

# 移动电源与控制技术

王维俊 编著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 移动电源与控制技术

王维俊 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

移动电源与控制技术是一门集发电机技术、电源技术、电力电子技术、控制技术于一体的综合技术。本书主要介绍一些正在兴起和广泛使用的移动电源的结构、原理及其控制技术。全书共分6章。第1章介绍发动机的结构与工作原理。第2章介绍三相同步发电机的励磁系统、并列运行条件及功率分配,单相同步发电机的结构及励磁方式,永磁发电机的特点及性能。第3章介绍三相和单相异步发电机的结构原理及电压建立。第4章介绍新型电源,即UPS和EPS的结构、原理及区别,燃料电池等静音电源。第5章介绍在移动电源中应用最广泛的TMS320LF240x DSP原理。第6章介绍移动电源的控制技术。

本书适合作为高等院校电气工程及自动化专业的教学用书,也可作为相关领域研究生和工程技术研发人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

移动电源与控制技术 / 王维俊编著. —北京:科学出版社,2010.6  
ISBN 978-7-03-027048-1

I. ①移… II. ①王… III. ①移动式-电源-技术 IV. ①TM91

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第047904号

责任编辑:王志欣 孙芳 / 责任校对:鲁素  
责任印制:赵博 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010年6月第一次印刷 印张:12

印数:1—4 500 字数:229 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

科学技术的不断进步及军事后勤装备的不断发展为移动电源的发展注入了新的内容。移动式发电机组从以单纯的同步发电机组发电发展到异步发电机组发电、永磁发电机组发电、高速发电系统发电,呈现出多种形式。随着电力电子技术和控制技术的发展,不间断电源(uninterruptible power supply, UPS)、应急电源(emergency power supply, EPS)、燃料电池等新型电源也以移动电源形式出现,给移动电源赋予了崭新的内容。

为促进移动电源性能的进一步提高和理论的不完善,作者在查阅大量文献的基础上,将长期从事移动电源研究的成果及国内外的研究成果进行总结,撰写本书,并期盼它的出版对国内移动电源的进一步发展做出贡献。

全书由王维俊统筹设计、撰写和主审,毛龙波博士、江敏博士、叶盛博士参与了本书的部分编写工作,郭军华副教授、杨静讲师、研究生刘长清参加了本书的图形绘制工作,作者在此表示深切的谢意。本书在编写中参考了国内外有关的研究成果和文献,对这些文献的作者也一并致谢。

由于作者学识有限,本书难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2010年3月24日

# 目 录

## 前言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| <b>第 1 章 发动机的结构与工作原理</b> ..... | 1  |
| 1.1 发动机的基本工作原理 .....           | 1  |
| 1.1.1 二冲程发动机的工作原理 .....        | 2  |
| 1.1.2 四冲程发动机的工作原理 .....        | 4  |
| 1.1.3 二冲程发动机与四冲程发动机的比较 .....   | 7  |
| 1.2 发动机的结构 .....               | 7  |
| 1.2.1 曲柄连杆机构 .....             | 7  |
| 1.2.2 配气机构 .....               | 12 |
| 1.2.3 燃油供给系统 .....             | 13 |
| 1.2.4 润滑系统 .....               | 15 |
| 1.2.5 冷却系统 .....               | 16 |
| 1.2.6 起动系统 .....               | 16 |
| 1.2.7 点火系统 .....               | 17 |
| 1.2.8 增压系统 .....               | 18 |
| 1.3 发动机的发展趋势 .....             | 20 |
| <b>第 2 章 同步发电机</b> .....       | 23 |
| 2.1 三相同步发电机 .....              | 23 |
| 2.1.1 三相同步发电机的基本结构 .....       | 23 |
| 2.1.2 三相同步发电机的工作原理 .....       | 26 |
| 2.1.3 三相同步发电机的励磁系统 .....       | 27 |
| 2.1.4 三相同步发电机的并列运行 .....       | 32 |
| 2.1.5 并列运行发电机组的功率分配 .....      | 35 |
| 2.2 单相同步发电机 .....              | 39 |
| 2.2.1 单相同步发电机的基本结构 .....       | 39 |
| 2.2.2 单相同步发电机的工作原理 .....       | 40 |
| 2.2.3 单相同步发电机的励磁方式 .....       | 40 |
| 2.3 永磁发电机 .....                | 48 |
| 2.3.1 永磁材料的发展 .....            | 48 |
| 2.3.2 永磁发电机的特点 .....           | 49 |

|            |                                  |            |
|------------|----------------------------------|------------|
| 2.3.3      | 永磁发电机的结构 .....                   | 50         |
| 2.3.4      | 永磁发电机的参数、性能和运行特性 .....           | 52         |
| <b>第3章</b> | <b>异步发电机 .....</b>               | <b>57</b>  |
| 3.1        | 三相异步发电机 .....                    | 57         |
| 3.1.1      | 三相异步发电机的结构 .....                 | 57         |
| 3.1.2      | 三相异步发电机的基本原理 .....               | 59         |
| 3.1.3      | 三相异步发电机的励磁 .....                 | 60         |
| 3.2        | 单相异步发电机 .....                    | 64         |
| 3.2.1      | 单相异步发电机的结构 .....                 | 64         |
| 3.2.2      | 单相异步发电机的基本原理 .....               | 66         |
| <b>第4章</b> | <b>新型电源 .....</b>                | <b>78</b>  |
| 4.1        | UPS .....                        | 78         |
| 4.1.1      | UPS 的特点及分类 .....                 | 78         |
| 4.1.2      | UPS 的电路结构和工作原理 .....             | 82         |
| 4.1.3      | UPS 的选用 .....                    | 86         |
| 4.1.4      | UPS 技术的发展 .....                  | 94         |
| 4.2        | EPS .....                        | 95         |
| 4.2.1      | EPS 的特点及分类 .....                 | 95         |
| 4.2.2      | EPS 的结构组成和工作原理 .....             | 97         |
| 4.2.3      | EPS 的选用 .....                    | 99         |
| 4.2.4      | EPS 和 UPS 的区别 .....              | 103        |
| 4.3        | 燃料电池 .....                       | 104        |
| 4.3.1      | 燃料电池的发电原理 .....                  | 104        |
| 4.3.2      | 燃料电池的分类 .....                    | 105        |
| 4.3.3      | 燃料电池的应用 .....                    | 107        |
| <b>第5章</b> | <b>TMS320LF240x DSP 原理 .....</b> | <b>112</b> |
| 5.1        | TMS320LF240x 的引脚功能 .....         | 112        |
| 5.2        | TMS320LF240x 的总体结构及特点 .....      | 121        |
| 5.2.1      | 总体结构 .....                       | 121        |
| 5.2.2      | 结构特点 .....                       | 121        |
| 5.3        | TMS320LF240x 的存储器组织 .....        | 123        |
| 5.4        | TMS320LF240x 的指令系统 .....         | 125        |
| 5.4.1      | 程序控制 .....                       | 125        |
| 5.4.2      | 寻址方式 .....                       | 126        |
| 5.5        | TMS320LF240x 的状态寄存器 .....        | 127        |

---

|              |                                |            |
|--------------|--------------------------------|------------|
| 5.6          | TMS320LF240x 的中断 .....         | 128        |
| 5.6.1        | 外设中断扩展控制器 .....                | 128        |
| 5.6.2        | 中断向量 .....                     | 132        |
| 5.6.3        | 中断响应的流程 .....                  | 132        |
| 5.6.4        | 中断响应的延时 .....                  | 133        |
| 5.6.5        | CPU 中断寄存器 .....                | 133        |
| 5.6.6        | 外设中断寄存器 .....                  | 135        |
| 5.6.7        | 复位 .....                       | 135        |
| 5.6.8        | 无效地址检测 .....                   | 135        |
| 5.6.9        | 外设中断控制寄存器 .....                | 136        |
| 5.7          | TMS320LF240x 的事件管理器及 PWM ..... | 136        |
| 5.7.1        | 通用定时器 .....                    | 137        |
| 5.7.2        | PWM 和空间 PWM 波形的生成 .....        | 144        |
| 5.7.3        | 增量式光电编码器接口(QEP) .....          | 152        |
| 5.7.4        | 捕捉单元 .....                     | 154        |
| 5.8          | TMS320LF240x 的工作过程简述 .....     | 156        |
| <b>第 6 章</b> | <b>移动电源的 DSP 控制 .....</b>      | <b>158</b> |
| 6.1          | 基于 DSP 的发电机控制系统 .....          | 158        |
| 6.2          | TMS320LF240x 的常用接口电路 .....     | 159        |
| 6.2.1        | 输入输出接口 .....                   | 159        |
| 6.2.2        | D/A 及 A/D 转换电路 .....           | 159        |
| 6.2.3        | 键盘和显示控制 .....                  | 160        |
| 6.3          | 发电机的参数检测 .....                 | 160        |
| 6.3.1        | 电流的检测 .....                    | 160        |
| 6.3.2        | 电压的检测 .....                    | 160        |
| 6.3.3        | 频率及转速的检测 .....                 | 161        |
| 6.4          | 发电机的励磁控制 .....                 | 165        |
| 6.5          | 发电机的频率控制 .....                 | 171        |
| 6.5.1        | 步进电动机 .....                    | 171        |
| 6.5.2        | 步进电动机的控制 .....                 | 173        |
| 6.6          | 电源的 DSP 控制 .....               | 178        |
| 6.6.1        | 逆变电源 .....                     | 178        |
| 6.6.2        | DSP 在逆变电源中的应用 .....            | 179        |
| <b>参考文献</b>  | <b>.....</b>                   | <b>181</b> |

# 第 1 章 发动机的结构与工作原理

移动电源由发动机、发电机和控制系统三部分组成。其中,发动机是使燃料直接在气缸内部燃烧并借助工质(燃气)的状态变化实现做功的机械。其结构复杂,工作温度较高,是造成移动电源工作异常的主要环节。因此,要安全可靠地使用移动电源,必须掌握发动机的结构与工作原理。

## 1.1 发动机的基本工作原理

移动电站采用的发动机按照所使用的燃料可以分为柴油机和汽油机两种,按照一个工作循环所需行程数的不同,又可分为二冲程发动机和四冲程发动机。

图 1.1 为单缸往复式活塞式发动机结构示意图。工作时,活塞在气缸内作往复直线运动,通过活塞销、连杆推动曲轴做旋转运动。进气门和排气门分别用来吸入新鲜空气和排除废气。活塞改变运动方向的瞬时位置称为止点,止点处的活塞瞬时运动速度为零,其中,离曲轴中心最远的止点称为上止点,最近的止点称为下止点。

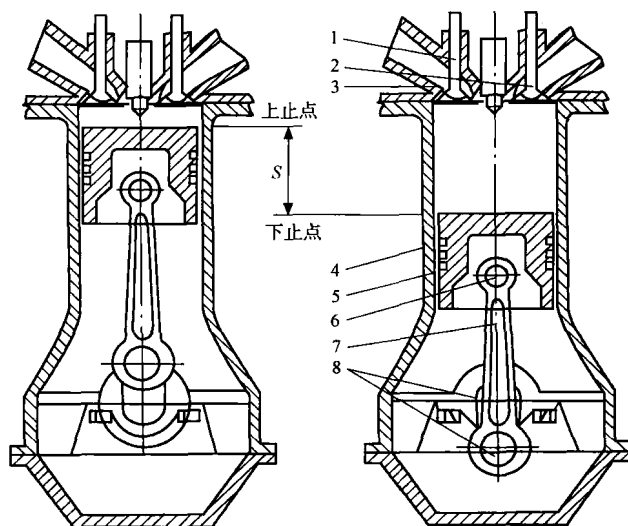


图 1.1 单缸往复式活塞式发动机基本结构图

1. 排气门; 2. 进气门; 3. 气缸盖; 4. 气缸; 5. 活塞; 6. 活塞销; 7. 连杆; 8. 曲轴

曲柄销中心与主轴颈中心之间的距离称为曲柄半径。连杆大、小端中心间的距离称为连杆长度。上、下止点间的距离称为活塞行程。活塞行程等于曲柄半径的两倍。活塞在上、下止点间移动扫过的容积称为气缸工作容积。活塞位于上止点时,活塞顶与气缸盖之间的气缸容积称为燃烧室容积。活塞位于下止点时,活塞顶与气缸盖之间的容积称为气缸总容积。气缸总容积与燃烧室容积之比称为压缩比。

### 1.1.1 二冲程发动机的工作原理

曲轴每旋转一圈,活塞往复运动一次,完成一个工作循环的往复活塞式发动机称为二冲程发动机。

#### 1. 单缸二冲程柴油机的工作原理

图 1.2 为带扫气泵的气门-气孔式直喷二冲程柴油机,这种柴油机没有进气门,而是在气缸或气缸套壁上设有一组进气孔,其开闭是由活塞的上下运动控制的,气缸盖上设有排气门。新鲜空气通过扫气泵提高压力之后,依靠压力差经由气缸外部的空气室和气缸壁上的进气孔进入气缸,并把前一循环气缸中残留的废气由排气门排出,这种进、排气同时进行的过程称为换气行程。

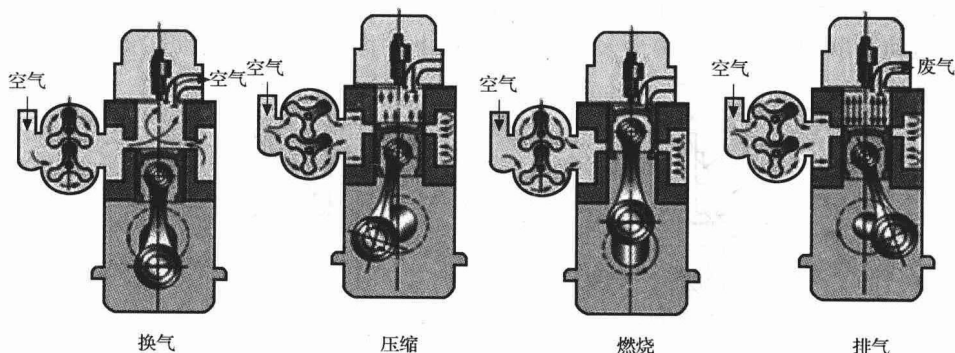


图 1.2 二冲程柴油机的工作原理简图

(1) 第一行程。第一行程为换气-压缩行程,活塞由下止点移至上止点。当活塞还处于下止点位置时,进气孔和排气门均已开启。扫气泵将纯净的空气增压到  $0.12 \sim 0.14 \text{ MPa}$  后,经空气室和进气孔送入气缸,扫除其中的废气。废气经气缸顶部的排气门排出。当活塞上移将进气孔关闭的同时,排气门也关闭,进入气缸内的空气开始被压缩。活塞运动至上止点,压缩过程结束。

(2) 第二行程。第二行程为膨胀-换气行程,活塞由上止点移至下止点。当压缩过程终了时,高压柴油经喷油器喷入气缸,并自行着火燃烧。高温高压的燃烧气体推动活塞做功。当活塞下移  $2/3$  行程时,排气门开启,废气经排气门排出。活塞

继续下移,进气孔开启,来自扫气泵的空气经进气孔进入气缸进行扫气。扫气过程将持续到活塞上移时将进气孔关闭为止。

## 2. 单缸二冲程汽油机的工作原理

图 1.3 为二冲程汽油机工作原理示意图。这种类型的汽油机没有进气门和排气门,而是在气缸的下部设有三个孔,即进气孔、排气孔和扫气孔,并由活塞来控制这三个气孔的开闭,以实现换气行程。

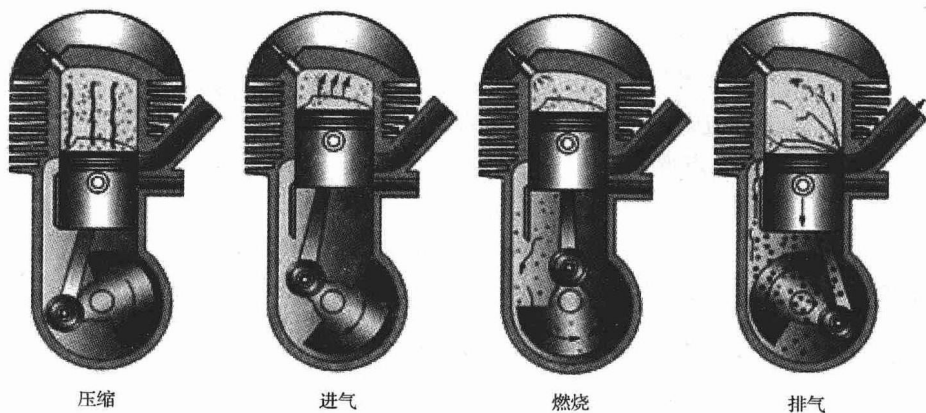


图 1.3 二冲程汽油机的工作原理简图

(1) 第一行程。第一行程为压缩-进气行程,活塞在曲轴带动下由下止点移至上止点。当活塞还处于下止点时,进气孔被活塞关闭,排气孔和扫气孔开启。这时,曲轴箱内的可燃混合气经扫气孔进入气缸,扫除其中的废气。随着活塞向上止点运动,活塞头部首先将扫气孔关闭,扫气终止,但此时排气孔尚未关闭,仍有部分废气和可燃混合气经排气孔继续排出,称其为额外排气。当活塞将排气孔也关闭之后,气缸内的可燃混合气开始被压缩,直至活塞到达上止点,压缩过程结束。在活塞上行的同时,曲轴箱容积增大,形成一定的真空度。在进气孔被活塞裙部开启之后,空气和汽油依靠压力差进入曲轴箱,开始进气。

(2) 第二行程。第二行程为燃烧-排气行程,活塞由上止点移至下止点。在压缩过程终了时,火花塞产生电火花,将气缸内的可燃混合气点燃,燃烧气体膨胀做功。此时,排气孔和扫气孔均被活塞关闭,只有进气孔仍然开启。空气和汽油经进气孔继续进入曲轴箱,直至活塞裙部将进气孔关闭为止。随着活塞继续向下止点运动,曲轴箱容积不断缩小,其中的混合气被预压缩。此后,活塞头部先将排气孔开启,做功后的燃烧气体已成废气,经排气孔排出。至此,做功过程结束,开始先期排气,随后活塞又将扫气孔开启,经过预压缩的可燃混合气从曲轴箱经扫气孔进入

气缸,扫除其中的废气,开始扫气过程,这一过程将持续到下一个活塞行程中扫气孔被关闭时为止。

### 3. 单缸二冲程柴油机与汽油机的异同点

单缸二冲程柴油机与单缸二冲程汽油机都是曲轴每转一周完成一个工作循环,做功一次。但是,它们的结构和工作原理又有所不同,其差别如下。

(1) 在结构上存在较大差别。单缸二冲程柴油机比汽油机多一个扫气泵、一个排气门和一个喷油器;单缸二冲程汽油机比柴油机多一个火花塞。

(2) 柴油机在进气中吸入气缸的是纯空气,而汽油机吸入的是汽油与空气混合形成的可燃混合气,汽油机的可燃混合气是在曲轴箱中形成的。

(3) 柴油机的高压柴油经喷油器喷入气缸后自行着火燃烧,而汽油机的可燃混合气需要由火花塞点燃。

(4) 柴油机的排气是由扫气泵将纯净的空气增压到  $0.12 \sim 0.14 \text{ MPa}$  后,经空气室和进气孔送入气缸,扫除其中的废气;而汽油机是在活塞的挤压下,曲轴箱内的可燃混合气经扫气孔进入气缸,扫除其中的废气,可能会造成可燃混合气的泄漏。

### 1.1.2 四冲程发动机的工作原理

曲轴每旋转两圈,活塞往复运动两次,完成进气、压缩、做功、排气一个工作循环的往复式活塞式发动机称为四冲程发动机。

#### 1. 单缸四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机的工作循环由进气、压缩、喷油着火燃烧、膨胀做功和排气等过程组成。图 1.4 是四冲程柴油机的工作原理简图。

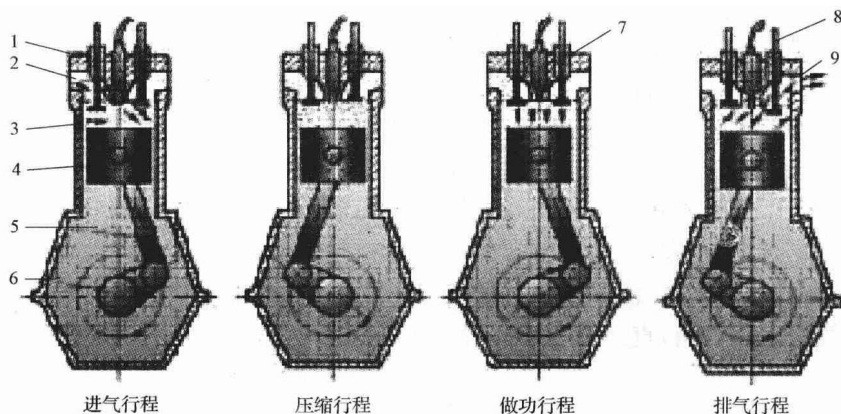


图 1.4 四冲程柴油机的工作原理简图

1. 进气门; 2. 进气管; 3. 气缸; 4. 活塞; 5. 连杆; 6. 曲轴; 7. 喷油器; 8. 排气门; 9. 排气管

(1) 进气行程。活塞从上止点下行,进气门打开。由于活塞下行的抽吸作用,新鲜空气进入气缸。为能进入更多的空气,进气门一般在上止点前提前开启,在下止点后延迟关闭,进气门开启的延续角度约为  $220^{\circ}\sim 250^{\circ}$ 。

(2) 压缩行程。活塞从下止点上行,进、排气门均关闭。上行的活塞对气缸内的空气进行压缩,使其温度和压力不断升高。压缩终点的压力约为  $3\sim 6\text{MPa}$ ,温度约为  $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。在压缩终点附近,燃油经喷油器以雾化的状态喷入燃烧室,并在高温、高压的空气作用下开始自行发火燃烧。

(3) 做功行程。活塞由上止点向下运动,进、排气门均关闭。在此行程的初期,燃烧仍在继续猛烈的进行,使缸内的压力和温度都急剧升高,其最大值分别可达  $6\sim 9\text{MPa}$  和  $1500\sim 2000^{\circ}\text{C}$  左右。高温、高压燃气膨胀推动活塞下行做功,在上止点后某一时刻,燃烧基本结束,燃气继续膨胀做功。当活塞到达下止点前某一时刻,排气门开启,排气过程开始。此时,气缸内的压力约为  $0.2\sim 0.5\text{MPa}$ ,温度约为  $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。活塞则继续下行到下止点。

(4) 排气行程。活塞在曲轴的带动下由下止点向上运动,排气门继续开启,上行的活塞将气缸内的废气强行推挤出去。为实现充分排气和减少排气过程中所消耗的功,排气门不但要在做功行程结束之前提前开启,而且要在进气行程开始之后延迟关闭。排气门开启的延续角度约为  $230^{\circ}\sim 260^{\circ}$ 。

综上所述,活塞在气缸内连续往复运行 4 个行程,曲轴旋转两圈完成一个工作循环。下一个工作循环的进气行程与上一个循环的排气行程相连,这样,周而复始,一个工作循环接着一个工作循环,使四冲程柴油机不断运转,将化学能经燃烧转变为热能,而后转化为机械能,并以扭矩的形式对外输出做功。

## 2. 单缸四冲程汽油机的工作原理

单缸四冲程汽油机在 4 个活塞行程内完成进气、压缩、做功和排气等 4 个过程,即在一个活塞行程内只进行一个过程。因此,活塞行程可分别用 4 个过程命名,其工作原理如图 1.5 所示。

(1) 进气行程。活塞在曲轴的带动下由上止点移至下止点。此时,排气门关闭,进气门开启。在活塞移动过程中,气缸容积逐渐增大,气缸内形成一定的真空度。空气和汽油的混合物通过进气门被吸入气缸,并在气缸内进一步混合形成可燃混合气。

(2) 压缩行程。进气行程结束后,曲轴继续带动活塞由下止点移至上止点。这时,进、排气门均关闭。随着活塞移动,气缸容积不断减小,气缸内的混合气被压缩,其压力和温度同时升高。

(3) 做功行程。压缩行程结束时,安装在气缸盖上的火花塞产生电火花,将气缸内的可燃混合气点燃,火焰迅速传遍整个燃烧室,同时放出大量的热能。燃烧气

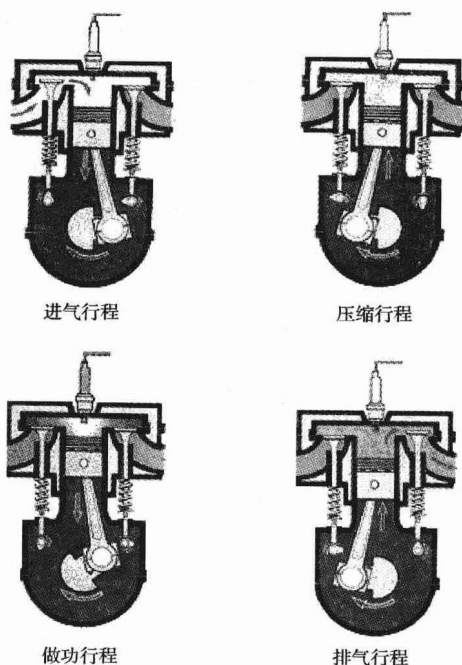


图 1.5 四冲程汽油机的工作原理简图

体的体积急剧膨胀,压力和温度迅速升高。在气体压力的作用下,活塞由上止点移至下止点,并通过连杆推动曲轴旋转做功。这时,进、排气门仍旧关闭。

(4) 排气行程。排气行程开始,排气门开启,进气门仍然关闭,曲轴通过连杆带动活塞由下止点移至上止点,此时,膨胀过后的燃烧气体(或称废气)在其自身剩余压力和活塞的推动下,经排气门排出气缸之外。当活塞到达上止点时,排气行程结束,排气门关闭。

综上所述,四冲程汽油机与四冲程柴油机工作原理相同,其活塞在气缸内连续往复运行 4 个行程,曲轴旋转两圈完成一个工作循环。

### 3. 单缸四冲程柴油机与汽油机的异同点

单缸四冲程柴油机与单缸四冲程汽油机的共同点如下。

(1) 每个工作循环都包含进气、压缩、做功和排气等 4 个活塞行程,每个行程各占  $180^\circ$  曲轴转角,即曲轴每旋转两周完成一个工作循环。

(2) 4 个活塞行程中,只有一个做功行程,其余三个是耗功行程。显然,在做功行程,曲轴旋转的角速度要比其他三个行程时大得多,即在一个工作循环内曲轴的角速度是不均匀的。为改善曲轴旋转的不均匀性,可在曲轴上安装转动惯量较

大的飞轮或采用多缸发动机并使其按一定的工作顺序依次进行工作。

但是,由于燃料不同,它们的工作原理又存在一定的差异,其差别如下。

(1) 汽油机在进气行程中吸入气缸的不是纯空气,而是汽油与空气混合形成的可燃混合气。汽油机的可燃混合气可通过化油器形成,也可通过电控汽油喷射装置将汽油喷入进气道或进气管中与吸入的空气混合形成,但都是在气缸外部开始形成并延续到进气和压缩行程终了,时间较长。而柴油机的可燃混合气在气缸内部形成,从压缩行程接近终了时开始,并占小部分做功行程,时间很短。

(2) 汽油机的可燃混合气用电火花点燃,柴油机则是自燃,所以又称汽油机为点燃式内燃机,称柴油机为压燃式内燃机。

(3) 在一个工作循环中,汽油机气缸内的压力和温度都低于柴油机。

### 1.1.3 二冲程发动机与四冲程发动机的比较

(1) 曲轴每转一周完成一个工作循环,做功一次。当曲轴转速相同时,二冲程发动机单位时间的做功次数是四冲程发动机的两倍。由于曲轴每转一周做功一次,所以,曲轴旋转的角速度比较均匀。

(2) 二冲程发动机的换气过程时间短,仅为四冲程发动机的  $1/3$  左右。另外,进、排气过程几乎同时进行,利用新气扫除废气,新气可能流失,废气也不易清除干净。因此,二冲程发动机的换气质量较差。

(3) 曲轴箱换气式二冲程发动机因为没有进、排气门,而使结构大为简化。

## 1.2 发动机的结构

发动机是一种复杂的能量转换机械,包含很多系统和机构,其类型也多种多样。由于发动机的用途、生产年代和生产厂家多不相同,而且随着科学技术水平的不断提高,新产品和新技术日新月异,因此,各种类型发动机的具体构造及其布置也就各异。但就总体构造而言,发动机一般都是由曲柄连杆机构、配气机构、燃油供给系统、润滑系统、冷却系统和起动系统等组成。如果是汽油机,还必须有点火系统;如果是增压发动机,还应有增压系统。

### 1.2.1 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构是发动机实现工作循环、完成能量转换的主要运动零件,其主要功能是将活塞的往复运动转化为曲轴的旋转运动,且将作用在活塞上的燃气压力转化为扭矩,借助飞轮向外输出,从而实现热能向机械能的转化。图 1.6 为曲柄连杆机构的结构图,其由活塞组、连杆组和曲轴飞轮组等组成。

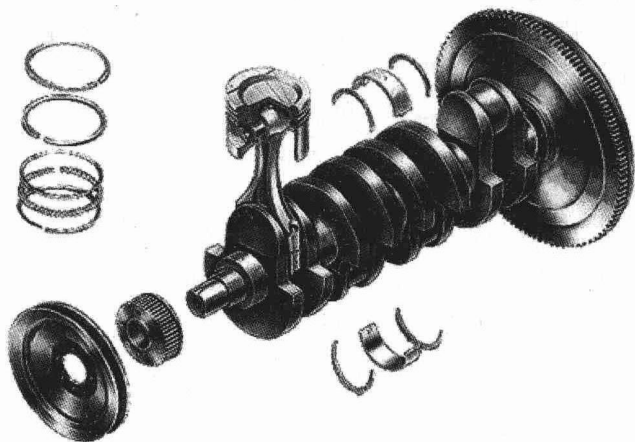


图 1.6 曲柄连杆机构

### 1. 活塞组

活塞组包括活塞、活塞环和活塞销三个部分。

#### 1) 活塞

活塞的主要功能是承受燃烧气体压力,并通过活塞销将力传给连杆以推动曲轴旋转,其结构如图 1.7 所示。此外,活塞顶部与气缸盖、气缸壁共同组成燃烧室。活塞是发动机中工作条件最严酷的零件。作用在活塞上的有气体压力和往复惯性力。活塞顶与高温燃气直接接触,使活塞顶部的温度很高。活塞在侧压力的作用下沿气缸壁面高速滑动,由于润滑条件差,因此,摩擦损失大,磨损严重。

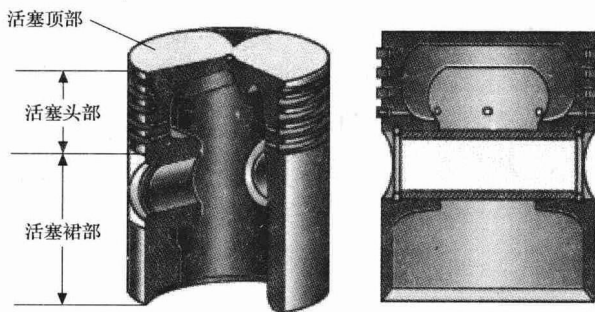


图 1.7 活塞结构图

发动机不论是汽油机还是柴油机均广泛采用铝合金活塞,只有极少数采用铸铁或耐热钢活塞。活塞由活塞顶部、活塞头部和活塞裙部等三部分构成。

(1) 活塞顶部。汽油机活塞顶部的形状与燃烧室形状和压缩比大小有关。大多数汽油机采用平顶活塞,其优点是受热面积小,加工简单;也有少部分采用凹顶活塞,其优点是可以通过改变活塞顶上凹坑的尺寸来调节发动机的压缩比。

(2) 活塞头部。由活塞顶至油环槽下端面之间的部分称为活塞头部。在活塞头部加工有用来安装气环和油环的气环槽和油环槽。在油环槽底部还加工有回油孔或横向切槽,油环从气缸壁上刮下来的多余机油,经回油孔或横向切槽流回油底壳。

(3) 活塞裙部。活塞头部以下的部分为活塞裙部。裙部的形状应该保证活塞在气缸内得到良好的导向性,气缸与活塞之间在任何工况下都应保持均匀的、适宜的间隙。间隙过大,活塞敲缸;间隙过小,活塞可能被气缸卡住。此外,裙部应有足够的实际承压面积,以承受侧向压力。

## 2) 活塞环

如图 1.8 所示,活塞环分气环和油环两种。

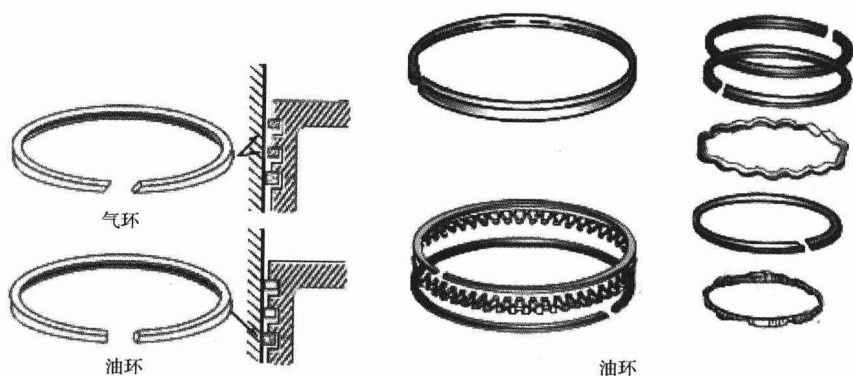


图 1.8 气环和油环结构图

(1) 气环。气环的主要功能是密封和传热,保证活塞与气缸壁间的密封,防止气缸内的可燃混合气和高温燃气漏入曲轴箱,并将活塞顶部接受的热传给气缸壁,避免活塞过热。

(2) 油环。油环的主要功能是刮除飞溅到气缸壁上的多余机油,并在气缸壁上涂布一层均匀的油膜。活塞环工作时受到气缸中高温、高压燃气的作用,并在润滑不良的条件下在气缸内高速滑动。由于气缸壁面的形状误差,使活塞环在上下滑动的同时还在环槽内产生径向移动,这不仅加重了环与环槽的磨损,还使活塞环受到交变弯曲应力的作用而容易折断。

## 3) 活塞销

活塞销用来连接活塞和连杆,并双向传递活塞和连杆承受的力。活塞销在高

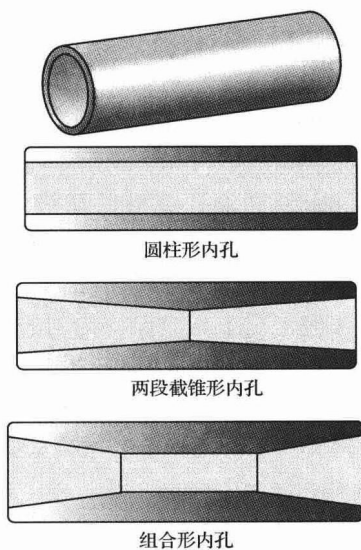


图 1.9 活塞销的结构图

温条件下承受很大的周期性冲击负荷,且由于活塞销在销孔内摆动角度不大,难以形成润滑油膜,因此,润滑条件较差。为此,活塞销必须有足够的刚度、强度和耐磨性,质量尽可能小,销与销孔应该有适当的配合间隙和良好的表面质量。在一般情况下,活塞销的刚度尤为重要,如果活塞销发生弯曲变形,可能使活塞销座损坏。

活塞销的结构形状很简单,基本上是一个厚壁空心圆柱,其内孔形状有圆柱形、两段截锥形和组合形等,如图 1.9 所示。圆柱形内孔加工容易,但活塞销的质量较大;两段截锥形内孔的活塞销质量较小,且因为活塞销所受的弯矩在其中部最大,所以接近于等强度梁,但锥孔加工较难;组合形兼具两者的特点,质量和加工难度介于

圆柱形和两段截锥形之间。

## 2. 连杆组

连杆组包括连杆体、连杆盖、连杆螺栓和连杆轴承等零件。习惯上,常常把连杆体、连杆盖和连杆螺栓合起来称作连杆,有时也称连杆体为连杆。

连杆组的功能是将活塞承受的力传给曲轴,并将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动。连杆小头与活塞销连接,同活塞一起作往复运动;连杆大头与曲柄销连接,同曲轴一起做旋转运动。因此,发动机工作时,连杆做复杂的平面运动。

连杆由小头、杆身和大头构成。连杆小头的结构形状取决于活塞销的尺寸及其与连杆小头的连接方式。在发动机中,连杆小头与活塞销的连接方式有两种,即全浮式和半浮式,如图 1.10 所示。全浮式活塞销工作时,在连杆小头孔和活塞销孔中转动,可以保证活塞销沿圆周磨损均匀,为防止活塞销两端刮伤气缸壁,在活塞销孔外侧装有活塞销挡圈。半浮式活塞销是用螺栓将活塞销夹紧在连杆小头孔内,这时,活塞销只在活塞销孔内转动,在小头孔内不转动,小头孔不装衬套,销孔中也不装活塞销挡圈。连杆大头除应具有足够的刚度外,还应外形尺寸小,质量轻,拆卸发动机时能从气缸上端取出。如图 1.11 所示,连杆大头是剖分的,连杆盖用螺栓或螺柱紧固,为使结合面在任何转速下都能紧密结合,连杆螺栓的拧紧力矩必须足够大。