

内 容 提 要

本书介绍火力发电厂汽轮机本体主要部件，如喷嘴、叶片、转子、汽缸、隔板、汽封、轴承、联轴器、盘车装置等的结构和功能。在介绍时以我国生产的高压、超高压、亚临界机组为主；对于从国外引进的大型设备的结构也作了适当介绍。本书力求讲清各种结构的设计意图、使用条件以及在发电厂运行和检修中出现故障时的对策，可供发电厂具有初中以上文化水平的汽轮机工人阅读。

前 言

为适应社会主义现代化建设的需要，近几年我国电力工业有了较大的发展，安装和投运了几种功率较大的汽轮机，其中包括国产和从国外进口的机组。编写本书的目的就是试图从结构和强度等方面对汽轮机本体设备加以阐述，并对各种结构的优缺点和使用条件加以比较，以便发电工人在运行和检修中掌握其特点。本书侧重于叙述国内已安装的较大型汽轮机本体部分的结构，对中小型汽轮机也作了适当的介绍。对目前国内外普遍关心的汽轮机行业的一些新技术、新课题，如油膜振荡、摩擦振动、叶片振动强度安全准则、转子的寿命管理等问题，本书也作了扼要的介绍。

在编写本书的过程中，我们得到北京石景山发电总厂领导和有关同志的支持和帮助。华北电力学院北京研究生部张葆衡教授审阅了全部书稿。在此我们表示由衷的感谢。

由于我们水平不高，又缺乏编写经验，书中缺点和错误在所难免，恳切希望得到读者的批评指正。

编 者

1986.9

目 录

前 言

绪 论 汽轮机概述	1
第一节 汽轮机的工作原理简介	1
第二节 汽轮机本体的组成和作用	2
第三节 汽轮机的分类和型号	4
第一章 叶片	8
第一节 叶片结构	9
第二节 叶片的振动和调频	32
第三节 叶片技术要求	41
第四节 汽轮机不调频叶片和调频叶片振动强度安全 准则简介	47
第二章 转子	55
第一节 转子的结构	55
第二节 临界转速与振动	65
第三节 转子的故障和对策	76
第三章 汽缸和滑销系统	81
第一节 汽缸	81
第二节 滑销系统	124
第四章 喷嘴组、隔板和隔板套	134
第一节 喷嘴组和转向导叶环结构	134
第二节 隔板和隔板套的结构	140
第三节 隔板的技术要求	149
第五章 汽封	158
第一节 迷宫式汽封的工作原理	158
第二节 迷宫式汽封的构造	162
第三节 端部汽封的管路系统	185
第四节 汽封的材料及技术要求	193
第五节 汽封的径向间隙及轴向间隙	196

第六章 轴承	205
第一节 轴承工作原理	205
第二节 支持轴承的结构	207
第三节 油膜振荡及消除方法	221
第四节 推力轴承的原理及结构	233
第五节 轴承的材料及技术要求	241
第七章 联轴器	243
第一节 固定式联轴器	243
第二节 半固定式联轴器	246
第三节 齿形联轴器	247
第四节 弹簧式联轴器	248
第五节 防止大型汽轮机联轴器螺栓断裂的措施	249
第八章 盘车装置	251
附 录	257
附表 1 国产大容量汽轮机设备规范汇总表	257
附表 2 国产大容量汽轮机本体结构特点汇总表	259
附表 3 进口大容量汽轮机设备规范汇总表	261
附表 4 进口大容量汽轮机本体结构特点汇总表	262
附表 5 国产大容量汽轮机通流部分间隙值	264
附表 6 大容量汽轮机高压缸汽封径向间隙的制造 厂规定值	266
参考书目	267

绪论 汽轮机概述

第一节 汽轮机的工作原理简介

汽轮机是火力发电厂的原动机。通过它将蒸汽的热能转换成机械能，借以拖动发电机旋转。汽轮机除作为发电设备外，还广泛应用于冶金、化工等部门，作为旋转机械的驱动设备。

蒸汽在汽轮机中进行的能量转换包括两个过程，即将蒸汽的热能转换成动能和将动能转换成推动汽轮机转子旋转的机械能。这种能量的转换是在喷嘴和叶片中完成的。

具有高压和高温的蒸汽经主汽门和调节汽门进入汽轮机，汽轮机排汽口处的压力大大低于进汽压力。在这个压力差的作用下，蒸汽向排汽口流动。当蒸汽流过固定不动的喷嘴时，蒸汽压力降低，流速增加，蒸汽的热能转换成动能。从喷嘴出口射出的高速汽流，进入叶片流道，在流动过程中对叶片产生作用力，推动其作圆周运动，带动叶轮和主轴旋转，并通过联轴器带动发电机旋转。

为保证汽轮机安全经济地进行能量转换，每台汽轮机都配置了若干附属设备，一般包括凝汽设备、回热加热设备、调节保护装置以及供油系统。汽轮机及其附属设备由管道和阀门连成整体，通称为汽轮机设备。汽轮机与发电机的组合称为汽轮发电机组。

目前，我国已经在哈尔滨、上海、四川和北京等地建立了大型汽轮发电机组制造基地。从五十年代起，开始试制6000千瓦凝汽式汽轮发电机组，到现在已能制造超高压和亚临界参数的单机容量为20万千瓦和30万千瓦的成套火力发电设备，年发电量到1985年已居于世界第五位。我国的电力工业虽然发展较快，但还不能满足国民经济发展的需要。为此，电力工作者必须加倍努

力，促进电力工业的进一步发展，使电力工业先行，以满足国民经济的发展需要。

第二节 汽轮机本体的组成和作用

汽轮机的本体结构分为固定部分和转动部分。固定部分包括汽缸、滑销系统、隔板、隔板套、喷嘴、汽封、轴承以及一些紧固零件。转动部分包括主轴、叶轮、叶片、拉筋、围带、联轴器和紧固件。

下面先把组成汽轮机本体的各部件作一简介，一些详细结构特点待以后各章再作介绍。

一、固定部分

1. 汽缸

汽缸是汽轮机的主要部件之一，其作用是将流经汽轮机内的蒸汽与外界隔绝，使蒸汽流形成一个封闭的流动空间，以完成能量的转换。为了便于加工装配和检修，汽缸一般均做成水平对分形式，在水平法兰处用螺栓紧固。汽缸内装有喷嘴室、隔板、隔板套和汽封等部件。个别制造厂家，如元宝山发电厂引进的法国机组取消了水平法兰，采取热套包箍，将上下缸紧固在一起。

2. 滑销系统

汽缸和轴承座安装在基础台板上。为了保证汽缸能定向膨胀，设置了滑销系统。滑销系统由纵销、横销和立销组成。纵销和横销轴线的交点，确定了汽缸的膨胀死点，即固定点；立销则保证汽缸在垂直方向的定向膨胀。

3. 喷嘴

喷嘴又称静叶片。蒸汽流过喷嘴时，产生膨胀，压力降低，速度增大，把蒸汽的热能转换为动能，并以一定的角度进入叶片，完成蒸汽在汽轮机中的第二个能量转换。

4. 隔板、隔板套

隔板的作用是固定喷嘴，并把汽缸分成若干个汽室，使蒸汽

的压力和温度逐级降落。为了便于拆装，隔板都制成水平对分的两个半圆板体，并将数块隔板固定在隔板套中，再将隔板套固定在汽缸内壁，以简化汽缸的几何形状。隔板套常以抽汽点为分段，以形成抽汽腔室。

5. 汽封

在汽轮机工作时，转子高速旋转，而汽缸、隔板等部件是固定不动的。因此转子和固定部分之间必须保持一定的间隙，以保证彼此间不发生相互碰擦。蒸汽的绝大部分在喷嘴和叶片的通道中流过作功，但一小部分将会从间隙中泄漏而不作功。此外转子穿出汽缸处也必须留有间隙，因而也会有蒸汽外漏，或空气内漏。不论哪种间隙，都会因漏汽而造成损失，降低汽轮机的效率。为了减少上述漏汽损失，设置了汽封装置。汽封可分为三大类：通流部分汽封、隔板汽封和轴端汽封（简称轴封）。

6. 轴承

轴承在汽轮机中可分成支持轴承和推力轴承两种。支持轴承的作用是支承转子的重力，确定转子的径向位置，保证转子与固定部分保持同心度。推力轴承的作用是承受蒸汽作用在转子上的轴向力和发电机传来的轴向力，并确定转子的轴向位置，以保证通流部分保持合理的轴向间隙。

二、转动部分

汽轮机转子由主轴、叶轮、汽封套和联轴器等部件组成。蒸汽作用在叶片上的力矩，通过叶轮、主轴和联轴器传递给发电机或其它设备。按主轴和叶轮的组合方式，转子分为整锻转子，套装转子、焊接转子和组合转子四大类。

1. 叶轮

叶轮是一个圆盘形部件，由轮缘、轮面和轮毂三部分组成。

轮缘用来固定叶片，其几何形状与叶片根部结构有关。轮面是叶轮的中间部分，它把轮缘和轮毂联为整体。轮面按截面形状分为等厚度、锥面、双曲面及等强度曲面几种。套装叶轮和主轴套装的部分称为轮毂，它是受力最大的部位。为了减小应力，轮

轂的轴向尺寸大于轮体厚度。整锻和焊接转子的叶轮无轮轂，故轴向长度相应较小。

2. 叶片

叶片是汽轮机中数量最多的零件，也是汽轮机中最重要的零件之一，是将蒸汽的动能转换成机械能的主要零件。叶片一般由叶根、叶型（工作部分）和连接件，即围带或拉筋组成。叶片通过叶根安装在轮缘上。叶型决定叶栅流道的形状。围带也称复环或包箍，装在叶片的外圆柱面处，其作用除加强叶片刚度外，还可减少漏汽量。拉筋穿装在叶型部分的拉筋孔内，或自由穿过，或与叶片焊牢，以调整叶片的振动特性。

3. 联轴器

联轴器又称靠背轮，用来连接汽轮发电机组中的各个转子，并把汽轮机的功率传递给发电机。在汽轮发电机组中常用的联轴器有三种型式：固定式联轴器，半固定式联轴器和挠性联轴器。

第三节 汽轮机的分类和型号

一、汽轮机的分类

汽轮机的类型繁多，分类的方法也很多，通常按其工作原理、主蒸汽参数、热力过程、用途及汽流方向等方法进行分类。

按工作原理分为：

（1）冲动式汽轮机：在冲动式汽轮机中，蒸汽的膨胀降压主要在喷嘴中进行，在叶片中只将汽流的动能转换为机械功。但目前在我们所使用的冲动式汽轮机的叶片中，均有一定的热能转换，不过占的百分比很小，大部分的热能转换在喷嘴中进行，亦即冲动式汽轮机带有一定的反动度。

（2）反动式汽轮机：在反动式汽轮机中，蒸汽的膨胀不仅在喷嘴中进行，也在叶片中进行，通常其热能转换在喷嘴和叶片中各占50%，叶片不但承受蒸汽的冲击力，而且承受反作用力。为了简化汽轮机的结构、减少级数，通常在反动式汽轮机的第一

级，即调节级采用冲动级，因此有时也称其为冲动反动联合式汽轮机。

按主蒸汽参数分为：

(1) 低压汽轮机：主蒸汽压力为1.18~1.47兆帕（12~15绝对大气压）；

(2) 中压汽轮机：主蒸汽压力为1.96~3.92兆帕（20~40绝对大气压）；

(3) 高压汽轮机：主蒸汽压力为5.88~9.81兆帕（60~100绝对大气压）；

(4) 超高压汽轮机：主蒸汽压力为11.77~13.73兆帕（120~140绝对大气压）；

(5) 亚临界压力汽轮机：主蒸汽压力为15.69~17.65兆帕（160~180绝对大气压）；

(6) 超临界压力汽轮机：主蒸汽压力大于22.16兆帕（226绝对大气压）。

按热力过程分为：

(1) 凝汽式汽轮机：进入汽轮机内做功的蒸汽，除回热抽汽和漏汽外，其余的蒸汽做功后全部进入凝汽器凝结成水的汽轮机，称为凝汽式汽轮机；

(2) 背压式汽轮机：蒸汽在汽轮机内做功后，以高于大气压的压力排出，供工业或采暖使用的汽轮机，称为背压式汽轮机；

(3) 调整抽汽式汽轮机：从汽轮机的某些级后抽出部分做过功的蒸汽供工业或采暖用，其余蒸汽仍排入凝汽器，而且抽汽的压力在一定范围内可以调整，这种汽轮机称为调整抽汽式汽轮机；

(4) 中间再热式汽轮机：蒸汽在汽轮机中的若干级内做功后，用导汽管将其全部引入锅炉再热器内重新加热到一定的温度，再回到汽轮机中继续做功的汽轮机，称为中间再热式汽轮机。

按用途分为：

- (1) 电站汽轮机：带动发电机发电；
- (2) 工业汽轮机：用于工业中驱动旋转机械；
- (3) 船舶汽轮机：用作船舶的主机，驱动螺旋桨。

按流动方向分为：

(1) 轴流式汽轮机：在这种汽轮机中蒸汽的流动方向大体与轴平行。目前大多数汽轮机都是轴流式汽轮机；

(2) 辐流式汽轮机：在这种汽轮机中，蒸汽的流动方向和轴垂直，沿径向流动。由于其功率受到限制且结构复杂，目前这种汽轮机已基本上不再采用。

按汽缸数目分为：

(1) 单缸汽轮机：只有一个汽缸的汽轮机；

(2) 双缸汽轮机：由一个高压缸和一个低压缸组成的汽轮机；

(3) 多缸汽轮机：由一个高压缸，一个中压缸和数个低压缸组成的汽轮机。

二、汽轮机的型号

汽轮机的种类虽然很多，但可以用统一的符号来表达汽轮机的基本特性，这样的符号就是汽轮机的型号。目前我国采用汉语拼音和数字来表示汽轮机的型号，其表示方法为：

$$\underbrace{\times \times \times \times}_{\text{I}} - \underbrace{\times \times \times / \times \times \times / \times \times \times}_{\text{II}} - \underbrace{\times}_{\text{III}}$$

I 表示汽轮机的型式和汽轮机的额定功率。表示汽轮机型式的代号如下。

凝汽式汽轮机：	N；
背压式汽轮机：	B；
单调整抽汽式汽轮机：	C；
双调整抽汽式汽轮机：	CC；
抽汽背压式汽轮机：	CB；
移动式汽轮机：	Y；

工业汽轮机;

G;

船舶用汽轮机;

H.

代号后面的数字即为汽轮机的额定功率,以兆瓦为单位。

II表示汽轮机的蒸汽参数。

在凝汽式和中间再热式汽轮机中,第一组数字表示主蒸汽压力,第二组数字表示主蒸汽温度,第三组数字表示中间再热温度。

在单调整和双调整抽汽式汽轮机中,第一组数字表示主蒸汽压力,第二组数字表示高压抽汽压力,第三组数字表示低压抽汽压力。

在背压式汽轮机中,第一组数字表示主蒸汽压力,第二组数字表示排汽压力。

III表示变型序号(设计次序)。

例一. N100-90/535-2型汽轮机,表示该汽轮机为凝汽式汽轮机,额定功率为100兆瓦,即10万千瓦;主蒸汽压力为8.83兆帕(90绝对大气压);主蒸汽温度为535℃,第二次变型设计。

例二. B25-90/10型汽轮机,表示该汽轮机为背压式汽轮机,额定功率为25兆瓦,即2.5万千瓦,主蒸汽压力为8.83兆帕(90绝对大气压),排汽压力为0.98兆帕(10绝对大气压)。

我国汽轮机制造厂在以前还采用过另外一些符号表达汽轮机的特性。这些机组现在还在发电厂运转。举例介绍如下:

例一. 31-25-7型汽轮机,其数字3表示中压;1表示凝汽式;25表示额定功率25兆瓦,即2.5万千瓦;7表示第七次变型设计。

例二. 51-100-2型汽轮机,其数字5表示高压;1表示凝汽式;100表示额定功率为100兆瓦,即10万千瓦;2表示第二次变型设计。

第一章 叶 片

按汽轮机的工作原理划分，汽轮机有冲动式和反动式两种类型。在冲动式汽轮机中，由喷嘴射出的汽流，给叶片以冲动力，将蒸汽的动能转变为转子上的机械功。在反动式汽轮机中，级中蒸汽总焓降的一半在喷嘴内转变为动能，对其后的叶片施加一个冲动力；此后，汽流在叶片内再消耗级总焓降的另一半，转变为动能，并以很高的速度离开叶片，对叶片作用以反动力。这两种力转变为反动式汽轮机转子上的机械功。所以反动式汽轮机是冲动力和反动力综合作用的汽轮机。由于工作原理不同，两种汽轮机叶片的形状和结构也不一样。国产汽轮机和近几年来引进的国外大型机组，绝大部分都是冲动式汽轮机。现代大型反动式汽轮机在我国仅见于装在元宝山的法国CEM制造的30万千瓦机组和上海宝山钢铁公司的日本三菱35万千瓦机组。

冲动式汽轮机的叶片装在叶轮上，叶轮或由整锻毛坯车出，或与轴套装成一个整体，或相互焊接成为整体，在转子一章中将作详细介绍。

由上述可知，叶片是汽轮机的关键部件之一。它所占的加工量约为整个汽轮机加工量的30%~35%。以10万千瓦和20万千瓦机组为例，N100-90/535型汽轮机共装有叶片3122只；N200-130-535/535型汽轮机装有叶片4278只，叶片是汽轮机仅有的少数可以批量生产的部件。国内外各制造厂都尽量选用标准叶型设计叶型时注意通用化、系列化、专业化。又由于汽轮机叶片中的能量转换是在相邻叶片叶型所构成的汽流通道中实现的，故叶型的气动特性对于机组的效率有很大影响。此外，叶片的工作条件也比较复杂，除因高速旋转和汽流的作用而承受较高的静应力和动应力外，还因分别处于过热蒸汽区、两相过渡区（指从过热蒸汽过

渡到湿蒸汽的区域)和湿蒸汽区域内工作, 承受强烈的磨蚀、腐蚀和冲蚀作用。因此, 叶片事故在汽轮机事故中所占的比较大。据近些年来对汽轮机事故的调查表明, 叶片、围带、拉筋等发生的事故率有时甚至高达40%以上, 严重地威胁着机组的安全运行。所以, 无论从汽轮机的安全性, 还是从经济性考虑, 研究汽轮机叶片的受力状态及振动特性是十分必要的。

第一节 叶片结构

叶片一般可以分为三个组成部分, 即工作部分, 也称叶型、叶根和连接件, 后者包括围带、铆头和拉筋等, 如图1-1所示。但自由叶片仅有前两部分。

一、叶片工作部分的结构

叶片工作部分的横截面形状称为叶型, 其周线称为型线。许多型线相同的叶片, 以同样的间隔和角度在叶轮上排列成叶栅。汽流在叶栅中的流动损失与叶片的型线有很大关系。良好的叶型型线, 应全部由圆滑曲线组成, 而且曲率变化不应过大, 以避免

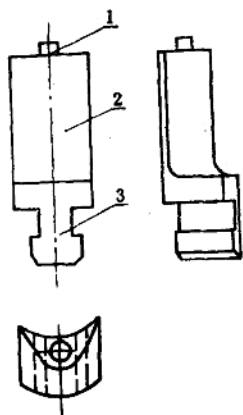


图 1-1 叶片结构图
1—铆头; 2—工作部分; 3—叶根

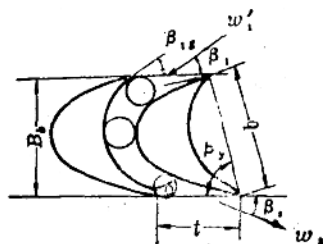


图 1-2 H9-1型型线

由于汽流在叶栅中改变流动方向过急而产生附加损失。

表示叶栅几何特性的主要参数有平均直径、叶片高度、叶栅节距、叶栅宽度、叶型弦长、出口边厚度、叶栅进口宽度和出口宽度等。汽流角度和叶型角度也是叶栅的重要参数。

叶栅额线与弦长之间的夹角称为叶栅的安装角。选定叶型之后，采用不同的安装角可得到不同的叶栅通流面积、汽道形状和出口汽流角度。叶型进口角度也随安装角不同而改变。

叶片工作部分的型线实例表示在图1-2上。这是我国自行设计的红旗-1型型线，图中还标出了叶型的主要结构参数。一般制造厂均有标准型线可供选用。它是通过气动特性计算，并经叶栅风洞试验确定的。作为例子，在表1-2和表1-3中，标出了我国哈尔滨汽轮机厂的喷嘴和叶片标准型线编号。制造厂对于每一编号均有对应的标准型线图，图中表示出型线的几何形状、特性及成型规律。制造厂将这些标准型线通过不同组合或模化，可设计出多种汽轮机系列。

图1-2中 ω_1 ——叶片入口相对速度； β_1 ——叶片入口角； β_{1r} ——叶型入口内弧切线角； ω_2 ——叶片出口相对速度； β_2 ——叶片出口角； β_y ——安装角； o ——叶栅出口宽度； b ——叶型宽度； B_s ——叶栅宽度； t ——栅距。

按照沿叶片高度叶型截面的变化规律，可分为等截面直叶片和变截面扭叶片两种类型。一般对于径高比 $\theta = Dp/l \geq 8 \sim 10$ 的级，通常采用等截面叶片；而对于 $\theta = Dp/l < 10$ 的级，则采用变截面叶片。 Dp 为叶片平均直径； l 为叶片工作部分高度。但随着叶片制造工艺水平的提高和节能的要求，有增加采用扭曲叶片的趋势。

等截面叶片的叶型沿高度方向是完全相同的。这种级，可按级的平均直径处参数为基准，进行级的热力计算，确定级的通流尺寸和叶型，计算级的效率和功率。

等截面叶片加工比较简单，制造成本低，常用冷轧或铣切工艺制成。图1-3所示为冷轧叶片。在安装时，需在片间另嵌入垫

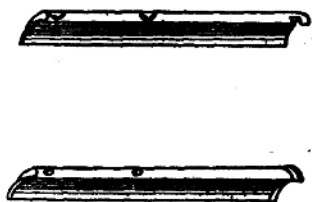


图 1-3 冷轧叶片结构



图 1-4 锻制叶片结构

块以保证通道尺寸。这种叶片只适用于离心力不大，即叶片短而圆周速度较低の場合。图1-4为锻制叶片，这种叶片的根部强度较嵌入垫块的冷轧叶片为高，普遍用于汽轮机的高压级。如国产N100-90/535型机组高压转子的1至10级和N200-130/535/535型机组高压转子的1至9级均为锻制等截面叶片。因调节级叶片处于高温部位且级内焓降较大，当采用喷嘴调节时，在第一调速汽门全开时叶片承受的弯曲应力达最大值；此外，还受到部分进汽所造成的间断汽流的冲击，以及可能发生喷嘴尾流引起的共振，故常采用加宽的锻制叶片结构，并可用围带将几片叶片连成叶片组。在图1-5中表示出两个叶片，其它叶片未予表示。10万千瓦汽轮机的调节级叶片是采用两片焊接成组的，在自带围带外侧和叶根底部开V型坡口对焊，见图1-6。

当叶片较长时，倘仍采用等截面叶片，则由于沿叶高圆周速度不同、相对栅距不同以及蒸汽在喷嘴和叶片间轴向间隙内的辐向流动、出口汽流不均匀等均要引起附加损失。因此，为了获得较高的级效率，就必须把长叶片设计成型线沿叶高变化的扭曲叶片，以适应圆周速度和蒸汽参数沿叶高变化的规律。

对于设计得较好的变截面叶片，相对等截面叶片而言，一般径高比 θ 越小，提高效率就越显著，见表1-1。

从叶片强度考虑，长叶片若采用等截面叶片，则沿叶片高度，特别是叶型部分顶端和根部的入口边缘，由于受到汽流的撞

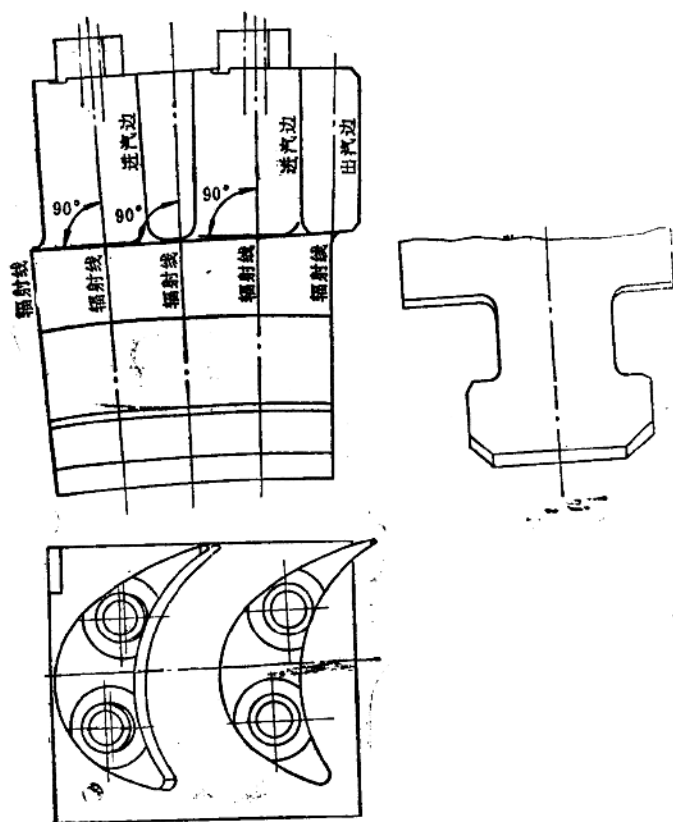


图 1-5 加宽并用围带连接成组的铁制叶片结构

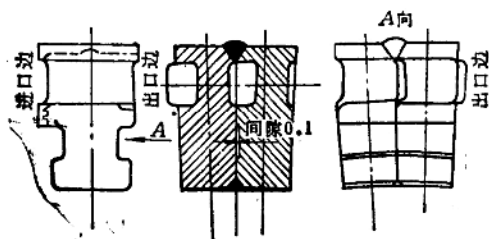


图 1-6 两片焊接成组的铁制调节级叶片结构

表 1-1

变截面叶片相对等截面叶片效率提高表

θ	8	6	4
$\Delta\eta\%$	1~1.5	3~4	7~8

击，寿命会降低，这在湿蒸汽级中就显得更为严重。此外，为了降低长叶片的离心力以改善其工作条件，也需将叶片工作部分做成等强度的变截面形式，即自叶片根部截面起，叶型的厚度和宽度逐渐减小。

末级叶片高度是限制汽轮机提高单机功率的主要因素，因此各汽轮机制造厂都很重视长叶片的发展。我国哈尔滨汽轮机厂生产的N100-90/535和N200-130/535/535两种型号的汽轮机末级叶片长度均为665毫米；上海汽轮机厂生产的12.5万千瓦和30万千瓦汽轮机的末级叶片长700毫米；北京重型电机厂生产的单缸10万千瓦汽轮机末级叶片长850毫米。近几年来从国外进口的汽轮机上，末级叶片的长度分别为：苏联20万千瓦汽轮机为725毫米；日本25万千瓦汽轮机和意大利32万千瓦汽轮机为851毫米；法国30万千瓦汽轮机为867毫米；比利时总承包的法国A.A公司30万千瓦汽轮机为1080毫米。苏联列宁格勒金属工厂制造的K-1200-240型汽轮机（120万千瓦）末级叶片的有效长度是1200毫米，叶型与围带做成一体，用钛合金制造。

采用变截面叶片的级效率虽然较高，对叶片强度也比较有利，但其加工比等截面叶片困难，制造成本也高。因此从哪一级开始采用变截面叶片，需根据上述两个因素综合考虑。国产N100-90/535型汽轮机从第11级开始采用变截面叶片；N200-130/535/535型汽轮机从第10级开始采用变截面叶片；上海汽轮机厂生产的N300-165/550/550型汽轮机从中压缸开始（第9压力级）采用变截面叶片。随着精锻、程控机床等新工艺的采用，变截面叶片加工成本显著降低，采用变截面叶片的范围将逐渐增大。如唐山陡河电厂的日本25万千瓦汽轮机和天津大港电厂的意大利