

目 录

第一章 车用内燃机的工作原理与总体构造	(1)
第一节 车用内燃机的特点	(1)
第二节 车用内燃机的分类	(1)
第三节 内燃机的基本名词术语	(2)
第四节 内燃机的工作原理	(3)
一、单缸四冲程汽油机的工作原理	(3)
二、单缸四冲程柴油机的工作原理	(5)
三、单缸二冲程汽油机的工作原理	(7)
四、单缸二冲程柴油机的工作原理	(9)
五、增压内燃机的工作原理	(11)
第五节 车用内燃机的技术指标	(12)
一、动力性指标	(12)
二、经济性指标	(13)
三、紧凑性指标	(14)
四、强化指标	(15)
五、其他技术指标	(17)
第六节 内燃机的特性	(18)
第七节 多缸内燃机的工作顺序	(21)
第八节 内燃机的总体构成	(22)
第九节 内燃机的名称和型号编制规范	(22)
第二章 曲柄连杆机构与机体	(24)
第一节 活塞组	(24)
一、活塞	(24)
二、活塞环	(33)
三、活塞销	(38)
四、非整体式活塞	(40)
五、可变压缩比活塞	(42)
六、活塞的特征尺寸及统计值,几种典型的内燃机活塞	(43)
第二节 连杆组	(45)
一、连杆	(45)
二、连杆轴瓦与轴承	(48)
三、V型内燃机连杆	(50)
第三节 曲轴组	(51)

一、曲轴	(51)
二、飞轮	(57)
三、曲轴扭转减振器	(57)
四、曲轴径向密封环	(59)
第四节 机体	(61)
一、气缸体	(61)
二、气缸盖和气缸衬垫	(64)
三、油底壳	(67)
第三章 配气机构与驱动机构	(68)
第一节 配气机构功用、组成与型式	(68)
第二节 气口式和气口—气门式配气机构	(72)
第三节 配气机构的主要零件和组件	(75)
一、气门组	(75)
二、传动件	(82)
三、驱动件	(86)
第四节 配气相位与气门间隙	(87)
一、配气相位	(87)
二、气门间隙	(88)
第五节 驱动机构	(90)
第四章 汽油机燃油供给系	(93)
第一节 车用汽油	(93)
第二节 化油器	(96)
一、简单化油器	(96)
二、车用汽油机对混合气浓度的要求	(98)
三、车用化油器	(100)
第三节 汽油供给装置	(120)
一、汽油箱	(120)
二、汽油滤清器	(121)
三、汽油泵	(122)
第五章 柴油机燃油供给系	(125)
第一节 喷油泵	(126)
一、柱塞式喷油泵	(126)
二、转子分配式喷油泵	(133)
三、泵喷嘴	(138)
四、蓄压式燃油供给系	(140)
第二节 调速器	(141)
一、两极调速器	(142)
二、全程调速器	(146)
三、附加控制功能	(148)

第三节 喷油器	(152)
一、孔式喷油器	(153)
二、轴针式喷油器	(155)
第四节 柴油机燃烧室	(156)
一、开式燃烧室	(156)
二、半分开式燃烧室	(157)
三、分开式燃烧室	(158)
第五节 燃油供给系的其他附件	(162)
一、输油泵	(162)
二、燃油滤清器	(163)
三、油水分离器	(164)
四、供油提前角自动调节器	(164)
第六节 柴油	(166)
第六章 进、排气系及排气净化的一些典型装置	(169)
第一节 空气滤清器	(169)
一、空气滤清器功用与要求	(169)
二、空气滤清器作用原理与分类	(170)
三、空气滤清器的几种典型结构	(170)
第二节 进气管	(178)
一、简单进气管	(178)
二、共振式进气管	(179)
三、带谐振腔的进气管	(180)
第三节 排气系和排气消声器	(180)
一、排气噪声的现象与特征	(180)
二、消声原理	(180)
三、车用消声器实例	(181)
第四节 排气净化的一些典型装置	(183)
一、内燃机有害气的形成和限止排放的必要性	(183)
二、曲轴箱排放控制装置	(183)
三、排气再循环	(187)
四、三元催化反应器	(189)
五、柴油机炭粒过滤器	(191)
第七章 润滑系	(194)
第一节 润滑系的功能及组成	(194)
一、润滑系的功能	(194)
二、润滑系的组成	(195)
第二节 润滑系主要部件	(197)
一、机油泵	(197)
二、机油滤清器	(202)

三、机油散热器	(209)
四、阀门及其他重要装置	(210)
第三节 机油与润滑脂	(213)
一、机油主要品质	(213)
二、机油的粘度分级	(214)
三、机油的质量分级	(215)
第八章 冷却系	(218)
第一节 水冷内燃机冷却系	(218)
一、水冷内燃机冷却系的组成	(218)
二、散热器	(220)
三、水泵	(223)
四、风扇	(224)
五、节温器	(229)
六、冷却液	(233)
第二节 风冷内燃机冷却系	(234)
一、风冷内燃机冷却特点	(234)
二、风冷内燃机冷却系	(234)
第九章 起动系	(239)
第一节 电起动系	(239)
一、电动机	(240)
二、啮合机构	(241)
三、离合机构	(242)
四、起动机的保护装置	(243)
第二节 空气起动系	(243)
一、空气起动器	(245)
二、起动阀	(246)
第三节 预热装置	(247)
一、电热塞	(247)
二、火焰式电热塞	(248)
第十章 点火系	(250)
第一节 蓄电池点火系	(250)
一、蓄电池点火系组成和工作原理	(250)
二、点火系各部件	(252)
第二节 晶体管辅助电感点火系	(261)
第三节 无触点晶体管点火系	(262)
一、磁感应式无触点晶体管点火系	(262)
二、霍尔效应式无触点晶体管点火系	(264)
第四节 电容放电无触点磁电机点火系	(266)
第十一章 内燃机增压	(270)

第一节 增压与增压器的基本类型	(270)
一、机械增压	(270)
二、废气涡轮增压	(271)
三、气波增压	(272)
第二节 废气涡轮增压器	(273)
一、离心式压气机	(274)
二、废气涡轮	(276)
三、转子	(278)
四、浮动轴承与推力轴承	(279)
五、密封装置	(281)
六、润滑、冷却与隔热系统	(281)
第三节 废气涡轮增压器调整	(282)
一、排气系统	(283)
二、带放气阀的增压压力调节装置	(286)
三、可变涡轮流通截面	(287)
四、进气回流阀	(287)
第十二章 内燃机的管理	(288)
第一节 电控汽油机的发展与现状	(288)
第二节 汽油机的电子控制系统	(289)
一、传感器	(289)
二、控制单元或控制模块	(298)
三、执行元件	(299)
第三节 柴油机的电子控制系统	(304)
一、喷油正时控制	(305)
二、喷油量控制	(306)
附录	(308)
附录一 几种车用内燃机主要数据和结构特点	(308)
附录二 英汉名词术语对照表	(323)
参考文献	(328)
彩色插图	
内燃机	书末
KKK 废气涡轮增压器	书末
VE 型分配式喷油泵结构及工作原理图	书末
福特(Ford)2L I4 汽油机电控	书末

第一章 车用内燃机的工作原理与总体构造

第一节 车用内燃机的特点

将其他形式的能量转变为机械能的机器统称为发动机。按照所转变的能量分类,发动机可以分为热力发动机(热机)、电力发动机(电动机)、水力发动机(水力机)、风力发动机(风力机)、原子能发动机等等。

热力发动机是将燃料燃烧所得到的热能转变为机械能的机器。内燃机是热力发动机的一种,其特点是燃料直接在发动机内部燃烧。燃料在发动机外部燃烧的热力发动机称为外燃机,如蒸汽机,汽轮机等等。内燃机与外燃机相比,具有热效率高、体积小、起动迅速等优点,因而广泛地应用在舰船和汽车、拖拉机、坦克、摩托车等各种车辆上。

根据热能转变成机械能的主要装置形式,内燃机又可分为活塞式内燃机、燃气轮机、喷气式发动机等几个大类。活塞式内燃机又可按活塞的运动方式分为往复活塞式和旋转活塞式两种。

目前车用内燃机主要采用往复活塞式内燃机,因此,本书仅介绍往复活塞式内燃机的构造。

车用内燃机是车辆的动力来源。车辆性能的好坏在很大程度上取决于所用内燃机的性能。车用内燃机安装在车辆的有限位置上,其尺寸与质量直接影响车辆的尺寸与质量,而且,工作条件与维修条件较差,负荷与转速经常变化,因此,与相同功率的固定式内燃机相比,车用内燃机应具有如下特点:

- (1)尺寸小,质量小,以减小车辆的尺寸与质量,提高车辆的机动性。
- (2)工作可靠,以提高整个车辆的可靠性。
- (3)燃油消耗率低,以提高车辆的使用经济性、增大车辆的行驶半径。
- (4)加速性好,起动迅速,以满足车辆负荷与转速经常变化及频繁起动的需要。
- (5)适应性强,以适应车辆移动范围大、使用环境多变的要求。
- (6)有害气排放量小,不污染环境,不破坏生态平衡。
- (7)充分合理地利用自然资源,降低能耗。

上述各项要求是相互联系、相互制约的。不同的车辆对于各项要求的主次程度也不是完全一样的。例如:对于内燃机的尺寸与质量,坦克和摩托车要求最高,汽车要求稍低些,拖拉机要求又次之。

第二节 车用内燃机的分类

车用内燃机可以根据不同的方式来分类:

(1)根据所用燃油,现代车用内燃机可以分为两大类,即汽油机和柴油机。

汽油机是以汽油作燃料的内燃机,空气与汽油在气缸外混合,形成可燃混合气后进入气缸,经压缩后依靠火花塞产生电火花引起燃烧。这种内燃机也称为火花点火式内燃机。

柴油机是以柴油为燃料的内燃机。进气过程中进入气缸的只是纯空气,压缩终了时喷入柴油,柴油与空气在气缸中混合。由于空气经压缩后所达到的高温能引起柴油的自然,这种内燃机也称为压燃式内燃机。

汽油机进行适当的更改,可以变成以煤气(包括各种气体燃料)作燃料的煤气机。柴油机改进设计,可变成使用多种燃料的多燃料内燃机,不仅可使用柴油,必要时也可以使用汽油或煤油等燃料。

(2)按照完成工作循环的活塞行程数,内燃机可以分为四冲程和二冲程两种。

在每四个活塞行程内(或曲轴每转两转)完成一个工作循环的内燃机,称为四冲程内燃机;在每两个活塞行程内(或曲轴每转一转)完成一个工作循环的内燃机,称为二冲程内燃机。

(3)按照进气方式的不同,内燃机又可分为非增压(自然吸气)与增压内燃机。

在进气过程中,可燃混合气或空气是靠活塞的抽吸作用进入气缸内的内燃机称为非增压内燃机(也称自然吸气内燃机);在进气过程中,可燃混合气或空气是通过装在进气管道上的增压器提高压力,然后进入气缸内的内燃机称为增压内燃机。

(4)按照冷却方式的不同,内燃机可分为水冷、风冷及油冷三种。

在工作时,利用水作为冷却介质,通过气缸盖和气缸的水套来冷却气缸盖与气缸的内燃机称为水冷内燃机;利用空气作为冷却介质,直接对气缸盖与气缸上的散热片进行冷却的内燃机称为风冷内燃机;利用机油取代冷却水作为冷却介质来冷却气缸盖与气缸的内燃机称为油冷内燃机。

(5)按照气缸数目的不同,内燃机可分为单缸和多缸两种。

只有一个气缸的内燃机,称为单缸内燃机;由几个气缸组成的内燃机称为多缸内燃机。多缸内燃机还可以按照气缸的排列方式分为直列立式、直列卧式、V型、对置气缸式、X型、星型和对动活塞式等几种。

第三节 内燃机的基本名词术语

往复活塞式内燃机是车用内燃机中应用最广泛的一种,也是本书的研究对象。为了准确地了解与掌握往复活塞式内燃机的结构,本节介绍一些常用的名词术语。

工作循环 在内燃机内部,每一次将热能转变为机械能都必须有将空气(或可燃混合气)吸入、压缩(或伴有燃料输入)、着火燃烧、膨胀做功、再将生成的废气排出这一系列连续的过程。这一连续的过程称为内燃机的工作循环。

上、下止点 往复活塞式内燃机,活塞向上、向下各运行一次,曲轴旋转一转。活塞离曲轴中心距离最大的位置称为上止点,离曲轴中心最近的位置称为下止点(图 1-1)。在上、下止点时,活塞的运动方向改变,运动速度等于零。上、下止点间的距离 S 称为活塞行程。从图中可以看出,活塞行程 S 等于曲柄半径 R 的两倍。

气缸工作容积(气缸排量) 活塞从上止点到下止点所扫过的容积为气缸工作容积。

用符号 V_h 表示。多缸内燃机各气缸工作容积的总和称为内燃机工作容积或发动机排量，用符号 V_L 表示：

$$V_L = \frac{\pi D^2}{4 \times 10^5} \cdot S \cdot i \quad (\text{L})$$

式中： D ——气缸直径，mm；

S ——活塞行程，mm；

i ——气缸数。

活塞在上止点时，活塞顶部与气缸盖内表面所形成的空间称为燃烧室容积（或压缩室容积） V_c ；活塞在下止点时，活塞顶部与气缸盖、气缸套内表面形成的空间称为气缸总容积 V_a 。显然，气缸总容积 V_a 等于气缸工作容积 V_h 与燃烧室容积 V_c 之和即：

$$V_a = V_h + V_c$$

压缩比 气缸总容积 V_a 与燃烧室容积 V_c 之比称为压缩比 ε ，即：

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

压缩比表示进入气缸的气体被压缩的程度。

负荷率 内燃机在某一转速下的功率与该转速下所能发出的最大功率之比，以百分数表示。

工况 指内燃机在某一时刻所处的工作状况，一般用功率和曲轴转速来表示，也可用负荷与转速来表示。

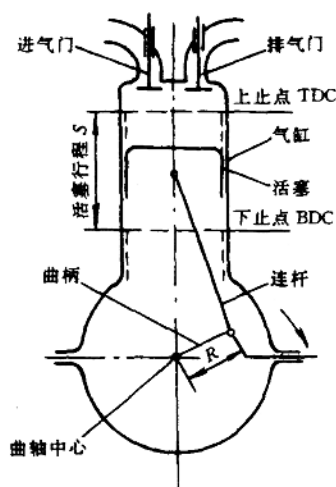


图 1-1 内燃机示意图

第四节 内燃机的工作原理

一、单缸四冲程汽油机的工作原理

四冲程汽油机的工作循环包括四个行程，即进气行程、压缩行程、膨胀行程和排气行程。其基本原理如图 1-2 所示。

为了分析进气、压缩、膨胀和排气四个行程中气体在气缸内的变化情况，图 1-2 中表示出气缸内压力 p 和对应于活塞不同位置的气缸容积 V 之间的变化关系曲线。由此所得到的整个循环包围的面积，表示了汽油机在一个工作循环中气体在气缸内所作的功。这种图称为示功图，它是借助于专门的仪器从气缸内部测得的。

下面对照图 1-2 说明单缸四冲程化油器式汽油机的工作原理。

1. 进气行程(图 1-2(a))

在进气行程中，活塞从上止点向下止点移动。这时，进气门打开，排气门关闭；活塞上方的气缸容积不断增大，气缸中压力降低到小于大气压力；在外界大气压力的作用下空气由空气滤清器经过进气通道上的化油器(汽化器)将汽油吸出并雾化成细小的油滴，形成可燃混合气(对于燃油喷射式汽油机，燃油则是经喷油器喷入进气道中与空气混合)，然后

经过进气管、进气门进入气缸内。由于进气系统对气流有阻力,所以进气时气缸内的气体压力略低于大气压力 p (图 1-2(a)中曲线 ra)。流入气缸的可燃混合气,与活塞顶、气缸垫等高温机件接触,并与前一循环留下来的残余废气混合后温度升高。当进气终了时,气缸中的气体压力 p_a 约为 $0.075 \sim 0.09 \text{ MPa}$, 温度 T_a 约为 $370 \sim 400 \text{ K}$ 。

2. 压缩行程(图 1-2(b))

在进气行程终了以后,进、排气门均关闭,活塞从下止点向上止点移动。气缸容积逐渐减小,可燃混合气被压缩,气体的压力不断地升高(图 1-2(b))中曲线 ac),温度也随着不断地升高。压缩比大,压缩终了时可燃混合气的压力和温度也愈高,未汽化好的汽油进一步蒸发,使汽油和空气混合得更好,使燃烧时火焰传播速度也快,气体膨胀更加充分。但压缩比过大时,气缸内可燃混合气就会发生爆燃。爆燃是一种不正常的燃烧现象。它是由于压缩终了气缸内可燃混合气的压力和温度过高,在点火后燃烧室内部分可燃混合气未等火焰传播到就自行着火、燃烧,形成瞬间的局部高温高压,出现了爆震波,并伴有金属撞击声与功率下降的现象。爆震波使汽油机零件受到冲击负荷,破坏轴承油膜,加速机件磨损。因此,压缩比不能过大。根据所用汽油牌号与燃烧室构造等因素的不同,现代车用汽油机的压缩比一般为 $6 \sim 9$, 个别可达 9.5 以上甚至超过 10 。压缩终了时,气缸内气体的压力 p_c 约为 $0.8 \sim 1.4 \text{ MPa}$, 温度 T_c 约为 $600 \sim 700 \text{ K}$ 。

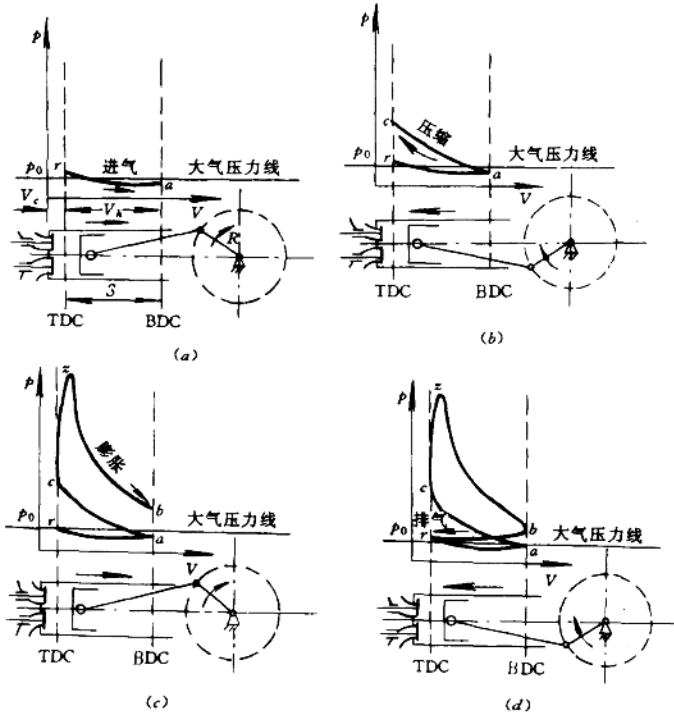


图 1-2 单缸四冲程汽油机的工作原理及示功图

(a) 进气行程; (b) 压缩行程; (c) 膨胀行程; (d) 排气行程。

由于可燃混合气的燃烧需要一定时间,为了提高热量利用率,燃烧过程应在上止点前开始,在上止点后结束,所以当压缩将近终了,活塞接近上止点时,火花塞就点燃被压缩的

可燃混合气。

3. 膨胀行程(图 1-2(c))

膨胀行程又称作功行程。这时进、排气门仍然都关闭着。燃烧的气体放出大量的热量,使气缸内燃气的温度与压力急剧升高(图 1-2(c)中曲线 cz),最高温度 T_z 可达 $2200 \sim 2700\text{K}$,最高压力 p_z 可达 $4 \sim 6\text{MPa}$ 。高温高压气体膨胀,推动活塞从上止点向下止点移动,并通过连杆使曲轴旋转而作功。当汽油机有负荷时,气体在膨胀行程内所作功的大部分在克服机件运转阻力与带动附件后对外作功,一小部分则储存在飞轮中,为以后的排气、进气、压缩等行程作动力。

图 1-2(c)的曲线 zb 表示随着活塞向下止点移动,气缸内容积增加,气体压力和温度降低。在膨胀行程终了的 b 点,压力 p_b 降到 $0.4 \sim 0.5\text{MPa}$,温度 T_b 则降到 $1200 \sim 1500\text{K}$ 。

4. 排气行程(图 1-2(d))

在排气行程中,排气门打开,进气门仍旧关闭。储有能量的飞轮带动曲轴旋转,使活塞又从下止点向上止点移动。随着活塞向上移动,气缸内已燃烧过的并已膨胀作功的废气经排气门、排气管和消声器排到大气中。气缸内气体的温度与压力进一步降低(图 1-2(d))中曲线 br)。在排气终了的 r 点,气缸内的气体压力 p_r 约为 $0.105 \sim 0.12\text{MPa}$,温度 T_r 约为 $800 \sim 1100\text{K}$ 。

排气行程结束时,活塞又回到上止点位置。至此,单缸四冲程汽油机经历了活塞上下往复各两次的四个行程,完成了由进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个工作过程所组成的一个工作循环。接着,曲轴依靠飞轮的旋转惯性作用仍继续旋转,上述四个行程又重复进行,周而复始地一个又一个的工作循环使汽油机连续不断地运转并输出功。

从示功图可以看出,压力封闭曲线包围的面积可分两部分(见图 1-3)。其中 F_1 代表有用功(正功),是由压缩和膨胀行程获得的功, F_2 代表损失功(负功),是进气和排气冲程消耗的功,也称为泵气损失功。为方便计,将泵气损失功归属到机械损失功中。因此,每循环的功相当于面积 F_1 代表的功,它表示气体在气缸内所作的功,通常称为指示功。曲轴输出的有效功,等于指示功减去包括泵气损失功在内的机械损失功之后的实际输出功。

二、单缸四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机的工作原理和四冲程汽油机的工作原理基本相同,也是在活塞上下往复各两次的四个行程中,完成了由进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个工作过程所组成的一个工作循环。但是,由于柴油机所用的燃料是柴油,其粘度比汽油大,不易蒸发,所以可燃混合气的形成以及点燃方式都和汽油机不同,气缸中的燃烧过程以及气体温度压力的变化也和汽油机不同。

柴油机在进气行程时(图 1-4(a)),吸入的是

新鲜空气而不是汽油与空气的可燃混合气。由于进气通道中没有化油器,进气阻力小,而且上一循环未排净的残余废气以及燃烧室壁、活塞顶等温度较低,所以在进气行程终了时,气缸内气体的压力 p_r 比汽油机略高,约为 $0.08 \sim 0.095\text{MPa}$;而温度 T_r 则略低,约为

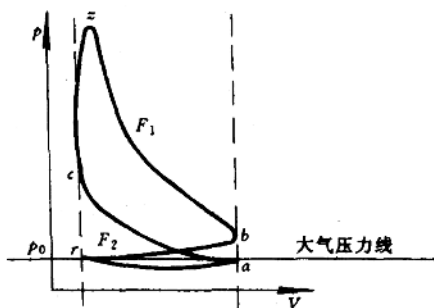


图 1-3 示功图表示的有用功与损失功

300~340K。气缸内压力的变化,如图 1-5 中曲线 ra 所示。图中 p_0 为大气压力。和汽油机一样,由于在进气开始时,气缸内残留着上一工作循环未排净的废气, r 点的压力 p_r 也稍高于大气压力 p_0 。

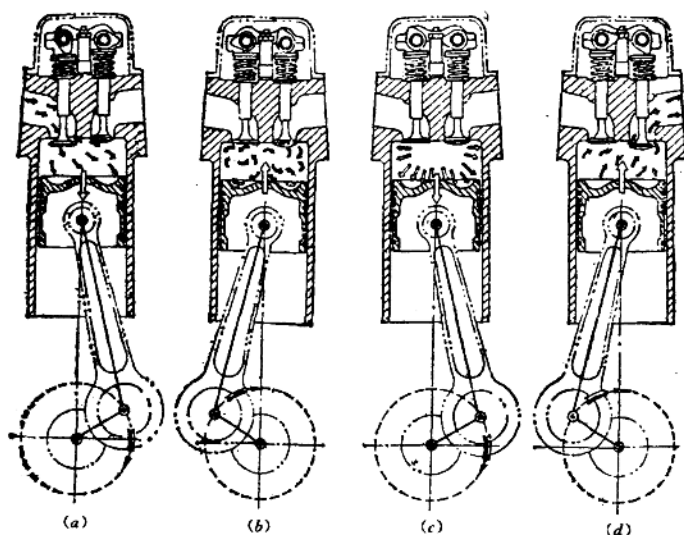


图 1-4 单缸四冲程柴油机的工作原理简图

(a) 进气行程; (b) 压缩行程; (c) 膨胀行程; (d) 排气行程。

由于柴油机是压缩点火的,为了使喷入气缸内的柴油能够迅速和气缸内空气混合并着火燃烧,所以在压缩行程(图 1-4(b)),要使压缩终了时空气的温度比柴油机的自然温度(约 500K)高出 100K 以上,必须采用比汽油机大的压缩比(一般达到 12~22)。压缩终了时的温度 T_c 约为 750~950K,相应的压力 p_c 达到 3~5MPa。压缩过程的压力变化,如图 1-5 中曲线 ac 所示。

为了充分利用柴油燃烧后所产生的热能,要求燃烧过程能够在活塞移动到上止点稍后一些位置迅速完成,以便使燃烧后的气体充分膨胀多做功。而柴油喷入气缸内必须经过一定时间的混合和着火准备阶段才能燃烧。因此,约在上止点前 $10^\circ \sim 35^\circ$ 曲轴转角,压缩行程还没有结束之前(图 1-5 压缩线 ac 上的 c' 点),喷油泵就将高压的柴油通过喷油器喷入气缸内并与高温空气混合,然后自行着火燃烧。这时,气缸中压力 p_c 迅速上升到 6~9MPa 左右(见图 1-5 中曲线 cz),相应温度 T_c 也升高到 1800~2200K 左右。在高压气体的推动下,活塞下行,驱动曲轴旋转做功(图 1-4(c))。由于喷油过程需要延续一段时间,此时活塞虽已向下移动,但气缸中压力的下降不如汽油机那样迅速,在继续喷油的一段时间中,压力并不显著下降,因此,在示功图中出现 zz' 一段接近等压燃烧的压力线(见图 1-5)。燃烧终了之后,气体膨胀做功,活塞继续被推

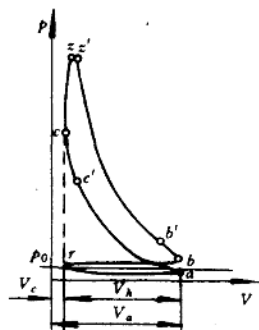


图 1-5 单缸四冲程柴油机示功图

动下移,气缸容积逐渐增大,气体压力随着逐渐减小(见图 1-5 中曲线 $z'b$)。活塞到达下止点时,膨胀行程结束,这时气体压力下降到 $p_b = 0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$,温度也相应地下降到 $T_b = 1000 \sim 1200 \text{ K}$ 。

柴油机的排气行程(图 1-4(d))与汽油机的排气行程基本相同。在排气过程中,气体温度和压力进一步降低(如图 1-5 中曲线 br 所示)。排气行程终了时的压力 p_r 约为 $0.105 \sim 0.115 \text{ MPa}$,残余废气温度 T_r 约为 $850 \sim 950 \text{ K}$ 。

从图 1-5 可以看出四冲程柴油机示功图形状和四冲程汽油机的示功图形状相似,而且压力封闭曲线所包括的面积也是分为两部分——有用功(正功)和泵气损失功(负功)。不过由于可燃混合气形成方法不一样,压缩比较大,所以进气线、压缩线、燃烧、膨胀线和排气线的变化情况不一样。

四冲程柴油机和汽油机比较,具有下列优点:

(1)柴油机的压缩比高,气体膨胀较充分,热量利用程度好,燃油消耗率比汽油机少 $30\% \sim 40\%$ 左右。同时,柴油的价格比汽油便宜。因此,柴油机的使用经济性较好。

(2)柴油的密度比汽油大,相同容积的油箱可以贮存较多质量的柴油。

由于柴油机燃油消耗率较低和柴油密度较大,所以,在油箱容积相同的情况下,采用柴油机的汽车和坦克的最大行程约为采用汽油机的汽车和坦克的最大行程的 $1.3 \sim 1.6$ 倍左右,采用柴油机的拖拉机则可以工作较长的时间。

(3)柴油比汽油容易储存和保管,不易发生火灾。特别是在坦克上采用柴油机,可以减少作战中的火灾危险性。

(4)柴油机排气污染少。

(5)有利于改成多种燃料工作的多燃料内燃机。

(6)有利于采用增压方法提高功率、降低燃油消耗率。

柴油机的缺点是:

(1)柴油机燃烧时气体压力较高,为了保证受力零件的强度与刚度,机件比较笨重。同时,由于可燃混合气形成方法与汽油机不同,限制了转速的提高。因而,在功率相同的情况下,柴油机的尺寸和质量比汽油机大。

(2)由于柴油不易蒸发,柴油机低温起动性不如汽油机好。

(3)柴油机工作粗暴,噪声较大。

(4)柴油机每千瓦功率的金属用量较多,重要部件(如喷油泵等)价格贵,一些零部件还要采用较好的材料,制造成本高。

目前,拖拉机、重型载重汽车和大轿车为了考虑使用经济性,绝大多数采用柴油机。坦克和其他战斗车辆则考虑较大的最大行程与防火灾的安全性、同时为了考虑增压与采用多种燃料的可能性,大多采用柴油机,特别是采用在柴油机基础上设计的增压、多燃料内燃机。只有中小型载重汽车和轿车,为了考虑尺寸、质量以及起动性等才采用汽油机。

三、单缸二冲程汽油机的工作原理

二冲程汽油机的工作循环也是由进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个工作过程所组成,但是,它要在活塞往复各一次的两个行程中完成。因此,它的工作原理与四冲程汽油机不同,构造也不一样。

图 1-6 为一种采用曲轴箱扫气的单缸二冲程汽油机的工作原理简图。

从图 1-6 可以看出,气缸上有三个孔。这三个孔分别在一定时间为活塞所关闭或打开。可燃混合气经进气孔 1 流入曲轴箱内;而废气则经过与排气管连通的排气孔 2 排出;可燃混合气经过扫气孔 3 从曲轴箱进入气缸内。

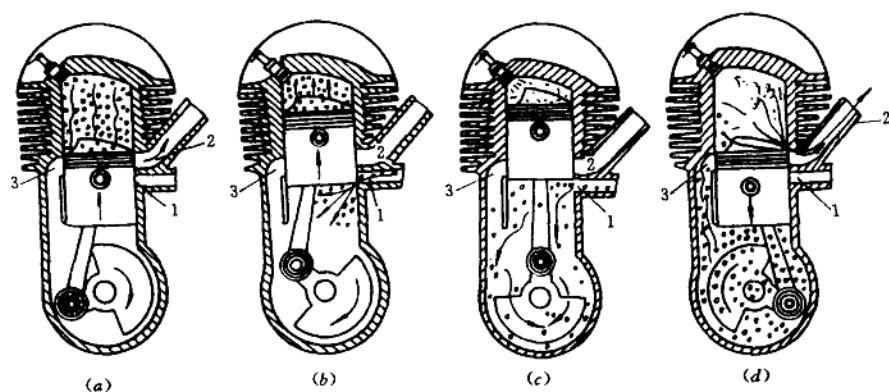


图 1-6 采用曲轴箱扫气的单缸二冲程汽油机的工作原理简图

(a) 燃烧室内混合气压缩; (b) 曲轴箱进气; (c) 混合气点燃与燃烧;

(d) 燃气膨胀与排气, 曲轴箱内混合气压缩与向燃烧室进气。

1—进气孔; 2—排气孔; 3—扫气孔。

在第一行程中, 活塞从下止点向上止点移动, 三个孔都被活塞关闭, 活塞上面的可燃混合气被压缩, 同时在活塞下面的曲轴箱内形成真空度(这种二冲程汽油机曲轴箱是密封的)(图 1-6(a))。当活塞继续向上移动时, 进气孔 1 被打开, 在大气压力的作用下, 可燃混合气经进气孔 1 流到曲轴箱内(图 1-6(b))。活塞接近上止点时, 火花塞产生电火花, 点燃被压缩的可燃混合气(图 1-6(c))。燃烧的高压高温气体膨胀, 使活塞从上止点向下移动做功, 进行第二行程。在第二行程中, 当活塞下移到接近下止点时, 活塞将进气孔 1 关闭, 曲轴箱内可燃混合气被压缩; 当活塞下移到快到下止点时, 活塞先将排气孔 2 打开, 废气由此排出。接着又将扫气孔 3 打开, 曲轴箱内被压缩的可燃混合气便流入气缸内, 并将气缸内的废气驱除到缸外(见图 1-6(d))。废气从气缸内被可燃混合气驱除并取代的过程称为扫气过程。当活塞到达下止点, 再从下止点向上止点移动时, 扫气孔 3 先关闭, 气缸内废气继续经排气孔 2 往外排, 直到排气孔也关闭为止。活塞继续向上移动, 上述各过程又重复进行。

由此可见, 二冲程汽油机的进、排气过程(合称为换气过程)是在压缩行程的开始与膨胀行程即将结束时进行的。所以, 第一行程是换气—压缩行程, 第二行程是膨胀—换气行程。然后周而复始。循环往复。

图 1-7 为这种曲轴箱扫气的二冲程汽油机示功图和结构示意图。从图上可以看出, 由于在气缸上开有进、排气孔与扫气孔, 它的实际工作容积 V'_h 和几何工作容积 V_h 不同, 两者之差为损失容积 V_s , 即

$$V_s = V_h - V'_h$$

与此相应, 它的实际压缩比 ϵ' 与几何压缩比 ϵ 也不同, 几何压缩比 ϵ 为

$$\epsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

式中 V_c 为压缩室容积。而实际压缩比 ϵ' 为

$$\epsilon' = \frac{V'_h + V_c}{V_c}$$

可以看出,它的实际压缩比 ϵ' 比几何压缩比 ϵ 小。由于有容积损失而且没有单独的进气行程和排气行程,所以它的示功图和四冲程汽油机示功图不同。图 1-7 示功图上的曲线 ac 表示压缩过程;曲线 cz 及 zb 表示燃烧与膨胀过程;曲线 bda 表示排气过程,曲线 fdh 表示扫气过程(其中 h, f 相应为扫气孔关闭和开启时刻, a, b 相应为排气孔关闭和开启时刻),即进气和排气两个过程是重叠的。示功图的整个面积代表指示功。

四、单缸二冲程柴油机的工作原理

二冲程柴油机的工作原理和二冲程汽油机相似,但是,在二冲程柴油机中进入气缸的是新鲜空气而不是可燃混合气;是扫气泵扫气而不是曲轴箱扫气(即由扫气泵将新鲜空气压入气缸并驱除废气)。

图 1-8 是一种采用扫气泵扫气的二冲程柴油机工作原理简图。在工作时,新鲜空气从扫气泵经装在气缸外部的空气室和气缸壁上的许多扫气孔进入气缸,而废气是从排气门排出。

在第一行程开始时,活塞从下止点向上止点移动,扫气孔和排气门开启。由扫气泵来的压力较高的新鲜空气进入气缸,并将气缸内的废气从排气门驱除出去(图 1-8(a))。当活塞再向上移动时,将扫气孔关闭,接着排气门也关闭,气缸内的新鲜空气被压缩(图 1-8(b))。当活塞移到接近上止点时,柴油在高压下喷入气缸内与被压缩的新鲜空气混合后自行着火燃烧(图 1-8(c))。

在第二行程中,燃烧后的高压、高温气体膨胀,推动活塞从上止点向下止点移动而作功(图 1-8(d))。当活塞接近下止点时,排气门先开启,废气经排气门排到气缸外;接着扫气孔也被打开,来自扫气泵的新鲜空气又进入气缸,将气缸内废气驱除出去并取代废气。

活塞一直下移到下止点位置,第二行程结束,完成了一个工作循环。所以,第一行程也是换气—压缩行程,第二行程也是膨胀—换气行程。示功图的形状和二冲程汽油机也相似,只是压缩比较大,且燃烧过程和四冲程柴油机一样,因此,曲线变化情况略有差别。

二冲程内燃机与四冲程内燃机比较,具有下列优点:

(1) 二冲程内燃机曲轴每转一转作功一次,而四冲程内燃机曲轴每转两转才作一次功。因此,当气缸直径、活塞行程、曲轴转速以及压缩比相同时,在理论上,二冲程内燃机比四冲程内燃机的功率大一倍,也就是在相同的功率情况下,二冲程内燃机的尺寸和重量均较小一些。

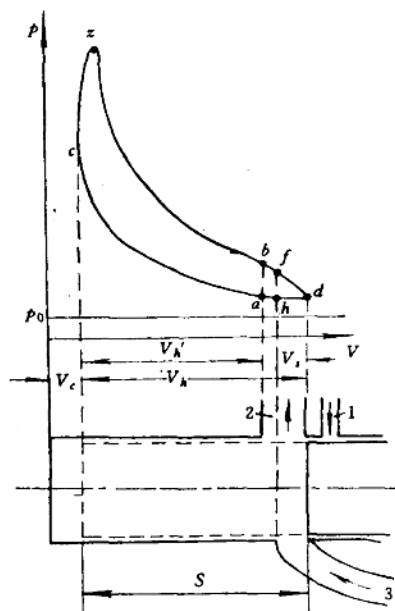


图 1-7 曲轴箱扫气的二冲程汽油机示功图
1—进气孔;2—排气孔;3—扫气孔。

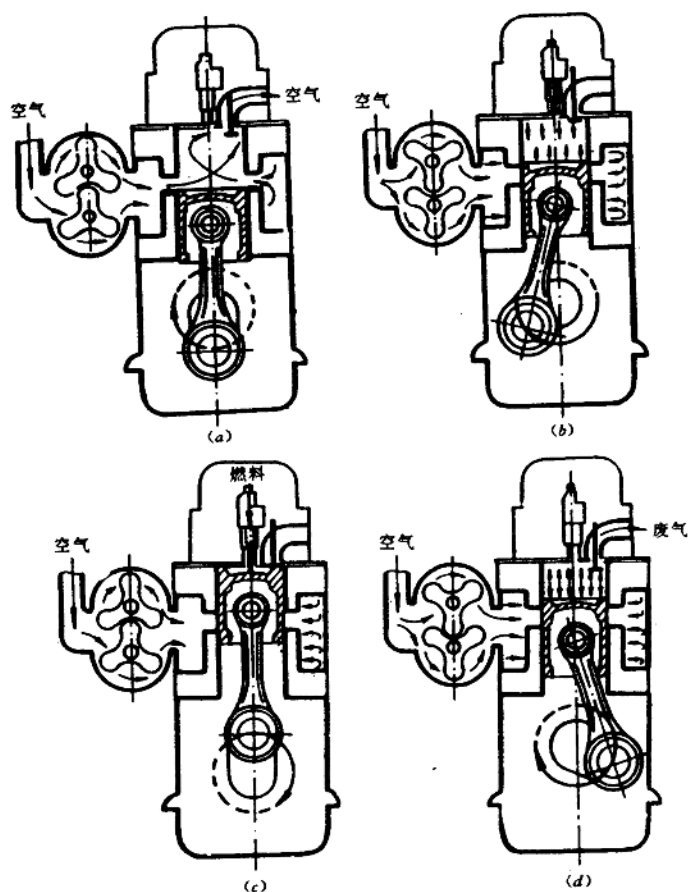


图 1-8 扫气泵扫气的单缸二冲程柴油机工作原理简图

(a) 进气; (b) 压缩; (c) 燃烧; (d) 排气。

(2) 二冲程内燃机每两个冲程作功一次, 运转比较平稳, 飞轮尺寸可以减小, 并且易于起动。

(3) 采用曲轴箱扫气的二冲程汽油机结构简单, 成本低。

二冲程内燃机的缺点是:

(1) 二冲程内燃机采用扫气方法来驱除废气, 排气不如四冲程内燃机干净, 并且实际工作容积也较小, 扫气泵又要消耗一部分功率, 因此, 相同条件下, 实际功率只增加 50%~80% 左右。

(2) 同样原因, 燃油消耗率较大, 特别是曲轴箱扫气的化油器式二冲程汽油机, 有一部分可燃混合气混杂在废气中被排除, 又多损失了一部分燃油。

(3) 作功频率高, 活塞、气缸和气缸盖的热应力较大, 工作可靠性较差。

由于二冲程内燃机, 特别是化油器式二冲程汽油机的燃油消耗率较大、排放污染严重, 所以除一些摩托车外, 一般车辆都不采用二冲程汽油机。二冲程柴油机在舰船上和某些军用车辆上应用较多, 但也不如四冲程柴油机应用得广泛。

近些年来,一些公司将电控燃油喷射技术引入二冲程汽油机中,使其燃油消耗率和有害气的排放有了很大的改善。有些公司研究的电控二冲程汽油机的性能已经接近了四冲程汽油机的水平,使二冲程汽油机有着进一步发展的前景。

五、增压内燃机的工作原理

增压内燃机是将进入气缸的可燃混合气或新鲜空气通过增压器预先压缩,提高进气密度,增加进气量,从而达到多烧燃油提高功率的目的。按照增压程度的不同,可分为低增压、中增压、高增压和超高增压四种。按照驱动增压器动力来源的不同,可分为废气涡轮增压、机械增压和复合增压等型式。目前,采用最广泛的是废气涡轮增压柴油机。

图 1-9 为废气涡轮增压四冲程柴油机的工作原理简图。废气涡轮增压器是由废气涡轮 1、压气机 2 等组成,涡轮与压气机装在同一根轴上。柴油机的排气管 3 接到涡轮蜗壳上,而进气管 4 则与压气机集气器相接。当排气门打开时,废气经过排气管 3 流进蜗壳,按着一定方向进入涡轮叶轮,使涡轮高速旋转。废气的压力、温度越高,涡轮叶轮转得越快。通过涡轮的废气,最后排入大气中。因为涡轮叶轮与压气机叶轮装在同一轴上,所以压气机叶轮也以涡轮一样的转速旋转,将经过空气滤清器过滤的新鲜空气吸入压气机。高速旋转的压气机又将空气甩向叶轮外缘,使其速度和压力增加。当进气门 6 打开时,高压的空气经过进气管 4 和进气门 6 进入气缸内。这样,在进气行程中,使进气量增大,就可以在压缩行程终了时多喷入柴油,以增加每循环的指示功。增压内燃机的示功图如图 1-10 所示,示功图的形状和非增压四冲程柴油机的示功图形状差不多,但进气线、燃烧膨胀线以及排气线都较高。由于进气增压,进气线高于排气线,这时泵气功为正功,而不是负功。

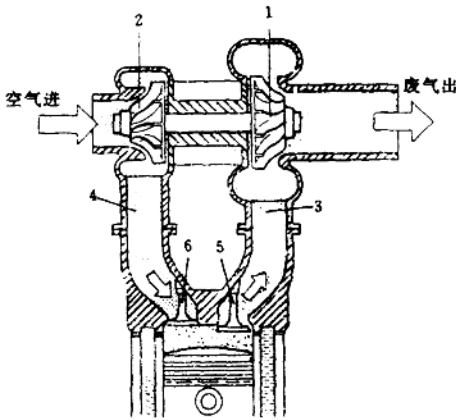


图 1-9 废气涡轮增压四冲程内燃机
的工作原理简图

1—废气涡轮;2—压气机;3—排气管;
4—进气管;5—排气门;6—进气门。

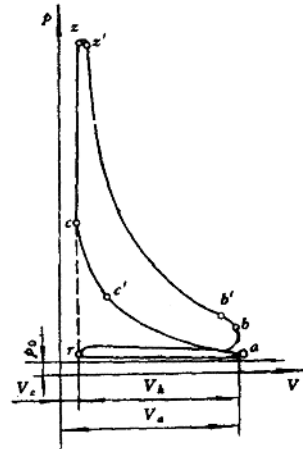


图 1-10 废气涡轮增压四冲程内燃机示功图

废气涡轮增压内燃机与非增压内燃机相比,其优点是:在相同的气缸直径、活塞行程和转速的条件下,可以增大功率(功率增大的程度随增压压力大小而不同),也就是在相同功率条件下,内燃机尺寸较小,质量较轻;同时,由于压气机消耗功率完全由废气涡轮供

给,不消耗或少消耗内燃机本身的功率;增压后机械效率上升,从而降低了燃油消耗率,提高了使用经济性;增压有利于改善内燃机有害气的排放。废气涡轮增压内燃机的缺点是:由于增压后强化了工作过程,增加了内燃机的机械负荷和热负荷;在结构上需要采取一系列的措施,以保证内燃机与废气涡轮增压器的良好匹配;增压器的转速很高,对材料、制造和使用有较高的要求。

目前,不论在大、中型内燃机上,还是在小型内燃机上,废气涡轮增压已得到广泛应用。

第五节 车用内燃机的技术指标

车用内燃机的技术指标是指设计或评价内燃机的指标,通常包括以下几个方面:

一、动力性指标

动力性指标是指内燃机对外作功能力的指标。一般指内燃机的扭矩、功率和转速。

1. 扭矩

内燃机在工作时,作用在活塞上的气体作用力经过连杆传递给曲轴产生扭矩 M 。气体作用力产生的扭矩克服摩擦、驱动附件等损失之后对外输出的扭矩称为内燃机的有效扭矩 M_e ,单位为牛顿米($\text{N} \cdot \text{m}$)。

显然,有效扭矩是一个不断变化的量。工程上为了分析方便,常假设一个不变的扭矩作用在曲轴上,它在一转内所做的功与有效扭矩所做的功相同。这一假设的扭矩称做平均有效扭矩 M_{em} 。可见,曲轴每转一圈内燃机对外所做的有效功为

$$W_e = \int_0^{2\pi} M_e d\alpha = 2\pi M_{em} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

2. 功率

内燃机在单位时间内所作的功称为功率,功率的单位为瓦(W),通常用 kW 作为功率的单位,其大小规定为

$$1\text{kW} = 1000\text{N} \cdot \text{m/s}$$

内燃机单位时间内所作的指示功,称为指示功率 N_i 。指示功率减去消耗于内部零件的摩擦损失、泵气损失和驱动附件的损失之后,从曲轴飞轮输出的功率称为有效功率 N_e 。一般所指的功率就是指有效功率。

如果内燃机曲轴每分钟旋转 n 转,曲轴飞轮每分钟输出的有效功 W_e 可表示为

$$W_e = \frac{2\pi n}{60} M_{em} \times 10^{-3} = \frac{\pi n M_{em}}{30000} \quad (\text{kW})$$

内燃机的有效功率是在专门的试验台上用测功器测定的。由测功器测出平均有效扭矩和转速之后,即可由上述公式计算出有效功率的数值。

平均有效扭矩是随内燃机工作状况而变化的,因此,内燃机的有效功率也是随工作状况而变化的。但是,不同用途与不同类型的车用内燃机,最大使用转速与相应的有效功率的最大作用界限,都限制在一定值以内。所规定的最大使用转速下的有效功率的最大使用界限,按照我国国家标准,称为标定功率。内燃机铭牌与产品说明书上所指的功率,就