

汽輪機制造工藝學

(中 冊)

上海動力機器製造學校 編著
汽輪機學科委員會

科學技術出版社

內 容 提 要

本書中册叙述汽輪机的制造工艺特点,所用的各种材料以及主要零件的制造工艺,如:轉軸、轉輪、动静叶片、汽缸、隔板、汽封軸脉、軸承、联轴节、凝汽器、加热器和抽气器等的加工程序,以及所需的夾具、刀具、量具和机床等也都具体叙述。

本書可供汽輪机制造专业的教学参攷,亦可作为工厂技术人員的参考書。

汽輪机制造工艺学 (中册)

編著者 上海动力机器制造学校汽輪机学科委员会

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海建國西路336弄1号)

上海市書刊出版業營業許可証出079号

上海市印刷四厂印刷 新华書店上海发行所总經售

*

統一書号:15119·492

开本 787×1092 耗 1/27 · 印張 13 25/27 · 插頁 1 字数 289,000

1957年4月第1版

1957年4月第1次印刷 印数1—4,500

定价:(10) 2.00 元

目 錄

(中 冊)

第二篇 汽輪机的制造工艺特点、所用的各种材料以及主要零件的制造工艺

第一章 汽輪机制造工艺的特点1

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1-1 概論.....1 | 1-4 汽輪机的汽缸.....18 |
| 1-2 汽輪机的动叶片.....2 | 1-5 汽輪机的隔飯.....25 |
| 1-3 汽輪机的轉子.....11 | |

第二章 汽輪机制造所用材料26

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 2-1 鑄鉄件.....26 | 2-4 叶片鋼材.....38 |
| 2-2 鑄鋼件.....27 | 2-5 有色金属.....45 |
| 2-3 鋼料和鍛鋼件.....29 | 2-6 垫料和盤根填料.....46 |

第三章 轉軸的制造工艺51

- | | |
|--|-----------------------------|
| 3-1 轉軸的工作条件、
技术条件和它的結
構特点.....51 | 3-2 裝合成轉鼓形軸的裝
合工作.....53 |
| | 3-3 轉軸的机械加工.....64 |

第四章 轉輪的制造工艺85

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 4-1 概論.....85 | 4-4 轉輪的机械加工.....90 |
| 4-2 轉輪的型式与特点.....86 | 4-5 轉輪和工作叶輪的
靜力平衡.....114 |
| 4-3 轉輪机械加工的技
术要求.....89 | |

第五章 叶片的制造工艺122

- | | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| 5-1 概論.....122 | 程序的关系.....139 |
| 5-2 叶片的工艺特点.....123 | 5-5 叶片制造的典型工 |
| 5-3 叶片毛坯的选择及其
对制造工艺的影响.....136 | 艺程序.....141 |
| 5-4 叶片的类型对工艺 | 5-6 叶片制造工艺内容
說明.....203 |

第六章 联轴节的制造工艺225

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| 6-1 联轴节的工作任务
与結構.....225 | 6-3 牙接式联轴节的
加工.....233 |
| 6-2 刚性联轴节的加工.....229 | |

第七章 汽封軸腺的制造工艺238

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 7-1 縱形汽封圈的加工.....240 | 7-4 隔振軸腺的制造.....251 |
| 7-2 汽封套筒的加工.....245 | 7-5 軸腺外套圈的加工.....254 |
| 7-3 曲徑汽封圈的加工.....248 | |

第八章 隔振的制造工艺256

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 8-1 隔振的任务及对它
的要求.....256 | 8-4 焊合隔振的制造.....270 |
| 8-2 隔振的構造.....257 | 8-5 具有全部銑制噴阻的
組合隔振的制造.....280 |
| 8-3 鑄鉄隔振的制造.....259 | 8-6 隔振的弯曲試驗.....281 |

第九章 汽缸的制造工艺285

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 9-1 汽缸的結構与类别.....285 | 木条件.....288 |
| 9-2 汽缸的工作条件及
对它材料的要求.....286 | 9-4 鑄造汽缸的制造.....289 |
| 9-3 汽缸机械加工的技 | 9-5 焊合汽缸的制造.....323 |

第十章 軸承的制造工艺326

10-1 徑向軸承的工作任 務與結構·····	326
10-2 徑向軸承軸瓦的 製造·····	330
10-3 球面座圈的加工·····	339

10-4 軸承座的加工·····	340
10-5 推力軸承的工作任 務與結構·····	343
10-6 推力軸承的製造·····	347

第十一章 凝汽器、加熱器與抽氣器的 製造工藝·····351

11-1 凝汽器的製造工藝·····	351
11-2 加熱器的製造工藝·····	362

11-3 抽氣器的製造工藝·····	364
--------------------	-----

第二篇

汽輪机的制造工艺特点、所用的各种材料以及主要零件的制造工艺

第一章 汽輪机制造工艺的特点

1-1 概論

汽輪机开始应用在工业上,那还是十九世紀末了几年的事情,按時間來說汽輪机制造工艺学还是一門相当年輕的技术学科;但是由于汽輪机的应用范围日見扩大,例如发电站是需要能够发出大量电力的动力机的,船舶是需要既强大又輕便的动力机的,而汽輪机便是符合这些要求的一种动力机;因此在过去短短的六十多年来,汽輪机的制造工艺获得了飞速的发展.

汽輪机制造工艺的发展特点基本上是依照下面三个方向:

1. 对提高汽輪机运行的可靠性方面:改进汽輪机的結構,采用能够耐高溫、高压和抗磨耐蝕的高强度的金属材料,以及能保証高度精密的加工工艺和裝配工艺等.
2. 对提高汽輪机运行的經濟性方面:增加汽輪机的蒸汽压力与溫度,提高汽輪机的內效率,以及改进汽輪机的热力循环等.
3. 对减少汽輪机的每單位功率的重量和体积方面:增加轉数和集中大的功率于每台汽輪机上.

下面就是以汽輪机主要零件和重要部件为例(即动叶片、轉

子、汽缸、隔板等)分別地叙述它們的制造工艺的特点。

1-2 汽輪机的动叶片

动叶片是汽輪机上的重要零件之一，它將蒸汽的位能与动能轉变为汽輪机轉子的机械功。动叶片在工作时承受着强大的离心力、蒸汽喷射力、化学腐蚀、机械磨損、热应力、以及复杂的振动等作用，因此它要求具有高的蠕变极限、疲劳强度、减振效能、耐磨性与耐蚀性、以及良好的加工性与可焊性的合金材料，最好的結構，精密的加工工艺和装配工艺。按照动叶片的工作情况，可分为下面三类来进行研究。

1. 在高温高压下工作的前面几級的动叶片：在高温高压下工作的动叶片，由于高温的作用，減弱了材料的强度与配合的刚度；由于單位汽輪机功率的增加和蒸汽压力的提高，使叶片上的負荷显著地增加。在叶片中最危險的是振动应力，它是由蒸汽喷射力周期性地改变而引起的，尤其是当部分进汽时更为剧烈。因此，高温高压的动叶片材料与結構，必須具有足够的强度与可靠的刚度，以提高它的振动頻率而增强抗振能力。它們的裝置必須具有牢固的結合，以使振动时叶片易于稳定。加强高温高压动叶片在結構上的强度与刚度以及在裝置上的牢固度的方法如下：

a) 加强高温高压动叶片在結構上的强度与刚度方面有下列几种方法：

(一)增加叶片的厚度，也就是增加节距以加强它的强度与刚度，相应地也就增加了叶片的重量，这样由叶片的离心力 c 所产生的力矩 $c \times d$ 就可以大于由蒸汽压力在叶片上的切綫分力 P 所产生的力矩 $P \times h$ (图 1-1)。因此叶片就不会在轉輪中产生偏折現象。一般規定每只叶片的离心力矩 $c \times d$ 不应小于切綫力矩 $P \times h$ 的三倍。

(二)采用具有与叶片一体制出加厚根部和圍帶的結構，如图

1-2; 1-3; 1-4; 1-5; 1-6 所示的第一級叶片，一般都是选用整段条鋼毛坯，經過銑切方法而行制成的，因此它們制造工艺也比較复杂。

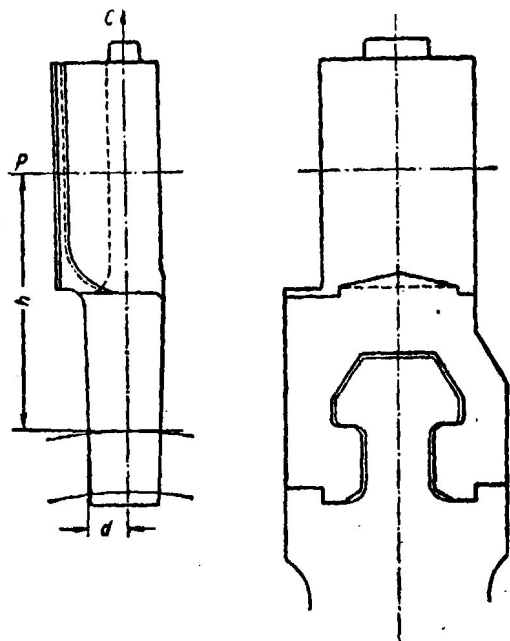


图 1-1 离心力和蒸汽喷射力在动叶片上的作用簡图

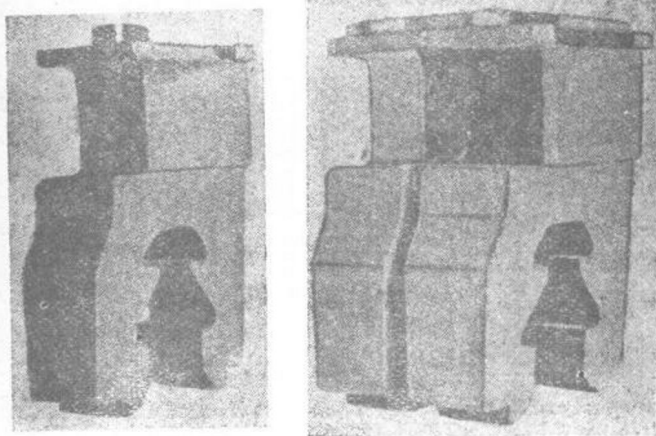


图 1-2 XT13 BP25-1 25,000 转汽輪机的第一級动叶片

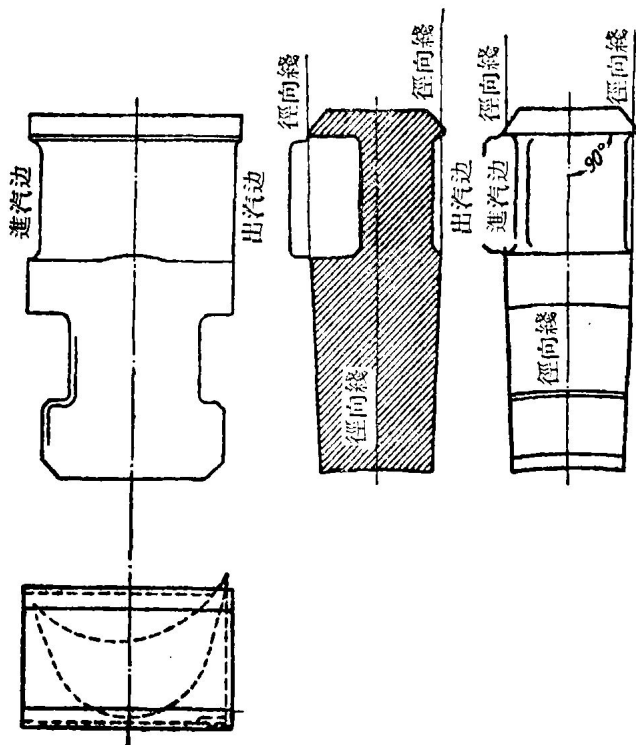


图 1-3 LM3 BK100-2 100,000 瓩 3000 轉/分
汽輪机的第一級动叶片

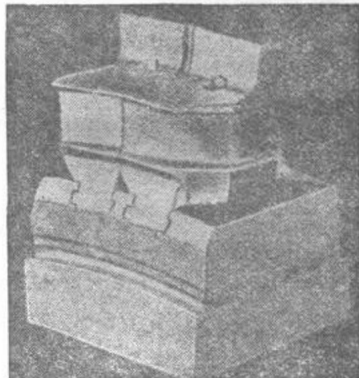
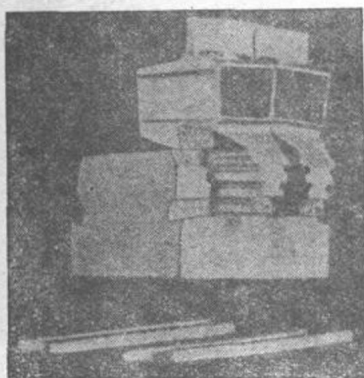


图 1-4 奧里斯—契姆潑高蒸汽参数汽輪机第一級动叶片

(三)除了具有与叶片一一体制出的圍帶之外，每四个叶片为一組，另有單獨的圍帶鉚合在叶片組的頂部(如图 1-2 所示)。

(四)除了具有与叶片一一体制出的圍帶之外，还在靜止的空气中用銀焊的方法將叶片圍帶焊接成組。

在銀焊之前，叶片工作部分与圍帶已精加工完毕而叶片根部仅粗加工，当銀焊之后，再將根部精加工制成叶片弧段，然后將制成的叶片弧段，再集裝在轉輪的輪緣上、并用銷釘緊固之（如图 1-6 所示）。

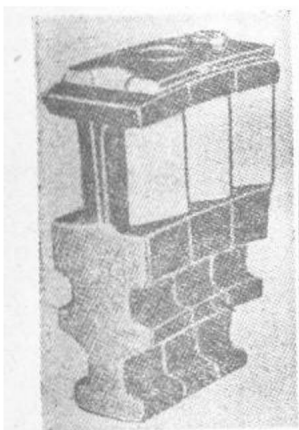


图 1-5 西屋公司高蒸汽参数汽輪機的第一級动叶片

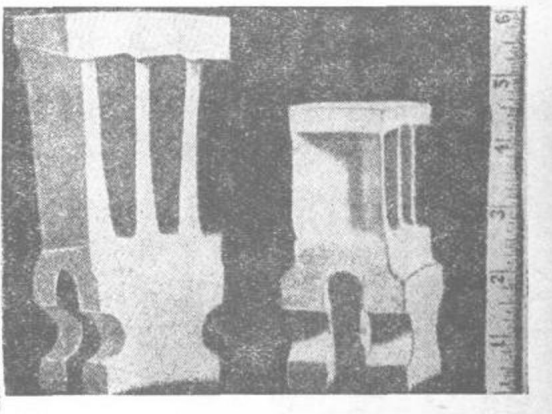


图 1-6 西屋公司高蒸汽参数汽輪機的第一級的銀焊动叶片組

6) 加强高溫高压动叶片在裝置上的牢固度方面有下列二点技术要求：

(一)叶片与轉輪輪槽的配合：配合的質量决定于輪槽与叶片根部的制造精度，一般使用精度为 $5 \sim 6 \mu$ 的量規来进行檢驗，并要求高度光洁的表面。

(二)动叶片与动叶片之間的配合：对于前后叶片根部的貼合，要求严格的紧密度。因此在裝配时，可利用紅丹粉与厚度規来进

行檢驗和修整。尤其對於封口葉片的裝配工作，要求更為嚴格。對於葉片頂部的連接要求也很嚴格，每二個到四個葉片成一組，分組地進行鉚接或焊接(圖 1-2; 1-3)。在進行鉚接工作時，還規定

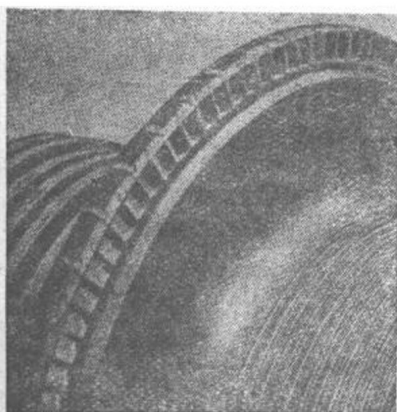


圖 1-7 奧里斯-契姆發高蒸汽
参数汽輪機之一的第一
級已裝配葉片的轉輪

了鉚錘的重量，一般是在200~300 克的範圍之內。在相鄰兩組之間保留一定的間隙，以防止在汽輪機啟動與停車時發生圍帶的過度彎曲力與牽伸力。圖 1-7 及 1-8 表示現代高蒸汽参数汽輪機第一級已裝好葉片的葉輪，這些動葉片系用焊接圍帶將每兩個葉片連在一起。

2. 溫度較低但仍然在干蒸汽中工作的中間幾級動葉片：
中間幾級動葉片在結構上和制

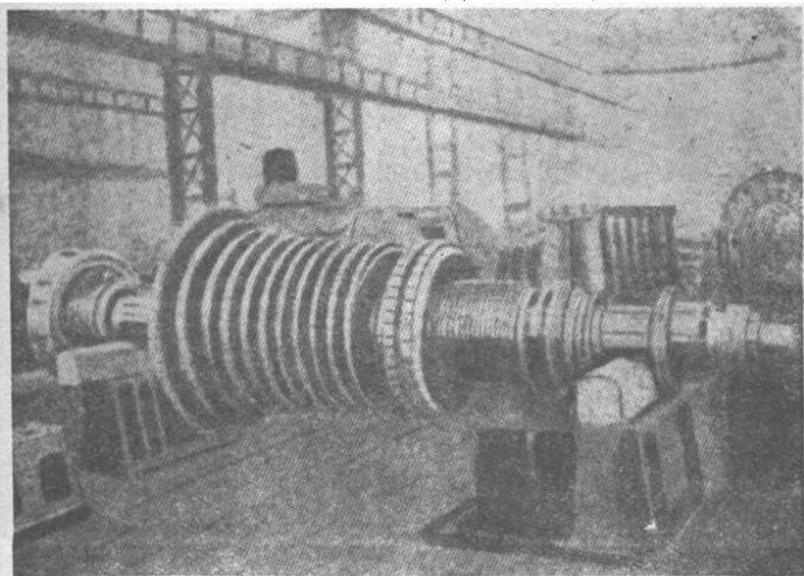


圖 1-8 JIM3 BK-100-2型汽輪機高壓缸的已裝配好葉片的轉子

造工藝上正向高蒸汽参数与高轉速发展，即提高叶片的强度与刚度以及叶片与轉輪或轉鼓的配合精度。在这类叶片的制造工艺方面，有許多种不同的制造方法，应用最广的有下列三种：

(一)采用条鋼或半軋鋼为毛坯然后进行銑切制成；

(二)采用軋軋鋼为毛坯，然后再进行細加工和精加工制成；

(三)采用光拉型鋼为毛坯，先焊接圍帶成几片一組，然后将成組叶片的根部浸入金属液中，使各叶片的根部連在一起，最后进行根部的机械加工（如图 1-9），或者將由光拉型鋼制成的叶片根部鍛粗，再与隔叶銷一起裝入轉輪中。

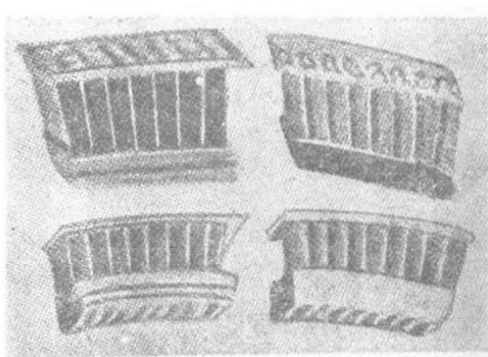


图 1-9 奧里斯—契姆潑汽輪
机中間級的叶片組

3. 在低溫低压的湿蒸汽区域中工作的末几級叶片：冷凝式汽輪机的最大輸出功率，决定于末級叶片蒸汽流通部分的截面面积；截面积的最大限度，取决于叶片的圓周速度与重量；

叶片的重量，决定于叶片的長度，而目前叶片圓周速度的极限为 460 公尺/秒。因此末級叶片常常使用自根部到頂端逐渐减小截面的方法来減輕重量；也有將叶片做成空心，但至今尚未获得广泛的应用。

虽然在平均圓周速度不变时叶片長度的增加可以提高汽輪機經濟功率的极限。但是由于叶片根部与尖端的圓周速度的显著差别和通道截面的显著差别，对蒸汽的流通是有不良的影响。因此末級叶片的長度，一般限制在不超過末級叶輪的平均直徑的三分之一。

同时汽輪機汽压的提高相应地会使末級蒸汽的湿度增加；每

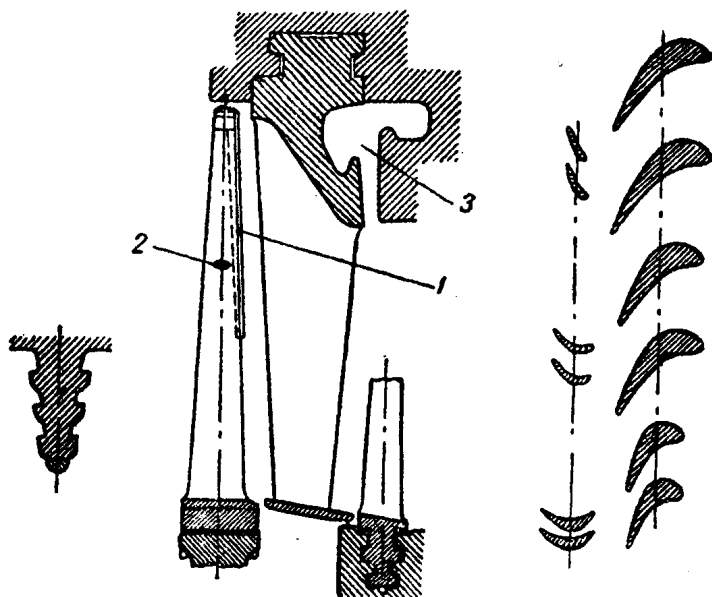


图 1-10 西屋公司汽輪機末級反动式叶片
1-硬質合金片 2-流綫型束腰綫 3-集水室

增加百分之一的平均湿度，就会使級效率降低 1%。在近代高参数的大功率凝結式汽輪機末級叶片中的蒸汽湿度，一般在 10~14% 范围内，再加上 460 公尺/秒的圓周速度，水珠对末級叶片磨蝕作用达到很严重的程度。因此为了使水珠分布得較為均匀，就采用等环流的叶片(即扭轉式的叶片)如图 1-10。还有应用流綫型截面的束腰綫，也可减少水珠的集中，如图 1-10 (2); 应用各种構造的排水槽，如图 1-10 (3)和图 1-11(c)所示; 应用銀焊的方法將硬質合金片焊接在叶片进汽边的背

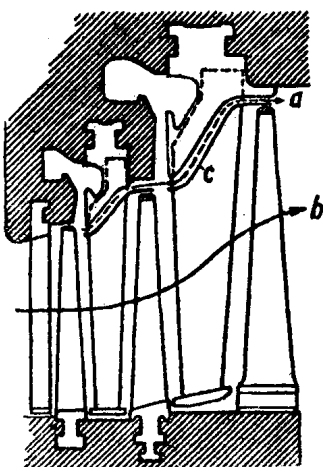


图 1-11 西門子汽輪機的末級叶片帶有鈎形構造的排水裝置
(a)水珠的运动 (b)蒸汽的运动 (c)去水裝置

側，它的長度約為葉片汽道總長的 $1/2 \sim 1/3$ ，以防止水珠的磨蝕作用如圖1-10(1)；以及使用自動焊接機熔焊一層硬質合金在葉片進汽邊的背側面，或在表面進行鍍鉻的方法以增加葉片的耐磨性和抗蝕性。圖1-10；1-11；1-12；1-13 即為近代大功率汽輪機末幾級葉片的結構形狀。

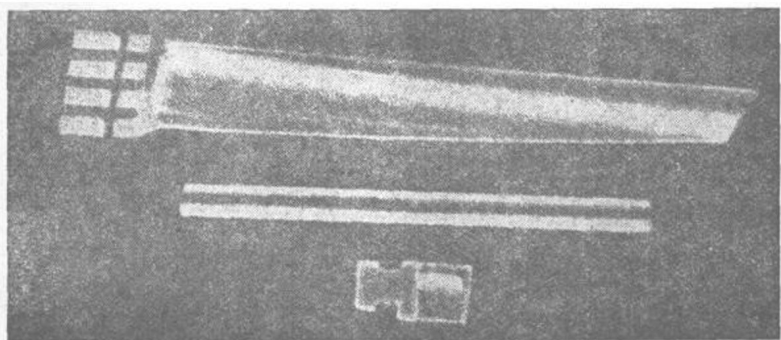


圖 1-12 JIM3 新式強力汽輪機的末級葉片

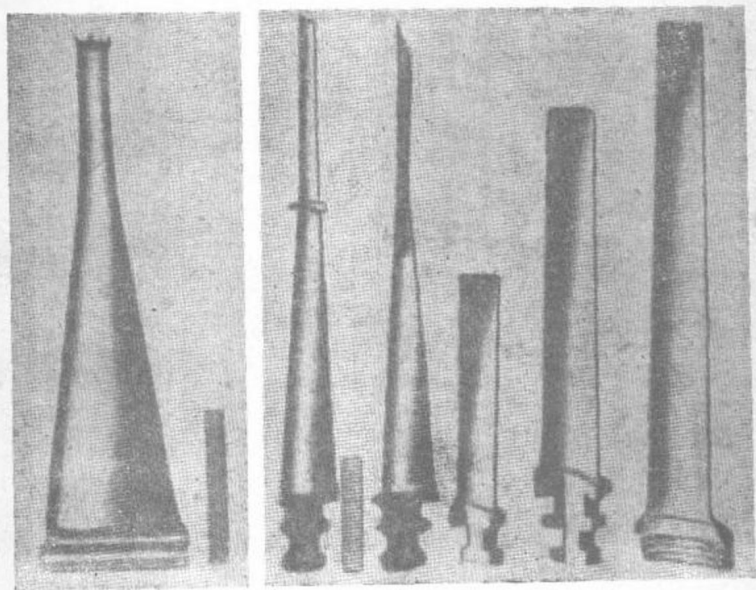


圖 1-13 末級葉片

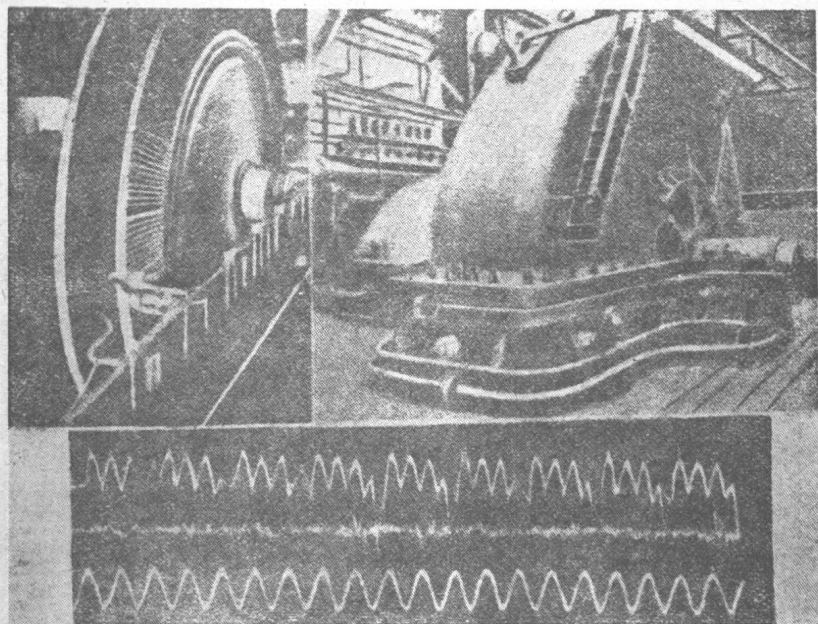


图 1-14

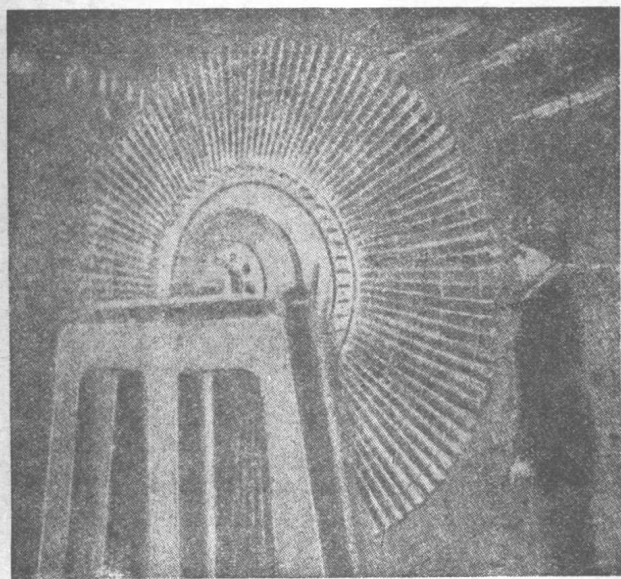


图 1-15 ЛМЗ 强力汽輪機已裝置葉片的末級轉輪

再者末几級叶片由于長度的增大而使它們的剛性与自然振動頻率就較小，因振動而產生的應力可能達到很可觀的數值，因此末級叶片在裝置之后，應該經過特殊頻率試驗的調整，以避免在正常轉運時進入共振的自然振動頻率；不過，這只能提供一個很狹的轉速範圍。圖 1-14 表示已裝置叶片的大直徑轉輪的振動頻率的調整設備和用振蕩儀所取得的振動曲線。為了增加叶片的剛性及其振動頻率，在叶片的端頂廣泛地使用圓帶進行鉚接或焊接起來，形成 10~12 片獨立的叶片組。並且還在叶片的中間，加上束腰綫，一般還用銀焊的方法与叶片串連起來（如圖 1-15）。

1-3 汽輪機的轉子

汽輪機的轉子是裝有許多動叶片的旋轉體，它的主要任務是將蒸汽的動能与位能轉變為轉子的機械能，帶動發電機旋轉而發出電能。

由于汽輪機的轉子是在高溫高速下工作的，尤其在啟動、停機或改變工况時，轉子各部分的受熱与冷卻很難獲得均勻一致，很容易產生不允許的熱應力而破壞了連接的可靠性或造成永久變形。因此轉子的結構隨蒸汽参数与轉速的提高，有下面幾種不同的類型：

1. 由轉輪和轉軸直接連接起來的轉子：這種結構的轉子只能適用於低溫下工作。由于轉輪是和蒸汽直接接觸而接觸面積又很大，因此它在汽輪機啟動時的受熱和在停機時的冷卻都比轉軸來得快，轉輪与轉軸之間的配合緊度就會減少或增強。如果非常緩慢地施行啟動和停機工作，則對運行工作來說是很不方便的。為了使轉輪和轉軸的連接，永遠保持有適當的配合緊度与同心度，就要求在轉輪和轉軸相連接時，應當選取足夠的公盈，使在啟動時不致被松掉。但公盈也不能太大，而使在停機時造成轉輪与轉軸配合處的永久變形。

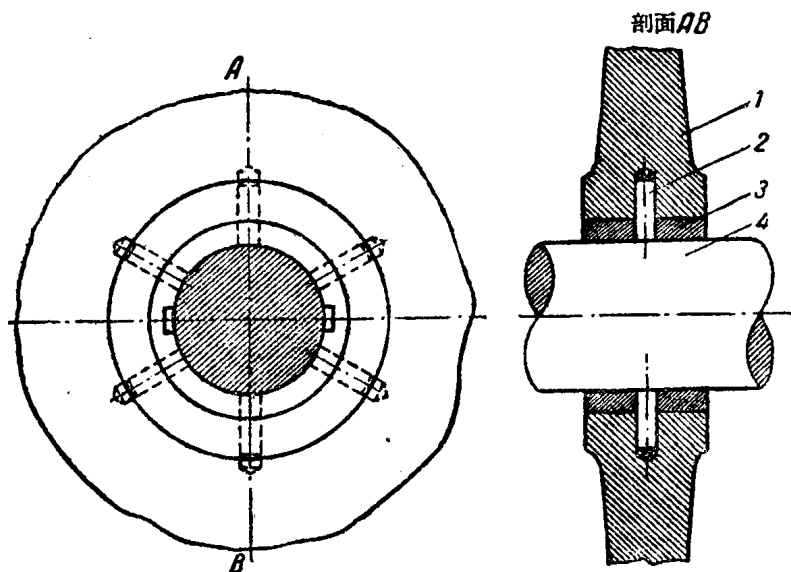


图 1-16 徑向銷釘套筒

1-轉輪 2-銷釘 3-銷釘套筒 4-轉軸

2. 利用徑向銷釘套筒的方法將轉輪和轉軸連接起來的轉子：在高溫區工作的轉子，如果採用直接裝配起來的第一種類型的轉子，就不可能獲得上述的技術要求。因此利用徑向銷釘套筒將轉輪和轉軸配合起來的方法，就得到廣泛的應用（如圖 1-16）。它的裝置過程與作用原理說明如下：

銷釘套筒 3，先根據轉輪孔徑的實際尺寸放 0.02~0.03 公厘的公盈量進行外圓的精加工，並將套筒壓入轉輪 1 的殼孔內，然後緊密地配裝銷釘 2 使與轉輪連接，再根據轉軸外徑的實際尺寸也放 0.02~0.03 公厘的公盈量進行套筒內孔及兩端面的精加工。加工完畢之後，就將轉輪熱套在轉軸上。當汽輪機啟動時，轉輪因受熱而膨脹，轉輪的殼孔就開始脫離銷釘套筒，由於套筒的厚度不大而且緊配在轉軸上，因此它的溫度與轉軸相同，當轉輪受熱膨脹時就有銷釘來保持它們的正確位置。轉軸的轉矩是通過徑向的銷釘和套筒以及平鍵來傳遞的。