



机械装备 原理与构造

JIXIE ZHUANGBEI
YUANLI YU GOUZAO

主编 鲁冬林、史长根 王海涛



国防工业出版社

National Defense Industry Press

机械装备原理与构造

主 编 鲁冬林 史长根 王海涛
副主编 安立周 王小龙 曾拥华



国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本教材共分两篇十四章,第一篇介绍了机械装备内燃机,共九章,内容主要包括内燃机工作原理,机体和曲轴连杆机构、配气机构、燃料系、冷却系、润滑系和启动系的结构组成及工作原理。第二篇介绍了机械装备的底盘及工作装置,共五章,主要包括推土机、挖掘机、装载机、平地机和压路机的底盘及工作装置的结构原理。

本教材可供大专院校工程机械类专业师生使用,也可以作为从事工程机械使用与维修人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械装备原理与构造/鲁冬林,史长根,王海涛主编. —北京:国防工业出版社,2016. 11
ISBN 978-7-118-10941-2

I. ①机… II. ①鲁… ②史… ③王… III. ①机械装备—机械设计 IV. ①TH12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 292232 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市德鑫印刷有限公司印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20% 字数 518 千字
2016 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 52.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

机械装备是我国装备工业的重要组成部分,主要用于国防建设工程、交通运输建设、能源工业建设和生产、矿山等原材料工业建设和生产、农林水利建设、工业与民用建筑、城市建设、环境保护等领域,在提高劳动生产率,加快工程建设速度,提高工程建设质量,减轻人员劳动强度等方面发挥着越来越重要的作用。

机械装备的结构与工作原理是正确使用与维修机械装备的基础,为适应我国国民经济建设对机械装备应用型人才的培养需求,我们编写了该教材。

本书主要选取机械装备中比较典型的五类工程机械,包括推土机、挖掘机、装载机、平地机和压路机,介绍其用途、结构组成、工作原理、维护保养和常见故障排除。

机械装备的结构一般由内燃机、底盘、工作装置及其液压操纵系统组成。由于机械装备的内燃机型号相对集中,结构组成和工作原理的共性特点较多,因此本书将内燃机作为第一篇单独编写,内容主要包括内燃机工作原理,机体和曲轴连杆机构、配气机构、燃料系、冷却系、润滑系和启动系的结构及工作原理。第二篇为机械装备的底盘及工作装置,按照机型分类,介绍了几种典型机械的底盘四大系统,即传动系、转向系、制动系和行驶系,作业装置及其操纵系统的结构原理。

本教材由鲁冬林同志主编和统稿,史长根、王海涛、安立周、王小龙和曾拥华同志参加部分章节的编写。在编写过程中,曾先后到有关院校和工厂学习调研和搜集资料,参阅了军内外大量文献资料,得到了相关单位的很大帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中缺点和不妥之处在所难免,诚请读者批评指正。

编者

二〇一六年四月于南京

概述	1
第一篇 机械装备内燃机	5
第一章 内燃机工作原理	5
第一节 内燃机分类和常用术语	5
第二节 四行程内燃机工作原理	7
第三节 内燃机示功图与性能指标	8
第二章 机体和曲轴连杆机构	13
第一节 机体组	13
第二节 活塞连杆组	18
第三节 曲轴飞轮组	26
第三章 配气机构	33
第一节 配气机构的功用和形式	33
第二节 配气机构的主要零部件	35
第三节 配气相位和气门间隙	40
第四节 柴油机进气系统	42
第四章 汽油机燃料系	44
第一节 内燃机的燃料	44
第二节 汽油机可燃混合气的形成及燃烧	45
第三节 电控汽油喷射系统	48
第四节 燃油供给系统附属装置	56
第五章 柴油机燃料系	62
第一节 柴油机可燃混合气的形成与燃烧	62
第二节 直列泵燃油系统	68
第三节 PT 燃油系统	91
第四节 VE 燃油系统	110
第六章 润滑系	113
第一节 润滑系的作用和组成	113
第二节 内燃机润滑油路	115
第三节 润滑系主要零部件	120
第七章 冷却系	127
第一节 冷却系的功用和形式	127
第二节 强制循环水冷系主要机件	131

第三节	空气中间冷却器	138
第八章	启动系	140
第一节	启动系的功用及启动方式	140
第二节	电源设备	142
第三节	电动机启动	147
第四节	内燃机低温启动	154
第九章	汽油机点火系	158
第一节	蓄电池点火系	158
第二节	电子和微机控制点火系统	167
第二篇	机械装备底盘及工作装置	171
第十章	推土机	171
第一节	TY160C 型推土机	171
第二节	TLK220A 型推土机	206
第十一章	挖掘机	245
第一节	JYL200G 型挖掘机	245
第二节	JY633-J 型挖掘机	266
第十二章	装载机	282
第一节	ZL50G 型装载机	282
第二节	ZLK50A 型装载机	294
第十三章	平地机	297
第一节	传动系统	297
第二节	转向系统	299
第三节	制动系统	300
第四节	车架	304
第五节	工作装置及液压操纵系统	304
第十四章	压路机	309
第一节	传动系统	309
第二节	转向系统	315
第三节	制动系统	316
第四节	车架	321
第五节	工作装置及液压系统	322
参考文献	324

概 述

机械装备的内涵较为宽泛,一般包括农业机械、矿山机械、工程机械、石化通用机械、电工机械、机床、汽车、仪器仪表、基础机械、包装机械、环保机械 11 类。本书所指的机械装备主要是工程机械。

工程机械是指工程建设中所使用的各种机械设备的统称。概括地说,土石方施工工程、路面建设与养护、流动式起重装卸作业和各种建筑工程所需的综合性机械化施工工程所需的机械装备,均称为工程机械。

工程机械是我国装备工业的重要组成部分,主要用于国防建设工程、交通运输建设、能源工业建设和生产、矿山等原材料工业建设和生产、农林水利建设、工业与民用建筑、城市建设、环境保护等领域。

一、工程机械的分类

工程机械根据用途一般分为 12 大类:挖掘机械、起重机械、铲土运输机械、压实机械、桩工机械、钢筋和预应力机械、混凝土机械、路面机械、装修机械、凿岩机械及气动工具、铁路线路工程机械、城建机械。每一大类,又可分为不同类别的工程机械。

(1) 挖掘机械可分为单斗挖掘机、多斗挖掘机、滚切挖掘机、洗切挖掘机、多斗挖沟机、隧道掘进机等。

(2) 起重机械可分为塔式起重机、汽车起重机、轮胎起重机、履带起重机、桅杆起重机、缆索起重机、抓斗起重机、卷扬机、施工升降机等。

(3) 铲土运输机械可分为铲运机、平地机、推土机、装载机、运输机、平板车、翻斗车等。

(4) 压实机械可分为压路机、夯实机等。

(5) 桩工机械可分为打桩机、拔桩机、压桩机、钻孔机等。

(6) 钢筋和预应力机械可分为钢筋加工机械、钢筋焊接机械等。

(7) 混凝土机械可分为混凝土搅拌机(站、楼)、混凝土运输车(泵)、混凝土喷射机、混凝土浇筑机、混凝土振动器、混凝土成型机、混凝土切缝机等。

(8) 路面机械可分为道路翻松机、沥青摊铺机、混凝土路面切缝机、扫雪机等。

(9) 装修机械可分为灰浆制备和喷涂机械、涂料喷刷机械、装修升降设备等。

(10) 凿岩机械及气动工具可分为凿岩机、凿岩台车、露天钻、潜孔钻机、气镐、气铲、气锤等。

(11) 铁路线路工程机械可分为轨排轨枕机械、装卸与运输机械等。

(12) 城建机械可分为园林机械、环卫机械等。

二、工程机械的组成

工程机械有自行式和拖式两大类,自行式工程机械按其行驶方式的不同可分为轮式和履

带式两种。自行式工程机械虽然种类很多,结构形式各异,但基本上可以划分为动力装置(内燃机)、底盘和工作装置三大部分。

1. 动力装置

动力装置通常采用柴油机,其输出的动力经过底盘传动系传给行驶系使机械行驶,经过底盘的传动系或液压传动系统传给工作装置使机械工作。

2. 底盘

底盘接受动力装置发出的动力,使机械能够行驶或同时进行作业。底盘又是全机的基础,柴油机、工作装置、操纵系统及驾驶室等都装在它上面。底盘主要由传动系、转向系、制动系和行驶系组成。

传动系的功用是将发动机输出的动力传给驱动轮,并将动力适时加以变化,使其适应各种工况下机械行驶或作业的需要。轮式机械传动系主要由离合器或液力变矩器、变速器、万向传动装置、主减速器、差速器及轮边减速器等组成。履带式机械传动系主要由主离合器或液力变矩器、变速器、中央传动装置、转向离合器及侧减速器等组成。

转向系的功用是使机械保持直线行驶及灵活准确地改变其行驶方向。轮式机械转向系主要由方向盘、转向器、转向传动机构等组成。履带式机械转向系主要由转向离合器和转向制动器等组成。

制动系的功用是使机械减速或停车,并使机械可靠地停车而不滑溜。轮式机械制动系主要由制动器和制动传动机构组成。履带式机械没有专门的制动系,而是利用转向制动装置进行制动。

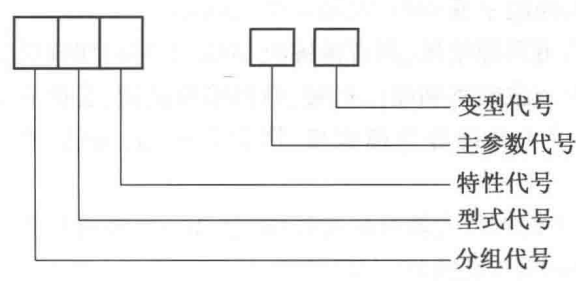
行驶系的功用是将发动机输出的扭矩转化为驱动机械行驶的牵引力,并支承机械的重量和承受各种力。轮式机械行驶系主要由车轮、车桥、车架及悬挂装置等组成。履带式机械行驶系主要由行驶装置、悬架及车架组成。

3. 工作装置

工作装置是工程机械完成工程任务而进行作业的装置,是机械作业的执行机构。不同类型的工程机械有不同的工作装置,如推土机的推土铲刀、推架等组成的推土装置,装载机中的装载铲斗、动臂等组成的装载装置,挖掘机中的铲斗、斗杆、动臂等组成的挖掘装置。

三、工程机械的型号表示方法

工程机械采用国家统一标准编号,型号中的代号表示产品名称、结构形式与主参数。其表示方法如下:



如TY220型推土机,“T”表示推土机,“Y”表示液压操纵式,“220”表示其功率为220马力(1马力≈735W)。再如ZL50型装载机,“Z”表示装载机,“L”表示轮胎式,“50”表示其铲斗额定装载量为5t。

有些产品的特性代号,根据实际情况在型号中可予以省略。如轮胎式装载机和推土机,现在只有液压操纵的品种,机械式的已不生产,因此对液压式的“液(Y)”字可不予标注。

四、工程机械发展概况与趋势

我国自1908年(清朝光绪34年)就开始应用机械式挖掘机,迄今已有一百多年的历史。1954年,我国研制出了第一台挖掘机。我国工程机械行业的迅速发展是在1978年中国实施改革开放政策以后的30多年。目前全行业有近2000家企业(合资、独资企业近200家),其中有17个集团公司、15个上市公司,职工约38万人,可以生产铲土运输机械、工程起重机械、机动工业车辆、混凝土机械、路面机械和桩工机械等18大类、5000种规模型号的产品。工程机械行业的规模和销售额在机械工业中次于电器、汽车、石化通用和农机,工程机械已成为重要的施工生产装备,在国民经济中占有一定的地位,已形成了以徐州、长沙、厦门、柳州、济宁与临沂、合肥、常州、成都、西安、郑州为中心的十大产业集群区,以徐工集团、三一重工、中联重科、柳工集团等为代表的龙头企业目前已经通过内外合作、收购兼并、横向联合走上了集约化、规模化的发展道路。

全世界工程机械市场控制在具有名牌产品和核心竞争力的工程机械十强手中,即卡特彼勒、约翰·迪尔、凯斯纽荷兰、英格索兰、沃尔沃、利勃海尔、小松、日立、特雷克斯和JCB。这十大公司的销售额占全球工程机械市场约75%,导致了全球工程机械生产集中度越来越高。

国外工程机械行业在广泛应用新技术的同时,不断涌现出新结构和新产品,技术发展的重点在于增加产品的电子信息技术含量,集成电路、微处理器、微型计算机及电子监控技术等工程机械中都有广泛的应用。努力完善产品的标准化、系列化和通用化,改善驾驶人员的工作条件,向节能、环保方向发展,可靠性、安全性、舒适性、环保性得到了高度重视,并出现了向大型化和微型化方向发展的趋势。

与信息技术紧密结合将是现代制造服务业的发展趋势。从全球来看,装备制造业正在向全面信息化迈进,研发、设计、采购、制造、管理、营销、服务、维护、保养等各个环节,无不与信息技术密切相关,柔性制造、网络制造、虚拟制造、绿色制造的发展正在推进装备制造发生巨大的变革,现代制造服务业便是变革的产物之一。机械装备制造业目前正大力推进两化融合,就是要广泛融合信息技术和高新技术,加速利用信息技术改造传统产业的深度、广度和速度,提高设计研发的效率和成功率,改变装备制造业的生产模式,从而促进现代制造服务业的发展。

1. 系列化、特大型化

系列化是工程机械发展的重要趋势。国外著名大公司逐步实现其产品系列化进程,形成了从微型到特大型不同规格的产品。与此同时,产品更新换代的周期明显缩短。特大型工程机械产品特点是科技含量高,研制与生产周期较长,投资大市场容量有限,市场竞争主要集中在少数几家公司。

2. 多用途、微型化

为了全方位地满足不同用户的需求,国外工程机械在朝着系列化、特大型化方向发展的同时,已进入多用途、微型化发展阶段。一方面,工作机械通用性的提高,可使用户在不增加投资的前提下充分发挥设备本身的效能,能完成更多的工作;另一方面,为了尽可能地用机器作业替代人力劳动,提高生产效率,适应城市狭窄施工场所以及在货栈、码头、仓库、舱位、农舍、建筑物层内和地下工程作业环境的使用要求,小型及微型工程机械有了用武之地,并得到了较快的发展。

3. 电子化与信息化

以微电子、Internet 为重要标志的信息时代,不断研制出集液压、微电子及信息技术于一体的智能系统,并广泛应用于工程机械的产品设计之中,进一步提高了产品的性能及高科技含量。

4. 安全、舒适、可靠

驾驶室将逐步实施 ROPS 和 FOPS 设计方法,配装冷暖空调。全密封及降噪处理的“安全环保型”驾驶室,采用人机工程学设计的司机座椅可全方位调节,以及功能集成的操纵手柄、全自动换挡装置及电子监控与故障自诊断系统,以改善司机的工作环境,提高作业效率。大型工程机械安装有闭路监视系统以及超声波后障碍探测系统,为司机安全作业提供音频和视频信号。微机监控和自动报警的集中润滑系统,大大简化了机器的维修程序,缩短了维修时间。大型工程机械的使用寿命达 2.05 万小时,最高可达 2.5 万小时。

5. 节能与环保

为提高产品的节能效果和满足日益苛刻的环保要求,主要措施是降低发动机排放、提高液压系统效率以及减振和降噪等。

第一篇 机械装备内燃机

第一章 内燃机工作原理

第一节 内燃机分类和常用术语

内燃机是热效率较高的热力发动机之一,其结构简单、比质量轻(单位输出功率的质量)、移动方便,被广泛应用于工程机械、农业机械、交通运输和发电等领域。

一、内燃机分类

将燃料燃烧产生的热能转变为机械能的机器称为热力机。燃料在机器内部燃烧的热力机称为内燃机,如活塞式内燃机、燃气轮机等;燃料在机器外部燃烧的称为外燃机,如蒸汽机、汽轮机等。内燃机的分类主要有以下几种方式:

按所用的燃料不同,可分为汽油机、柴油机、天然气机等。

按工作循环行程不同,可分为二行程内燃机和四行程内燃机。

按燃料着火方式不同,可分为点燃式内燃机和压燃式内燃机。

按冷却方式不同,可分为水冷式内燃机和风冷式内燃机。

按活塞的运动方式不同,可分为往复式内燃机和转子式内燃机。

按汽缸排列方式不同,可分为单列直立式内燃机、双列 V 形式内燃机、星形排列式内燃机。

按曲轴转速(n)不同,可分为高速($n > 1000\text{r/min}$)、中速($300 < n \leq 1000\text{r/min}$)、低速($n \leq 300\text{r/min}$)内燃机。

二、基本组成

内燃机是由许多机构和系统组成的复杂机器,其基本组成如下:

(1) 曲轴连杆机构。其作用是将燃料燃烧的热能转换为机械能,并将活塞的往复直线运动转换成曲轴的旋转运动,以实现能量转换和动力输出。曲轴连杆结构包括固定件(机体)和运动件(活塞连杆、曲轴)两大部分。

(2) 配气机构。其作用是按时开闭气门,以保证新鲜混合气(汽油机)或空气(柴油机)充入汽缸,并将废气排出汽缸外,使内燃机能连续正常地运转。

(3) 燃料系。其作用是将燃料(汽油机为可燃混合气,柴油机则分别为空气和燃油)供入汽缸,以供燃烧,并将燃烧后的废气排到大气中。

(4) 润滑系。其作用是向内燃机中需要润滑的部位供给润滑油,以减少摩擦阻力和减轻磨损,并对零件表面进行清洗和冷却,保证内燃机正常运转。

(5) 冷却系。其作用是冷却受热机件,并将热量散发到大气中,以保证内燃机在最佳温度状态下工作。

(6) 启动系。其作用是将内燃机由静止状态启动到自行运转状态。

(7) 点火系。其作用是按时点燃汽油机汽缸中的可燃混合气。

三、常用术语

如图 1-1 所示,内燃机的常用术语主要有:

(1) 上止点。即活塞顶部在汽缸中的最高位置。

(2) 下止点。即活塞顶部在汽缸中的最低位置。

(3) 活塞行程。即活塞上、下止点间的距离,通常用 S 表示。对应于一个活塞行程,曲轴旋转 180° 。

(4) 曲柄半径。即曲轴旋转中心到曲柄销中心的距离,通常用 R 表示。显然,活塞行程与曲柄半径之间的关系为

$$S = 2R \quad (1-1)$$

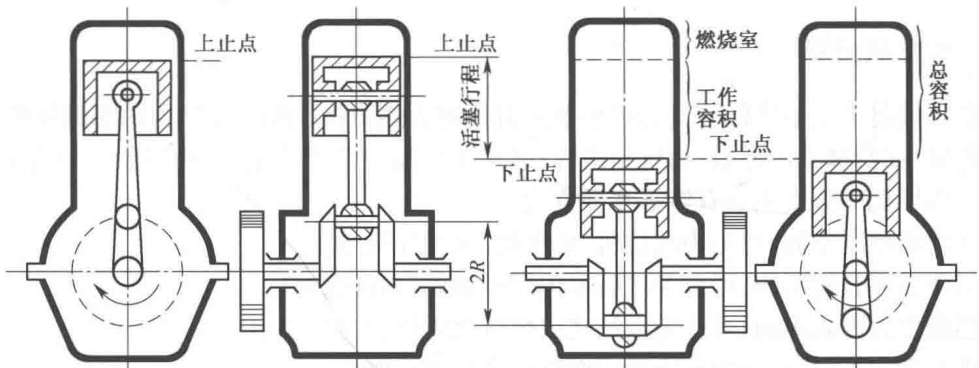


图 1-1 内燃机的常用术语

(5) 汽缸工作容积。即活塞从上止点到下止点所扫过的容积,又称汽缸排量,用 V_s 表示。

$$V_s = \frac{\pi D^2 S}{4 \times 10^6} \quad (1-2)$$

式中: D 为汽缸直径(mm)。

(6) 燃烧室容积。活塞位于上止点时,活塞顶的上部空间称为燃烧室,其容积称为燃烧室容积,用 V_c 表示。

(7) 汽缸总容积。活塞位于下止点时,活塞顶的上部空间称为汽缸总容积,用 V_a 表示。显然,有

$$V_a = V_s + V_c \quad (1-3)$$

(8) 内燃机排量。即单个汽缸工作容积与内燃机汽缸数 i 的乘积,用 V_L 表示。

$$V_L = V_s \times i = \frac{\pi D^2 S \cdot i}{4 \times 10^6} \quad (1-4)$$

(9) 压缩比。汽缸总容积与燃烧室容积之比,用 ε 表示。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} \quad (1-5)$$

目前,汽油机的压缩比一般为 7~11,柴油机的压缩比一般为 16~23。

(10) 工作循环。内燃机完成一次能量转换所经历的进气、压缩、做功、排气四个连续过程称为内燃机的工作循环。

第二节 四行程内燃机工作原理

四行程内燃机活塞的每一行程完成一个工作过程,各个工作过程可用相应的活塞行程来描述。因此,可以分为进气、压缩、做功和排气四个行程。

一、单缸四行程柴油机工作原理

如图 1-2 所示为单缸四行程柴油机的工作过程示意图。

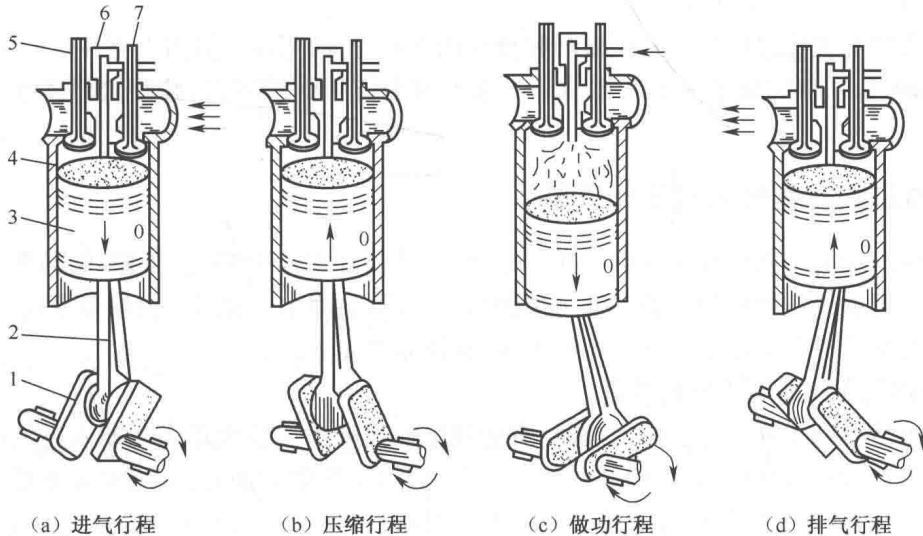


图 1-2 四行程柴油机工作过程示意图

1—曲轴;2—连杆;3—活塞;4—汽缸套;5—排气门;6—喷油器;7—进气门。

1. 进气行程

在飞轮的惯性作用下,曲轴带动活塞自上止点向下止点移动,此过程中配气机构控制进气门打开,排气门关闭。由于活塞下行,汽缸容积不断增大,空气在汽缸内外压力差的作用下被吸入汽缸。当活塞行至下止点时,进气门关闭,进气行程结束。在这一过程中,活塞行走一个行程 S ,曲轴旋转 180° 。进气行程中,由于空气滤清器、进气管道及进气门对空气的流动产生阻力,使得进气终了时缸内的气体压力低于大气压力。另外,进入缸内的空气因受到上一循环残留在汽缸中的废气和高温机件(如汽缸壁、活塞顶等)的加热,使进气终了时汽缸内的空气温度高于外界大气温度。

2. 压缩行程

进气行程终了后,活塞在曲轴的带动下由下止点向上止点移动。此时,进气门和排气门都关闭,由于活塞上行时缸内空气受到压缩,其压力和温度随之升高。当活塞到达上止点时,空

气完全被压缩至燃烧室内,气体压力高达 3000~5000kPa,温度高达 530~730℃,这就为柴油喷入汽缸后的着火燃烧创造了必要条件(柴油的自燃温度约为 300℃)。空气压缩终了时的状态参数主要决定于内燃机的压缩比,压缩比越大,压缩终了时的压力和温度就越高。

3. 做功行程

在压缩行程接近终了时,柴油从喷油器内以高压喷入燃烧室中,并在高温高压空气中迅速蒸发而形成可燃混合气。随后便自行燃烧,放出大量热量,使汽缸中的气体温度和压力急剧升高,最高温度可达 1530~1930℃,最高压力可达 6000~10000kPa。高温高压气体作用在活塞顶部,推动活塞下行,并通过连杆使曲轴旋转而对外输出动力。随着活塞下行,缸内气体压力和温度也随之降低,当活塞到达下止点做功行程结束时,缸内压力降到 200~400kPa,温度降到 730~930℃。

4. 排气行程

做功行程终了时,活塞在曲轴的惯性带动下,由下止点向上止点移动。这时排气门开启,进气门仍关闭。在缸内废气压力与外界大气压力差以及活塞上行的排挤作用下,废气迅速从排气门排出。由于排气系统阻力的影响以及燃烧室容积的存在,排气终了时缸内的废气不能充分排尽,其压力仍高于大气压力。

四行程柴油机经过进气、压缩、做功和排气四个行程,活塞在汽缸内上下往复四次,曲轴旋转两周(720°)后,便完成了一个工作循环。以上四个行程继续下去,柴油机便连续不断地对外做功。

二、单缸四行程汽油机工作原理

四行程汽油机与四行程柴油机一样,每一个工作循环也是由进气、压缩、做功和排气四个行程组成。但由于汽油机使用的汽油与柴油相比,具有黏度小、易挥发、自燃温度高的特点,使得汽油机与柴油机在工作中存在一定的差异,具体差别如下。

1. 可燃混合气的形成方式不同

汽油机是借助于进气道上的化油器(或通过电控汽油喷射装置将汽油喷入进气管中),与吸入的空气进行混合,吸入缸内的是可燃混合气(缸内直接喷射例外)。而柴油机吸入缸内的是纯空气,柴油是在压缩行程接近终了时被喷油器喷入到压缩的空气中,与空气形成可燃混合气。因此,与汽油机相比,柴油机的可燃混合气形成时间很短(对于转速为 2000r/min 的内燃机,做功行程约为 0.015s),混合的空间小(只在燃烧室内进行),混合气的混合质量也较差。

2. 可燃混合气的着火方式不同

汽油机在压缩行程接近终了时,利用火花塞来点燃可燃混合气,又称点燃式内燃机。而柴油机则是在压缩行程接近终了时,将柴油喷入压缩的高温高压空气中自行燃烧,又称压燃式内燃机。

第三节 内燃机示功图与性能指标

一、示功图

内燃机工作循环中,汽缸内压力随工作容积或曲轴转角变化的坐标图称为示功图。示功图有两种基本形式:以曲轴转角为变量的称为 $P-\varphi$ 示功图;以汽缸工作容积为变量的称为 $P-V$

V 示功图。示功图是借助于专门仪器从汽缸内部测得的,它是了解汽缸内部工作过程、探索各种因素对工作过程影响的重要信息。了解内燃机性能经常是从分析示功图入手,并结合工作循环的各个阶段来分析各种因素的影响,以便从中找出规律,为改善性能指明方向,进而提出措施。

如图 1-3 所示为四行程柴油机的 P-φ 示功图。理论上讲,进气过程由上止点开始至下止点结束,而实际上在上止点以前进气门就开启了,在下止点后才关闭。实际的压缩过程是在下止点后进气门关闭时才开始,当压缩过程接近终点时,燃油喷入缸内,再经过一段时间的物理和化学准备之后开始燃烧,使汽缸内的压力急速上升。燃烧过程是在膨胀线上结束的,具体时间视内燃机的负荷和转速而定。上止点以后开始的膨胀过程称为做功行程。排气过程在下止点前就已经开始,直至上止点后才结束。

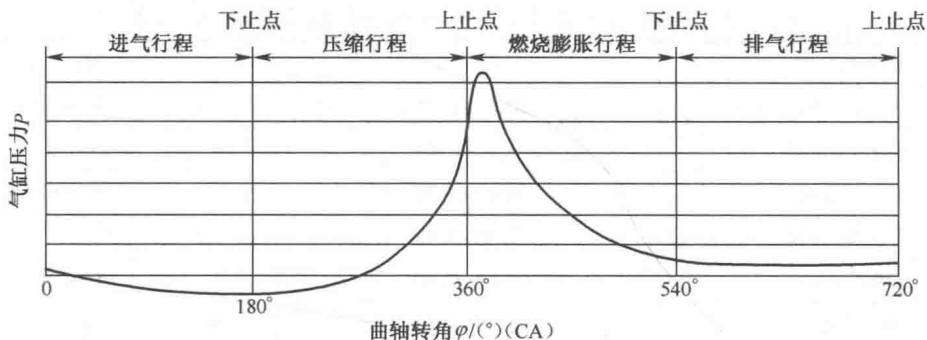


图 1-3 四行程内燃机的 P-φ 示功图

二、内燃机的性能指标

内燃机的工作指标较多,在评定内燃机动力性能和经济性能时,通常分为指示指标和有效指标两大类。以下介绍常用的几种内燃机指标。

1. 指示指标

指示指标是以汽缸内气体对活塞做功为基础的性能指标。指示指标不考虑内燃机本身的消耗,它主要用于衡量内燃机工作循环的完善程度。指示指标通常有指示功、平均指示压力、指示功率和指示耗油率等。

2. 有效指标

有效指标是以内燃机曲轴输出功为基础的性能指标。有效指标考虑了内燃机内部的各种消耗(驱动风扇、发电机、水泵、机油泵、燃油泵等功率消耗),用来衡量内燃机的整机性能。它主要包括:

1) 有效功率 N_e

内燃机工作时必然要消耗一部分功率用于克服其内部各种摩擦副之间的摩擦阻力和驱动附属机构,此外,在换气过程中还有泵气损失等。所有这些损耗的总和称为机械损失功率 N_m 。因此,若内燃机的指示功率为 N_i ,则有效功率 N_e 为

$$N_e = N_i - N_m \quad (1-6)$$

而有效功率与指示功率之比定义为内燃机的机械效率 η_m ,即

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = 1 - \frac{N_m}{N_i} \quad (1-7)$$

2) 平均有效压力 P_e

平均有效压力 P_e 是指单位汽缸工作容积所做的有效功。实际上 P_e 是一个假想的力, 在此力的作用下活塞在一个行程中所做的功, 等于一个工作循环曲轴输出的有效功。因此, 平均有效压力 P_e 是从内燃机实际输出功的角度来评定汽缸容积利用率的指标。

平均有效压力 P_e 与有效功率 N_e 之间有如下关系:

$$P_e = \frac{30\tau N_e}{iV_h n} \times 10^3 \quad (1-8)$$

式中: τ 为行程数, $\tau=2$ 或 4 ; i 为内燃机汽缸数; n 为内燃机转速 (r/\min)。

平均有效压力 P_e 是衡量内燃机动力性能的一个重要性能指标。表 1-1 列出了不同类型的内燃机的 P_e 和 η_m 值。

表 1-1 在标定工况下, 内燃机 P_e 和 η_m 值的一般范围

内燃机类型	P_e/MPa	η_m
四行程汽油机	0.65~1.20	0.70~0.85
非增压柴油机	0.55~0.85	0.75~0.80
增压柴油机	0.80~3.00	可达 0.92
二行程汽油机	0.40~0.65	—
非增压柴油机	0.40~0.60	0.70~0.80
增压柴油机	0.80~1.30	可达 0.92

3) 有效扭矩 M_e

有效扭矩 M_e 是指曲轴输出的扭矩。它与有效功率 N_e 之间有如下关系:

$$N_e = \frac{2\pi n M_e}{60} \times 10^{-3} = \frac{M_e n}{9550} \quad (1-9)$$

式中: M_e 单位为牛顿·米 ($\text{N}\cdot\text{m}$)。

$$M_e = k \times P_e \quad (1-10)$$

式中: $k=318.3V_h i/\tau$ 为一常数。式(1-10)说明内燃机的扭矩与平均有效压力成正比。

4) 有效耗油率 g_e

有效耗油率 g_e 是指单位有效功的耗油量, 通常以单位有效千瓦小时的耗油量表示:

$$g_e = \frac{G_f}{N_e} \times 10^3 \quad (1-11)$$

式中: G_f 为每小时消耗的燃油量 (kg/h)。有效耗油率 g_e 因直接表明了内燃机发出单位功率所消耗的燃油, 因此, 具有很大的实际经济意义。

5) 紧凑性指标

在评价内燃机时, 除了上述动力性和经济性指标外, 还可以从工作容积的利用率、重量与体积的利用率等方面进行比较。

(1) 比重量 G_w 。比重量 G_w 是指内燃机重量 G 与标定功率 N_e 的比值, 即

$$G_w = \frac{G}{N_e} \quad (1-12)$$

式中: G 为内燃机不加燃料、冷却水、机油及其附属装备净重量 (kg); G_w 为内燃机制造技术和材料利用率程度等综合参数。

(2) 升功率 N_L 。升功率 N_L 是指内燃机单位升汽缸工作容积所能发出的有效功率 N_e ，即

$$N_L = \frac{N_e}{V_H} = \frac{P_e n}{30\tau} \times 10^{-3} \quad (1-13)$$

升功率表示了内燃机汽缸工作容积的有效利用程度，它综合反映了平均有效压力、转速及行程数的影响，因此是表征内燃机强化程度的重要性能指标。

(3) 功率密度 N_V 。功率密度 N_V 是指内燃机的标定功率 N_e 与其外廓体积 V 的比值，即

$$N_V = \frac{N_e}{V} = \frac{V_H}{V} \frac{N_e}{V_H} = K N_L \quad (1-14)$$

式中： K 为内燃机总布置紧凑性系数 (L/m^3)。

显然，要提高内燃机的单位体积功率，不仅应提高升功率，还应提高总体布置的紧凑性。因此在设计内燃机时，即要追求机体尺寸的紧凑性，也要考虑附件布置的合理性。

6) 有效热效率 η_e 。

有效热效率 η_e 是指加入内燃机中的热量转变为有效功的程度，可表示为

$$\eta_e = \frac{3.6 \times 10^6}{H_\mu \times g_e} \quad (1-15)$$

式中： H_μ 为燃料低热值 (kJ/kg)。说明 η_e 与 g_e 成反比，即有效热效率越高，有效耗油率就越低。表 1-2 为标定工况下不同类型内燃机的 η_e 与 g_e 值。

表 1-2 标定工况下， g_e 和 η_e 的范围

内燃机类型	$g_e / (\text{g/kW} \cdot \text{h})$	η_e
非增压柴油机	224~299	0.27~0.38
增压柴油机	190~217	0.40~0.45
汽油机	265~340	0.21~0.28

3. 标定指标

标定指标主要包含标定功率和相应的标定转速。标定功率和标定转速一般指内燃机铭牌上所标出的功率和转速。一台内燃机的使用功率及其相应转速究竟应该标定多大，是根据内燃机的特性、使用特点、寿命和可靠性等不同要求而人为确定的。世界各国对标定方法的规定有所不同。我国的国家标准 GB/T 6072.1—2000 规定了内燃机的功率分为以下四种：

(1) 15min 功率。内燃机允许连续运转 15min 的最大有效功率。它适用于经常以中小负荷工作而又需要有较大的功率储备或需在瞬时发出最大功率的内燃机，如中小型载货汽车、军用车、摩托车等用的内燃机。

(2) 1h 功率。内燃机允许连续运转 1h 的最大有效功率。它适用于经常以大负荷工作而又需在短期内满负荷工作的内燃机，如大型载货汽车、轮式土方机械、机械传动的单斗挖掘机、液压传动采用定量泵的挖掘机、振动压路机等用的内燃机。

(3) 12h 功率。内燃机允许连续运转 12h 的最大有效功率。它适用于在一个工作日内以基本不变负荷工作的内燃机，如履带推土机、装载机、挖沟机以及农业排灌、电站和拖拉机用的内燃机。

(4) 持续功率。内燃机允许长期连续运转的最大有效功率。它适用于长期维持运转的内燃机，如发电、排灌、轮船用的内燃机等。

除了持续功率外，其他几种功率均具有间歇性工作的特点，故称为间歇功率。对于间歇功