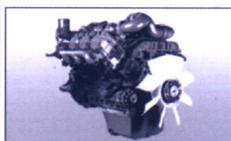


# 现代 工程机械柴油机

王定祥 主 编

刘兴国 副主编

李 冰 高宪悦 主 审



# 现代工程机械柴油机

主 编 王定祥  
副主编 刘兴国  
主 审 李 冰 高宪悦



机械工业出版社

本书以水冷道依茨和康明斯系列柴油机为例，采用理论和实践相结合、共性与个性相结合的方法，介绍了往复式柴油发动机的两大机构和四大系统。全书共分八章，内容包括：柴油机的基本组成与工作原理，曲柄连杆机构与机体，配气机构，柴油机供给系，润滑系，冷却系，起动系，柴油机的故障诊断，柴油机的使用、维护以及电气系统等。每章融结构、工作原理、保养、故障诊断于一体。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代工程机械柴油机/王定祥主编，刘兴国副主编. —北京：机械工业出版社，2004.7

ISBN 7 - 111 - 14460 - 0

I. 现… II. ①王…②刘… III. 柴油机 - 基本知识 IV. TK42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 042982 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：沈 红 版式设计：霍永明 责任校对：申春香

封面设计：姚 毅 责任印制：施 红

煤炭工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·20.5 印张·504 千字

0001—6000 册

定价：35.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话：(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着我国基本建设规模的快速扩展,各类土建工程对质量、工期、工艺、安全、成本及社会效益的要求越来越高,从而有力地推动了与之相关的国内工程机械市场的快速发展。以性能与质量的可靠性为标准,技术引进,消化吸收、研发高起点,配置全球化,加工现代化,服务营销化是当前工程机械整体水平快速提升的趋势。纵观行业动态,国产工程机械采用国际知名品牌动力、执行原件作为其关键配置,以保证其可靠性的作法越来越普遍,水冷道依茨柴油机和明斯柴油机的广泛应用就是典例,相应地,优质产品对专业人员的素质要求也越来越高。柴油机是工程机械的主要动力原件,掌握柴油机的使用性能、共性与个性无疑是本专业人员做好、用好、管好设备的必备条件。目前,国内有关水冷道依茨柴油机的教材甚少、现场需求较迫切。本书正是为缓解这一问题而写,它主要以代表德国道依茨公司 20 世纪 90 年代末期水平的水冷柴油机和美国康明斯柴油机为骨架,系统而简明地介绍了现代工程机械柴油机的基本结构和工作原理以及使用、维护与故障诊断方法。

我们一直渴望能编写一本既有理论、又讲实践,既有共性、又谈个性,集理论与实践、共性与个性为一体的现代工程机械柴油机教材奉献给广大的行内读者,特别是从事工程机械教学、维修和售后服务的同志,但愿此书能担此任。

全书具有以下特点:

1. 据不完全统计,目前国内尚未见有关道依茨水冷柴油机的出版物,因此它具有一定的先进性。
2. 每章先讲原理后讲应用,先介绍柴油机共性后介绍道依茨和康明斯柴油机个性。
3. 全书力求系统全面、简明扼要且重点突出。
4. 理论和实践并重,既介绍经典理论又注重实用案例。
5. 既是教科书又是工具书,针对实际工作中某些经常需要用到的参数、经验数据在书中适时地予以列出。
6. 全书的重点是柴油机燃油供给系统。

本书适宜做工程机械专业学生的教材,更适宜相关企业选作维修和售后服务培训资料,对于从事动力机械的工程技术人员也不失为一本十分有用的参考

书。

参加本书编写的有湖南交通职业技术学院王定祥（第四章前七节）、彭运钧（第二章）、孔七一（第一章）、阳小良（第六章前六节）、叶少林（第三章）、单行周（第六章的最后一节和第四章的第八节）、邓文辉（第四章的最后二节）；三一重工有限责任公司彭光裕（第七章）、刘兴国（第五章），高宪悦不但对本书的写作做过许多指点而且亲笔为本书写就了前言。全书由王定祥主编、刘兴国副主编，三一重工李冰、高宪悦主审。

虽然我们有志于编写最好的书奉献给读者，但由于道依茨和康明斯柴油机技术全为舶来品，内容新颖，资料相对匮乏，加之篇幅受限，难免有疏漏谬误之处，谨请读者批评斧正，不胜感激。

在本书的编写过程中得到了三一重工和湖南交通职业技术学院诸多领导和同仁的大力支持与帮助，在此我们表示衷心感谢。其中特别要致谢的有邓祥凤、王怀天、彭兆前、张华平、唐大学、谢慧超、周永洪、胡博艺、李昊、谭任绩、唐建国、陈启明、张晓龙、张天琦、邓运志、谢向阳、刘爱荣、柳建波先生和胡代坤女士，如果没有诸君的支持和指点，此书可能难于成稿于今天。

编 者  
2004年夏于长沙

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 前言                              |     |
| <b>第一章 内燃机的基本组成与工作原理</b> .....  | 1   |
| 第一节 内燃机的基本组成 .....              | 1   |
| 第二节 四冲程柴油机的基本工作原理 .....         | 2   |
| 第三节 提高内燃机动力性能与经济性的途径 .....      | 10  |
| <b>第二章 曲柄连杆机构与机体</b> .....      | 13  |
| 第一节 曲柄连杆机构 .....                | 13  |
| 第二节 康明斯柴油机曲柄连杆机构特点 .....        | 42  |
| 第三节 道依茨柴油机曲柄连杆机构特点 .....        | 45  |
| 第四节 内燃机运转平稳性 .....              | 46  |
| 第五节 曲柄连杆机构常见故障分析 .....          | 48  |
| 第六节 机体 .....                    | 54  |
| 第七节 道依茨柴油机缸盖、缸体、缸套的特点 .....     | 61  |
| 第八节 康明斯柴油机缸盖、缸体、缸套的特点 .....     | 63  |
| 第九节 机体常见故障分析 .....              | 68  |
| <b>第三章 发动机配气机构</b> .....        | 73  |
| 第一节 配气机构的组成与工作原理 .....          | 73  |
| 第二节 配气相位 .....                  | 75  |
| 第三节 气门驱动 .....                  | 77  |
| 第四节 进排气与增压 .....                | 93  |
| 第五节 康明斯柴油机配气机构特点 .....          | 101 |
| 第六节 配气机构常见故障分析 .....            | 103 |
| <b>第四章 燃油供给系</b> .....          | 106 |
| 第一节 概述 .....                    | 106 |
| 第二节 柴油机可燃混合气的形成与燃烧室 .....       | 107 |
| 第三节 喷油器 .....                   | 113 |
| 第四节 喷油泵 .....                   | 120 |
| 第五节 喷油泵的驱动与喷油正时 .....           | 138 |
| 第六节 调速器 .....                   | 141 |
| 第七节 燃油供给系辅助装置 .....             | 153 |
| 第八节 康明斯柴油机燃油供给系 .....           | 156 |
| 第九节 燃油 .....                    | 179 |
| 第十节 燃油供给系常见故障分析 .....           | 182 |
| <b>第五章 润滑与冷却系</b> .....         | 192 |
| 第一节 润滑原理与润滑油 .....              | 192 |
| 第二节 润滑系统的作用与组成 .....            | 196 |
| 第三节 曲轴箱通风 .....                 | 205 |
| 第四节 道依茨与康明斯柴油机润滑系特点 .....       | 207 |
| 第五节 润滑系常见故障分析 .....             | 210 |
| 第六节 冷却系统的作用与组成 .....            | 220 |
| 第七节 道依茨与康明斯柴油机冷却系特点 .....       | 235 |
| 第八节 冷却系常见故障分析 .....             | 240 |
| <b>第六章 柴油机电气系统</b> .....        | 244 |
| 第一节 概述 .....                    | 244 |
| 第二节 蓄电池 .....                   | 245 |
| 第三节 交流发电机 .....                 | 252 |
| 第四节 起动机 .....                   | 268 |
| 第五节 辅助电气元件 .....                | 280 |
| 第六节 道依茨与康明斯柴油机电气系统特点 .....      | 287 |
| 第七节 常见故障分析 .....                | 291 |
| <b>第七章 柴油机操作维护与常见故障分析</b> ..... | 296 |
| 第一节 道依茨柴油机的使用与维护保养 .....        | 297 |
| 第二节 道依茨柴油机常见故障分析 .....          | 312 |
| 第三节 康明斯柴油机常见故障分析 .....          | 315 |
| <b>参考文献</b> .....               | 320 |

# 第一章 内燃机的基本组成与工作原理

## 第一节 内燃机的基本组成

随着科学技术水平的不断提高,各种类型内燃机的结构也在不断改进,总体布置也各有差异,但是为了保证内燃机可靠而连续地工作,以实现其能量转换过程,对往复式内燃机而言,其基本结构大都由以下两大机构和4大系统组成。

### 1. 曲柄连杆机构与机体组件

曲柄连杆机构由活塞组、连杆组、曲轴飞轮组等组成,其作用是将活塞的往复运动转化为曲轴的旋转运动,从而实现热能向机械能的转化。机体组件由气缸盖、气缸体、曲轴箱、油底壳等零部件组成,其作用是作为内燃机各机构、各系统的装备骨架,并分别作为曲柄连杆机构、配气机构、冷却和润滑等系统的组成部分之一。气缸体内部有气缸,气缸中有作往复运动的活塞,其顶部有气缸盖,三者密封成燃烧室,燃油在燃烧室内燃烧,使气体膨胀后推动活塞做功。

### 2. 配气机构

配气机构由进、排气门和它们的启闭传动件摇臂、凸轮轴、正时齿轮、气门挺杆、气门弹簧,以及进、排气管和空气滤清器等组成。其作用是定时向内燃机气缸提供充足而干净的新鲜空气(柴油机)或可燃混合气,并将燃烧后的废气排出气缸。

### 3. 燃油供给系

燃油供给系的作用是按照内燃机工作循环所规定的时间,并根据内燃机负荷情况向气缸提供适量的燃油。柴油机燃油供给系一般由低压油路和高压油路两部分组成。低压油路由油箱、油管、输油泵、过滤器等组成;高压油路由柱塞偶件、出油阀偶件、高压油管及喷油器等组成。

### 4. 润滑系

润滑系由机油泵、机油滤清器、机油冷却器和油路等组成。其作用是将清洁的润滑油以一定的压力不间断地送入内燃机各摩擦表面,以减少摩擦阻力和零件的磨损,并带走摩擦时所产生的热量和金属屑,保证内燃机长期可靠地工作。

### 5. 冷却系

冷却系的任务是对内燃机高温件进行适当的冷却,以保证正常的工作温度,这也是保证内燃机长期可靠工作的必要条件之一。对水冷式内燃机其冷却系主要由水泵、水箱、散热器及节温装置和管路等组成。

### 6. 起动系

内燃机由静止状态转入工作状态,需要借助外力的起动。起动系的作用就是为内燃机起动提供外部动力,并保证起动的安全性和可靠性。不同的起动方式有不同的起动设备,例如:电起动时有起动电动机;用压缩空气起动时有压缩空气瓶,起动阀和气动马达等。

综上所述，为使内燃机安全可靠地工作，各机构、各系统必须各司其职、互相配合、动作协调，缺一不可。

工程机械用内燃机多为柴油机与汽油机，且以柴油机居绝大多数，若为汽油机则其组成还多一个点火系。本书内容以柴油机为主，对点火系不予介绍。

## 第二节 四冲程柴油机的基本工作原理

柴油机是一种压燃式的内燃机，柴油燃料在气缸中燃烧，从而产生高温高压的气体，推动活塞运动，通过曲柄连杆机构由曲轴对外作功，从而完成燃料的化学能转化为热能、热能再转化为机械能的能量转换。

柴油机的燃油要经过与空气混合燃烧才能转变为热能。要使燃油燃烧，有空气仅仅是燃烧的条件之一，还必须使混合气具有一定的温度。发动机的活塞在缸内向下运动（图 1-1），将空气吸进气缸内，此时空气的温度很低。活塞向上运动时，将空气迅速压缩，空气的温度和压力都上升，并达到足够使柴油燃烧的温度。此时再将燃油以雾化状态喷入，燃油立即在高温高压的空气中燃烧。燃油燃烧后放出大量的热能，使燃气的压力、温度急剧增高，在气缸中膨胀，通过活塞推动曲柄连杆机构对外作功。膨胀终了即活塞做功行程终了，活塞将作过功的废气排出。所有工作循环结束，发动机做好准备，以便新鲜空气再次进入。

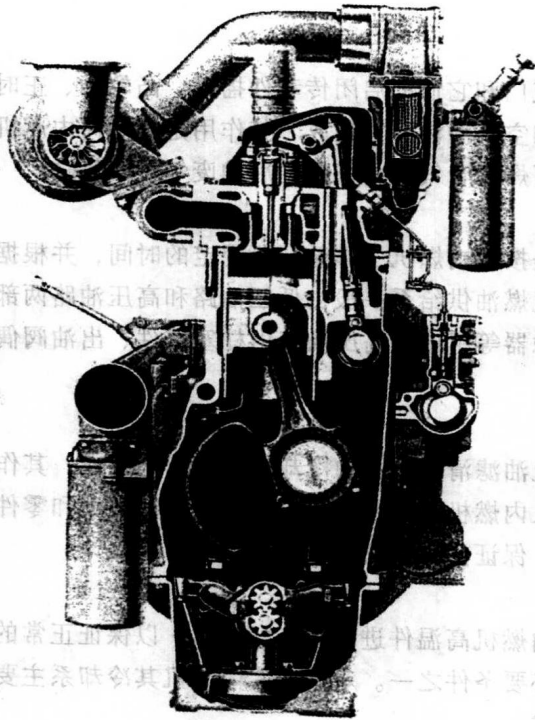


图 1-1 柴油机剖面图

（由三一重工泵送机械事业部提供）

综上所述，柴油机每作一次功，都必须经过进气、压缩、膨胀作功、排气等四个过程，这四个过程称为一个工作循环。循环不断进行，柴油机即能连续地工作。



在结构上，柴油机工作循环中的进气、压缩、膨胀做功和排气等过程都是通过活塞、连杆、曲轴、配气系统和燃油供给系统等部件相互配合来实现的。

活塞运动四个行程完成一个工作循环的柴油机称为四冲程柴油机，只用二个行程完成一个工作循环的柴油机叫做二冲程柴油机。工程机械用柴油机多为四冲程的。

### 一、四冲程柴油机的工作循环

图 1-2 所示的四个简图，分别表示四冲程柴油机的四个行程进行的情况。也可参见图 1-1。

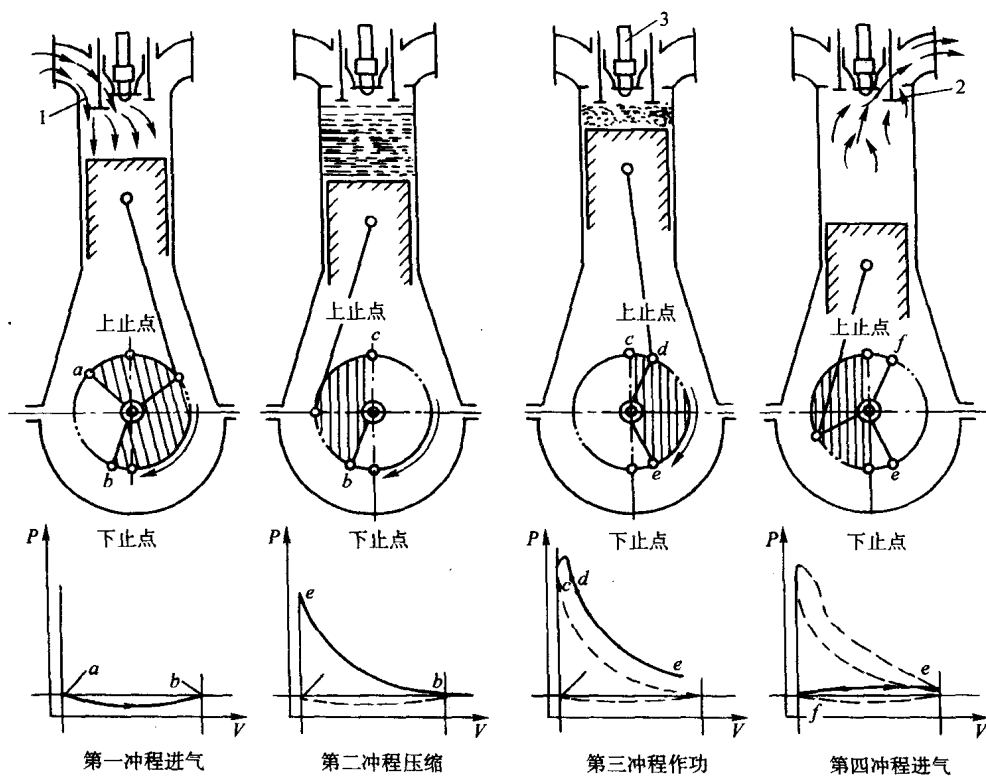


图 1-2 四冲程柴油机工作原理

1—进气门 2—排气门 3—喷油器

#### 1. 第一行程——进气行程

这一行程的任务是使气缸充满新鲜空气，行程开始时，活塞由上止点往下移动，进气门 1 打开，排气门 2 关闭。由于活塞下行，气缸容积增大，气缸压力降到大气压力以下，依靠气缸内外的压差作用，新鲜空气不断地进入气缸。在进气过程的大部分时间里，气缸的压力低于大气压力，其值约为  $80 \sim 95 \text{kPa}$  ( $0.8 \sim 0.95 \text{kgf/cm}^2$ )。由于进气系统的阻力，故进气终了时气缸压力略低于大气压，约为  $78 \sim 88 \text{kPa}$ ；新鲜空气在进气过程中受气缸壁和活塞顶等高温件的加热，并与上一循环高温残余废气混合，所以进气终了时气缸内的气体温度约  $320 \sim 340 \text{K}$ 。

#### 2. 第二行程——压缩行程

这一行程的任务是将进气行程吸入气缸中的新鲜空气进行压缩以使之达到足够的温度和

压力，为柴油的燃烧创造条件。当活塞从下止点运动到  $b$  时，进气门 1 关闭，空气开始被压缩。随着活塞上行，气缸容积不断减小，空气的压力和温度不断升高，压缩终了时，缸内气体压力达到 2940 ~ 4900kPa；温度达到 770 ~ 970K。

### 3. 第三行程——工作行程（或称作功冲程）

当活塞到达上止点稍前，即压缩过程后期，柴油经喷油器 3 以雾状喷入气缸，并与气缸中高温高压的空气混合形成可燃混合气，由于此时空气温度超过了柴油的着火点（见第四章第二节），所以柴油在喷入的同时就自行着火迅速燃烧。此时进、排气门是关闭的，气缸内的压力和温度由于燃烧而急剧上升，最高压力达到 5880 ~ 8820kPa；最高温度达到 1770 ~ 2770K。在上止点后某一时刻（点  $d$ ），燃烧基本结束。高温高压气体膨胀，将活塞推向下止点，并通过连杆使曲轴旋转对外作功，从而实现了热能向机械能的转换。随着活塞下行，气缸内容积不断增大，气体的温度不断降低，到  $e$  点，膨胀做功结束，作功终了时，压力降为 290 ~ 390kPa，温度降为 1070 ~ 1170K。

### 4. 第四行程——排气行程

这一行程的任务是将作过功的废气排出气缸外。因为残留在气缸内的废气是影响下一个工作循环充气质量的一个重要因素，所以废气排得越干净越好。当活塞越过下止点开始上行时，气缸压力已降低，可以减少活塞上行时的背压，活塞由下止点向上运动，气缸内的废气在活塞的作用下排出气缸。排气终了时缸内废气压力仍高于大气压力，约为 103 ~ 123kPa，温度约为 570 ~ 970K。

综上所述，四冲程柴油机有如下特点：

- ①一个工作循环是在曲轴回转两转内完成。
- ②在曲轴回转两转过程中进气门、排气门和喷油器均只启闭一次。
- ③每个循环中只有工作行程对外作功，其余三个行程都是为工作行程作准备，都需要外界供给能量。柴油机常做成多缸的，这样，进气、压缩、排气行程所需的能量可由其他正在工作的气缸提供。如果是单缸柴油机，能量可由较大的飞轮供给，即在工作行程时，柴油机带动飞轮加速旋转，依靠飞轮的旋转惯性，带动柴油机完成其他三个行程。

## 二、柴油机常用名词和术语

### 1. 上止点（TDC）（见图 1-3）

活塞离曲轴中心线最远的位置，此时曲轴的曲柄转至曲轴轴心线上方并垂直于曲轴中心线。

### 2. 下止点（BDC）

活塞离曲轴中心线最近的位置，此时曲轴的曲柄转至曲轴轴心线下方并垂直于曲轴轴心线。

### 3. 行程 $S$

上止点、下止点之间的垂直距离，用  $S$  表示。它等于曲柄半径  $R$  的两倍，即  $S = 2R$ 。若用曲柄转角表示，一个行程相当于曲柄转角  $180^\circ$ 。

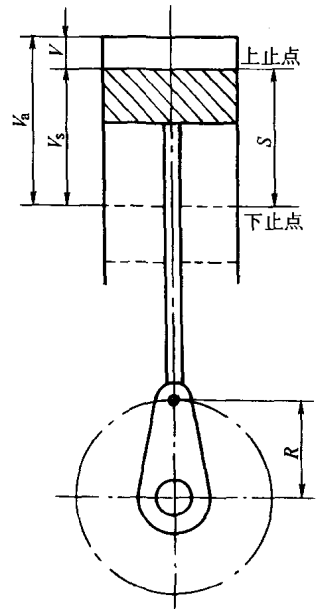


图 1-3 各名词的位置

#### 4. 曲柄半径 $R$

曲轴的曲柄销轴心线与主轴颈轴心线的垂直距离，常用  $R$  表示，如图 1-3 所示。

#### 5. 缸径 $D$

气缸内径，常用  $D$  表示。

#### 6. 压缩容积 $V$

活塞位于上止点时，活塞顶与气缸盖底面之间的气缸容积，又称为燃烧室容积，用  $V$  表示。

#### 7. 气缸工作容积 $V_s$

活塞从上止点移到下止点时所经过的空间，又称为行程容积或活塞排量，以  $V_s$  表示。

若一台柴油机有  $I$  个气缸，则柴油机的总排量  $V_h$ ：

$$V_h = I V_s \quad (\text{L})$$

#### 8. 气缸总容积 $V_a$

活塞在下止点时，活塞顶以上的气缸全部空间称为气缸总容积，它是压缩容积  $V$  和工作容积  $V_s$  之和，以  $V_a$  表示。

$$V_a = V_s + V$$

#### 9. 压缩比 $\varepsilon$

气缸总容积  $V_a$  与压缩容积  $V$  之比值称为压缩比，常用  $\varepsilon$  表示。

$$\varepsilon = V_a / V$$

压缩比是柴油机的一个重要的参数，它表明气缸内空气被活塞压缩的程度。压缩比越大，压缩终了时的压力和温度就越高，燃油就越容易燃烧，燃烧产生的压力就越高，零部件受力或曲轴输出的力就越大。反之，压缩比越小，压缩终了时的气体压力和温度就越低，零部件受力或曲轴输出力就越小，功率越低。压缩比对柴油机的燃烧、效率、起动性能、工作平稳性及机械负荷等都有很大影响。现代柴油机的压缩比一般为 14~22 或更高。增压柴油机压缩比相应有所减小。

### 三、柴油机的主要性能指标和型号

#### 1. 柴油机的主要性能指标

发动机的性能指标是表征各类发动机的性能、特点，比较性能优劣的评价指标。对工程机械发动机来讲，主要有动力性指标、经济性指标、排放指标和噪声指标等。

##### 1) 动力性指标

动力性指标主要是指发动机的有效转矩（即曲轴的输出转矩）和有效功率（即曲轴的输出功率）。

有效转矩是指发动机曲轴传给飞轮的转动力矩，用  $M_e$  表示。它应与通过工程机械传动系施加于发动机曲轴上的外界全部阻力矩平衡。有效转矩通常通过发动机的台架试验，用测功器或扭矩仪测出，其测试条件应符合有关国家标准的要求。

有效功率即发动机曲轴输出功率，用  $P_e$  表示，单位为 kW。它等于有效转矩与曲轴角速度的乘积。而曲轴角速度  $\omega$  与转速  $n$  之间的关系为  $\omega = 2\pi n$ ，所以，当通过发动机台架试验用转速仪测出转速后，发动机有效功率即可用以下公式算出：

$$P_e = M_e \times n / 9550 \text{ (kW)}$$

式中  $M_e$  ——有效转矩 (N·m);

$n$  ——曲轴转速 (r/min)。

发动机产品铭牌上标明的功率及相应的转速称为额定功率和额定转速,按照工程机械发动机可靠性试验方法的规定,工程机械发动机应在额定工况下连续运行 300 ~ 1000h。

## 2) 经济性指标

经济性指标主要指发动机的燃油消耗率,即发动机每发出 1kW 有效功率,在 1h 内所消耗的以 (g) 为单位的燃油消耗量。燃油消耗率用  $g_e$  表示,单位为 g/(kW·h)。燃油消耗率越低,经济性越好。当通过发动机台架试验测量出发动机每小时的燃油消耗量,即单位时间燃油消耗量  $G_f$  (kg/h),又测出发动机的有效功率后,就可以用下式确定燃油消耗率:

$$g_e = G_f / (1000 P_e) \text{ (g/(kW·h))}$$

## 3) 排放指标和噪声指标

排放指标主要是指从发动机油箱、曲轴箱排出的气体和从气缸排出的废气中所含的有害排放物的量。对汽油机来说主要是废气中的一氧化碳 (CO) 和碳氢化合物 (HC) 的量;对柴油机来说则主要是废气中的氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 和颗粒的量。它们也是通过发动机台架试验,采用专门的测试设备,按有关标准制订的测试方法测得的。

工程机械排放对人类生态环境的危害已日益受到重视,自 20 世纪 80 年代以来,美国、日本等国家和欧洲联盟发达地区都已先后制订出越来越严格的法规来限制内燃机的排放。因此,排放指标是与有关法规联系在一起的。近年我国也出台了相应法规。

## 2. 发动机的特性

发动机的性能指标要受许多因素变化的影响,其变化的规律就叫做发动机的特性。

对工程机械发动机来说,最重要的特性就是速度特性,它是发动机有效转矩、有效功率和燃油消耗率随曲轴转速而变化的规律。

速度特性由发动机台架试验获取。试验时保持发动机的油门开度(汽油机为节气门位置;柴油机为调速器手柄位置)不变,用测功器对发动机曲轴施加一定的阻力矩,当发动机在某一转速下稳定运转后,即表明曲轴输出的有效转矩与施加在曲轴上的阻力矩平衡。这样就可从测功器上获得发动机的有效转矩、有效功率和测出燃油消耗率,这是在这一转速下的  $M_e$ 、 $P_e$  和  $g_e$ 。然后,再改变测功器上的阻力矩得到另一个转速和另一组  $M_e$ 、 $P_e$  和  $g_e$ 。如此继续,就可得到多组数据,最后对测得的数据整理并绘制出燃油消耗率,每一条速度特性曲线都是在某一确定的节气门开度下获得的。当节气门开度最大时,所得到的速度特性称为发动机的外特性;而在其他节气门开度下所获得的速度特性称为发动机的部分特性。外特性是最重要的速度特性,发动机的额定功率、额定转矩的标定就是以外特性为依据的(但要说明的是,柴油机节气门最大位置通常限定在“冒烟界限”处,即发动机排气烟色开始变为灰黑色时,此时的柴油机速度特性称“冒烟特性”,而柴油机的外特性时的节气门开度要比“冒烟特性”时小一点)。汽油机的转矩特性曲线与柴油机的转矩特性曲线有着明显的不同。

## 3. 发动机的工况

发动机工况是发动机工作状况的简称。通常以发动机功率与转速或发动机负荷与转速来表示。

#### 4. 国产柴油机的型号规格

为了便于柴油机的生产管理和使用，我国对柴油机的型号编制方法作了统一规定（GB/T 725—1991），主要由下列四项内容组成：

**气缸数** 用阿拉伯数字表示一台柴油机所具有的气缸数目。

**机型系列** 用阿拉伯数字表示柴油机气缸直径（mm）和用汉语拼音文字的首位字母表示完成一个工作循环的冲程数。

**变型符号** 表示该机型经过改型后，在结构和性能上发生的变化。

**用途及结构特点** 用字母表示柴油机的主要用途和不同结构特点。

柴油机型号具体由四部分组成，各部分含义及代号规定如下（见图 1-4）：

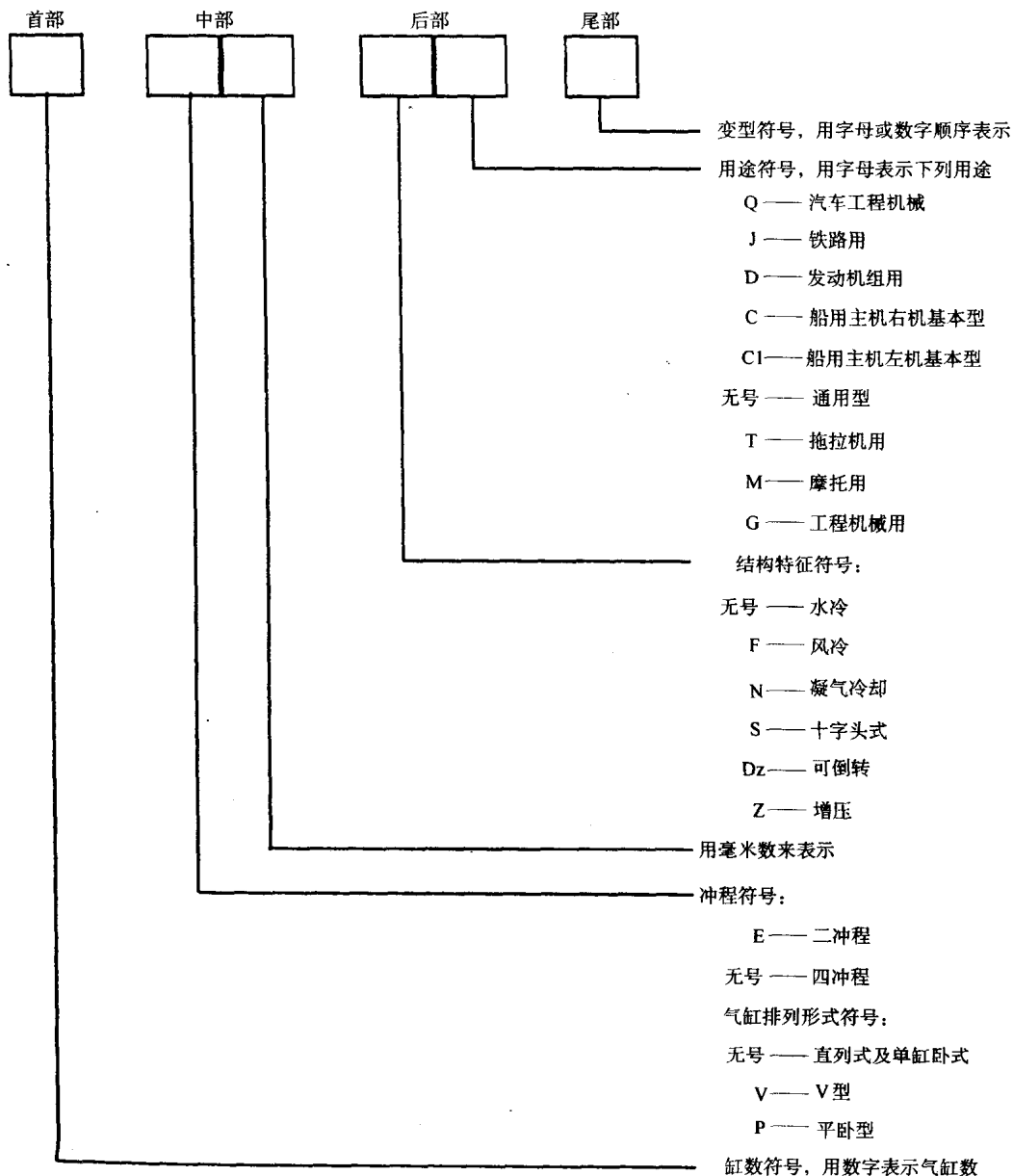


图 1-4 发动机的命名

例如：

6135——6缸，直列，四冲程，缸径135mm，水冷，通用型柴油机。

16V240ZJB——16缸，V型，四冲程，缸径240mm，水冷增压，工程机械柴油机，变型结构B型。

12V135ZG——12缸，V型，四冲程，缸径135mm，水冷增压，工程机械用柴油机。

### 5. 康明斯柴油机的型号规格

#### 1) 组成型号的各个符号的含义

例如发动机型号为4BTA-3.9

3.9表示发动机排量(L)，3.9L。

A表示进气增压以后中冷。

T表示废气涡轮增压。

B表示系列符号，其他系列有：C系列，N系列，K系列等。

4表示发动机缸数。

#### 2) 发动机的识别——发动机铭牌主要内容

每台发动机都有一个铭牌，固定在齿轮室侧面上（并非所有发动机都一样），根据这个铭牌，我们可以对该机型有个初步了解。

铭牌的主要内容有：

制造日期：采用8位数字。前4位为年，中间2位为月，后2位为日。

例：1989年9月9日打印成19890909。装配试验合格后打印。

排量：5.9L

机型：6BT

喷油正时 2.35mm

发火顺序 1-5-3-6-2-4

气门冷态间隙：进气：0.25mm，排气0.50mm

额定功率：117.6kW

额定转速：2600r/min

#### 3) 康明斯柴油机的型号规格举例

型号规格举例见表1-1。

表1-1 康明斯柴油机型号和参数举例（由三一重工泵送机械事业部提供）

| 发动机型号    |    | 额定功率/kW    | 最大扭矩/N·m   | 转矩余量<br>/N·m | 长/in | 宽/in | 高/in | 净重/lb <sup>①</sup> |
|----------|----|------------|------------|--------------|------|------|------|--------------------|
|          |    | 转速/(r/min) | 转速/(r/min) |              |      |      |      |                    |
| B3.9-77  | TA | 77/2200    | 192/1200   | 5            | 30.6 | 24.7 | 35.7 | 775                |
| B3.9-80  | TA | 80/2700    | 192/1200   | 19           | 30.6 | 24.7 | 35.7 | 775                |
| B3.9-100 | TA | 100/2200   | 298/1500   | 23           | 30.6 | 24.7 | 35.7 | 775                |
| B3.9-110 | TA | 110/2500   | 293/1500   | 27           | 30.6 | 24.7 | 35.7 | 775                |
| B3.9-116 | TA | 116/2500   | 300/1500   | 23           | 30.6 | 26.7 | 35.7 | 775                |
| B3.9-130 | TA | 130/2500   | 333/1500   | 22           | 30.6 | 26.7 | 35.7 | 775                |
| B3.9-120 | TA | 120/2200   | 372/1600   | 30           | 40.4 | 27.5 | 35.9 | 997                |

(续)

| 发动机型号    |    | 额定功率/kW<br>转速/(r/min) | 最大扭矩/N·m<br>转速/(r/min) | 转矩余量<br>/N·m | 长/in | 宽/in | 高/in | 净重/lb <sup>①</sup> |
|----------|----|-----------------------|------------------------|--------------|------|------|------|--------------------|
| B3.9-152 | TA | 152/2500              | 414/1600               | 30           | 40.4 | 27.5 | 35.9 | 997                |
| B3.9-165 | TA | 165/2500              | 440/1600               | 27           | 40.4 | 27.5 | 35.9 | 997                |
| B3.9-174 | TA | 174/2500              | 458/1500               | 42           | 40.4 | 27.5 | 35.9 | 997                |
| B3.9-185 | TA | 185/2500              | 550/1500               | 42           | 40.4 | 27.5 | 35.9 | 997                |
| B3.9-200 | TA | 200/2500              | 593/1500               | 43           | 40.4 | 27.5 | 35.9 | 997                |
| C8.3-190 | TA | 190/2200              | 590/1500               | 30           | 43.9 | 38.3 | 43.1 | 1360               |
| C8.3-205 | TA | 205/2200              | 636/1500               | 30           | 43.9 | 28.3 | 43.1 | 1360               |
| C8.3-215 | TA | 215/2500              | 642/1500               | 25           | 43.9 | 28.3 | 41.7 | 1360               |
| C8.3-230 | TA | 230/2200              | 730/1500               | 33           | 43.9 | 28.3 | 41.7 | 1360               |
| C8.3-240 | TA | 240/2200              | 750/1500               | 31           | 43.9 | 28.3 | 41.7 | 1360               |
| C8.3-260 | TA | 260/2200              | 825/1500               | 33           | 43.9 | 28.6 | 41.7 | 1360               |
| C8.3-300 | TA | 300/2200              | 860/1500               | 20           | 43.9 | 28.2 | 42.4 | 1360               |

① 1lb = 0.45kg。

## 6. 道依茨柴油机主要型号和参数 (见表 1-2 和表 1-3)

表 1-2 道依茨柴油机 1012 型号和参数举例 (由三一重工泵送机械事业部提供)

| 型号          | BFM1012<br>BF4M1012E | BFM1012C<br>BF4M1012EC | BF6M1012<br>BF6M1012E | BF6M1012C<br>BF6M1012EC |
|-------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 气缸数         | 4                    | 4                      | 6                     | 6                       |
| 缸径          | 94                   | 94                     | 94                    | 94                      |
| 行程          | 115                  | 115                    | 115                   | 115                     |
| 总排气量/mL     | 3192                 | 3192                   | 4788                  | 4788                    |
| 压缩比         | 17.5                 | 17.5                   | 17.5                  | 17.5                    |
| 功率/转速       |                      |                        |                       |                         |
| 气门间隙-进气     | 0.3-0.4              | 0.3-0.4                | 0.3-0.4               | 0.3-0.4                 |
| (冷机)-排气     | 0.5-0.6              | 0.5-0.6                | 0.5-0.6               | 0.5-0.6                 |
| 喷油器开启压力/MPa | 25                   | 25                     | 25                    | 25                      |
| 喷油提前角       |                      |                        |                       |                         |
| 喷油顺序        | 1-3-4-2              | 1-3-4-2                | 1-5-3-6-2-4           | 1-5-3-6-2-4             |
| 节温器开启温度/℃   | 83                   | 83                     | 83                    | 83                      |
| 节温器全开温度/℃   | 95                   | 95                     | 95                    | 95                      |
| 持续水温/℃      | 110                  | 110                    | 110                   | 110                     |
| 机油最低压力/MPa  | 0.8                  | 0.8                    | 0.8                   | 0.8                     |
| 润滑油牌号       | 15W40                | 15W40                  | 15W40                 | 15W40                   |

表 1-3 道依茨柴油机 1013 型号和参数举例

| 型号          | BFM1013<br>BF4M1013E | BFM1013C<br>BF4M1013EC | BF6M1013<br>BF6M1013E | BF6M1013C<br>BF6M1013EC | BF6M1013CP<br>BF6M1013ECP |
|-------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 气缸数         | 4                    | 4                      | 6                     | 6                       | 6                         |
| 缸径          | 108                  | 108                    | 108                   | 108                     | 108                       |
| 行程          | 130                  | 130                    | 130                   | 130                     | 130                       |
| 总排气量/mL     | 4764                 | 4764                   | 7146                  | 7146                    | 7146                      |
| 压缩比         | 17.6                 | 17.6                   | 17.6                  | 17.6                    | 17.6                      |
| 功率/转速       |                      |                        |                       |                         |                           |
| 气门间隙 - 进气   | 0.3 - 0.4            | 0.3 - 0.4              | 0.3 - 0.4             | 0.3 - 0.4               |                           |
| (冷机) - 排气   | 0.5 - 0.6            | 0.5 - 0.6              | 0.5 - 0.6             | 0.5 - 0.6               |                           |
| 喷油器开启压力/MPa | 25                   | 25                     | 25                    | 25                      |                           |
| 喷油提前角       |                      |                        |                       |                         |                           |
| 喷油顺序        | 1-3-4-2              | 1-3-4-2                | 1-5-3-6-2-4           | 1-5-3-6-2-4             | 1-5-3-6-2-4               |
| 节温器开启温度/℃   | 83                   | 83                     | 83                    | 83                      | 83                        |
| 节温器全开温度/℃   | 95                   | 95                     | 95                    | 95                      | 95                        |
| 持续水温/℃      | 110                  | 110                    | 110                   | 110                     | 110                       |
| 机油最低压力/MPa  | 0.8                  | 0.8                    | 0.8                   | 0.8                     | 0.8                       |
| 润滑油牌号       | 15W40                | 15W40                  | 15W40                 | 15W40                   | 15W40                     |

### 第三节 提高内燃机动力性能与经济性的途径

#### 1. 采用增压技术

在保持过量空气系数等参数不变的情况下, 增加吸进空气的密度可以使发动机功率按比例增长, 这就需要在内燃机上装置增压器, 使空气进入气缸前进行预压缩。目前, 在柴油机上广泛采用排气涡轮增压器, 尤其是当采用高增压后, 可以促使柴油机的平均有效压力增长。与此同时, 它还是改善柴油机的经济性、降低比质量、降低废气有害排放、降低排烟、节约原材料的一项最有效的技术措施。由于采用增压, 柴油机的平均有效压力值已超过 3 MPa, 单位功率质量可降低到 2 kg/kW 以下。汽油机由于受爆燃限制, 压缩行程终了时的压力和温度不宜过高, 这就限制了增压压力的不宜过高。增压后, 一般功率的提高也仅在 30% ~ 40% 之间。内燃机的增压技术还可以用来恢复在高原使用的内燃机的功率, 因为随海拔的增加, 进气密度下降, 燃烧恶化, 发动机功率就要下降, 装备了增压发动机的工程机械, 其动力性与经济性可以得到明显改善。

#### 2. 合理组织燃烧过程, 提高循环指示效率

提高指示效率不仅改善了内燃机的动力性能, 同时也改善其经济性能, 因此, 需要从研



究内燃机理论循环和实际循环入手, 深入分析在整个热功转换过程中, 各种热力损失的大小及其分布, 掌握各种因素对热力损失的影响程度, 从而寻找减少这些损失的技术措施, 而其中最重要的一个方面就是对内燃机燃烧过程的改进。

随着柴油机的不断强化、增压程度和转速的不断提高, 都要求燃烧过程能够高效率进行, 要求对柴油机的混合形成、燃烧以及供油系统方面进行深入的研究。

### 3. 改善换气过程, 提高气缸的充量系数

同样大小的气缸容积, 在相同的进气状态下若能吸入更多的新鲜空气, 则可容许喷入更多的燃料, 在同样的燃烧条件下可以获得更多的有用功。改善换气过程, 不仅可以提高充量系数, 而且可以减少换气损失。为此, 必须对换气过程进行深入研究, 分析产生损失的原因, 然后从改善配气机构、凸轮轮廓线及管道流体动力性能等方面着手进行研究。

### 4. 提高发动机的转速

增加转速可以增加单位时间内每个气缸做功的次数, 因而可提高发动机的功率输出, 与此同时, 发动机的比质量也随之降低。因此, 它是提高发动机功率和减小质量、尺寸的一个有效措施。当前, 小型柴油机 ( $D = 70 \sim 90\text{mm}$ ) 的最高转速已达  $5000\text{r/min}$ , 但一般在  $3000\text{r/min}$  左右, 活塞平均速度  $v_m$  约在  $11 \sim 13\text{m/s}$  之间; 汽油机的转速一般在  $4000 \sim 7000\text{r/min}$ , 某些小型风冷汽油机转速可高达  $8000 \sim 10000\text{r/min}$ , 它们的  $v_m$  值在  $18 \sim 20\text{m/s}$  左右。

转速的增长不同程度上受燃烧恶化、充量系数  $\phi_c$  和机械效率  $\eta_m$  急剧降低、零件使用寿命和可靠性降低以及发动机振动、噪声加剧等限制。

### 5. 提高内燃机的机械效率

提高机械效率可以提高内燃机的动力性和经济性能, 这方面主要靠合理选定各种热力和结构参数, 靠结构、工艺上采取措施减少其摩擦损失及驱动水泵、油泵等附属机构所消耗的功率以及改善发动机的润滑、冷却来实现。

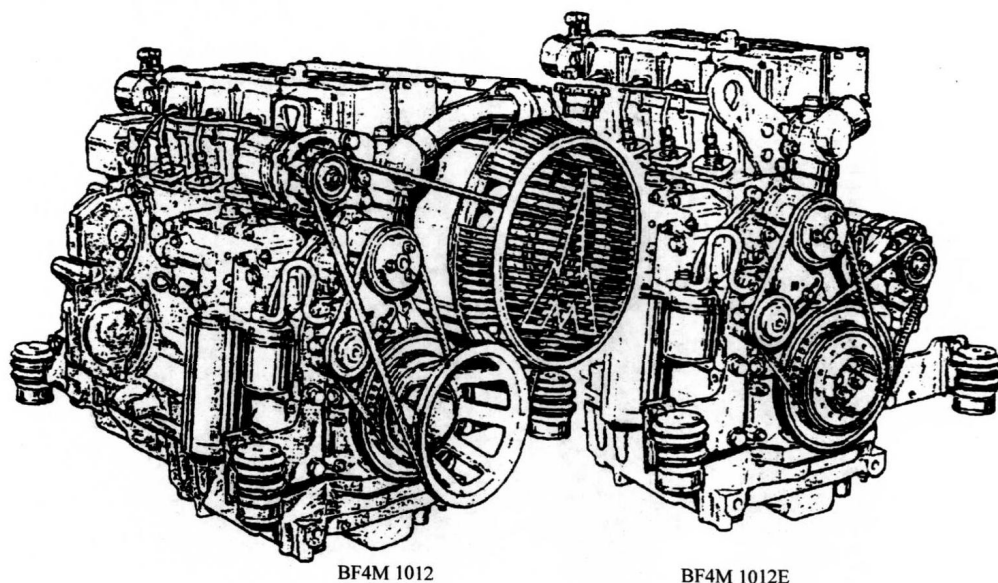


图 1-5 道依茨发动机外观 (由三一重工路面机械事业部提供)