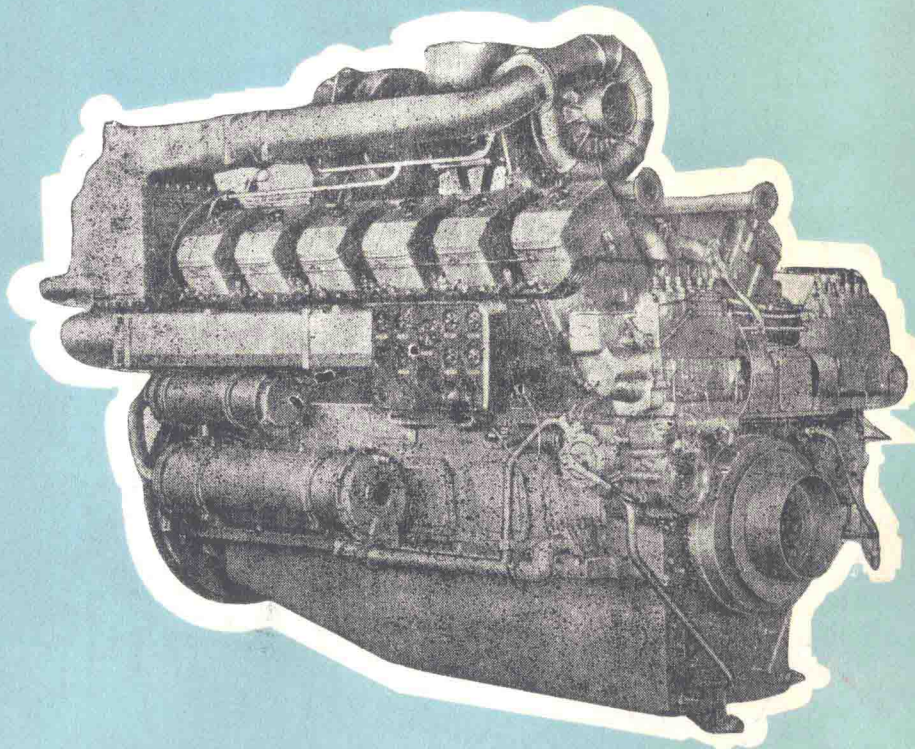


柴油机结构与使用

济南柴油机厂编



石油工业出版社

柴油机结构与使用

济南柴油机厂编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书比较全面系统地阐述了柴油机，结合目前使用较广泛的 Z12V190B、12V150 (B₂-300)、4135 和 4125 型柴油机为例，详细地介绍了柴油机各部件与系统的作用及构造。总结了柴油机使用与维护保养方面的实践经验及基本操作方法，并列举出常用技术数据，供工作中查阅。

书中结合具体机型，编绘有三百六十余幅形象鲜明的立体图，以便于读者掌握各部分基本内容。

本书可供柴油机司机和维修工人技术学习用，亦可作为柴油机司机训练班及有关技术学校教材。

柴 油 机 结 构 与 使 用

济 南 柴 油 机 厂 编

*

(根据石油化学工业出版社纸型重印)

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲 36 号)

化工印刷厂排版

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 21¹/₂ 印张 7 插页 520 千字 印 178,051—186,050

1979 年 12 月北京新 1 版 1987 年 7 月北京第 5 次印刷

书号：15037·2055

ISBN 7-5021-0016-4/TE·17

定价：2.80 元

前 言

柴油机是一种功率范围广，能适应各种不同要求的动力机械。目前，在国民经济各部门得到日益广泛地应用，已成为交通运输、矿山工程、农业机械、石油矿场及电站的主要动力。为适应我国四化建设事业高速发展的需要，帮助广大柴油机司机和维修工人，尽快地提高技术水平，掌握柴油机基本知识及使用维修技能，提高柴油机的使用效能，我们组织编写了这本书。

本书简明地介绍了柴油机工作原理及基本结构，内容力求通俗易懂，并从生产现场使用中总结了柴油机使用与维修保养方面的实践经验。书中以 Z 12V 190B 型柴油机为主，结合目前使用较广泛的 12 V 150(B₂-300)，4135 和 4125 型柴油机作为典型机型进行介绍。

书中编绘有三百六十余幅插图，均采用形象鲜明的立体图，以帮助读者掌握各部分的基本内容。

本书在编写过程中，得到胜利油田教育处和钻井指挥部的大力支持与帮助。本书初稿经山东工学院内燃机教研室帮助进行审阅，并提出宝贵的修改意见；书中插图在绘制过程中，又得到山东工学院机械制图教研室热情指导，在此一并表示感谢。

由于我们水平较低，时间仓促，深入实际不够，书中难免仍存在一些缺点和错误，热诚地希望广大读者批评指正。

济南柴油机厂

一九八〇年十月

目 录

第一章 绪 论

- 第一节 概述 1
- 第二节 内燃机分类 2
- 第三节 内燃机名称和型号编制规则 3

第二章 柴油机工作原理

- 第一节 内燃机是怎样把热能转变为功的 5
- 第二节 内燃机的曲柄连杆机构 6
- 第三节 单缸四冲程柴油机工作原理 7
- 第四节 单缸二冲程柴油机工作原理 10
- 第五节 多缸柴油机工作过程特点 11
- 第六节 柴油机的机构和系统 15
 - 一、组成四冲程柴油机的机构和系统 15
 - 二、Z12V190B型柴油机的构造 15
 - 三、12V150型柴油机(即B₂-300型柴油机)的构造 21
 - 四、4135型柴油机的构造 24
 - 五、4125型柴油机的构造 26

第三章 机体组件

- 第一节 机体 32
 - 一、机体的功用与结构 32
 - 二、Z12V190B型柴油机机体 37
 - 三、12V150型柴油机气缸体-曲轴箱 38
 - 四、4135型柴油机机体 41
 - 五、4125型柴油机机体 42
 - 六、机体的使用与维护 43
- 第二节 气缸套 43
 - 一、气缸套的功用与结构 43
 - 二、气缸套的磨损 44
 - 三、气缸套常见故障 46
 - 四、气缸套的拆检 47
- 第三节 气缸盖 49
 - 一、气缸盖的功用与结构 49

- 二、Z12V190B型柴油机气缸盖 50
- 三、12V150型柴油机气缸盖 52
- 四、4135型柴油机气缸盖 54
- 五、4125型柴油机气缸盖 55
- 六、气缸盖的使用与维护 56

- 第四节 油底壳 59

第四章 曲柄连杆机构

- 第一节 活塞组 63
 - 一、活塞组的功用与结构 63
 - 二、活塞 64
 - 三、活塞环 65
 - 四、活塞销 68
 - 五、活塞的油冷和组合活塞 69
 - 六、Z12V190B型柴油机活塞组 70
 - 七、12V150型柴油机活塞组 71
 - 八、4135型柴油机活塞组 72
 - 九、4125型柴油机活塞组 73
 - 十、活塞组的使用与维护 74
- 第二节 连杆组 79
 - 一、连杆的功用和构造 79
 - 二、V型柴油机连杆结构 82
 - 三、Z12V190B型柴油机连杆 83
 - 四、12V150型柴油机连杆 84
 - 五、4135型柴油机连杆 86
 - 六、4125型柴油机连杆 87
 - 七、连杆的使用与检修 87
- 第三节 曲轴组 88
 - 一、曲轴组的功用及其组成 88
 - 二、曲轴结构型式 89
 - 三、曲轴组的平衡 92
 - 四、飞轮-连接器 93
 - 五、Z12V190B型柴油机曲轴组 94
 - 六、12V150型柴油机曲轴组 96
 - 七、4135型柴油机曲轴组 96
 - 八、4125型柴油机曲轴组 100
 - 九、曲轴组的维护 103
- 第四节 柴油机扭转振动与减振器 101

第五节 轴承	104	第四节 燃料供给系统的作用 及组成	148
一、摩擦与润滑基本知识	104	一、Z 12 V 190 B 型柴油机燃料供给系统	148
二、柴油机轴承结构	106	二、12 V 150 型柴油机燃料供给系统	148
三、轴承的使用与维护	107	三、4135 型柴油机燃料供给系统	148
第五章 配气机构及进排气系统		四、4125 型柴油机燃料供给系统	148
第一节 配气机构的功用及组成	110	第五节 喷油泵	148
第二节 气门组件	113	一、喷油泵的作用及基本要求	148
一、气门	113	二、柱塞式喷油泵的结构与工作原理	149
二、气门导管	115	三、出油阀	151
三、气门弹簧及其锁紧装置	115	四、Z 12 V 190 B 型柴油机喷油泵	151
四、气门组件常见故障	117	五、4125 型柴油机喷油泵	155
第三节 气门驱动机构	118	第六节 燃油的雾化与喷油器	155
一、凸轮轴	118	一、燃油的雾化	155
二、挺柱与推杆	121	二、喷油器的结构型式与工作原理	157
三、摇臂	123	三、Z 12 V 190 B 型柴油机喷油器	159
第四节 配气相位与气门间隙	124	四、4125 型柴油机喷油器	159
一、配气相位	124	第七节 调速器	160
二、气门间隙	125	一、单制式调速器	161
第五节 柴油机传动系统	126	二、双制式调速器	163
一、Z 12 V 190 B 型柴油机传动系统	126	三、全制式调速器	164
二、12 V 150 型柴油机传动系统	126	第八节 燃料低压油路构件	167
三、4135 型柴油机传动系统	129	一、燃油箱	167
四、4125 型柴油机传动系统	129	二、输油泵	169
第六节 进气系统	131	三、燃油滤清器	173
一、进气管与进气道	131	第九节 燃料供给系统的使用 与维护保养	177
二、空气滤清器	132	一、燃油箱的使用与保养	177
三、防爆装置	136	二、燃油滤清器的清洗	177
第七节 排气系统	137	三、喷油器的故障检查与调整	178
一、排气管	137	四、喷油泵的故障检查与排除方法	181
二、消音灭火器	139	五、调速器的使用维护	181
第六章 柴油机燃烧过程与 燃料供给系统		第七章 润滑系统	
第一节 柴油机的燃料	140	第一节 润滑的作用及 常见润滑方式	182
第二节 柴油机燃烧过程	141	一、润滑的作用	182
第三节 可燃混合气的形成与 燃烧室	143	二、常见润滑方式	182
一、统一式燃烧室	143	第二节 润滑系统的组成	183
二、半开燃烧室	144	一、Z 12 V 190 B 型柴油机润滑系统	183
三、球型油膜燃烧室	145	二、12 V 150 型柴油机润滑系统	186
四、复合式燃烧室	145	三、4135 型柴油机润滑系统	187
五、涡流室燃烧室	146	四、4125 型柴油机润滑系统	188
六、预燃室燃烧室	147		

第三节 润滑系统主要部件	188
一、机油泵	188
二、起动机油泵	191
三、机油滤清器	193
四、机油压力调节阀	199
五、油压低自动停车装置	200
第四节 柴油机用机油	202
一、机油的性能	202
二、柴油机用机油的选用	204
第六节 润滑系统的使用与 维护保养	204
一、润滑系统使用过程中注意事项	204
二、机油粗滤器的清洗	205
三、离心式滤清器的清洗	205
四、更换机油及润滑油路的清洗	206

第八章 冷却系统

第一节 冷却的作用与常见冷 却方式	207
一、冷却的作用	207
二、常见的冷却方式	207
第二节 冷却系统的组成	210
一、Z 12 V 190 B 型柴油机冷却系统	210
二、12 V 150 型柴油机冷却系统	210
三、4135 型柴油机冷却系统	211
四、4125 型柴油机冷却系统	211
第三节 冷却系统主要部件	211
一、水泵	211
二、散热水箱	214
三、风扇	216
四、机油冷却器	218
五、空气中间冷却器	220
六、水温调节方法与节温装置	220
第四节 冷却水	222
一、对冷却水的要求	222
二、冷却水的选用及硬水软化方法	222
三、冬季用冷却水	223
第五节 冷却系统的使用与维护	223
一、冷却系统使用中注意事项	223
二、水垢清除方法	224
三、节温器的检查与维护	224
四、风扇传动系统的调整与维护	224

第九章 起动系统

第一节 人力起动	226
第二节 压缩空气起动	227
一、空气分配器	227
二、起动阀	228
三、起动控制阀	229
第三节 电动机起动	229
一、起动电动机	232
二、蓄电池	234
第四节 辅助发动机起动	238
一、AK-10 型起动汽油机	238
二、起动机的传动机构	245
第五节 柴油机的辅助起动装置及 低温起动装置	248

第十章 柴油机增压系统

第一节 柴油机增压的基本概念	252
一、增压的作用及增压方式	252
二、柴油机增压后性能的变化	252
三、增压柴油机的结构特点	253
第二节 废气涡轮增压器概述	254
一、废气涡轮增压器的工作原理	254
二、废气涡轮增压器的主要性能参数	256
三、废气涡轮增压器的分类及型号编制规则	256
第三节 废气涡轮增压器的结构	257
一、20GJ 径流式涡轮增压器	257
二、35ZP 轴流式涡轮增压器	261
第四节 增压器的使用维护和 常见故障排除	266
一、废气涡轮增压器使用注意事项	266
二、废气涡轮增压器常见故障及排除方法	266
三、废气涡轮增压器的拆检	267

第十一章 柴油机的调整

第一节 气门间隙的调整	272
一、气门间隙检查与调整的一般方法	272
二、Z 12 V 190 B 型柴油机气门间隙调整	272
三、12 V 150 型柴油机气门间隙调整	273
四、4135 型柴油机气门间隙调整	273
五、4125 型柴油机气门间隙调整	274
第二节 配气定时检查	274
一、配气定时一般检查方法	274
二、Z 12 V 190 B 型柴油机配气定时检查	275

三、12 V 150型柴油机配气定时检查	275
四、4135型柴油机配气定时检查	276
五、配气定时常见问题及处理方法	276
第三节 供油提前角的调整	277
一、供油提前角检查的一般方法	277
二、Z 12 V 190 B型柴油机供油提前角 的调整	277
三、12 V 150型柴油机供油提前角的调整 ..	278
四、4125型柴油机供油提前角的调整	278
第四节 喷油泵的调整	279
一、喷油泵各柱塞供油始点间隔均匀性的 检查与调整	280
二、喷油泵供油量均匀度和最大供油量的 检查调整	282
三、Z 12 V 190 B型柴油机喷油泵检查 调整的特殊问题	283
第十二章 柴油机的性能与试验	
第一节 柴油机的主要性能	284
一、功率	284
二、机械效率	285
三、有效热效率	286
四、有效燃油消耗率	286
五、平均有效压力	286
六、扭矩	287
第二节 柴油机的试验	287
一、柴油机有效功率的测定	287
二、燃油消耗率的测定	289
三、柴油机台架试验方法	290
四、典型柴油机出厂试验方法的规定	291
第三节 柴油机特性	292
一、负荷特性	292
二、速度特性	293
三、调速特性	294
四、柴油机的合理选择	295
第十三章 柴油机的使用与维护保养	
第一节 柴油机的安装	296
第二节 柴油机起动前的准备	299

第三节 柴油机的起动	300
一、Z 12 V 190 B型柴油机起动过程	300
二、12 V 150型柴油机起动过程	300
三、4135型柴油机起动过程	300
四、4125型柴油机起动过程	301
第四节 柴油机的运转	302
第五节 柴油机的停车	303
第六节 柴油机的维护保养	303
一、Z 12 V 190 B型柴油机技术保养内容 ..	304
二、12 V 150型柴油机技术保养内容	305
三、4135型柴油机技术保养内容	306
四、4125型柴油机技术保养内容	307
第十四章 柴油机常见故障的判断与处理	
第一节 柴油机故障的产生原因	310
第二节 柴油机故障现象及 一般判断方法	311
第三节 柴油机常见故障的判别 和处理方法	312
一、柴油机起动困难或不能起动	312
二、柴油机功率不足	314
三、工作不稳定有熄火现象	314
四、排气烟色不正常	315
五、柴油机内有敲击声	316
六、飞车	317
七、突然停车	318
八、柴油机过热	318
九、机油压力过低	319
十、柴油机振动加剧	319
十一、柴油机故障判断与排除实例	320
附录一 石油矿场常用柴油机及其 附件规格	321
附录二 石油矿场常用柴油机主 要技术数据	324
附录三 石油矿场常用柴油机主要零件配 合间隙及其磨损极限	325
附录四 石油矿场常用柴油机主 要螺栓螺母扭紧力矩	332

第一章 绪 论

第一节 概 述

自然界蕴藏着丰富的能量资源，如风力、水力、各种燃料（如煤炭、石油、天然气等）的热能、原子能等。

人类在长期劳动实践中，逐渐地掌握了各种能源的特性，并制作出各种各样的动力机械，利用自然界的能源，为人类作功。如：制作出风车，利用风力带动抽水机；制作出水轮发电机，利用水力发出电流；制作出柴油机，利用柴油燃烧所产生的热能转化为机械能，带动钻机、泥浆泵、汽车、拖拉机等进行工作。

如上所述，将一种能量转变为机械能的机器，叫做发动机。各种发动机按照能源不同，可分为：风力发动机（简称风力机）；水力发动机（简称水力机）；热力发动机（简称热机）等。

把燃料燃烧所产生的热能转化为机械能的发动机统称做热机，如蒸气机、柴油机等。

自然界中燃料的种类很多，性质有着很大的差别。有固体的（如煤炭）、液体的（如柴油、汽油）和气体的（如天然气、煤气）等。因而所制成的热机也具有不同结构特点。

根据燃料进行燃烧过程所处的地点不同，热机可分为外燃机和内燃机两大类。

燃料在发动机的外部进行燃烧的热机，叫做外燃机。如蒸汽机（往复式）、汽轮机（回转式）等。

燃料直接在发动机内部进行燃烧的热机叫做内燃机。如柴油机、汽油机、天然气机等。

图 1-1 为活塞式内燃机（柴油机）装置的示意图。它是由一个独立的发动机所构成。工作时燃料和空气直接送到发动机的气缸内部进行燃烧，放出热能，形成高温、高压的燃气，推动活塞移动。然后通过曲柄连杆机构对外输出机械能。

内燃机与外燃机比较，具有以下优点：

（1）热效率高。目前柴油机的最高有效效率可达46%，而往复式蒸汽机只有11~16%。热效率高标志着发动机的经济性好，即燃料的消耗量少。

（2）结构紧凑，重量轻，尺寸小。内燃机不需要象外燃机那样设置庞大的锅炉、冷凝器等辅助设备。

（3）功率范围广，适应性好。目前柴油机气缸直径最小为55毫米，最大已达1060毫米。单机功率最小1.5马力，最大到48000马力。同一型号柴油机，经过少量改装，又可以适应各

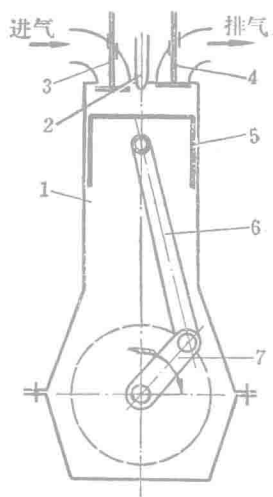


图 1-1 柴油机装置示意图
1—气缸体；2—喷油器；3—进气门；4—排气门；5—活塞；6—连杆；7—曲轴

种不同用途的需要。

(4) 使用操作方便, 起动快。正常情况下, 柴油机能在3~5秒时间内起动起来, 并能在很短时间内达到最大功率。正常运行过程中, 不需要进行繁重复杂的操作。

(5) 运行安全, 不易引起火灾或爆炸事故。

内燃机对石油工业的发展有密切的关系。石油工业的工作特点是: 工作地区分布广, 地处偏僻, 流动性大, 工作地点经常搬迁。它要求动力机械既要有较大的功率, 又要结构紧凑、体积小, 重量轻, 便于搬迁安装, 操作与维护方便, 燃料和水的消耗量小。柴油机是一种能够满足上述要求的理想的动力机械, 目前已成为石油工业重要的动力来源。

第二节 内燃机分类

内燃机结构型式很多, 根据基本工作原理可分为往复式活塞式内燃机; 旋转活塞式内燃机和燃气轮机等。其中以往复式活塞式内燃机使用最广泛。因此我们平常讲的“内燃机”一般都是指这种型式。

按照所采用燃料、工作循环过程、结构型式和用途等的不同, 内燃机又可分为以下各种类型:

1) 按照所采用的主要燃料分类, 可分为:

- (1) 柴油机
- (2) 汽油机
- (3) 煤气机
- (4) 天然气机

2) 按照工作循环过程分类, 可分为:

- (1) 二冲程: 活塞移动两个冲程, 完成一个工作循环。
- (2) 四冲程: 活塞移动四个冲程, 完成一个工作循环。

3) 按照机体结构型式分类, 可分为:

- (1) 单缸: 一台内燃机只有一个气缸。
- (2) 多缸: 一台内燃机具有两个或两个以上气缸。多缸内燃机根据气缸排列方式不同(见图1-2), 又分为:

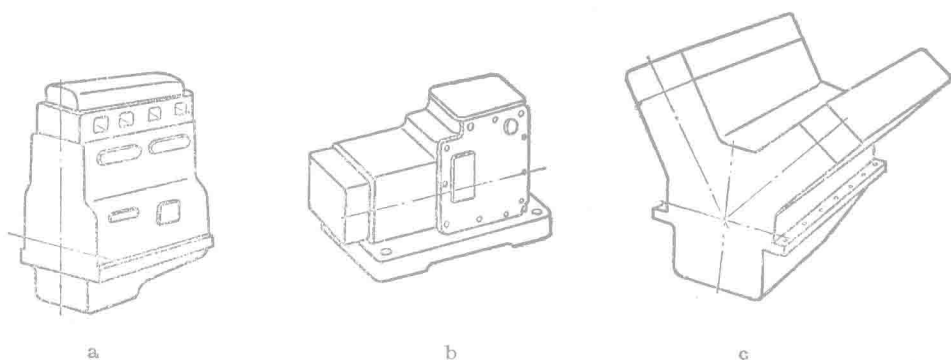


图 1-2 机体结构型式示意图

a. 直列立式: 所有气缸中心线在同一垂直平面内(图1-2a)。

b. 直列卧式：所有气缸中心线在同一水平平面内（图1-2b）。

c. V型式：气缸中心线分别在两个平面内，并且两平面相交呈字母“V”形状（图1-2c）。

4) 按照冷却方式分类，可分为：

(1) 风冷：利用空气作为冷却介质。

(2) 水冷：利用水作为冷却介质。

5) 按照进气方式分类，可分为：

(1) 非增压式（又称自然吸入式）：内燃机没有增压器，空气是靠活塞的抽吸作用进入气缸内。

(2) 增压式：内燃机上装有增压器，空气通过增压器提高压力，然后进入气缸内。

增压内燃机根据进入气缸内的空气压力的大小不同，又可分为低增压、中增压和高增压。

6) 按照点火方式分类，可分为：

(1) 压燃式：利用气缸内的空气被高度压缩后所产生的高温，使燃料自行着火燃烧。柴油机就属于这种点火方式，所以柴油机又称做压燃式内燃机。

(2) 点燃式：利用外界热源（如火花塞发出的电火花）点燃燃料，使其着火燃烧。如汽油机、天然气机等都属于这种点火方式。

7) 按照额定转速分类，可分为：

(1) 高速：额定转速在1000转/分以上。

(2) 中速：额定转速在600~1000转/分范围内。

(3) 低速：额定转速在600转/分以下。

8) 按照用途分类，可分为：

(1) 固定式：内燃机在一固定不变位置进行工作。如钻井、固定发电机等所用的内燃机。

(2) 移动式：作为移动机械动力的内燃机，包括：

汽车、拖拉机用：汽车、拖拉机等所用的内燃机。

船用：能满足海上工作环境要求，用作船舶动力的内燃机。

铁路牵引用：作为内燃机车动力用的内燃机。

第三节 内燃机名称和型号编制规则

为便于内燃机的生产管理和使用，国家对内燃机名称和型号编制方法做了统一规定（见GB725-65），该规定的主要内容如下：

1) 内燃机名称是按照所采用的主要燃料来命名。如柴油机、汽油机、煤气机、天然气机等。

2) 内燃机型号应能反映出它的主要结构及性能，由以下四项内容所组成：

(1) 气缸数：表示一台内燃机所具有的气缸数目。

(2) 机型系列：表示内燃机气缸直径（毫米）和冲程型式。

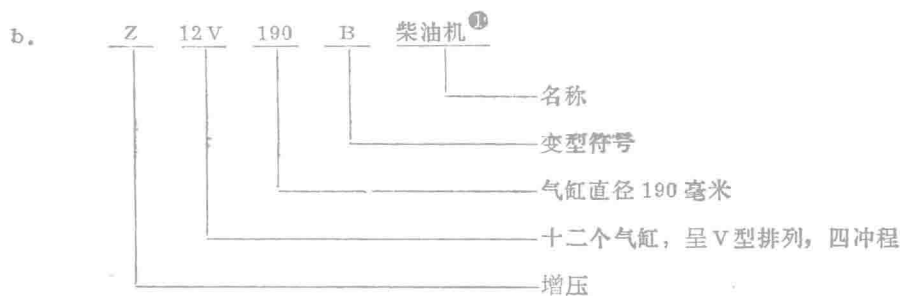
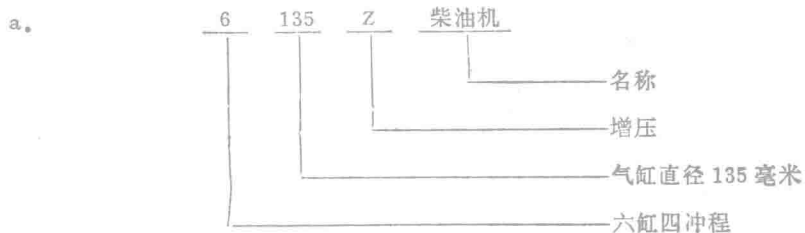
(3) 变型符号：表示该机型经过改型后，在结构与性能上发生变化。

(4) 用途及结构特点：表示内燃机的主要用途和不同结构特点。

内燃机的型号由数字和汉语拼音文字所组成，排列顺序及符号代表意义规定如下：



型号编制举例：



① 该机型号与国家标准规定不完全相符。

第二章 柴油机工作原理

第一节 内燃机是怎样把热能转变为功的

流动的水，冲击到水轮机的叶片上，带动发电机能发出电流；劲风吹动风车旋转，能带动水车抽水。这种流动的水和风能够做功的能力都称做能。

凡是有温度的物体，都具有一种能量，叫做热能。利用热能也能做功，如枪膛里的子弹，受到撞针冲击后，子弹内的火药立即被点燃而剧烈地燃烧，产生很大的热能，燃气吸收这些热能后压力急剧升高，把弹头以极大的速度从枪膛里发射出去。

内燃机就是利用燃料燃烧后产生的热能来做功的。我们可以通过图 2-1 所示的简单试验来说明内燃机中是怎样把热能转变为功。

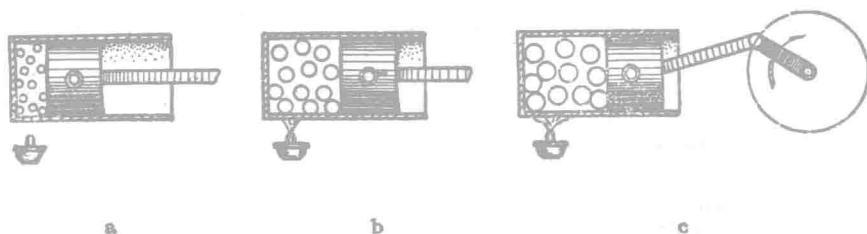


图 2-1 利用气体受热膨胀做功

把柱塞装在一个一端封闭的圆筒内，柱塞顶面与圆筒内壁构成一个封闭空间，如图2-1a所示，空间内的冷空气团用小圆圈表示。当这部分空气加热后（图 2-1b），内部的压力逐渐升高，便克服阻力作用，推动柱塞向外移动。如果用一个推杆将柱塞和一个轮子连接起来（图2-1c），则柱塞移动时，便通过推杆推动轮子旋转，从而把空气所得到的热能转化为推动轮子旋转的机械能。

内燃机的工作过程，就是按照一定的规律，不断地将燃料和空气送入气缸，并在气缸内着火燃烧，放出热能。燃气在吸收热能后产生高温高压，推动着活塞做功，将热能转化为机械能。

燃料的着火和燃烧，必须有充足的氧气（来自空气）和一定的温度条件下才能实现。因此，要保证内燃机能够连续地工作，就要不断地将已燃烧作过功的废气排出气缸，然后引进新鲜空气和燃料，并通过压缩以获得着火所必需的温度。柴油机是通过以下四个工作过程，来满足上述工作条件的。

1) 进气过程——将新鲜空气吸入气缸，提供燃料燃烧时所需要的氧气。烧掉 1 公斤柴油，理论上需要 14.3 公斤空气，但由于柴油与空气的混合总是很不均匀，为了使柴油得到充分的燃烧，空气总是要供应的富裕些，一公斤柴油往往要供给 20 多公斤空气。

2) 压缩过程——将吸入气缸内的空气进行压缩，使其温度升高。对柴油机来讲，压缩

后的空气温度，必须超过柴油的自燃点温度（约大于 350°C ）。

3) 燃烧膨胀过程——将燃料喷入气缸，与氧发生急剧的氧化作用（即燃烧）放出大量热量，使气体温度和压力急剧上升，推动活塞做功。

4) 排气过程——将膨胀做功后的废气排出，以便再吸入新鲜空气。

上述过程周而复始地不断重复进行着，每个过程依次完成一遍称为一个工作循环。

第二节 内燃机的曲柄连杆机构

在往复式内燃机中，曲柄连杆机构的作用是将活塞的往复直线运动变成曲轴的旋转运动，以实现热能和机械能的相互转变。

内燃机曲柄连杆机构的结构与工作原理如图 2-2 所示。它是由活塞 1、连杆 3 和曲轴 4 等所构成。

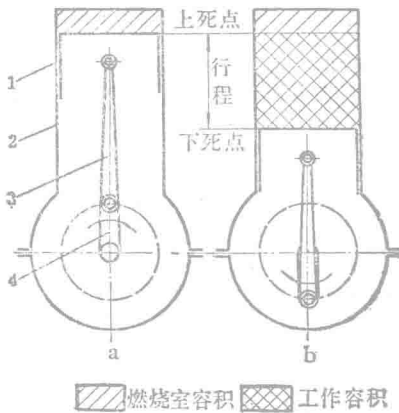


图 2-2 曲柄连杆机构原理图

1—活塞；2—气缸体；3—连杆；4—曲轴

活塞只能沿气缸直线往复运动。曲轴是由两个中心线不在一直线上的轴所构成，其中一个轴安置在机体中心孔内，称做主轴。主轴只能在机体座孔内绕本身中心线转动。另一轴通过曲柄与主轴连接在一起，称做连杆轴。它绕着主轴进行旋转。连杆为两端带有孔的一直杆，一端与活塞相连，另一端与连杆轴相连，它随着活塞移动和曲轴旋转而进行摆动。

当活塞往复运动时，通过连杆推动曲轴绕主轴中心产生旋转运动。活塞移动与曲轴转动是相互牵连在一起的。因此，活塞移动位置与曲轴转动位置是相对应的。图 2-2 所示为活塞处于两个特征位置时与曲轴所处位置的关系。

活塞能达到的最上端位置，叫做上死点(图2-2a)。

此时活塞与曲轴主轴中心距离最远。

活塞能达到的最下端位置，叫做下死点(图2-2b)。此时活塞与曲轴主轴中心距离最近。

活塞从上死点移动到下死点，或从下死点移动到上死点时，所走过的距离叫做活塞行程(又称做冲程)。通常用字母 S 表示。

曲轴每转动半圈(即 180°)，活塞便移动一个冲程。若用字母 r 表示曲柄半径(曲轴的主轴中心到连杆轴中心间的距离)，则

$$S = 2r$$

即活塞行程等于两倍的曲柄半径长度。

当曲轴匀速转动时，活塞往复直线运动的速度却在不断变化着的。活塞移动到上、下死点位置时速度等于零，而在中间某一位置时速度最高。根据曲轴转速和活塞行程，我们可以求出活塞在一个冲程内速度的平均值，称做活塞平均速度(单位米/秒)。

活塞在气缸内往复运动的过程中，气缸内空间容积不断变化着。当活塞位于上死点位置时，活塞顶上面的空间叫燃烧室。这个空间容积叫燃烧室容积，用字母 V_c 表示。

活塞从上死点移动到下死点，它所扫过的空间容积叫做气缸工作容积，用字母 V_h 表示，则

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} \times S \times 10^{-3} \text{ (升)}$$

式中 D ——气缸直径(厘米)

S ——活塞行程(厘米)

活塞位于下死点位置时, 气缸内的容积叫做气缸总容积, 用字母 V_a 表示, 它等于燃烧室容积与气缸工作容积之和, 即

$$V_a = V_c + V_h$$

气缸总容积与燃烧室容积的比值, 叫做压缩比, 用字母 ε 表示, 即

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

压缩比表示了活塞从下死点移动到上死点时, 气体在气缸内被压缩程度。压缩比越大, 表示气体在气缸内被压缩得越厉害, 压力和温度也升高得越大。同时压缩比也表明了燃气膨胀时体积变化的倍数。

压缩比是内燃机的一个重要参数。不同型式的内燃机, 对压缩比的大小有不同要求。一般柴油机都要求较大的压缩比, $\varepsilon = 12 \sim 20$ 。而汽油机的压缩比较低, $\varepsilon = 6.5 \sim 10$ 。

多缸内燃机所有气缸工作容积之和, 叫总排量, 又称发动机工作容积, 如用字母 $V_{\text{总}}$ 表示, 则

$$V_{\text{总}} = i \times V_h$$

式中 i ——气缸数

综上所述, 内燃机曲柄连杆机构的运动规律是: 当活塞移动一个冲程时, 曲轴旋转半圈(即 180°), 气缸容积由最小变到最大(或由最大变到最小), 当曲轴旋转一周时(即 360°), 活塞完成两个冲程。

第三节 单缸四冲程柴油机工作原理

活塞连续运行四个冲程(即曲轴旋转两周)的过程中, 完成一个工作循环(进气—压缩—燃烧膨胀—排气)的柴油机, 叫做四冲程柴油机。

图2-3为单缸四冲程柴油机工作过程示意图。图中四个图形分别表示四个冲程在开始与終了时的活塞位置。

为了更清楚地表示出气缸内气体压力随容积的变化情况, 图2-4绘出了单缸四冲程柴油机的示功图。图中横座标表示气缸容积, 纵座标表示气缸中气体的绝对压力。图中的水平虚线, 表示绝对压力为1大气压(亦即1公斤/厘米²)。 V_c 、 V_h 分别表示燃烧室容积与气缸工作容积。

下面对照单缸四冲程柴油机工作过程示意图和示功图, 来说明它的工作过程(指非增压柴油机)。

第一冲程——进气过程 活塞从上死点移动到下死点。这时进气门打开, 排气门关闭。

进气过程开始时, 活塞位于上死点位置(图2-3a)。气缸内(燃烧室)残留着上次循环未排净的残余废气(图中以小十字符号表示)。它的压力稍高于大气压力, 约为1.1~1.2公斤/厘米²(见图2-4r点)。

当曲轴沿图2-3a中箭头所示方向旋转时, 通过连杆带动活塞向下移动, 同时进气门打开。

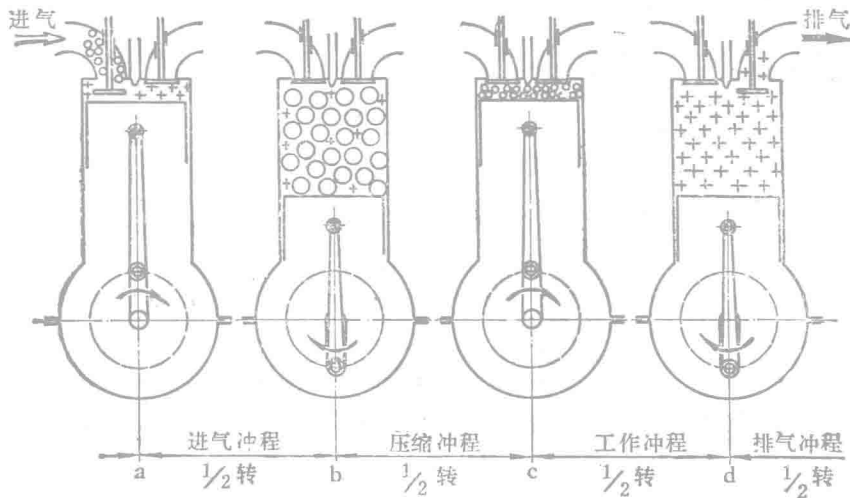


图 2-3 单缸四冲程柴油机工作过程示意图

随着活塞下移，气缸内部容积增大，压力随之减小，当压力低于大气压力时，外部新鲜空气开始被吸入气缸。直到活塞移动到死点位置，气缸内充满了新鲜空气(图2-3b中圆圈所示)。

在新鲜空气进入气缸的过程中，由于受空气滤清器、进气管、进气门等阻力的影响，使进气终了时气缸内的气体压力，略低于大气压，约为 $0.8\sim 0.9$ 公斤/厘米²，又因空气从高温的残余废气和燃烧室壁吸收热量，故温度可达 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。在示功图上， $r-a_1-a$ 线即表示进气过程气缸内气体压力随容积变化情况。由图可看出在进气过程中气缸内气体压力基本保持不变。

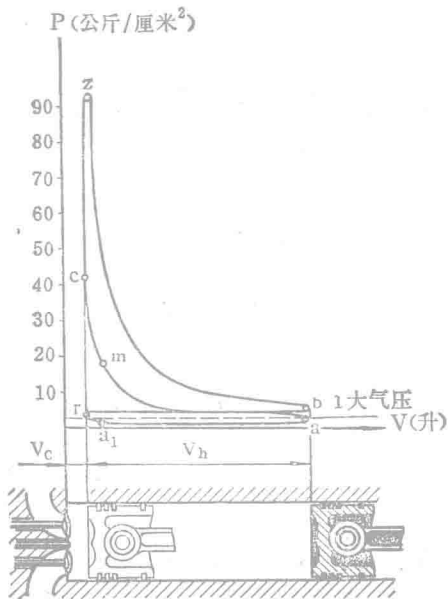


图 2-4 单缸四冲程柴油机工作过程示功图

应当指出，实际柴油机进气门都是在活塞位于上死点前提前打开，并且要延迟到下死点后才关闭。原因是：若进气过程开始活塞下移时，进气门刚开始打开而不能立即开足，便造成气缸内产生部分真空，使活塞下行时产生较大的阻力。因此进气门要提前在上死点前便打开，则使活塞开始由上死点下行时，进气门已开到最大位置，保证空气顺利地进入气缸，从而减小活塞的下行阻力。进气过程中，空气沿进气管被吸入气缸时，气流产生惯性作用，若使进气门推迟到下死点后关闭，虽然活塞已开始上行，仍可以充分利用气流的流动惯性，使一部分新鲜空气进入气缸，以保证吸入更多的空气。由于进气门早开迟关，所以实际柴油机的进气过程都大于 180° 曲轴转角，一般为 $220^{\circ}\sim 240^{\circ}$ 。

第二冲程——压缩过程 活塞由下死点移动到上死点，在这期间，进、排气门全部关闭。

压缩过程开始时，活塞位于下死点（图 2-3b）。曲轴在飞轮惯性作用下带动旋转，通过连杆推动活塞向上移动。气缸内容积逐渐减小，新鲜空气被压缩，压力和温度随着升高。

为了实现高温气体引燃柴油的目的，柴油机都具有较大的压缩比，使压缩终了时，气缸内气体温度比柴油的自燃温度高出 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，即 $500\sim 750^{\circ}\text{C}$ （柴油的自燃温度约为 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ），而压力约为 $30\sim 50$ 公斤/厘米²。

在示功图上， $a-m-c$ 线表示了压缩过程中，气缸容积与压力的变化情况。

为了充分利用燃料燃烧所产生的热能，要求燃烧过程能够在活塞移动到上死点略后位置迅速完成，以使燃烧后的气体充分膨胀多做功，使柴油机效率提高。但是，由于燃料喷入气缸内时，必须经过一定的着火准备阶段，才能实现燃烧（详见本书第六章第二节）。因此，实际柴油机工作中，在压缩冲程结束前（约在上死点前 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ），开始将燃料喷入气缸内。在示功图上， m 点表示喷油开始时间。

第三冲程——燃烧膨胀过程 活塞又从上死点移动到下死点。此时，进、排气门仍然都关闭着。喷入气缸内的燃料在高温空气中着火燃烧，产生大量热能，使气缸内的温度、压力急剧升高。高温、高压气体推动活塞向下移动，通过连杆，带动曲轴转动。因为只有这一行程才实现热能转化为机械能，因此，通常把该行程叫做工作行程。

在燃烧与膨胀过程中，气缸内气体的最高温度可达 $1700\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ，最高压力为 $60\sim 90$ 公斤/厘米²。随着活塞被推动着下移，气缸容积逐渐增大，气体压力随之逐渐减小。示功图的 $c-z-b$ 线表示出这一过程中气缸容积与压力的变化情况。在这一曲线上，几乎垂直的 $c-z$ 线段，表示出燃料急剧燃烧时压力的升高程度。 z 点表示最大燃烧压力 P_z （又称做最大爆发压力）。

第四冲程——排气过程 活塞又从上死点移动到下死点。此时，排气门打开，进气门关闭。

排气过程开始时，活塞位于下死点，气缸内充满着燃料燃烧并膨胀作功的废气。排气门打开后，废气随着活塞上移，被排出气缸之外。

燃烧膨胀过程终了时，气缸内的气体还具有较大的压力，如果排气门在下死点位置时才打开，而不能在瞬间开足便影响废气及时的排出，气缸内的压力也不能迅速降低，使活塞向上运动受到很大的阻力，消耗较多的能量。因此，在实际柴油机工作中，排气门都在活塞移动到下死点前提前打开（一般在下死点前 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ）。这样可使废气在较大的压差下，自行流出气缸，使气缸内的压力迅速下降。大大减小活塞上移的阻力，降低排气过程的消耗功。

当活塞移动到上死点时，排气门并不马上关闭，而要推迟到进气过程开始后。如前所述，因为进气门提前在排气过程结束之前打开，这样便形成进、排气门同时开启的一段重合时间。在某种情况下（例如增压），还可以利用新鲜空气将残存在气缸内的废气排出去，使气缸内充填更多的新鲜空气。

在示功图上， $b-r$ 线表示了排气过程中气缸容积与压力的变化情况。从图上可以看出，排气压力几乎保持不变，略高于大气压。排气终了时的温度约为 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。

排气过程结束时，活塞又回到上死点位置（图 2-3a），至此单缸四冲程柴油机完成一个工作循环。

曲轴依靠飞轮转动的惯性作用继续旋转，上述各过程又重复进行。如此周期循环地工作，实现柴油机连续不断地运转。