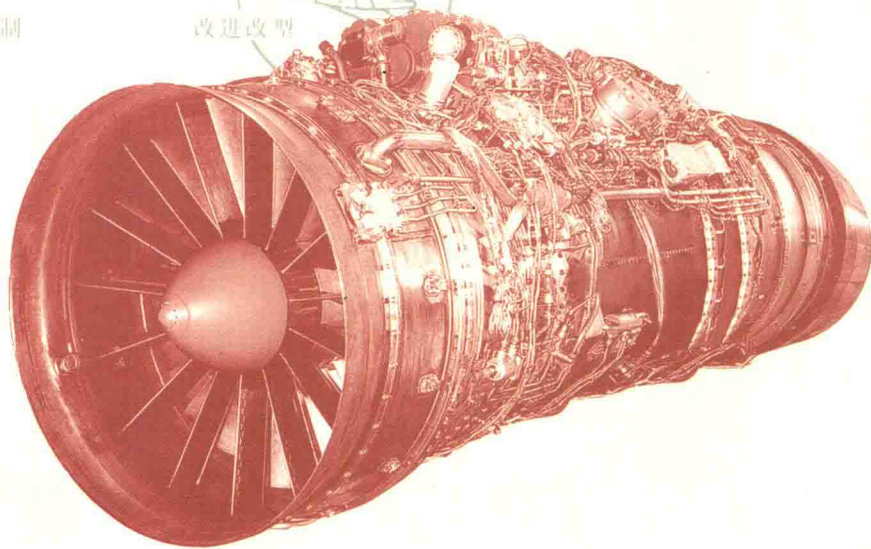
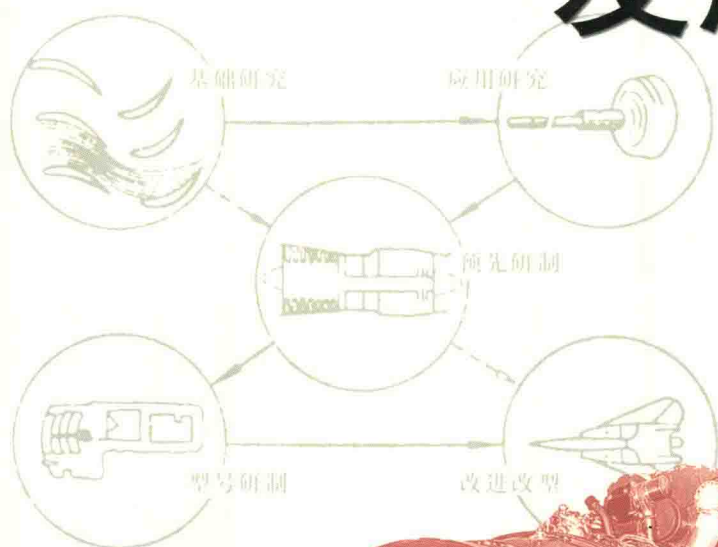


HANGKONG FADONGJI DE FAZHAN YANJIU

航空发动机的 发展研究

方昌德 编著



航空工业出版社

航空发动机的发展研究

方昌德 编著

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书是关于国外航空发动机研究和发展工作的研究报告文集。第一篇涵盖航空发动机基本知识、作用和特点、发展历史、发展前景和技术体系；第二篇涉及航空发动机发展道路、政策途径、组织管理、研制理念、研制程序和国际合作；第三篇介绍有代表性的航空发动机技术基础计划，包括计划的目标、途径、管理、技术、进展和经费等；第四篇包括一些新型军用发动机、新概念和新技术的发展。

本书可供航空发动机及相关专业的教学、科研、设计、生产、使用和管理人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

航空发动机的发展研究/方昌德编著. —北京: 航空工业出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 80243 - 355 - 7

I. 航… II. 方… III. 航空发动机—研究 IV. V23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 117003 号



航空发动机的发展研究

Hangkong Fadongji de Fazhan Yanjiu

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010 - 64815615 010 - 64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2009 年 7 月第 1 版

2009 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 34.5

字数: 861 千字

印数: 1—2500

定价: 120.00 元

序

1903年12月17日，美国人莱特兄弟制作的世界上第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器的试飞成功，开创了人类飞行的新纪元，使得在以往几百年以至更长历史时期由少数人从事的飞行探索事业，在后来的100多年中发展成为对世界政治、军事、经济和技术以至人们的生活方式都有重要影响的航空业。在世界航空史上，飞机能力的每一次突破几乎都离不开发动机技术的进步。因此，航空发动机不仅在狭义上为航空器提供飞行的动力，而且在广义上也是整个航空事业发展的推动力。

航空发动机技术复杂，研究和发展工作技术难度大、研发周期长、经费投入多、经营风险高，这已是航空界甚至更大范围内的广泛共识。航空发动机被誉为“皇冠上的珠宝”，是当代尖端技术的标志，也是一个国家科技和工业水平、军事实力和综合国力的集中体现。因而，当今世界上只有极少数几个国家能够独立研发先进的航空发动机。

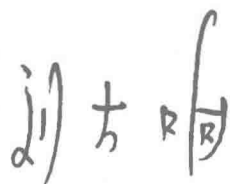
新中国的航空发动机工业已经有了50多年的历史，研制和改进了几十个型号，共计生产6万多台航空发动机，近年来还研制成功了较先进的大、中、小型航空发动机，为国防建设和国民经济发展做出了重大贡献。但是，应该看到，中国的航空发动机与世界先进水平还有相当大的差距，还不能满足国家对它日益提高的要求。我国真正有计划的研发工作从20世纪80年代才开始，至今还没有走完一个研究、发展和使用的全过程。要进入这个极其排他的“俱乐部”，还有漫长的路要走。在这漫漫的征途上，需要有国家坚持不懈的意志力和相应的政策、科学的研发管理体系和程序、长期的

经验和数据积累以及大量的资源投入和各个方面的共同努力。

他山之石，可以攻玉。科技情报是科技工作的重要组成部分，特别是对于航空发动机后起国家来说，通过科技情报工作，可以借鉴先行者的经验教训、探索科研工作的客观规律和跟踪先进技术概念，以利于发挥后发优势，提高起点，少走弯路，减少风险，加快发展。

方昌德同志是我国知名的航空发动机科技情报研究专家，他长期以来一直从事航空发动机科技情报工作，并参与多项航空发动机发展战略研究和航空发动机研究与发展管理规定的编制。他对国外航空发动机发展的历史经验教训、研究与发展工作的客观规律和组织管理以及各种新概念和新技术均有深入的研究，并结合我国的实际情况，提出了许多颇有见地的观点和建议，如航空发动机的作用与特点、研究与发展经费及其比例关系、研究与发展分类管理与系统寿命期分阶段管理、核心机和验证机途径、发展策略与研制程序的演变、使用发展（改进改型）的作用与建议、军民用航空燃机与地面燃机协调发展的产业体系等。本文集所包含的大量信息、数据、结论和建议就充分说明了这一点。

本文集汇集了方昌德同志多年潜心研究的成果。希望本文集的出版能帮助业内和相关人士借鉴国外经验，开拓思路，从而促进我国航空发动机又好又快的发展，使我国能早日跻身于世界航空发动机先进国家之林！



2009年7月于北京

编者的话

1903年12月17日，美国人莱特兄弟试飞成功历史上第一架有动力、可载人、可操纵的飞机，从而实现了人类几千年来的飞天梦，开创了现代航空新纪元。

这架飞机的动力是由莱特兄弟的自行车公司技师泰勒帮助改装的一台4缸水冷直列式汽油活塞式发动机，功率近9kW、重81kg。它通过两根链条带动两台直径为2.6m的双叶木质螺旋桨。航空发动机，或航空动力装置，或航空推进系统也随之诞生了。

航空发动机的发展大致经历两个时期。第一个时期从首次动力飞行开始到第二次世界大战结束，活塞式发动机流行了40多年，特别是在两次世界大战的推动下，发动机的性能有了很大的提高，功率从不到10kW增加到2500kW左右，功重比从0.11kW/daN提高到1.5kW/daN左右，耗油率从约0.50kg/(kW·h)降低到0.23kg/(kW·h)。以活塞式发动机为动力的螺旋桨飞机的飞行速度从16km/h提高到近800km/h，飞行高度达到15000m。第二次世界大战后，活塞式发动机逐步退出主要航空领域，但功率小于370kW的发动机仍广泛应用在轻型低速飞机和直升机上，如行政机、农林机、勘探机、体育运动机、私人飞机和各种无人机。

第二个时期从1939年8月27日装备德国人冯·奥海因研制的HeS3涡轮喷气发动机（推力490daN，推重比略大于1）的He-178试验机成功飞行开始。近70年来，涡喷、涡扇、涡桨和涡轴等各种航空燃气涡轮发动机逐步取代活塞式发动机，成为当前航空动力的主力，推力/功率成百倍地增大，推重比提高近10倍，耗油率下降50%，军民和民用的机上寿命分别延长百倍和千倍，空中停车率有百倍的降低，航班正点率几乎达到100%。喷气飞行，突破1倍、2倍和3倍声速，垂直/短距起降，超声速巡航，超机动性，超声速客机、远程宽体巨型客机，可以说，在飞机飞行能力方面的每一次飞跃无不与发动机的技术进步密切相关。

目前，航空涡轮发动机已经相当成熟，为各种航空器的发展做出了重要贡献，而且在可以预见的未来，仍没有其他动力形式可以取代它。

在气动热力、结构强度、控制和诊断、材料、工艺方面的技术进步推动下，航空涡轮发动机的技术呈现加速发展的态势，工作的重点从主要改善性

能转向提高经济可承受性，并为不久将出现的各种无人机，全球到达超声速攻击机和运输机，更经济和更环保的下一代亚声速和超声速旅客机，以及包括巡航导弹、有人驾驶飞机、跨大气层飞行器和低成本可重复使用天地间往返运输系统在内的高超声速飞行器提供动力。对于后者，还正在发展超燃冲压发动机和脉冲爆震发动机。为了解决石油资源枯竭问题和满足一些特殊用途飞行器的需要，包括液氢、液态天然气、太阳能、燃料电池、微波能和核能等的新能源发动机正在研究和试验之中。

航空发动机的发展有其自身特点和规律。目前，世界上只有美、英、法、俄四国有能力独立研发先进的航空发动机，它们都是航空历史悠久、技术和工业基础雄厚、综合国力强大的国家。由于准入门槛更高，在世界大型民用航空发动机市场上，美国的通用电气公司和普·惠公司以及英国的罗·罗公司三家独立承包商组成了一个极其排他的“俱乐部”。在军用发动机方面有相当基础的斯奈克玛公司，通过在 CFM56 发动机项目上与通用电气公司合作，开始挤入这个“俱乐部”。俄罗斯（含前苏联）虽然能研发与整个西方世界等量的航空发动机，能为世界一流的战斗机以及最大的运输机和直升机提供动力，但始终未能进入这个民用市场。在航空史上曾经辉煌的德国和日本，在第二次世界大战后的一段时间，恢复技术、工业和经济实力以后，曾试图建立独立研发航空发动机的能力，但迄今未能如愿。新兴大国中国和印度也已经花了相当长的时间来发展本国的航空发动机，至今还未走完第三代战斗机发动机的全过程。因此，美国人在总结其航空推进技术仍处于世界领先地位的原因时说：“航空发动机是一个技术精深得使新手难以进入的领域，它需要国家充分保护并稳定利用该领域的成果，长期的专门技能和数据的积累，以及国家大量的投资。”法国人对航空发动机工业的描绘是：“航空发动机工业是一个与众不同的工业，航空发动机是当代尖端技术的标志。进入这个竞技场的顶级玩家数量非常有限，其门槛设置得比其他航空专业更高，这意味着竞争者进入的难度更大。”

航空发动机虽然是飞机的一个分系统，但它几乎涉及飞机的所有学科和技术，而且工作条件比飞机机体更加苛刻。因此，航空发动机的研究和发展周期比飞机机体的长，当研制飞机时才着手研制发动机那肯定是来不及的。动力必须先行。航空先进国家总结的经验是，在技术基础（预研）阶段就将研究成果放在核心机和技术验证机上验证，在原型机工程研制前进行型号验证机试验。只有这样，才能把研制风险降到最低，确保发动机与飞机机体协调发展。

不断的技术进步是航空发动机发展的基础。航空先进国家都把实施持续的航空发动机技术研究计划看做保持空中优势和商业竞争力的重要手段，并

严禁航空发动机核心技术出口。其实，真正的核心技术也是买不到的，要靠自己的经验和数据积累。

随着技术的发展，发动机研制策略发生变化，研制理念、规范、程序和方法也不断演变和改进，使得投产时的发动机更加成熟。研制是一个不断暴露问题和修正缺陷直到符合规范要求的过程，推进界都视它为一个小孩“长牙齿”的过程，要容许它发生。即使是定型投产之后，仍会在使用中遇到新的环境，出现新的要求，发生新的问题，要有常规的计划和经费渠道来解决。

新概念和新技术是航空发动机跨越式发展的希望，除了跟踪先进外，还应鼓励自主创新，才能有所超越。

本文集研究航空发动机的发展道路、规律、政策、途径、组织、计划、现状和前景，分为四篇：

一、基础综合篇 关于航空发动机基本知识、作用和特点、发展历史、发展前景和技术体系；

二、道路管理篇 关于航空发动机发展道路、政策途径、组织管理、研制策略和程序、国际合作和两用技术；

三、研究计划篇 关于航空发动机的技术基础计划，包括计划的目标、途径、管理、技术、进展和经费等；

四、专题技术篇 关于近期一些热点发动机、新概念和新技术的详细研发情况。

本文集是作者自 20 世纪 70 年代以来不同时期针对不同需求的研究成果汇编，时间跨度超过 35 年，虽然这次整理时适当加以更新或剪裁，但肯定还会有一些过时的表述或重复，请读者留意。希望本文集的出版能为航空发动机行业和相关管理部门、科研、设计生产和使用人员提供一本随手可用的参考书，对制定方针政策、规划计划、研制途径和研究方向有一定的借鉴作用，从而使我国航空发动机发展的道路走得更顺畅。

作者要特别感谢刘大响院士，他在百忙中欣然为本文集作序，画龙点睛，使本文集大为增色。还要感谢作者在那里工作一生的现中国航空工业发展研究中心和中国航空工业集团公司发动机公司，他们的全力支持促成了本文集的出版。

方昌德
2009 年 1 月

目 录

基础综合篇

航空动力装置概论	(3)
航空发动机的作用、特点和数据统计	(23)
航空动力百年回顾	(42)
2030 年航空发动机发展预测	(57)
中小型航空发动机的发展研究	(82)
航空发动机技术体系	(101)

道路管理篇

国外航空发动机发展道路及启示	(124)
航空发动机研究和发展的组织管理	(150)
军用发动机的发展策略、研制程序、设计权衡和研制方法	(165)
国外航空涡轮发动机核心机和验证机途径和实践	(190)
航空发动机使用发展的作用、现状和建议	(201)
民用航空发动机国际风险合作模式研究	(209)
CFM 国际公司案例分析	(226)

研究计划篇

美国综合高性能涡轮发动机技术计划和我国的对策	(245)
美国多用途经济可承受先进涡轮发动机计划	(267)
2000 年美国航空推进系统关键技术计划	(272)
NASA 节能发动机计划	(279)
NASA 热端部件技术计划	(286)
NASA 90 年代推进系统通用学科研究计划	(290)
NASA 90 年代推进系统技术发展计划	(295)
NASA 极高效发动机技术计划	(303)
飞机燃气涡轮发动机高周疲劳研究计划	(309)

专题技术篇

F-22 的动力——F119/YF120 加力式涡扇发动机的研制程序和关键技术	(321)
---	---------

联合攻击战斗机 F-35 的动力装置——F135 和 F136 发动机	(348)
EJ200 加力式涡扇发动机的研制和改进	(357)
M88 加力式涡扇发动机的研制和改进	(364)
F414 加力式涡扇发动机的研制和发展	(373)
从 F110-GE-100 到 F110-GE-132	(378)
推重比 15 加力式涡扇发动机的循环参数、构型和关键技术	(382)
多(全)电发动机	(388)
大涵道比涡扇发动机特有技术研究	(396)
流动控制技术在航空推进系统上的应用	(415)
航空涡轮发动机的外骨架结构和外骨架发动机	(435)
航空发动机试验技术和试验设备的发展	(439)
数值仿真在航空推进系统上的应用	(458)
变循环发动机	(473)
飞机推力矢量技术发展综述	(502)
超声速燃烧冲压发动机概念、研究领域和发展计划	(515)
微型燃气涡轮发动机	(531)
参考文献	(536)

基础综合篇

发动机对飞机的性能、可靠性、环境特性和成本以至飞机的研制进度和成败有决定性的影响,对国防建设、航空运输和国民经济有重要的贡献。历史上,飞机能力的每一次飞跃几乎都离不开发动机技术进步的贡献。发动机工业的总体规模、销售额和研究发展总费用都占整个航空的 1/4 左右。

航空发动机的技术复杂,研究和发展工作技术难度大、周期长、经费投入多、经营风险高,这已是航空界甚至更大范围内的共识。因而,它是一个技术精深得使新手很难进入的领域,需要国家充分保护并稳定利用该领域的成果,长期的专门技能和数据的积累,以及国家大量的投资。

作为当前航空动力的主要形式,燃气涡轮发动机经过近 70 年的发展已经相当成熟,而且,在可预见的未来还没有其他形式的动力能够取代它。

在气动热力、结构强度、控制和诊断、新材料和新工艺等方面的技术进步将把航空涡轮发动机的能力推向一个新的高度,而且研究工作的努力方向已经从重点提高能力转向提高经济可承受性。超高涵道比发动机、变循环发动机、多(全)电发动机、智能发动机和间冷回热发动机将在 2030 年前问世。

中小型发动机的品种繁多、功率/推力档次差异很大、应用广泛,它们除作为航空动力用于教练机、攻击机、轻型运输机、预警机、无人机、支线客机、公务机、通用飞机和轻型直升机外,在辅助动力装置、舰船、战车、电力和机车方面也有广泛的用途,而且其规模相对较小,因而研究和发展费用较少,周期较短。中小型发动机的产量和产值分别占整个航空燃气涡轮发动机市场的近 90% 和 60%。因此,中小型发动机是一个值得投资的领域,使其更好地为国民经济和国防建设服务。

以超燃冲压发动机和脉冲爆震发动机为代表的高速动力装置,将使航空器进入一个新的速度和高度领域,使用氢燃料、天然气燃料、太阳能、燃料电池、微波能和核能的发动机将为解决石油资源枯竭问题和满足一些特殊用途飞行器的需要做出贡献。

要成功地研制出高性能的航空涡轮发动机,需要有一个完整的技术体系支撑,体系内的任何技术单元不可或缺。航空发动机专业的技术体系可以为有关管理部门提供一个通用管理平台,也可供航空动力行业内技术专业设置和科技队伍建设参考。

航空动力装置概论

人类探索飞行经历了几百年以至更长的历史过程，但长期处于探索研究和有限的应用状态。1903年12月17日，美国人莱特兄弟实现了人类历史上首次有动力、载人、持续、稳定和可操作的重于空气飞行器的飞行。这使得几千年来由少数人从事的飞行探索事业在后来的100多年中发展成为对世界政治、经济、军事和技术以至人们的生活方式都有重要影响的航空业。因此，航空发动机从狭义上讲是航空器飞行的动力，从广义上讲它也是航空事业发展的推动力。

1 概述

1.1 定义和基本概念

为航空器提供动力，推动航空器前进的装置称为航空动力装置，也称为航空推进系统。它包括发动机以及为保证其正常工作所必需的系统和附件，如燃油系统、滑油系统、点火系统、起动系统和防火系统等。有时为方便起见，就简称为航空发动机。

航空推进系统是利用反作用原理为航空器提供推力的。根据牛顿提出的作用力等于反作用力的原理，航空推进系统驱使一种工质（工作介质）沿与飞行方向相反的方向加速流动，工质就在航空器上施加一个反作用力，推动航空器前进的这个反作用力就是推力，其大小等于工质质量与工质在推进系统内的加速度的乘积。这就好像当一个气球充满气体时处于平衡状态，不会动，当在气球的某个部位开一个口子，气体从气球内喷出，气球就会向喷流的相反方向运动，如图1所示。

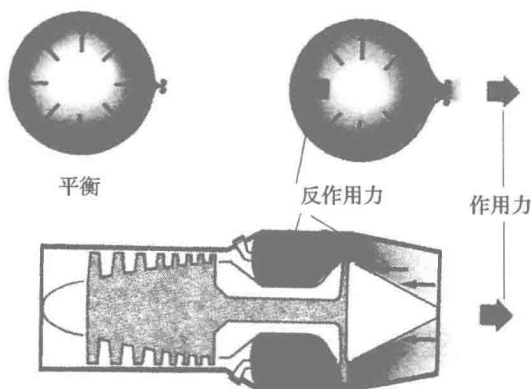


图1 推力的产生

推进系统产生推力必须要有能源和工质。可利用的能源有化学能、太阳能和核能等。目前广泛应用的是化学能源，如汽油和航空煤油等碳氢燃料。氢有热值高、燃烧性能好、对环境污染少等优点，是很有发展前景的一种化学能源。太阳能和核能的利用则仍处于研

究和发展阶段。流过航空推进系统的工质主要是空气，因此航空推进系统也称为吸空气推进系统。

1.2 分类

航空推进系统按其组成和工作原理可分为两大类：一类是直接反作用推进系统，另一类是间接反作用推进系统，如图 2 所示。

(1) 直接反作用推进系统

在这一类推进系统中，发动机直接将工质加速产生反作用推力，属于这一类的航空发动机有涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机和冲压喷气发动机。火箭发动机也是直接反作用推进系统，但它自带推进剂，不依赖外界空气，因而可以在大气层以外的空间工作，主要用于航天器和导弹。

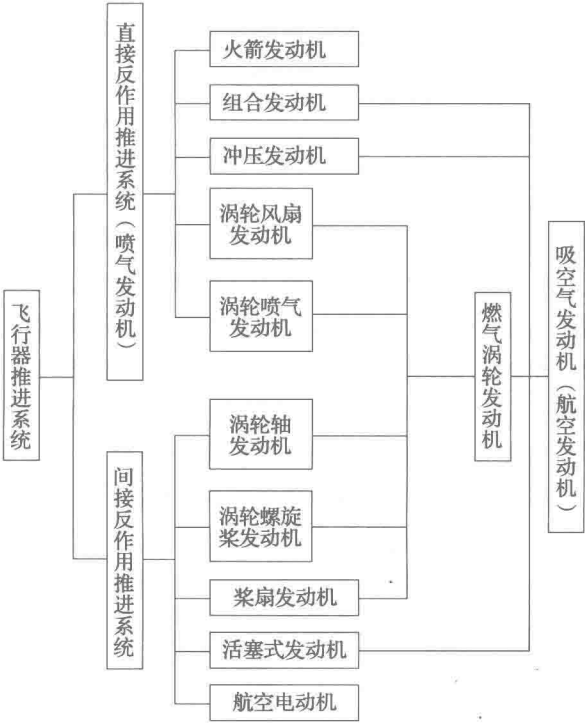


图 2 航空推进系统分类

(2) 间接反作用推进系统

在这一类推进系统中，发动机通过燃烧将燃料中的化学能转换成有效功率，以轴功率形式输出，推力则要靠专门的推进器产生。推进器有飞机的螺旋桨和直升机的旋翼。属于这一类的发动机有活塞式、涡轮螺旋桨、桨扇和涡轮轴发动机。发动机与推进器组合成推进系统。

航空发动机还可以有不同的分类，如活塞式发动机和空气喷气发动机。空气喷气发动机中又可分为带压气机的燃气涡轮发动机和不带压气机的冲压喷气发动机。燃气涡轮发动机是目前应用最广泛的航空发动机。

1.3 应用范围

(1) 活塞式发动机

活塞式发动机是早期在飞机和直升机上应用的航空发动机，它带动飞机螺旋桨或直升机旋翼，后来逐渐被功率大、高速性能好的燃气涡轮发动机取代。目前，小功率活塞式发动机还广泛应用在轻型飞机、超轻型飞机和直升机上。

(2) 燃气涡轮发动机

燃气涡轮发动机包括涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机、涡轮螺旋桨发动机、涡轮轴发动机和桨扇发动机。涡轮喷气发动机在 20 世纪 50 ~ 60 年代曾广泛用于军用和民用飞机，特别是超声速飞机，目前大多已被涡轮风扇发动机所取代。涡轮螺旋桨发动机主要用于亚声速运输机、支线飞机和公务机。涡轮轴发动机用于直升机。桨扇发动机的特性介于涡轮风扇发动机和涡轮螺旋桨发动机之间，主要用于较大的运输机。

(3) 冲压发动机

冲压发动机的构造简单、推力大，特别适合高速飞行。由于不能在静止状态下起动以及低速性能不好，冲压发动机适合用于空中发射的导弹和靶机。

在航空器上应用的还有火箭发动机、脉冲喷气发动机和航空电动机。火箭发动机燃料消耗率太大，不适于长时间工作，只在早期超声速试验飞机上用过，也曾某些飞机上用作短时间的加速器。脉冲喷气发动机是冲压发动机的一种特殊形式，通过燃烧室前的单向阀，气流间歇地进入燃烧室，主要用于无人机。由太阳能电池驱动的航空电动机尚处于试验阶段，适用于高空长航时无人机。

1.4 简史

1.4.1 莱特兄弟首先实现动力飞行

人类早就幻想像鸟一样在天空中自由飞翔，也曾作过各种尝试，但多半因动力源问题未获得解决而归于失败。

19 世纪末，有人制造过用蒸汽机作为动力的双翼机，但没有成功。在这期间，还作过多次类似的尝试，但都以失败告终。

随着活塞式内燃机于 19 世纪末成功地用于汽车，人们开始设法利用这种发动机来实现动力飞行。1903 年，莱特兄弟在总结前人经验教训的基础上，把一台 4 缸直列式水冷发动机改装后成功地用到他们的飞机上，完成了世界上第一次公认的动力飞行。这台发动机功率只有 8.95kW，重量^①为 81kg，功率重力比（功重比）只有 0.11kW/daN。发动机通过两根像自行车链条那样的链条，带动两个直径为 2.4m 的木质螺旋桨。

1.4.2 活塞式发动机在两次世界大战中发展

战争是技术的催化剂。两次世界大战，把活塞式发动机技术推向顶峰。经过历时 4 年的第一次世界大战，发动机功率从 75kW 左右提高到 313kW，功重比提高到 0.75kW/daN，从而使飞机的速度从 100km/h 提高到 200km/h，升限达到 8000m。

在两次世界大战之间，活塞式发动机继续得到发展。首先是成功地为气冷式发动机设计了整流罩，减小了阻力，改善了冷却，因此，气冷式发动机逐步取代了液冷式发动机。其间另外两项重大改进是采用废气涡轮增压器和变距螺旋桨，增大了发动机功率和工作高度并改善了螺旋桨特性。到第二次世界大战爆发前，发动机功率达到 597 ~ 820kW，功重比达 1.5kW/daN；战斗机飞行速度超过 500km/h，升限达 10000m。

^① 本书中“重量”均指“质量”。

在第二次世界大战期间,比较著名的液冷式发动机有英国的“梅林”,这种V形12缸发动机有27L排量,功率从597kW逐步提高到1120kW,用于著名的“飓风”、“喷火”和“野马”战斗机,其中,美国的“野马”战斗机飞行速度达760km/h,升限15000m。美国普拉特·惠特尼公司(普·惠公司)的“黄蜂”系列气冷星形排列的发动机发挥了巨大作用,如图3所示。这种星形排列的发动机可以有单排、双排甚至4排的布置,汽缸数7~28个,功率970~3207kW,广泛用于各种战斗机、轰炸机和运输机。

战后,由于喷气式发动机的出现,就没有再出现大功率的活塞式发动机,设计工作主要集中在功率370kW以下的小发动机上,用于公务机、农林机、运动机和无人机等轻型飞机和直升机。

1.4.3 进入喷气时代

将燃气涡轮发动机用于飞机动力的研究工作始于20世纪20年代,当时美、苏、德、英等国都有人提出了各种燃气涡轮喷气发动机专利和方案,并进行研究工作,美、苏两国从轴流式发动机入手,进展不大;德、英两国则在小离心式发动机方面取得较大突破。英国空军少校怀特于1903年1月16日申请了第一项飞机推进专利,经过多年研究试验,终于在1937年4月12日试验成功世界上第一台怀特离心式涡轮喷气发动机,推力为200daN,如图4所示。1941年4月,一架“格洛斯特”E28/39飞机装上了推力为650daN的改进型怀特发动机,进行了英国首次喷气飞行试验。同一时间,德国人冯·奥海因在1938年10月试验了一台HeS3涡轮喷气发动机,虽然设计推力为800~900daN,但实测只有400daN,1939年8月27日,一架He-178飞机装了这种发动机进行世界上首次喷气飞行试验,喷气飞行时代就此开始。以后,又陆续出现了涡轮螺旋桨发动机、涡轮轴发动机、涡轮风扇发动机和桨扇发动机,由于其在重量和高速性能方面远远优于活塞式发动机,各种燃气涡轮发动机成为当今航空动力装置的主力。

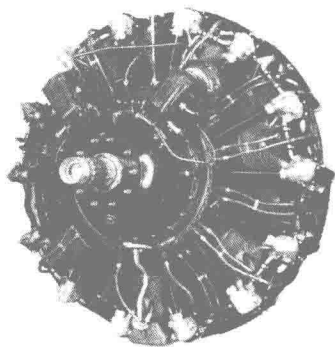


图3 “双黄蜂”R-1830气冷星形活塞式发动机是历史上应用最多的发动机,它装备了19000架B-24轰炸机和10000架C-47运输机

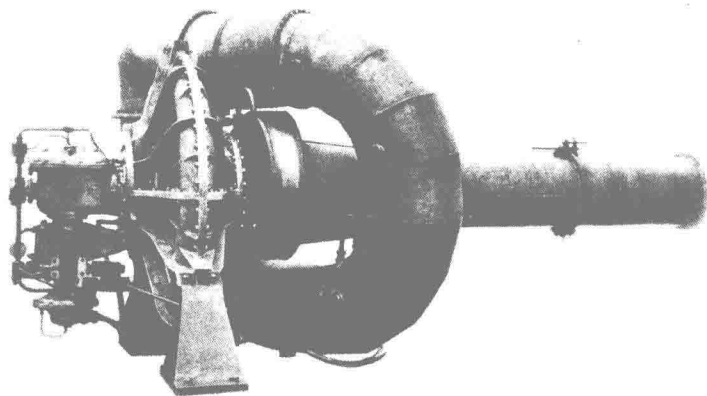


图4 世界上第一台涡轮喷气发动机,它看起来与今天的涡轮喷气发动机没有什么相同之处

2 工作原理和结构

2.1 活塞式发动机

活塞式发动机是依靠活塞在汽缸中的往复运动将燃料的化学能通过燃烧变为热能来完成热力循环的。活塞式发动机通常由汽缸、活塞、进排气门、进排气阀、连杆和曲轴组成。当活塞在汽缸中处于最上位置时，称为处于上死点。活塞处于最下位置时，称为处于下死点。发动机工作时，由4个行程完成一个循环。在进气行程，进气阀将进气门打开，经雾化的汽油和空气的混合气体被下行的活塞吸入汽缸内。活塞到达下死点后，开始上行，此时进气阀将进气门关闭，活塞压缩汽缸内的混合气体，直到活塞达到上死点，完成压缩行程。此时，装在汽缸头部的火花塞迸发火花，将高压混合气点燃。燃烧后高温高压气体推动活塞下行，气体开始膨胀，将燃烧气体所含的热能转变为机械能，由连杆机构传给发动机曲轴，输出轴功率。膨胀行程完成后，排气阀将排气门打开，活塞上行，将已做过功的废气排出汽缸。活塞到达上死点时，排气门关闭，就完成了4个行程的热力循环，如图5所示。然后，进气门又打开，活塞下行，开始新的一个热力循环。活塞的往复运动通过连杆和曲轴机构转变为曲轴的旋转运动。这种由4个行程完成热力循环的称为四行程活塞式发动机，在航空上被广泛采用。

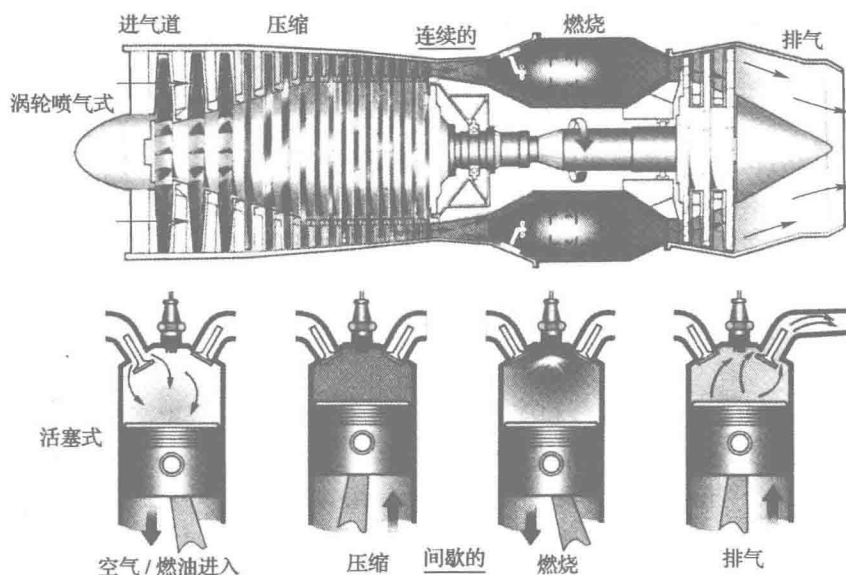


图5 活塞式发动机和涡轮喷气发动机的工作过程

活塞式发动机有不同的分类法，如按汽缸排列形式分为星形和直列形，直列形中又有V形和水平对置等不同形式；按冷却方式有气冷式和液冷式；按供油方式可分为汽化器式和直接注射式。现代航空活塞式发动机以水平对置、直接注油的气冷式应用最广泛，星形汽化式也有一定的应用。

活塞式发动机只能提供轴功率，还要通过空气螺旋桨将轴功率转化为飞机的推力或拉

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com