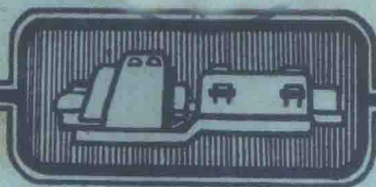


汽轮机 本体

齐耀宗编著

汽轮机工友丛书 第二册



中国工业出版社

本书比較詳細地敘述了汽輪机本体各主要机件的用途，构造原理、技术要求及容易发生的缺陷和故障，对于有关汽輪机本体的保护设备和主要的附属设备也作了介紹。

本书是专为汽輪机运行、檢修和安装工人写的，适合工人同志們自修用，或作为发电厂培训教材。

汽輪机工人丛书

第二册

汽輪机本体

齐耀宗編著

（根据水利电力出版社紙型重印）

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯（北京阜外月坛南替房）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{2}$ • 印張5 • 插頁1 • 字数101,000

1958年8月北京第一版

1963年9月北京新一版 • 1963年9月北京第一次印刷

印数001—933 • 定价(9)0.55元

*

統一书号：15165 • 2712(水电-353)

出版者的話

解放以來，由於我國電力工業的迅速發展，廣大電業工人日益迫切要求有系統地學習技術理論知識，以求提高自己的業務水平，改進工作。我社過去雖曾陸續出版了一些工人讀物，但選題比較零星，缺乏有計劃有系統的安排。我們曾多次徵求社外有關單位及工人同志意見，認為有必要按照電業工人不同的專業，分別出版幾套叢書，着重講述有關專業的設備構造原理和安裝檢修、運行的基本理論。文字和內容要求盡量通俗、淺顯，使工人在進一步掌握技術上打好理論基礎，並從叢書中更好地掌握一些基本的操作技術。根據這一出書原則，我社已初步擬定了鍋爐、汽機、電氣、綫路、化學、熱工儀表、水電等七套供電業工人閱讀的工人叢書。此外，我社還決定陸續出版“電業工人學習文選”，專門介紹安裝、檢修、運行中的具體工藝過程和經驗、體會，以及結合現場實際情況進一步闡述叢書中的某些重要問題。

“汽機工人叢書”分為六冊：汽輪機工作原理、汽輪機本體、汽輪機的調速系統和油系統、汽輪機的輔助設備、離心水泵、汽輪機運行中的幾個基本問題。這套叢書專供汽輪機運行、檢修及安裝方面的工人同志們閱讀。

我社出版工人叢書是十分缺乏經驗的，希望工人同志們對於書中取材的範圍，內容的深淺等各方面提供意見，使我社出版的工人讀物能更好地適應工人同志的需要。

目 錄

出版者的話	1
引言	4
第一章 叶片	6
第一节 叶片构造	6
第二节 叶片的工作原理	14
第三节 叶片的技术要求	18
第四节 叶片损坏的原因	22
第五节 复环、拉金	27
第二章 噴咀、隔板	30
第一节 噴咀	30
第二节 隔板	36
第三节 噴咀与隔板的技术要求	41
第四节 噴咀、隔板的缺陷	44
第三章 端头軸封及隔板汽封	49
第一节 炭精軸封	49
第二节 迷宮軸封	54
第三节 水封	65
第四节 隔板汽封	69
第四章 主軸、輪盘、平衡盘	72
第一节 主軸	72
第二节 輪盘	76
第三节 平衡盘	84

第五章 汽缸及滑銷系統	89
第一节 汽缸	89
第二节 滑銷系統	94
第六章 軸承	99
第一节 主軸承	99
第二节 推力軸承	109
第三节 軸承事故	120
第七章 靠背輪	126
第一节 固定式靠背輪	126
第二节 半固定式靠背輪	129
第三节 爪式靠背輪及齒輪式靠背輪	130
第四节 彈簧式靠背輪	133
第八章 減速設備	134
第一节 蝸母輪組	134
第二节 減速齒輪箱	141
第九章 基础台板	145
第一节 基础台板的构造及技术要求	145
第二节 軸承座、汽缸在基础台板上的固定方法	148
第十章 汽輪機本体的主要附屬設備	150
第一节 盤車設備	150
第二节 轉速表	156
第三节 自動排汽門	157

引 言

汽輪機組是由汽輪機本体、凝汽設備、調速系統和油系統等組成的。汽輪機本体是汽輪機組的主要組成部分，它是由汽缸、噴咀、葉片、輪盤、主軸、靠背輪、軸封、主軸承、推力軸承、蝸母和基礎台板等主要機件組成。

汽缸、噴咀環和隔板或靜葉片等組成汽輪機的導汽設備。噴咀環裝在汽缸內部前端的蒸汽分配室上，隔板或靜葉片則分裝在汽缸內的各級隔板槽或葉槽內。蒸汽通過噴咀環和隔板的噴咀片或靜葉片間的蒸汽通道進行膨脹，蒸汽的含熱量（即焓）降低，流動速度增加，蒸汽離開噴咀片後即流向轉子上的葉片。所以，蒸汽通過導汽設備就將它的热能轉變為速度能（即動能）。

主軸、輪盤或轉鼓、葉片和靠背輪等組成汽輪機轉子。輪盤多為單獨製造後再套裝在主軸上，轉鼓則多與主軸焊接在一起，在輪盤或轉鼓的圓周上銑有葉根槽，葉片裝在葉根槽內。轉子上有輪盤或轉鼓的部分裝入汽缸內，主軸則穿過汽缸兩端的汽封窩窩支持在汽缸前後的軸承上。輪盤與隔板相間排列，並在輪盤與隔板和汽缸壁間留有適當的間隙，以便轉子能夠自由而無摩擦的轉動。蒸汽以很高的速度（約300~600公尺/秒）離開噴咀環或隔板射入葉片的蒸汽通道內，產生一推動葉片的力量（即沖力）；對於反動式汽輪機，蒸汽將在葉片通道內進一步膨脹，而產生一附加的推動葉片的力量（蒸汽速度進一步增加引起的反作用力）。因為葉片、輪盤和主軸是一個整體，當葉片受到蒸汽的推動力時，轉子

就开始轉动，将蒸汽的速度能轉变为可以带动发电机等轉动设备的旋轉机械能。在主軸的一端装有靠背輪，以便和发电机或其它轉动設備连接起来。

汽缸兩端的軸封窪窩和隔板的汽封窪窩內裝有封汽設備，在封汽設備與轉子間留有適當的間隙，以保證轉子能自由轉動。汽缸高壓端的封汽設備稱為高壓軸封，它能減少自汽缸漏出的蒸汽量。汽缸低壓端的封汽設備稱為低壓軸封，如汽缸低壓端內部的蒸汽壓力低於大氣壓力，就須向低壓軸封內送入適當的蒸汽，以保持不斷的有少量蒸汽自軸封信管漏出，這樣可以防止空氣漏入汽缸內。

在汽缸前後裝有主軸承和推力軸承，以保持轉子在一定的位置。主軸軸頸裝入主軸瓦內，並在軸瓦與軸頸間留有適當的間隙。主軸上的推力盤則裝入推力軸承的兩圈推力瓦片間，推力盤與瓦片間也留有適當的間隙。汽輪機運行時，潤滑油不斷地壓入軸承內，以冷卻和潤滑軸承。

基礎台板牢固的固定在鋼筋混凝土基礎上，汽缸和軸承座用螺栓和滑銷與基礎台板連接在一起，使低壓汽缸固定，高壓汽缸和軸承座卻能隨汽缸膨脹和收縮而沿着機組中心綫適當地前後移動，因為這樣可以保證機組平穩地運行。

第一章 叶 片

第一节 叶片构造

一、叶片构造型式

(1) 等厚度叶片 圆周速度較小的冲动式汽輪机的叶片，常采用截面厚度不变的等厚度叶片。等厚度叶片用鍛制的合金扁鋼制造，将鋼条压成所需要的曲度，磨光表面，銑出蒸汽进口和出口边缘，以避免汽流的冲击和产生良好的导汽作用。这种叶片的截面形状和两个叶片中間形成的蒸汽通道如图1-1所示。此种叶片形成的蒸汽通道中間部分較大，蒸汽不能充滿，在通道的中間靠近叶片的背部产生渦流現象，所以效率較低。因为等厚度叶片构造簡單，造价較低，常为低压小容量的多級冲动式汽輪机采用。

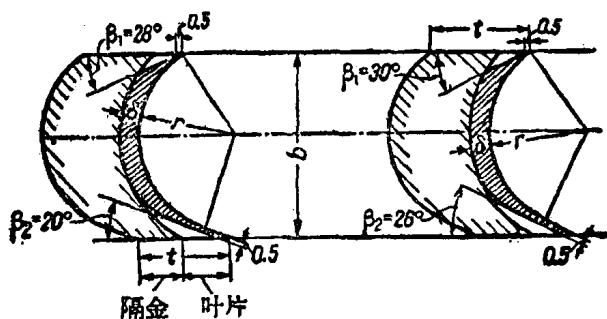


图 1-1 等厚度叶片的截面形状

等厚度叶片的根部常做成 T 字形或燕尾形，叶片間的距离由装在叶片間的隔金厚度决定。叶片、隔金和它們在輪盘上的安装方法如图1-2所示。

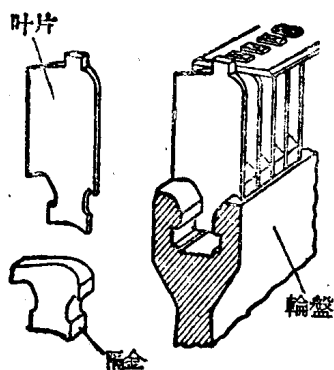


图 1-2 等厚度叶片的安装方法

(2) 定形叶片 如果汽轮机级中的热降很大，叶片将在很大的圆周速度和很大的汽流速度下工作，则不论冲动式或反动式汽轮机的叶片都应采用铣制成的定形叶片。定形叶片的截面可做成任意适合于理想的形状。在冲动式汽轮机中，常使定形叶片所形成的蒸汽通道的截面厚度保持不变，如图 1-3 所示。有时为了适应汽流

在转弯时产生的压缩作用，应使汽流更好的充满通道，以完全消除涡流损失。要作到这点，一定要将定形叶片的背部做的特别厚，使叶片间形成的蒸汽通道的中央部分变的较为狭窄，如图 1-4 所示。

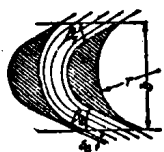


图 1-3 定形叶片的截面

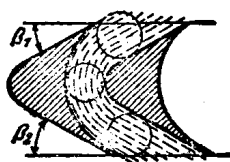


图 1-4 定形叶片的截面

定形叶片加工精密，且能形成理想的蒸汽通道，涡流损失和摩擦损失都很小，所以效率较高。

短的定形叶片的根部多做成 T 字形或燕尾形，较长的定形叶片的根部多做成松树形或叉形。

为了增加叶片的强度，定形叶片常与隔金做成一体，图 1-5 为带有隔金的冲动式汽轮机的定形叶片。

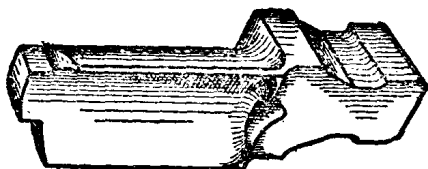


图 1-5 定形叶片

(3) 螺旋形叶片 一般叶片的进汽角度，是以叶片的平均圆周速度作成的速度三角形来确定的。如果叶片很长，叶片的长度 l 与叶輪的平均直径 d 的比值 (d/l) 很小，则叶片根部和叶片顶部的圆周速度相差很多，而隔板喷嘴射出的蒸汽速度保持不变，所以根据叶片顶部作成的速度三角形与根据叶片根部作成的速度三角形有显著的差别。如果长叶片的进汽角度保持不变，则在叶片的顶部不可避免的要发生蒸汽撞击现象，不但汽机的效率降低，而且叶片也容易损坏；同时汽机轉子的轴向推力增大，因而增加了推力軸瓦的負荷。近代大型汽輪机最后几級的长叶片，进汽角度都作成随叶片高度逐渐变化的形式，即所謂螺旋形叶片，这样汽流进入叶片时在叶片的任何高度上都不会发生蒸汽撞击现象，图 1-6 为螺旋形叶片。在图的上部为叶輪，图的中部繪有速度三角形，蒸汽以不变的速度 C 自喷嘴射出，叶片的圆周速度 u 則随着叶片高度逐渐增大。因此进口相对速度在叶片根部为 w_k ，中間为 w_{cp} ，頂部为 w_b ，其数值及角度均不相同。随着进口相对速度角度的不断增大，叶片的截面形状自根部起也在不断的变化，而进口角度随着高度的增加而增大，这样蒸汽进入叶片时就不会产生撞击现象了。

大型和中型汽輪机最末几級的叶片，因为长度很大，叶片本身的离心力很大，同时由于級內負荷較大，弯曲力矩也

比前部各級大，所以叶片根部的应力常常接近許可的极限数值。为了减少叶片的离心力以改善长叶片的工作条件，常将长叶片做成变截面等强度体的形式，就是自叶片的根部起，叶片的寬度和厚度逐漸减小，图1-7为斯大林金属工厂出品的汽轮机末級等强度叶片。

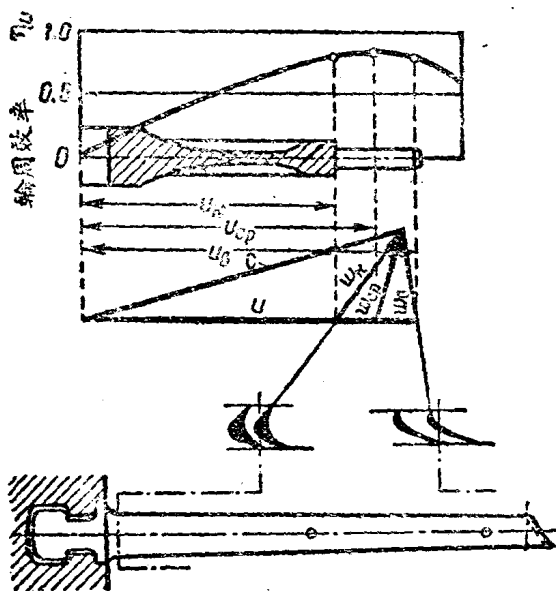


图 1-6 螺旋形叶片的形成

汽轮机末級叶片工作在湿汽区域，叶片的蒸汽进口处很容易被蒸汽内的水珠磨蚀，为了减低磨蚀速度，常在进口背侧的上部边缘上焊上硬质合金（钴铬钨钼合金）。图1-7中叶片上部的小长方形块就是硬质合金块。有的叶片为了增强耐磨性和抗蚀性，在叶片的表面镀上一层铬。

(4) 带复环的叶片 高压高温汽轮机的前部几级叶片，

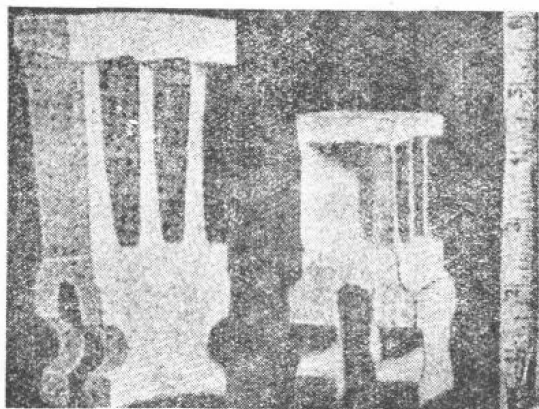


图 1-8 高压汽輪机的第一級叶片組

二、制造叶片材料

汽輪机的动叶片在工作时，要受很大的离心力、蒸汽冲击力、热应力及复杂的振动所产生的应力的作用；此外，还要受到化学腐蚀和机械磨蚀的作用。因此，制造叶片的材料，一定要有較高的蠕变极限、疲勞强度、減振性能、耐磨性、耐腐蝕性、良好的加工性和可焊性。常用的制造叶片材料有下列六种。

(1) 鎳黃銅 低压低溫的汽輪机，当叶片工作区域的溫度在 200°C 以下时，可采用鎳黃銅制造叶片。鎳黃銅的化学成分是：銅50%、鋅40%、鎳10%、鉛0.1%（不得超过此数）。极限强度为54公斤/公厘²。

(2) 鎳銅合金 对于化学作用有較强的抵抗性，在高的溫度下能保持原有的强度，在鎳黃銅不能使用的地方鎳銅合金尚可使用。鎳銅合金的化学成分是：銅79%、鎳 4%、鉄 4%、錳 2%。极限强度为44公斤/公厘²。

(3) 莫納尔合金 莫納尔合金的化学成分是：鎳67%、銅28%、其它金屬 5%。极限强度为55~65公斤/公厘²，勃氏硬度为150~190。对化学作用抵抗能力很强，在400°C以下时强度变化很小，是制造叶片的良好材料，当工作区域的温度在400°C左右时可以采用。因为这种合金的价格很高，所以应用不广。

(4) 鎳鋼 含鎳5%以下的鎳鋼，极限强度可达60公斤/公厘²，可用来制造工作温度在400°C以下的叶片。但因为耐磨性很差，且在濕汽中容易生銹，目前已不多采用了。

(5) 高鉻不銹鋼 蒸汽温度在450°C以下的汽輪机，广泛采用1X13及2X13号高鉻不銹鋼制造叶片，因为这种鋼有很高的机械强度、足够的蠕变极限、良好的減振性能和耐蝕性。其化学成分如表1。

表 1-1 1X13和2X13高鉻不銹鋼的化学成分

鋼 号	元 素 含 量 (%)						
	碳	錳	矽	鉻	鎳	磷	硫
1X13	0.03~0.15	≤0.5	≤0.7	12.5~14.5	≤0.6	≤0.035	≤0.03
2X13	0.13~0.23	≤0.5	≤0.7	12.5~14.5	≤0.6	≤0.035	≤0.03

表 1-2 1X13和2X13高鉻不銹鋼的机械性能

鋼 号	机 械 性 能				
	极限强度 (公斤/公厘 ²)	屈服点 (公斤/公厘 ²)	延伸率 (%)	收縮率 (%)	冲击强度 (公斤公尺/公分 ²)
1X13	≥53	≥15	≥20	≥60	≥8
2X13	≥70	≥53	≥18	≥55	≥7

高鉻不銹鋼的抗腐蝕性能很强，过热蒸汽对含碳0.18~

21%、鉻12~14%的高鉻不銹鋼的化学稳定性，比同样条件下含鎳5%的鎳鋼的化学稳定性大3~5倍。含碳量愈少，高鉻不銹鋼的抗腐蝕性就愈大。但是，高鉻不銹鋼必須經過淬火和回火等热处理手續后，才具有較高的抗腐蝕性能。

(6)高合金不銹鋼 500°C以上的高压高温汽輪机的第一級叶片，須采用ЭИ-123或ЭИ-69号高合金不銹鋼制造，其化学成分如表3。

表 1-3

ЭИ-123和ЭИ-69的化学成分

鋼 号	元 素 含 量 (%)							
	碳	矽	錳	鎳	鉻	鎢	鉬	鈦
ЭИ-69	0.4~0.5	0.3~0.8	0.2~0.4	13~15	13~15	2~2.7	0.4~0.6	—
ЭИ-123	0.15~0.25	1.7~2.3	0.4~0.8	12~14	14~16	1.8~2.2	—	0.5~1.5

鎢、鉬、鈦等金屬能够提高合金鋼的蠕变极限和在高温下的稳定性。

三、冲动式叶片和反动式叶片的特点

(1)冲动式叶片 冲动式叶片的进口角度 β_1 与出口角度 β_2 相差很少，一般情况 β_2 較 β_1 小3~6°。从图1-1、1-2、1-3可以看出冲动式叶片的蒸汽进口侧与出口侧的形状非常接近，几乎成为对称的形式。两个叶片間蒸汽通道的宽度变化很小。

(2)反动式叶片 反动式叶片的进口角度 β_1 較出口角度 β_2 約大一倍左右，图1-9为反动式叶片的截面。从图上可以看出蒸汽进口侧相当鈍厚，蒸汽出口侧則有狹长的直綫部分。两个叶片間的蒸汽通道的进口部分較出口部分寬了許多，形成了漸縮形的噴咀，蒸汽在流过通道时要产生压力降。

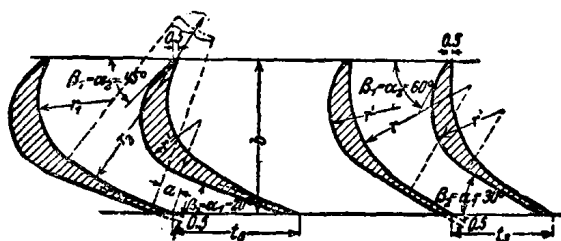


图 1-9 反动式叶片的截面

第二节 叶片的工作原理

一、冲动式叶片

在冲动式汽轮机中，蒸汽压力的降低只发生在喷嘴内，蒸汽由于在喷嘴内的压力降低获得了一定的速度 C_1 ， C_1 的方向和轮盘的平面成角度 α_1 ；速度 C_1 可以按照平行四边形的方法，分解为平均圆周速度 u 和进入叶片的相对速度 w_1 ， w_1 的方向与轮盘平面成夹角 β_1 ， β_1 就是叶片的进口角度。蒸汽以相对速度 w_1 进入叶片后，沿着叶片的弯曲表面逐渐改变方向，最后以相对速度 w_2 离开叶片。假设蒸汽与叶片间没有任何摩擦等损失，速度 w_2 应等于速度 w_1 ，实际上蒸汽流过叶片间的通道时是有摩擦和涡流损失的，所以 w_2 较 w_1 要小一些，一般用速度系数 ψ 表示 w_1 与 w_2 之间的关系，即 $w_2 = \psi w_1$ 。 w_2 与轮盘平面间的夹角为 β_2 ， β_2 就是叶片的出口角度。相对出口速度 w_2 与平均圆周速度 u 可用平行四边形法合并为绝对出口速度 C_2 。 C_1 、 C_2 、 w_1 、 w_2 等的关系如图1-10所示。

为了简便，常用速度三角形来表示 C_1 、 C_2 、 w_1 、 w_2 之间的关系，如图1-11所示。

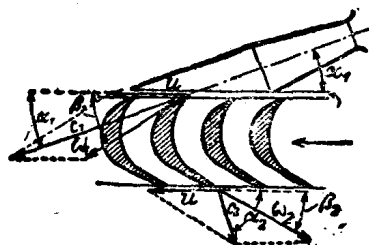


图 1-10 冲动式叶片内的蒸汽流动过程



图 1-11 速度三角形

推动转子旋转的力量，是由相对速度 w_1 及 w_2 在圆周方向的分速度 w_{1u} 及 w_{2u} 产生的。从速度三角形的关系得： $w_{1u} = w_1 \cos \beta_1$ ； $w_{2u} = w_2 \cos \beta_2$ 。

根据力学的基本定律，作用力 P 等于物体的质量 m 和物体由于受到作用力 P 而产生的加速度 a 的乘积。

即 $P = ma$ 。

所以，加速度 $a = P/m$ 。

假设有一不变的力 P 作用于一物体，其质量为 m ，物体在力 P 的作用下获得加速度 $a = P/m$ ，若物体的初速度为 w_0 ，在 t 秒后达到终速度 w ，则

$$w = w_0 + at = w_0 + \frac{P}{m} t.$$

去分母得

$$mw = mw_0 + Pt.$$

所以 $Pt = mw - mw_0 = m(w - w_0)$ 。

设 t 为 1 秒，则 $P = m(w - w_0)$ ，此式表示作用力等于受到作用力的物体的质量与速度变化的相乘积。也就是物体的质量与其速度变化的相乘积等于该物体产生的冲力。

在图 1-10 中，蒸汽以相对速度 w_1 (公尺/秒) 进入叶片，其在圆周方向的分速度为 w_{1u} ，然后以相对速度 w_2 (公尺/秒) 离开叶片，其在圆周方向的分速度为 w_{2u} ，设每秒的蒸汽流量为 W (公斤)，则根据上述结论在圆周方向的蒸汽冲力为：

$$P = \frac{W}{g} [w_{1u} - (-w_{2u})] = \frac{W}{g} (w_{1u} + w_{2u}) \text{ (公斤)}.$$