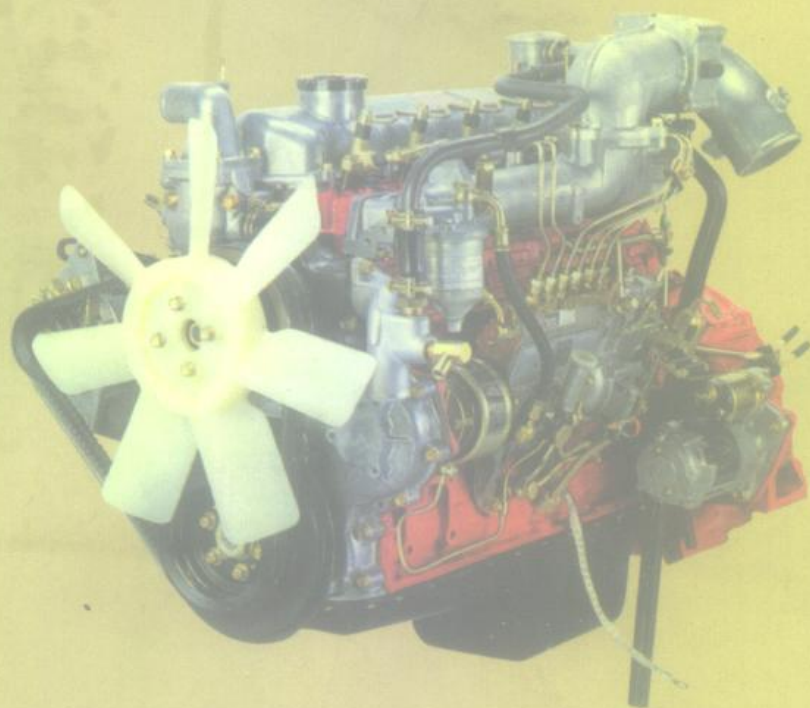


XIANDAI CHAIYOUJI SHIYONG YU JIANCE

现代柴油机 使用与检测

刘杰 安国建 梁杰 编著



人民交通出版社

Xiandai Chaiyouji Shiyong yu Jiance

现代柴油机使用与检测

刘 杰 安国建 梁 杰 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了车用及工程机械用柴油机的结构、工作原理,柴油机技术状况检测、分析,检测手段及方法,并提供大量资料,为柴油机使用、维护等方面工程技术人员的必读书籍。本书也可作为交通、农业、建筑、矿山等相关专业的大中专院校师生的教学参考书或专业课教材。

DY45/18

图书在版编目(CIP)数据

现代柴油机使用与检测/刘杰等编著.-北京:人民交通出版社, 1999.10
ISBN 7-114-03488-1

I. 现… II. 刘… III. ①柴油机-应用②柴油机-检测
IV. TK42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 41427 号

现代柴油机使用与检测

刘 杰 安国建 梁 杰 编著

正文设计:周 园 责任校对:刘素燕 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 22 字数: 550 千

2000 年 2 月 第 1 版

2000 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001~3000 册 定价: 39.00 元

ISBN 7-114-03488-1

U · 02501



第一台柴油机自 1897 年诞生至今已 100 多年。作者汇集近 30 年的教学、生产、科研的经验与资料，编著成书，以充分肯定柴油机对人类、社会、工农业生产的巨大贡献。

柴油机具有热效率高、燃料使用经济性好、功率范围宽、故障少等许多优点，工程机械、中（重）型运输车辆、农业机械等绝大部分采用柴油机做动力装置。目前，柴油机使用范围正向小吨位运输机械方向扩展。

为生产服务是作者编著本书的宗旨。该书从理论与实践的结合上，介绍车用及工程机械用柴油机结构与工作原理，详尽地阐述了柴油机使用与维护，从零部件到整机技术状况的检测、故障分析，特别是通过对现代柴油机主要组成——柴油供给系、自动控制装置结构的详细介绍及检测手段和方法的具体介绍，提供大量的最新资料，为广大读者和柴油机使用、维护等技术人员提供了不可多得的必读书籍，也为相关专业的大中专学校师生提供了很有价值的专业课教学参考书。

本书由刘杰（第一篇）、安国建（第二篇）、梁杰（第三篇）编著。本书第 6 章、第 14 章由韩代军执笔，第 10 章由李思湘执笔，第 18 章由陆静执笔。

本书是在工作之余撰写的，由于时间仓促，书中定有疏漏，敬请读者批评指正。

编 者

1999 年 8 月

目 录

第一篇 柴油机的结构与性能

第 1 章 柴油机工作原理与总体构造	1
1.1 柴油机工作原理与结构	1
1.2 柴油机的总体构造	5
1.3 柴油机名称和型号编制规则	5
第 2 章 曲柄连杆机构	10
2.1 机体组结构与检验	10
2.2 活塞连杆组结构与检验	16
2.3 曲轴飞轮组结构与检验	28
第 3 章 配气机构	33
3.1 配气机构工作原理	33
3.2 配气相位	35
3.3 配气机构的零件结构及使用	38
第 4 章 柴油机供给系	44
4.1 柴油机供给系作用、组成与总体布置	44
4.2 燃烧室	46
4.3 喷油器的结构与使用	53
4.4 柱塞式喷油泵的结构与使用	57
4.5 分配式喷油泵的结构与使用	80
4.6 喷油器式喷油泵的结构与使用	89
4.7 PT 喷油泵的结构与使用	92
4.8 滑套计量式喷油泵	102
4.9 调速器及其使用	103
4.10 柴油机废气涡轮增压	131
4.11 柴油机供给系附属装置	136
第 5 章 冷却系	143
5.1 柴油机的冷却系统	144
5.2 冷却系主要部件结构及使用	146
5.3 冷却系冷却强度的调节	152
5.4 冷却液及防冻液的使用	157
第 6 章 柴油机润滑系	158
6.1 概述	158

6.2 润滑系的主要部件及使用	162
-----------------------	-----

第二篇 柴油机的使用与检测诊断

第7章 柴油机故障与零件失效	171
7.1 柴油机故障分类及故障率	171
7.2 零件的失效	174
第8章 使用条件对柴油机零件寿命的影响	179
8.1 负荷与速度对零件磨损的影响	179
8.2 柴油机工作温度对零件磨损的影响	181
8.3 粉尘和燃料污染对零件磨损的影响	183
8.4 柴油机典型零件的磨损	183
第9章 柴油机主要零件的检验	186
9.1 主要零件的磨损检验	187
9.2 主要零件的变形与检验	189
9.3 零件的平衡检测	195
第10章 柴油机功率检测	198
10.1 台架测功	198
10.2 底盘测功	204
10.3 加速测功	209
10.4 单缸功率检测	212
第11章 使用条件下柴油机技术状况的检测与诊断	213
11.1 气缸密封性检测	213
11.2 柴油机供给系的检测	218
11.3 PT 燃油系的检测与诊断	239
11.4 柴油机供油系故障诊断	247
11.5 柴油机异响诊断	253
第12章 废气检测	263
12.1 烟度检测	263
12.2 柴油机排烟的影响因素	271
第13章 柴油机装配与磨合	274
13.1 柴油机装配	274
13.2 柴油机磨合	280
第14章 柴油机常见故障及其诊断	285
14.1 柴油机在使用中常见故障及其诊断	285
14.2 柴油机废气颜色的分析及诊断	292

第三篇 柴油机电气与控制

第15章 蓄电池	294
-----------------------	-----

15.1	蓄电池的结构与工作原理·····	294
15.2	蓄电池的容量及其影响因素·····	295
15.3	蓄电池的常见故障及排除·····	297
15.4	蓄电池的充电·····	298
15.5	蓄电池的维护与性能检测·····	300
第 16 章	充电系 ·····	302
16.1	交流发电机的基本组成与分类·····	302
16.2	交流发电机的构造·····	302
16.3	交流发电机的工作原理·····	305
16.4	交流发电机的调节器·····	306
16.5	交流发电机充电系的故障检查与测试·····	310
16.6	交流发电机的故障检查与测试·····	311
16.7	调节器的故障检查与测试·····	314
第 17 章	起动系 ·····	316
17.1	起动系的基本组成·····	316
17.2	直流串激式电动机·····	317
17.3	起动机的传动机构·····	319
17.4	起动机的控制装置·····	320
17.5	典型起动机实例·····	321
17.6	起动系的常见故障及检测·····	325
17.7	起动机的检查与试验·····	326
第 18 章	柴油机自动控制 ·····	329
18.1	自动控制技术的基础知识·····	330
18.2	柴油机自动控制系统的常用元件·····	331
18.3	柴油机自动控制·····	334
18.4	柴油机自动控制系统的常见故障与诊断·····	340
参考文献·····		344

第一篇 柴油机的结构与性能

第1章 柴油机工作原理与总体构造

柴油机是以柴油为燃料，通过燃烧，使柴油的化学能转化成机械能。目前我国4t以上的运输汽车（欧洲国家2t以上的车辆）、工程机械等均采用柴油机为动力装置。

1.1 柴油机工作原理与结构

1.1.1 柴油机的一般结构

图1-1为单缸柴油机构造简图。活塞8装在圆筒形气缸11内，并可沿气缸中心线作往复运动。活塞通过活塞销9与连杆10的小头相连。连杆的大头滑套在曲轴12的曲柄销上，曲轴的两端支承在曲轴箱13的轴承上。因此，活塞作往复运动时带动曲轴旋转。曲轴的尾端装有圆盘形的飞轮14。气缸上部装有气缸盖4，使活塞顶部与缸盖之间构成密封空间，作为燃烧室。在气缸盖上布置有进气门7和排气门6，根据柴油机的工作循环，及时地开启或关闭。

1.1.2 柴油机基本术语

为了便于了解柴油机的工作和主要零件运动情况，首先介绍柴油机工作的基本术语（图1-2）。

上止点 活塞距曲轴中心最远时，气缸壁与活塞顶平面所对应的位置。

下止点 活塞距曲轴中心最近时，气缸壁与活塞顶平面所对应的位置。

活塞行程 上、下止点之间的距离。

曲柄半径 曲柄销的中心线到曲轴回转中心线的距离。

气缸工作容积 V_h 活塞从上止点到下止点所扫过的气缸容积。柴油机所有气缸工作容积的总和，称为柴油机工作容积，俗称排量。

燃烧室容积 V_c 活塞在上止点时，活塞顶上面的空间叫燃烧室，它的容积叫燃烧室容积。

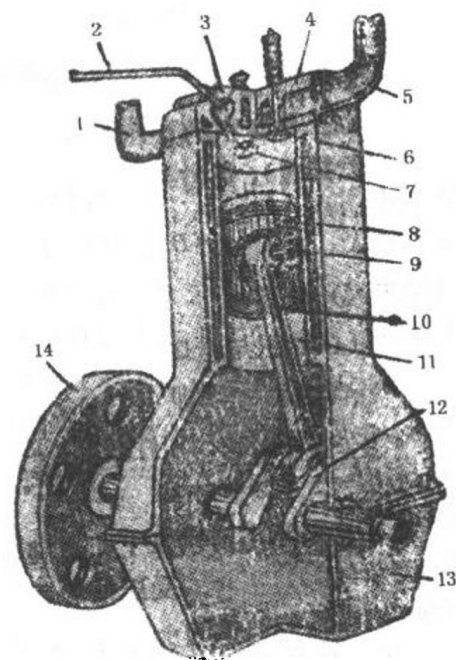


图1-1 单缸柴油机构造简图

1-进气管；2-进油管；3-燃烧室；4-气缸盖；
5-排气管；6-排气门；7-进气门；8-活塞；
9-活塞销；10-连杆；11-气缸；12-曲轴；
13-曲轴箱；14-飞轮

气缸总容积 V_a 。活塞在下止点时，活塞顶上面整个空间容积。它等于气缸工作容积 V_h 与燃烧室工作容积 V_c 之和。

压缩比 ϵ 气缸总容积与燃烧室容积的比值。它表示压缩行程中，气缸内气体被压缩的程度。压缩比大，压缩行程终了时气缸内气体压力和温度高。目前，一般车用及工程机械用柴油机（以下简称为柴油机）压缩比为 15~22。

1.1.3 四冲程柴油机工作循环

图 1-3 是柴油机工作循环示意图。

第一行程——进气行程 活塞由曲轴带动，

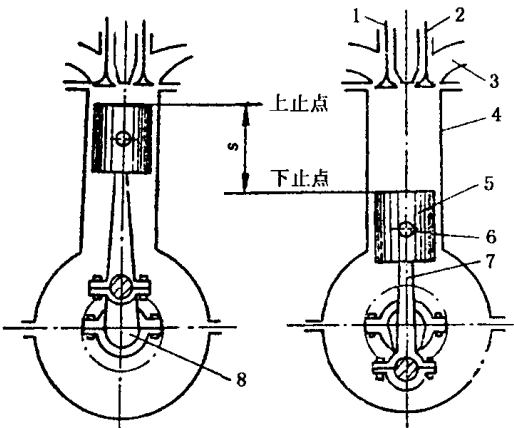


图 1-2 柴油机基本术语

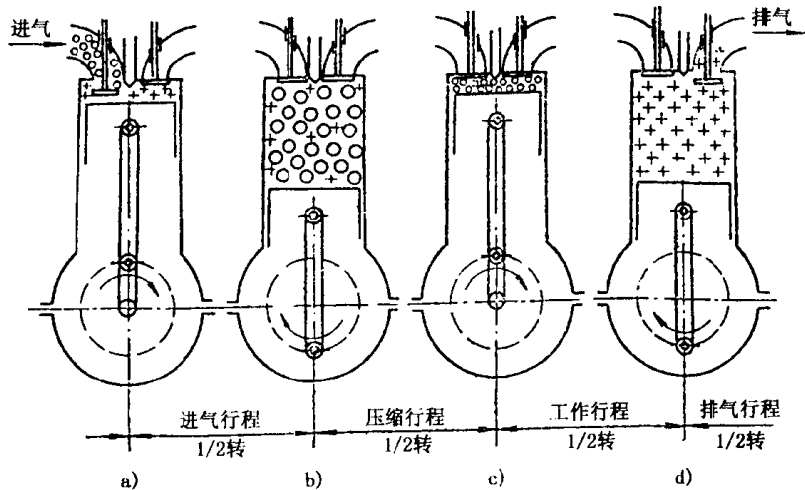


图 1-3 单缸四冲程柴油机工作循环

从上止点向下止点运动，此时进气门开启、排气门关闭。活塞移动过程中，其上方气缸容积逐渐增大，并产生一定的真空度，于是新鲜空气被吸进气缸。当活塞到达下止点时，进气行程结束。在进气行程中，由于进气阻力影响（空气滤清器、进气管、进气门等），进气行程终了时气缸内的气体压力为 0.080~0.095MPa，进气终了时气缸的气体温度为 310~340K。

第二行程——压缩行程 活塞由曲轴带动，从下止点向上止点运动，此时进、排气门均关闭。当活塞向上止点移动过程中，气缸容积逐渐减小，气体被压缩，其压力、温度随之升高。当活塞到达上止点时，压缩行程结束。此时气缸内气体的温度为 850~950K（柴油的自燃温度约为 700K）、气体压力为 3~5MPa。为使柴油能及时燃烧，在压缩过程结束前（约在上止点前 10°~35°曲轴转角），喷油器开始将高压柴油喷入气缸。从喷油开始至上止点的曲轴转角称喷油提前角。

第三行程——作功行程 作功行程中进、排气门仍然关闭。喷入气缸中的柴油雾化、吸热、自行燃烧，产生大量热能，使气缸中的气体温度和压力急剧升高，气体迅速膨胀，高温、高压气体推动活塞向下止点移动，通过连杆带动曲轴旋转，向外输出功。柴油机在作功行程中，气缸内气体最高温度为 1800~2200K，最高压力为 6~12MPa。随着活塞的移动，气缸容积逐渐增大，气体压力不断减小，活塞达下止点时作功行程结束。此时气缸中气体温

度为 $1000 \sim 1400\text{K}$ ，气体压力为 $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ 。

第四行程——排气行程 活塞在曲轴带动下由下止点向上止点运动，排气门开启、进气门关闭。排气行程开始时因气缸内充满着废气，排气门打开后，活塞移动强行把废气排出气缸。排气行程终了时气缸内气体温度约为 $570 \sim 770\text{K}$ ，气体压力为 $0.105 \sim 0.12\text{MPa}$ 。

至此，单缸柴油机经历了活塞上下往复各两次的四个行程，完成了进气、压缩、做功、排气的工作循环。

由以上四冲程柴油机工作循环可知：

1) 每个循环曲轴转两周 (720°)，每一行程曲轴转半周 180° ，进气行程是进气门开启，排气行程是排气门开启，其余两个冲程中进、排气门均关闭。

2) 四个行程中，仅做功行程产生动力，其余三个行程是作功行程的辅助行程，均要消耗能量。所以作功行程是主要行程，但其他三个行程是不可缺少的。

3) 柴油机启动时的第一个循环，必须有外力将曲轴转动，以完成进气、压缩行程，当作功以后，曲轴和飞轮贮存能量，便可使柴油机工作循环继续下去。

1.1.4 二冲程柴油机的工作循环

二冲程柴油机工作循环也包括进气、压缩、做功、排气四个过程，但是它是在活塞往复二个行程内完成。图 1-4 为二冲程柴油机工作循环示意图。

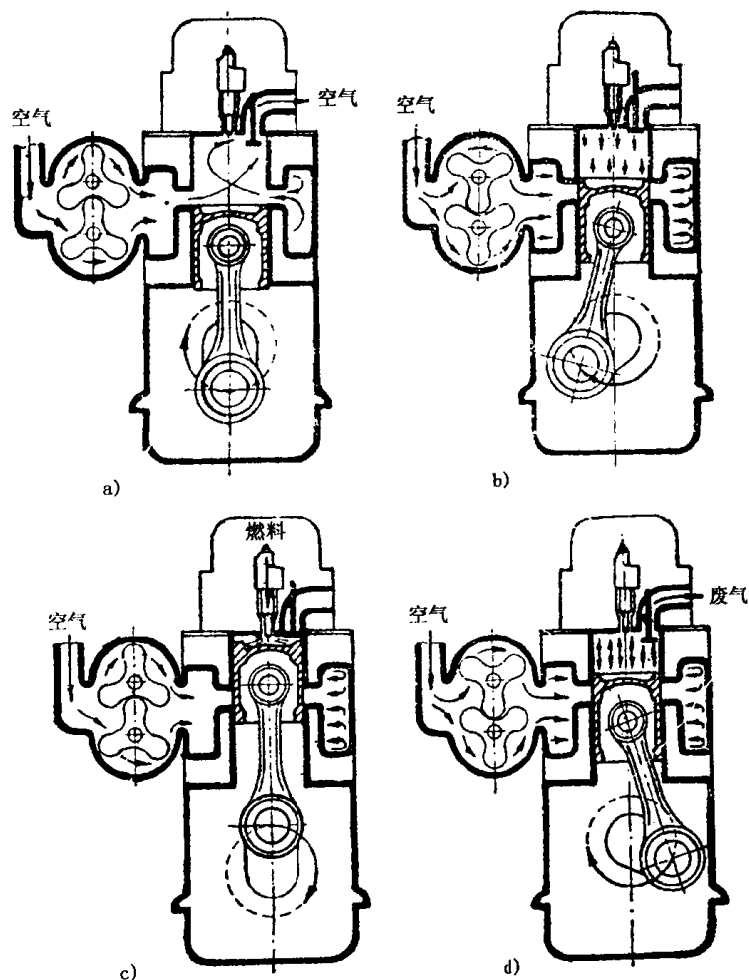


图 1-4 二冲程柴油机工作循环

第一行程 在曲轴的旋转带动下，活塞由下止点向上止点运动。行程开始前，进气孔和排气门均已开启，由换气泵提高压力的空气（压力约 0.12~0.15MPa）经气缸外部的空气室和气缸壁上进气孔进入气缸内（图 1-4a）。当活塞继续上移时，进气孔、排气门关闭，开始压缩行程（图 1-4b）。当活塞接近上止点时，喷油器向气缸内喷入柴油，雾化的柴油吸热、自行燃烧（图 1-4c）。

第二行程 活塞达上止点后，燃烧的高温、高压气体推动活塞向下止点移动，活塞运动到约 2/3 行程时，排气门开启，废气靠自身压力排出气缸（图 1-4d），此后进气孔开启，靠新鲜空气压力进行换气过程。

从二冲程柴油机工作循环可以看出，二冲程柴油机具有以下特点：

1) 四冲程柴油机的进、排气两个冲程是分开的，而二冲程柴油机单纯的排气过程很短，主要靠一个几乎完全重叠的，即进、排气同时进行的扫气过程换气，利用空气驱赶废气，因而废气排除不彻底。

2) 一个工作循环中二冲程柴油机曲轴只转一周。从理论上讲，二冲程柴油机的功率应是四冲程柴油机的两倍，但实际上是 1.5~1.7 倍。主要是二冲程柴油机废气难以排净，换气过程损失较多，实际做功行程偏短等问题所致。

3) 由于仅有排气门，使柴油机配气机构较为简单，简化了柴油机的结构，维修较方便，故二冲程柴油机也广泛应用于运输汽车与工程机械上。

运输汽车与工程机械应用的是多缸柴油机，它是由若干个单缸柴油机连接在一起，共用一根曲轴输出动力。多缸柴油机是在曲轴转两周内（四冲程柴油机）或一周内（二冲程柴油机）各缸均同单缸柴油机一样循环工作，即各缸根据柴油机气缸数目和排列方式不同，按一定顺序、相互错开一定的曲轴转角做功。四冲程柴油机其做功间隔角度为 $\varphi = 720^\circ / i$ ，式中 i 为气缸数。例如，六缸四冲程柴油机常用的工作顺序为 1—5—3—6—2—4（表 1-1），即第一缸做功后第五缸做功，继之分别为第三缸、第六缸、第二缸做功、第四缸。由表 1-1 可以看出，六缸四冲程柴油机在曲轴每转两周时，各缸均做功一次，即曲轴每转 120° 就有一个气缸做功，所以它的工作比单缸柴油机要平稳的多。

六缸四冲程柴油机工作顺序
(发火次序：1—5—3—6—2—4)

表 1-1

曲轴转角 (°)	第一缸	第二缸	第三缸	第四缸	第五缸	第六缸
0		排 气	进 气	作 功	压 缩	
0~180	作 功					进 气
60						
120		进 气	压 缩	排 气	作 功	
180						
180~360	排 气		作 功	进 气		压 缩
240						
300		压 缩			排 气	作 功
360						
360~540	进 气		排 气	压 缩		排 气
420		作 功			进 气	
480						
540			进 气	作 功	压 缩	
540~720	压 缩	排 气				
600						
660						
720						

1.2 柴油机的总体构造

柴油机是由许多机构和系统组成的复杂机械。现代车用及工程机械用柴油机结构形式也很多，具体结构也不尽相同，但主要结构大同小异，主要由以下几部分组成：

1. 曲柄连杆机构

主要作用是将燃料燃烧的热能转化成机械能，把活塞的往复直线运动变成曲轴的旋转运动，完成柴油机的工作循环。它主要由机体组、活塞连杆组、曲轴飞轮组等组成。

2. 配气机构

为了使柴油机工作连续进行，必须定时开启和关闭气门。主要由气门组和传动机构组成。

3. 供给系

主要作用是定时、定量、定压向燃烧室内喷入燃料，并与空气形成可燃混合气，保证燃料迅速、及时、完全地燃烧。供给系有油箱、输油泵、柴油滤清器、喷油泵、喷油器及空气滤清器等组成。

4. 润滑系

及时地将润滑油送到运动零件的摩擦表面，对柴油机零件起减磨、冷却、清洗、密封作用，以减少摩擦阻力和磨损，延长零件的使用寿命。它由油底壳、机油泵、机油滤清器、油道等组成。

5. 冷却系

是将零件所吸收的热量及时的传导出去，保证柴油机的正常工作温度。水冷却系的主要组成有冷却水套、水泵、风扇、散热器、节温器、液力偶合器等。

6. 起动系

使柴油机由静止状态转入运动状态，借助于外力使曲轴达到一定转速。它主要由起动机、蓄电池等装置组成。

YC6105QC 型、T815—2 型柴油机的纵剖面、横剖面分别如图 1-5、1-6、1-7、1-8 所示。

1.3 柴油机名称和型号编制规则

为了便于内燃机的生产管理和使用，我国于 1982 年对内燃机名称和型号编制方法颁布了国家标准（GB725—82）。该标准如下：

1) 内燃机名称按其所采用的主要燃料命名，例如柴油机、汽油机、煤气机等。

2) 内燃机型号应能反映内燃机的主要结构特征及性能。型号由以下几项内容符号组成：

(1) 首部 用汉语拼音文字的第一个字母表示地方企业代号和用阿拉伯数字表示系列代号或换代符号。

(2) 中部 用阿拉伯数字表示气缸数、气缸直径（mm）和用汉语拼音文字的首位字母表示完成一个循环的冲程数。

(3) 后部和尾部 结构特征符号表示该机型经过改型后，在结构和性能上的改变。用数字表示改型顺序，与前面的符号用短横隔开。用途特征符号，必要时在短横前可增加特征符

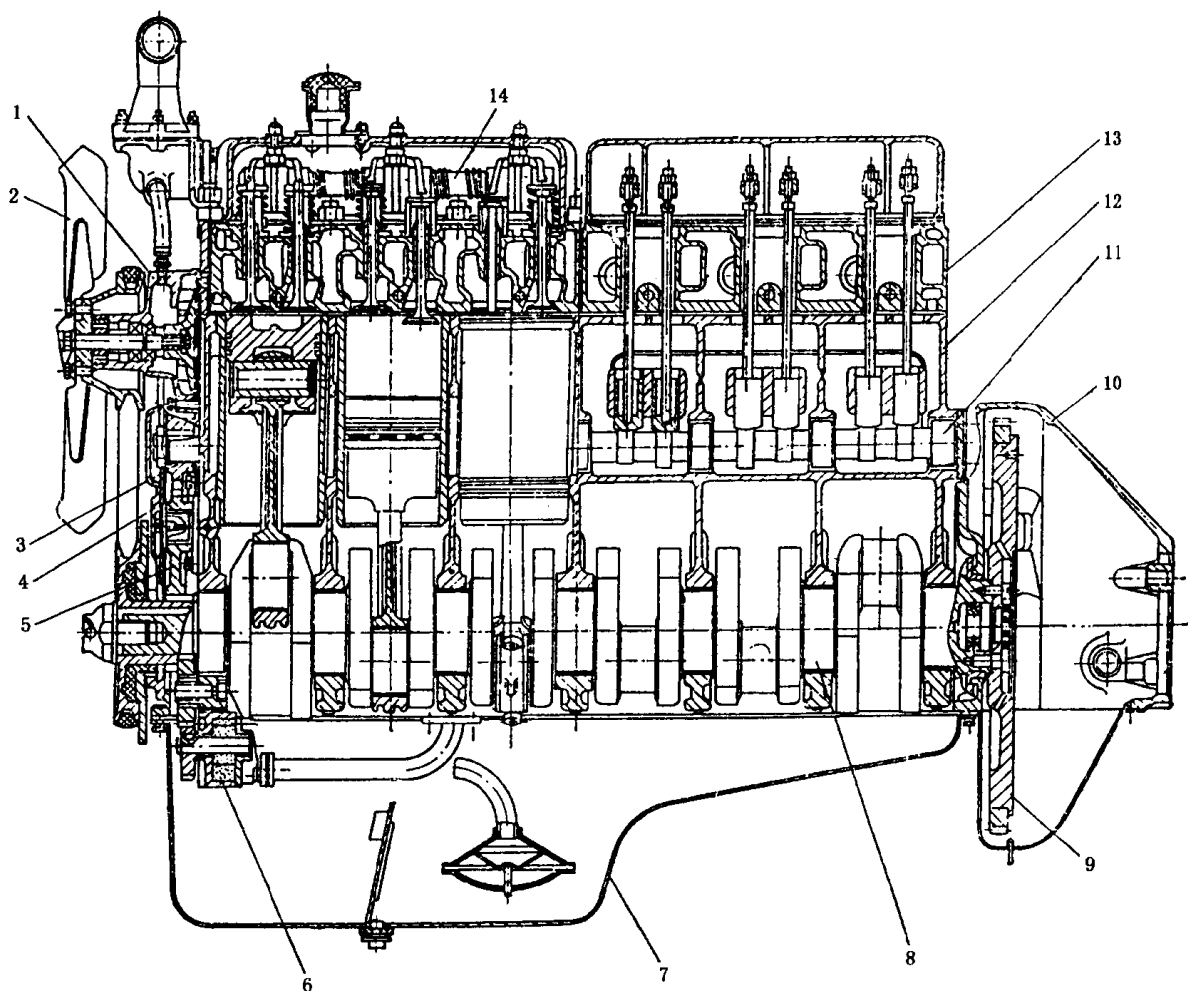


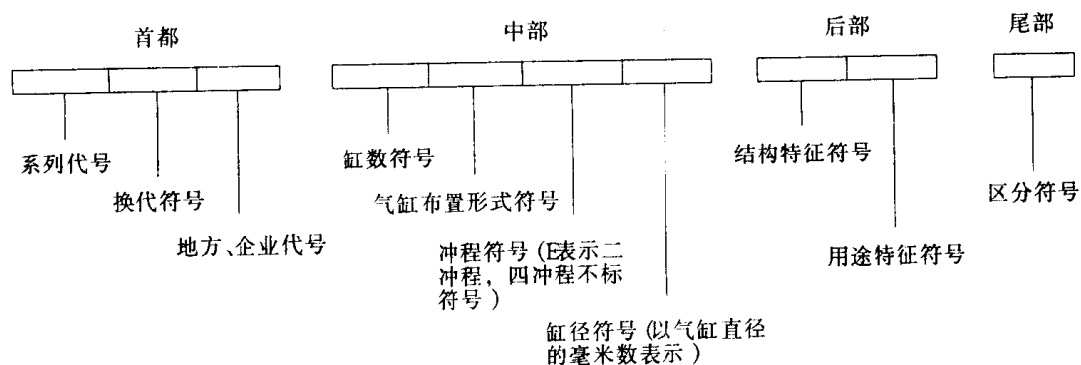
图 1-5 YC6105QC 型柴油机纵剖面图

1-水泵；2-风扇；3-凸轮轴正时齿轮；4-正时齿轮室；5-曲轴正时齿轮；6-机油泵；7-油底壳；8-曲轴；
9-飞轮；10-离合器罩；11-凸轮轴；12-气缸体；13-气缸盖；14-摇臂轴

号，用汉语拼音第一个字母表示。

内燃机型号的排列顺序及符号所代表的意义规定如下：

内燃机型号编制规定



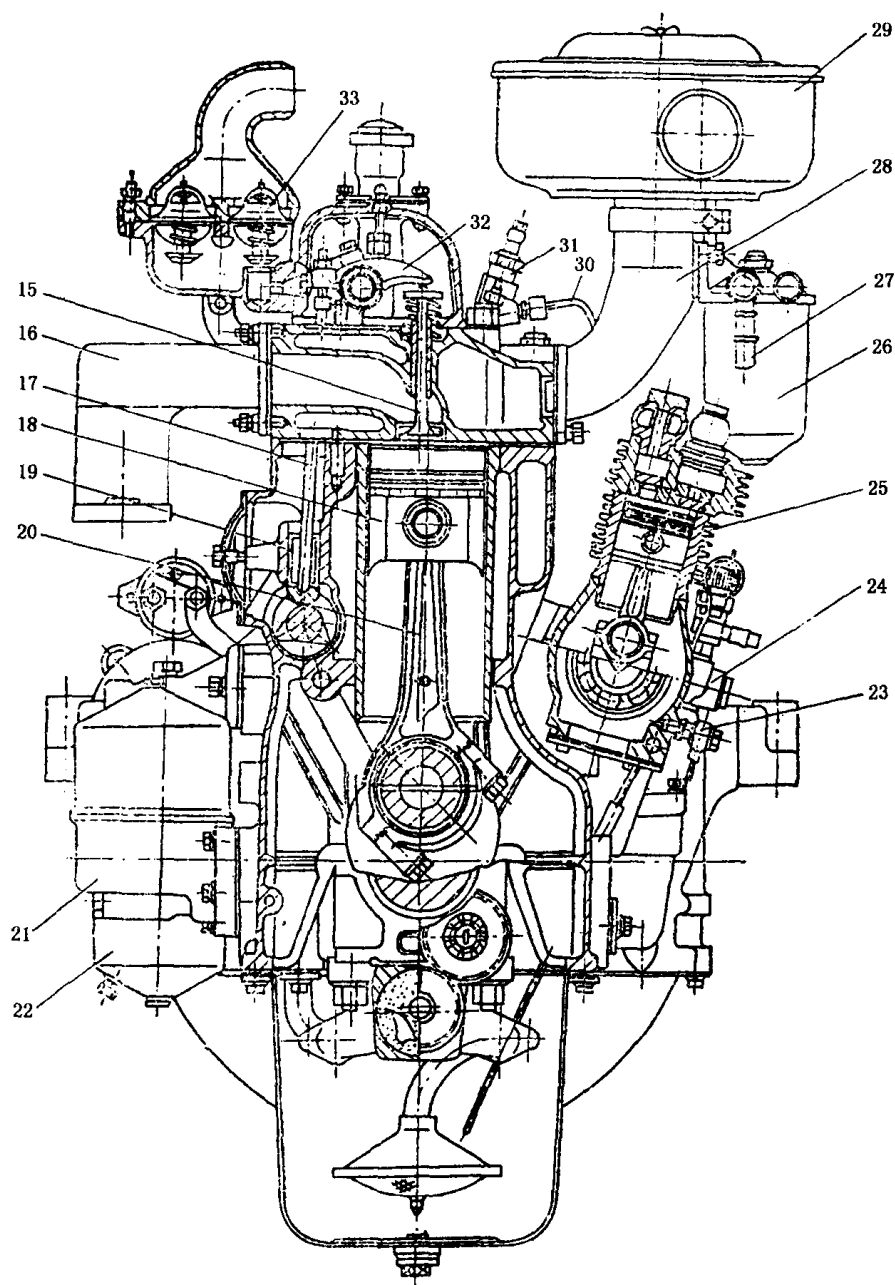


图 1-6 YC6105QC 型柴油机横剖面图

15-气门组；16-排气管；17-推杆；18-活塞；19-挺杆；20-连杆；21-机油细滤器；22-机油粗滤器；23-喷油泵；24-输油泵；25-空气压缩机；26-柴油滤清器；27-低压油管；28-进气管；29-空气滤清器；30-高压油管；31-喷油器；32-摇臂；33-节温器

内燃机型号编制举例：

- (1) 6110Q 型柴油机——表示六缸，四冲程，缸径 110mm，水冷，车用。
- (2) 6105G 型柴油机——表示六缸，四冲程，缸径 105mm，水冷，工程机械用。
- (3) 6135Z 型柴油机——表示六缸，四冲程，缸径 135mm，水冷，增压。

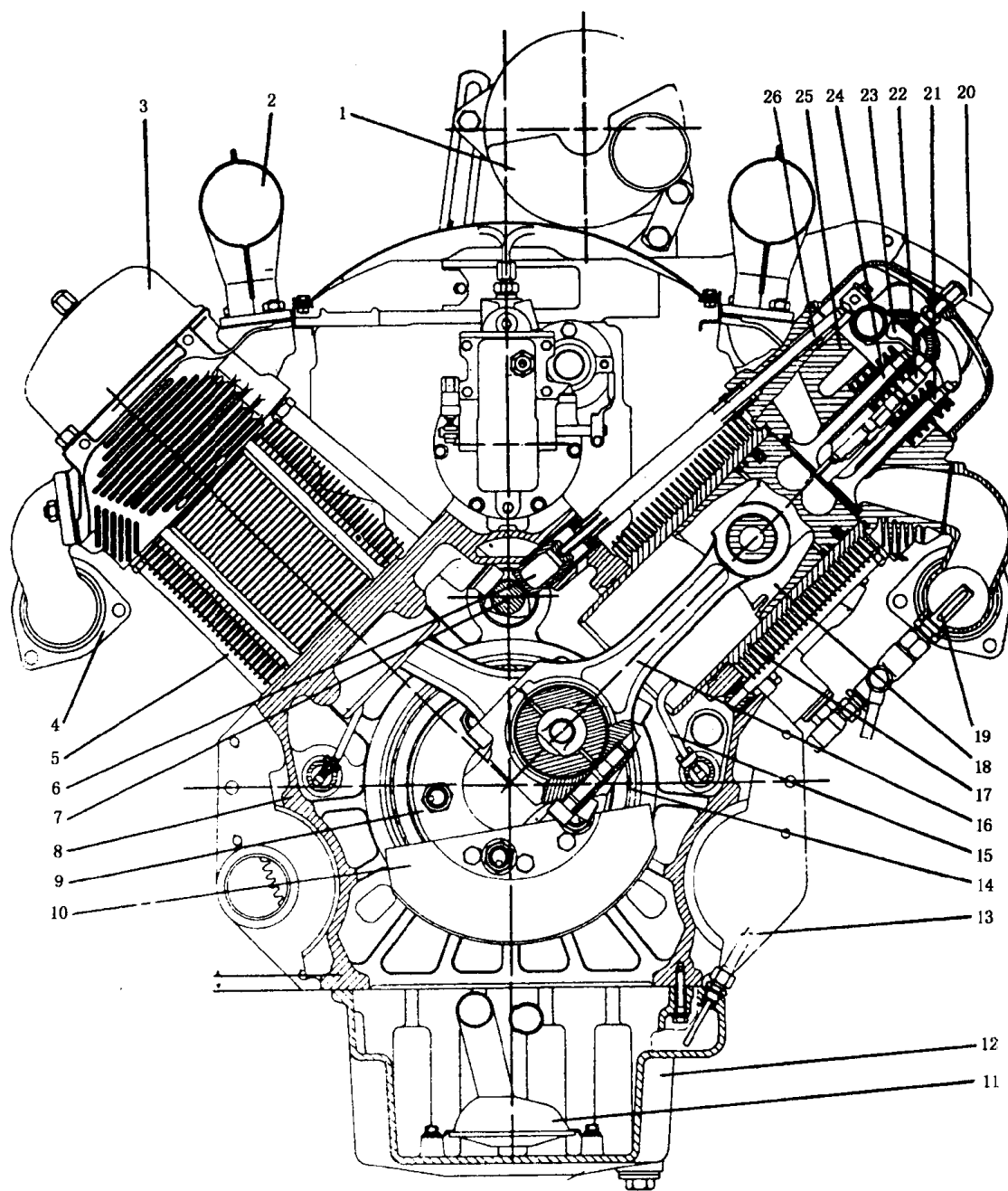


图 1-7 T815—2 型柴油机纵剖面图

1-发电机；2-进气管；3-气门室罩；4-排气管；5-回油管；6-挺柱；7-凸轮轴；8-气缸体；9-曲轴；10-曲轴配重；11-吸油盘；12-油底壳；13-油尺；14-主轴承；15-喷油管；16-连杆；17-气缸套；18-活塞；19-节温器；20-机油散热器；21-排气门；22-喷油器；23-摇臂；24-进气门；25-气缸盖；26-推杆

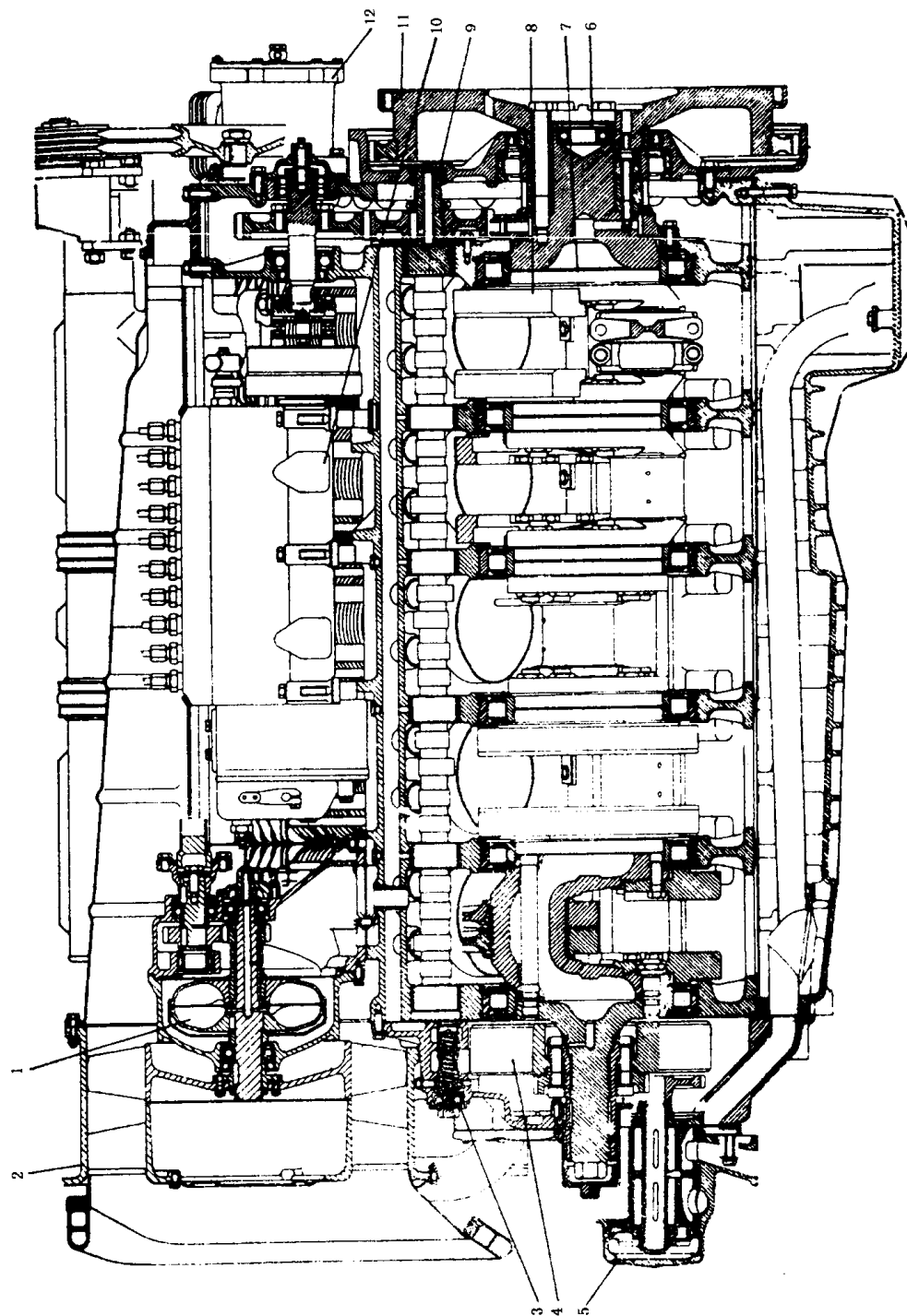


图 1-8 T815—2 型柴油机横剖面图

1-液力耦合器;2-鼓风机;3-调节阀;4-减振器;5-机油泵;6-曲轴;7-喷油管;8-曲轴配重;9-凸轮轴;10-喷油泵;11-飞轮;12-空压机

(4) 6135C—1 型——表示六缸,四冲程,缸径 135mm,水冷,船用,第一种变型产品。

(5) 1E56F 型汽油机——表示单缸,二冲程,缸径 56mm,风冷。

目前绝大部分柴油机的型号编制与上述规定基本相符,但也有的柴油机增加一些内容。

例如:

(1) YC6105Q 型柴油机中 YC 为广西玉林柴油机总厂的企业代号。

(2) BN4115T 型柴油机中 BN 为北京内燃机总厂的企业代号。

(3) YC6105QA 型柴油机中的 A 表示 YC6105Q 柴油机的涡流燃烧室改为直接喷射式燃烧室后的变形产品。

(4) S195 型柴油机中的 S 表示双轴平衡系统。

第 2 章 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构的作用是,完成柴油机工作循环;通过燃烧将柴油的化学能转变为活塞往复运动的机械能,并以曲轴旋转运动的形式向外输出动力。曲柄连杆机构由以下 3 部分组成:

1. 机体组

主要包括气缸体、气缸套、气缸盖、气缸垫、曲轴箱等不动件。

2. 活塞连杆组

主要包括活塞、活塞环、活塞销、连杆及连杆轴承等运动件。

3. 曲轴飞轮组

主要包括曲轴及曲轴轴承、飞轮、扭转减振器等。

2.1 机体组结构与检验

2.1.1 气缸体结构

柴油机气缸体一般采用整体式结构,即气缸体与上曲轴箱连为一体。具体结构形式通常有龙门式和隧道式两种。

龙门式气缸体结构如图 2-1a) 所示。它的上、下曲轴箱的结合面在曲轴中心线以下。这种结构的特点是,气缸体抗弯曲和抗扭曲的刚度较大,曲轴箱前后端面为平面,密封简单可靠,曲轴拆装方便,故被大中型柴油机广泛采用。

隧道式气缸体(图 2-1b)的主轴承座孔与曲轴箱的横隔板铸为一体,使气缸体的结构刚度大,主轴承同轴度易于保证,无须大型的曲轴锻造设备。但曲轴主轴承必须采用滚动轴承,使曲轴拆

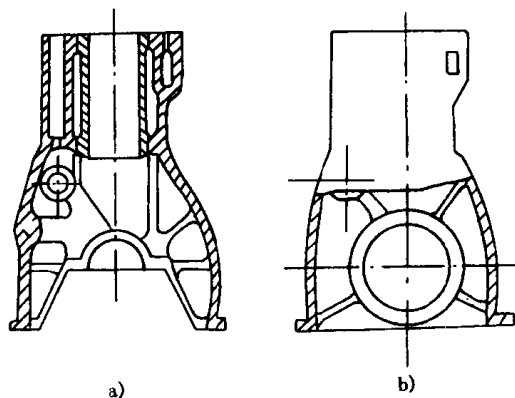


图 2-1 气缸体的结构型式
a) 龙门式; b) 隧道式