

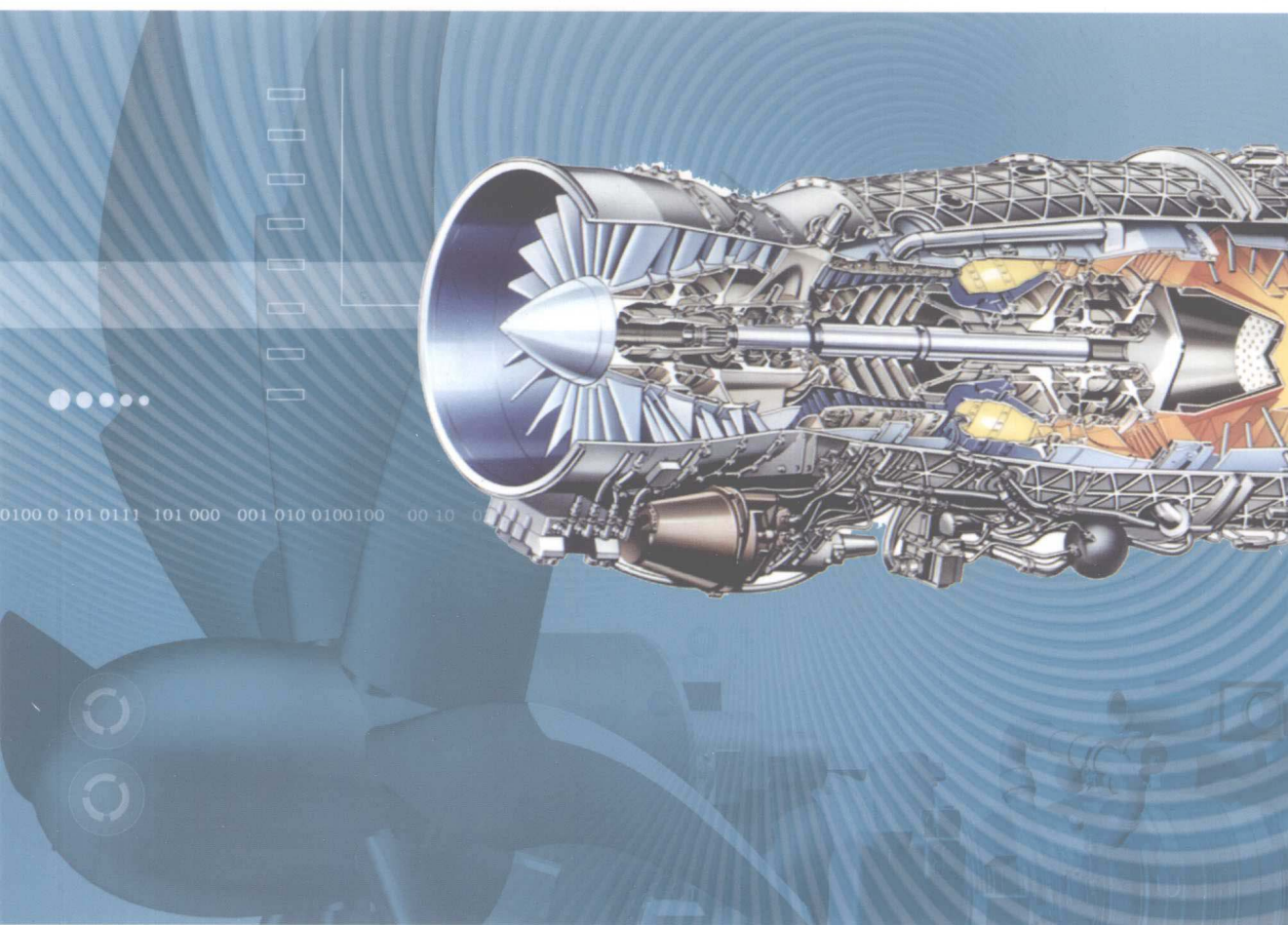
空军装备系列丛书

A E R O E N G I N E

航空发动机

《空军装备系列丛书》编审委员会 编

总主编 张 伟



航空工业出版社

空军装备系列丛书

航空发动机

《空军装备系列丛书》编审委员会 编

总主编 张 伟

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书是一本全面介绍航空发动机的专著,较为详细地介绍了航空活塞式发动机,航空涡轮轴、涡轮螺旋桨发动机,航空涡轮喷气、涡轮风扇发动机的原理、结构和性能,同时介绍了它们的发展历史、现状和趋势。

本书适用性强,可供航空、航天,民航、空军、海航、陆航以及通用机电行业从事动力装置研究、设计、生产、使用、管理等的工程技术人员参考,也可供航空爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

航空发动机/《空军装备系列丛书》编审委员会编.
北京:航空工业出版社,2008.6

(空军装备系列丛书)

ISBN 978-7-80243-157-7

I. 航… II. 空… III. 航空发动机 IV. V23

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第089967号

航空发动机

Hangkong Fadongji

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

2008年6月第1版

2008年6月第1次印刷

开本:787×1092

1/16

印张:29.25

字数:691千字

印数:1—3000

定价:58.00元

空军装备系列丛书

编审委员会

主任：吕刚 胡秀堂

副主任：张伟

成员：朱林 甘晓华 熊笑非 张列刚

武维新 朱祝华 刘永坚 费爱国

施明利 刘健文 胡瑜 张勋

空军装备系列丛书

编审办公室

主任：王军良

副主任：李廷立

成员：李海亮 韩 枫 梅文华 孙亚力

赵 琼 王子刚 海建和 张国杰

序

空军武器装备是空军诸兵种用于实施和保障战斗行动的武器、武器系统以及与之配套的其他军事技术装备的统称，包括各种战斗装备和保障装备。

空军武器装备的历史不过百年，却创造了武器装备历史上发展速度最快的篇章。人类翱翔天空的梦想可以追溯到远古时代，但直到1903年才由美国的莱特兄弟首次实现有动力自主飞行，1907年才开始用于军事。不论在两次世界大战还是冷战时期，飞机及相关技术都显示了突出优势，得到快速发展。空军从辅助兵种发展成独立的战略军种，从从属其他军兵种作战发展到能够担当战略战役主要任务，成为诸军兵种一体化联合作战的主力。空军武器装备也形成了歼击机、强击机、轰炸机、侦察机、运输机、特种飞机、雷达、高炮、地空导弹、空投空降、通信导航等多个装备系列。随着科学技术的发展，精确制导弹药、预警飞机、无人驾驶飞机、电子战装备、数据链、综合电子信息系统、空天防御系统等众多新类别武器装备还在源源不断地加入到空军武器装备行列中来。空军武器装备仍将保持高速发展的势头。

百年之间，空军从无到有，从弱到强。人类社会也从工业时代进入信息时代。战争形态由机械化战争向信息化条件下的高技术战争转变，军队面临着深刻的转型和军事变革。在这个深刻变革的时代，空中力量成为高技术战争的关键因素，空中力量运用成为影响战争结局的重要环节，空中战争形态仍在以高速率发生变化，空军仍是世界各国军队发展建设的重点。空军在保卫国家安全、维护国家主权、抵御外来侵略、支撑不断拓展的国家利益等方面，都将发挥越来越重要的作用。

纵观世界空军武器装备发展历史，可以看出，战争需求是空军装备发展

的强大牵引力，科学技术进步是空军装备发展的不竭推动力。当今空军武器装备的作战使用，已不是传统概念的单个武器平台对抗，而是敌对双方整个武器装备体系的对抗。按照体系配套思想发展建设武器装备已经成为基本趋势，更加强调空天一体、攻防兼备、平战结合，更加重视发展具有威慑与实战双重功能的武器装备，信息装备由从属地位上升为主战装备，常规武器弹药向精确打击转变，支援保障装备成为联合作战的重要支撑。

武器装备是军队履行使命任务的基本物质基础，是军队现代化水平的主要标志。军事领域的革命性变化，通常始于武器装备的突破性进步。空军武器装备集现代科学技术尖端成果之大成，与国家的政治、经济、文化、社会紧密关联，与百姓生活紧密关联，一向引发人们的广泛兴趣和关注。空军装备研究院组织编写的《空军装备系列丛书》，作者都是空军相关学科的专家学者，不少是本学科的领军人物。该丛书全面系统地介绍了空军装备及相关技术，是一套了解空军装备、学习高科技知识的好读本。对于认识空军在国防和军队建设中的地位与作用，了解空军武器装备的历史、现状和发展趋势，研究探讨空军武器装备发展的特点、规律，引发更多的人把目光投向空军武器装备建设，会起到积极的作用。我曾任空军装备研究院第一任院长，有幸参与了《空军装备系列丛书》的编辑策划工作。衷心希望在中国空军武器装备高速发展的进程中，《空军装备系列丛书》能够发挥其应有的作用。

预祝《空军装备系列丛书》出版发行获得圆满成功！

魏 钢

2007年11月16日

前 言

航空发动机是飞行器的“心脏”，是在高温、高压、高转速的恶劣环境下长期反复使用的热力机械，对飞行器的性能具有极其重要的作用。航空发动机技术历来是世界军事强国优先发展、高度垄断、严密封锁的关键技术，是一个国家军事装备水平、科技工业实力和综合国力的重要标志之一。目前，世界上只有美、俄、英、法等少数国家具有设计、生产航空发动机的能力。

航空发动机主要包括活塞发动机、涡轴发动机、涡桨发动机、涡喷发动机和涡扇发动机等几个类型。活塞发动机目前主要是用做低成本无人机和初级教练机的动力装置；涡轴发动机是直升机的动力装置；涡桨发动机主要用做中短程运输机的动力装置；涡喷、涡扇发动机则是航空发动机的主体，广泛用于战斗机、大型运输机和客机。该书共分为三个部分，分别对上述几种类型发动机的基本原理、性能特点和战术技术要求以及发展趋势等进行介绍。

本书由空军装备研究院组织编写，其中航空活塞发动机部分由航空所苏中高编写，王红宇、钱长龄校对；涡喷、涡扇发动机部分由总体所宋志平、赵晓斌、王进编写，程卫华、唐正府校对；涡轴和涡桨发动机部分由航空所何峻主编，王宏明、张维军参与编写，钱长龄、杨跃华校对。在本书的编写过程中，得到了有关研制生产单位和院校的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于作者水平的限制，缺点、错误在所难免，恳请读者批评指正。愿本书能为读者了解航空发动机提供参考。

目 录

第一篇 航空活塞式发动机

第 1 章 航空活塞式发动机概述	(3)
第 1 节 航空活塞式发动机类型	(3)
一、按发动机使用的燃料种类区分	(3)
二、按形成混合气的方式区分	(3)
三、按混合气着火的方式区分	(3)
四、按冷却发动机的方式区分	(4)
五、按汽缸排列的方式区分	(4)
六、按空气进入汽缸以前是否增压区分	(7)
第 2 节 航空活塞式发动机的组成	(7)
一、主要机件	(7)
二、工作系统	(8)
第 3 节 航空活塞式发动机的理想循环	(10)
一、发动机的理想工作过程	(10)
二、发动机的理想循环	(11)
第 4 节 航空活塞式发动机性能的评定	(12)
一、发动机功率	(12)
二、燃料消耗率	(12)
三、发动机比重	(13)
四、发动机尺寸	(13)
五、发动机的使用性能	(13)
第 2 章 航空活塞式发动机发展简史	(15)
一、历史概况	(15)
二、发展现状	(17)

第3章 航空活塞式发动机基本构造	(20)
第1节 机匣	(20)
一、减速机匣	(20)
二、曲轴止推轴承前盖	(22)
三、中机匣	(23)
四、混合气收集器	(26)
五、后盖	(27)
第2节 汽缸	(31)
一、汽缸筒	(31)
二、汽缸头	(32)
三、进气管	(33)
第3节 活塞	(34)
一、活塞	(34)
二、活塞销	(35)
三、活塞涨圈	(35)
第4节 连杆	(36)
一、主连杆	(36)
二、副连杆	(37)
三、副连杆销	(37)
第5节 曲轴	(38)
一、曲轴前半部	(40)
二、曲轴后半部	(41)
第6节 分气机构	(42)
一、凸轮盘传动机构	(43)
二、凸轮盘	(44)
三、分气机构的安装	(45)
四、挺杆和推杆机构	(46)
五、摇臂机构	(47)
六、气门机构	(48)
第7节 减速器	(48)
一、螺旋桨轴	(49)
二、游星式减速器	(51)
三、桨轴上的其他零件	(53)
第8节 增压器	(54)
一、增压器叶轮	(54)

二、扩散器	(54)
三、增压器叶轮轴	(55)
四、后盖主动轴	(56)
五、增压器的传动	(57)
第9节 燃油系统	(58)
一、燃油系统概述	(58)
二、汽油泵	(59)
三、汽化器	(63)
第10节 滑油系统	(71)
一、滑油系统概述	(71)
二、发动机的润滑油路	(71)
三、滑油泵	(73)
四、滑油池	(76)
第11节 点火系统	(77)
一、点火系统概述	(77)
二、磁电机	(78)
三、电嘴	(82)
第12节 起动系统	(83)
一、起动系统概述	(83)
二、空气压缩机	(85)
三、冷气起动分布器	(88)
第4章 航空活塞式发动机工作过程	(91)
第1节 进气过程	(92)
一、进气过程的进行情况	(92)
二、进气门早开和晚关	(94)
三、进气行程功	(95)
四、进气过程的压容图	(96)
第2节 充填量	(98)
一、理论充填量和实际充填量	(98)
二、充填系数	(98)
三、影响充填系数的因素	(99)
四、影响实际充填量的因素	(104)
第3节 压缩过程	(105)
一、压缩过程的进行情况	(105)

二、压缩比	(105)
三、压缩过程的热力性质	(106)
四、压缩行程功	(107)
五、压缩过程的压容图	(107)
第 4 节 燃烧过程	(108)
一、燃烧过程的进行情况	(108)
二、燃烧过程的压容图	(111)
第 5 节 提前点火	(111)
一、提前点火的必要性	(112)
二、影响最有利提前点火角的因素	(113)
第 6 节 混合气过分贫油、过分富油燃烧, 爆震和早燃	(113)
一、混合气过分贫油或富油燃烧时, 发动机的工作现象和危害	(114)
二、爆震	(116)
三、早燃	(121)
第 7 节 膨胀过程	(122)
一、膨胀过程的进行情况	(122)
二、混合气的残余燃烧	(122)
三、膨胀过程的热力性质	(123)
四、膨胀行程功	(124)
五、膨胀过程的压容图	(124)
第 8 节 排气过程	(125)
一、排气过程的进行情况	(125)
二、排气门早开和晚关	(126)
三、气门同开	(127)
四、排气行程功	(127)
五、排气过程的压容图	(127)
第 9 节 示功图和定时图	(128)
一、示功图	(128)
二、定时图	(130)
第 5 章 航空活塞式发动机的功率和经济性	(132)
第 1 节 航空活塞式发动机的功率	(132)
一、指示功率	(132)
二、机械损失消耗的功率	(133)
三、有效功率	(137)

第2节 航空活塞式发动机的经济性	(138)
一、效率	(138)
二、燃料消耗率	(140)
第3节 航空活塞式发动机的热平衡	(141)
第6章 航空活塞式发动机增压	(143)
第1节 离心式增压器的工作原理	(143)
一、离心式增压器的增压原理	(143)
二、增压器功率和增压器功	(145)
三、影响进气压力和进气温度的因素	(147)
第2节 离心式增压器的传动	(148)
一、叶轮由发动机曲轴传动的方法	(148)
二、叶轮由废气涡轮传动的方法	(149)
第3节 进气压力的调节	(151)
一、改变进气压力的方法	(151)
二、传动式增压器发动机进气压力的调节原理	(153)
三、废气涡轮增压器发动机进气压力的调节原理	(155)
第7章 航空活塞式发动机转速调节	(159)
第1节 调节发动机转速的目的	(159)
一、调节转速的必要性	(159)
二、调节转速的方法	(161)
第2节 转速调节器调节转速的原理	(161)
一、液压式调速器调节转速的原理	(162)
二、电动式调速器调节转速的原理	(165)

第二篇 航空涡轮轴、涡轮螺旋桨发动机

第8章 航空涡轮轴、涡轮螺旋桨发动机概述	(169)
第1节 航空涡轴、涡桨发动机发展简史	(169)
一、涡轴发动机	(169)
二、涡桨发动机	(171)
第2节 航空涡轴、涡桨发动机的定义及分类	(172)
一、航空涡轴、涡桨发动机的定义	(172)
二、航空涡轴、涡桨发动机的分类	(172)

第3节 评定航空涡轴、涡桨发动机性能的指标	(179)
一、发动机的性能参数	(179)
二、发动机的轴功率特性	(180)
三、发动机的经济性	(184)
四、发动机的外部特性	(186)
五、涡轴、涡桨发动机的可靠性与维修性	(187)
六、涡轴、涡桨发动机的振动与噪声级水平	(187)
第9章 航空涡轴、涡桨发动机的基本结构及特点	(188)
第1节 基本组成及特点	(188)
一、基本组成	(188)
二、工作特点	(188)
三、可用功分配	(192)
第2节 基本结构形式说明	(198)
一、进气装置	(198)
二、压气机	(199)
三、燃烧室	(202)
四、涡轮	(204)
五、排气装置	(205)
六、减速器	(206)
七、涡轴发动机的粒子分离装置	(206)
八、涡轴发动机的红外抑制装置	(209)
第3节 涡轴、涡桨发动机的工作系统	(213)
一、螺旋桨和调速系统	(214)
二、控制系统	(215)
三、燃油系统	(218)
四、滑油系统	(219)
五、防冰系统	(220)
六、起动系统	(222)
第4节 涡轴、涡桨发动机的工作特性	(223)
一、发动机的基本工作状态	(224)
二、涡轴发动机的转速特性	(225)
三、涡轴发动机的高度特性	(226)
四、涡轴发动机的速度特性	(227)
五、涡轴发动机最佳工作状态的选择	(228)

第5节 涡轴、涡桨发动机性能分析	(229)
一、涡轴发动机试车参数换算	(229)
二、涡轴发动机循环性能综合分析	(230)
三、热力计算	(231)
第6节 涡轴发动机在特殊条件下的使用特点	(236)
一、涡轴发动机在多灰尘条件下的使用特点	(237)
二、涡轴发动机在潮湿和盐雾条件下的使用特点	(238)
三、涡轴发动机在低气温条件下的使用特点	(238)
四、涡轴发动机在其排出的燃气流受旋翼影响下的工作特点	(239)
第7节 国内外有代表性涡轮轴发动机数据	(240)
第10章 航空涡轴、涡桨发动机的发展与现代技术	(252)
第1节 国际	(252)
一、国外涡轴发动机主要特点	(252)
二、技术措施	(254)
三、国外几种涡轴、涡桨发动机型号介绍	(257)
第2节 国内	(274)
第3节 未来发展趋势	(283)
一、涡轴、涡桨发动机关键技术	(285)
二、循环方式发展趋势分析	(288)
三、工艺与材料发展趋势	(290)
四、新一代机种方案	(292)
五、美国下一代涡轴发动机几项研究计划	(294)
六、直升机动力装置的几项革新	(296)
七、研究中的新技术	(297)

第三篇 航空涡轮喷气、涡轮风扇发动机

第11章 航空涡轮喷气、涡轮风扇发动机概述	(303)
第1节 航空涡喷、涡扇发动机发展过程	(303)
第2节 航空涡喷、涡扇发动机分类	(304)
第3节 航空涡喷、涡扇发动机划代	(305)
第12章 涡喷、涡扇发动机工作原理及特点	(307)
第1节 涡喷、涡扇发动机工作原理	(307)

一、组成	(307)
二、各部件的功用	(307)
三、发动机工作原理	(308)
四、涡扇发动机特点	(311)
第 2 节 涡喷、涡扇发动机性能评定	(311)
一、推力性能指标	(311)
二、经济性能指标	(312)
三、发动机的使用性能	(312)
第 3 节 涡喷、涡扇发动机的战术技术要求	(313)
一、主要作战使用性能要求	(313)
二、战术技术指标	(315)
第 13 章 部件及系统	(318)
第 1 节 压气机 (风扇)	(318)
一、结构	(318)
二、工作原理	(324)
三、材料	(325)
四、平衡	(325)
第 2 节 燃烧室	(326)
一、结构	(326)
二、工作原理	(327)
三、性能	(329)
四、材料	(331)
第 3 节 涡轮	(331)
一、结构	(331)
二、工作原理	(333)
三、材料	(335)
四、平衡	(336)
第 4 节 加力燃烧室	(337)
一、结构	(337)
二、工作特点	(340)
三、振荡燃烧	(341)
第 5 节 排气系统	(341)
第 6 节 附件传动	(343)
一、内部齿轮箱	(343)

二、径向传动轴	(345)
三、外部齿轮箱	(345)
四、辅助齿轮箱	(346)
第 7 节 滑油系统	(347)
一、滑油箱	(347)
二、滑油泵	(348)
三、滑油喷油装置	(349)
四、滑油散热器	(349)
五、磁性探屑器	(350)
六、离心通风器	(350)
七、油滤网	(350)
第 8 节 空气系统	(350)
一、冷却	(351)
二、封严	(354)
三、轴承载荷控制	(356)
第 9 节 控制系统	(357)
一、概述	(357)
二、几种典型的液压机械式控制系统	(360)
三、数字控制系统	(369)
第 14 章 涡喷、涡扇发动机特性	(373)
第 1 节 控制方案	(373)
一、控制方案的一般性选择	(373)
二、主燃油控制方案选择	(374)
三、发动机变几何控制	(375)
第 2 节 节流特性	(377)
一、发动机主要工作状态的规定	(377)
二、节流特性	(378)
第 3 节 速度特性	(379)
一、速度特性的一般规律	(379)
二、双轴涡喷发动机速度特性的特点	(380)
三、双轴涡扇发动机速度特性的特点	(382)
第 4 节 高度特性	(382)
第 5 节 发动机的使用限制	(383)