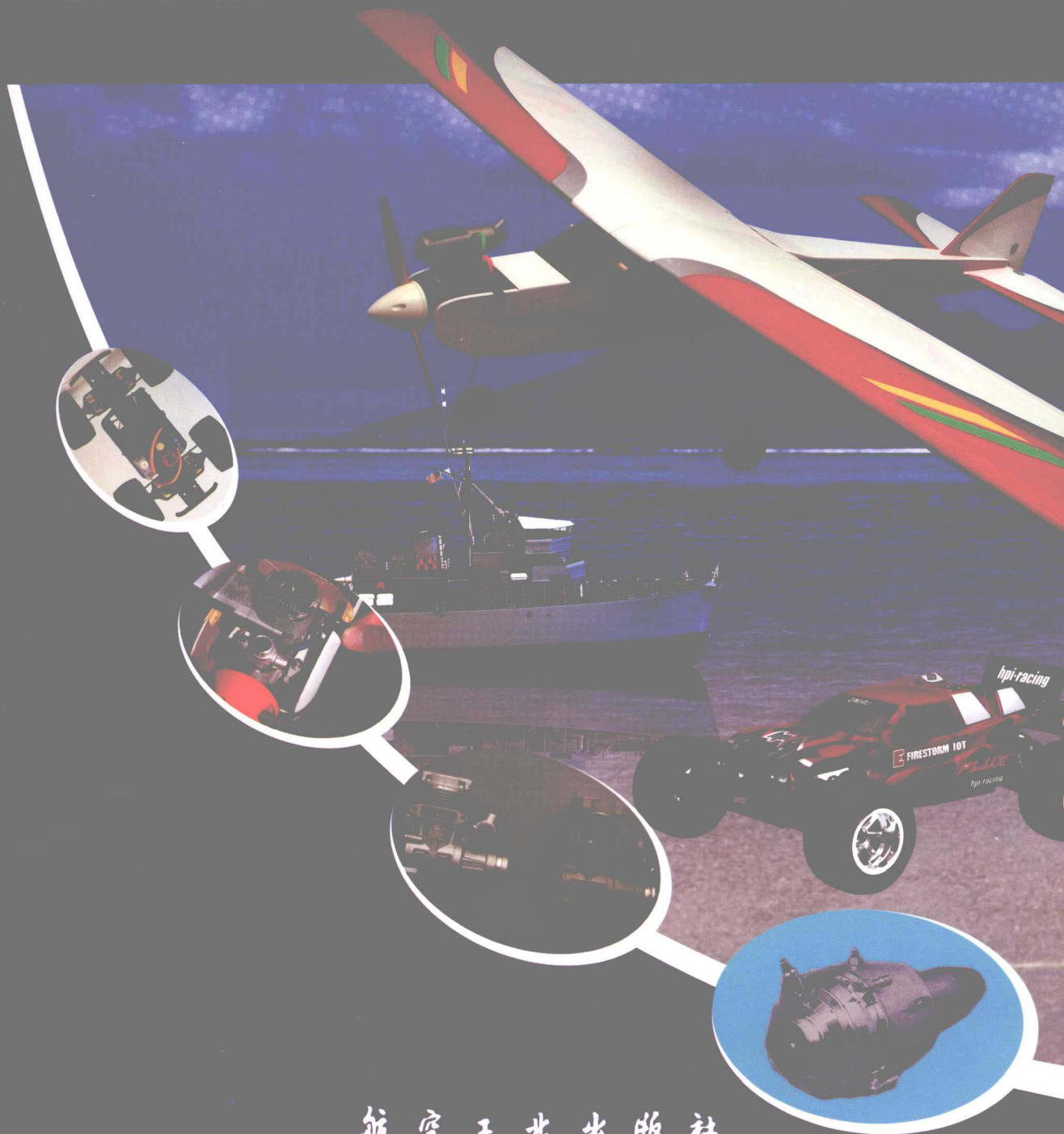


高国钧 编著

现代陆海空模型发动机



航空工业出版社

现代陆海空模型发动机

高国钧 编著

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书以简练的语言系统地介绍了陆海空模型发动机的整体概况,重点讲述了模型内燃发动机及其配件的工作原理、结构、材料、燃料、使用维护以及使用中需要注意的事项等相关知识。此外,书后还以附录的形式提供了很多模型发动机使用过程中需要运用的诸如单位换算、功率测定、常用词汇英汉对照、装配图等知识,具有相当的实用参考价值。

本书可供模型普及活动使用及爱好者阅读参考,也可供模型工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代陆海空模型发动机 / 高国钧编著. -- 北京:
航空工业出版社, 2011. 1

ISBN 978 - 7 - 80243 - 664 - 0

I. ①现… II. ①高… III. ①汽车—模型(体育)—
发动机②舰船模型—发动机③模型飞机(航空模型运动)
—发动机 IV. ①G872.1②G874.4③G875.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 241291 号

现代陆海空模型发动机
Xiandai Luhaikong Moxing 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 - 64815521 010 - 64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2011 年 1 月第 1 版

2011 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 8.5

字数: 180 千字

印数: 1—4000

定价: 25.00 元

目 录

第1章 概述..... 1

第2章 模型发动机的工作原理... 3

- 一、二行程模型发动机..... 5
- 二、四行程模型发动机.....10
- 三、电点火式发动机.....12
- 四、二氧化碳发动机.....13
- 五、旋转活塞式发动机.....16
- 六、旋转汽缸式二行程模型发动机.....16
- 七、喷气式发动机.....17

第3章 模型发动机的结构和材料 19

- 一、机匣.....19
- 二、活塞和汽缸.....22
- 三、曲轴.....24
- 四、连杆.....25
- 五、活塞销.....26

第4章 模型发动机的起动、调整 and 磨合..... 27

- 一、新发动机起动前的准备工作.....27
- 二、电热式发动机的起动和调整.....28
- 三、压燃式发动机的起动和调整.....29
- 四、脉动喷气发动机的起动.....30
- 五、各种活塞式模型发动机的磨合.....30
- 六、发动机转速的测定.....32

第5章 螺旋桨与发动机的匹配..... 34

- 一、发动机外部特性曲线及其应用.....34
- 二、螺旋桨螺距和桨叶角.....35
- 三、不同模型要求不同的螺旋桨.....35
- 四、螺旋桨的材料.....36
- 五、螺旋桨的平衡.....37

第6章 模型发动机的热火栓... 38

- 一、热火栓的种类.....38
- 二、热火栓的选用.....40
- 三、热火栓的损坏.....41
- 四、热火丝的更换.....41

第7章 模型发动机的油料.....44

- 一、模型发动机油料的要求.....44
- 二、模型发动机常用的燃料、润滑剂和添加剂.....44
- 三、常用模型发动机油料成分的理化性能.....45
- 四、电热式发动机的油料.....45
- 五、压燃式发动机的油料.....46
- 六、电点火汽油发动机的油料.....47
- 七、喷气模型发动机的油料.....47
- 八、模型发动机油料的配置.....47

第8章 模型发动机的油箱和油泵..... 49

- 一、常用的模型发动机油箱形式.....49
- 二、特种油箱的供油方法.....53

三、利用油泵供油的方法.....53

四、发动机耗油量和油箱尺寸的估算...56

第9章 模型发动机的消声器 和谐振排气管 58

一、模型发动机的消声器.....58

二、谐振排气管.....59

第10章 模型发动机的起动 ... 64

一、手拨起动.....64

二、反弹弹簧起动.....65

三、电动起动机起动.....65

四、手摇式起动机.....66

第11章 模型发动机的汽化器 ... 68

一、一般汽化器.....68

二、无线电遥控模型发动机的汽化器...70

三、多功能汽化器.....74

四、电喷汽化器.....74

第12章 模型发动机的维护 和装卸 75

一、正确地使用模型发动机.....75

二、模型发动机的拆装.....76

三、零件精度的检查.....77

四、汽缸与活塞的研磨选配.....78

五、装配的最终要求.....78

第13章 提高模型发动机性能 的措施 80

一、提高模型发动机功率的措施.....80

二、改善发动机油耗的措施.....86

第14章 船模和车模发动机 ...88

一、船模发动机的冷却.....88

二、船模发动机的安装.....88

三、船模发动机的起动.....90

四、船模发动机与螺旋桨的匹配.....91

五、车模发动机.....92

第15章 涵道风扇和涡轮喷气 发动机 97

一、涵道风扇发动机.....97

二、涡轮喷气发动机.....102

附 录..... 108

附录1 模型发动机常用英制和公制单位
换算表.....108

附录2 模型发动机工作容积换算表 ...109

附录3 国外主要模型发动机分气定时数
据(实测).....110

附录4 发动机分气定时的测量110

附录5 模型发动机功率的测定113

附录6 常用二行程模型发动机缸径行程
比、连杆行程比和偏置汽缸对性
能的影响114

附录7 电热式发动机油料使用的几个问
题118

附录8 模型发动机常用滚珠轴承型号和
规格121

附录9 国外主要模型发动机型号和规
格122

附录10 模型发动机常用词汇英汉对
照123

附录11 几种二行程活塞式模型发动机
的装配图128

第1章 概述

活塞式模型发动机属于微型内燃机的范畴，过去习惯上把工作容积在 15mL 以下的微型内燃机称作模型发动机或模型内燃机。目前，由于 25 ~ 100mL 的模型发动机在中大型遥控模型飞机、船模、车模上逐步广泛使用，所以实际上除竞赛规则对各级别模型用发动机容积有限制外已无严格限制。

模型发动机根据工作原理可分为活塞式发动机和喷气式发动机两类。根据具体结构，活塞式模型发动机又分压燃式、电热式^①、电点火式、二氧化碳式、旋转活塞式、旋转汽缸式六种，图 1-1 表示几种活塞式模型发动机的外形。喷气式模型发动机则可分为脉动喷气发动机和涡轮喷气发动机两类。

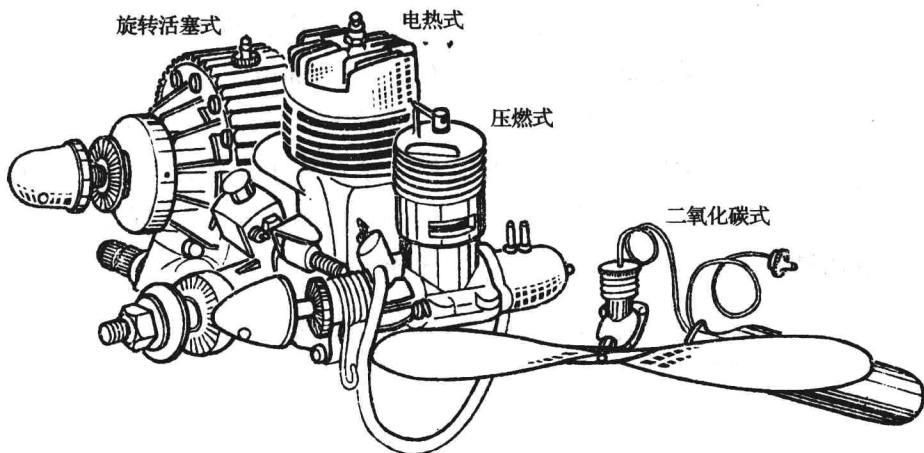


图 1-1 各种形式的模型发动机

本书主要介绍目前应用最广泛的两种活塞式模型发动机——压燃式和电热式内燃机，而对电点火式、二氧化碳式、旋转活塞式和旋转汽缸式发动机以及喷气模型发动机只作简单介绍。目前，世界上主要有十多个国家的几十家工厂成批生产模型发动机，生产的类型主要有两类：普及型和竞赛型。普及型模型发动机产量占大多数，主要用作陆

海空模型的动力，满足爱好者的业余活动或为产品进行模型试验的需求。普及型发动机主要目标不是追求最大功率，而是要求结构简单、工作可靠、价格便宜、使用方便、容易启动和调整，其性能要求也没有一定的标准，产品的质量、性能比较稳定。竞赛型发动机则有特殊的性能要求，一般要求在相同的工作容积下具有最大的功率（如竞速发动

^①电热式发动机，英文名称为 Glow Engine，曾被译为热火式发动机、辉光式发动机等。由于我国航空模型竞赛规则中称作电热式发动机，因此本书使用这一名称。

机)、最高的效率(如航空模型中用的小组竞速发动机)、最好的调速性能(如遥控模型用发动机)等。竞赛型发动机虽然性能优良,但使用维护要求也高,油料、热火栓等对性能影响更为明显。

目前,除了竞赛型小组竞速航空模型的发动机是竞赛型压燃式竞速发动机外,其他压燃式发动机均属普及型发动机,它们使用的转速比电热式发动机低,用的螺旋桨尺寸较大。压燃式发动机的优点是使用方便并省油,但因其调速性能不太好,在相同的功率下,其振动比电热式发动机大,所以很少用于大尺寸的遥控模型上,一般只做成 2.5mL 以下的小型模型发动机。大多数模型发动机都属二行程内燃机,其主要优点是结构简单,在相同汽缸工作容积下,功率比四行程发动机增加 50% 左右;四行程模型发动机的优点是油耗小、经济性好。

我国从 20 世纪 50 年代开始试制和生产模型内燃机,现在是世界上生产模型发动机数量最多的国家之一,有几家专业生产模型发动机的工厂,可生产规格为 0.8 ~ 40mL 的各种类型发动机。经过精心研制的国产高级发动机,其性能已达到国际先进水平,使用国产模型发动机的航空、航海模型曾多次打破世界纪录。日本、意大利是世界上生产竞赛型电热式发动机较多的国家,英国是生产普及型压燃式发动机较多的国家。

活塞式模型发动机的规格一般是以汽缸的工作容积表示的,公制单位为 mL (cm^3),英制单位为 in^3 ^①。常见的模型发动机工作容积为 0.8 ~ 20mL,绝大多数为单缸,所产生的功率为 0.1 ~ 4hp^②,转速为 2000 ~ 35000r/min。模型发动机常见规格见表 1-1。

表 1-1 模型发动机常见规格

英制/ in^3	0.049	0.09	0.12	0.15	0.19	0.20	0.25	0.29	0.35	0.40	0.45	0.60	0.91	1.20	1.50
公制/mL	0.8	1.5	2.0	2.5	3.1	3.5	4 [*]	5	5.8	6.8	7.5	10	15	20	25

压燃式发动机如以 mL 为单位,大致分级为:0.5、0.75、1.0、1.5、2.0、2.5、3.5 几个规格,很少有 3.5mL 以上的压燃式发动机。工作容积为 0.049in^3 ,即 0.8mL 的发动机也称为 1/2A 型发动机。

近年来,电动机在陆海空模型上逐渐得到广泛应用,本书介绍的模型发动机主要为模型用内燃机,但习惯上仍通称模型发动机,

对电动机在模型上的应用可参考其他相关图书。

编写本书的主要目的是帮助广大陆海空模型爱好者选择和使用合适的模型发动机,因此本书尽可能避免使用高深术语和复杂的数学公式。

为便于实用,本书内容力求简单明了。模型发动机的内容共分 15 章,读者需要了解有关内容时,可直接查阅有关章节。

① $1\text{in}^3=16.39\text{mL}$ 。
② $1\text{hp}=745.7\text{W}$ 。

第2章 模型发动机的工作原理

各种形式和牌号的活塞式模型发动机基本结构及组成零件相似。压燃式模型发动机和电热式模型发动机的构造分

别如图2-1、图2-2所示。喷气式模型发动机的基本构造如图2-3、图2-4所示。

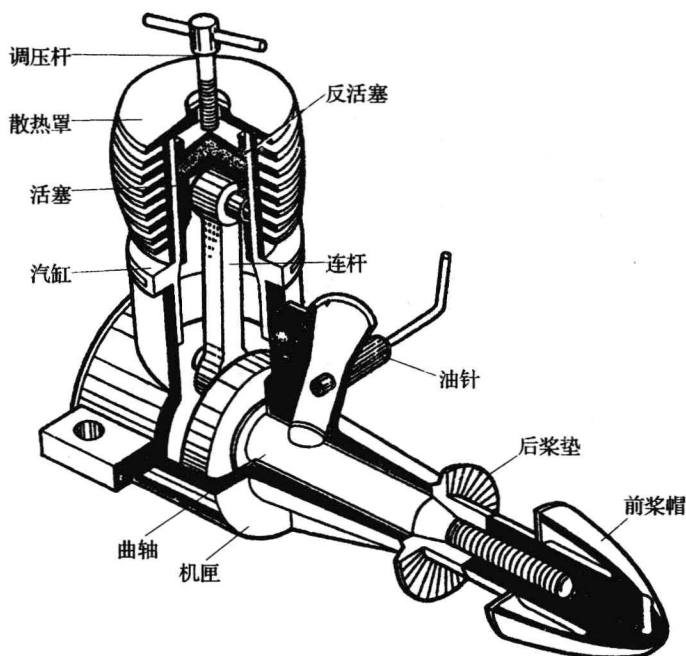


图 2-1 压燃式发动机剖视图

模型发动机的结构虽然简单，但基本组成和工作原理与飞机、汽车和摩托车用的发动机相似，都利用燃料在汽缸中燃烧产生高压气体来推动活塞运动，活塞又通过曲柄连杆机构带动曲轴转动，驱动螺旋桨或机轮旋转。但模型发动机的转速要比飞机、汽车和摩托车发动机的转数高得多，这主要是因为模型发动机上的运动零件体积小、重量^①轻、行程短，所以它们在运动时的惯性也就比较小。但也因为转速高，模型发动机的寿命比大发动机要短得多，最大功率寿命一般在几

小时至几百小时。

为了说明活塞式发动机的工作原理，先按图2-5说明相关术语。

上止点：活塞在汽缸中运动时，由于受曲轴的曲臂所限制，只能在一定的范围内上下运动。活塞在汽缸中运动时所能达到的最高位置为上止点，用TDC表示。

下止点：活塞在汽缸中运动时所能达到的最低位置，用BDC表示。

工作行程：活塞的上止点与下止点之间的距离。发动机曲轴转一圈，活塞经过从上

^① 本书所提“重量”为“质量”概念，单位为kg。

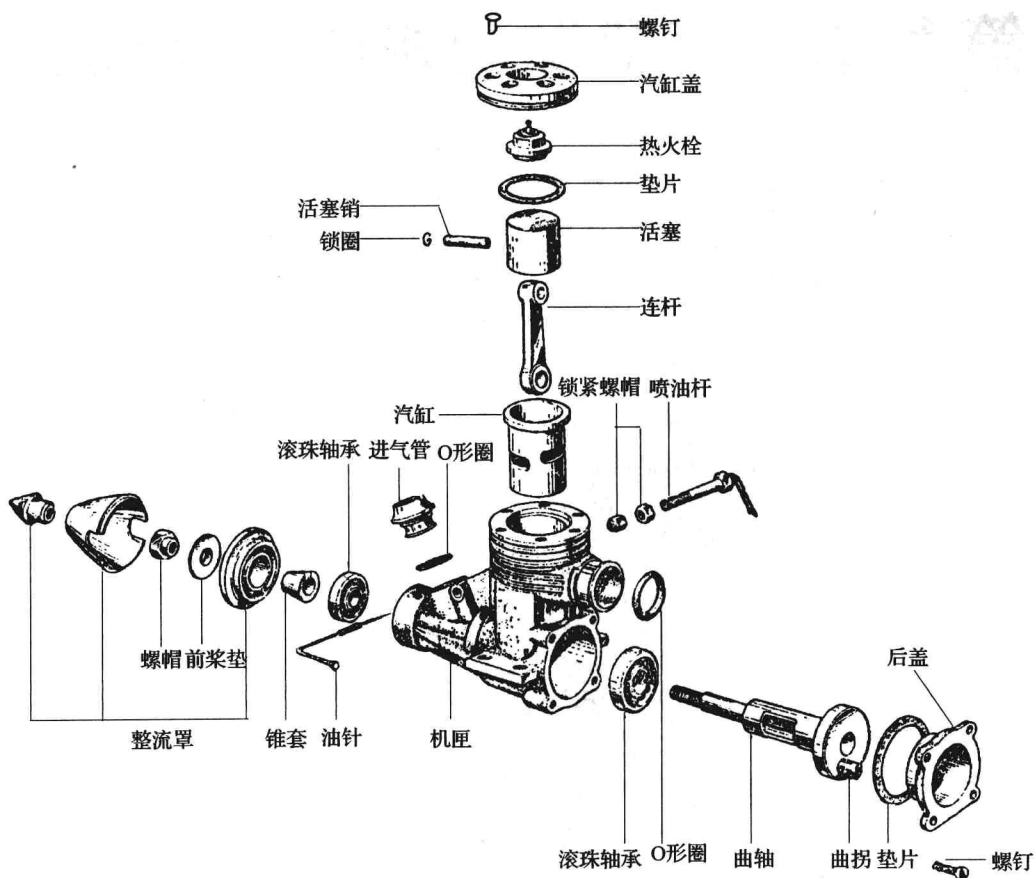


图 2-2 电热式发动机剖视图

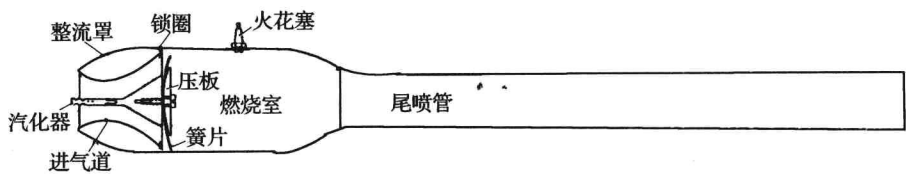


图 2-3 脉动喷气式模型发动机

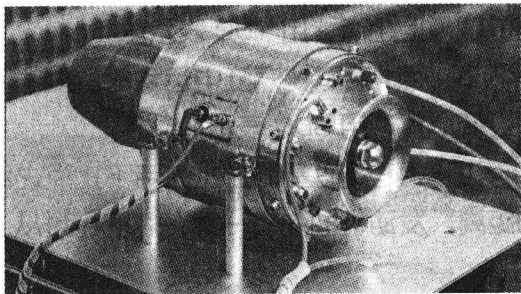


图 2-4 涡轮喷气模型发动机的外形

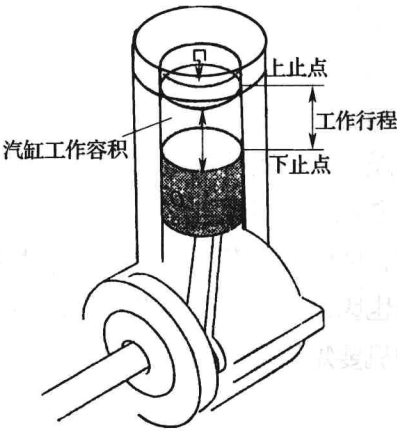


图 2-5 活塞式发动机结构图

到下和从下到上两个工作行程。

汽缸工作容积：上止点与下止点之间的空间容积。

飞轮作用：二行程发动机只有在活塞从上止点到下止点这一行程是做功的，下一行程（即活塞自下向上运动的行程）发动机不做功。所以发动机需要借助曲轴旋转的惯性来完成循环，使发动机运转平稳。通常，模型发动机用螺旋桨来代替飞轮，或者配有专门的飞轮。

一、二行程模型发动机

目前，绝大多数模型发动机是二行程的。二行程发动机的特点是当曲轴（或螺旋桨）旋转一圈时，活塞在汽缸内完成一次向上、一次向下运动的同时，完成了可燃混合气吸入机匣（进气过程）、进入汽缸（扫气过程）、燃气压缩（压缩过程）、点火和膨胀（爆炸过程）、废气排出（排气过程）的整个工作过程。

二行程发动机的工作过程可用图 2-6 表示。由于二行程发动机的工作过程是交叉进行的（如进气和压缩、膨胀排气和扫气等），因此图 2-6 表示的工作过程超过曲轴运转一圈，并且是从静止开始描述的。

图 2-6 (a) 表示发动机开始起动（用手拨或用起动机起动），活塞在汽缸内向上运动。因为机匣是密封的，随着活塞上行，活塞下部机匣腔内形成低压，使油气混合气从汽化器吸入机匣（这时下半个发动机起一个抽吸泵的作用）。图 2-6 为表示简单起见将汽化器直接画在机匣旁边（相当于一个簧片阀），其实发动机的汽化器常常安排在发

动机前机匣或后盖上。

图 2-6 (b) 表示活塞已达到它运动的最高点（即上止点），进气吸入过程基本完成（实际上活塞过上止点后，由于进气气体的惯性，发动机还能吸入一部分油气混合气），这时活塞下面的机匣内充满了可燃的新鲜油气混合气。曲轴继续旋转，在曲轴的旋转惯性（还包括螺旋桨等的旋转惯性）作用下，活塞通过上止点，进入向下运动的过程（图 2-6 (c)），并开始压缩刚进入下机匣的混合气，同时关闭进气阀。当活塞下行到最低位置（即下止点）的过程中，从图 2-6 (d) 的位置开始，活塞不再遮盖住汽缸与机匣通道（扫气道）连接的窗口（扫气口），所以活塞下方的机匣内被压缩的油气混合气就通过这些窗口（扫气口）进入活塞上方的汽缸顶部。

当活塞再次向上运动时，先是关闭了汽缸上的扫气口（图 2-6 (e)），接着又关闭了汽缸上的排气口，最后将油气混合气密封在汽缸顶部加以压缩（图 2-6 (f)）。当活塞到达上止点前某个位置，由于气体被剧烈压缩后产生的高温（对压燃式发动机而言），或是由于通电后热火栓白金丝的炽热（对电热式发动机而言），将混合气点燃。对于电热式发动机，当转速上升到足够高以后，汽缸顶部燃烧气体的高温会使热火丝保持炽热状态，所以这时即使断开热火丝电源，混合气体仍会继续被点燃，发动机就保持连续运转。气体爆燃后迅速膨胀，推动活塞快速向下运动（图 2-6 (g)）。在这个阶段，发动机才将热能转化为机械能，并由曲轴输出做功。

在活塞向下运动的过程中，汽缸上的排气口首先打开（图 2-6 (h)），经过燃烧的

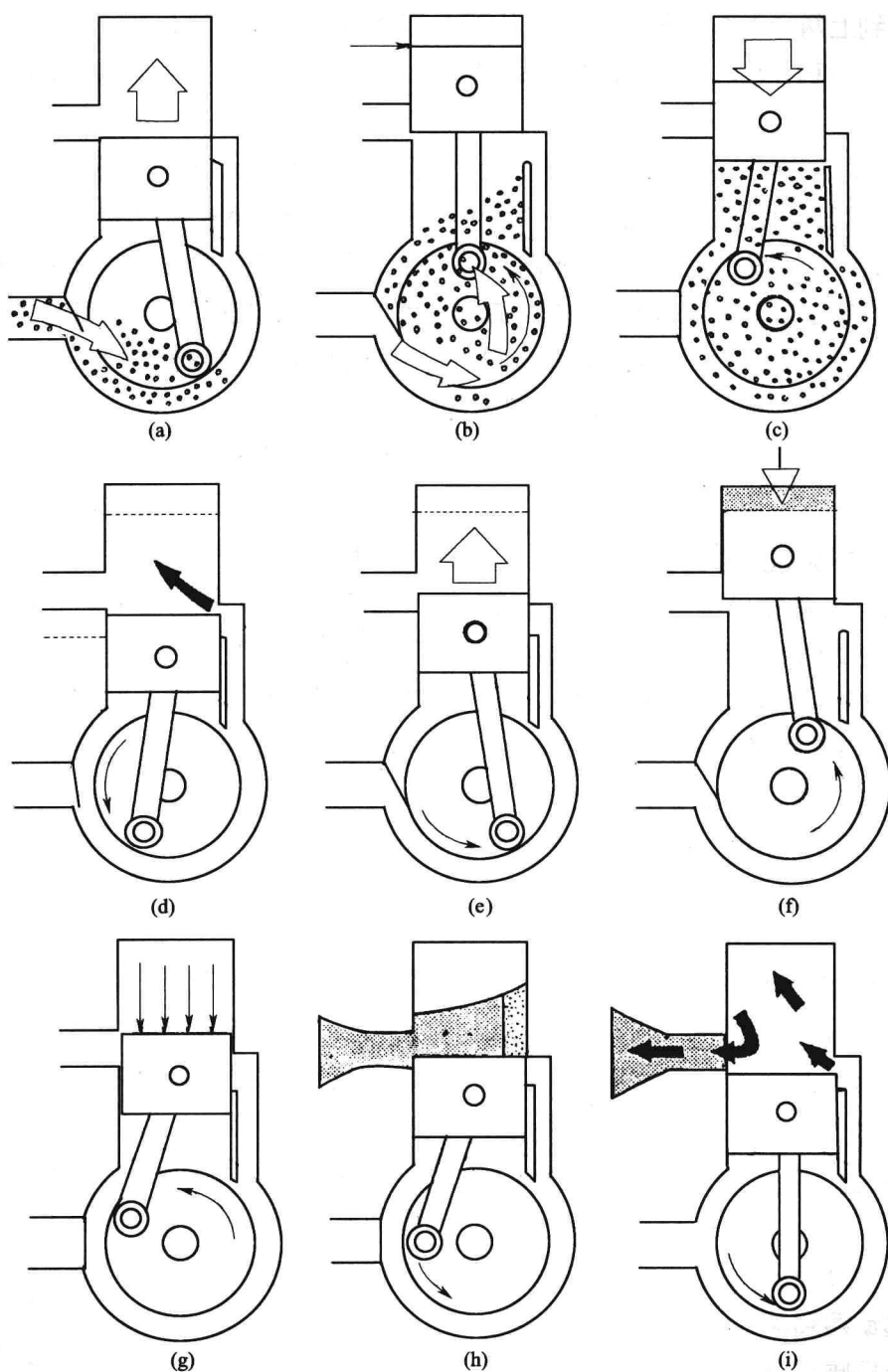


图 2-6 二行程发动机工作过程

废气通过排气口排出。这就是发动机的一个进气、扫气、压缩、膨胀及排气循环。在这一循环还未结束时，下一循环已经开始了。例如，前一循环中活塞下行排气的同时，压

缩了活塞下面机匣内的混合气，下一循环中的扫气也开始进行了(图 2-6 (I))。事实上，发动机的排气口比扫气口早一点儿打开，接着是排气口和扫气口同时打开，从扫气口进

入汽缸的新鲜燃气还有助于吹跑（即扫除）汽缸内残存的废气，所以称新鲜燃气进入汽缸的过程为扫气过程是很合适的。发动机运转时，不断重复图 2-6 所示的工作过程。

显然，发动机曲轴在旋转一圈的过程中，各有多少时间进气、扫气、排气及它们之间的相位关系如何，与发动机的性能有很大的关系。为了提高发动机的性能，最好这三者的时间都足够长，以保证充分的进气、扫气和废气排除。但这三者必须在活塞上、下运动一个循环中完成，因此又相互受到制约。模型发动机的进气、扫气和排气的开始、终止时间称为分气定时，通常它们是以曲轴

转动的角度来衡量的，如图 2-7 所示。混合气被上行的活塞压缩后，点火要及时。若点火太早，活塞还没有运动到上止点混合气就开始爆燃，将阻碍活塞向上止点的运动；活塞过了上止点后，若发动机还没有点火，而要到被压缩的气体开始膨胀后再点火，就不能发挥出推动活塞下行的最大爆发力，致使发动机功率下降。由于发动机从点火到被压缩的混合气全部点燃要有一小段时间，所以正确的点火时间要在活塞到达上止点前一些，而最大的爆燃压力则要在过上止点后一些，这样既能保证最大压力作用在活塞上，又能保证发动机连续转动。

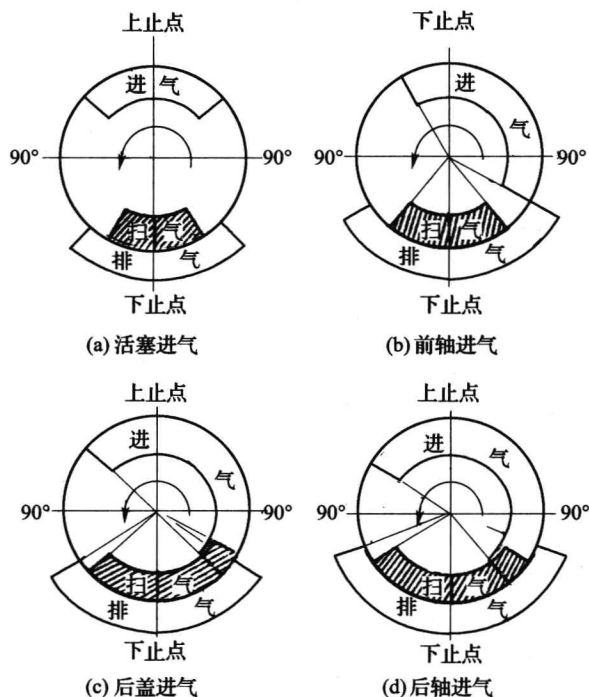


图 2-7 二行程发动机工作相位关系

在活塞向下运动的过程中，排气口不能开得太早，否则驱动压力丧失过早，会影响发动机的功率。另一方面，排气时间要足够长，排气口面积要足够大，以便使废气能尽量排出。扫气时间也要足够长，扫气口面积也必须足够

大，以便使下机匣内被压缩的燃气尽可能多地驱入汽缸顶部。

二行程发动机的正常工作依赖于燃油与空气适当的混合比例及正确的点火时间，只有这样才能保证曲轴每转一圈点一次火，

使发动机的分气定时决定发动机进气、扫气、排气口的开关时间。不同类型和不同性能的发动机，其分气定时可能有很大的差别。进

气是由曲拐旋转到上止点前后的角度来表示的，排气和扫气则是由曲拐旋转到下止点前后的角度来表示的。图 2-8 表示了几种不

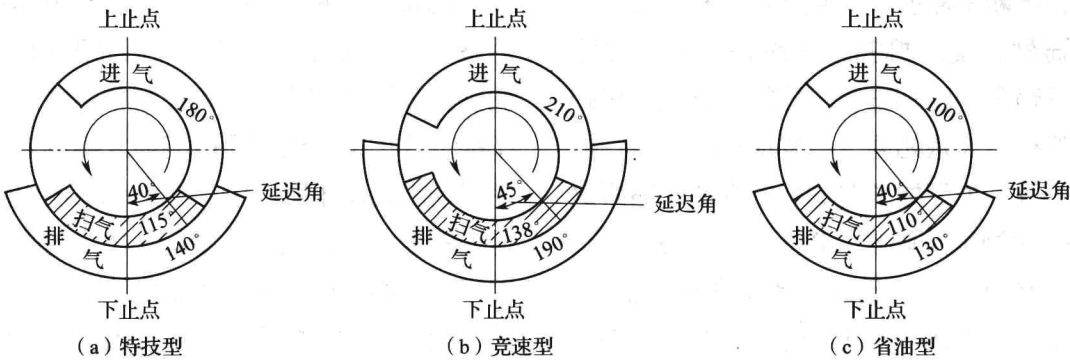
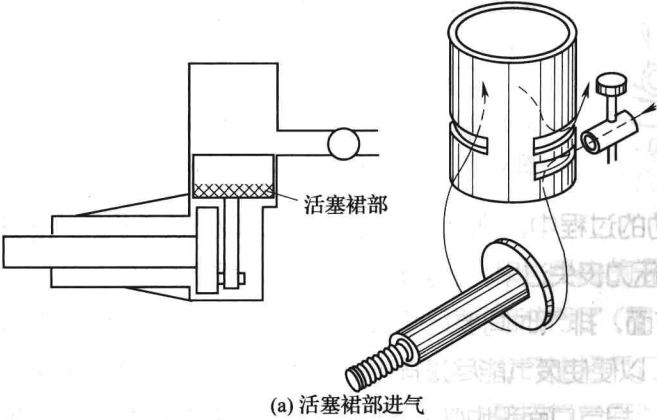


图 2-8 不同模型发动机的分气定时

同类型发动机的分气定时。

二行程活塞式模型发动机的进气方式主要有图 2-9 所示的五种。最简单的进气方式是将进气管连接在汽缸壁上，由活塞裙部的上下运动来决定进气口的开关时间（图 2-9 (a)）。这种进气方式在早期压燃式发动机上被广泛采用，现在被淘汰。其主要缺点是进气时间对称，即活塞下行时和上行时进气时间一样。而为提高进气量，显然在活塞到达上止点前应比过上止点后有更大的进气角，即不对称进气方式比较有利。对称进气的发动机，在正、倒转时性能相同。不对称进气

的发动机，只有按设计的旋转方向转动才能发挥出最大功率。绝大多数现代模型发动机都采用转阀进气方式，对前（后）轴进气的发动机，这个转阀装在曲轴的前（后）轴颈上（图 2-9 (b)、(c)）。进气时间取决于曲轴上进气孔的径向位置和宽度。对后旋板进气的发动机（图 2-9 (d)），汽化器与机匣后盖相连，后盖内侧装有由曲柄带动的旋板阀，旋板上进气孔的位置和宽度决定发动机的进气相位，更换旋板或修锉旋板孔的尺寸，就可以很方便地变更发动机的进气时间。



(a) 活塞裙部进气

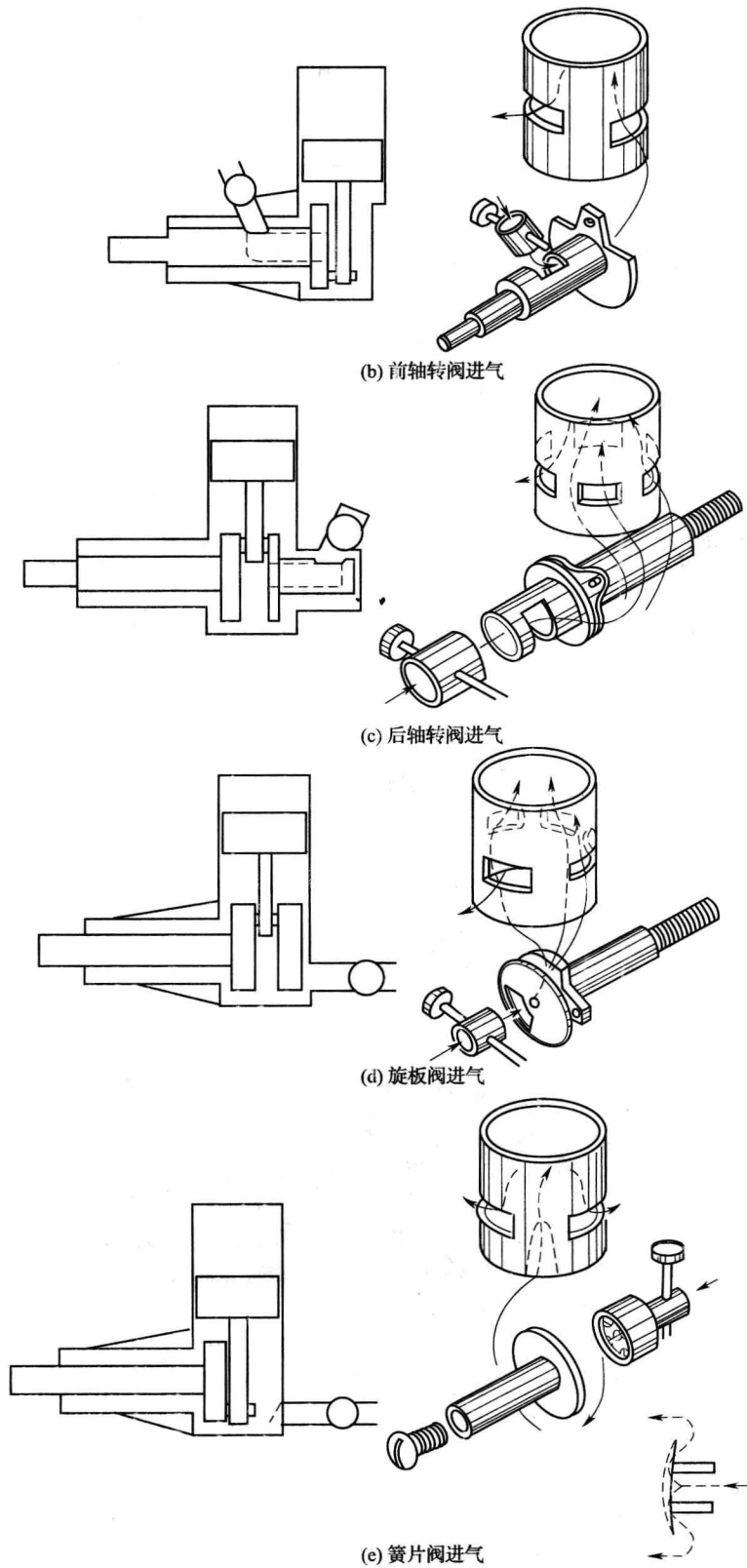


图 2-9 二行程发动机的进气方式

另一种简单的进气方式是由机匣压力自动控制簧片阀(图2-9(e)),进气是由装在机匣后盖上的一片弹性金属片(一般是不锈钢薄片)控制。当活塞上行时,下机匣形成的负压使簧片打开。当活塞开始下行,下机匣压力开始上升而超过机匣外界压力时,簧片阀就关闭,下机匣内的新鲜混合气就经扫气道进入汽缸上部。簧片阀主要是用在小尺寸的电热式发动机上。

二、四行程模型发动机

四行程发动机与二行程发动机不同,活塞要上下运动两次才完成进气、压缩、燃烧、膨胀、排气这样一个工作过程。

四行程模型发动机的内部结构如图

2-10所示,它的特点是在汽缸头上设有由曲轴带动凸轮控制的进气和排气阀门。在活塞上行到接近上止点时,进气门打开,当活塞由上止点向下止点移动时,新鲜燃气由进气门吸入(图2-11(a)),当活塞下行到下止点附近,进气门关闭,接着活塞向上运动,压缩刚进入汽缸的可燃混合气(图2-11(b))。当活塞上行到接近上止点时,发动机点火,燃烧过程开始。当活塞刚过上止点时,燃气的爆发力将活塞下推做功(图2-11(c)),燃烧产物所积聚的内能在膨胀过程中被转变为机械能。当活塞再次运动到下止点附近,排气门打开,活塞再次上行时,将汽缸内经过燃烧的废气从排气门排出(图2-11(d)),然后排气门关闭,进气门又打开,重复上述工作过程。

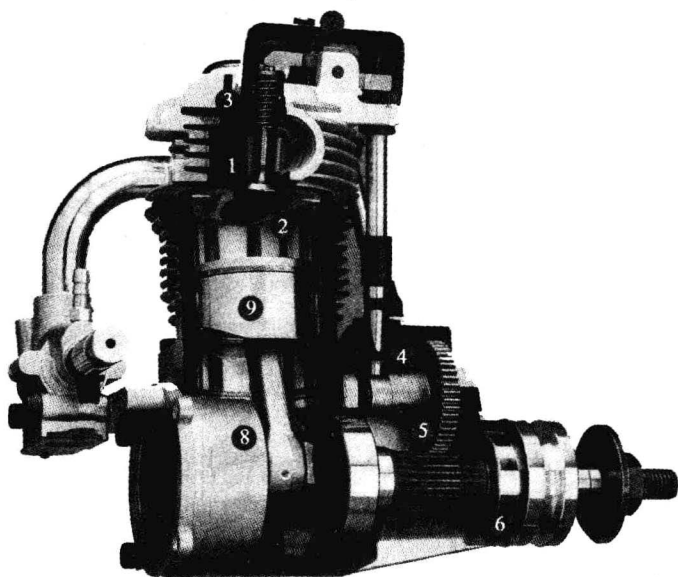


图 2-10 四行程发动机剖视图

- 1—进排气阀门;2—燃烧室;3—进排气阀门摇臂座;4—进排气顶杆;5—进排气顶杆凸轮;
6—密封型前轴承;7—进排气阀门摇臂;8—前发动机后盖;9—活塞

从上述工作过程可以明显看出,四行程发动机的新鲜燃气进入汽缸和废气从汽缸内排出是分别在两个行程中进行的,而二行程发动机排气和扫气有一段交叉的时间,因

此四行程发动机的经济性好(指耗油量小),这是它的最大优点。四行程发动机还可根据功率需要配置数量不同的多缸发动机,如图2-12所示。

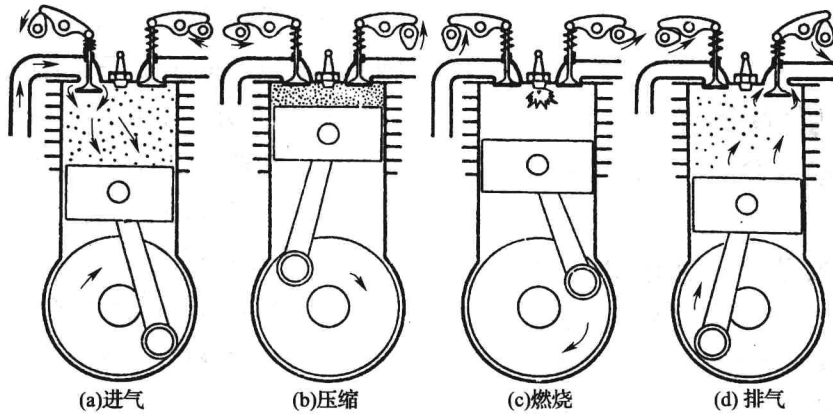


图 2-11 四行程发动机的工作过程

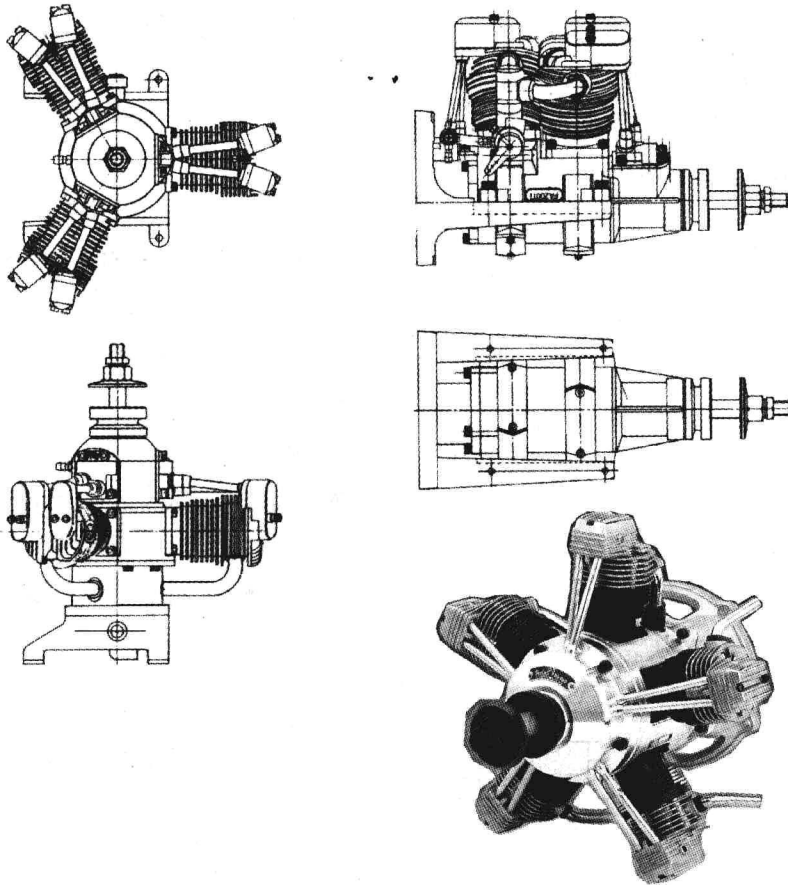


图 2-12 多缸四行程发动机

由于四行程发动机增加了一套气门联动机构,所以在结构上比二行程发动机复杂。另外,二行程发动机在单位时间内的工作循

环数比四行程发动机提高一倍,实际功率输出在相同体积、重量下较大,所以目前世界上只有少数几个国家研制和生产四行程模型

发动机。

三、电点火式发动机

电点火式模型发动机工作原理与电热式发动机相似，只是点火不用热火栓，而是用像摩托车发动机上使用的火花塞，如图 2-13 所示。火花塞两极用耐高温合金制成，外面套有瓷质绝缘体，底座有螺纹，以便于在发动机上装卸。火花塞要在高压下才能产生火花，因此模型上还要携带作为高压电能源的小型蓄电池及变换产生高压电的变压线圈，如图 2-14 所示。通常采用 3 ~ 4 节干电池串联作为电源与升压线圈的初级相连，升压线圈的次级（高压端）与发动机的火花塞两端相连。变压器有一个铁芯，在它外面绕有初级线圈（粗线）和次级线圈（细线），初级线圈 200 ~ 250 匝，次级线圈 15000 ~ 20000 匝。在初级线路中有断电器

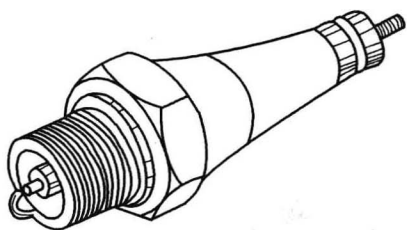


图 2-13 火花塞

来控制初级线圈电流的通或断。断电器由曲轴上的缺口（或凸轮）来控制其闭合或断开如图 2-15 所示。断电器可以用调节手柄来调节它与曲轴缺口的相对位置，这样也就调节了发动机的点火时间。

电点火机构的工作原理如图 2-14 所示。当活塞上行时，断电器触点闭合，电流通过初级线圈形成磁场。当活塞到达上止点时，断电器接触点正好转到曲轴缺口位置，在弹簧作用下，触点断开，初级线圈电流中断，磁场突然消失，次级线圈上就感应出高压电流，使火花塞放出火花，将被压缩的可燃气点燃爆炸，产生高压推动活塞下行做功。以后重复上述过程，发动机就连续运转。

初级线圈在磁场消失时，因自感作用产生的反向电压会在断电器触点上产生火花，烧蚀触点。因此通常在触点上并联一个电容器，来减小触点火花，延长断电器的寿命。

电点火发动机的曲轴前部有一缺口，发动机旋转时，这个缺口按时接通和断开断电器的接触点，以控制产生电火花的时间。有些曲轴在螺纹后一小段做成偏心轮形状，断电器就套在上面。

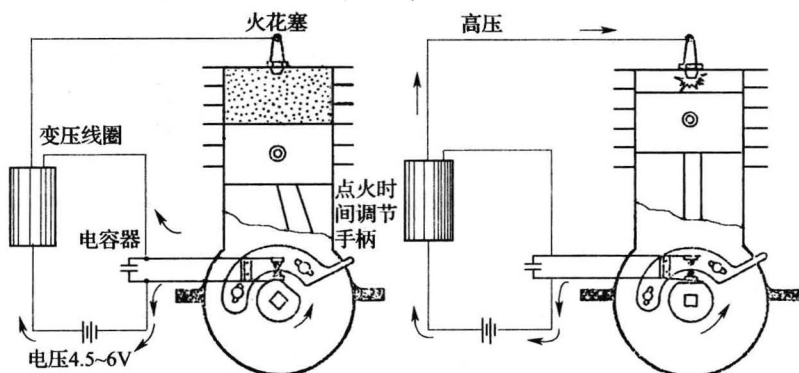


图 2-14 升压点火系统