体结构

大功率汽轮机采用了把进汽蒸汽室和调节阀从高压缸的缸体上分离出去,设计成单独的蒸汽室—调节阀体的结构形式,并布置于汽轮机两侧的基础之上。阀体与汽缸之间可采用大半径弯管连接,并采用铰链支架将其支承在基座上,如法国 250MW 机组和德国 600MW 机组均为此种结构。某 325MW 超临界参数汽轮机,进汽管从固定于汽轮机两侧的四组主汽阀、调节阀接出后,在进入汽轮机之前,先转过四个 90° 的大弯,然后两根从上部、两根从下部与高压缸相连。在调节阀和汽缸之间的蒸汽管道上都有用螺栓连接的法兰,这样不但可以减少奥氏体钢蒸汽管道上的焊缝数量,而且便于开缸检修。采用单独阀体结构,可以简化汽缸形状,减薄汽缸壁厚,并使汽缸具有良好的对称性,使汽缸能有均匀的温度分布;同时可避免或减少运行中产生的热应力和热变形。调节阀和主汽阀可以做成一个整体,使结构更加紧凑,便于检修。

六、多层汽缸结构

厚厚的汽缸壁会产生过大的热应力,因此大容量机组均采用了此种结构,如图 1-2 所示。国产优化引进型 300MW 汽轮机的高、中压缸均采用了双层缸,低压缸采用了三层缸。高、中压缸采用双层汽缸后,内缸主要承受高温,需要用耐热合金材料制造,但承受的压力相对较小,故内缸尺寸较小;外缸在夹层蒸汽冷却的作用下,温度较低,只需一般的合金钢制造即可。双层缸结构对于汽轮机启动、停机时汽缸的加热与冷却均有利,可以缩短启动时间。

对于低压缸,由于蒸汽容积流量的增大其尺寸较大,并要保证其有足够的强度以及排汽

通道有合理的形状,以利用排汽余速动能。低压缸采用多层缸也有其缺点,主要是低压缸受抽汽室内的蒸汽冷却,而抽汽室又受排汽冷却,在一定程度上降低了热效率。

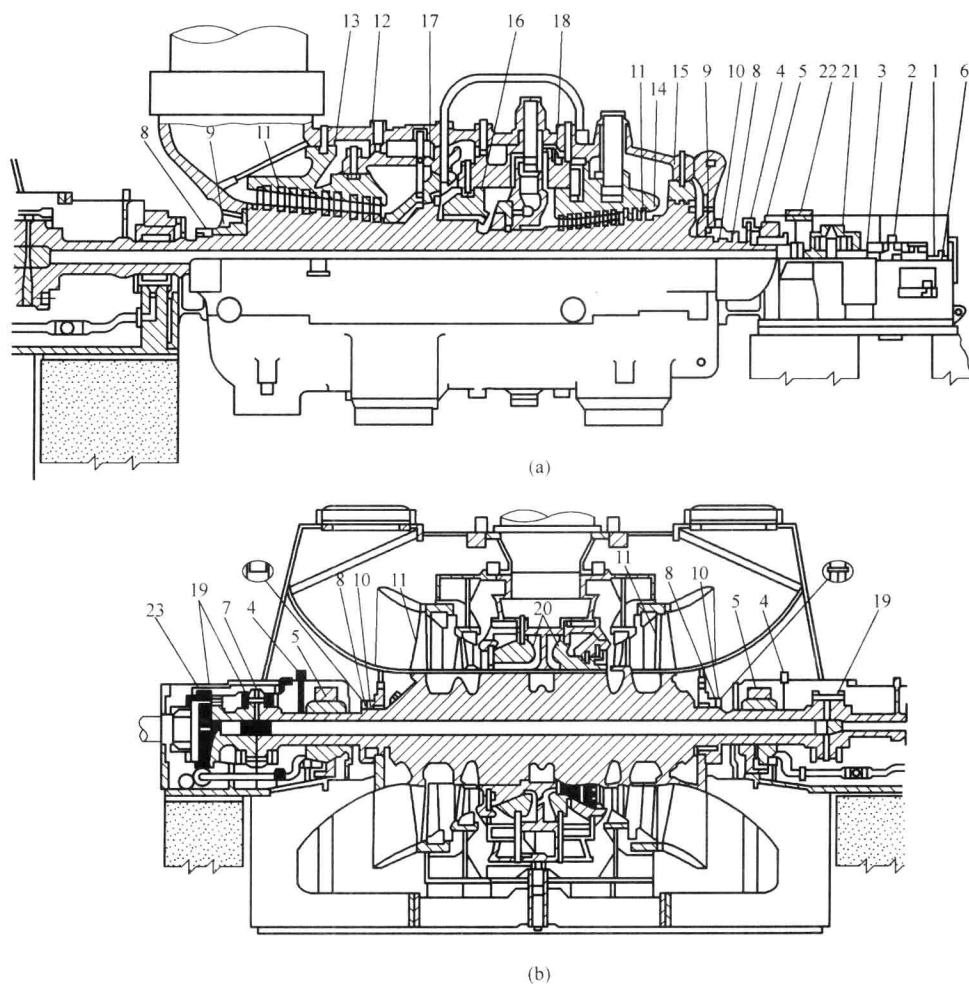


图 1-2 上海汽轮机厂制造的 300MW 汽轮机纵剖面图

(a) 高、中压部分; (b) 低压部分

1—超速脱扣装置; 2—主轴泵; 3—转速传感器+零转速检测器; 4—振动检测器; 5—轴承;
6—偏心+鉴相器; 7—差胀检测器; 8—外轴封; 9—内轴封; 10—汽封; 11—叶片; 12—中压 1 号持环; 13—中压 2 号持环; 14—高压 1 号持环; 15—低压平衡持环; 16—高压平衡持环;
17—中压平衡持环; 18—内上缸; 19—联轴器; 20—低压持环; 21—推力轴承; 22—轴向位置+推力轴承脱扣检测器; 23—测速装置(危急脱扣系统)

七、加长低压级叶片长度

各汽轮机制造厂对末级叶片的开发极为重视,这是提高单机功率的有效途径。但末级叶片的工作环境恶劣,长期处于最大湿度的蒸汽环境下,而且易诱发颤振,工作应力又高,因此应特别考虑其强度问题。叶片的长度取决于两个因素:一为冶金水平,是否能提供质量更轻、强度更高的叶片材料;二为叶片设计的完善性,除了满足气动特性、振动强度等技术条件,还要考虑叶片变工况运行特性,在最小允许流量下安全运行。当然,叶片的长度还与汽

轮机的额定转速有关。我国大机组一般额定转速为 3000r/min，实用的最长叶片为 1000mm，用于东方汽轮机厂生产的首台 300MW 汽轮机。

目前，世界上最长的汽轮机末级叶片为 1320mm，用于 1500MW、1800r/min 的原子能汽轮机。表 1-1 列出了国内外某些汽轮机制造厂末级叶片的数据。

表 1-1 国内外某些汽轮机制造厂末级叶片数据 (3000r/min)

制造厂	叶片长度 (mm)	平均直径 (mm)	径高比	单排汽口排汽面积 (m ²)
哈尔滨汽轮机厂	665	2000	3	4.18
上海汽轮机厂	700	2035	2.91	4.47
东方汽轮机厂	1000	2600	2.6	8.164
德国西门子公司	1150	2900	2.52	10.48
英国 AEI 公司	1143	2970	2.6	10.68
德国 KWU 公司	1080	2950	2.73	10.00
日本东芝公司	1067	2850	2.67	9.55
日本三菱公司	1016	2794	2.75	8.91
瑞士 ABB 公司	1048	3100	2.96	10.20

八、机组的自动化水平高

大功率汽轮机组的控制极其复杂，但随着计算机技术的应用，使得机组的自动化控制水平逐渐提高，利用计算机可以进行运行的实时监控，性能、效率的在线计算，控制汽轮机自动启动、升速、并网等。例如某引进型 300MW 汽轮机，整个机组的控制可由 CCS 协调控制系统完成，而汽轮机的数字式电液调节系统 (DEH) 的功能也比较完善。

目前，国内外已经有了以计算机为主体的全自动化电厂，同时还确立了有效利用彩色电视显像 (CRT)、音响通报装置、辅机听音装置等视听机能的综合人机对话通信系统，也就是说，并未停留在单独的自动化运行水平上，而是进一步采用更先进的技术。可以说，目前电站机组已进入了利用设备诊断技术，以系统运行管理为目标的超自动运行的火力发电时代。

第二节 汽 缸

一、概述

汽缸就是汽轮机的外壳，是汽轮机重要的静止部件之一。根据汽缸进口处蒸汽参数的不同，可以将汽缸分成高压缸、中压缸和低压缸。

汽缸内装有喷嘴、隔板和汽封等部件，统称为静子，与转子一起组成汽轮机的通流部分。在汽缸外接有进汽、排汽和回热抽汽管等部件。汽缸应具有足够的刚度和强度，安装时，应能承受各零件的自重和管道的安装拉力；工作时，应能承受汽缸内外的压差、蒸汽流出静叶时对静叶部分的反作用力和各种连接管道热状态对汽缸的作用力；设计时，还要考虑汽缸各部分在各个方向的热膨胀，同时还要使这些膨胀不改变静子和转子的同心度。

二、汽缸的作用及受力

1. 汽缸的作用

汽缸是汽轮机的外壳，其作用如下：

- (1) 将高温高压蒸汽与大气隔开，形成能量转换的环境。
- (2) 内部包容隔板、喷管叶栅及转子的部件，共同构成汽轮机的通流部分。
- (3) 承受安装在内部各零件的质量、管道的安装拉力、运行时汽缸内外的压差、汽缸内外温度变化产生的热应力以及连接管道热状态改变时对汽缸的作用力。
- (4) 端部装有汽封，形成严密的汽室，防止蒸汽外漏，在低压部分防止空气漏入。
- (5) 汽缸上加工有抽汽口，与回热抽汽管道加热系统一起完成回热循环，加热给水，提高循环效率。

为了方便安装及检修，汽缸一般分为上、下两部分，通过水平法兰将上、下汽缸用螺栓紧固。不同的机组有不同结构特点的汽缸，它与蒸汽参数、机组形式、制造工艺等有关。一般情况下，汽缸可分为缸体部分、进汽部分、排汽部分、连接导管、支承部分以及加热系统和膨胀系统。

2. 汽缸的受力

汽缸的受力非常复杂，而且随着汽轮机运行工况的改变而变化。汽缸在工作时承受的作用力主要有：

- (1) 汽缸内外的压力差，使汽缸壁承受一定的压力。高、中压部分汽缸内蒸汽压力高于大气压力，汽缸壁受到向外的张力；低压部分汽缸内蒸汽压力低于大气压力，汽缸壁受到向内的压力。
- (2) 隔板和喷嘴作用在汽缸上的力。这是由于隔板前、后的压力差及汽流流过喷嘴时的反作用力所引起的，这些作用力随负荷变化而改变。
- (3) 汽缸本身和安装在汽缸上零部件的质量。
- (4) 轴承座与汽缸铸成一体或轴承座用螺栓连接下汽缸的机组，汽缸还承受着转子的质量及转子转动时产生的不平衡力。
- (5) 进汽管道作用在汽缸上的力。
- (6) 汽轮机运行时，汽缸各部分存在着的温度差所引起的极为复杂的热应力。

三、汽缸的结构

(一) 汽缸结构特点

汽缸是汽轮机中形状和结构最复杂的部件，其内壁上有用来安装隔板、隔板套和汽封体的环形槽道；外壁上有许多管接头，用来与进汽管、抽汽管、排汽管和疏水管等管道连接；前端有进汽室，中间有抽汽室和抽汽口，后端有排汽室。

根据机组的功率不同，汽缸有单层缸和多层缸结构。目前我国生产的功率为 100MW 以下的汽轮机多采用单层缸结构；功率为 100MW 以上的汽轮机多采用多层缸结构；功率为 100MW 的汽轮机采用单层缸和双层缸结构。高、中压部分汽缸均为铸造结构，低压排汽缸除功率较小的机组均采用铸铁结构外，大功率机组均采用钢板焊接结构或小铸件和钢板焊接的组合结构。

汽缸从高压向低压方向看，大体成圆筒形或圆锥形。为了便于加工、安装和检修，汽缸一般做成水平对分式，即分为上、下汽缸，水平结合面通常用法兰螺栓连接。

(二) 高压缸

高压缸承受着高压、高温蒸汽的作用，因此要求高压缸的汽缸缸壁加厚，而且一般采用双层缸，法兰的尺寸和螺栓的直径也要相应增大。在高压缸的前端还设置有进汽部分，因此更应力求其形状简单、对称，避免法兰过宽。通常蒸汽参数不超过 8.83MPa、535℃，功率为 100MW 及以下的汽轮机，高压缸均采用单层缸结构；功率大于 100MW 的汽轮机采用双层缸结构。亚临界机组参数高压缸外形呈圆筒形，而超临界参数机组呈球形，球形内外缸结构能减少连接螺栓的尺寸及汽缸的厚度。图 1-3 为 CEM300MW 汽轮机高压缸。

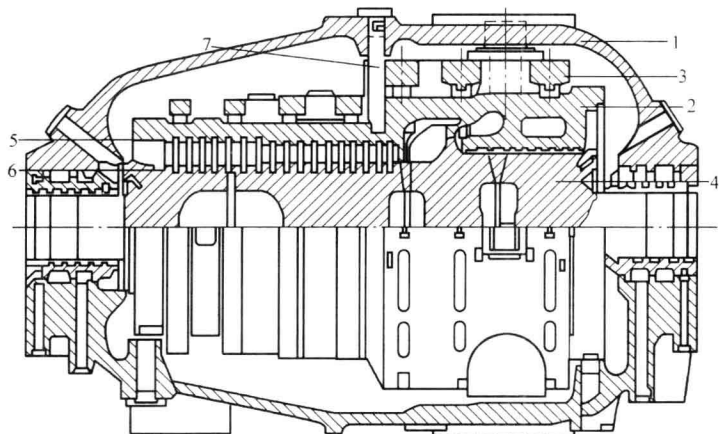


图 1-3 CEM300MW 汽轮机高压缸

1—外缸；2—内缸；3—紧圈；4—转子；5—静叶；6—动叶；7—启动探针

1. 进汽部分

高压缸前部从调节阀到调节级喷嘴这段区域称为汽轮机的进汽部分，包括调节汽阀的汽室和喷嘴室，是汽缸中承受压力、温度最高的部分。

大功率汽轮机的汽缸通常采用多层缸，进汽短管与汽缸的连接有以下几种方式：

- (1) 高压缸进汽短管与外缸用法兰连接。
- (2) 中压缸的进汽管与内缸用大螺母连接或焊接，进汽短管和喷嘴室采用活动连接。
- (3) 中压缸的进汽短管直接插在内缸的进汽室入口中，采用活动连接。

图 1-4 为某双层高压缸进汽部分结构简图。

2. 法兰及螺栓

对于中、低参数汽轮机，汽缸中分面可采用法兰和螺栓连接。但对于高参数汽轮机的高压缸，当用法兰和螺栓连接时，情况就不一样了。由于汽缸内压力很高，要保证中分面的汽密性是非常困难的。此时必须采用很厚的法兰和排列非常密集的螺栓，螺栓的中心距 t 是螺栓直径的 1.5~1.7 倍。这样密集的螺栓排列是一般的螺栓结构所不能达到的，必须采用特殊的螺栓结构。为了便于拧紧螺帽，必须将螺帽加高，六角形变小，这种螺帽称为罩盖螺帽或套筒螺帽。

法兰螺栓有两种形式：一种是埋头螺栓，见图 1-5 (a)，这种螺栓腰部直径小于螺栓部分直径，弹性较好，可以减小由于应力集中而引起的断裂危险；另一种是双头螺栓，见图 1-5 (b)，这种螺栓比埋头螺栓长，其弹性更好。

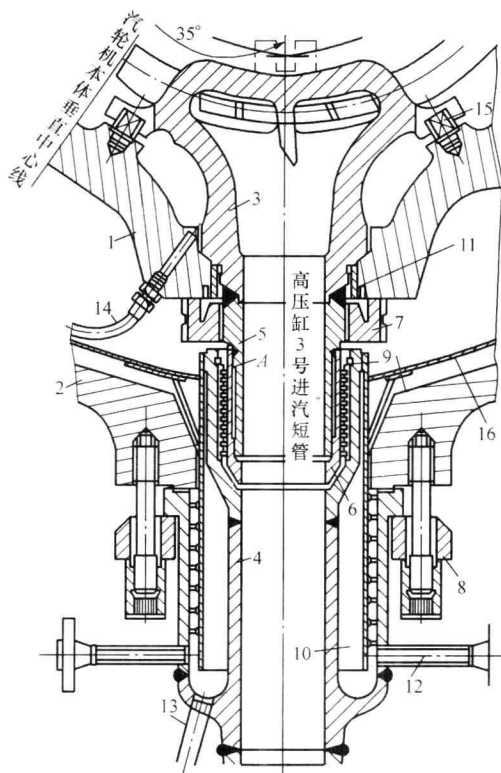


图 1-4 某双层高压缸进汽部分结构简图

- 1—内缸；2—外缸；3—喷嘴室；4—进汽短管；
5—喷嘴室进汽管；6—密封套；7—连接螺母；
8—法兰；9—汽封环；10—遮热衬套；
11—薄壁衬环；12—冷却蒸汽排汽管；
13—夹层疏水管；14—汽缸疏水管；
15—喷嘴室定位键；16—遮热护板

对于高压汽缸来说，为了减少法兰承受的弯曲应力以及螺栓承受的拉应力，应该使螺栓中心线越靠近汽缸壁中心线越好。法兰螺栓内移有两种方法：一种方法是把法兰做成高窄波形法兰，如图 1-6 (a) 所示；另一种方法是将穿螺栓部位的汽缸刮出一凹进平面，如图 1-6 (b) 所示。

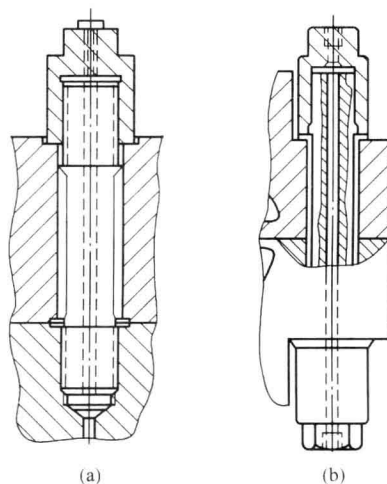


图 1-5 法兰螺栓形式

- (a) 埋头螺栓；(b) 双头螺栓

(三) 排汽缸

将汽轮机末级动叶片排出的蒸汽导入凝汽器的部分称为排汽缸。排汽缸是在真空状态下工作，尺寸很大，考虑其结构时，主要应保证它有足够

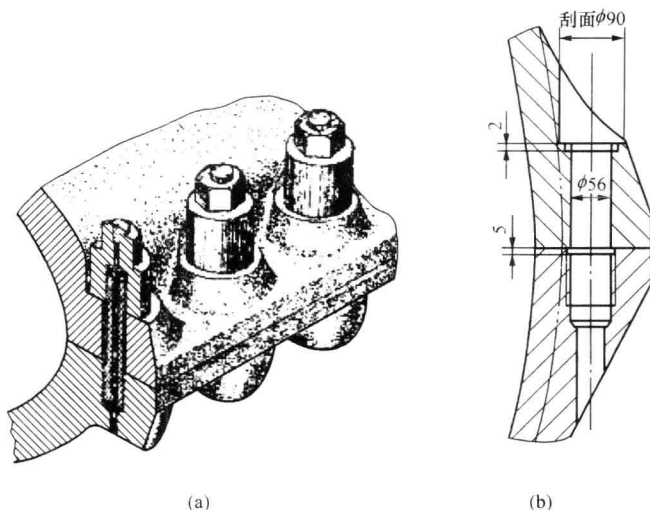


图 1-6 法兰螺栓内移

- (a) 高窄波形法兰；(b) 刮出的平面

的刚性，并具有良好的流动特性以回收排汽的余速动能。图 1-7 为低压排汽缸结构形式。

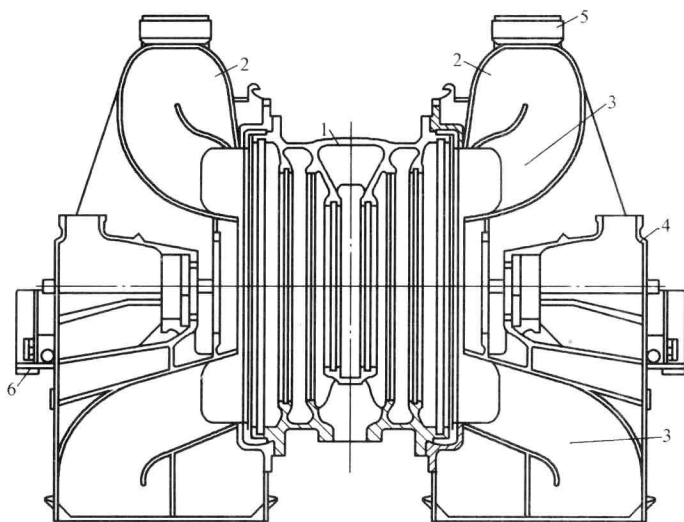


图 1-7 低压排汽缸结构形式

1—低压缸中部；2—排汽缸；3—不对称扩压管；4—轴支座；5—大气安全门；6—死点位置

第三节 隔板与喷嘴

一、概述

冲动式汽轮机中，调节级的喷嘴组安装在各自的喷嘴室出口，其他各级的喷嘴叶栅都安装在隔板上。反动式汽轮机的隔板也称静叶环。汽轮机的隔板在于把汽缸分成若干个汽室，使蒸汽的压力、温度逐级下降，蒸汽的热能在静叶片组成的汽道中被转化为动能，蒸汽流过变截面的喷嘴（静叶）汽道之后，体积膨胀，压力降低，流速增加，然后按一定的喷射角进入动叶片中做功。工作时，隔板承受前后压差产生的均布载荷。

二、喷嘴组

汽轮机第一级的喷嘴通常由若干个喷嘴组成喷嘴组固定在单独设置的喷嘴室上，第二级及以后的各级喷嘴装在隔板上。喷嘴组有两种结构形式：一种是中参数汽轮机上采用的由单个铣制的喷嘴件焊接而成；一种是高参数汽轮机上采用的整锻铣制焊接或精密铸造而成。

图 1-8 为整锻铣制焊接喷嘴组，它是在整锻的内环上直接铣制喷嘴片，再在喷嘴片外缘焊上隔叶片并与外环焊接而成。

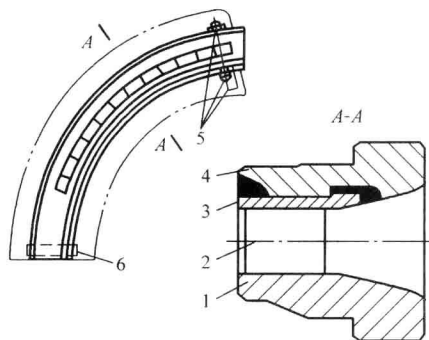


图 1-8 整锻铣制焊接喷嘴组

1—内环；2—喷嘴叶片；3—隔叶片；
4—外环；5—定位销；6—密封键

三、隔板

隔板用于固定喷嘴叶栅，并将整个汽缸间隔成若干个汽室。它主要由隔板体、喷嘴叶栅和隔板外缘等部分组成。隔板通过外缘直接安装在

汽缸或隔板套内专门的凹槽中，为了安装、拆卸方便，隔板沿水平中分面对分为上、下两半块。为了使隔板在工作时具有良好的经济性和可靠性，从结构上考虑，应满足以下几点要求：

- (1) 有足够的刚度和强度。
- (2) 有良好的密封性。
- (3) 隔板与转子中心应一致。
- (4) 隔板上喷嘴汽叶应具有良好的流动特性。
- (5) 结构应简单。

(一) 隔板的结构

根据制造工艺的不同，目前常用的隔板有铸造和焊接两类。

1. 铸造隔板

铸造隔板结构示意图如图 1-9 所示。铸造隔板的喷嘴片两端有若干个孔，或者做成切口形状，铸造时铁水流入孔内或切口内形成穿钉，使隔板片与隔板牢固结合。喷嘴片与隔板应牢固结合。通常喷嘴片为铣制、精铸、模铸或由钢板冲压成型。大型汽轮机的末级已开始采用薄钢板围成的空心喷嘴，应用爆炸成型技术。

铸造隔板的优点是制造较容易，成本低；其缺点是汽道尺寸精度差，端面较粗糙。此外，根据铸铁的热强性能，使用温度也不易太高（一般小于 350°C ），因此铸造隔板仅用于汽轮机的低压部分。

2. 焊接隔板

焊接隔板用于温度高于 350°C 的汽轮机高、中压部分，图 1-10 是焊接隔板的结构示意图，图中整个隔板由喷嘴叶栅、隔板体和外缘焊接而成。喷嘴叶栅可由喷嘴片和内、外围带焊接而成，也可整块式精密浇铸而成。轧制或铣制的喷嘴片需焊接在预先冲好型孔的内、外围带上。

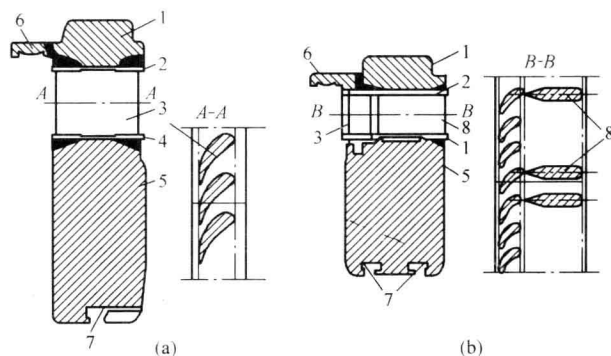


图 1-10 焊接隔板结构示意图

(a) 普通焊接隔板；(b) 带加强筋的焊接隔板

- 1—隔板外环；2—外围带；3—静叶片；4—内围带；
5—隔板体；6—径向密封；7—汽封槽；8—加强筋

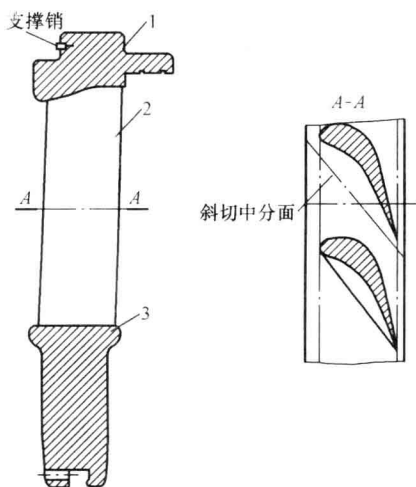


图 1-9 铸造隔板结构示意图

1—外缘；2—导叶片；3—隔板体

3. 组合式隔板

这种隔板是将铣制的喷嘴铆接在隔板体和外缘之间制成的，其优点是喷嘴表面光洁，因此可以减少喷嘴损失，提高效率。但是采用这种隔板加工成本高，隔板强度也不如焊接隔板，喷嘴与喷嘴间结合面的严密性也较差，因此其使用具有很大的局限性。

4. 隔板去湿装置

工作在湿蒸汽区的级，其隔板上有去湿装置。最常用的结构有隔板外环的去湿槽、喷嘴叶栅顶部铸缝处的骑缝吸湿槽和空心喷嘴片出口边的吸

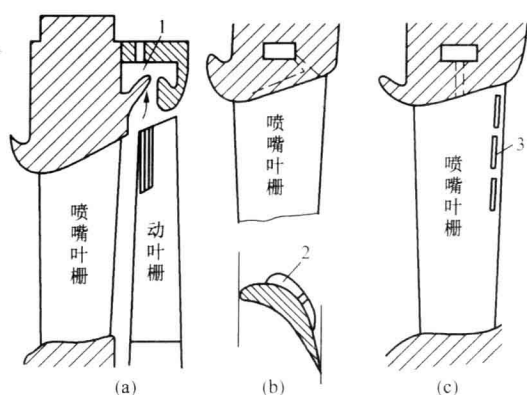


图 1-11 隔板去湿装置示意图

1—去湿槽；2—骑缝吸湿槽；3—吸湿缝

汽缸凹槽之间一般留有 1~2mm 的间隙。隔板在隔板套或汽缸内的支承和定位是采用悬挂销和键支承的定位结构。

湿缝，如图 1-11 所示。吸湿缝与隔板外缘内连通凝汽器的环形室相通，利用凝汽器内真空吸去喷嘴片表面的水膜。

(二) 隔板套

大型汽轮机各级的隔板通常不是直接固定在汽缸上，而是固定在隔板套上，隔板套再固定在汽缸上。采用隔板套可以使级间距离不受或少受抽汽口的影响，从而减小汽轮机的轴向尺寸，简化汽缸形状，有利于启动和负荷变化。如图 1-12 所示，隔板套也分为上下两半，中分面具有法兰，用螺栓和定位销连接；为了保证隔板套的热膨胀，它与

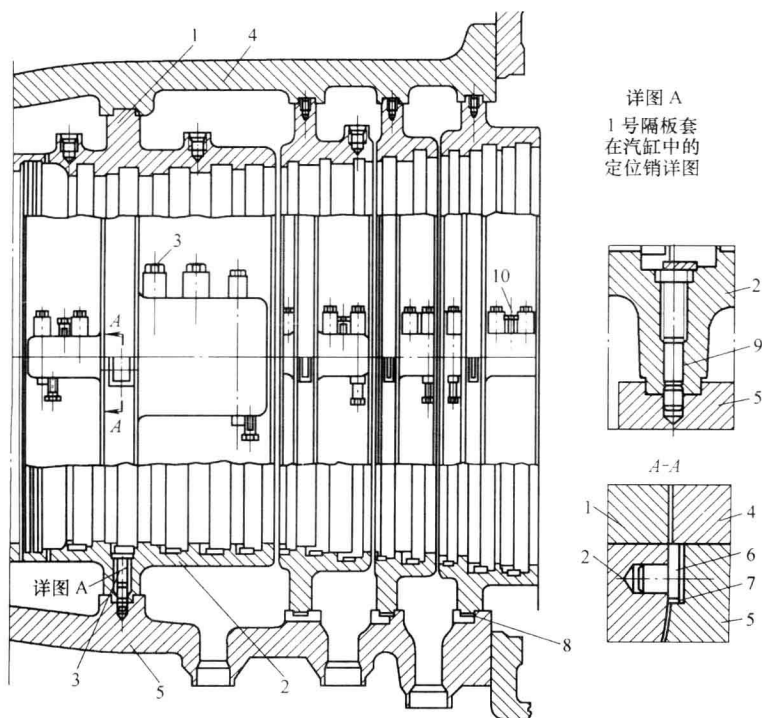


图 1-12 隔板套结构示意图

1—上隔板套；2—下隔板套；3—连接螺栓；4—上汽缸；5—下汽缸；
6—悬挂销；7—垫片；8—平键；9—定位销；10—顶开螺钉

第四节 转子及动叶片

一、概述

汽轮机的转子主要由主轴、叶轮、动叶片等构成。动叶片与隔板上的静叶栅构成汽轮机

的通流部分，其作用是把蒸汽的热能转换成机械能，通过叶轮和主轴带动发电机做功。

转子工作时作高速旋转，除了要转换能量、传递扭矩外，还要承受动叶片、叶轮和主轴上各零件质量所产生的离心力等，因此要用高强度的金属材料制成。在高温区工作的转子要采用耐热、高强度的材料。

为了提高流通部分的效率，转子和静子部分要保持较小的相对间隙，要求制造精密，装配正确。转子上任何缺陷都会影响汽轮机的安全运行，严重者会造成重大的设备和人生事故，所以是汽轮机极为重要的部件之一，从零件毛坯制造开始，经过机械加工、钳工装配直到质量检验等整个生产过程都有极其严格的技术要求。

汽轮机的转子由高压、中压、低压转子三部分组成。

二、转子的类型及结构

汽轮机转子按形状可分为转轮型和转鼓型转子。冲动式汽轮机常采用转轮型转子；反动式汽轮机则采用转鼓型转子；某些大功率冲动式汽轮机的低压部分也采用转鼓型转子。按制造工艺分，则可分为套装、整锻、组合及焊接转子。

（一）套装转子

套装转子的结构如图 1-13 所示。

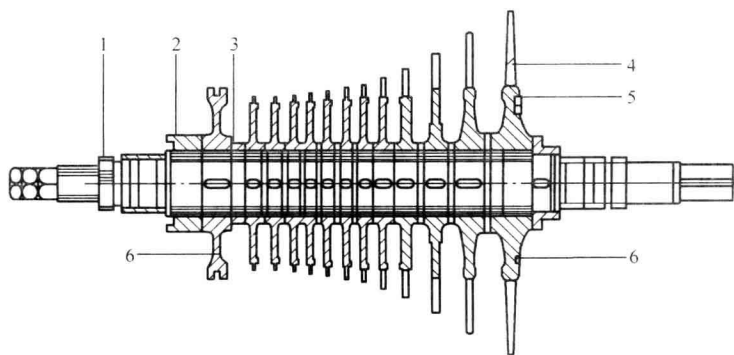


图 1-13 套装转子结构示意图

1—油封环；2—汽封环；3—轴；4—叶片；5—叶轮；6—平衡槽

这种转子是将主轴与叶轮分别加工制造，然后将叶轮热套（过盈配）在主轴上。主轴加工成阶梯型，中间直径大，两端直径小，这样不仅有利于减小转子的挠度，而且有利于叶轮的套装和定位。

套装转子的优点是：叶轮和主轴可以单独制造，故锻件小、加工方便、节省材料、转子部分零件损坏后容易拆换。其缺点是：轮毂处应力较大、转子的刚性较差，特别是在高温工作时金属的蠕变容易使叶轮和主轴套装处产生松动现象。

（二）整锻转子

整锻转子的结构如图 1-14 所示。

这种转子的叶轮、主轴及其他主要部件是使用整体毛坯加工而成。主轴的中心通常钻有中心孔，其作用是：

- （1）去掉锻件中残留的杂质及疏松部分。
- （2）检查锻件的质量。