

海上平台设备国产化系列专著

海洋石油平台关键设备 国产化研究

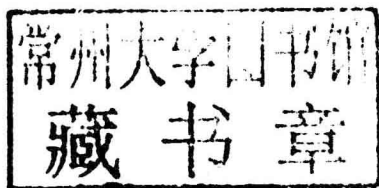
主 编 刘全恩
副主编 杨家臣
白文柱
肖 宇

中国石油大学出版社

海上平台设备国产化系列专著

海洋石油平台关键设备 国产化研究

主 编 刘全恩
副主编 杨家臣 白文柱 肖 宇



中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

海洋石油平台关键设备国产化研究/刘全恩主编.
—东营: 中国石油大学出版社, 2013. 9
ISBN 978-7-5636-4119-2

I. ①海… II. ①刘… III. ①海上平台—采油设备—
研究 IV. ①TE95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 181747 号

书 名: 海洋石油平台关键设备国产化研究
主 编: 刘全恩
副 主 编: 杨家臣 白文柱 肖 宇

责任编辑: 袁超红 曹秀丽(电话 0532—86981532)
封面设计: 刘 敬

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营, 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com
印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 86983437)
开 本: 185 mm×260 mm 印张: 14.25 字数: 358 千字
版 次: 2013 年 10 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 50.00 元

前 言

海洋油气开发在我国石油工业持续发展中的作用越来越重要,海洋油气产业由此也获得了越来越多的重视。相对于陆上油气开发,海洋油气开发面临更加复杂的环境,需要相应的开发技术及装备提供支撑。然而,就海洋油气装备产业来说,大部分核心技术和供给都为发达国家的少数制造商所控制。我国进行海洋油气开发的许多主要设备和部件尚依赖进口,不仅存在供货周期长、成本高的问题,而且后期服务也往往不能满足需求,甚至对油气生产产生巨大影响。为此,我们进行了海上平台设备国产化开发的相关研究工作,本书就是基于作者团队从事海洋石油平台关键设备国产化研究与应用实践的成果总结而成的。

本书内容分为柴油机和离心泵两大部分,共六章。第一章简要阐述柴油机、发动机及双燃料柴油机的基础知识;第二章介绍双燃料柴油机的精密偶件、气阀、气阀弹簧、缸套、活塞环、阀座、出油阀、连杆、O型圈、波纹管 and 缸垫国产化研制的详细内容、样件研制步骤及装机考核应用;第三章简要阐述离心泵和多级离心泵的结构、工作原理、基本方程式、性能参数与特性曲线;第四章至第六章分别介绍 LD10-1 平台、QHD32-6 平台、QK18-1 平台注水泵配件的国产化研制内容、样件研制步骤及装机试验效果。

书中涉及的海洋石油平台相关部件的设计依据、进口部件与国产部件的对比以及海洋平台关键设备国产化实施技术,对于指导海洋平台设备的维护、运转,推动海洋平台国产关键设备的升级具有一定意义,可供海洋石油平台及其关键设备的管理、设计、制造人员参考。期望本书内容能对海洋石油开发的管理者、科技人员及维护人员等起到良好的参考和借鉴作用,共同推动我国海洋石油平台设备向更高层次发展。

在海洋石油平台关键设备国产化研究和本书编写过程中,得到了领导及专家的关心,也得到了相关高校、科研机构和企业的大力支持,在本书即将付梓之际,向他们表示衷心感谢。

本书中存在的不妥或不足之处,真诚希望广大专家、同行和读者提出宝贵意见。

作 者

2013 年 9 月

目 录

第一篇 双燃料柴油机国产化研究

第一章 双燃料柴油机概述	/3
第一节 柴油机基本构造	/3
第二节 发动机的工作原理	/9
第三节 发动机的主要性能指标与特性	/12
第四节 双燃料柴油发动机	/15
第二章 双燃料柴油机备件国产化研究	/20
第一节 精密偶件国产化研制	/20
第二节 气阀国产化研制	/42
第三节 气阀弹簧国产化研制	/52
第四节 缸套国产化研制	/76
第五节 活塞环国产化研制	/82
第六节 阀座国产化研制	/88
第七节 出油阀国产化研制	/93
第八节 连杆国产化研制	/103
第九节 O型圈国产化研制	/112
第十节 排烟波纹管国产化研制	/116
第十一节 缸垫国产化研制	/121

第二篇 多级离心泵国产化研究

第三章 离心泵概述	/127
第一节 离心泵的结构和工作原理	/127
第二节 离心泵的基本方程式	/131

第三节	离心泵的性能参数与特性曲线	/135
第四节	多级离心泵概述	/147
第四章	LD10-1 平台注水泵配件国产化研究	/152
第一节	LD10-1 平台注水泵配件国产化研制内容	/152
第二节	LD10-1 平台注水泵配件国产样件	/153
第三节	LD10-1 平台注水泵国产配件装机试验	/172
第五章	QHD32-6 平台注水泵国产化研究	/175
第一节	QHD32-6 平台注水泵配件国产化研制内容	/176
第二节	QHD32-6 平台注水泵配件国产样件	/176
第三节	QHD32-6 平台注水泵国产配件装机试验	/192
第六章	QK18-1 平台注水泵配件国产化研究	/196
第一节	QK18-1 平台注水泵配件国产化研制内容	/197
第二节	QK18-1 平台注水泵配件国产样件	/197
第三节	QK18-1 平台注水泵国产配件装机试验	/216
参考文献		/219

第一篇

双燃料柴油机国产化研究



第一章 双燃料柴油机概述

内燃机按照使用燃料的不同可以分为汽油机和柴油机(图 1-1)。汽油机与柴油机的性能差别主要在于:汽油机转速高,质量小,噪音小,起动容易,制造成本低;柴油机压缩比大,热效率高,经济性能和排放性能都比汽油机好。

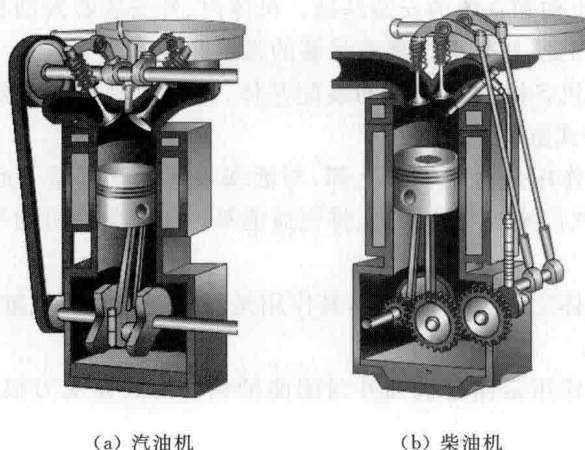


图 1-1 汽油机与柴油机示意图

第一节 柴油机基本构造

柴油机是一种由多种机构和系统组成的复杂机器。任何类型的柴油机,无论是二行程发动机、四行程发动机,还是单缸发动机、多缸发动机,要完成能量转换,实现工作循环,保证长时间连续正常工作,都必须具备以下机构和系统。

一、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,如图 1-2 所示。在做功冲程中,它将燃料燃烧产生的热能通过活塞往复运动、曲轴旋转运动转变为机械能,对外输出动力;在其他冲程中,则依靠曲柄和飞轮的转动惯性,通过连杆带动活塞上下运动,为下一次做功创造条件。

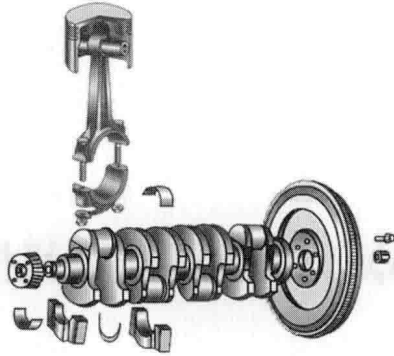


图 1-2 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构由机体组、活塞连杆组、曲轴飞轮组三部分组成。

1. 机体组

机体组主要由气缸体、气缸盖、气缸垫、曲轴箱、气缸套及油底壳组成。机体是构成发动机的骨架,是发动机各机构和系统的安装基础。机体内、外安装着发动机的所有主要零件和附件,承受各种载荷。因此,机体必须要有足够的强度和刚度。

(1) 气缸体是发动机各机构和系统的装配基体,是发动机中最重要的一个部件。气缸体有水冷式缸体和风冷式缸体。

(2) 气缸盖的主要作用是封闭气缸上部,与活塞顶部和气缸壁一起构成燃烧室。发动机的气缸盖上有进、排气门座导管孔和进、排气通道等。一般柴油机的气缸盖上均设有安装喷油器的座孔。

(3) 气缸盖与气缸体之间装有气缸垫,其作用是保证气缸盖与气缸体之间的密封,防止燃烧室漏气、水套漏水。

(4) 油底壳的主要作用是储存机油并封闭曲轴箱。油底壳受力很小,一般采用薄钢板冲压而成。

2. 活塞连杆组

活塞连杆组主要由活塞、活塞环、活塞销、连杆组成。

(1) 活塞的作用是与气缸盖、气缸壁等共同组成燃烧室,并承受气缸中气体的压力,通过活塞销将作用力传给连杆,以推动曲轴旋转。活塞可分为头部、环槽部和裙部三部分。

(2) 活塞环安装在活塞环槽内,用来密封活塞与气缸壁之间的间隙,防止窜气,同时使活塞往复运动顺捷。活塞环分为气环和油环两种。

(3) 活塞销的作用是连接活塞和连杆小头,并将活塞所受的气体作用力传给连杆。

(4) 连杆的作用是将活塞承受的力传给曲轴,并使活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动。连杆由连杆体、连杆盖、连杆螺栓和连杆轴瓦等零件组成。

3. 曲轴飞轮组

曲轴飞轮组主要由曲轴、飞轮以及其他不同作用的零件和附件组成。

(1) 曲轴是发动机最重要的机件之一,其作用是将活塞连杆组传来的气体作用力转变成曲轴的旋转力矩对外输出,并驱动发动机的配气机构及其他辅助装置工作。曲轴前端主要用来驱动配气机构、水泵和风扇等附属机构,前端轴上安装正时齿轮(或同步带轮)、风扇与水泵的带轮、扭转减震器以及起动爪等。曲轴后端采用凸缘结构,用来安装飞轮。



(2) 飞轮是一个转动惯量很大的圆盘,外缘上压有一个齿圈,与起动机的驱动齿轮啮合,供起动机发动时使用。飞轮上通常还刻有第一缸点火正时记号,以便校准点火时刻。

二、配气机构

配气机构是进、排气管道的控制机构,是柴油机的重要组成部分。它按照气缸工作顺序和工作过程的要求,准时开闭进气门和排气门,向气缸供给可燃混合气和新鲜空气并及时排出废气,实现换气过程,如图 1-3 所示。

配气机构可从不同角度来分类。按气门的位置,可分为气门顶置式和气门侧置式;按凸轮轴的位置,可分为下置式、中置式和上置式;按曲轴和凸轮轴的传动方式,可分为齿轮传动式、链条传动式和齿带传动式;按气缸气门数目,可分为二气门式和四气门式等。

配气机构按功用可分为气门组和气门传动组两大部分。气门组包括气门及与之相关联的零件,其组成与配气机构的型式基本无关。气门传动组是从正时齿轮开始至推动气门动作的所有零件,其组成视配气机构的形式而有所不同,它的功用是定时驱动气门使其开闭。

大多数配气机构采用气门顶置式配气机构,进气门和排气门都倒挂在气缸盖上,其组成如图 1-4 所示。气门组包括气门、气门导管、气门座、弹簧座、气门弹簧、锁片等零件。气门传动组一般由摇臂、摇臂轴、推杆、挺柱、凸轮轴和正时齿轮组成。

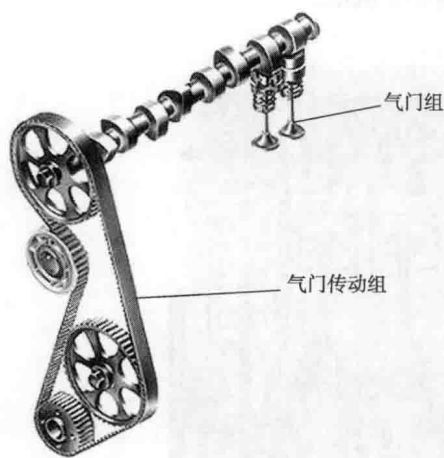


图 1-3 配气机构

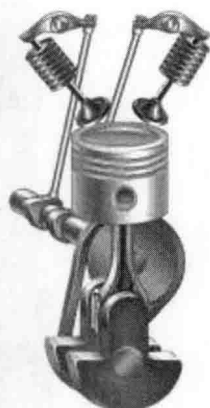


图 1-4 气门顶置式配气机构

三、燃料供给系统

柴油机燃料供给系统的功用是不断供给发动机经过滤清的清洁燃料和空气,根据柴油机不同工况的要求,将一定量的柴油以一定压力和喷油质量定时喷入燃烧室,使其与空气迅速混合并燃烧,做功后将燃烧废气排出气缸。它主要由燃料供给装置、空气供给装置、混合气形成装置和废气排出装置四部分组成,如图 1-5 所示。

(1) 燃料供给装置的主要功用是完成燃料的储存、滤清和输送工作,并以一定压力和喷油质量,定时、定量地将燃料喷入燃烧室。

(2) 空气供给装置的主要功用是供给发动机清洁的空气。

(3) 混合气形成装置(即燃烧室)的主要功用是使燃油与空气混合形成混合气。

(4) 废气排出装置的主要功用是在发动机完成做功后排出气缸内的燃烧废气。

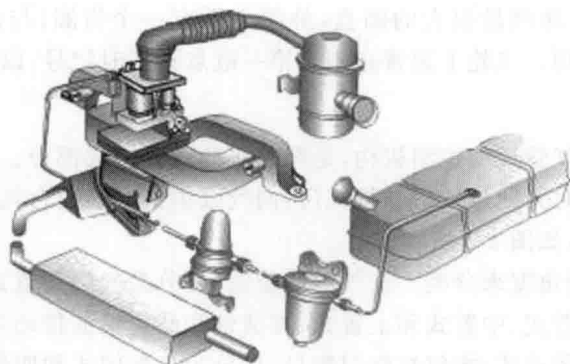


图 1-5 燃料供给系统

四、润滑系统

润滑系统的功用是在发动机工作时连续不断地将数量足够、温度适当的洁净机油输送到全部传动件的摩擦表面,并在摩擦表面之间形成油膜,实现液体摩擦,从而减小摩擦阻力、降低功率消耗、减轻机件磨损,达到提高发动机工作可靠性和耐久性的目的。

润滑方式有压力润滑、飞溅润滑、润滑脂润滑三种。润滑系统主要由机油滤清器、机油散热器、机油泵、限压阀等零件组成,如图 1-6 所示。

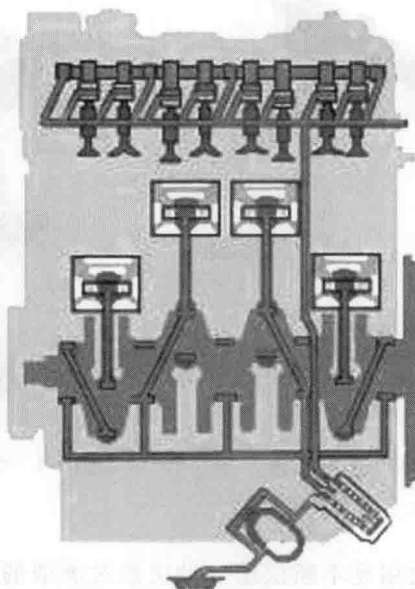


图 1-6 润滑系统

(1) 机油滤清器的作用是滤去机油本身和混入的机械杂质以及机油本身生成的胶质,以防止机械杂质随机油流到摩擦表面而形成磨料磨损或造成管道堵塞。

(2) 机油散热器用来散去机油吸收的温度,使之保持在 $70 \sim 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$,并使机油黏度不至于发生太大变化,确保机件正常润滑。机油散热器根据发动机的额定功率大小和工作特点进行设置,功率大的柴油机设风冷式机油冷却器或水冷式机油冷却器,功率小的柴油机多是依靠机油底散热。



(3) 机油泵在润滑系统中的作用是吸油和提高机油压力并将其压送至发动机的各摩擦表面,有效促进机油的循环流动。润滑系的机油压力高低取决于油泵末端的流动阻力,如果润滑系内油泵末端流动阻力大,则机油压力高;反之,如果流动阻力小,则机油压力低。

(4) 限压阀用来限制润滑系统的机油压力不超过技术文件的规定值,以防损坏密封件。它主要由平衡弹簧和球阀(或锥阀)等组成。其工作原理是:限压阀靠平衡弹簧和球阀(或锥阀)来限制机油压力,使机油压力不超过技术文件的规定值。当机油压力超过规定值时,便克服弹簧的弹力将阀门推开,从而使系统内泄压;当机油压力低于弹簧弹力时,阀门在弹簧的作用下又关闭。

五、冷却系统

冷却系统的功用是将受热零件吸收的部分热量及时散发出去,保证发动机在最适宜的温度状态下工作,如图 1-7 所示。

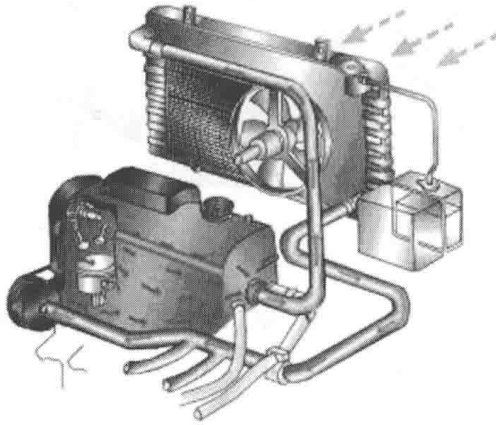


图 1-7 冷却系统

引擎依照冷却的方式可分为气冷式引擎和水冷式引擎。气冷式引擎是靠引擎带动风扇及车辆行驶时的气流来冷却引擎;水冷式引擎则是靠冷却水在引擎中循环冷却引擎。无论采用何种方式冷却,正常的冷却系统必须确保引擎在各种行驶环境下工作都不会过热。

一般情况下,发动机多数采用水冷式引擎。水冷式引擎的冷却循环可分为小循环与大循环。小循环是指冷却水仅在引擎内循环,而大循环则是指冷却水在引擎与热交换器(水箱)间循环。冷却循环分为大、小循环主要是因为引擎在冷车时温度低,此时少量的冷却水在引擎内做小循环,就能够让引擎迅速达到工作温度。一旦引擎达到工作温度,控制大、小循环转换的温度控制阀(俗称水龟)就会开启,使冷却水能流至水箱内,让空气将热带走。引擎温度越高,水龟开启的程度就越大,冷却水的流量也越大,能够带走的热量就越多。冷却水的循环主要靠水泵浦带动,水泵浦由引擎的运转驱动。引擎转速越高,水泵浦的运转效率也越高。

水冷发动机的冷却系通常由冷却水套、水泵、风扇、水箱、节温器等组成。

六、起动系统

要使发动机由静止状态过渡到工作状态,必须先用外力转动发动机的曲轴,使活塞作往复运动,气缸内的可燃混合气燃烧膨胀做功,推动活塞向下运动使曲轴旋转,发动机才能自行运转,工作循环才能自动进行。因此,曲轴在外力作用下开始转动到发动机

开始自动怠速运转的全过程,称为发动机的起动。完成起动过程所需的装置,称为发动机的起动系统,如图 1-8 所示。柴油机起动转速随着柴油机类型的差异而变化,如预燃式比直接喷射式燃烧室柴油机的起动转速要高,因为预燃室式燃烧室的散热面积大。一般高速柴油机的起动转速为 150~300 r/min。根据起动时所用能量不同,柴油机的起动装置和起动方式也不同。

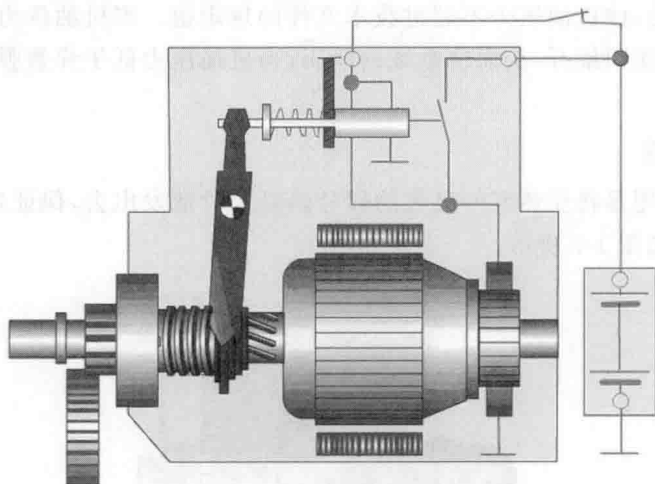


图 1-8 起动系统

柴油机最常用的起动方法有手摇起动、电力起动(起动电机起动)、压缩空气起动三种。手摇起动主要用于 15~22 kW 以下的小型柴油机,车用、工程机械和船用柴油机大多数采用后两种起动方法。

1. 手摇起动或绳拉起动

手摇起动或绳拉起动装置结构十分简单,主要用于小功率单缸柴油机的起动。手摇起动装置由安装在柴油机前端的起动爪和起动摇柄组成。此种起动方式一般在柴油机气门上安装起动减压装置。起动减压装置通过降低起动转矩、提高起动转速来改善柴油机的起动性能。

2. 起动电机起动

以电动机作为动力源,当电动机轴上的驱动齿轮与柴油机飞轮周缘上的环齿啮合时,电动机旋转时产生的电磁转矩通过飞轮传递给柴油机的曲轴,使柴油机起动。电力起动机简称起动机,它以蓄电池为电源,结构简单,操作方便,起动迅速、可靠。目前,几乎所有的中小功率柴油机都采用起动电机起动。

3. 压缩空气起动

船用大功率柴油机绝大多数采用压缩空气起动,这是因为柴油机各运动部件重量大,起动箱的惯性力和阻力很大。压缩空气起动的原理是将具有一定压力的压缩空气按柴油机起火次序,在工作冲程时送入各气缸,推动活塞,使柴油机转动起来。待柴油机转速达到起动转速,喷入燃烧室中的燃料才能自行点着火燃烧,使柴油机正常运行。



第二节 发动机的工作原理

内燃机按照完成一个工作循环所需的行程数可分为四行程内燃机和二行程内燃机,如图 1-9 所示。将曲轴转两圈(720°),活塞在气缸内上下往复运动四个行程,完成一个工作循环的内燃机称为四行程内燃机;而将曲轴转一圈(360°),活塞在气缸内上下往复运动两个行程,完成一个工作循环的内燃机称为二行程内燃机。

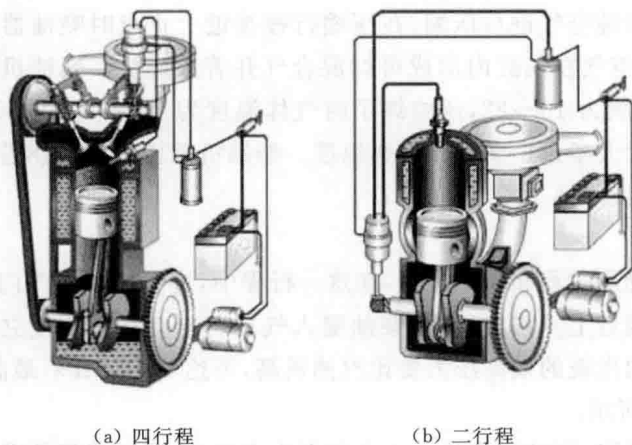


图 1-9 四行程和二行程内燃机

一、四行程柴油机的工作原理

一个完整的四行程柴油机工作循环包括进气、压缩、做功和排气四个行程。由于柴油黏度大,不易蒸发,自燃温度低,故可燃混合气的形成、着火方式、燃烧过程以及气体温度压力的变化都与汽油机不同。

1. 进气行程

由于曲轴的旋转,活塞从上止点向下止点运动,这时排气门关闭,进气门打开。进气过程开始时,活塞位于上止点,气缸内残存有上一循环未排净的废气,此时气缸内的压力稍高于大气压力。随着活塞下移,气缸内容积增大,压力减小。当压力低于大气压时,在气缸内产生真空吸力,空气经空气滤清器通过进气门被吸入气缸,直至活塞向下运动到下止点,其运动过程如图 1-10 所示。

四行程柴油机在进气行程中吸入气缸的是纯空气而不是可燃混合气,在进气通道中没有化油器,进气阻力小,进气终了时气体压力略高于汽油机而气体温度略低于汽油机。进气终了时,气体压力为 $0.0785 \sim 0.0932$ MPa,温度为 $300 \sim 370$ K。

2. 压缩行程

曲轴继续旋转,活塞从下止点向上止点运动,这时进气门和排气门都关闭,气缸内成为封闭容积,可燃混合气受到压缩,压力和温度不断升高,当活塞到达上止点时压缩行程结束,如图 1-11 所示。

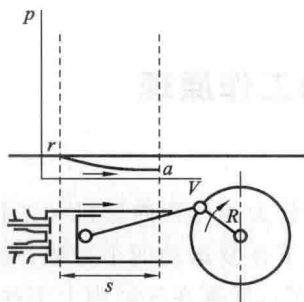


图 1-10 进气行程

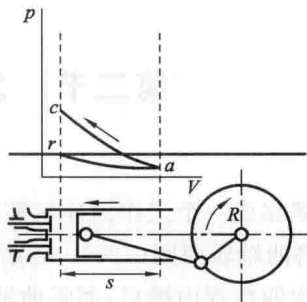


图 1-11 压缩行程

压缩行程主要对纯空气进行压缩,在压缩行程接近上止点时喷油器将高压柴油以雾状喷入燃烧室,柴油和空气在气缸内形成可燃混合气并着火燃烧。柴油机的压缩比比汽油机的压缩比大很多,一般为 $16\sim 22$,压缩终了时气体温度为 $750\sim 1\,000\text{ K}$,压力为 $3.5\sim 4.5\text{ MPa}$,比汽油机高,大大超过了柴油的自然温度。柴油机是压缩后自燃着火,不需要点火,故柴油机又称为压燃机。

3. 做功行程

做功行程包括燃烧过程和膨胀过程,在这一行程中,进气门和排气门仍然保持关闭。当活塞位于压缩行程接近上止点位置时,柴油喷入气缸后与空气混合便立即着火燃烧。柴油机燃烧过程中气缸内出现的最高压力要比汽油机高,可达 $6\sim 9\text{ MPa}$,最高温度可达 $2\,000\sim 2\,500\text{ K}$,如图 1-12 所示。

高温高压气体膨胀,推动活塞从上止点向下止点运动,通过连杆使曲轴旋转并输出机械功,除了用于维持发动机本身继续运转外,其余用于对外做功。随着活塞向下运动,气缸内容积增加,气体压力和温度降低,当活塞运动到下止点时,做功行程结束,气体压力降低到 $0.2\sim 0.4\text{ MPa}$,气体温度为 $1\,200\sim 1\,500\text{ K}$ 。

4. 排气行程

可燃混合气在气缸内燃烧后生成的废气必须从气缸中排出以便进行下一个进气行程。当做功接近终了时,排气门开启,进气门仍然关闭,靠废气的压力先进行自由排气,活塞到达下止点再向上止点运动时,继续将废气强制排出到大气中,活塞越过上止点后,排气门关闭,排气行程结束,如图 1-13 所示。排气终了时,气缸内气体压力为 $0.105\sim 0.125\text{ MPa}$,气体温度为 $800\sim 1\,000\text{ K}$ 。曲轴继续旋转,活塞从上止点向下止点运动,又开始下一个新的循环过程。

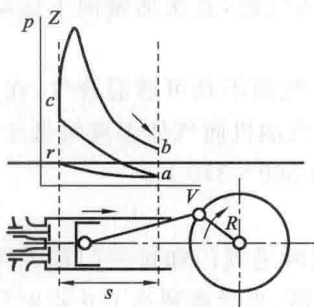


图 1-12 做功行程

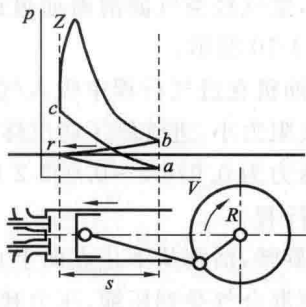


图 1-13 排气行程



由此可见,四行程柴油机经过进气、压缩、做功、排气四个行程完成一个工作循环,这期间活塞在上、下止点往复运动了四个行程,曲轴相应地旋转了两圈。

与汽油机比较,柴油机的压缩比高、热效率高、燃油消耗率低,同时柴油价格较低,故柴油机的燃料经济性能好,而且柴油机的排气污染少,排放性能较好。但是,柴油机的主要缺点是转速低、质量大、噪声大、振动大、制造和维修费用高。

二、二行程柴油机的工作原理

二行程柴油机的工作循环也是由进气、压缩、燃烧膨胀、排气过程组成,但它是在曲轴旋转一圈(360°),活塞上下往复运动的两个行程内完成。因此,二行程发动机与四行程发动机工作原理不同,结构也不一样。图 1-14 所示为二行程柴油机工作过程。

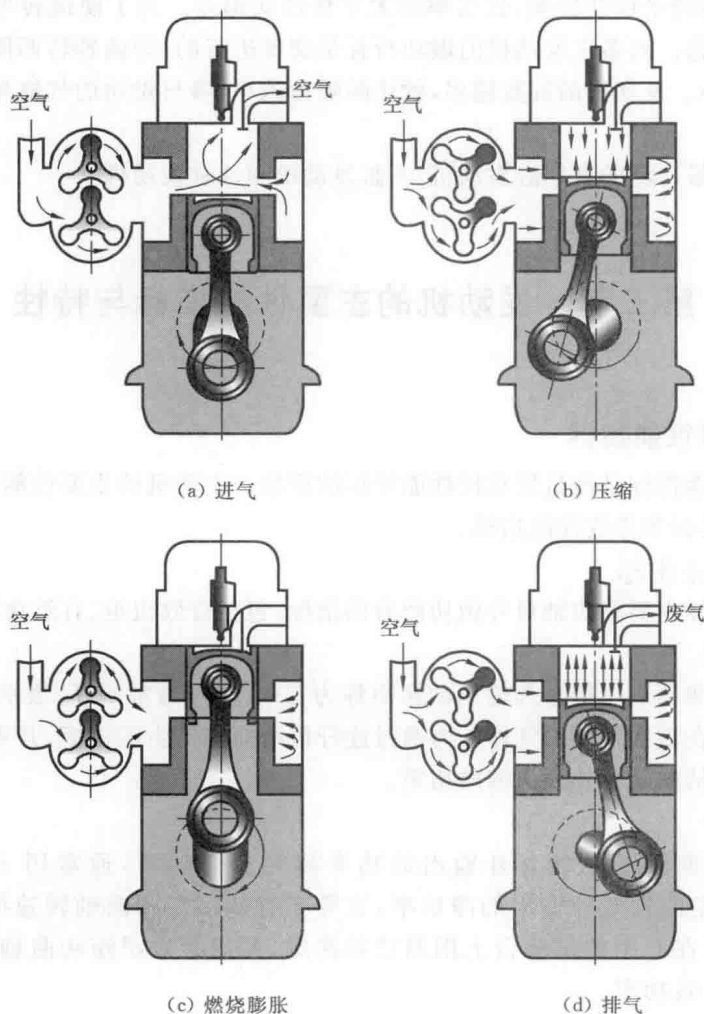


图 1-14 二行程柴油机工作过程

1. 第一行程

行程开始前,进气孔和排气门均已开启,活塞从下止点向上止点运动,利用从扫气泵流出的空气使气缸换气。当活塞继续向上运动时,进气孔、排气门均关闭,空气受到压缩。当活塞接近上止点时,喷油器将高压柴油以雾状喷入燃烧室,燃油和空气混合后燃烧,气缸内