

汽车实用技术



柴油发动机构造 与原理

黄 玮 编



科学出版社
www.sciencep.com

汽车实用技术

柴油发动机构造与原理

黄 玮 编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以柴油发动机基本工作原理与构造为主线,全面阐述了柴油发动机的总体及各部分构造。内容包括:柴油发动机总论、燃烧和燃烧室、机体组及曲柄连杆机构、配气机构、发动机润滑系统、冷却系统、燃油供给系统、柴油发电机电控燃油系统、进排气装置,以及电气系统。本书内容全面,图文并茂,具有很强的实用性。

本书可供工科院校汽车专业学生参考,也可供汽车爱好者扩展知识使用,还可供从事汽车检测维修、汽车运输管理等行业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

柴油发动机构造与原理/黄玮编. —北京:科学出版社,2009

(汽车实用技术)

ISBN 978-7-03-025504-4

I. 柴… II. 黄… III. ①汽车-柴油机-构造②汽车-柴油机-理论
IV. U464.172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 158314 号

责任编辑:杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 力

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

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>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 10 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 10 月第一次印刷 印张: 17 1/2

印数: 1—5 000 字数: 318 000

定 价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

汽车实用技术丛书编委会

主 委	编	张 蕾			
	员	董恩国	黄 玮	童敏勇	高婷婷
		高鲜萍	张玉书	邢艳云	刘晓锋
		闫光辉	陈 越		

前 言

柴油发动机是目前产业化应用的各种动力机械中热效率最高、能量利用率最好、最节能的机型,它已经成为汽车、工程机械、通用设备、移动电站等装备的主要配套动力。

随着柴油发动机新结构与电子控制技术的广泛应用,柴油发动机所固有的噪声大、污染严重的问题已得到了根本性的治理,所以柴油发动机较汽油发动机已越来越多地引起人们的关注。

本书编写内容实用性强,涉及面广,针对柴油发动机结构特点,详尽地介绍了电控汽车柴油发动机上普遍应用的直列泵、转子柱塞分配泵、对置柱塞分配泵、泵喷嘴,以及高压共轨五大类燃油供给系统和柴油发动机进排气系统的结构与原理。特别是对一些复杂结构,采用了图文结合的手法,简化了文字叙述,达到了一目了然的效果。

本书基础内容全面,能使学生全面了解柴油发动机基本工作原理与构造等基本知识,打好基础;同时将目前已实用化的新结构、新技术尽量写到书中,以使所学知识与飞速发展的汽车技术相适应。

本书由天津工程师范学院汽车与交通学院黄玮担任主编(编写第2、7、8章),参加本书编写的有成英(编写第1、10章)、周少静(编写第3、4章)、赵兴楠(编写第5、6章)、包丕利(编写第9章)。本教材由天津工程师范学院汽车与交通学院尤明福教授担任主审。本书在编写过程中还得到了张蕾、高婷婷、刘晓锋、邢艳云、童敏勇、孟杰、闫光辉具体帮助指导,在此表示衷心感谢。

本书编写过程中参考了许多国内外公开出版的著作、文献与技术资料,在此表示感谢。

由于编者水平所限,编写内容可能有局限性,也难免有不妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 柴油发动机总论	1
1.1 柴油发动机概况	1
1.2 柴油发动机的发展	1
1.3 柴油发动机与汽油发动机的比较	3
1.4 压缩着火的概论	4
1.4.1 压缩热产生的过程	4
1.4.2 压缩热和压缩压力之间的关系	5
1.4.3 燃油的着火温度	6
1.4.4 燃烧的过程	7
1.4.5 过量空气系数	7
1.5 柴油发动机的工作	7
1.5.1 四行程柴油发动机	7
1.5.2 两行程柴油发动机	9
1.5.3 四行程柴油发动机和两行程柴油发动机的比较	10
思考题	11
第 2 章 燃烧和燃烧室	13
2.1 柴油发动机的燃烧过程	13
2.2 柴油发动机爆燃	15
2.2.1 发生原因	15
2.2.2 防止柴油发动机爆燃的方法	15
2.2.3 柴油发动机和汽油发动机的爆燃	17
2.3 柴油发动机的排放尾气	17
2.3.1 大气污染物质的产生	17
2.3.2 大气污染物质的降低	21
2.4 柴油发动机的燃烧室	22
思考题	26
第 3 章 机体组及曲柄连杆机构	27
3.1 概 要	27
3.2 结构和功能	31
3.2.1 气缸盖	31
3.2.2 气缸垫	36

3.2.3 缸体及缸套	37
3.2.4 活塞及活塞环	42
3.2.5 连杆和连杆轴承	55
3.2.6 曲轴和轴颈轴承	58
思考题	67
第4章 配气机构	69
4.1 概 要	69
4.1.1 配气机构的功用及组成	69
4.1.2 配气机构分类	70
4.1.3 配气相位及气门间隙	74
4.2 结构和功能	77
4.2.1 气门组	77
4.2.2 气门传动组	80
4.2.3 气门正时机构	84
4.2.4 减压装置	87
4.2.5 柴油发动机的关闭方法	88
思考题	88
第5章 发动机润滑系统	91
5.1 概 要	91
5.1.1 润滑系统功用及组成	91
5.1.2 供油和润滑方式	92
5.2 润滑油	94
5.2.1 机油的功用	94
5.2.2 机油的使用特性及添加剂	94
5.2.3 机油的分类与选用	95
5.2.4 合成机油与润滑脂	96
5.3 结构和功能	97
5.3.1 油 泵	97
5.3.2 机油滤清器	99
5.3.3 机油冷却器	100
5.3.4 机油尺和机油压力表	102
思考题	102
第6章 冷却系统	103
6.1 概 况	103
6.2 结构与功能	105
6.2.1 水 泵	105
6.2.2 水箱和水箱盖	107
6.2.3 节温器	108

6.2.4 风扇和风扇离合器	110
6.2.5 风冷发动机	112
思考题	113
第7章 燃油供给系统	115
7.1 概 要	115
7.2 柴油及其使用性能	115
7.3 燃油装置的构造	116
7.3.1 燃油路径	116
7.3.2 喷油泵	116
7.3.3 燃油滤清器	117
7.3.4 燃油泵	119
7.4 直列型喷油泵	121
7.4.1 概 要	121
7.4.2 泵体的结构与功能	123
7.4.3 调速器	139
7.4.4 喷油提前器	153
7.5 分配式喷油泵	157
7.5.1 概 要	157
7.5.2 燃油路径	159
7.5.3 泵本体的结构与功能	159
7.5.4 调速器	167
7.5.5 机械式喷油提前器	173
7.5.6 附属装置	173
7.6 喷油器	177
7.6.1 概 要	177
7.6.2 喷油嘴的种类、结构与功能	178
7.6.3 喷油嘴固定器的种类、结构与功能	181
思考题	184
第8章 柴油发动机电控燃油系统	185
8.1 概 要	185
8.1.1 电控柴油发动机的发展	185
8.1.2 电控柴油发动机的主要特点	185
8.2 柴油发动机电控喷油系统	186
8.2.1 电控直列式喷油泵	186
8.2.2 电控分配式喷油泵	190
8.2.3 电控高压分配式喷油泵	194
8.2.4 电控泵喷嘴与电控单体泵系统	201
8.2.5 电控共轨燃油系统	208

8.3 电控柴油发动机的传感器与控制原理	223
8.3.1 传感器	225
8.3.2 发动机控制单元	229
8.3.3 执行器	230
8.4 柴油发动机喷油泵编号规则	232
8.4.1 直列式喷油泵	233
8.4.2 调速器	234
8.4.3 喷油提前器(标准型)	234
8.4.4 喷油提前器(偏心凸轮型)	234
8.4.5 燃油泵	235
8.4.6 喷油嘴固定器	235
8.4.7 喷油嘴	235
8.4.8 VE型喷油泵	236
思考题	237
第9章 进排气装置	239
9.1 概 要	239
9.2 结构与功能	240
9.2.1 空气过滤器	240
9.2.2 进气歧管	241
9.2.3 增压器	242
9.2.4 曲轴箱通风装置	247
9.2.5 废气再循环装置	247
9.2.6 柴油发动机催化净化器及微粒捕捉器	249
思考题	253
第10章 电气系统	255
10.1 概 要	255
10.2 预热装置	255
10.2.1 预热塞式预热装置	256
10.2.2 预热器式预热装置	259
10.3 起动装置	261
10.4 充电装置	263
10.4.1 交流发电机	264
10.4.2 IC调节器	264
思考题	268
参考文献	269

第 1 章

柴油发动机总论

1.1 柴油发动机概况

柴油发动机是用柴油作燃料的内燃机,通过将空气压缩,用其压缩热将燃油点燃并燃烧而得到动力,它又常以其主要发明者狄塞尔的名字命名为狄塞尔¹⁾发动机。

柴油发动机在工作时,吸入柴油发动机气缸内的空气,因活塞的运动而受到较高程度的压缩,达到 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的高温。然后将燃油以雾状喷入高温空气中,与高温空气混合形成可燃混合气,自动着火燃烧。燃烧中释放的能量作用在活塞顶面上,推动活塞并通过连杆和曲轴转换为旋转的机械功。

与汽油发动机相比,柴油发动机没有点火装置,它具有将燃油喷射到高温、高压燃烧室的喷油泵和喷油嘴。在缸体及曲柄连杆机构和配气机构、润滑系统,以及冷却系统等基本构造方面,柴油发动机与汽油发动机区别不大。

在工作方式上,柴油发动机与汽油发动机一样,具有四行程方式和二行程方式两种,一般汽车中广泛使用的柴油发动机为四行程发动机。

1.2 柴油发动机的发展

法国出生的德裔工程师鲁道夫·狄塞尔,1892 年开始研究柴油发动机,1897 年研制成功输出功率为 18 马力、热效率达 25%、可供实用的四行程柴油发动机。由于它明显地提高了热效率而引起人们的重视。起初,柴油发动机用空气喷射式(air injection)²⁾,附属装置庞大笨重,只用于固定作业。

1) 鲁道夫·狄塞尔:(Rudolf Diesel 1853—1913)出生在法国的德国人,慕尼黑技术大学毕业后就职于巴黎的制冰工厂,致力于研究蒸汽机的改良。

2) 空气喷射式:将燃油和压缩空气共同喷射的发式。

鲁道夫·狄赛尔随后着手研究柴油发动机在汽车上的应用,1909年虽然完成了四行程四气缸发动机每分钟600转,输出功率22kW的试制,但是空气喷射式发动机在汽车中使用还存在种种难点,不能得到实际应用。而后来,这种空气喷射式发动机在船舶和其他领域得到了广泛的使用。1910年满足无气喷射式(airless injection)发动机在英国威格士(Vickers)公司研制成功,与空气喷射式相比,无气喷射式具有更多特性,能够发挥出高速发动机的性能。

1922年,德国的博世发明了机械喷射装置,逐渐替代了空气喷射式。20世纪20年代后期出现了高速柴油发动机,并开始用于汽车。法国的标致公司、德国的戴姆勒-奔驰公司和MAN公司、美国的康明斯公司、日本日产公司等都不断地对高速柴油发动机进行了研发。

到了20世纪50年代,一些结构性能更加完善的新型系列化、通用化的柴油发动机发展起来,从此柴油发动机进入了专业化大量生产阶段。特别是在采用了废气涡轮增压技术以后,柴油发动机已成为现代动力机械中最重要的部分。

与汽油发动机相比,柴油发动机的燃油消耗率低,因此非常适合于对经济性有较高要求的卡车和公共汽车等大型车辆。近年来,随着柴油发动机经济性的提高、输出功率的增强和小型轻量化的发展,在小型卡车和轿车上也开始大量装配。

目前,日本大型卡车中所使用的柴油发动机的主要规格参数如表1.1所示,轿车及小型卡车使用的柴油发动机的主要规格参数如表1.2所示。

表 1.1 日本大型卡车使用的柴油发动机的主要规格参数

公司名称	发动机型号	燃烧室形式	供气方式	气缸参数 内径×行程 (mm)(mm)	总排气量 (L)	最高输出功率 kW (r/min)	最大转矩 N·m (r/min)
五十铃	6HEITC	直喷	TI	L6-110×125	7.127	184(2700)	686(1700)
五十铃	6WAI-TCS	直喷	TI	L6-133×145	12.068	279(2000)	1565(1200)
日野	K13CK-4	直喷	TI	L6-135×150	12.882	283(2000)	1618(1400)
日野	V25C	直喷	NA	V10-146×147	24.610	353(2200)	1667(1400)
三菱	6D15T3	直喷	TI	L6-113×115	6.919	180(2700)	706(1400)
三菱	8DC11	直喷	NA	V8-142×140	17.737	261(2200)	1225(1300)
日产柴油发动机	FE6E	直喷	NA	L6-108×126	6.925	143(3000)	500(1600)
日产柴油发动机	RF8TA	直喷	TI	V8-138×142	16.991	353(2200)	1765(1200)

供气方式:NA—自然吸气、TI—涡轮增压;气缸排列:L—直列、V—V型

表 1.2 日本轿车及小型卡车使用的柴油发动机的主要规格参数

公司名称	发动机型号	燃烧室形式	供气方式	气缸参数 内径×行程 (mm)(mm)	总排气量 (L)	最高输出功率 kW (r/min)	最大转矩 N·m (r/min)
丰田	3C-T	涡流室	TI	L4-86×94	2.184	74(4200)	216(2600)
日产	CD20-TC	涡流室	TI	L4-84.5×88	1.973	74(4400)	206(2400)

续表 1.2

公司名称	发动机型号	燃烧室形式	供气方式	气缸参数 内径×行程 (mm)(mm)	总排气量 (L)	最高输出功率 kW (r/min)	最大扭矩 N·m (r/min)
大发	DL-TC-IC	涡流室	TI	L4-92×102	1.765	85(3400)	250(2200)
三菱	4M40-TC	涡流室	TI	L4-95×100	2.835	93(4000)	295(2000)
五十铃	4BE2	涡流室	NA	L4-105×105	3.636	74(3300)	236(1900)
马自达	SL	直喷	NA	L4-100×110	3.455	78(3200)	245(2000)

供气方式:NA—自然吸气、TI—涡轮增压;气缸排列:L—直列

与汽油发动机相比,柴油发动机排放尾气中所包含的大气污染物质较少,但是随着汽车数量的不断增加,社会上对于降低尾气排放和噪声的呼声愈来愈强烈,特别是对柴油发动机特有的 PM¹⁾、NO_x,以及噪声问题非常重视,正在通过开发新技术的方法来实现对它们的降低。

1.3 柴油发动机与汽油发动机的比较

柴油发动机和汽油发动机的主要区别如下:

(1) 与汽油发动机相比,柴油发动机压缩比高,其热量有效使用比例高,热效率好。因此燃油消耗率低,经济性好。

(2) 如表 1.3 所示,因为燃油使用的是比汽油引火点高的柴油,所以在使用和存放上危险性较小。汽油发动机输出动力控制是通过控制进气量来进行的,而柴油发动机是通过控制喷油量来进行的,所以在部分负荷时没有进气节流损失,从而降低了燃油消耗率。

表 1.3 燃油的引火点和着火点

燃油名称	引火点℃	着火点℃
柴油	50 以上	300—400
汽油	-25 以上	400—500

(3) 与汽油发动机的电火花点火方式不同,柴油发动机是通过空气的压缩热来使燃油自燃的。

(4) 内燃机的理论循环如图 1.1 所示,汽油发动机是定容循环(奥托循环),而车用柴油发动机是由定容循环和定压循环合成的混合循环(萨巴德循环),进行定容和定压燃烧。

(5) 因为燃烧压力很高,柴油发动机所有零部件都必须具有较高的强度,并且还要配置经过精密加工的喷油泵和喷油器等部件,所以柴油发动机的制造成本高。

(6) 柴油发动机活塞、连杆等运动部件重量大,所以最高转速低,相同气缸容

1) PM(Particulate Matter);颗粒状物质是碳烟的主要组成物质。

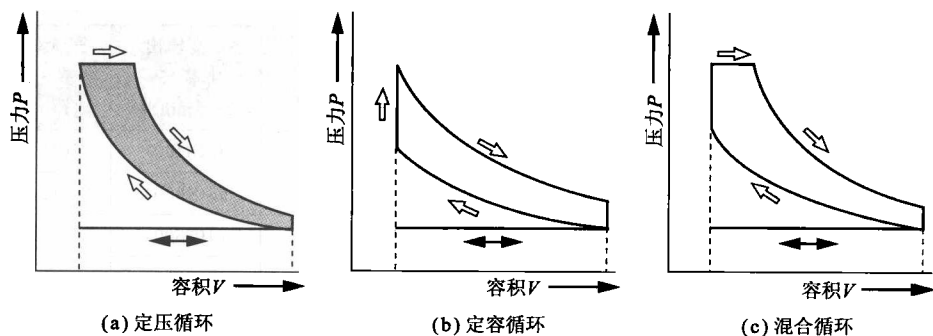


图 1.1 理论循环(四行程)

积的输出功率小。

(7) 柴油发动机停机可以通过停止喷油或阻断空气的方法来进行。

柴油发动机和汽油发动机的主要区别归纳在表 1.4 中。

表 1.4 柴油发动机与汽油发动机的比较

项 目	柴油发动机	汽油发动机
燃烧循环	萨巴德循环	奥托循环
燃油	柴油	汽油
压缩比	15~22	6~10
压缩压力	高	低
燃烧室形状	复杂	简单
混合气的生成	压缩终点向气缸内雾状喷油	在进气歧管或气缸内形成混合气
燃烧方式	通过压缩热自燃	通过点火装置火花点火
输出动力控制	燃油喷射量的增减	空气量的增减
燃油供给方式	喷油泵和喷油嘴 高压 8~28MPa	化油器或者喷油器 低压 0.1~0.5MPa
热效率	30%~40%	22%~28%
燃油消耗率	185~300g/kW·h	270~380g/kW·h
起动性能	差(需要辅助装置)	良好
加速性能	差(因为各组成部分重量大)	良好
运行中的震动和噪声	较大	小

1.4 压缩着火的概论

1.4.1 压缩热产生的过程

气缸内的空气是随着活塞的上升而被压缩的。空气被压缩时,在压力升高同时温度也开始上升,这就是产生压缩热的过程。

气缸内吸入的空气分子在压缩前是不活跃地漂浮在气缸内的,压缩开始后通过活塞的运动得到了能量,分子的运动速度加快。与此同时,空气分子与活塞碰撞,以及相互之间的碰撞,使空气分子所具有的动能转化成热能,空气的温度逐步提高。继续压缩到压缩上止点,空气分子的运动空间(容积)达到极小的状态,与气缸内壁碰撞的次数也增加起来,空气的温度会达到更高。

像这样压缩热是通过吸入空气分子间的相互碰撞而产生的,按照吸入的空气量和压缩比将从外部得到的能量转化成热,来提升空气的温度。

1.4.2 压缩热和压缩压力之间的关系

将气体绝热压缩的情况下,气体的容积和温度之间具有以下关系式:

$$TV^{K-1} = \text{一定}$$

其中, T 为绝对温度; V 为气体的容积; K 为比热比。

并且压缩压力和气体的容积之间具有如下关系式:

$$PV^K = \text{一定}$$

其中, P 为压缩压力; V 为气体的容积; K 为比热比。

其中比热比是描述气体热力学性质的一个重要参数,定义为定压比热 C_p 与定容比热 C_v 之比,通常用符号 γ 表示,即 $\gamma = C_p/C_v$ 。

在空气动力学中,空气的 γ 值常取为 1.40。

利用以上关系式,就可以求出对于各种压缩比的空气的压缩压力和压缩热(空气温度),如图 1.2 所示。但是,该图中的值是活塞与气缸间没有空气溢出,压缩热也完全没有流失的情况下的理想值,而在实际的发动机中多少都会有空气的溢出

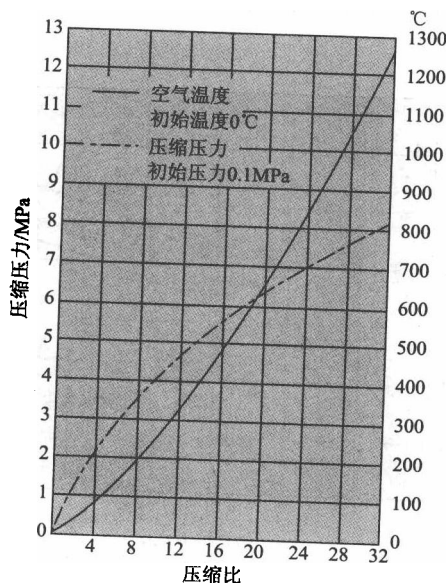


图 1.2 压缩比、压缩压力及空气温度之间的关系

和压缩热的流失,所以发动机转数与压缩压力的关系图如图 1.3 所示。

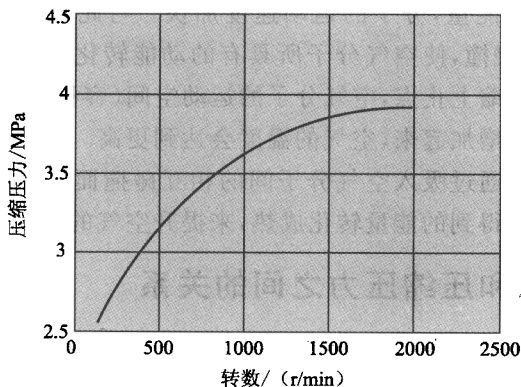


图 1.3 转数和压缩压力之间的关系

1.4.3 燃油的着火温度

柴油发动机工作时燃油被喷射到气缸内高温高压的空气中,使其加热达到自燃温度自燃。

像这种提高燃油的温度,即使外部的温度达不到也可以自行着火,我们将这个最低温度称为燃油的着火点(着火温度),空气温度越高于燃油的着火温度,空气中的热就可以越快地传递到燃油中,燃油就能尽快地着火燃烧。

也就是说,压缩空气的温度越大于燃油的着火温度越容易着火,柴油发动机中压缩比越高,或者使用的燃油(柴油)的着火点越低越容易着火。

如图 1.4 所示,一般情况下燃油的着火温度具有随着压力的升高而下降的倾向。

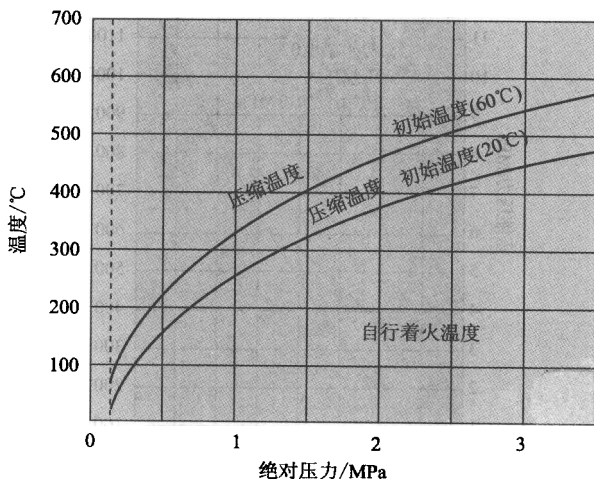


图 1.4 压缩空气的温度上升和燃油的自行着火点

1.4.4 燃烧的过程

将燃油以雾状形态喷射到气缸内高温的空气中,通过加热使其气化,并与空气混合成为混合气体着火燃烧。因此燃油的喷雾形状和燃油与空气的混合状态是决定燃烧是否完善的关键因素。

为了在燃烧室内使燃油和空气达到最佳混合状态,人们对燃烧室的形状进行了大量的研究,开发了直喷式、预燃式、涡流式等燃烧室。

1.4.5 过量空气系数

为了使燃油完全地燃烧,必须要有充分的氧气,而空气中含有的氧气量(比例)是固定的,因此如果掌握发动机吸入空气的质量,就可以计算出可以燃烧燃油的最大量。

理论上完全燃烧 1kg 柴油大约需要 15kg 空气。

我们将实际进入气缸的空气质量与所喷射的燃油完全燃烧的理论空气质量

$$\text{过量空气系数} = \frac{\text{实际进入气缸的空气质量}}{\text{所喷射的燃油完全燃烧的理论空气质量}}$$

汽油发动机是在点火前将燃油和空气形成可燃混合气,所以吸入空气中的氧气大部分都被使用在燃烧中了,而柴油发动机是将燃油喷射到燃烧室之后,在燃烧室内与空气混合燃烧的。

因此在柴油发动机中具有只消耗喷射燃油附近氧气的倾向,容易出现部分的氧气不足的现象。

为了使燃油完全燃烧,柴油发动机需要比汽油发动机吸入更多的空气,这样造成了过量空气系数过大的现象。

一般情况下,过量空气系数在全负荷(最大喷油量)时是 1.2~1.4 倍左右,在低速轻负荷(最小喷油量)时是 2.5 倍以上。

1.5 柴油发动机的工作

1.5.1 四行程柴油发动机

所谓四行程是指发动机的进气、压缩、膨胀(燃烧做功)、排气这四个基本动作,即曲轴旋转两周所完成的工作。柴油发动机依次进行的是将空气吸入到气缸内的进气行程;将进入的空气进行压缩以得到高温的压缩行程;向高温的空气中喷射燃油使燃油燃烧而产生动力的膨胀行程;以及将燃烧后的气体排放到气缸外的排气行程。图 1.5 是对这些动作的说明。

1. 进气行程

在关闭排气门,开启进气门的状态下,活塞向下滑动使气缸内产生负压,从而

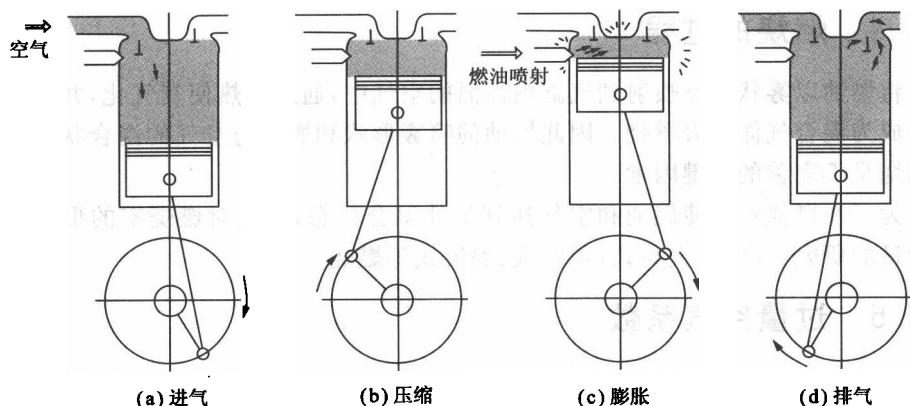


图 1.5 四行程柴油发动机的工作

将空气吸入气缸。在这种情况下,为了提高空气的进气效率,进气门可以在达到上止点之前开启,在越过下止点后关闭。

并且进气管路上没有像汽油发动机中所具有的节气门等装置(根据柴油发动机的型号不同有些也配有这些装置,但是使用的目的是与汽油发动机不同的,几乎不对进气过程产生节流的作用),所以从无负荷到全负荷过程中进气量最大且基本不变。

2. 压缩行程

活塞从下止点上升开始,在关闭进气门后,就开始对气缸内的空气进行压缩。如前所述,空气经压缩后的温度必须大于燃油自燃着火温度,因此即使发动机低速运转的时候,压缩压力也要达到 $2\sim 3\text{MPa}$,这时的压缩温度会达到 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。

3. 膨胀行程

在压缩行程快要结束的时候,将燃油以 10MPa 以上的高压从喷嘴以雾状喷射后,遇到空气压缩产生的高温,燃油就会自燃着火燃烧。并且温度和压力会急剧上升,使活塞向下带动曲轴旋转。

4. 排气行程

为了更有效地将燃烧后的气体排出,活塞在到达膨胀行程的下止点之前就将排气门打开,燃烧后的气体就会先在自身压力下排出气缸,然后再通过活塞的上升将剩余的气体挤出气缸外。

同时排气门会在活塞经过上止点后关闭。

以活塞在上下止点为基准的进气及排气门的开闭时间,用曲轴转角计算称为气门正时(或称配气相位),用环形图表示称为气门正时示意图(或称配气相位图)。图 1.6 是四行程柴油发动机气门正时示意图。