航空活塞发动机及其修理技术

丁发军　编著

西南交通大学出版社

·成　都·

前　言

本书的内容涉及航空活塞发动机的结构和各工作系统及其修理技术，具体包括：航空活塞发动机概述、航空活塞发动机基本构造、航空活塞发动机主要系统、航空活塞发动机本体修理、航空活塞发动机主要部件修理、航空活塞发动机主要附件修理等内容。本书可作为民航维修人员学习航空活塞发动机的基础培训用书，也可作为民航维修人员进行业务学习的参考用书。

本书博采众家之长，力求在内容及体系结构上有新的构思。在突出系统性、通用性和科学性的基础上，重点有针对性地介绍了航空活塞发动机日常维护和检查的工作要点以及主要部附件的具体维修方法。在书结构的编排上突出了能力培养，选材力争做到“阐述理论、注重实践、培养能力、强化技能”的原则。选图具有新颖性、典型性和实用性，并且与实际维修工作相结合，明了清晰，简单易懂，力争做到理论联系实际，理论指导实际，具备一定的前瞻性。

本书作者丁发军具有多年航空活塞发动机维修和技术管理经验，且长期从事航空活塞发动机执照培训和教学工作。书的内容共分为六章，其中第一章、第二章由常虎山编著，第三章至第五章由丁发军编著，第六章由刘堃编著。几位作者均为中国民用航空飞行学院机务维修工程师，具有较深厚的理论功底和多年从事航空活塞发动机维修及执照培训教学经验，为本书的编著付出了很多心血。考虑到维修类书籍的特殊要求，在理论阐述、问题描述、术语运用和插图等方面，本书尽量做到内容翔实、准确、图文并茂，文字简洁、流畅、易读易懂。

本书的编著得到了民航局飞标司、适航司、中国民航飞行学院机务处以及民航维修企业的大力支持和帮助，在编著过程中还得到了阎成鸿、聂挺、麦海波、陈亮等领导和专家的热情帮助和指导，在此一并表示感谢。

由于作者水平的局限，加之时间仓促，书中难免存在不妥之处，诚恳希望本书使用者能够提出宝贵意见和建议，以便在本书修订时进一步完善。

编　者

2014 年 5 月

目　录

第一章　航空活塞发动机概述 …… 1

第一节　航空活塞发动机的分类和组成 …… 1
第二节　航空活塞发动机的基本工作原理 …… 5

第二章　航空活塞发动机的基本构造 …… **错误!未定义书签。**

第一节　汽缸活塞组件 …… **错误!未定义书签。**
第二节　连杆和曲轴 …… **错误!未定义书签。**
第三节　减速器 …… **错误!未定义书签。**
第四节　气门机构 …… **错误!未定义书签。**
第五节　机　匣 …… **错误!未定义书签。**
第六节　附件传动装置 …… **错误!未定义书签。**

第三章　航空活塞发动机的主要系统 …… **错误!未定义书签。**

第一节　进气系统 …… **错误!未定义书签。**
第二节　排气系统 …… **错误!未定义书签。**
第三节　滑油系统 …… **错误!未定义书签。**
第四节　燃油系统 …… **错误!未定义书签。**
第五节　起动系统 …… **错误!未定义书签。**
第六节　点火系统 …… **错误!未定义书签。**

第四章　航空活塞发动机本体修理 …… **错误!未定义书签。**

第一节　活塞发动机修理的目的 …… **错误!未定义书签。**
第二节　活塞发动机修理的依据 …… **错误!未定义书签。**
第三节　活塞发动机本体修理程序 …… **错误!未定义书签。**
第四节　试车及性能校验 …… **错误!未定义书签。**
第五节　发动机的油封和储存 …… **错误!未定义书签。**
第六节　发动机修理车间配制要求 …… **错误!未定义书签。**

第五章　航空活塞发动机主要部件修理 ····· **错误!未定义书签。**

第一节　汽缸组件和气门机构的修理 ····· **错误!未定义书签。**
第二节　活塞组件的修理····· **错误!未定义书签。**
第三节　连杆、曲轴组件和减速器的修理 ····· **错误!未定义书签。**
第四节　机匣、附件机匣的修理····· **错误!未定义书签。**
第五节　发动机整机装配····· **错误!未定义书签。**

第六章　航空活塞发动机主要附件修理 ····· **错误!未定义书签。**

第一节　磁电机的修理····· **错误!未定义书签。**
第二节　汽化器/燃油喷射器的修理····· **错误!未定义书签。**
第三节　起动机的修理····· **错误!未定义书签。**
第四节　发电机的修理····· **错误!未定义书签。**

参考文献 ····· 222

第一章　航空活塞发动机概述

航空发动机是飞机动力装置的主要组成部分。它的主要功用是提供飞机运动所需的动力——“推力”或“拉力”，用以克服飞机的惯性和空气阻力。

现代航空发动机主要有两种类型：活塞式发动机和喷气式发动机。低速、小型、短程飞机常用活塞式发动机，高速、大（中）型、远（中）程飞机常用喷气式发动机。尽管航空发动机处于喷气式推进时代，但活塞式航空发动机并未退出航空历史舞台。活塞式发动机的经济性好，不但油耗省，而且每匹马力售价比燃气涡轮发动机便宜。目前在一些小型飞机，如农业飞机、林业飞机、采矿飞机、体育运动飞机上，还继续使用活塞式发动机。一些发达国家仍然继续生产和深入研究活塞式航空发动机。

本章主要介绍活塞式发动机的发展、组成、工作原理等一般知识。

第一节　航空活塞发动机的分类和组成

在 20 世纪初，汽油内燃机（活塞式发动机）的发明使得航空事业有了实际的发展。1903 年，美国莱特兄弟把此种发动机装在飞机上，并完成了飞行。在第二次世界大战期间，活塞式发动机仍为航空动力的唯一型式。此时，活塞式发动机已经广泛使用，在一定范围内，它使飞机的飞行速度不断提高。在航空活塞发动机使用初期，其单位迎面功率及经济性较差，只有几十马力的功率和 3～4 公斤/马力的比重；而到第二次世界大战时期，单位迎面功率已达 1 200～2 000 马力/平方米，比重为 0.4～0.6 公斤/马力，单位燃料消耗功率为 0.24～0.32 公斤/马力·小时，功率已达到 2 000～3 000 马力或更高。随着对飞行速度要求的不断提高，要提高飞行速度就必定要求进一步增大飞机动力装置的功率。活塞式发动机是不能达到这一要求的，这是由于它的重量和外廓尺寸会因此而过分庞大，而且随着飞行速度的增加，空气螺旋桨拉力也会急剧下降。

一、航空活塞发动机的分类

由于长期发展的结果，航空活塞式发动机的种类繁多，型式也千差万别。但是不论是何种型式的活塞发动机，其工作原理都是一样的。在此，根据不同的划分依据对常见的活塞发动机进行简单的分类。

（一）根据汽缸排列的位置分类

（1）直列式发动机。在这种发动机上，汽缸呈“列队式”前后排列，它又可分为单排直列型、水平对置型、H 型或 V 型等型式。图 1-1 所示为一种常见的水平对置式发动机。

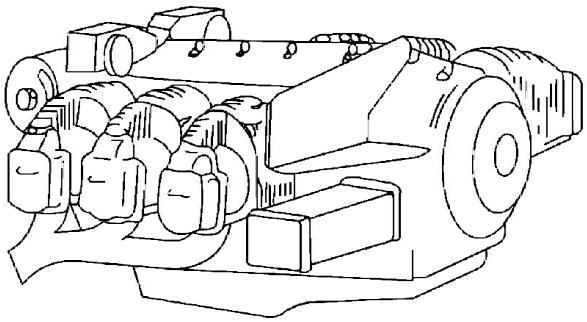

图 1-1　水平对置型发动机

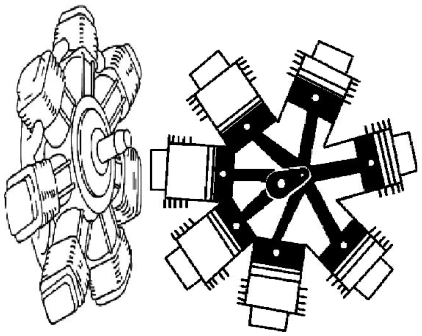

图 1-2　星型发动机

（2）星型发动机。在星型发动机上，汽缸以曲轴为中心沿机匣向外呈辐射状均匀排列，有单排、双排和多排等形式。目前，由于航空技术的发展，应用较多的主要是单排星型活塞式发动机，如图 1-2 所示。

（二）根据冷却方法分类

（1）液冷式。液冷式发动机利用循环的液体来冷却汽缸和相关部件，冷却后再将吸收的热量散入大气中。散热液一般都用水，也有用其他液体来代替的，比如高沸点的乙二醇或低沸点的防冻液。液冷式发动机一般都做成直列式。

（2）气冷式。气冷式发动机是直接利用飞行中的迎面气流来冷却汽缸和相关部件。气冷式发动机有星型，也有直列式。

（三）根据混合气形成的方法分类

（1）汽化器式。在汽化器式发动机上，燃料和空气的混合在汽缸外面的汽化器内进行，然后将混合好的混合气引入汽缸。

（2）直接喷射式。在直接喷射式发动机上，燃料直接喷入汽缸，在汽缸内与空气进行混合。

（四）根据进气方法分类

（1）直接进气式发动机。外界的空气被直接引入发动机汽缸，常用于飞行高度较低的飞机上。

（2）增压式发动机。外界的空气进入汽缸之前，先经过增压器提高压力后，再进入发动机汽缸。此类发动机常用在飞行高度较高的飞机上。现代的航空活塞式发动机差不多都装有增压器。

（五）根据传动螺旋桨的方法不同分类

（1）无减速器发动机。此类发动机的螺旋桨是直接传动的。
（2）有减速器发动机。此类发动机的螺旋桨是经过齿轮传动的。现在发动机都装有减速器。

（六）根据点燃混合气方法的不同分类

（1）电点火发动机（现代航空发动机大部分都是属于这种）。
（2）压燃式发动机（又叫狄塞尔式发动机）。

二、航空活塞发动机的组成

航空活塞式发动机是利用汽油与空气混合，在密闭的容器（汽缸）内燃烧，气体膨胀做功的机械。活塞式发动机必须带动螺旋桨，由螺旋桨产生推（拉）力，如图 1-3 所示。因此，活塞式发动机加上螺旋桨就组成了飞机的动力装置。为简单起见，下面分析活塞式发动机的组成时不包括螺旋桨推进器。

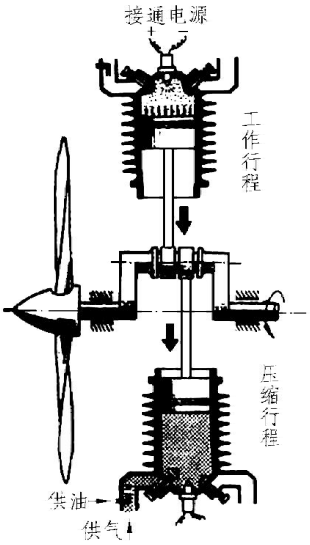

图 1-3　航空活塞式发动机工作简图

航空活塞式发动机由下列主要机件和一些附件工作系统组成。

（一）主要机件

航空式活塞发动机主要由汽缸、活塞、连杆、曲轴、气门机构、螺旋桨减速器、机匣等组成，主要机件的相互位置关系如图 1-4 所示。机匣是固定发动机各主要机件和附件的底座，它把发动机所有的机件和附件联结在一起成为一个完整的机构。在发动机内，燃料与一定数量的空气混合后进入汽缸，汽缸是混合气（汽油和空气）进行燃烧及将热能转变为机械能的

工作室。活塞在汽缸内往复运动。汽缸头上装有点燃混合气的电火花塞（俗称电嘴）以及进、排气门。进气门在进气的时候打开，排气门则是在排除废气的时候才打开。发动机工作时汽缸温度很高，所以汽缸外壁上有许多散热片，用以扩大散热面积，如图 1-5 所示。在单缸容积相同的情况下，汽缸数目越多，发动机功率越大。汽缸一般都由两部分组成——汽缸筒和汽缸头。活塞承受燃气压力，在汽缸内作往复运动，并通过连杆将这种运动转变成曲轴的旋转运动。连杆用来连接活塞和曲轴，是发动机部件中承受负荷较大的机件之一。活塞本身又分为承受燃气压力的活塞顶和引导活塞运动的活塞裙两部分。曲轴承受活塞的功并将其传给螺旋桨，它也是承受负荷较大的发动机部件之一。曲轴转动时，通过减速器带动螺旋桨转动而产生拉力。除此而外，曲轴还要带动一些附件（如各种油泵、发电机等）。气门机构用来控制进气门、排气门定时打开和关闭。活塞、连杆和曲轴这三个在运动中密切关联的机件，通常合称为曲拐机构。在大功率航空活塞式发动机中，在螺旋桨轴和曲轴之间一般都装有减速器，使螺旋桨轴的转速低于曲轴的转速，从而降低螺旋桨的能量损失。减速器一般由装在曲轴上的小齿轮和装在减速器轴上的大齿轮所组成。

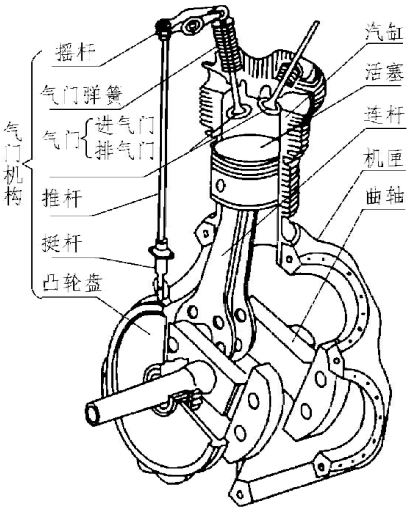

图 1-4　活塞式发动机的主要机件

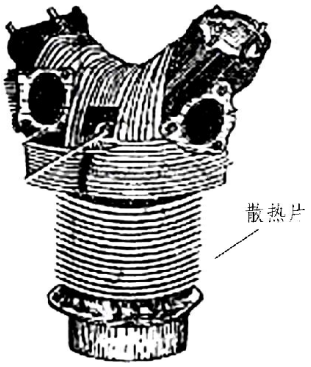

图 1-5　汽缸上的散热片

（二）附件工作系统

航空活塞式发动机不但要具备上述各个主要机件，而且还必须有若干辅助系统与之配合才能够完成工作，主要有进气系统、燃油系统、点火系统、起动系统、润滑系统、散热系统等。

（1）进气系统。为了改善高空性能，在进气系统内常装有增压器，其功用是增大进气压力，进而增加进入汽缸的空气量，提高发动机的功率。

（2）燃油系统。燃油系统给发动机提供燃油，并将燃油雾化，与空气均匀混合形成可燃混合气。活塞式发动机的燃油系统有直射式和汽化器式。

（3）点火系统。点火系统主要包括高电压磁电机、输电线、火花塞，是在适当的时刻产生点火花，点燃汽缸内的混合气。

（4）起动系统。一般为电动机起动，也有气体压力起动，是在发动机起动时转动曲轴，

从而使发动机从静止状态转入正常工作状态。

（5）润滑系统。润滑系统将滑油送到各机件的摩擦面进行润滑，以减小摩擦阻力，减轻机件的磨损。

（6）散热系统。主要包括气冷式散热和液冷式散热，现多采用气冷式散热。

第二节　航空活塞发动机的基本工作原理

航空活塞式发动机是将热能转变为机械能，主要是通过气体工作形态的不断变化来实现。这些变化在航空活塞发动机上可以把它分成四个独立而顺次交替的行程。为了更好地理解发动机的基本工作原理，首先先介绍一些名词概念。

一、专有名词

（1）循环。使气体恢复到原来状态的一系列的连续过程的结合叫做循环。

（2）上死点、下死点。曲轴旋转时，活塞在汽缸内上下移动有两个极限位置，其中一个离曲轴中心最远的位置叫做上死点或缩写为 BMT，另外一个距曲轴中心最近的位置叫做下死点或缩写为 HMT，如图 1-6 所示。

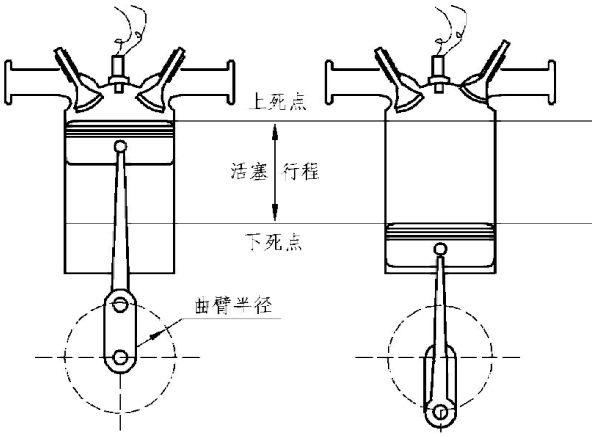

图 1-6　上死点、下死点位置

（3）行程。从上死点到下死点之间的距离叫做活塞行程。由图 1-6 可知，活塞行程等于 2 倍曲臂半径。

（4）燃烧室容积 $V_{燃}$。当活塞在上死点位置时，气体在汽缸内所占有的容积叫做燃烧室容积或压缩室容积。

（5）汽缸全容积 $V_{全}$。当活塞在下死点位置时，气体在汽缸内占有的容积叫做汽缸的全容积。

（6）汽缸的工作容积 $V_{工}$。活塞从上死点到下死点所形成的容积叫做汽缸的工作容积。显然，汽缸的全容积也等于燃烧室容积与汽缸工作容积之和。

（7）压缩比。汽缸全容积与燃烧室容积之比叫做压缩比。压缩比是说明汽缸全容积比燃烧室容积大多少倍。每个发动机的压缩比都等于一个常数。

二、四行程发动机的基本工作原理

活塞式航空发动机大多是四冲程发动机，即一个汽缸完成一个工作循环，活塞在汽缸内要经过四个冲程，依次是进气冲程、压缩冲程、膨胀冲程和排气冲程，如图 1-7 所示。

首先，发动机汽缸内必须进入新鲜的燃料混合气，这就是第一个冲程，叫做进气冲程。汽缸头上的进气门打开，排气门关闭，活塞从上死点向下滑动到下死点为止，汽缸内的容积逐渐增大，气压降低——低于外面的大气压。于是新鲜的汽油和空气的混合气体，通过打开的进气门被吸入汽缸内。当活塞到达下死点时，进气门关闭，进气冲程结束。

压缩冲程是活塞从下死点走向上死点，该冲程开始时，曲轴靠惯性作用继续旋转，把活塞从下死点推向上死点，此时进、排气门都关闭。汽缸内容积逐渐减小，工作混合气受到压缩。当活塞运动到上死点时，混合气被压缩在上死点和汽缸头之间的小空间内（燃烧室容积）。这个小空间叫做“燃烧室”。这时混合气体的压强加到十个大气压。温度也增加到 400℃左右。压缩是为了更好地利用汽油燃烧时产生的热量，使限制在燃烧室这个小小空间里的混合气体的压强大大提高，以便增加它燃烧后的做功能力。理论上，当压缩冲程结束的一瞬间，混合气被汽缸头上的电火花塞用高压电产生的电火花点燃，混合气的温度和压力大大增高。

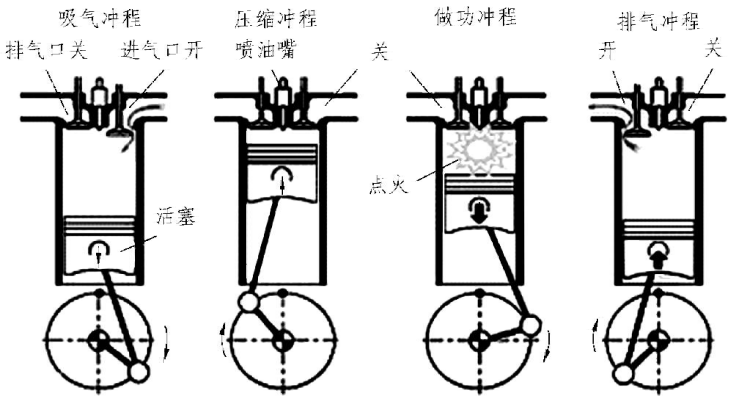

图 1-7　四冲程活塞发动机工作原理

压缩冲程之后是膨胀冲程，即第三个冲程。冲程开始时，活塞位于上死点，此时进、排气门都关闭。燃烧后的气体猛烈膨胀，压强急剧增高，可达 60～75 个大气压，燃烧气体的温度达到 2 000～2 500 ℃。燃烧时，局部温度可能达到三四千度，燃气加到活塞上的冲击力可达 15 吨。活塞在燃气的强大压力作用下，向下死点迅速运动，对活塞做功，推动连杆往下跑，连杆便带动曲轴转起来了。当活塞从上死点往下死点运动时，汽缸容积不断增大，燃气的压力、温度不断降低；当活塞到达下死点时，膨胀冲程结束，燃气也变成了废气。这个冲程是使发动机能够工作而获得动力的唯一冲程，所以膨胀冲程也叫工作冲程。

第四个冲程是排气冲程。膨胀冲程结束后，由于惯性，曲轴继续旋转，使活塞由下死点向上运动。这时进气门仍旧关闭，而排气门大开，燃烧后的废气便通过排气门向外排出；当活塞到达上死点时，绝大部分的废气已被排出；然后排气门关闭，进气门打开，活塞又由上死点下行，开始了新的一次循环。

从进气冲程吸入新鲜混合气体起，到排气冲程排出废气止，汽油的热能通过燃烧转化为推动活塞运动的机械能，带动螺旋桨旋转而做功，这一总的过程叫做一个循环。这是一种周而复始的运动。由于其中包含着热能到机械能的转化，所以又叫做热循环。

由上述分析可知，活塞发动机每完成一个工作循环，曲轴转动两圈，进、排气门各打开一次，点火一次，气体膨胀做功一次。