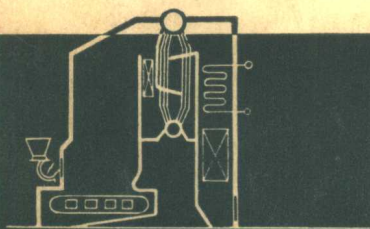


小型火力发电厂
锅炉设备及运行



西安电力学校

水利电力出版社

小型火力发电厂
锅炉设备及运行

西安电力学校

水利电力出版社

内 容 提 要

本书讲述小型火力发电厂中常用的链条锅炉的工作原理、结构和运行知识。书中首先介绍了火力发电厂的基本生产过程和各主设备的原理、结构，以及常用热工仪表的基本知识；之后，详细讲解几种典型国产小容量锅炉的工作原理和部件结构；最后，分析了锅炉运行的基本原理和事故处理方法；此外，对于某些技术改进途径也作了概要的介绍。

本书可供具有初中文化程度的发电厂锅炉运行工人学习之用，也可供从事这方面工作的其他同志参考。

小型火力发电厂 锅 炉 设 备 及 运 行 西安电力学校

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1973年8月北京第一版

1975年8月北京第二次印刷

印数 32321—44880 册 每册 1.20 元

书号 15143·3048

毛 主 席 語 录

路线是个纲，纲举目张。

**鼓足干劲，力争上游，多快好省地
建设社会主义。**

**打破洋框框，走自己工业发展道
路。**

前 言

在毛主席和党中央的英明领导下，波澜壮阔的无产阶级文化大革命已经取得了伟大的胜利，通过批修整风，深入批判了刘少奇一类骗子所推行的反革命修正主义路线，全国人民的阶级斗争和路线斗争觉悟空前提高，革命团结进一步加强，我们伟大祖国的社会主义建设事业正胜利地沿着毛主席的革命路线阔步前进。

由于认真贯彻执行了毛主席制订的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线，和“以农业为基础、工业为主导”的发展国民经济总方针，电力工业出现了一派欣欣向荣、蓬勃兴旺的景象。

几年来，特别是无产阶级文化大革命以来，在建设了很多大、中型火力发电厂的同时，各地都先后建设了不少小型火力发电厂，进一步保证了国民经济发展的用电需要。为了继续更好地保证这些小型火力发电厂锅炉设备的安全、经济运行，发挥应有的效益，我们特地组织编写了这本《小型火力发电厂锅炉设备及运行》，以供单机容量在3000瓩以下的小型火力发电厂的锅炉运行工人及从事这方面工作的其他同志在工作和学习中参考。

由于我们路线斗争觉悟不高，业务水平有限，实践经验缺乏，书中不妥或错误之处在所难免，恳切希望同志们批评指正。

本书在编写过程中，曾承山东省滕县电厂、山东省临沂电厂、陕西省延安电厂、陕西省户县热电厂等单位对原稿仔细地进行了审查和修改，还得到了北京锅炉厂、广东省水电局、广东省连阳电厂、济南锅炉厂、河南省商丘电厂、河南省周口电厂、山东省枣庄电厂、总后3546厂、华中工学院、广东省汕头电厂、陕西省永平电厂等很多单位的大力支持和热情帮助，提供了很多有益的资料和经验。在此我们谨向所有这些单位和同志们表示衷心的感谢。

西安电力学校锅炉教研组

1972年11月

目 录

前 言

第一章 发电厂概述	1
(一) 火力发电厂的生产过程.....	1
1-1 电力生产的基本过程.....	1
1-2 锅炉的基本概念.....	1
1-3 汽轮机的基本概念.....	4
1-4 发电厂电气部分简介.....	12
1-5 发电厂水处理概述.....	16
1-6 发电厂的热力系统.....	21
1-7 发电厂对锅炉运行的要求.....	22
(二) 锅炉基础知识.....	23
1-8 蒸汽发生过程.....	23
1-9 压力及压力测量.....	24
1-10 温度及温度测量.....	29
1-11 蒸发量及流量测量.....	37
第二章 锅炉构造及原理	41
(一) 锅炉本体及系统.....	41
2-1 锅炉本体简介.....	41
2-2 汽包及其附件.....	43
2-3 锅炉辐射受热面——水冷壁.....	54
2-4 对流管束.....	57
2-5 锅炉水循环.....	63
2-6 过热器.....	69
2-7 省煤器.....	76
2-8 给水泵.....	82
2-9 除氧器.....	89
2-10 常见阀门.....	91
(二) 燃烧设备.....	93
2-11 燃烧室.....	95

2-12	炉 排	104
2-13	抛煤机	117
2-14	风烟系统设备	123
第三章 锅炉运行		133
3-1	概 述	133
3-2	锅炉正常运行	133
3-3	锅炉升火及停炉	174
3-4	锅炉辅助设备的运行	190
3-5	锅炉常见事故的处理及预防	193
第四章 锅炉设备的技术改进		207
4-1	锅炉设备技术改进的途径	207
4-2	给煤设备的改进	207
4-3	通风系统的改进	211
4-4	燃烧设备的改进	217
4-5	关于炉内受热面的增减问题	238
4-6	汽水分离装置的改进	240
4-7	关于过热蒸汽温度问题	242
4-8	关于锅炉受压部件的强度问题	242
4-9	锅炉水垢的清除	243
附录：水蒸汽热力特性（焓—熵）图表		
表Ⅰ、饱和蒸汽热力特性（以温度为准）		245
表Ⅱ、饱和蒸汽热力特性（以压力为准）		246
表Ⅲ、水和过热蒸汽的热力特性		248
水蒸汽热力特性（焓—熵）图		

第一章 发电厂概述

(一)火力发电厂的生产过程

1-1 电力生产的基本过程

电力生产的基本过程，可参照图 1-1 来进行简要的说明：煤送入锅炉 1 中燃烧，利用燃烧放出的热量加热锅炉受热面中的水，产生具有一定压力和温度的蒸汽，再将蒸汽送入汽轮机 2 内。当蒸汽流经汽轮机的喷嘴时，蒸汽膨胀，于是压力、温度降低，流速增大，高速汽流冲动汽轮机的叶片，使汽轮机的转子转动。汽轮机带动发电机 3 转动时，便可以生产出电能。

在汽轮机内作过功的蒸汽（叫乏汽）进入凝汽器 4，在凝汽器中用冷却水（叫循环水）将乏汽冷却成凝结水。为了减少水中溶解的氧气和二氧化碳气体对热力设备的腐蚀，先用凝结水泵 5 把凝结水送入除氧器 6 中将氧气和二氧化碳气体除掉，再经给水泵 7 提高压力后送入锅炉。这样，在热力系统中工作物质（水和蒸汽）便完成了一个循环。重复以上所说的变化过程，就连续地生产出电能。

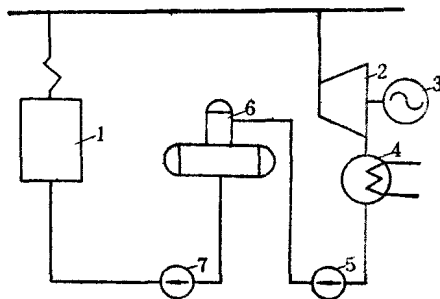


图 1-1 电力生产过程示意图

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；
5—凝结水泵；6—除氧器；7—给水泵

我们知道，能量是可以互相转换的。火力发电厂的生产过程就是能量转换过程。这个过程是通过发电厂的三大主要设备即锅炉、汽轮机和发电机来实现的。在锅炉中，将煤所含的化学能转换为蒸汽的热能。在汽轮机中，将蒸汽的热能转换为汽轮机轴的回转机械能。在发电机中，将机械能最后转换为电能。

1-2 锅炉的基本概念

在火力发电厂中，锅炉是生产具有一定压力和温度的过热蒸汽的设备。

锅炉一般是由“锅”与“炉”两部分组成的。所谓“锅”是锅炉设备中的汽水系统。送入锅炉的水，在汽水系统内首先吸收热量蒸发成饱和蒸汽，然后再吸收热量变成过热蒸汽，这一过程的特点是吸热。所谓“炉”是锅炉设备中的风煤烟系统。在这一系统中，煤与空气中的氧气化合燃烧放热，产生高温的火焰和烟气。烟气在炉膛和烟道中流动时，不

断地把热量传递给汽水系统而使本身温度逐渐降低，最后被排出炉外，这一过程的特点是放热。

锅炉设备中的“锅”与“炉”，一个吸热，一个放热，这两个密切相关的、矛盾着的东西组成了一套完整的设备。

为了对锅炉设备有一个总体的了解，下面我们以图 1-2 所示的 SZP10-25/400 型锅炉（S 表示双汽包，Z 表示纵置式，P 表示抛煤机，10 表示锅炉容量-吨/时，25 表示过热蒸汽压力值-大气压，400 表示过热蒸汽温度值-°C）为例，对锅炉的风煤烟系统和汽水系统作一简要介绍。

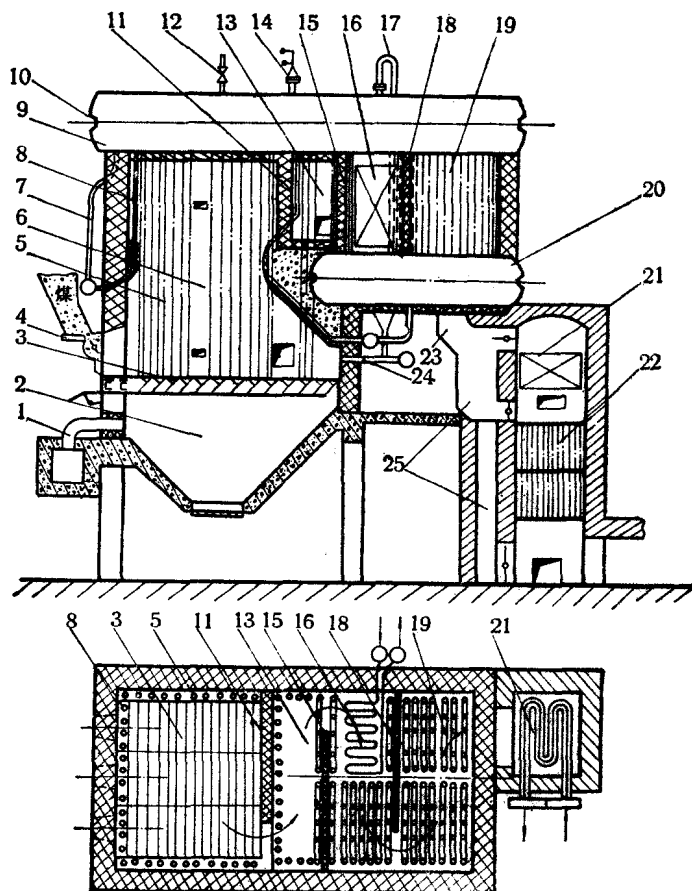


图 1-2 SZP10-25/400 型锅炉简图

- 1—风管；2—灰渣斗；3—手摇炉排；4—抛煤机；5—侧水冷壁；6—炉膛；7—前下降管；8—前水冷壁；9—汽包；10—汽包人孔门；11、15、18—挡火墙；12—空气门；13—燃尽室；14—安全门；16—过热器；17—饱和蒸汽管；19—对流管束；20—泥鼓；21—省煤器；22—空气预热器；23—烟道；24—飞灰复燃器；25—旁通烟道

一、锅炉的风煤烟系统

锅炉的风煤烟系统如图1-2和图1-3所示。锅炉燃烧所需要的煤从煤场运来，先经碎煤机破碎后用输煤皮带送入煤斗，再经抛煤机 4 送进炉膛 6，煤落在炉排 3 上。

锅炉燃烧所需要的风由送风机供给，空气经送风机提高压力后首先送入空气预热器

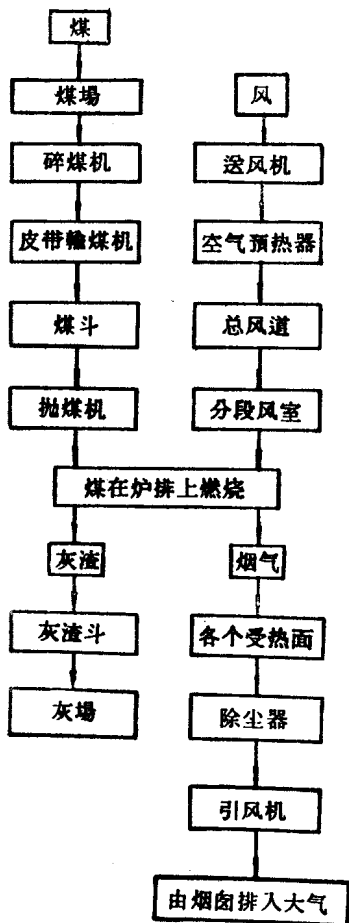


图 1-3 锅炉风煤系统方框图

22. 空气预热器装在锅炉的尾部烟道中，它的作用是利用烟气的热量加热空气，使冷风变成热风。风温提高后，可以改善燃烧状况，节省燃煤，提高锅炉效率。

从空气预热器出来的热风经过风道分段送到炉排下面后，穿过炉排缝隙进入煤层。绝大部分煤在炉排上进行层状燃烧，少量细小的煤粒被风吹起，在炉膛中进行悬浮燃烧。

燃烧产生的高温烟气在引风机的抽吸作用下，以一定

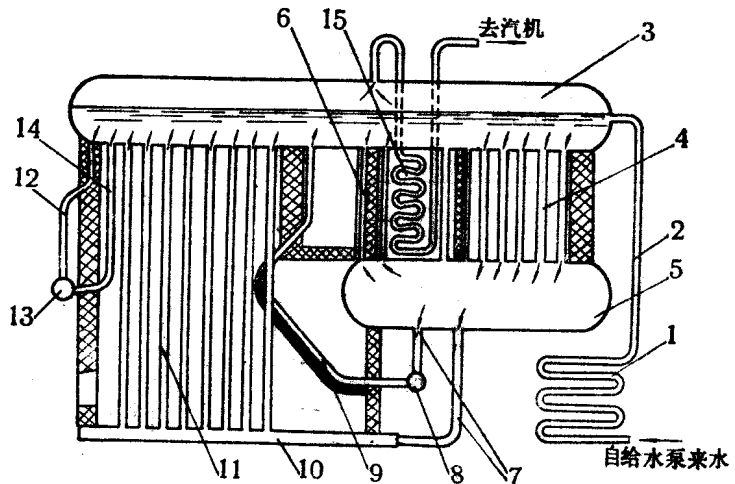


图 1-4 SZP10-25/400型锅炉汽水系统简图

1—省煤器；2—给水管；3—汽包；4、6—对流管束；5—泥鼓；7—下降管；8—后联箱；9—后水冷壁；10—侧联箱；11—侧水冷壁；12—前下降管；13—前联箱；14—前水冷壁；15—过热器

的速度依次流过炉膛和各部烟道。烟气在流动过程中不断地把热量传递给锅炉的各个受热面（水冷壁、对流管束、过热器、省煤器、空气预热器），本身温度逐渐降低。

从锅炉尾部烟道排出的低温烟气先进入除尘器。除尘器装在引风机前面的烟道中，它的作用是把烟气中所携带的飞灰除掉，以减轻引风机的磨损和空气的污染。除尘后的烟气经引风机提高压力后，由烟囱排入大气。

二、锅炉的汽水系统

锅炉的汽水系统如图 1-4 和图 1-5 所示。由给水泵送到锅炉来的水，首先进入省煤器 1。省煤器装在锅炉的尾部烟道中。省煤器的作用是利用烟气的热量加热锅炉给水，降低排烟温度，减少排烟热损失，节省锅炉燃煤，提高锅炉热效率。

水经省煤器提高温度后，进入汽包 3。汽包是用钢板焊制而成的圆筒形容器，它能贮存一定的水量，增加锅炉运行的安全性和稳定性。由于汽包内有一定的蒸汽空间并装有汽水分离设备，因此，汽包还有汽水分离作用。

汽包中的水沿对流管束 4 进入泥鼓 5。这些对流管束处于锅炉的后部烟道，此处烟气温度较低，对流传热较弱，水在这些对流管束中是自上而下流动的，因此，它起着下降管

的作用。

泥鼓是比汽包小的圆筒形容器，也是用钢板焊制而成。它的作用是汇集和分配炉水。另外，泥鼓中还设有定期排污装置。

泥鼓中的水，一部分进入对流管束6。这些对流管束处于烟气温度较高的烟道中，这里对流传热较强，对流管束中的汽水混合物自下而上流动进入汽包3。

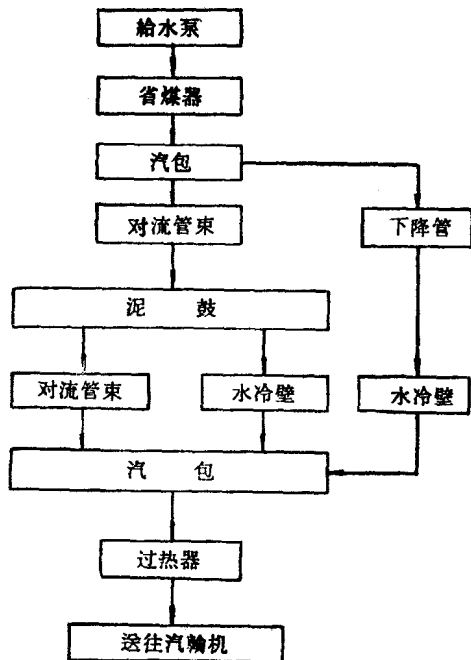


图 1-5 锅炉汽水系统方框图

热，降低了炉膛内壁的温度，所以，它能够保护炉墙不被烧坏，使炉墙在结构上可以减薄，并有防止炉膛结渣的作用。

进入汽包的汽水混合物，在汽包内分离成水和饱和蒸汽，前者将继续参加循环，后者将进入过热器15内过热。过热器是由许多蛇形的、较细的无缝钢管组成，装置在烟气温度较高的烟道中。它的作用是利用烟气的热量把饱和蒸汽加热成为过热蒸汽。过热蒸汽就是锅炉的产品，通过蒸汽管道送往汽轮机中。

1-3 汽轮机的基本概念

一、汽轮机的工作原理

汽轮机是利用蒸汽作功的一种转动机械，它可将蒸汽的热能转换为汽轮机轴的回转机械能。

对于最简单的冲动式汽轮机，其工作原理可参照图 1-6 来进行简要的说明。蒸汽送入汽轮机后，首先在喷嘴4中膨胀，压力、温度降低，流速增大，蒸汽的热能变为动能。然后，汽流从喷嘴中流出，以高速度喷射到动叶片3上。汽流在动叶片中改变方向产生冲动

泥鼓中的水除一部分进入对流管束6外，另一部分则沿下降管7分别进入后联箱8和侧联箱10。后联箱中的水经过后水冷壁9回到汽包，侧联箱中的水经过侧水冷壁11回到汽包。在锅炉的前部，汽包中有一部分水沿前下降管12进入前联箱13，然后沿前水冷壁14回到汽包。

联箱是用大口径的无缝钢管焊制而成，它起着汇集和分配炉水的作用。

前水冷壁、后水冷壁和两侧水冷壁都装置在炉膛内，由靠近炉墙并布置的许多较细的无缝钢管组成。由于水冷壁装置在炉膛内，温度很高的火焰和烟气对它产生强烈的辐射传热，使水冷壁管中的水受热汽化，产生蒸汽，汽水混合物自下而上进入汽包。因此，水冷壁是锅炉的主要蒸发受热面。另外，由于水冷壁的大量吸

力，使转轮 2 转动，转轮带动汽轮机的轴 1 转动，便完成了热能到机械能的转换。如在轴 1 的端部接上发电机，则机械能就可以转换成电能了。

汽轮机中的一列喷嘴及其后面的一个转轮组成汽轮机的一个级。按级数的多少汽轮机可分为单级汽轮机和多级汽轮机。

如果蒸汽的膨胀只在喷嘴中发生，这种汽轮机叫做冲动式汽轮机。如果蒸汽的膨胀除在喷嘴中发生以外，还在动叶片中发生，则这种汽轮机叫做反动式汽轮机。

在实用上，为了提高汽轮机的效率，在冲动式汽轮机动叶片中蒸汽也发生少许膨胀，这种汽轮机叫做带有反动度的冲动式汽轮机。

目前我国制造的汽轮机都是冲动式汽轮机，这种汽轮机除了第一级为双列速度级（调节级）以外，其它各级均为压力级。

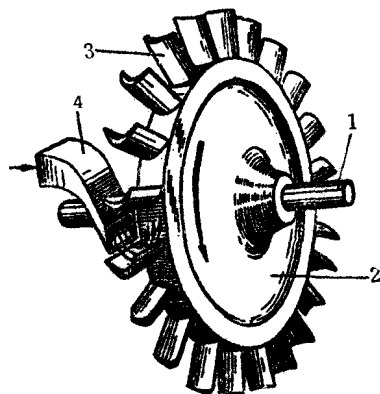


图 1-6 汽轮机工作原理图

1—轴；2—转轮；3—动叶片；4—喷嘴

二、汽轮机的构造

如图 1-7 所示，汽轮机是由以下三个主要部分组成的：

1. 静止部分：包括机座、汽缸、隔板、喷嘴、汽封和轴承等；
2. 转动部分：包括转子和靠背轮；
3. 为了控制和调整汽轮机的运行，还装有油系统、调速系统和安全保护装置等。

下面我们对汽轮机的主要部件加以简要介绍。

1. 汽缸：

如图 1-8 所示，汽缸是汽轮机的外壳，其作用主要是把汽轮机的通流部分（喷嘴、隔板、转子等）与大气隔开，保证蒸汽在汽轮机内完成做功过程。

汽缸通常自水平中心线分为上下两部分。上半部分叫上汽缸，也叫大盖。下半部分叫下汽缸。上汽缸与下汽缸用法兰和螺栓连接起来。

为了减少优质钢材料的消耗，还把汽缸分为高压缸和低压缸两部分。由于高压缸所承受的蒸汽压力和温度较高，所以使用较好的材料。低压缸可以采用铸铁制造。高压缸和低压缸之间有一垂直接合面，同样用法兰和螺栓连接起来。

制造汽缸所使用的材料主要取决于蒸汽温度：普通铸铁只适用于 250°C 以下，当蒸汽温度在 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时，应当使用优质铸铁；当蒸汽温度在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 时，应当使用铸钢；当蒸汽温度超过 400°C 时，就应当使用合金钢了。

2. 隔板：

在汽轮机中，隔板的作用是为了隔开相邻的压力级和装置喷嘴。为了便于拆装，隔板做成对分的上下两部分。上半部分装在上汽缸的凹槽内，下半部分装在下汽缸的凹槽内。

如图 1-9 所示，隔板由外缘、喷嘴和隔板本体三部分组成。按照喷嘴在隔板上的装置情况来看，又可将隔板分成部分进汽隔板和全周进汽隔板两种。为了穿过主轴，隔板开有

图 1-7 国产 1500 瓩汽轮机剖面图

1—上汽缸(高压缸); 2—上汽缸(低压缸); 3—第一压力级隔板; 4—第二压力级隔板; 5—第三压力级隔板; 6—第四压力级隔板; 7—第五压力级隔板; 8—第六压力级隔板; 9—第一级喷嘴; 10—导叶环; 11—前轴封套; 12—后轴封套; 13—隔板汽封; 14—径向轴承; 15—径向推力联合轴承; 16—径向轴承; 17—减速箱; 18—大齿轮; 19—前轴封环; 20—后轴封环; 21—机架; 22—前轴封罩号管; 23—后轴封罩号管; 24—化油板; 25—靠背轮罩; 26—前轴承箱; 27—排气罩; 28—主轴; 29—第一压力级叶轮; 30—第二压力级叶轮; 31—第三压力级叶轮; 32—第四压力级叶轮; 33—第五压力级叶轮; 34—第六压力级叶轮; 35—调节气阀; 36—联轴节; 37—联轴节; 38—小齿轮; 39—三角架; 40—相对位移指示器

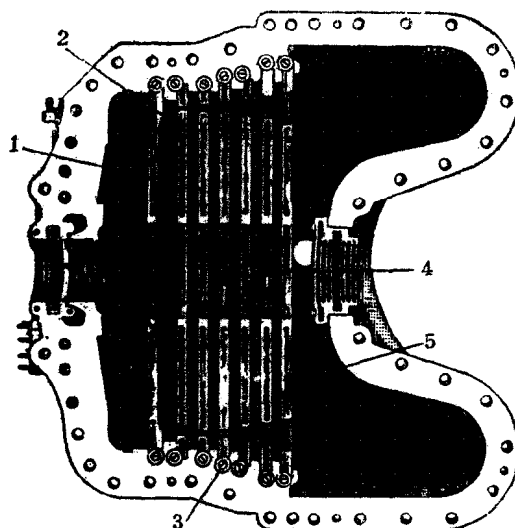


图 1-3 汽轮机的汽缸

1—第一级喷嘴；2—隔板；3—隔板锁销；4—隔板汽封洼窝；5—隔板条形键槽

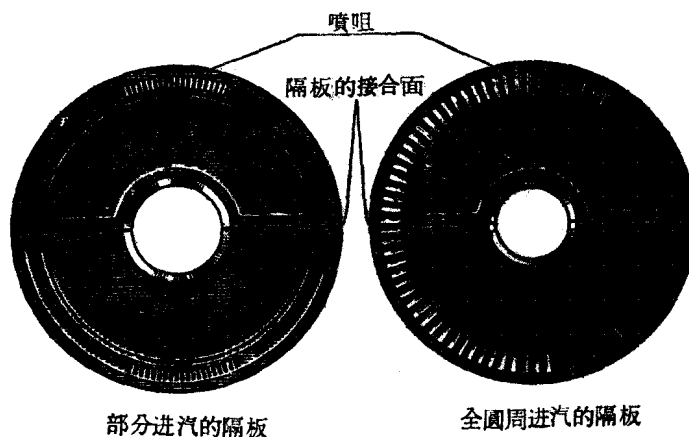


图 1-9 汽轮机的隔板

中心孔。主轴与中心孔之间有一定的间隙，为了减少漏汽，在主轴与中心孔之间装有隔板汽封。

目前，国产汽轮机的隔板有铸造和焊接的两种。如21-1.5型汽轮机和N3-24型汽轮机的低压段（最后三级）采用铸造隔板，而高压段则采用焊接隔板。

3. 喷嘴：

在汽轮机中，当蒸汽流经喷嘴时，蒸汽的压力、温度降低，流速增大，然后按一定的方向喷射入动叶片中作功。所以，喷嘴的作用是把蒸汽的热能转换为动能，它是汽轮机的基本部件之一。

在汽轮机中，第一级喷嘴与其它各级喷嘴不同，它是直接装在汽缸的高压端或镶入专门的喷嘴室内。

第一级喷嘴的构造如图1-10 a)所示。每个喷嘴都是铣制而成的外形复杂的零件，喷嘴互相连接起来形成所需的蒸汽通道。把一定数量的喷嘴沿圆周方向组合起来，形成所需的喷嘴弧段。

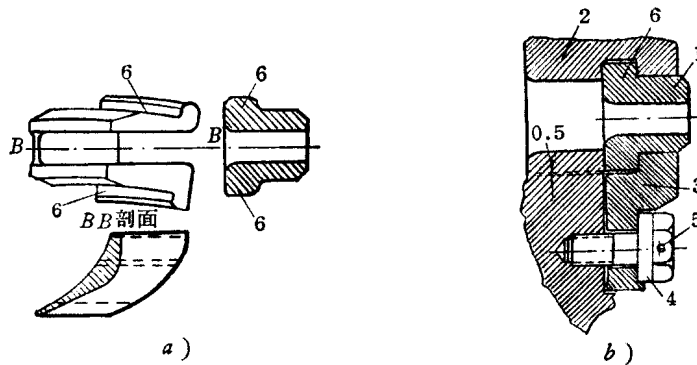


图 1-10 喷嘴及其在汽缸上的固定方法

a—喷嘴的构造；b—喷嘴在汽缸上的固定方法

1—喷嘴；2—汽缸；3—盖板；4—螺栓；5—销钉；6—喷嘴凸出部分

第一级喷嘴分成不同的喷嘴弧段，直接受调速汽门的控制，每一调速汽门控制一组喷嘴弧段。汽轮机就利用各组喷嘴来调节进汽量的多少，以适应负荷变化的需要。因此，第一级喷嘴又称为调节级喷嘴。

第一级喷嘴在汽缸上的固定方法如图1-10 b)所示。喷嘴1具有凸出部分6，外面的凸出部分（从图上看是上面部分）嵌入汽缸2上车出的环形槽道内，内面的凸出部分则用盖板3压住，盖板用螺栓4固定在汽缸端部。

第一级喷嘴多采用不锈钢和耐热合金钢制造。例如，国产N3-24型和N1.5-24型汽轮机的第一级喷嘴均采用含铬的不锈钢制造。

各压力级的喷嘴装置在隔板上，其构造与第一级喷嘴相似，固定方法多采用铸造或焊接。

4. 汽 封：

汽轮机通汽部分的静止部件与转动部件之间留有一定的间隙，以避免动、静部件之间的摩擦和碰撞。此间隙对汽轮机的安全可靠工作是有利的，但却带来了漏汽损失，使汽轮机的效率降低。

在主轴穿过汽缸的地方，高压端汽缸中的蒸汽压力大于外界的空气压力，蒸汽就会通过间隙向外漏出。低压端汽缸中的蒸汽压力小于外界的空气压力，空气就会通过间隙向里漏入。

在主轴穿过隔板中心孔的地方，由于隔板前后压力差的存在，蒸汽就会通过间隙由隔板前向隔板后泄漏。

为了尽量减少漏汽损失，就必须在动、静部件之间的间隙中装置汽封。装在主轴穿过汽缸处的汽封叫轴端汽封；装在主轴穿过隔板中心孔处的汽封叫隔板汽封。

目前，应用最广的是迷路汽封（又称迷宫汽封）。迷路汽封有梳齿形、薄片形和针叶形三种结构。国产小型汽轮机以前两种为主，大、中型汽轮机多采用针叶形汽封。

梳齿形迷路汽封如图1-11所示。国产21-1.5型汽轮机的全部汽封都是这种结构，国产N3-24型汽轮机的隔板汽封也是这种结构。

薄片形迷路汽封如图1-12所示。这种汽封的特点是当某种原因而造成薄片与主轴的摩擦时，薄片会被磨坏，而不致因摩擦发热较大引起主轴的弯曲变形。国产N3-24型汽轮机的轴端汽封就是这种结构。

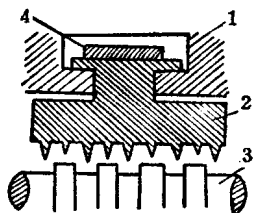


图 1-11 梳齿形迷路汽封

1—轴封套；2—轴封环；3—轴；4—弹簧片

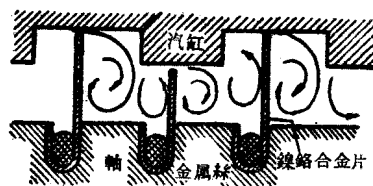


图 1-12 薄片形迷路汽封

5. 轴 承：

汽轮机的轴承包括主轴承（又称支持轴承）和推力轴承两种形式。主轴承的作用是承受汽轮机转子的重量及由于部分进汽、振动等引起的附加力，并保证转子与汽缸的中心一致。推力轴承的作用是承受加于汽轮机转子的不平衡轴向推力及保证转子对汽缸的轴向位置。

无论主轴承或推力轴承要起到它的作用，都必须使轴颈在轴承中转动时处于液体摩擦状态，即要使轴颈与轴承之间具有可靠的油膜，否则将使汽轮机的轴很快磨损，导致汽轮机不能继续运行。

6. 转 子：

汽轮机转动部件的组合物叫转子。转子的作用是把蒸汽的动能转换为汽轮机轴的回转机械能。

转子分为转轮型转子和转鼓型转子两大类。转轮型转子用于冲动式汽轮机，是国产汽轮机广泛采用的型式。

如图1-13所示，转轮型转子是由轴、轮盘、蜗母杆和推力盘等所组成。

转轮型转子的轴都是用碳钢锻造而成的。轴多做成中间较粗两端较细的阶梯形。这一方面是由于轴的中间部分承受的弯曲力大而两端较小，没有必要做成一样粗细；另一方面，轴的中间部分粗也便于叶轮的套装。只有很小容量的汽轮机才做成直径一样粗细的轴。图1-14所示为小容量冲动式汽轮机的轴。

7. 叶 片：

叶片和喷嘴一样，也是汽轮机的基本部件。叶片按其用途可以分为动叶片（又称工作

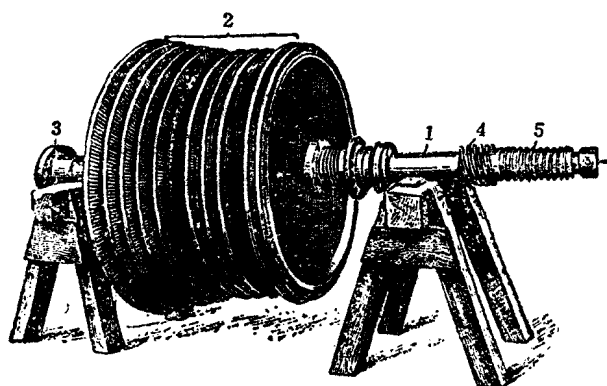


图 1-13 轉輪型轉子

1—軸；2—輪盤；3—靠背輪；4—蝸母杆；5—推力盤

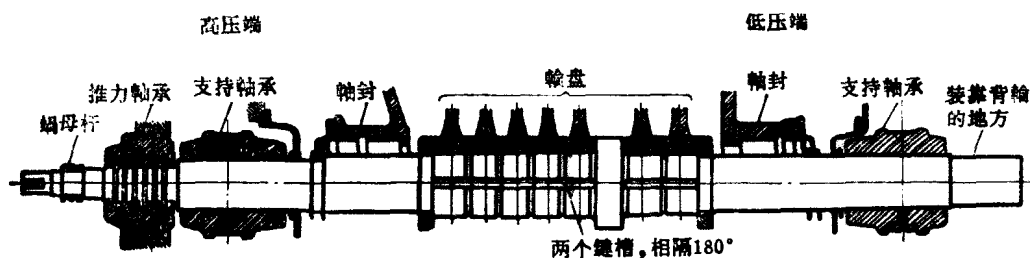


图 1-14 小容量冲动式汽輪机的軸

叶片)和静叶片(又称导向叶片)两种。

动叶片装在转子的叶轮上,接受来自喷嘴的高速蒸汽,利用蒸汽的动能做功,使汽轮机的转子旋转。

静叶片用在速度级中,保证蒸汽方向的必要改变,并引导蒸汽进入下一列动叶片中。

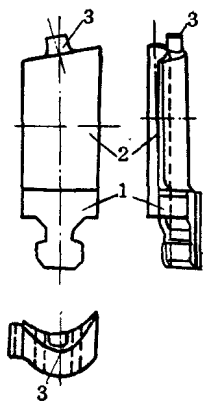


图 1-15 叶 片

1—根部；2—工作部分；3—頂部

如图1-15所示,叶片是由顶部、工作部分和根部组成的。叶片根部的作用是用来把叶片固定在叶轮上。叶片的工作部分起着叶片的基本作用,蒸汽在工作部分中改变方向产生冲动力,利用蒸汽的动能做功,使汽轮机的转子旋转,从而获得机械能。叶片的顶部有的做成铆钉头形状,上面套装围带,也有的叶片顶部做成与叶片一体的分块式围带,全部叶片在叶轮上装好后凑成一个完整的围带。

国产小型汽轮机均采用全铣制的叶片。这种叶片表面光滑、阻力损失小、工作效率高,但加工困难,制造成本高。

制造叶片材料与蒸汽温度有关。蒸汽温度在 400°C 以下时,使用含铬的不锈钢;蒸汽温度在 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ 时,使用镍铬合金钢。

8. 靠背轮: