

高等学校交流讲义

汽 輪 机 原 理

上 册

南京工学院发电厂热力設備教研組

曹祖庆 潘武威 錢为民 合編

只限学校内部使用



中国工业出版社

本书根据水利电力类教材工作会议的决定编写，分上下两册出版。本书为上册，内容除緒論外共分两篇。第一篇介绍汽轮机内的工作过程及热力设计，分章说明汽轮机的一般概念，喷嘴和叶片的计算，级内工作过程及影响级效率的各种因素，汽轮机在非设计工况下的运行；第二篇介绍凝汽设备的设计、计算及运行。

本书可作为高等学校热动力装置专业蒸汽轮机课程的教材，也可作为汽轮机制造专业的参考书。

汽 轮 机 原 理

上 册

南京工学院发电厂热力设备教研组

曹祖庆 潘武威 钱为民 合编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南街房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第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·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $20^{1/2}$ ·字数482,000

1962年9月北京第一版·1962年9月北京第一次印刷

印数0,001—2,600·定价(10-5)2.45元

*

统一书号: K15165·1630(水电-236)

前 言

本书是根据1961年3月水利电力部在武汉召开的高等学校水利电力类专业教材工作会议的决定而编写的，目的是解决当前高等学校教材的需要问题。

本书是以我院原有汽轮机原理讲义为基础，并根据1959年指导性教学大纲重新修改和编写，作为发电厂热能动力装置专业蒸汽轮机原理课程的教材，也可以作为汽轮机制造专业的参考书。

全书分为上下两册出版。除绪论外，上册共分两篇：第一篇介绍汽轮机内的工作过程及热力设计，共分九章分别说明汽轮机的一般概念；喷嘴及动叶栅的计算与特性；级内工作过程与影响级效率的各因素；轴封装置；多级汽轮机的工作与其热力设计；汽轮机在变动工况下的工作以及供热汽轮机。第二篇介绍凝汽设备的设计及其特性。下册分三篇：第一篇共五章，介绍汽轮机零件的强度计算与构造；第二篇介绍轴承的润滑理论与油系统；第三篇介绍调速系统的静态与动态特性。

关于本书的内容，还需作以下的说明：

1. 为了适应各学校教学情况的不同，本书部分内容用小字排出，使用时可根据具体情况作适当取舍。

2. 本书在汽轮机及其零件的具体构造方面，虽给予一定的注意，但为了不过多占用篇幅并考虑到课堂教学的具体情况，故文字说明不多，我们认为这一点可以在生产实习及课程设计中加以充实。

本书上册主要由曹祖庆、潘武威、钱为民编写，高震、陈吉元和王守太等参加了部分编写和校对工作，徐海泉参加了本书的绘图工作。

由于本课程的理论与内容不断发展和增加，因而在课程的体系安排与内容取舍方面，尚有很多问题值得讨论，例如如何利用近代气体动力学方面的理论与试验结果来讲解汽轮机通汽部分的设计与特性，就是一个需要讨论的问题。由于编者的水平以及时间的限制，因而本书中不妥当或甚至错误之处在所难免。我们衷心地希望使用本书的教师、同学和其他读者，提出批评和意见。

编 者

1961年9月于南京工学院

目 录

第一章 緒論	1
§1-1 導言	1
§1-2 汽輪機的發展簡史	1
§1-3 我國汽輪機製造工業的發展	6
§1-4 我國汽輪機運行方面的近況	6
§1-5 汽輪機的分類和系列標準	7

第一篇 汽輪機工作過程及熱力設計

第二章 汽輪機的一般概念	14
§2-1 一般說明	14
§2-2 可壓縮氣體的基本方程式	14
§2-3 汽輪機的工作原理	13
§2-4 級內能量轉換過程	20
§2-5 多級汽輪機的概念和構造	24
§2-6 汽輪設備的效率	29
第三章 蒸汽在噴嘴中的流動	30
§3-1 一般說明	30
§3-2 等熵流動和臨界參數	31
§3-3 有摩擦時的流動	34
§3-4 在濕蒸汽區內工作的噴嘴	43
§3-5 噴嘴斜切部分的膨脹	44
§3-6 噴嘴在變動工况下的工作	47
§3-7 噴嘴的設計	54
第四章 汽輪機葉柵的理論基礎和實驗成果	55
§4-1 一般說明	55
§4-2 葉柵的幾何特性	56
§4-3 葉柵上的作用力、葉柵的儒柯夫斯基定理	57
§4-4 葉柵的理論研究	64
§4-5 葉柵的試驗研究	66
§4-6 葉柵損失	63
§4-7 葉柵幾何參數對損失的影響和幾何參數的選定	72
§4-8 葉柵工作參數對損失的影響	76
§4-9 葉柵的成型方法	73
第五章 級的工作過程	81
§5-1 一般說明	31
§5-2 軸流式級的功率與輪周效率	31

§5-3 純冲動級和反动級的輪周效率	84
§5-4 冲動級及反动級尺寸的決定	89
§5-5 速度級(迭速級)	91
§5-6 輻流級的功率及輪周效率	98
§5-7 长叶級	101
§5-8 冲動級內反动度的選擇	116
§5-9 撞击損失	118
§5-10 摩擦損失、鼓風損失和斥汽損失	119
§5-11 漏汽損失	126
§5-12 湿汽損失	131
§5-13 汽輪機級的內效率	137
§5-14 冲動級構造尺寸对級效率的影响	138
§5-15 噴嘴和动叶的構造	145
§5-16 單級汽輪機(双列速度級)的应用范围和構造实例	151
第六章 軸封裝置	154
§6-1 一般說明	154
§6-2 蒸汽在曲徑軸封中的流动	155
§6-3 曲徑軸封	157
§6-4 炭环軸封	163
§6-5 水封輪	164
§6-6 汽輪機軸封系統	167
第七章 多級汽輪機	168
§7-1 一般說明	168
§7-2 多級汽輪機的分類及其工作原理	169
§7-3 多級汽輪機的特点	172
§7-4 重热系数(热重获系数, 再热因数)	173
§7-5 多級汽輪機的特性系数(巴森系数)	177
§7-6 多級汽輪機的軸向推力及其平衡	179
§7-7 极限功率	184
第八章 多級汽輪機的热力設計和構造	188
§8-1 一般說明	188
§8-2 影响汽輪機成型的一些因素	189
§8-3 凝汽式汽輪機各級段設計特点	193
§8-4 冲動式汽輪機的热力設計	197
§8-5 反动式汽輪機的热力設計	210
§8-6 輻流式汽輪機的热力設計	215
§8-7 凝汽式汽輪機構造示例	218
第九章 汽輪機在变动工况下工作	234
§9-1 一般說明	234
§9-2 非設計工况下級的工作	235
§9-3 工况变动时級前后压力与流量的关系	237
§9-4 在变动工况下一級組間压力与流量的关系	240
§9-5 工况改变时各級焓降的改变	244

§9-6	汽輪机的調节方法及調节級焓降的选定	246
§9-7	凝汽式汽輪机的工况图	253
§9-8	变动工况核算	255
§9-9	初終参数变动的影響	261
§9-10	轉速变动的影響	267
§9-11	軸向推力	270
第十章	供热汽輪机	271
§10-1	一般說明	271
§10-2	背压汽輪机	271
§10-3	一次調节抽汽汽輪机	274
§10-4	二次調节抽汽汽輪机	282

第二篇 凝 汽 設 备

第十一章	凝汽設備	289
§11-1	一般說明	289
§11-2	混合式凝汽器	290
§11-3	表面式凝汽器的构造	291
§11-4	冷凝过程及空气的影响	294
§11-5	进入凝汽器的空气量及其分压	296
§11-6	傳热計算	298
§11-7	凝汽器热力設計	304
§11-8	水流及汽流阻力	309
§11-9	抽气設備	310
§11-10	射汽抽气器計算	313
§11-11	抽气器在变动工况下工作——抽气器特性	320
§11-12	凝汽設備在变动工况下工作	321

第一章 緒 論

§1-1 導 言

電力工業是先行工業。為了加速我國社會主義建設，滿足國民經濟各部門及人民生活的需要，必須高速度、高質量地設計、製造、安裝電力設備，嚴格執行運行的規程制度，確保設備安全經濟供電。

目前在我國電力工業中，熱力發電在數量上所佔的比重較大。汽輪機是熱力發電廠中所採用的一種主要原動機。其工作原理是將進入機內的蒸汽勢能先轉變為蒸汽的動能，然後又將蒸汽的動能轉變為軸的旋轉機械能，直接地或間接地利用傳動機構來拖動發電機，對外發電（有時也可以用來拖動其它設備）。由於汽輪機的轉速高，尺寸小，重量輕，能設計成極大的功率，同時具有較高的效率，故現在已成為熱力發電廠中採用得最多的原動機。

在第二次世界大戰以後，燃氣輪機得到迅速的發展，由於它兼具有內燃機和輪葉式機械的優點，故在熱力發電廠中也逐漸被採用。但是由於燃氣輪機需要耐高溫的金屬材料，昂貴的液體燃料，而其單機容量目前尚不大，因此在電廠中尚未得到廣泛的應用。

在現代的原子能發電廠中，雖然是以原子反應堆中核分裂所產生的熱能代替一般鍋爐中的燃燒，但是仍然採用汽輪機作為原動機。

在汽輪機原理中，我們研究蒸汽在汽輪機設備中（包括凝汽設備）的工作過程、熱力計算方法、工作特性以及改進其效率的途徑；另一方面，我們研究其零件的構造和強度，汽輪機的調節，以保證汽輪機可以安全可靠地工作。

§1-2 汽輪機的發展簡史

關於汽輪機工作原理的概念由來已久，遠在公元前120年左右，埃及人希羅就利用汽流噴射的反作用力使一圓球（稱為希羅球）轉動，其構造如圖1-1所示。以後在1629年意大利人布郎卡曾利用汽流的沖動力推動一轉輪（稱為布郎卡輪）轉動，對外作功，其構造如圖1-2所示。這些雖然與我們今天所說的反動式與沖動式汽輪機不同，而且也無實用價值，但就其工作原理來說，可認為是反动式與沖動式汽輪機的雛型。

直至十八世紀後，隨着生產的發展，對原動機提出了容量大、轉速快及效率高的較高的要求，往復式蒸汽機就逐漸不能適應生產力發展的需要，並且當時的生產技術水平以及熱力學、材料力學和冶金工業等科學已有一定的發展，因此汽輪機方才得到相應的

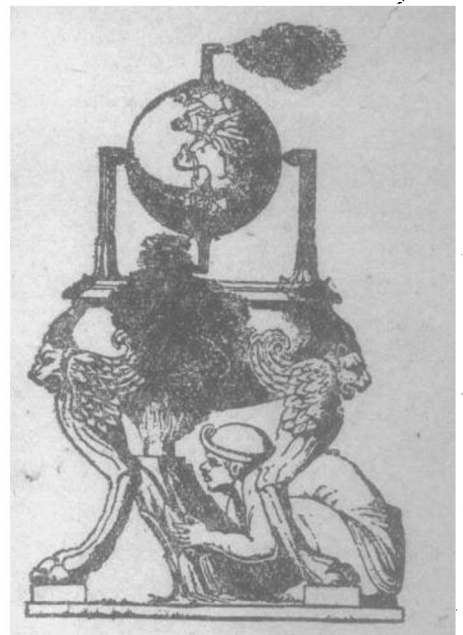


圖 1-1 希羅球

发展。1883年由瑞典工程师拉伐尔设计制造出第一台有实用价值的汽轮机。

拉伐尔汽轮机的构造如图 1-3 所示。压力较高的蒸汽流经喷嘴(图中表示为 4 只)后以高速流出,冲击叶轮上的工作叶片(或简称动叶),使叶轮及机轴转动,对外做功。当设计这种汽轮机时,曾解决了几个实用中的关键技术问题,这些成就对汽轮机的进一步发展,有着重大意义。这些问题是:

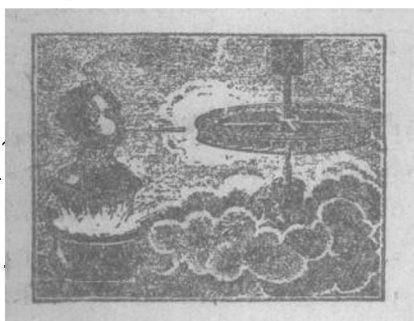


图 1-2 布郎卡轮

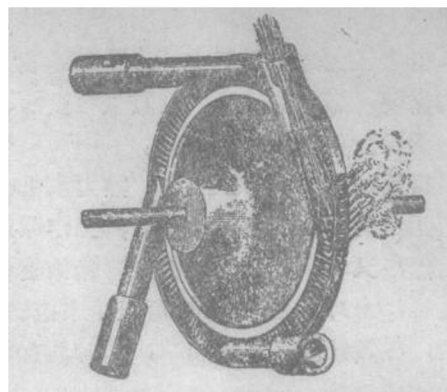


图 1-3 拉伐尔冲动式汽轮机的构造示意图

(1) 采用了缩放喷嘴,使蒸汽获得超音速流动;

(2) 转速极高(32000 转/分),采用了挠性轴,亦即工作转速高于轴的自振频率(临界转速);

(3) 为了有效地利用这股高速汽流的动能,设计出等强度叶轮,其圆周速度可达 350 米/秒。

拉伐尔汽轮机的特点是蒸汽在喷嘴中由初压一直膨胀到终压,只冲动一列工作叶片做功。该喷嘴和工作叶片,组成汽轮机的一级。因此可知上述的拉伐尔汽轮机是单级冲动式汽轮机。这种汽轮机虽然在工业上得到应用,但效率不很高,而且容量也不可能很大(在极高转速下功率一般还是小于 500 瓩),而且需要减速机构,故使这种汽轮机的应用受到了限制。

在 1884 年,英国工程师巴森设计出另一种型式的汽轮机,其工作原理与拉伐尔汽轮机不同,而具有下列特点:

1) 蒸汽不仅只是在与喷嘴相当的导叶中膨胀,以高速气流推动工作叶片做功,在工作叶片中蒸汽也发生膨胀加速,所以还有反作用力推动工作叶片对外做功,因而称为反动式汽轮机。

2) 蒸汽并不是只膨胀一次,在一列工作叶片中做功,而是连续地在许多串联的级中工作,每级都是由一列导叶及工作叶片组成,故称为多级反动式汽轮机。

多级反动式汽轮机的构造如图 1-4 所示。

在 1900 年左右,法国学者拉托以及瑞士工程师宗勒尔吸取了多级反动式汽轮机的优点,也将许多冲动级串联起来,构成多级冲动式汽轮机,其构造如图 1-5 所示。

与此同时,美国工程师寇蒂斯设计制造了有效利用喷嘴出口汽流动能的另一种形式的汽轮机,称为寇蒂斯汽轮机,其构造如图 1-6 所示。这种汽轮机的特点是:当由喷嘴流出的高速蒸汽的动能,在第一列动叶中尚未充分被利用,经过第一列动叶工作后速度

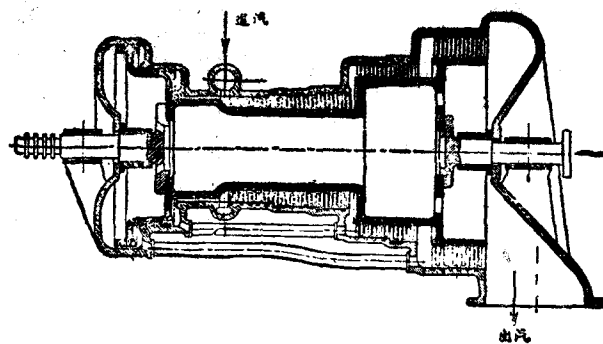


图 1-4 多級反动式汽輪机

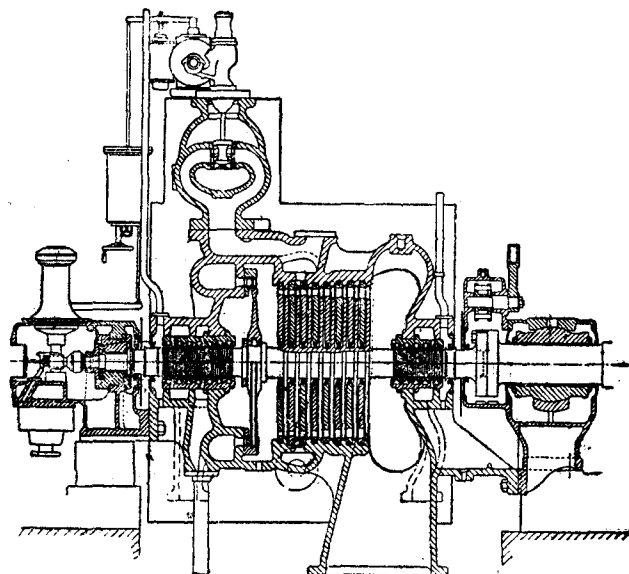


图 1-5 多級冲动式汽輪机

还相当高的汽流，借着一列固定的导向叶片改变其流动方向而和喷嘴出来时的方向约略相同，然后再进入和第一列动叶装在同一叶轮上的第二列动叶做功。若由第二列动叶流出的速度仍然较高时，可以再经过一系列导向叶片，然后进入第三列动叶做功。这样就使蒸汽的动能可以更充分地利用。在这种汽轮机中，由于高速度汽流的动能分多次被利用，故又称为迭速式或者复速式汽轮机。

为了同时满足其他工业部门对蒸汽的需要，在1903至1905年间，就开始出现热电能联合生产的汽轮机，这种汽轮机除去拖动发电机对外供给电能外，同时还供给其他工业所需要的蒸汽，这就是背压及中间抽汽式汽轮机。在1907年造出了可以自动调节抽汽压力的调节抽汽汽轮机。

在上面所述的各种类型的汽轮机中，汽流流动方向大体上是沿着机轴方向的，故又统称为轴流式汽轮机。

在1912年，由瑞典的容克斯脱莱姆兄弟设计制造出另一种型式的汽轮机，其构造如图 1-7 所示。蒸汽由中间进入，沿辐向经分别装在两叶轮上的各圈叶片向外流动，两个

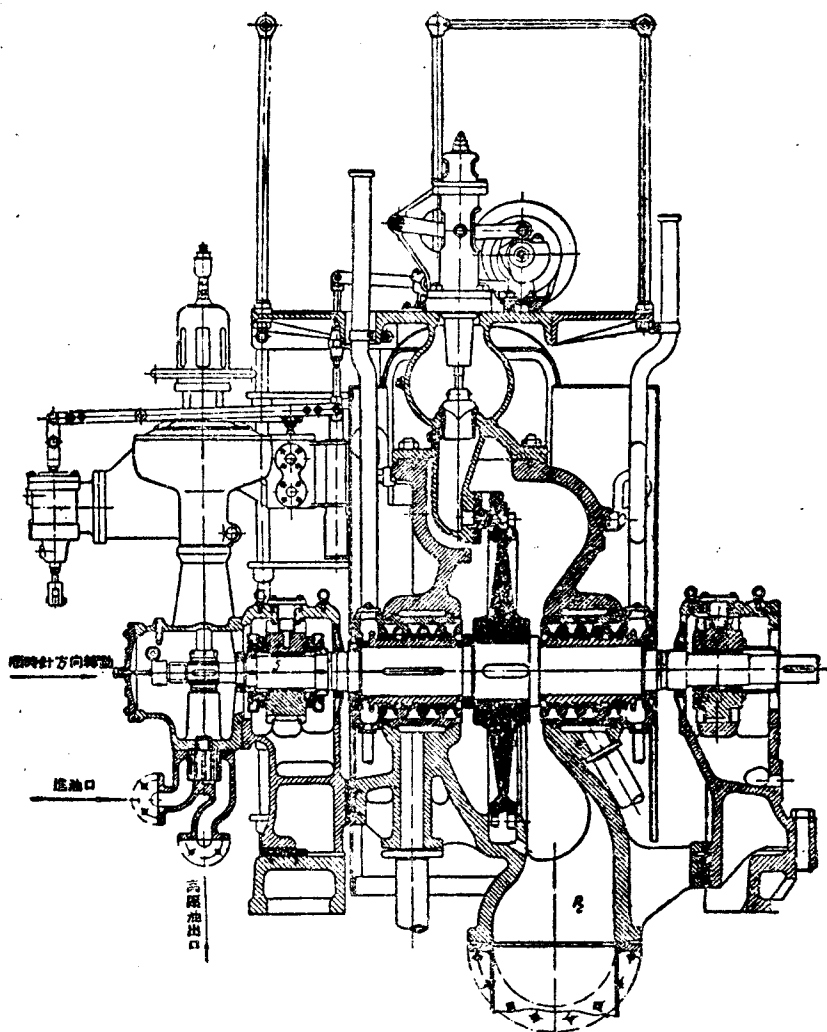


图 1-6 寇蒂斯汽轮机

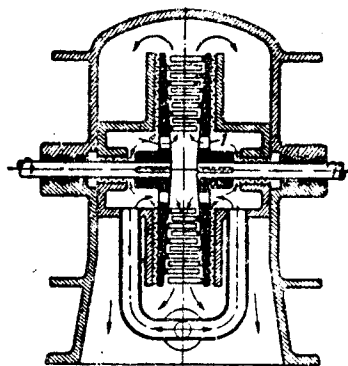


图 1-7 容氏辐流式汽轮机原理图

轉子分別受到汽流流過葉片時的反作用力，相互作用相反方向的轉動，拖動兩部發電機對外發電。因為這種汽輪機中蒸汽的流動方向主要是輻向的，故稱為輻流式汽輪機。

此外，還有一些汽輪機內的蒸汽的流動方向基本上是沿着圓周方向的，我們稱為周流式汽輪機。這種汽輪機都是小容量的，其構造如圖1-8所示。

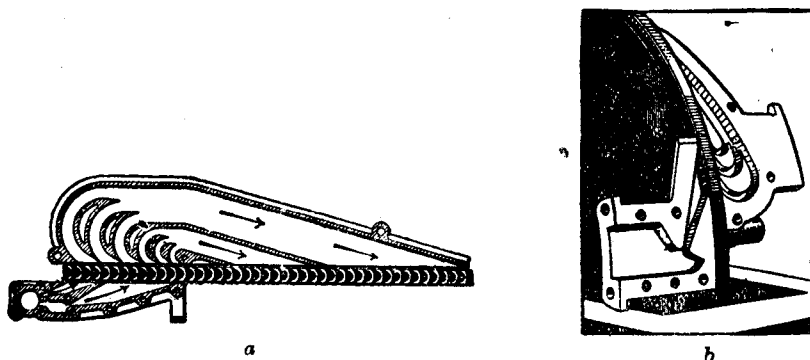


圖 1-8 周流式汽輪機

a—沿葉片圓周展開圖；b—構造圖。

由於電能利用日益廣泛，促使汽輪機製造工業的不斷發展，故要求不斷地增大機組容量，提高機組效率。

在第一次世界大戰以後，許多國家由於燃料供應困難，從而要求提高效率，降低煤耗，但在當時受到冶金技術的限制，新汽參數多半較低，大多數為12~16絕對大氣壓，250~350°C，當時汽輪機設計的趨勢是增加汽輪機的級數以提高效率。在新汽參數不高的條件下，沖動式汽輪機有設計成三十多級，反動式汽輪機有多至六十至八十級的。由於級數過多，又為了增大汽輪機組的功率，也有將汽輪機設計製造成多缸及二軸或三軸式，使蒸汽依次在幾個汽缸內工作和借著幾根軸拖動兩三台發電機作功。這些措施都大大增加了金屬和勞動力的消耗，從而增加了成本。

在1930~1940年間，由於冶金工業的發展，有可能逐漸提高新汽參數，在級數較少的條件下來提高效率。當時新汽參數有高達100絕對大氣壓，500°C，個別機組還更高，開始向超臨界機組發展。但由於當時製造及運行經驗不足，材料性能不良，以致機組的安全性較差，故在提高新汽參數方面發展仍然很緩慢。

在第二次世界大戰以後，由於電能需要量的增加、電網容量的增大，同時由於冶金工業的進一步發展，以及流體力學等科學新的研究成果，促使汽輪機製造工業發展至一新的階段。目前汽輪機設計製造發展的一般趨向為：

1) 提高新汽參數和採用再熱循環，提高循環效率

由於冶金工業的進步，製造及運行經驗的累積，目前大容量機組的新汽參數已採用130~240絕對大氣壓，565~580°C，一次或二次再熱至535~565°C，也有少數機組的新汽參數高達300~350絕對大氣壓，600~650°C；估計經過不太久的時間後，可能將新汽參數提高到600絕對大氣壓，700°C。由於新汽參數的提高，汽輪機的構造也就有了相應的改變，出現一些新的結構型式。

2) 增大機組容量

由于工业的发展，电能需要的迅速增长，电网容量增大，就要求采用大容量机组。目前生产的大机组的单机容量一般约150,000~300,000瓩；个别大至400,000~500,000瓩，并在设计制造着600,000至800,000瓩，甚至容量更大的汽轮机。随着机组容量的增大和新汽参数的提高，汽轮机的轴数、缸数、排汽口数及最后级的叶片的尺寸都在增加。

3) 利用空气动力学理论，改进效率

随着空气动力学的发展，现在正在利用空气动力学的理论与试验成果，研究汽轮机内蒸汽流通部分方面的问题以提高效率。现在汽轮机级的效率可高达90%以上，全机效率可高达85%左右。

4) 汽轮机与锅炉联合运行和高度自动化。

§1-3 我国汽轮机制造工业的发展

我国劳动人民在很早以前就已了解汽轮机的工作原理。远在八百多年前，南宋时期就有了走马灯的出现，它和近代燃气轮机的基本原理有相近的地方，但是由于我国长期处于封建社会，生产力停留在较低的水平上，它并没有得到应有的重视。在19世纪后半叶，外国新兴的资本主义势力侵入我国，使我国沦为半封建半殖民地的社会，工业水平极端落后，在解放前完全没有汽轮机制造工业。当时国内使用的汽轮机全部由国外进口，甚至一些部件损坏时，还要运到外国原制造厂去修复。

解放后，在党的领导下，在社会主义兄弟国家的援助下，建立了我国汽轮机制造工业，并在1954年制造出国产第一台汽轮机，以后更设计制造了大型的中压与高压的汽轮机，使我国汽轮机制造工业走上迅速发展的道路。

在1958年工农业生产大跃进，以及1959年的持续全面跃进中，汽轮机制造工业得到更快的发展速度，建立了不少的中小型汽轮机厂，并且有了专门研究汽轮机的科学研究机关，培养出大批有关汽轮机专业的干部。可以预见，我国汽轮机制造工业在今后一定会更迅速的发展。

§1-4 我国汽轮机运行方面的近况

自1882年帝国主义在上海建立发电厂以来，到1949年解放前夕的67年期间，只留下为数不多的发电设备，而且这些设备又都是残旧杂乱，年久失修，因而发电设备很多不能达到额定出力。这些机组效率低，事故多，工人劳动条件极端恶劣，充分反映了殖民地半殖民地的落后状态。

解放后，在党的领导下，我国在汽轮机运行方面也取得了很大的成绩。在解放初期，建立了汽轮机运行检修等的规章制度，培养了大批运行检修安装人员，并在基本上没有增加设备的基础上，到1952年的发电量比解放前我国历史上最高发电量还超过22%。在1953年后，我们扩建和新建了大批发电厂，近代的汽轮发电设备已在我国电力工业中占主要地位。

由于在发电厂中积极开展技术革命与技术革新运动，充分发挥了发电设备的潜力，主要生产设备的检修工期缩短了，设备事故减少了。截至1959年底，全国发电设备的年平均利用小时数已经达到6000小时以上。在经济性方面也有显著的改进，如发一度

电所消耗的标准煤全国平均为0.55公斤。另外对旧有汽輪机的改进，提高效率，提高安全性和自动化的水平方面，都作了很多工作，取得了显著的成绩。

§1-5 汽輪机的分类和系列标准

1. 分类

汽輪机在很多生产部門中被广泛用作原动机，为适应不同用戶以及不同情况，各式各样的汽輪机不断涌现。因此，为了討論及說明方便起见，根据热力过程的特性，工作原理，新汽参数以及结构的特点等，从各个不同的角度来将汽輪机进行分类。

1) 按热力过程的特性分类：

(1) 凝汽式汽輪机

所有进入汽輪机的新汽在流经汽輪机后，除很少一部分漏汽外，全部在低压下进入凝汽器，这种汽輪机我們称为純凝汽式。在近代汽輪机中，多数采用回热循环，即当蒸汽在汽輪机內流过时，大部分蒸汽进入凝汽器冷凝，部分蒸汽由汽輪机中分批抽出，用于加热鍋炉給水。这种汽輪机称为有回热的凝汽式汽輪机，但多数簡称为凝汽式汽輪机。

(2) 背压式汽輪机

进入汽輪机工作后的蒸汽，在較高的压力下排出，其排汽可供工业或供暖使用，这种汽輪机称为背压式汽輪机。若此汽輪机的排汽供其他中、低压汽輪机使用时，则这种背压式汽輪机又称为前置式或迭置式汽輪机。这种汽輪机常在旧有发电厂的改建中使用，在新安装高压鍋炉提高新汽初参数后，先供前置式汽輪机工作，然后以其排汽再供至原有的中、低压汽輪机。

(3) 調节抽汽汽輪机

在一汽輪机中，若有部分蒸汽在一种或者两种給定的压力下，由汽輪机中抽出，供其他工业或人民生活用，其余蒸汽仍繼續在机內作功，最后进入凝汽器冷凝，并且在汽輪机上装有調节机构，以維持抽汽压力不变，这种汽輪机称为調节抽汽汽輪机。

(4) 乏汽汽輪机

利用其他蒸汽设备的低压排汽(例如蒸汽錘以及蒸汽机的排汽)，进汽压力一般为1.2~2絕对大气压，这种汽輪机称为乏汽汽輪机。

(5) 混压式汽輪机

在这种汽輪机中，同时使用压力不同的蒸汽进行工作。例如一汽輪机除由鍋炉供汽外，另外同时利用蒸汽錘或者拖动給水泵的小汽輪机排汽，从汽輪机的中間級处引入作功。

2) 按工作原理分类：

(1) 冲动式汽輪机

汽輪机內的級基本上都按冲动原理工作时，即称为冲动式汽輪机。在现代冲动式汽輪机的各級中，蒸汽在工作叶片內都有一定程度的膨胀，在有些級中甚至还相当大，然而我們习惯上仍称为冲动式汽輪机。

(2) 反动式汽輪机

汽輪机內各級都按反动原理工作时，称为反动式汽輪机。近代反动式汽輪机的第一級，常用冲动級或者速度級作为調节級，但是习惯上仍称为反动式汽輪机。

(3) 混合式汽轮机

即是由冲动级与反动级组合而成的汽轮机。

3) 按新汽压力分类:

低压汽轮机: 其新汽压力为 $1.2 \sim 15$ 绝对大气压;

中压汽轮机: 其新汽压力为 $20 \sim 40$ 绝对大气压;

高压汽轮机: 其新汽压力为 $60 \sim 120$ 绝对大气压;

超高压汽轮机: 其新汽压力为 $120 \sim 225$ 绝对大气压;

超临界汽轮机: 其新汽压力大于 226 绝对大气压。

4) 按汽流流动方向分类:

(1) 轴流式汽轮机: 蒸汽主要是沿着轴向流动的;

(2) 辐流式汽轮机: 蒸汽主要是沿着辐向流动(即半径方向)的;

(3) 周流式汽轮机: 蒸汽大致是沿着轮周方向流动的。

5) 按汽缸数目排列方式及汽流路数分类:

(a) 单缸单流式; (b) 单缸对向分流式; (c) 单缸对向半分流式; (d) 双缸串列单流式; (e) 缸串列半分流式; (f) 三缸串列半分流式; (g) 双缸并列(双轴)半分流式; (h) 三缸并列(三轴)半分流式。

上述各种型式的汽轮机的示意图表示在图1-9中。

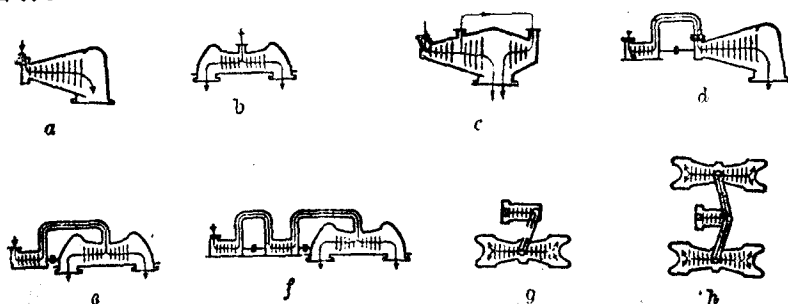


图1-9 汽轮机不同汽缸及流程分布方案图

a—单缸单流式; b—单缸对向分流式; c—单缸对向半分流式; d—双缸串列单流式; e—双缸串列半分流式; f—三缸串列半分流式; g—双缸并列半分流式(双轴); h—三缸并列半分流式(三轴)。

关于其它按用途、转速等的分类的方法,由名称上即可了解其型式,故不再加以介绍和说明。

2. 系列化与标准化

系列化,标准化就是汽轮机厂只设计一系列的汽轮机,其蒸汽参数、功率、型式都予以统一规定,并以一定的符号表示。系列化与标准化,对于精简生产技术工作、组织成批生产、迅速提高产品的质量和增加产品的数量,起着很大的作用。

我国汽轮机系列标准(草案)

我国汽轮机系列标准试行草案已正式公布,今将主要内容摘要于下。

系列编制原则

低于 350 瓩汽轮机未列入系列内,首先因其经济性低,另外从农业及某些工业部门

需要量来看亦是不多的，如有需要，可用蒸汽机代替。

3000瓩以下机组适用于孤立电站、工厂自备电站、矿区、人民公社及林区等。考虑到目前地方上及人民公社管理水平低，而又要求遍地开花的情况，小机组以较低参数运行比较方便，因此采用13绝对大气压，340°C及24大气压390°C这两级参数较为合适。采用24绝对大气压，390°C完全可以避免用合金钢，与35绝对大气压，435°C相比，在汽轮机造价上虽差不多，但在锅炉方面低得多，如对20吨/时锅炉几乎是1:3。

初参数35绝对大气压 435°C 是苏联捷克等国家标准；因该参数下锅炉管道及汽轮机某些零件均可采用碳钢，50000瓩以下机组采用这一参数是很适合的。

5万瓩以下机组采用中压为主，这一方面适合我国目前情况，便于中小型工厂生产。就长远情况看这些机组可满足我国广大地区及不同生产部门需要，如人民公社及边远地区等。

130绝对大气压565°C这一参数，适用于150000，200000及更大机组，该机组在材料方面以珠光体钢为主，通过这些机组设计，可使电站经济性大大提高。另外随着电网功率日渐增大，客观上亦要求更大容量机组装备我国电站。

对一些高参数机组，考虑到我国耐高温金属材料供应情况，对相同参数下的功率，尽量设计得大些。如130绝对大气压565°C功率是15万瓩与20万瓩，以至30万瓩。

在考虑到今后电站需要扩建以满足生产发展的需要，系列中也留有跨越过渡区，如6000瓩机组跨24绝对大气压，390°C与35绝对大气压，435°C二档参数；50000瓩机组跨35绝对大气压，435°C与90绝对大气压，535°C等。

考虑到我国地处温带，只有很少地区须较长时间供暖，并且供暖时须增加供热设备投资，夏季单纯用来发电时效率低，故我国供暖抽汽汽轮机只作适当发展，故系列中品种较少。

双抽汽式汽轮机可用供暖与工业抽汽式汽轮机来代替，另由于结构复杂，仅用于发电时效率不高，故在系列中只取两种类型。

背压式汽轮机一方面可以用于工业部门，另一方面可以作为前置式汽轮机来改善中压电站热效率，故系列中类型较多。

汽轮机产品系列中的一些规定

1. 抽汽式汽轮机名牌出力为经济出力，最大出力为名牌出力的120%，允许长期运行。而冷凝式与背压式汽轮机名牌出力即为最大出力。当一初参数在规定范围内变化时，可容许长期连续运行。经济出力与名牌出力的关系如下：

6000瓩及以下为75%	50000瓩与100000瓩为90%
12000瓩与25000瓩为80%	150000瓩以上为100%

2. 冷却水温度标准有：10°C、15°C、20°C及25°C四种。尤以10°C、20°C应用最广，除用户提出要求外，一般以20°C为设计值。当冷却水温度为10°C时，冷凝器汽侧压力为0.035绝对大气压；20°C时为0.05绝对大气压。当冷却水温度升高至33°C，而蒸汽初参数为额定时，仍须长期连续发出额定出力。

3. 当蒸汽初参数在下列范围内变化时，仍须保证长期连续发出名牌出力。温度在上限值运行不得超过30分钟，全年总时数不超过200小时。

額 定 值		变 化 范 围	
压 力 (大气压)	温 度 (°C)	压 力 (大气压)	温 度 (°C)
13	340	11~15	320~350
24	390	22~26	370~400
35	435	32~37	420~445
90	535	85~95	520~540
130	565	120~140	

4. 抽汽量可允許在±10%的範圍內變動。

5. 抽汽壓力允許在下列範圍內變化。

抽汽壓力 (絕對大氣壓) 1.2 5 7 10

變化範圍 (絕對大氣壓) 0.7~2.5 4~6 6~8 8~13

6. 當背壓在下列範圍內變化時，仍能長期連續發出名牌出力：

額定壓力 (絕對大氣壓)	3	6	11	37
變化範圍 (絕對大氣壓)	2~4	4~7	8~13	35~39

7. 汽輪機的轉向，應由聯軸器向發電機看，發電機轉向為順時針方向來決定。

冷 凝 式 汽 輪 機 系 列 表

序 號	產品編號	相當於蘇聯 以前型號	功 率 (瓩)	發電機轉速 (轉/分)	蒸 汽 初 參 數		給水溫度 (°C)
					壓 力 (絕對大氣壓)	溫 度 (°C)	
1	21-0.35	ГK-0.35	350	1000	13	340	
2	21-0.75	ГK-0.75	750	2000(1500)	13	340	105
3	21-1.5	ГK-1.5	1500	2000(1500)	13	340	105
4	31-1.5	AK-1.5	1500	2000(1500)	24	390	150
5	31-3	AK-3	3000	2000	24	390	150
6	31-6	AK-6	6000	2000	24	390	150
7	31-6	AK-6	6000	2000	35	435	150
8	31-12	AK-12	12000	2000	35	435	150
9	31-25	AK-25	25000	2000	35	435	170
10	31-50	AK-50	50000	2000	35	435	170
11	51-50	BK-50	50000	2000	90	535	215
12	51-100	BK-100	100000	2000	90	535	215
13	61-150	ПBK-150	150000	2000	130	565	230
14	61-200	ПBK-200	200000	2000	130	565	220

(1) ПBK 機組中間通過熱溫度作技術經濟比較後確定。

(2) 新設計汽輪機不宜使用有括弧的規格數值。

抽汽式汽輪機系列表

序 号	产品编号	相当于 苏联以 前型号	功 率 (瓩)	发电机转速 (轉/分)	蒸汽初参数		在以下压力时的抽汽量 (吨/小时)					給水 温度 (°C)
					压 力 (绝对大 气压)	温 度 (°C)	1.2(絕 对大气 压)	5 (絕 对大气 压)	7 (絕 对大气 压)	10(絕 对大气 压)	13(絕 对大气 压)	
1	22-0.35	ГТ-0.35	350	1000	13	340	×					
2	22-0.75	ГТ-0.75	750	3000(1500)	13	340	×					
3	32-1.5	АТ-1.5	1500	3000(1500)	24	390	9					105
4	32-3	АТ-3	3000	3000	24	390	15					105
5	32-6	АТ-6	6000	3000	24	390	35					105
6	32-12	АТ-12	12000	3000	35	435	65					150
7	32-25	АТ-25	25000	3000	35	435	100					170
8	33-0.75	АИ-0.75	750	(1500)3000	24	390		7				105
9	33-1.5	АИ-1.5	1500	3000(1500)	24	390		12				105
10	33-3	АИ-3	3000	3000	24	390		25				105
11	33-6	АИ-6	6000	3000	24	390		45				105
12	33-12	АИ-12	12000	3000	35	435				50		150
13	33-25	АИ-25	25000	3000	35	435			150			150
14	34-12	АИТ-12	12000	3000	35	435	70			50		150
15	34-25	АИТ-25	25000	3000	35	435	50			70		215
16	54-25	БИТ-25	25000	3000	90	535	×			×	×	
17	54-50	БИТ-50	50000	3000	90	535	×			×	×	

注：(1)新設計汽輪機不宜使用有括弧的規格數值。

(2)(×)表示抽汽量在第一个产品设计时須与用戶協商并取得主管局同意。

背压式汽輪機系列表

序 号	产品编号	相当于苏联 以前型号	功 率 (瓩)	发电机转速 (轉/分)	蒸汽初参数		背 压 (绝对大气压)				
					压 力 (绝对大气压)	温 度 (°C)	3	6	11	25	37
1	25-0.35	ГР-0.35	350	1000	13	340	×				
2	25-0.75	ГР-0.75	750	3000(1500)	13	340	×				
3	35-0.75	АР-0.75	750	3000(1500)	24	390	×	×			
4	35-1.5	АР-1.5	1500	3000(1500)	24	390	×	×			
5	35-3	АР-3	3000	3000	24	390	×	×			
6	35-1.5	АР-1.5	1500	3000(1500)	35	435	×	×	×		
7	35-3	АР-3	3000	3000	35	435	×	×	×		
8	35-6	АР-6	6000	3000	35	435		×	×		
9	35-12	АР-12	12000	3000	35	435		×	×		
10	55-12	БР-12	12000	3000	90	535					×
11	55-25	БР-25	25000	3000	90	535				×	×

注：(1)新設計汽輪機不宜使用有括弧的規格數值。

(2)(×)表示标准汽輪機背压。