

柴油机 构造、使用与维修

曾传智 曾建秋 廖晓非 编著
段细忠 曾 前

湖南科学技术出版社

柴油机构造、使用与维修

曾传智 曾建秋 廖晓非 段细忠 曾 前编著

责任编辑：贺梦洋

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路8号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1990年9月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：34.25 字数：859,000

印数：1—4,100

ISBN 7—5357—0741—6

TH·22 定价：12.50元

地科90—54

前 言

柴油机与汽油机相比,具有节省燃油、工作可靠、耐久性好、功率范围广、排气污染小等一系列优点。随着柴油机工业的发展,柴油机固有的比重量大、工作噪音大、制造成本高等缺点,不断得到了克服,性能也有了很大提高。因此,柴油汽车得到迅猛的发展;在工程机械、拖拉机、机车、船机、农机、发电等设备上的动力,柴油机的使用更普遍。

为适应当前形势的发展,帮助从事柴油机实际工作的同志提高理论水平和解决实际问题的能力,特编写本书。

本书全面系统地阐述了各种国产及国外引进的柴油机的构造原理、使用、维修、装拆、调整、故障分析和试验。书中列有柴油机常用计算、试验标准和调整、维修数据,并收集与总结了国内外最新技术资料和使用维修经验。本书力求理论联系实际,论述深入浅出,并配以插图,使读者易于全面理解和深入掌握柴油机的构造与性能,并能顺利地解决实际问题,从而提高柴油机工作效率,降低燃油消耗和延长使用寿命。

近年来,世界各国已经采用国际单位制,我国也已开始实用;但由于人们的习惯和国产仪表仍多用工程单位制(公制单位),故本书中的计量单位仍用工程单位。为逐步实行国际单位,书后附有国际单位与工程单位制对照表。

全书经长沙铁道学院内燃机教研室曾建秋教授审阅,还有许多同志,对本书的编写,给予了很多帮助,在此一并表示衷心感谢。

本书主要供汽车、拖拉机、工程机械、机车、船舶、发电、农机等的使用维修人员和柴油机制造厂装配试验的技术人员阅读,亦可供大中专院校有关专业的师生教学参考。

由于编者水平有限,书中缺点错误在所难免,恳切希望读者批评指正。来信请寄长沙市湖南省动力机厂研究所曾传智。邮政编号410008。

编者

一九九〇年三月

目 录

第一章 柴油机的基本知识	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 柴油机的一般构造和基本 名词术语	(2)
一、柴油机的一般构造	(2)
二、基本名词与术语	(2)
第三节 柴油机的工作原理	(3)
一、四冲程柴油机工作原理	(3)
二、二冲程柴油机工作原理	(7)
第四节 柴油机的性能指标	(9)
一、指示指标	(9)
二、有效指标	(12)
三、机械损失	(14)
第五节 柴油机型号编制规则和功 率标定	(15)
一、柴油机型号编制规则	(15)
二、功率标定	(17)
第二章 曲柄连杆机构	(19)
第一节 曲柄连杆机构的运动和受 力	(19)
一、曲柄连杆机构的受力	(19)
二、柴油机的平衡	(23)
三、柴油机运转的平稳性	(27)
四、多缸柴油机的工作次序	(28)
五、柴油机的振动	(31)
第二节 气缸体一曲轴箱组	(34)
一、气缸体一曲轴箱组的构造	(34)
二、气缸体一曲轴箱组的检修	(46)
第三节 活塞连杆组	(56)
一、活塞连杆组的构造	(56)
二、活塞连杆组的检修	(79)
三、活塞连杆组的装配和拆卸	(91)
第四节 曲轴飞轮组	(95)
一、曲轴飞轮组的构造	(95)
二、曲轴飞轮组的检修	(104)
三、曲轴飞轮组的装配和拆卸	(116)
第五节 气缸体一曲轴箱组的装配和拆卸	(53)
第三章 配气机构	(120)
第一节 配气机构的功用和分类	(120)
一、功用	(120)
二、分类	(120)
第二节 配气机构的组成及其零件 的构造	(122)
一、气门组	(122)
二、气门传动组	(125)
三、气门驱动组	(126)
四、供油和配气的正时关系	(128)
五、减压机构	(130)
第三节 配气相位和气门间隙	(132)
一、配气相位	(132)
二、气门间隙	(133)
第四节 配气机构的检修、调整与 安装	(134)
一、配气相位的检查与调整	(134)
二、气门间隙的检查与调整	(135)
三、减压机构的检查与调整	(137)
四、配气机构零件的检修	(137)
五、配气机构的安装	(142)
第四章 燃油系统	(143)
第一节 柴油的性能和选用	(143)
一、柴油的主要性能	(143)
二、柴油的牌号与选用	(145)
第二节 燃油系统的功用和组成	

.....	(145)	六、几种常用调速器的构造	(193)
一、功用	(145)	七、调速器的拆装	(222)
二、组成	(145)	第八节 喷油器	(224)
第三节 柴油机混合气的形成与燃		一、喷油器的作用与分类	(224)
烧过程	(147)	二、几种典型喷油器构造	(225)
一、柴油机的混合气形成	(147)	三、喷油器的检查和调整	(228)
二、柴油机的燃烧过程	(147)	四、喷油器的拆装与检修	(231)
三、影响燃烧过程的因素	(150)	第九节 喷油泵调速器总成的试验	
第四节 燃烧室	(153)	和调整	(235)
一、直接喷射式燃烧室 (亦称统一室		一、柱塞供油始点的调整试验	(236)
燃烧室)	(154)	二、各种转速下的供油量调整试验	(236)
二、分隔式燃烧室	(157)	三、喷油泵调速器在调试中的问题	(239)
三、国外新型燃烧室的研制情况	(160)	四、无喷油泵试验台检查喷油泵的技	
第五节 柴油机低压油路组件	(161)	术状态	(240)
一、油箱	(161)	五、几种典型喷油泵调速器的调试	(240)
二、柴油滤清器	(162)	第十节 喷油泵在柴油机上供油提	
三、输油泵	(164)	前角的调整	(254)
四、柱塞式输油泵工作性能的试验	(165)	一、供油提前角的调整	(254)
第六节 喷油泵	(166)	二、在柴油机上检查供油提前角的方法	(258)
一、柱塞喷油泵的基本构造和工作原		三、供油提前角自动调节器 (简称提	
理	(166)	前器)	(259)
二、三种常见柱塞喷油泵的构造	(172)	第十一节 喷油泵与柴油机匹配	
三、喷油泵的拆装与检修	(176)		(261)
第七节 调速器	(186)	一、标定工况的调整分析	(261)
一、负荷的概念	(186)	二、校正工况的调整分析	(264)
二、柱塞式喷油泵的速度特性	(187)	三、全程调速器与两极调速器使用性	
三、调速器的功用和分类	(187)	比较	(265)
四、离心式调速器的基本工作原理	(188)	四、喷油速率和喷油规律的调整	(267)
五、供油量校正器	(191)		
第五章 润滑系统	(269)		
第一节 概述	(269)	第四节 润滑系统的主要机件	(276)
一、润滑系统的作用	(269)	一、机油泵	(276)
二、轴承润滑原理	(269)	二、机油滤清器	(279)
三、润滑系统必须解决的几个问题	(269)	三、机油散热装置	(284)
第二节 润滑油	(271)	四、曲轴箱通风	(285)
一、机油的性能与选用	(271)	第五节 润滑系统的使用和保养	
二、润滑脂	(273)		(285)
第三节 润滑方式和润滑系统的组		一、维持正常油面的高度	(285)
成	(274)	二、经常注意油压	(286)
一、润滑方式	(274)	三、保持润滑系统的清洁和及时更换	
二、润滑系统的组成	(274)	机油	(286)

第六章 冷却系统	(288)
第一节 冷却系统的作用	(288)
第二节 风冷系统	(288)
第三节 水冷却系统	(290)
一、自然循环冷却	(290)
二、强制循环冷却	(291)
三、水冷系统的主要机件	(294)
四、水冷系统的使用和保养	(299)
第七章 柴油机起动系统	(303)
第一节 柴油机起动系统辅助设施	(303)
一、电热塞	(303)
二、预热塞	(304)
三、电磁式电火焰预热器	(304)
四、利用易燃纸捻插在燃烧室内点燃柴油来改善起动	(305)
五、低温 (指 -20°C 至 -40°C 范围内) 起动的其它措施	(305)
第二节 手摇起动	(306)
第三节 电动机起动	(307)
一、蓄电池	(307)
二、起动电动机	(320)
三、直流发电机	(334)
四、硅整流发电	(349)
五、柴油机电器线路	(360)
第四节 汽油机起动	(363)
一、二冲程汽油机的工作原理	(363)
二、AK-10汽油机的结构	(364)
第五节 压缩空气起动	(386)
第八章 柴油机的试验和特性	(389)
第一节 柴油机试验分类和测量	(389)
一、试验的目的和分类	(389)
二、有效功率的测定	(389)
三、燃油消耗率的测定	(393)
四、压力和温度的测量	(394)
五、机油耗量和机油、冷却水流量的测定	(401)
六、排气烟度的测定和废气分析	(402)
七、压缩比的测定	(405)
第二节 功率和耗油率的大气修正	(406)
一、标准大气条件的规定	(406)
二、修正方法	(406)
三、功率及燃油消耗率修正实例	(410)
第三节 柴油机试验	(412)
一、出厂试验和抽查试验	(412)
二、性能试验	(416)
三、可靠性、耐久试验	(417)
四、试验的程序和方法	(418)
五、性能试验和耐久试验报告	(419)
六、鉴定大纲	(421)
第四节 柴油机特性	(421)
一、柴油机的工况	(421)
二、柴油机特性	(422)
三、特性曲线的作用	(445)
第九章 柴油机的使用、运行、保养	(453)
第一节 柴油机的配套	(453)
一、功率配套	(453)
二、转速配套	(453)
第二节 传动装置	(454)
一、联轴器传动	(454)
二、离合器传动	(454)
三、皮带传	(458)
第三节 柴油机组的安装	(460)
一、柴油机基础的要求	(460)
二、基础的施工	(461)
三、柴油机同工作机的安装和校正	(461)
四、柴油机辅助设备及管路的安装	(462)
第四节 柴油机的综合利用	(464)
一、一机两用	(464)
二、一机多用	(465)
第五节 柴油机的运行	(465)
一、新柴油机的启用	(465)
二、柴油机起动前的准备	(466)

三、柴油机的起动及运行注意事项	(468)	三、柴油机零件的清洗	(475)
四、怎样维持柴油机的正常运行	(469)	第七节 柴油机的技术保养	(477)
五、柴油机的停车	(471)	一、每日的技术保养	(477)
六、冬季操作注意事项	(472)	二、一级技术保养	(477)
第六节 柴油机拆装和清洗	(473)	三、二级技术保养	(477)
一、柴油机的拆卸	(473)	四、三级技术保养	(478)
二、柴油机的装配	(474)	五、柴油机修理类别的划分	(478)
第十章 柴油机故障分析	(479)		
第一节 柴油机故障的征象和分析		一、低压油路的故障	(499)
故障的原则	(479)	二、高压油路的故障	(500)
一、柴油机故障的征象	(479)	第五节 润滑系统和冷却系统故障	
二、分析故障的原则	(479)	分析	(508)
第二节 曲柄连杆机构故障分析		一、机油压力过低	(508)
	(480)	二、机油压力过高	(511)
一、气缸漏气	(480)	三、机油压力不稳定	(512)
二、气缸垫烧损	(481)	四、机油温度过高	(512)
三、气缸体、气缸盖破裂	(483)	五、机油消耗过多	(513)
四、气缸套破裂	(484)	六、油底壳油面升高	(515)
五、活塞烧损与断裂	(485)	七、机油加油口冒烟	(515)
六、捣缸	(486)	八、水泵泵水量小或不泵水	(515)
七、曲轴断裂	(487)	九、冷却系统漏水	(515)
八、活塞拉缸	(488)	十、风扇皮带易断	(516)
九、烧瓦	(490)	第六节 柴油机综合性故障	(516)
第三节 配气机构故障分析	(492)	一、柴油机不能起动或起动困难	(516)
一、气门漏气	(492)	二、柴油机运转不稳	(519)
二、气门烧损	(494)	三、柴油机怠速不稳	(520)
三、排气门腐蚀	(495)	四、柴油机自行停车	(520)
四、气门掉入气缸	(495)	五、柴油机“飞车”	(521)
五、气门折断	(496)	六、柴油机温度过高	(522)
六、气门弹簧弹力减弱或折断	(496)	七、燃烧室内容易积炭	(523)
七、气门摇臂折断、摇臂衬套烧损、 推杆弯曲	(497)	第七节 柴油机噪音和不正常烟色	
八、气门间隙改变	(498)	分析	(524)
九、配气相位不对	(498)	一、柴油机噪音分析	(524)
第四节 燃油系统故障分析	(499)	二、柴油机不正常烟色分析	(530)
附录1 常用国际单位制和工程单位制对照	(535)		
附录2 常用单位换算	(535)		

第一章 柴油机的基本知识

第一节 概 述

能量有各种不同的形式,如热能、位能、电能、化学能和原子能等等。能的形式是可以转变的。例如,燃料燃烧把化学能变成热能。高处的水因具有位能会向低处流动,可以推动机械做功,如水轮机就可以把水的位能变为机械功。这种把任何一种形式的能量转变为机械功的机器就叫做发动机。按照所用能量的最初形式,可把发动机分为水轮机、电动机和热力发动机等等。

热力发动机是将燃料燃烧产生的热能转变为机械能。燃料在发动机外部燃烧的热力发动机叫做外燃机,它包括活塞式蒸汽机和蒸汽轮机。如活塞式蒸汽机是利用燃料在气缸外面的锅炉里燃烧,使水蒸发成为蒸汽进入气缸而产生压力,推动活塞运动(往复式)。燃料在发动机内部燃烧的热力发动机叫做内燃机,它包括活塞式内燃机、燃气轮机和喷气式发动机。如活塞式内燃机就是利用燃料在气缸内燃烧产生热能,气体受热膨胀,推动活塞,经连杆使曲轴旋转,发出动力。柴油机、汽油机、煤气机均是燃料在气缸内燃烧,故均称内燃机。

内燃机的发明首先是在蒸汽机的基础上,仿照蒸汽机的结构,制成在气缸中燃烧煤气的煤气机。在煤气机的基础上又改进为汽油机,进而创制出柴油机。

1878年,德国人鄂图成功地研制出了以煤气作燃料,用电火花点火的四冲程煤气机。这一成就被认为是内燃机发展史上的里程碑。

1887年英国人司派尔仿照鄂图四冲程煤气机研制出了汽油机。

1897年德国人狄塞尔首创以柴油作燃料,利用压缩点火方式的四冲程柴油机。

柴油机是利用活塞压缩空气,使空气的温度达到500—700℃。这时柴油机的喷油嘴向气缸内喷射极细的燃料微粒。燃料遇这样高的温度便着火燃烧,产生热能,发生膨胀,推动活塞,经过连杆使曲轴旋转,产生动力。汽油机则不同,它是在汽油和空气进入气缸之前,经汽化器把它们按一定的比例加以混合和雾化后,再送入气缸,然后用电火花点火燃烧,产生热能而变成机械功。

柴油机的优点是热效率比汽油机高(因为压缩比比汽油机大),耗油量比汽油机低30%以上;同时柴油比汽油便宜,没有复杂的电器设备,功率范围广,使用方便。因此广泛用于重型汽车、拖拉机、船舶、内燃机车以及发电机组上。

为什么柴油机以前很少用于中小型汽车上呢?这主要是因为柴油机空气利用率低,压缩比大,其燃烧后的压力是汽油机的2—3倍,这就必须加大各零件尺寸,所以同样功率的柴油机比汽油机笨重。笨重的发动机装在汽车上是不合适的。近些年来,由于采用新的制造材料和不断的改进结构,柴油机重量已大大减轻,中小型汽车上装柴油机的就愈来愈多了。

现代柴油机功率范围,最小为1.5马力,最大可达48000马力;转速最高可达6000转/分;气缸直径由55毫米到1060毫米;最轻33公斤,最重1720吨;最高热效率达46%(汽油机约为

30%，蒸汽机约为16%，蒸汽轮机约为35%）。

柴油机按转速可分低速柴油机、中速柴油机和高速柴油机。一般来说，转速在500转/分以下的叫低速柴油机；转速在500—1000转/分的叫中速柴油机；转速在1000转/分以上的叫高速柴油机。

过去人们把重点放在提高柴油机转速上，近年来已经停止。提高转速（一般可提高功率20—30%）虽然可降低单位马力的制造成本，减少生产设备的投资，但将牺牲柴油机容积效率、机械效率，致使燃油消耗和噪音提高，并影响柴油机寿命。

第二节 柴油机的一般构造和基本名词术语

一、柴油机的一般构造

图1—1为单缸四冲程柴油机简图。圆筒形的气缸7中装有活塞5，活塞通过活塞销6、连杆8与曲轴9相连。曲轴支承在主轴承11上，其末端固定有飞轮10。气缸上部由气缸盖4密封。气缸盖上装有进气门2、排气门1及喷油器3，它们由专门机构保证按时开、关进、排气门和向气缸喷入雾状柴油。

曲轴旋转一圈可带动活塞在气缸内上、下运动各一次。同样，活塞上、下运动各一次，可带动曲轴旋转一圈。

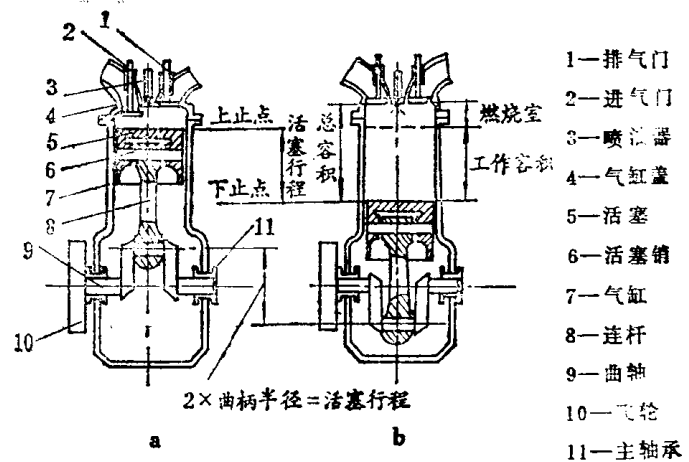


图1—1 单缸四冲程柴油机简图
a) 活塞在上止点 b) 活塞在下止点

二、基本名词术语

图1—1分别表示当曲轴旋转时活塞在气缸内的两个极端位置。

1. 上止点(上死点)：活塞顶在气缸中所到达的最高位置。
2. 下止点(下死点)：活塞顶在气缸中所到达的最低位置。
3. 活塞行程(冲程)：从上止点到下止点的距离。常用字母S表示。

曲轴每转动半圈(即180°)，相当于一个冲程。若用字母r表示曲柄半径(即由曲轴旋转中心到曲柄销中心的距离)，则

$$S = 2r$$

4. 燃烧室：活塞在上止点时，活塞顶与气缸盖之间的空间。这个空间容积称为燃烧室容积(也叫压缩容积)，常用字母 V_c 表示。

5. 气缸工作容积：活塞由上止点移到下止点时所让出的空间。常用字母 V_h 表示。

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S \times 10^{-6} (\text{升})$$

式中D——气缸直径(毫米)；S——活塞冲程(毫米)。

多缸柴油机(指有两个或两个以上气缸的柴油机)所有气缸工作容积的总和称为柴油机的排量(也叫活塞总排量)。常用字母 V_H 表示。若气缸数为i，则

$$V_H = \frac{\pi}{4} i D^2 S \times 10^{-6} (\text{升})$$

排量的大小意味着能够吸进气缸内空气的多少。在其他条件相同的情况下，排量决定了功率的大小。要加大活塞的排量，增大气缸直径比增大活塞冲程要大得多。

6. 气缸总容积：燃烧室容积加气缸工作容积。常用字母 V_a 表示。

$$V_a = V_c + V_h$$

7. 压缩比：气缸总容积与燃烧室容积之比。也就是说气缸总容积是燃烧室容积的多少倍。常用字母 ε 表示。

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

压缩比表示活塞从下止点移动到上止点时，气体在气缸内被压缩的程度。压缩比越大，气体在气缸内受压缩的程度就越大，压缩终点气体的压力和温度就越高，这对柴油的燃烧和燃气的膨胀更有利。因而柴油机发出的功率就越大，经济性也就越好。为了保证柴油自行着火，需要较高的压缩温度，因此柴油机的压缩比都较大，一般在15~20的范围内。

8. 活塞平均速度：活塞每秒钟平均移动的距离。常用字母 C_m 表示。

$$C_m = \frac{\text{距离}}{\text{时间}} = \frac{S \times 2n}{60} = \frac{Sn}{30} (\text{米/秒})$$

式中：n——柴油机转速(转/分)；S——活塞冲程(毫米)。

提高活塞平均速度可在其它条件不变的前提下，获得柴油机体积小、重量轻、功率大的效果。但随着活塞平均速度的提高，柴油机的机械负荷、摩擦损失和零件的磨损都增加，从而缩短使用寿命。因此在选定活塞平均速度时要综合考虑各方面因素的影响。

第三节 柴油机的工作原理

一、四冲程柴油机工作原理

图1—2为单缸四冲程柴油机工作过程示意图。图中a、b、c、d分别表示四个冲程在开始与终了时的活塞位置。

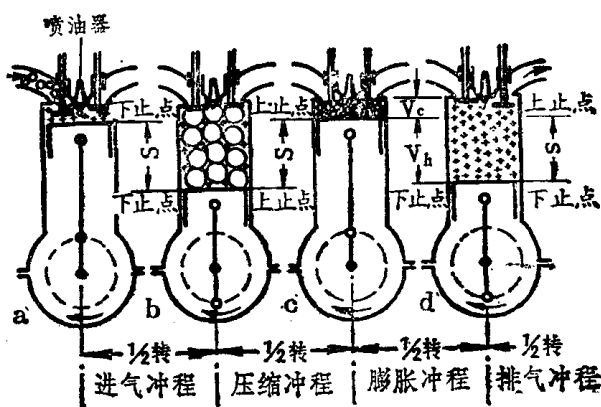


图1—2 单缸四冲程柴油机工作过程示意图

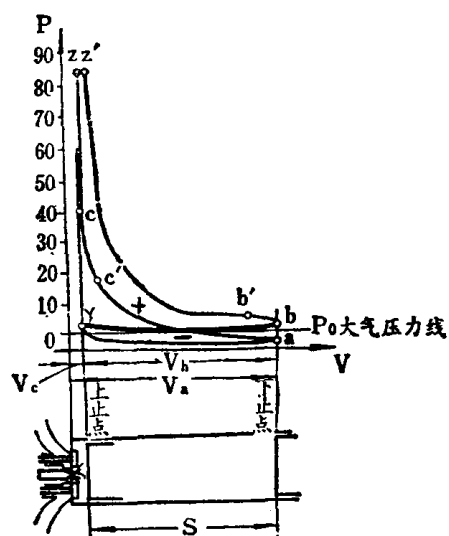


图1—3 四冲程柴油机示功图

V_h —气缸工作容积 V_c —燃烧室容积

为了分析工作循环中气体压力在气缸内的变化情况，图1—3绘出了单缸四冲程柴油机气缸内压力 P 与相应于活塞不同位置的气缸容积 V 之间的变化关系曲线。该曲线可直接用示功器测出。

下面对照单缸四冲程柴油机工作过程的示意图和示功图，来说明它的工作过程。

1. 进气冲程：活塞从上止点移动到下止点。这时进气门开启，排气门关闭。

当进气冲程开始时，活塞位于上止点（图1—2a）。由于气缸内（燃烧室）残留有上次循环未排净的废气（图1—2a用十字表示），所以气缸内的压力 P_r （图1—3中 r 点）稍高于大气压力 P_0 （图1—3中水平线），为1.07—1.17公斤/厘米²。

当曲轴沿图1—2a中箭头方向旋转时，通过连杆带动活塞向下移动，同时进气门开启。随着活塞下移，活塞顶上部的气缸容积逐渐增大。当残留在气缸内的废气膨胀到比大气压力还低时，外部新鲜空气开始被吸入气缸。当活塞到达下止点时，气缸内充满了新鲜空气和残余废气，这时进气门关闭。由于进气过程中空气经过空气滤清器、进气管、进气门时遇到阻力，所以进到气缸内的空气压力要比大气压力低。又由于进入的新鲜空气受到气门等高温零件的加热，并和气缸中未排净的高温废气混合，使得进气温度比周围环境温度高。因此进气终了时，气缸内气体压力 P_e 为0.8—0.95公斤/厘米²，温度 T_e 为30—50℃。显然，此压力越高，温度越低，空气密度增大，气缸容纳的空气量就越多，燃烧可能放出的热量就越多，因而柴油机功率就越大。

在示功图上， $r-a$ 线表示进气冲程中气缸内气体压力随容积变化的情况。进气压力愈高，则 $r-a$ 线上升，表示功率的“负”面积减少，而相对的增加了“正”面积。由图可看出，进气冲程中气缸内气体压力基本保持不变，其进气终了的压力 P_e 比大气压力低，进气终了的温度比环境温度高，这样使得实际进入气缸的空气重量比在周围环境压力 P_0 和温度 T_0 条件下的气缸容纳的空气重量要少。我们称这两重量之比为充气系数。用公式表示：

$$\text{充气系数 } \eta_v = \frac{\text{实际进入气缸内空气量}}{\text{理论上能够进入气缸的空气量}}$$

该系数表示在一定体积的气缸内实际进入空气重量的多少程度。不难看出进入气缸内的空气越多，即充气系数越大。一般柴油机的充气系数在0.78—0.92之间。影响充气系数的因素：

(1) 进气终点压力对进气量影响很大。若进气终点压力变化0.1公斤/厘米²，则进气量将变化10%以上。进气终点压力决定于周围环境压力与进气道阻力之差。要提高进气终点压力，人们能做到的只能减少进气道的阻力。为此设计时选用阻力小的空气滤清器；放大进气道的横断面积（在相等横断面下，圆形流动阻力最小，故柴油机进气管一般采用圆形）；减少通道转角，增加转角处的弧度；使通道表面光滑。此外应合理地设计进、排气门的开启时间和加大进气门直径，尽量消除上一循环的废气剩余量。我们常见到进气门比排气门大，目的也是为了减少进气阻力，提高进气量。因进气阻力最大的地方是进气门附近，影响进气终了压力的大小。进气终了压力的大小，对整个气缸容积发生影响；而排气门直径大小，只影响排气压力的大小。排气压力的大小仅对燃烧室这部份气体发生影响，而整个气缸容积比燃烧室容积大得多，因此进气门比排气门影响大得多。又因进、排气门布置只能在气缸直径范围内，所以只得减小排气门来增大进气门。实践也证明，进气门适当增大带来的好处要比排气门减小带来的损失大得多。进气门直径一般可达活塞直径的45—50%。当然，排气门也不能过小，否则会引起排气损失和残余废气显著增加，同样不利。

虽然,设计时注意提高进气量,但在使用中如果不注意空气滤清器、进气管和排气管的清洁,这些部分就会被灰尘蒙住或被积炭堵塞住。这样不仅大大地影响进气量,降低柴油机的经济性;更严重的是会使柴油机气缸与活塞的磨损更快,达不到标定功率,甚至无法起动。因此注意进气管、排气管和空气滤清器的清洁是非常重要的。此外,在外接进气管时一定要注意不要接得太长,或转弯过多和过急;在装配进气管时,进气管支管孔口和气缸盖孔口接合面处的密封垫片应准确对齐;更换密封垫片时,其孔口截面积一定不能比原来小,以免增加进气阻力。在调整气门间隙时不要调整过大,因为气门间隙过大或凸轮磨损,都会使进、排气门开启时间缩短,进气量减少。

(2) 进气终点温度也对进气量影响很大。当进气温度升高时,虽然能使压缩终点的空气温度有些提高,但这只能对柴油的蒸发、着火起局部的有利作用。由于空气温度升高,体积膨胀,其体积加大,密度减小,但气缸容积是一定的,所以使进气量减少。因此,柴油机除了起动时希望有较高的进气温度以帮助柴油着火外,正常运行中应尽量使进气温度降低。为使进气温度低,设计时使进入气缸的空气少接触高温零件,将进气管与排气管分置于气缸盖的两侧。对使用者来说,主要是要严格控制柴油机的冷却,使冷却水温保持在规定的范围内。此外,我们常发现柴油机功率在炎热的夏天比冬天要小一些,在高原地区比平原地区小一些,这是因为夏天空气温度高和高原地区空气稀薄所造成。

(3) 当转速高时,进气冲程的时间缩短,进入气缸中的空气与高温零件接触时间减短,空气被加热少;但另一方面,进气阻力又与气流速度的平方成正比。因此转速升高时,进、排气阻力增大,后者影响较大,所以进气量减少。当负荷大时,高温零件温度高,空气被加热多,进气量也减少。

2. 压缩冲程: 活塞由下止点移到上止点。此期间,进、排气门都关闭。

当压缩冲程开始时,活塞位于下止点(图1—2b)。曲轴在飞轮惯性作用下带动旋转,通过连杆推动活塞向上移动,气缸内气体容积逐渐减小,气体被压缩,其压力和温度随着升高。

为了实现高温气体引燃柴油,柴油机都有高的压缩比,使压缩终了时,气缸内气体温度比柴油的自燃温度(自燃温度是柴油不用点火而能自行着火的温度。柴油的自燃温度为300—400℃)高出200—300℃,即压缩终了时,气体温度 T_c 为500—700℃,压力 P_c 为30—50公斤/厘米²。

在示功图上,a—c'—c线表示了压缩冲程中气缸容积与压力的变化情况。

为了充分利用柴油燃烧所产生的热能,要求燃烧过程能够在活塞移动到上止点略后位置迅速完成,以使燃烧后的气体充分膨胀多做功。但是,由于柴油喷入气缸内时必须经过一定的着火准备阶段,才能实现燃烧。因此,在实际柴油机工作中,在压缩冲程结束前(在上止点前10~35°曲轴转角)开始将柴油喷入气缸内。图1—3中c'点表示喷油开始时间,它所对应的至上止点的曲轴转角称为喷油提前角。

压缩冲程的作用可以归纳为两点:一是为混合气形成及燃烧准备必要的有利条件;二是使燃气得到尽可能大的膨胀机会,从而保证热能更有效地转化为机械能。

影响压缩冲程的因素:

(1) 气缸直径D和活塞冲程S愈大,则相对气缸容积来说散热面积愈小,气体传给气缸壁的热量愈少。在D和其他条件相同情况下,S小散热损失少。

(2) 压缩比是由柴油机结构决定的,仅当曲柄连杆机构中轴承磨损,压缩比才有一点微小变化,对压缩终了的温度和压力不会产生大的影响。但是如果进气量不足或在压缩冲程中

有漏气，使气缸中空气减少，压缩终了时温度和压力就会大大降低，喷入气缸的柴油就不易着火，并且由于空气量减少，使柴油因缺氧而燃烧不完全，柴油机功率下降，冒黑烟，油耗增加。柴油机使用久后，常发现上述现象。因此，实际工作中常以实测的压缩压力来检查柴油机的技术状况。

(3) 提高压缩比的结果就是增加膨胀比，给燃气膨胀充分，多做功。如：两台冲程相同而压缩比不同的柴油机，它们的压缩比分别为16和20，它燃烧后体积可以膨胀到燃烧开始时的16倍和20倍。可见压缩比愈大，气体膨胀愈充分，膨胀终了的燃气温度和压力也愈低，即废气带走的热量减少，热能转化为机械能增大，故热效率高。当然，压缩比愈高，则压缩冲程所消耗的功也多，但燃气对活塞的膨胀功更多。从理论上讲压缩比愈高，热效率愈高。但压缩比过高，热效率增加并不多，而造成燃烧的最高压力过大，使曲轴连杆机构承受过大的负荷，引起摩擦损失增加和零件磨损加剧，对柴油机的可靠性和使用期限带来不利影响。试验表明，当压缩比超过一定范围时，热效率仍可提高，但压缩所消耗的功也增加，机械效率下降，而且前者补偿不了后者的损失，反而不利。一般选择压缩比的原则是：在保证柴油机冷起动可靠和运转平稳的前提下，选取最小的数值。小缸径柴油机，由于相对散热面积较大，压缩比应选高些，此时引起的机械负荷相对并不太大。涡流室和预燃室柴油机也因散热面积大，压缩比也应较高。车用高速柴油机，经常在中等负荷下工作，而且起动频繁，柴油与空气的混合又短促，故一般压缩比较高，有利于起动和加速混合气的形成与燃烧。拖拉机柴油机经常在满负荷下工作，因而压缩比要相对低些，以免最高压力太高。增压柴油机为了减轻机械负荷，需要降低压缩比以限制燃烧的最高压力。

柴油机与汽油机相比，由于柴油机压缩比高，燃气膨胀充分，膨胀终了燃气温度低（比汽油机低200—300℃，汽油机约700—800℃），热量利用较好，故柴油机较省油。但是压缩压力和最高燃烧压力比汽油机大得多，使柴油机工作噪音大，活塞、连杆、曲轴等零件受力也大，因此对这些零件的强度就要求高。故零件尺寸大，比较笨重。

(4) 当转速高时，冲程时间缩短，气体向缸壁传热量和漏气量减少，有利起动。相反，转速低，则向缸壁传热量和漏气量增加，造成启动和低速运转困难。

3. 做功冲程（燃烧膨胀冲程）：活塞又从上止点移到下止点，此时，进、排气门仍然都关闭着。

由于喷入气缸内的柴油在高温空气中很快着火燃烧，产生大量热能，使气缸内的气体压力和温度急剧升高。最高压力 P_z 可达60—90公斤/厘米²，最高温度 T_z 可达1700—2000℃。这种高压气体就在气缸内膨胀、推动活塞向下移动，通过连杆，带动曲轴旋转，输出动力。因此这一冲程称为做功冲程。随着活塞被推动着下移，气缸容积逐渐增大，气体压力随之逐渐减小。当活塞被推到下止点，即膨胀终了时，气体的压力为3~4公斤/厘米²，温度为600~900℃。

示功图上c—z—z'—b线表示做功冲程中气缸容积与压力的变化情况。

c—z一段等容燃烧线，表示柴油急剧燃烧时压力的升高程度。z点表示最大燃烧压力 P_z 。由于柴油的喷射，与空气的混合及燃烧要延续一个时期，此时相应的活塞位置已向下止点移动了一小段距离，气缸容积增大，但气缸中压力并不立即下降，直至燃烧基本结束(z')，因此在示功图上出现z—z'一段等压燃烧线。z'—b段为燃气膨胀线，当热损失愈少，则此段曲线愈平坦，有效功面积就愈大。

柴油的燃烧过程和燃气的膨胀过程都在做功冲程完成。燃烧过程在第四章叙述，此处仅

讨论膨胀过程。

影响膨胀过程的因素：

1. 气缸漏气愈严重，膨胀线就愈陡直下降，做功减少。
2. 转速增加时，漏气损失和散热损失减少，后燃也减少，故膨胀线平坦；转速降低时，与之相反，膨胀线陡直。

3. 排气冲程：活塞又从下止点移动到上止点。此时，排气门打开，进气门关闭。

排气冲程开始时，活塞位于下止点，气缸内充满着柴油燃烧后膨胀和已作了功的废气。排气门打开后，废气依靠本身的压力和活塞向上的推力，将废气排出气缸之外。

在示功图上， $b-r$ 线表示排气冲程中气缸容积与压力的变化情况。从图上可以看出，排气压力几乎保持不变。由于排气系统有阻力，所以排气压力略高于大气压力 P_0 。排气终了时，排出的废气压力 P_r 为1.1公斤/厘米²，温度 T_r 为400—600℃。活塞到达上止点（图1—2a及图1—3r点），排气门就关闭，排气冲程结束。

由于有一定的压缩容积，因此在排气过程中不可能将废气排除干净，气缸内仍留有少量的废气，这部分废气称为残余废气。残余废气不仅占去了气缸容积，而且它还将进入气缸的空气加热，使之膨胀，两者都减少了气缸的进气量，因此应尽可能将废气排除干净，减少排气阻力。排气终了时压力 P_r 就可降低，残余废气量就可减少。

至此，单缸四冲程柴油机经历了活塞上下往复各两次的四个冲程，完成了由进气、压缩、燃烧膨胀、排气四个工作过程所组成的一个工作循环。

排气冲程结束后，曲轴依靠飞轮转动的惯性作用仍继续旋转，上述各过程又重复进行。如此周而复始地进行一个又一个的工作循环，使柴油机能连续不断地运转，并带动工作机械做功。

二、二冲程柴油机工作原理

活塞连续运行两个行程（即曲轴旋转一周）的过程中，完成一个工作循环的柴油机，叫做二冲程柴油机。

与四冲程柴油机比较，二冲程柴油机工作过程虽然也是由进气——压缩——燃烧膨胀——排气四个过程所组成，但它要在两个行程内完成，因而它与四冲程柴油机的结构和工作原理具有很大差别。

二冲程柴油机不采用进气门型式的配气机构，而是在气缸的中间位置处，沿缸套四周开有扫气孔，靠活塞移动位置变化控制开闭。

二冲程柴油机进气过程不能象非增压的四冲程柴油机那样，在外界大气压力下依靠活塞运动直接吸入，它必须通过压气机构将新鲜空气提高压力，然后压入气缸内。

二冲程柴油机排气机构常见的有两种型式：一种象四冲程那样，装有排气门；另一种如同上述扫气孔那样，在气缸套中部周围开有排气孔，靠活塞上下移动位置控制开闭。

图1—4所示为单缸二冲程柴油机的工作过程示意图。图1—5为其工作循环的 $P-V$ 图。

第一冲程 活塞从下止点 a 向上移动（图1—4a、1—5），此时扫气孔2和排气门4都打开着。新鲜空气通过扫气泵1提高压力（约1.2—1.5公斤/厘米²）后，从扫气孔压入气缸，并将上次循环所存留在气缸内的废气从排气门赶出去，这个过程称做扫气过程（或换气过程）。

当活塞继续上移一个较小的距离，达到 b 点时，排气门关闭，再上移到 b' 时，扫气孔全部被活塞关闭（图1—4b、1—5），扫气过程完成。这时活塞继续上移，封闭在气缸内的新鲜空

气和少量未排尽的废气被压缩，直到活塞移动到上止点（图1—4c），完成压缩过程。第一冲程结束。此时气缸内的压力增加到30公斤/厘米²，温度升至600—700℃。

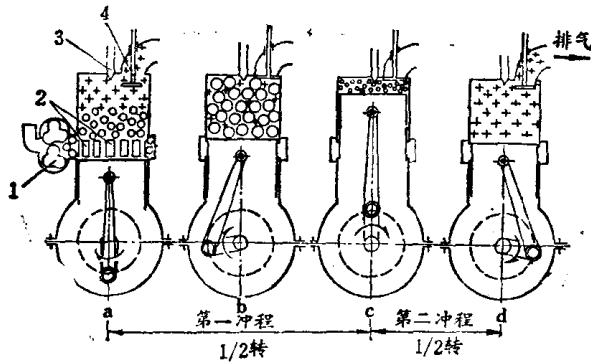


图1—4 单缸二冲程柴油机工作过程示意图
1—扫气泵；2—扫气孔；3—喷油器；4—排气门

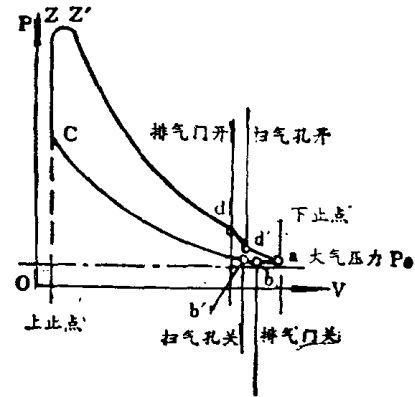


图1—5 扫气泵扫气二冲程柴油机P—V图

第二冲程 在活塞到达上止点前，柴油在高压下（170—200公斤/厘米²）喷入燃烧室内，自行着火燃烧，使气缸内气体温度和压力急剧增高。温度可达1700—2000℃，压力可达60～90公斤/厘米²。

在高温、高压气体的作用下，活塞从上止点被推动向下移动，通过连杆，带动曲轴旋转作功。气体体积膨胀，压力逐渐降低。

当活塞下移一段距离，到d点后，排气门打开（图1—4d、1—5），废气先利用本身的压力自行排气，待继续向下移动，到d'点时，扫气孔露出来，扫气泵开始将压力较高的新鲜空气压入气缸，从而继续把废气由排气门推出去。

活塞一直移动到下止点a（图1—4a），第二冲程结束。但扫气过程仍未完成，一直继续到活塞向上移动 $\frac{1}{3}$ 的距离，扫气孔完全被遮盖为止。活塞是依靠曲轴和飞轮的惯性，从下止点向上移动，重复上述工作过程。如此周而复始，使柴油机连续进行工作。

二冲程与四冲程比较有如下特点：

（1）二冲程柴油机大大缩短了辅助过程所占用的时间。当曲轴旋转一圈，便完成一个工作循环。从理论上讲，当两种类型的柴油机工作容积与转速都完全相同的情况下，二冲程柴油机应比四冲程柴油机功率大一倍。但实际上达不到这一水平，原因是：①二冲程柴油机必须借助于扫气泵进行扫气，扫气泵工作时要消耗一部分功率；②由于排气和换气的延续时间很短，一部分废气靠新鲜空气驱赶出去（不像四冲程柴油机那样由活塞强行排挤出去），所以气缸中残留的废气较多，进入气缸的新鲜空气也不充分，甚至少部分新鲜空气在扫气时被废气带走；同时由于扫气孔的存在，而缩短了有效冲程；因此，二冲程柴油机的功率，实际上只能达到相同工作容积和转速的四冲程柴油机功率的1.5—1.7倍。

（2）二冲程柴油机是每两个冲程作功一次，所以，运转比较平稳，飞轮尺寸可以小些，因此结构比较紧凑、轻巧。

（3）二冲程柴油机气缸的热负荷较大，喷孔易于堵塞，有时活塞拉缸；扫气泵的工作可靠性还不够好，噪音也较大；机油易上窜。

第四节 柴油机的性能指标

柴油机的工作性能，大体可分为以下四个方面：动力性、经济性、可靠性和耐久性。前两者表示一定尺寸和重量的柴油机在单位时间内做功的能力，以及一定量机械功所消耗柴油的多少，主要与柴油机工作过程进行好坏有关。后两者表示柴油机无故障地长期工作的能力，主要决定于柴油机零、部件的结构、材料和制造工艺等因素。

本节主要讨论柴油机的动力性和经济性指标。

确立柴油机性能的评价指标，目的在于对各种类型的柴油机进行比较，从中找出影响性能指标的因素及其提高的措施，以便使柴油机指标不断提高，同时可以帮助正确合理的使用柴油机。

柴油机的动力性和经济性指标有两种：一种是以燃烧气体膨胀对活塞做功为基础的指标称为指示指标。它只能评定工作过程进行的好坏。另一种是以柴油机曲轴输出功率为基础的指标称为有效指标。它能够评定整个柴油机性能的好坏。

一、指示指标

1. 平均指示压力 P_i ：首先介绍一下功的计算。指示功是表示气体在气缸内对活塞所作的功。假如气体在气缸中，以大小不变的压力 P 作用在活塞面积 F 上（图1—6），活塞移动 S 时，气体所作的功 $W = P \times F \times S$ 。因为 $F \times S$ 的乘积就是活塞移动时气缸内容积的变化，即 $V_2 - V_1 = \Delta V$ ，则可写成： $W = P \times \Delta V$ 。

如图1—6，它是以气体压力 P 为纵座标，以气缸容积 V 为横座标的示功图。图上的水平直线1—2即表示气体压力不变时，气体膨胀推动活塞做功的过程。从图上可以看出，膨胀过程直线1—2下面所包围的阴影面积在数值上等于 $P \times \Delta V$ ，正好相当于气体所作的功。所以我们把这种图称为示功图或称 $P-V$ 图。

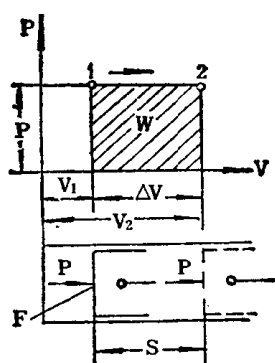


图1—6 气缸中气体不变压力所作的功

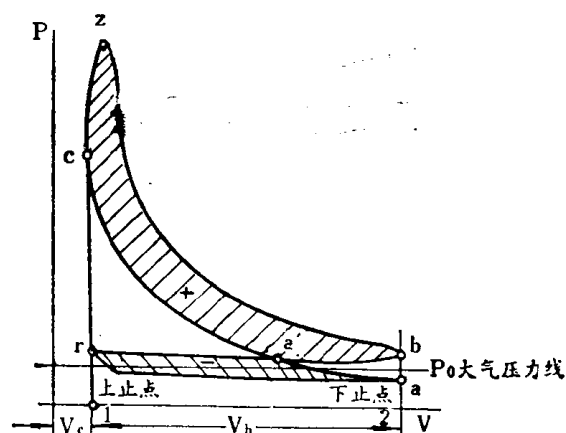


图1—7 四冲程柴油机示功图

V_h —气缸工作容积 V_c —燃烧室容积

但是我们知道，柴油机的实际工作循环过程中，气体的压力是随活塞的不同位置而变的。四冲程柴油机一个工作循环是由四个冲程组成的，所以在示功图上由四条曲线组成（见图1—7）。该图形可由示功仪直接测出。每条曲线与横座标所包围的面积同图1—6一样，仍是该冲程气体对活塞所作的功。而每一工作循环所作的功是四个冲程做功的总和。下面讨论各冲程

功的计算。

进气冲程：进气冲程曲线如图1—7中 $r-a$ 所示。由于气体压力方向与活塞运动方向相同，故作正功。曲线 $r-a$ 与横座标所包围的面积 $ra21r$ 就是进气冲程气体对活塞所作的正功。

压缩冲程：压缩冲程曲线如图1—7中 $a-a'-c$ 所示。由于气体压力方向与活塞运动方向相反，故作负功。曲线 $a-a'-c$ 与横座标所包围的面积 $aa'cr12a$ 就是压缩冲程气体对活塞所作的负功。

作功冲程：作功冲程曲线如图1—7中 $c-z-b$ 所示。由于气体方向与活塞运动方向相同，故作正功。其数值相当于由 $czba21rc$ 所包围的面积。

排气冲程：排气冲程曲线如图1—7中 $b-a'-r$ 所示。由于气体压力方向与活塞运动方向相反，故作负功。其数值相当于由 $ba'r12ab$ 所包围的面积。

计算四个冲程所作总的正功面积和负功面积。

正功面积：作功冲程所作正功面积与压缩冲程所作负功面积之差，即 $czba21rc - aa'cr12a$
 $a = aa'czba = ba'czb + aa'b$ 。

负功面积：排气冲程所作负功面积与进气冲程所作正功面积之差，即 $-ba'r12ab + ra21r$
 $r = -ba'rab = -aa'ra - aa'b$ 。

正功面积的 $aa'b$ 与负功面积的 $aa'b$ 互相抵消，故正功面积只剩图1—7中的阴影面积 $ba'czb$ ，即为每一个循环气体对活塞所作正功。

负功面积只剩图1—7中的阴影面积 $aa'ra$ ，即为每一个循环进、排气的泵气损失功。

以上正、负面积可用求积仪测出。用求积仪滚轮沿图形轮廓线滚动，就可读出该图形面积数值。

每一个循环的指示功应该是正功面积 $ba'czb$ 减掉负功面积 $aa'ra$ 。但是工厂一般用熄火法或拖动法来测量指示功率，则泵气损失包括到摩擦损失中去了，故测得的指示功就是阴影面积 $ba'czb$ 。

指示功 $ba'czb$ 用 W_i 表示。对于气缸尺寸相同的柴油机，工作循环进行得越好，作功越多，则 $ba'czb$ 面积也越大。

说明：活塞从上止点向下止点运动时，活塞下边（即曲轴箱内）的大气压力是阻碍活塞运动的，故消耗一定的功。相反，活塞从下止点向上止点运动时，活塞下边的大气压力帮助活塞向上运动，故作有用功。由于进气和作功冲程活塞是从上止点向下止点运动，而压缩和排气冲程活塞是从下止点向上止点运动，故在四个冲程过程中，活塞下边的大气压力所作的功互相抵消，好像活塞下边的大气压力为零一样，因此在计算每个冲程作功时，可把活塞下边的大气压力作为零。故进气冲程作正功（实际消耗功），这是气体力学计算方法，综合计算结果与实际无差异。

为解释平均指示压力 P_i 。将图1—7中环形面积 $ba'czb$ 拿出来，如图1—8所示，环形面积为每循环作的指示功 W_i 。我们假想一个大小不变的压力 P_i 作用在活塞上，使活塞移动一个冲程 S 所作的功正好等于 W_i ，即矩形面积1234等于 W_i ， P_i 称为平均指示压力。

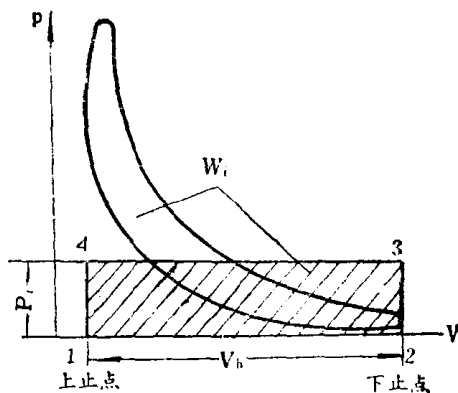


图1—8 平均指示压力示意图