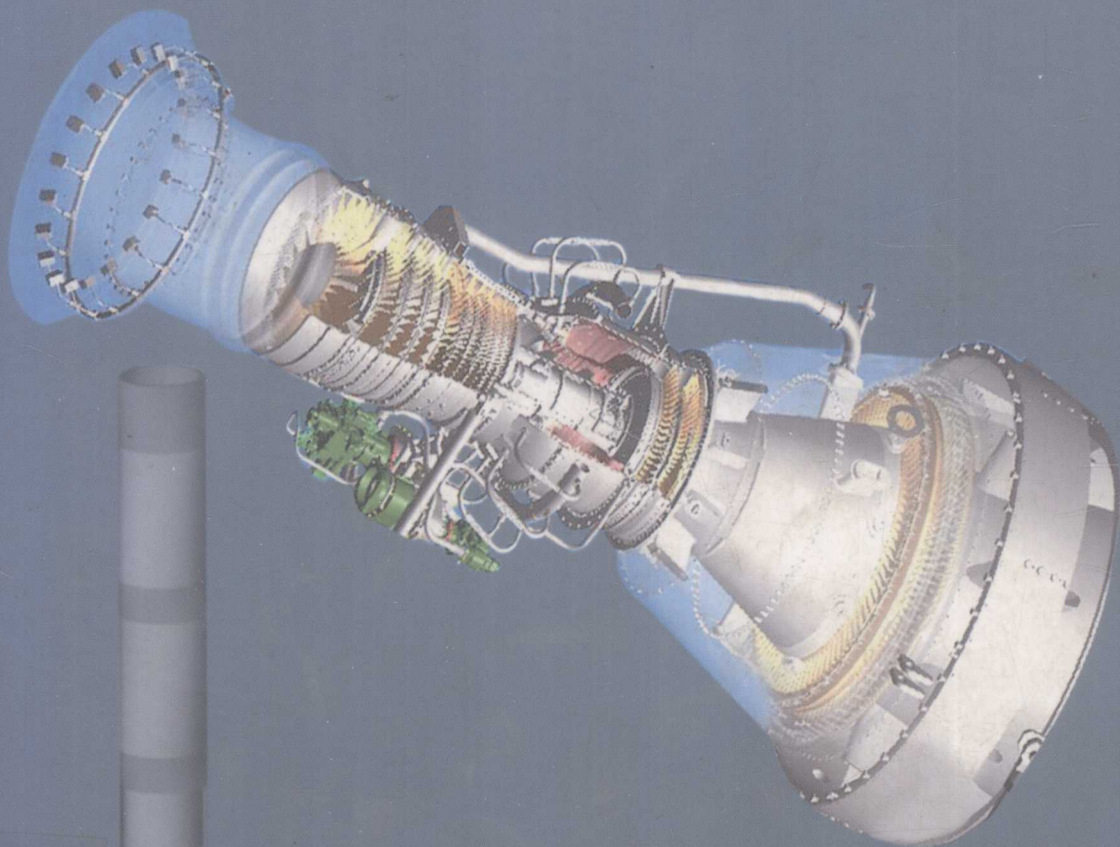


燃气轮机原理、 结构与应用

(上册)



沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司



科学出版社
www.sciencep.com

燃气轮机原理、结构与应用

(上册)

沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司

江苏工业学院图书馆
藏书章

科学出版社

北京

内 容 简 介

全书分上、下两册,共14章。本书主要叙述了燃气轮机及其组成部件——压气机、燃烧室和透平的工作原理、设计特点及其试验、变工况性能和结构,以及调节控制、联合循环和应用等。为使缺乏热工知识的技术人员能顺利地掌握燃气轮机技术的有关知识,书中单列了热工基础知识一章。叙述内容中注意实用,除全面介绍辅机系统外,运行维护中还列举了典型故障分析,举例说明了燃气轮机性能验收试验方法,分析了在各部门应用中的一些具体问题等。此外,书中注意跟踪当今燃气轮机的新技术成就,介绍了先进的大功率燃气轮机和联合循环,新的航机改型机组,与高速发电机设计成整体的微型燃气轮机,压气机的可控扩压叶型,单轴燃气轮机型式的压气机全尺寸性能试验方法,干式低污染排放燃烧室,透平叶片的蒸汽闭环冷却和高效率的弯扭叶片,刷子气封,MARK V 控制系统,新的热力循环,以及燃气轮机在各应用部门中的新进展等,使读者能了解当今燃气轮机的发展水平。

本书可作为从事燃气轮机设计、试验研究、应用和运行等工程技术人员
的参考用书,亦可作为燃气轮机培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

燃气轮机原理、结构与应用/沈阳黎明航空发动机(集团)

有限责任公司. —北京:科学出版社,2002

ISBN 7-03-010843-4

I. 燃… II. 沈… III. 燃气轮机—基本知识

IV. TK47

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第079527号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2002年10月第一次印刷 印张:61

印数:1-5 100

字数:1 400 000

定价:148.00元(上、下册)

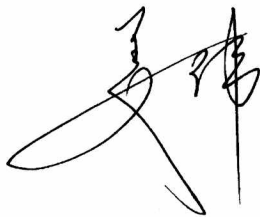
(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

序

燃气轮机是20世纪兴起的一种新型动力机械,从20世纪中叶开始,首先在航空领域得到了迅速的发展,为今天的高速航空及宇航时代奠定了基础。随后,燃气轮机逐步向能源(发电)、海陆交通、石化等诸多领域发展。如今,随着社会发展、对动力需求的快速增长,燃气轮机技术已成为对国民经济持续发展有重大影响的高技术,是一个国家工业和科技水平的重要标志之一,亦是增强综合国力与国际竞争力的重要标志之一。可以说在当今世界中,谁掌握了先进的燃气轮机技术,谁就掌握了21世纪动力的未来。大量的研究表明:燃气轮机作为21世纪的主要动力装置,拥有广阔的发展前景和市场。

我国的燃气轮机工业起步于20世纪50年代末,经过几十年的发展,在科研、设计、生产和成套方面都积累了一定的经验,但同国外的先进水平相比,存在明显的差距。对我国而言,为了可持续发展、保护环境、保证能源安全,当前和今后对燃气轮机的市场需求庞大而迫切。因此,形成具有国际竞争力的国家燃气轮机产业,为我国实施可持续发展战略提供动力支撑已成了当务之急。我们务必要抓紧时机,大力发展燃气轮机技术,自主开发燃气轮机产品,通过有关关键技术的科研与开发,使我国具有先进燃气轮机的设计与制造能力。

本书,正是在这种背景下编写的。本书由在燃气轮机技术领域有多年研究经验的沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司技术中心组织编写,特邀清华大学燃气轮机专业赵士杭等同志与黎明公司总工程师庞为等同志组成编写小组,由中航一集团副总经理、黎明公司董事长林左鸣同志等任顾问,遵循“求实、求是、求新、求精”的原则来编写,并注意跟踪当今燃气轮机的新技术成就。为使缺乏热工知识的同志能顺利地掌握燃气轮机技术,单列了热工基础一章。本书由有多年燃气轮机技术研究经历的专家、学者编写,注重基础理论与工程实用相结合,具有较强的工程实用价值,适用于从事燃气轮机设计、试验、应用和运行研究等工程技术人员用作参考用书,以及用作大专院校燃气轮机相关专业的教材。我们相信:本书的出版,将促进燃气轮机技术的交流,对培养高水平的专业技术人员起到重要作用,并推动我国燃气轮机技术不断向前发展。



2002年7月

目 录

序

(上册)

第1章 总述	1
1.1 燃气轮机的工作原理及早期发展	1
1.2 燃气轮机的类型和优点	3
1.3 燃气轮机的现状及趋势	6
1.4 燃气轮机在我国的应用与发展	10
小结	15
第2章 热工基础知识	16
2.1 工质的状态参数	17
2.2 理想气体的状态方程	20
2.3 热力学第一定律	22
2.4 理想气体的热力过程	37
2.5 热力学第二定律	50
2.6 理想气体混合物	62
2.7 实际气体	64
2.8 水蒸气	67
2.9 热机动力循环	72
2.10 燃气的热力性质	81
2.11 气体一元流动基本方程	84
2.12 声速和马赫数	91
2.13 通过喷管的流量	100
2.14 流体的黏性和雷诺数	103
2.15 流体流动的压力损失	111
2.16 附面层	115
2.17 激波	116
2.18 传热学之稳定导热	124
2.19 对流换热	132
2.20 热辐射	141
2.21 综合传热	148
2.22 相似理论	152
小结	155

第3章 燃气轮机热力循环	157
3.1 理想简单循环	157
3.2 实际简单循环	159
3.3 回热循环	165
3.4 复杂循环	167
3.5 航空燃气轮机循环	172
3.6 闭式循环	177
3.7 燃气轮机热力循环计算方法	178
小结	187
第4章 压气机	189
4.1 概述	189
4.2 压气机级的工作原理	192
4.3 压气机叶栅的几何参数与叶片扭转规律	205
4.4 跨声速压气机级	222
4.5 压气机级中的能量损失	226
4.6 压气机工作过程的特点	231
4.7 多级轴流压气机	238
4.8 压气机变工况及特性曲线	245
4.9 压气机的喘振及防喘措施	254
4.10 轴流压气机通流部分的设计方法	262
4.11 压气机模型级与整机性能试验	264
4.12 离心压气机	271
小结	284
第5章 燃烧室	286
5.1 概述	286
5.2 燃烧室的工作特点、要求和指标	287
5.3 燃烧室的热力过程	295
5.4 燃烧过程的物理化学原理概要	306
5.5 典型燃烧室中燃烧过程的组织	316
5.6 燃烧室部件与结构	322
5.7 液体燃料喷嘴	339
5.8 气体燃料的燃烧	348
5.9 重质燃油的燃烧	353
5.10 低污染排放燃烧室	357
5.11 燃烧室设计与试验概述	362
小结	377
第6章 透平	380
6.1 概述	380

6.2	透平级的工作原理	381
6.3	透平叶片的冷却	388
6.4	透平叶栅的几何参数与叶片扭转规律	396
6.5	透平级中的能量损失和效率	412
6.6	多级透平	424
6.7	透平变工况及性能曲线	433
6.8	透平与压气机的比较	459
6.9	透平的设计与热力试验简介	464
6.10	向心透平	467
	小结	473

(下册)

第7章	燃气轮机变工况	475
7.1	概述	475
7.2	单轴燃气轮机的变工况性能	479
7.3	分轴燃气轮机的变工况性能	484
7.4	双轴燃气轮机的变工况性能	490
7.5	三轴燃气轮机的变工况性能	495
7.6	变几何的影响	498
7.7	部件性能恶化的影响	507
7.8	进排气压力损失变化的影响	509
7.9	大气参数变化的影响	511
7.10	燃气轮机与负载的平衡运行	522
7.11	燃气轮机的加载和减载	540
7.12	燃气轮机的起动	545
	小结	553
第8章	燃气轮机结构	554
8.1	概述	554
8.2	压气机	561
8.3	透平	574
8.4	联轴器与转子的支承	589
8.5	轴承与轴承座	597
8.6	单元体结构	612
8.7	通流部分的方便检查措施	616
8.8	燃气轮机的固定与总体布置	618
8.9	航机改型的燃气轮机	624
8.10	微型燃气轮机	635
	小结	639

第9章 燃气轮机辅机系统	641
9.1 概述	641
9.2 辅机的传动	641
9.3 起动装置	643
9.4 盘车装置	649
9.5 润滑油系统	651
9.6 燃料系统	657
9.7 通流部分的清洗装置	665
9.8 空气滤清设备	669
9.9 消声与隔声	676
9.10 灭火系统	684
9.11 其他系统	686
9.12 QD-128 燃气轮机辅机系统	690
小结	691
第10章 燃气轮机控制系统	693
10.1 概述	693
10.2 转速控制系统	696
10.3 温度控制系统	707
10.4 控制系统的动态特性	711
10.5 保护系统	721
10.6 程序系统	726
10.7 分轴燃气轮机调节的特点	730
10.8 输气管线用燃气轮机压缩机组的控制系统	736
10.9 计算机集散式控制系统	745
10.10 控制系统实例	758
小结	765
第11章 燃气轮机运行与维护	766
11.1 燃气轮机运行	766
11.2 燃气轮机日常检查与维护	770
11.3 燃气轮机检修	781
11.4 燃气轮机典型故障分析与处理	792
小结	798
第12章 燃气轮机性能监测与验收试验	799
12.1 性能参数的测量和运行性能的监测	799
12.2 燃气轮机的性能验收试验	806
小结	828
第13章 联合循环与系统	829
13.1 燃气蒸汽联合循环的基本方案	829

13.2	联合循环的热力性能	831
13.3	提高联合循环效率的措施	836
13.4	余热锅炉与汽轮机	839
13.5	联合循环的变工况性能	845
13.6	单轴与多轴机组	849
13.7	联合循环的控制系统	852
13.8	联合循环的运行	856
13.9	燃煤联合循环	862
13.10	注蒸汽的联合循环	871
13.11	燃气轮机热电联供	875
13.12	新的热力循环	881
	小结	884
第14章	燃气轮机应用	886
14.1	电力工业中的应用	886
14.2	油/气管道输送	891
14.3	石油、石化、冶金等工业中的应用	897
14.4	舰船动力	908
14.5	车辆动力	927
	小结	939
	参考文献	940

从头开始！
必须！

第1章 总 述

1.1 燃气轮机的工作原理及早期发展

1.1.1 燃气轮机的工作原理

燃气轮机是由高速旋转的叶轮构成的，将燃料燃烧产生的热能直接转换成机械功对外输出的回转式动力机械。图1.1所示的走马灯可视为燃气轮机的雏形，它是我国古代发明的，在南宋高宗年间(1131~1162)已有了使用的记载，它靠蜡烛火焰产生上升的热气吹动顶部的叶轮来带动剪纸或者绘画中的人马旋转。

现代燃气轮机由压气机、燃烧室和透平组成，压气机和透平为高速旋转的叶轮机械，是气流能量与机械功之间相互转换的关键部件。图1.2为燃气轮机及其工作过程示意图。靠透平驱动而旋转的压气机连续地从大气中吸入空气并将其压缩升压，压缩后的空气进入燃烧室，与喷入的燃料混合燃烧，成为高温燃气后流入透平中膨胀做功，做功后的燃气压力降至大气压力而排入大气中。燃烧加热升温后形成的高温燃气，就像一块石头从低处被提升至高处后具有的下落能量显著增加一样，其做功能力大大提高，使透平的出功明显大于压气机耗功，有较多富裕的功对外输出

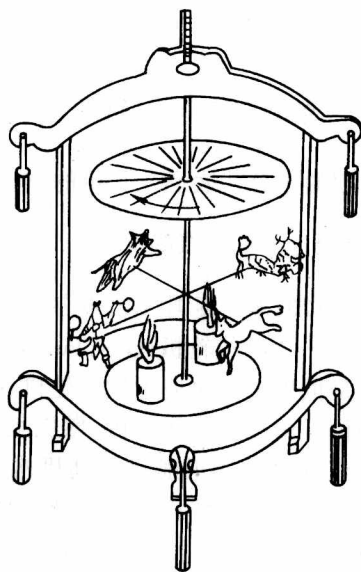


图1.1 走马灯

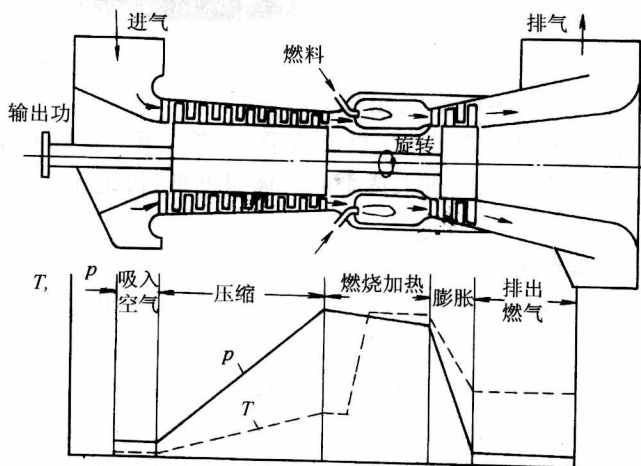


图1.2 燃气轮机的工作过程

以驱动负载。

在上述的工作过程中,燃烧室燃烧加热过程的压力近似不变,称为等压燃烧加热循环。而工作过程中做功的气体即工质来自大气,最后又排入大气,称为开式循环。由此构成了现代燃气轮机工作循环的两个基本特征。

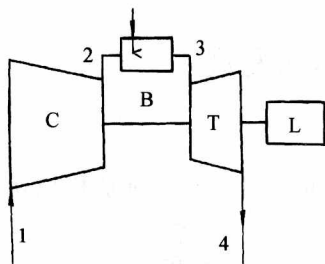


图 1.3 燃气轮机示意简图

可用图 1.3 所示简图来代表图 1.2 所示的燃气轮机,其中顺着气流方向不断缩小(相当于压缩空气)的代表压气机C,顺着气流方向不断扩张(相当于燃气膨胀)的代表透平T。图中B为燃烧室,L为负载。1为压气机进口,2为压气机出口和燃烧室进口,3为燃烧室出口和透平进口,4为透平出口。其中3处温度 t_3^* 称为燃气初温,它对燃气轮机的效率有很大影响,且效率随着 t_3^* 的提高而提高,详见3.2节。

图 1.3 所示为单轴燃气轮机,它有一个旋转轴。该图所用的示意代表燃气轮机的方法,同样用来示意其他轴系方案的燃气轮机,见图 1.5。

1.1.2 早期发展简况

1791年,英国人巴贝尔(J. Barber)登记了第一个燃气轮机(Gas Turbine)设计专利,这是世界上首次使用燃气轮机这个名称。他的设计由往复式压气机、燃烧室和透平组成,其压气机由透平通过传动机构带动,具有现代燃气轮机的特征。该设计在当时未被人们所重视,未进行制造和试验。但是,巴贝尔的设计是一个标志,说明燃气轮机进入了具体的创建和研制时期。

在19世纪,曾有许多人提出多种燃气轮机设计方案,其中最著名的是德国人斯托尔兹(F. Stolze)于1872年提出的热空气轮机

(hot air turbine)设计,它采用轴流式压气机与透平,与现代燃气轮机十分相似,后制成并进行了试验。但由于部件效率低和进入透平的气体温度低,机组无法独立工作对外输出功,结果失败了。

进入20世纪,人们继续努力发展燃气轮机。1905年,法国人拉马尔(C. Lemale)和阿尔芒哥(R. Armengard)制成了一台与现代型式相同的燃气轮机,但机组的实测效率很低,仅3%~4%。后来该机组又试验了数年,由于未能提高效率而中止工作。该机组发展失败的原因仍然是部件效率低和进入透平的气体温度不高所致。

上述机组部件效率低,主要是压气机效率低,当时仅60%左右或更低,压气机耗功大而使机组无法输出功率或仅有少量功率输出。后经大量的试验研究,到20世纪30年代中期,出现了效率为85%的轴流式压气机。与此同时,人们研制成了能承受600℃以上温度的镍铬耐热钢,于是制成能实用的燃气轮机的条件成熟了。

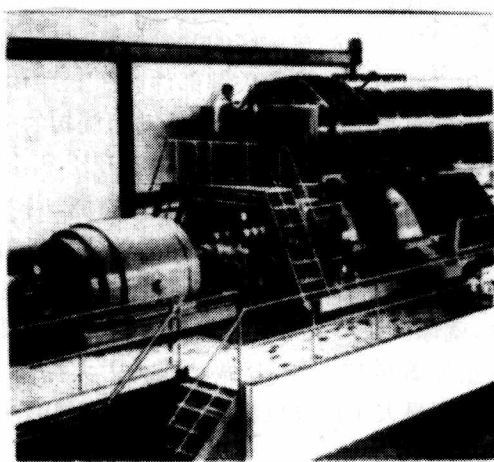


图 1.4 4000kW 燃气轮机发电机组

1939年,瑞士布朗·波维利公司(BBC)制成了一台4000kW发电用燃气轮机。它是与图1.2所示工作过程相同的燃气轮机,经试验得到机组的效率为18%,这在当时是一个很大的成就。该燃气轮机发电机组装在一地下电站中,作为备用发电机组使用,见图1.4。

同一年,由德国人奥海因(V. Ohain)设计的、推力为4900N的He-S3B涡轮喷气发动机通过了地面试车,并装在飞机上试飞成功。

鉴于1939年有上述两种不同用途的燃气轮机被成功地应用,人们就把1939年视为燃气轮机发展获得成功的年份。在这之后,燃气轮机获得了迅速的发展,其应用很快遍及多种应用部门。

1.2 燃气轮机的类型和优点

1.2.1 类型

1.2.1.1 热力循环类型

1. 等压加热循环与等容加热循环

在燃气轮机早期发展过程中,曾发展过等容加热循环,特点为加热过程是断续的爆燃,其燃烧室需进气阀和排气阀。与图1.2所示等压加热循环相比较,燃烧室结构复杂,透平进气压力脉动严重,透平工作效率低而影响机组效率的提高,缺点显著。因此,等容加热循环燃气轮机的发展工作后来被人们放弃,使得现用的燃气轮机均按等压加热循环来工作。

2. 开式循环与闭式循环

图1.2所示燃气轮机按开式循环工作,工质来自大气又排入大气。而闭式循环的特点是工质与外界隔绝而被封闭地循环使用,第一台闭式循环燃气轮机1940年就投入运行。经多年发展,由于效率提高受到很大限制,且设备笨重,造价高,至今未被推广应用。因此,现用的燃气轮机均为开式循环机组。

3. 现用的热力循环

图1.2所示燃气轮机工质工作过程为一次压缩、一次燃烧加热、一次膨胀做功,是构成燃气轮机必不可少的过程,是最简单的循环,称为简单循环。此外,尚有为改善循环性能的其他热力循环。

将透平高温排气用来加热压气机压缩后的空气,提高进入燃烧室的空气温度,减少燃烧室中的燃料加入量来提高机组效率,此称回热循环。另外还有在压缩过程中间对工质进行冷却的间冷循环,以减少压缩耗功,以及在膨胀过程中间对工质进行再燃烧加热的再热循环,以增加工质的膨胀功。实用中,还有将该三种循环中任意两种联用或者三种联用而组成的热力循环,详见第3章。

4. 复合循环

由燃气轮机循环和其他动力装置循环相联合而组成的热力循环称复合循环,目的是相互取长补短,以充分利用能源,提高能源利用率。现广泛应用的燃气-蒸汽联合循环(简称联合循环)就是这种循环。

1.2.1.2 轴系布置类型

图1.3所示为单轴燃气轮机,是最简单的轴系方案。此外,还有压气机分为2~3个串

联的机体,透平分为2~4个串联的机体,组成分轴、双轴、三轴和四轴等不同轴系方案的燃气轮机,以获得不同的变工况性能。图1.5为现用的七种轴系方案的燃气轮机,其中压气机和透平代号中H为高压、I为中压、L为低压、P为动力。而各个方案代号的含义为:左侧数字为燃气轮机的独立转轴数目,右侧英文符号为输出功率轴的压气机和透平。例如2/LL为两个转轴,由低压压气机与低压透平轴输出功率。3/L为3个转轴,由独立的动力透平(实质为低压透平,故以3/L表示)PT输出功率。

如果纯粹按数学的排列组合来做,形成的燃气轮机轴系方案远不止图1.5所示的七种。但目前使用的仅该图示的七种,故再列出其他的方案无现实意义,不必讨论。在实用的七种方案中,现应用最多的是单轴机组,其次是分轴,再次是3/L与两种双轴机组,而3/LL与4/L现仅各有一种型号。

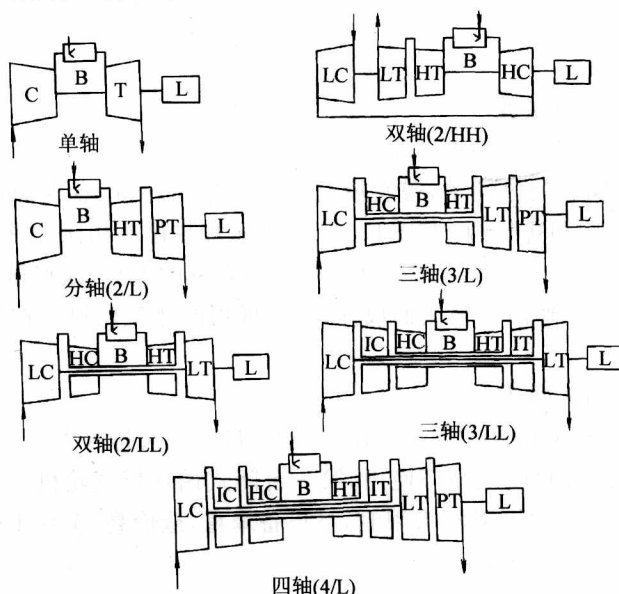


图1.5 不同轴系方案的燃气轮机

1.2.1.3 结构类型

1. 重型结构

工业型燃气轮机广泛采用重型结构,特点是零部件较为厚重,设计时不以减轻质量为主要目标,而是在应用不太好材料的情况下机组能达到长期安全工作的目的。其结构的两个特点是:机组的静子水平剖分为上下两半,称水平中分结构,可在现场装拆分解和大修,其次是转子用滑动轴承支承,以达到很长的工作寿命。图1.6为重型燃气轮机示例,它是一台单轴燃气轮机,压气机与透平静子(气缸)连接为一整体,它们的转子亦连接为一体,在压气机进气端和透平排气端各用一滑动轴承支承转子,功率从压气机进气端输出。空气经压气机进气蜗壳流入,排气从透平排气蜗壳排出。

2. 轻型结构

航空燃气轮机是最轻的轻型结构机组,用较好的材料制造,结构紧凑,质量很轻。结构的一个特点是采用轴向装配方式,即整个静子不是水平中分的,仅局部静子例如压气机气

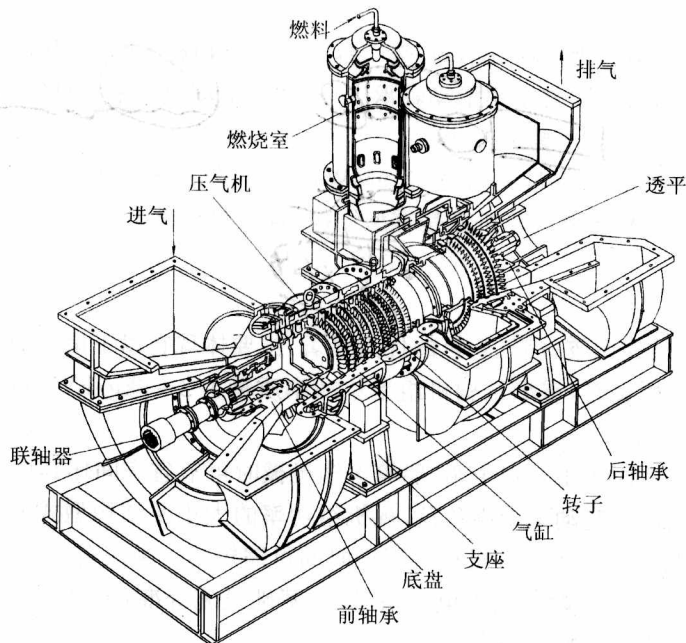


图 1.6 重型结构燃气轮机

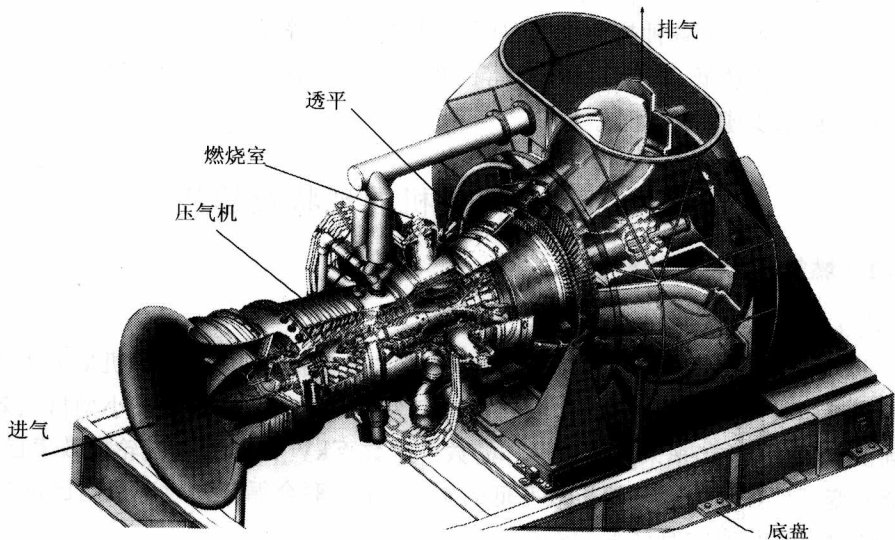


图 1.7 航机改型的燃气轮机

缸分为两半以便拆装。另一特点是转子一律用滚动轴承支承。显然,将航空燃气轮机改型为地面用机组后,原航机结构的特点保留了下来。当改型需加装动力透平时,一是按轻型结构设计,用滚动轴承支承动力透平转子,另一是按重型结构设计,用滑动轴承支承动力透平转子,使机组成为轻重结构混合型。另有按地面工作要求设计的、功率为1~2万kW左右及其以下的机组大多亦为轻型结构,采用轴向装配,但用滑动轴承支承转子以期达到长寿命,显然其质量比航机重。轻型机组的大修一般是将其拆下返回制造厂或者维修中心

去做。

图 1.7 为航机改型的燃气轮机示例,是一台 3/L 型三轴燃气轮机,其动力透平为改型时加装的,按重型结构设计,转子用滑动轴承支承,功率由动力透平自排气端输出。空气从轴向流入压气机,排气经排气蜗壳排出。

目前,轻型结构机组功率最大的是 52.9MW,是一台航机改型的 3/LL 型三轴燃气轮机。功率大于 52.9MW 的燃气轮机都是重型结构,且为单轴机组。

1.2.2 优点

与其他热力机械相比较,燃气轮机的优点显著,主要体现在以下诸方面:

(1) 结构紧凑,质量轻,重型结构机组单位功率质量为 $2 \sim 5 \text{ kg/kW}$,轻型结构机组则低于 1 kg/kW 。

(2) 体积小,占地面积小。用于车、船等运输机械时可节省空间作其他用途用。

(3) 起动快,从冷态起动至带满负荷,视机组功率的大小及结构型式不同在数分钟至半小时之间,在紧急情况下很多机组的起动时间可缩短约一半左右。

(4) 安装周期短,对于燃气轮机电站,在做好基础设施等准备工作后,燃气轮机发电机组可在 $1 \sim 2$ 个月内安装好并投入运行发电。

(5) 运行平稳,可靠性高,大量机组可靠性达 99% ,即机组的事故停机率仅为 1% 。

(6) 效率高,现简单循环燃气轮机效率最高已达 42.9% ,而联合循环机组效率最高已达 58% ,后者是目前各种热力机械中所达到的最高效率值。

(7) 污染排放低,其 NO_x 和 CO 等的排放能低于最新规定的严格标准。

(8) 耗水少或者不用水。

1.3 燃气轮机的现状及趋势

1.3.1 燃气轮机的现状和水平

1.3.1.1 机组的功率和效率

燃气轮机自 1939 年实用以来,机组功率与效率提高很快,现单机最大为 334 MW ,简单循环机组效率最高的则达 42.9% ,且功率为数千 kW 的简单循环小型机组效率已普遍达到 30% 以上,近年来采用回热循环的数十至数百 kW 的微型燃气轮机效率已达到 30% ,完全改变了以往认为燃气轮机效率低看法。至于联合循环的效率最高已达 58% 。因此,当今的燃气轮机堪称高效率的热机。

1.3.1.2 环保性能

如何保护清洁的环境是当今社会发展中的一个重大课题,必须在发展中高度重视这一问题,应尽可能减小有害人类健康的污染物的排放。对于热机来说,主要是 NO_x 、 CO 和 SO_x 等的排放。燃气轮机大多燃用天然气, SO_x 排放趋于零,主要是 NO_x 和 CO 。当对燃料在燃烧室中燃烧过程采取措施后, NO_x 和 CO 排放可降至很低的水平,例如采用催化燃烧, NO_x 排放的浓度低于 20 mg/m^3 ,故燃气轮机是污染排放很低的热机,能很好地满足环保的要求。

1.3.1.3 可靠性

燃气轮机结构紧凑,为高速回转机械而无往复运动部件,运行平稳,且设备较少,系统较简单而使运行达到了很高的可靠性。燃用天然气和带基本负荷的燃气轮机,可靠性可达99%,相应地联合循环的可靠性可达96%,远高于蒸汽动力装置。

1.3.1.4 应用现状

首先在航空领域中的应用占绝对优势,早在20世纪50年代就基本取代了活塞式发动机作为飞机推进动力,使飞机的性能得到了很大的提高,出现了超声速飞机、洲际航行飞机和载重达数百吨的巨型飞机。实用的航空发动机有涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机、涡轮螺旋桨发动机和涡轮轴发动机等四种,前两种为喷气推进,后两种输出轴功率。除涡轮轴发动机用于直升飞机外,其余三种用于一般飞机,其中涡轮风扇发动机由于推进效率高、油耗率低,应用最广泛。为使航机达到很高的性能来提高飞机性能,在研制时尽可能地发展和应用先进技术,故航机效率高,当改型为地面用燃气轮机时,虽为了提高寿命要降低燃气初温和转速,仍然保持了效率高的特点。可以这样说,航机的发展领先于地面燃气轮机,它的先进技术常被移植到地面的燃气轮机设计中,有力地促进了燃气轮机性能的不断提高。

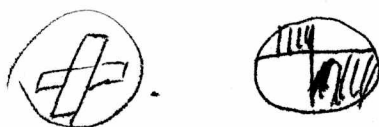
鉴于燃气轮机不仅效率高,且起动快和能快速适应负荷需求的变化,用于电站发电时带基本负荷、调峰运行和作备用机组均适用。燃气轮机还能方便地实现不需外界电源的黑箱起动,使在电网出现故障供电中断时,备用的燃气轮机发电机组即可独立地紧急起动投运,向需保证供电部门供电。燃气轮机不仅适用于大型中心电站发电向电网供电,且适用于无电网的地区孤立运行发电。例如我国某偏远地区的石化基地远离电网,建立了由三台11MW燃气轮机组成的热电站,供给整个基地的生产、生活用电和所需的蒸汽,确保了该基地的正常生产和生活。由于燃气轮机和联合循环电站发电效率高、污染排放低、可靠性高、建设周期短,在国外其造价还远低于燃煤的蒸汽电站,因而使其在各类电站中所占的比重不断加大。美国在20世纪80年代后期,燃气轮机年生产容量就超过了汽轮机。目前,全世界发电设备年订购容量,燃气轮机与联合循环之和大体与汽轮机相当。而在一些工业发达的国家中,如美国和德国等,则是燃气轮机和联合循环之和超过了汽轮机。因此,燃气轮机和联合循环发电,在世界范围内已成为电力工业中的主要方面军。

天然气管道输送的增压站中,用燃气轮机驱动天然气压缩机的增压机组,在20世纪60年代被确认为最佳的动力,如今的应用已占绝对优势。在大容量的原油管道输送中,用燃气轮机驱动增压原油的离心泵机组,也获得了大量应用。

在石油和化工等工业部门,大量应用燃气轮机来驱动泵、压缩机和发电机等。为提高能源利用率,实现节能,还利用燃气轮机的高温排气热量在余热锅炉中产生蒸汽来供热,实现热电联供来满足生产的需要。进而还可以实现热电冷三联供以更有效地利用能源。

20世纪60年代,轻型燃气轮机被确认为军舰用的最佳动力,此后在排水量为数千吨的驱逐舰、护卫舰等大型军舰中被广泛应用,同时气垫船等亦大量应用燃气轮机。近年来,以轻型燃气轮机驱动喷射水泵喷水推进,航速达到40~60节(1节=1.85km/h)的高速渡船,因营运效益好而应用发展很快,在我国香港就有多艘这种渡船在营运中。

在车辆中燃气轮机的应用也有了较大的发展前途,已用于某些主战坦克中,如M1和T-80坦克。民用车辆更着重经济性,要求有低的平均油耗率,故燃气轮机的应用尚处于试验阶段。



综上所述,可看出燃气轮机是功率覆盖面广的高效率、低污染、可靠性很高和应用面很广的热力机械,已成为热机中的一支劲旅。

1.3.1.5 部分燃气轮机的性能

世界上主要的大功率发电燃气轮机和航机改型燃气轮机的性能和规格依次见表1.1和表1.2。

表1.1 世界上主要大功率燃气轮机发电机组性能规格(ISO 条件,燃用天然气)

公司	型号	功率 ^① /MW	效率 ^① /%	转速 /(r/min)	空气流量 /(kg/s)	压比	排气温度 /℃	备注
Alstom Power	GT11N2	113.7	34.4	3600	382	15.1	524	
	GT13E2	165.1	35.7	3000	532	14.6	524	
	GT24	179	37.5	3600	390	30	640	再热循环
	GT26	262	38.2	3000	562	30	640	再热循环
GE	PG9171(E)	123.4	33.8	3000	404	12.3	538	
	PG9231(EC)	169.2	34.9	3000	507	14.2	558	
	PG7241(FA)	171.7	36.2	3600	432	15.5	602	
	PG9351(FA)	255.6	36.9	3000	624	15.4	609	
Siemens Westinghouse	W501D5A	120.5	34.7	3600	386	14.2	525	
	W501F	186.5	37.4	3600	460	15	590	
	V94.2A	190	35.2	3000	520	13.9	585	
	W501G	253	39.0	3600	563	19.2	594	
	V94.3A	265	38.5	3000	656	17	584	
三菱重工	M701	144.1	34.8	3000	441	14	542	
	M701F	270.3	38.2	3000	651	17	586	
	M701G	334	39.5	3000	737	21	587	

① 发电机接线端输出的功率和效率。

表1.2 世界上主要航机改型燃气轮机性能规格(ISO 条件,燃用天然气)

公司	型号	轴系	功率 /kW	效率 /%	输出轴转速 /(r/min)	空气流量 /(kg/s)	压比	排气温度 /℃	备注
GE	LM1600-PA	3/L	14320	36.9	7000	46.7	21.5	488	
	LM2500-PE	2/L	23270	37.6	3600	69	18.8	523	
	LM2500+(PV)	2/L	31320	41.1	6100	84.4	22.1	499	
	LM6000-PC	2/LL	44620	42.6	3600	127	29.4	450	
Rolls Royce	Spey ^①	3/L	19500	37.3	5500	66.7	21.9	458	间冷回热 循环
	WR-21 ^①	3/L	25240	43.0	3600	73	16.2	356	
	Cobberro 6761	3/L	33480	40.0	4850	151.4	21.1	510	
	Trent	3/LL	52891	42.9	3000/3600	261	35	428	
NK- Eng- ines	HK-40CT	3/L	10000	34.0	5300	44.5	20.2	399	
	HK-38CT	3/L	16000	38.0	5500	54.4	25.9	443	
	HK-36CT	4/L	25000	36.4	5000	101.2	23.1	425	
TPM	FT8	3/L	25980	38.9	3000	85.3	20.2	457	

① 舰船用,燃用轻柴油。