

地下无轨机械设备参考丛书

发动机与底盘

刘永才 钱 鸣 冯茂林 刘 立 刘惠敏 编



冶金工业出版社

地下无轨机械设备参考丛书

发 动 机 与 底 盘

刘永才 钱 鸣 冯茂林
刘 立 刘惠敏 编

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

内 容 提 要

本书为地下无轨机械设备参考丛书之一。内容包括目前国内外地下无轨机械设备常用的柴油机和各种典型通用底盘两大部分。详细介绍了各类柴油机和底盘的工作原理、基本构造、结构特点、使用维修以及保养知识等,附有大量插图和技术数据,具有较强的实用价值。

本书可供从事地下无轨机械设备的设计、研究、制造方面的技术人员、学校教师及大中专学生参考,也可作为现场使用与维修人员的培训教材。

地下无轨机械设备参考丛书

发动机与底盘

刘永才 钱 鸣 冯茂林

刘 立 刘惠敏 编

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

北京昌平长城印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 27.75 字数 665 千字

1994 年 2 月第一版

1994 年 2 月第一次印刷

印数 00,001~2,530 册

ISBN 7-5024-1322-7

TD·209 定价 23.00 元

前 言

目前国外地下无轨机械设备已经发展成多品种、多系列的配套产品结构。由于这些机械设备在工作效率、可靠性等方面具有绝对的优越性,各国的地下矿山和其它地下工程竞相采用。我国的地下无轨机械设备虽然起步较晚,但也有了相当的发展,特别是近年来,已经引进了大量国外地下无轨机械设备,国产化工作也取得了很大的进展。目前国内冶金和有色金属地下矿山已拥有近500余台铲运机。根据一般地下无轨机械设备的配套标准,1台铲运机需要配备其它无轨机械设备5台,再加上煤炭、铁路、水利等隧道工程的地下无轨设备拥有量,我国已经形成了一支人数众多的地下无轨机械设备的使用、维修、管理、设计、研究、制造和教学队伍。但是由于国内许多用户引进和拥有的地下无轨机械设备并不配套,对设备所采用的许多高新技术的掌握尚不够深入,又缺乏对现场使用和维修人员进行技术培训的系统教材和资料,因而大大影响了现场技术人员自身素质的提高,致使有些设备不能很好地发挥作用,造成较大的经济损失。科研、设计和制造单位在消化研制同类产品中,也时常因缺乏全面、系统介绍这类产品的资料,而耗费大量的精力和时间去搜集这些资料,从而影响了引进产品国产化的进程和国产化产品的质量。基于以上种种原因,北京科技大学和金川有色金属公司共同组织力量编写了这套《地下无轨机械设备参考丛书》。本丛书目前先出版《发动机与底盘》和《地下工程无轨配套设备》二册,其余各册将于今后陆续出版。丛书前两册将全面、系统地介绍包括美国、瑞典、法国、德国、加拿大、芬兰以及我国生产的各种地下无轨机械设备(计30多种型号)的结构、工作原理及主要技术参数等,充分体现了90年代国际地下采矿设备的先进水平。为了配合对现场使用和维修人员的技术培训,书中还详细介绍了各种设备主要组成部分的工作原理、结构特点、使用、维修和保养知识,并附有大量插图和技术数据,具有较强的实用价值。既可作为现场使用与维修人员的培训教材,又可供从事地下无轨机械设备的设计、研究、制造方面的技术人员、学校教师及大中专学生参考,还可为引进和发展地下无轨机械设备的新用户提供不可多得的第一手资料。各种不同层次、不同类型的技术人员均可从丛书的不同章节中得到您所需要的信息。

丛书第一册《发动机与底盘》共分两篇。第一篇系统介绍目前地下无轨机械设备常选用的道依茨柴油机。对其工作原理、结构特点、使用与维护注意事项、调整数据与方法、故障判断与排除等均作了较全面的介绍;第二篇底盘部分针对地下无轨机械设备常用的液力机械传动和静液传动两大类底盘,从其各组成部分的结构、工作原理、性能参数调整、使用与维护、故障判断与排除等各个方面作了详细介绍,特别对近年来在地下无轨设备上广泛采用的各种新结构、新液压系统和新技术如多片湿式制动器,NO-SPin 差速器,全液压转向器等作了较全面的介绍。

本丛书前两册的编写组织工作由刘同有、钱鸣和冯茂林主持。第一册主编由刘永才担任。其中第二篇第九、十一、十二、十五、十六章由刘永才编写;第一篇(第一至第七

章)由冯茂林、钱鸣编写;第二篇第十、十三、十四章由刘立编写;第二篇第八章由刘惠敏编写。

在本书的编写过程中,金川有色金属公司组织各方面技术人员对书稿进行了多次审查和讨论。在审稿过程中,潘玉兴、鲁汉阳、刘祖同、刘廷邦、游善来、戈棣、周佑民、潘磊、贾贞贤、周继勤、徐文卿、刘观卿、刘秦川、王河清、汪景信、张菊英、梁明、丁白增、王玉海、管作磊、周军等同志均对本书提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。同时对北京科技大学高澜庆教授和李大诒教授在本书编写过程中给予的关心、支持、帮助和指导表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平所限,以及资料收集困难,书中欠妥之处在所难免,望读者批评指正。并欢迎致力于地下无轨机械设备发展的有志之士关心、支持并参与该丛书后续各分册的编写和出版工作。

编 者

一九九二年十月

目 录

第一篇 柴油发动机

第一章 柴油机的工作原理与总体结构	(2)
第一节 四行程柴油机的工作原理.....	(2)
第二节 柴油机的总体结构.....	(6)
第二章 机体组件与曲柄连杆机构	(11)
第一节 道依茨柴油机的机体组件	(11)
第二节 曲柄连杆机构	(19)
第三章 配气机构与进排气系统	(28)
第一节 配气系统的组成和作用	(28)
第二节 配气机构	(29)
第三节 进排气系统	(38)
第四章 燃油供给系统	(44)
第一节 燃油供给系统的功用与组成	(44)
第二节 燃油供给系统的各组成元件	(47)
第三节 燃油供给系统的使用调整与保养	(64)
第四节 混合气形成及燃烧室	(72)
第五章 润滑、冷却与起动系统	(76)
第一节 润滑系统	(76)
第二节 冷却系统	(84)
第三节 起动系统	(94)
第六章 柴油机的增压	(105)
第一节 增压原理.....	(105)
第二节 废气涡轮增压器.....	(106)
第三节 涡轮增压器的故障与维修.....	(111)
第七章 道依茨柴油机的使用保养和故障维修	(118)
第一节 调整、使用和维护保养.....	(118)
第二节 故障现象的分析判断与处理.....	(118)
第三节 柴油机的工作性能.....	(139)

第二篇 地下无轨机械设备底盘

第八章 液力变矩器	(147)
第一节 概述.....	(147)
第二节 液力变矩器的力矩方程.....	(149)
第三节 液力变矩器的其它特性参数.....	(152)
第四节 液力变矩器的特性及评价.....	(154)
第五节 液力变矩器的分类、结构型式及特点.....	(157)
第六节 液力变矩器的故障与维修.....	(174)
第九章 变速箱	(178)
第一节 变速箱的功用、工作原理和类型.....	(178)
第二节 典型定轴式动力换档变速箱的构造及性能.....	(181)
第三节 动力换档变速箱的液压操纵系统.....	(194)
第四节 变速箱的故障与维修.....	(199)
第五节 变速箱的拆卸与装配.....	(204)
第十章 万向传动装置	(214)
第一节 万向传动装置的功用与分类.....	(214)
第二节 典型万向传动装置的构造与性能.....	(214)
第三节 万向传动装置的使用与维护.....	(225)
第十一章 轮式驱动桥	(227)
第一节 轮式驱动桥的功用及组成.....	(227)
第二节 典型轮式驱动桥的构造.....	(229)
第三节 驱动桥主要部件结构与工作原理.....	(259)
第四节 驱动桥的故障与维修.....	(283)
第五节 驱动桥的拆卸与装配.....	(287)
第十二章 轮式机械转向系统	(302)
第一节 轮式机械转向系统的分类与工作原理.....	(302)
第二节 轮式机械液压转向系统.....	(304)
第三节 典型液压转向系统分析.....	(313)
第四节 液压转向系统的故障与维修.....	(336)
第十三章 制动系统	(340)
第一节 制动系统的功用及组成.....	(340)
第二节 典型制动器的构造及工作原理.....	(341)
第三节 辅助制动.....	(357)
第四节 典型制动驱动机构.....	(357)
第五节 停车制动.....	(372)
第六节 制动系统的故障与维修.....	(374)
第十四章 轮式行驶系统	(376)

第一节	轮式行驶系统的功用与组成·····	(376)
第二节	车架·····	(376)
第三节	车轮与轮胎·····	(387)
第四节	轮式行驶系统的维护与保养·····	(393)
第十五章	典型地下无轨机械设备底盘构造·····	(395)
第一节	典型液力机械传动式地下无轨机械设备底盘构造·····	(395)
第二节	典型静液传动式地下无轨机械设备底盘构造·····	(400)
第十六章	典型地下无轨机械设备底盘传动系统分析·····	(404)
第一节	传动系统的功用与类型·····	(404)
第二节	液力机械式传动系统·····	(404)
第三节	柴油机与液力变矩器的匹配原理及匹配特性·····	(405)
第四节	全液压式传动系统·····	(410)
第五节	典型地下无轨机械设备全液压式传动系统分析·····	(418)
附 录	·····	(431)
一、	道依茨柴油机专用维修工具·····	(431)
二、	常用单位换算·····	(434)
参考文献	·····	(435)

第一篇 柴油发动机

自行式车辆的发动机大多采用内燃机。而矿山机械和各种工程机械，要求发动机不仅具有良好的耐用性和可靠性，还要具有良好的经济性和动力性，因此，几乎都装用柴油机。凡是各种车辆装配的柴油发动机，被称为车用柴油机。地下无轨设备要装用特殊要求的车用柴油机。

柴油机按工作行程分类，可分为二行程和四行程两种。除部分重型卡车装有二行程柴油机外，地下无轨设备和其它各种工程车辆绝大部分都采用四行程柴油机。

柴油机按气缸的排列可分为直列式和 V 型两种。地下无轨设备的小功率柴油机有四缸、六缸直列式，而大中功率八缸或八缸以上的均为 V 型，也有些六缸机采用 V 型。

柴油机按冷却方式，可分为风冷柴油机和水冷柴油机两种。在地下无轨设备中，除少量设备选用水冷式柴油机外，目前大部分设备已经趋向于选用德国道依茨 (DEUTZ) 风冷柴油机。

在一些较大功率的地下铲运机和矿用卡车上，普遍采用增压技术，以解决要求柴油机体积小、功率大的矛盾。在功率为 110.3~220.6kW 范围内，有的增压，有的不增压，而 220.6kW 以上的多采用增压。

各种地下无轨设备，由于其工作条件的特殊性，对相应装配的柴油发动机的性能，有一些特殊要求：

(1) 可靠性要高。由于地下工作环境恶劣，维修条件极差，作为地下作业的主体生产设备，其核心部分柴油机必须能适应这种环境，要求故障率低，工作安全可靠，性能稳定。

(2) 动力性好。地下作业，负载变化的随机性很大，变化幅度也很大，甚至有时候可能会在较长时间内超负荷工作，这就要求柴油机在动力性能方面能满足这些要求。

(3) 经济性要好。地下作业采用成套无轨机械化作业时，总功率拥有量较大，如果在燃油消耗、辅助油料的消耗方面达到最佳经济指标，同时在可靠性方面减少维修费用，那将使生产成本大大降低。

(4) 零部件通用化程度高。在成套地下无轨设备中，各种机型所用柴油机的功率等级是不一样的，如果各自零部件完全不能通用，那将给备件管理、生产与维修管理工作带来很大不便。

(5) 低污染。这是对地下作业柴油机提出的非常重要的一项要求。地下巷道通风条件差，柴油机排放出来的 CO、NO_x、碳烟微粒等均对人体有较大危害。除了要采用废气净化措施外，对柴油机本身的排放指标也要提出一定要求。

道依茨各系列柴油机完全具备以上要求。它的系列型号、功率等级较全，零部件通用化程度高，而且每种型号都配备有直喷式燃烧室和涡流室式两极燃烧室（型号中带“W”），供用户选择，后一种燃烧室即为地下低污染柴油机所要求的。目前我国也已引进了 FL912 和 FL413 等系列的生产技术，并且国产化率也在逐年提高，完全可以满足国内市场需求。本书主要介绍道依茨柴油机。

第一章 柴油机的工作原理与总体结构

第一节 四行程柴油机的工作原理

柴油机属于内燃机的一种，而内燃机又归属于热机。所以柴油机的基本功能就是要进行热能和机械能的转换。具体而言，就是将燃油所具有的化学能通过燃烧变成热能，再由气缸和曲柄连杆机构将热能变成机械能对外做功。

一、柴油机基本术语

柴油机的基本结构如图 1-1 所示。气缸 4 中有活塞 5。活塞由连杆 7 与曲轴 8 铰接连接，组成曲柄连杆机构，可以将活塞的往复运动变为曲轴的旋转运动，也可以将曲轴的旋转运动变为活塞的往复运动。活塞的运动使气缸容积变化，从而导致缸内气体的温度、压力等状态参数相应变化。反之，缸内的温度、压力的升高变化可推动活塞移动。内燃机就是靠燃气在缸内的容积、温度、压力的变化而工作的。

在介绍柴油机的工作原理和结构之前，必须先了解以下几个术语：

上止点：活塞运动至离曲轴中心最远点。

上止点又称上死点。

下止点：活塞运动至离曲轴中心最近点。

下止点又称下死点。

行程：两死点间的距离，用 S 表示，也称冲程。

$$S = 2r$$

式中 S ——活塞运动行程，mm；

r ——曲柄半径，mm。

气缸工作容积：活塞往复运动所扫过的空间。

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S \times 10^{-6}$$

式中 V_h ——气缸工作容积，L；

D ——气缸名义直径，mm；

S ——活塞运动行程，mm。

燃烧室容积：活塞处于上死点位置时，气缸盖与活塞顶组成的空间，用 V_c 表示。

气缸总容积：活塞处于下死点时，活塞顶与气缸及气缸盖组成的空间，用 V_a 表示。

$$V_a = V_h + V_c$$

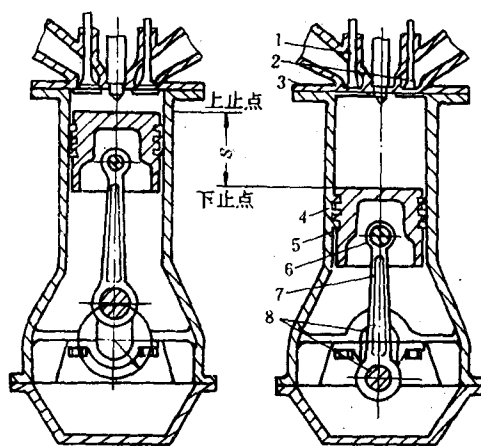


图 1-1 柴油机的基本结构

1—排气门；2—进气门；3—喷油器；4—气缸；
5—活塞；6—活塞销；7—连杆；8—曲轴

排量：多缸内燃机气缸工作容积之和，用 V_H 表示。

$$V_H = V_h I$$

式中 I ——气缸数。

压缩比：气缸总容积与燃烧室容积之比，用 ϵ 表示。

$$\epsilon = \frac{V_s}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

压缩比越大，气体被压缩的程度越高，压缩终点的温度和压力越高，燃烧进行的越完善，热效率也越高。

二、四行程柴油机工作原理

柴油机的每一工作循环是由进气、压缩、燃烧、膨胀和排气等过程所组成。如果柴油机曲轴每转两转，活塞在上下止点间往复四次而完成一个工作循环的柴油机，称之为四行程柴油机。四行程包括进气行程、压缩行程、作功行程和排气行程。从理论上讲，每个行程对应柴油机工作循环中的一个过程，由于燃烧过程时间很短，可以认为是一个瞬时过程，不计入行程。但在实际循环中，一个过程决非正好等于一个行程，且燃烧过程是特别重要的，需要专门进行分析研究。

四行程柴油机的气缸盖上都装有进气门 2 和排气门 1 (图 1-1)，这两种气门由传动机构操纵而定时开闭。

1. 进气行程 在进气过程中，进气门开启，排气门关闭，活塞依靠飞轮贮蓄的能量由上止点向下止点运动。气缸容积不断增大，压力降低，新鲜空气自动流入气缸 (图 1-2 a)。由于进气管道和进气门的阻力，所以在进气行程中以及进气終了，气缸内压力始终低于外界大气压力。活塞运行到下止点时进气结束，进气门关闭。此时曲轴旋转了 180° 。

2. 压缩行程 在压缩过程中，进、排气门都关闭 (图 1-2 b)，活塞依靠飞轮惯性由下止点向上止点运动，将气缸中空气压缩，使其温度和压力上升。活塞运行到上止点时压缩结束，此时气缸内压力达到 $3 \sim 5 \text{ MPa}$ ，温度达到 $500 \sim 700^\circ \text{C}$ ，已经高于柴油的自燃温度。曲轴又转了 180° ，即由 180° 转到 360° 。

3. 作功行程 又称为爆发行程，在此行程中，进排气门仍都关闭，柴油经喷油嘴喷入气缸与高温的压缩空气混合而自燃、爆发，使缸内空气的温度、压力都急速上升。高温高压的空气膨胀推动活塞由上止点向下止点运动 (图 1-2 c)，将热能转变为机械能对活塞作功。通过曲柄连杆机构将活塞的直线运动转变成曲轴的旋转运动而对外作功。活塞运

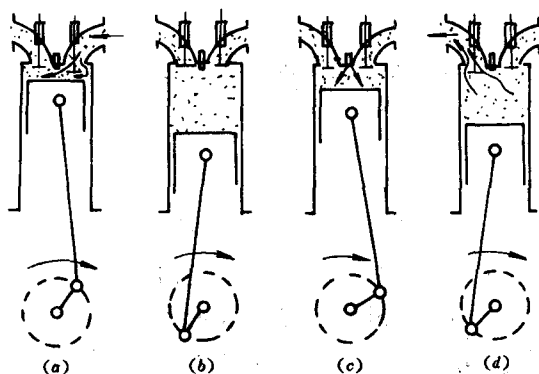


图 1-2 四行程柴油机的工作过程
a—进气；b—压缩；c—膨胀；d—排气

行到下止点时，作功行程结束，此时曲轴又转了 180° ，即由 360° 转到 540° 。在四个行程中，只有此行程作功。在作功行程中，气缸内最高压力可达 $6 \sim 9 \text{ MPa}$ ，最高温度可达 $1500 \sim 1900^\circ \text{C}$ 。在行程終了时，缸内压力为 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$ ，温度为 $750 \sim 1200^\circ \text{C}$ 。

4. 排气行程 在排气过程中, 进气门仍关闭, 排气门开启。活塞靠飞轮的带动由下止点向上止点运动, 将气缸内的燃烧废气排出缸外 (图 1-2d)。由于排气阻力的存在, 在排气行程中, 气缸内压力总比大气压力高。活塞到上止点时, 排气行程终止, 曲轴又转了 180° , 即由 540° 转到 720° 。

当排气冲程结束后, 排气门关闭。至此, 活塞往复运动了四个行程, 曲轴旋转了两周, 完成了吸、压、爆、排四个过程, 即完成了一个工作循环。然后进气门开启, 活塞下行, 又开始下一个工作循环。

柴油机的燃料, 是在压缩终了时由喷油器喷入气缸与气缸内空气混合, 并借助空气被压缩后的高温而着火燃烧, 故称柴油机为“内部混合式”或“压燃式”内燃机。

三、柴油机的实际工作循环

柴油机在实际工作中, 气缸内的实际工作情况是非常复杂的, 很难用纯理论方法描述清楚。通常采用示功图来描述柴油机气缸内的实际工作状态。在以气缸容积为横坐标, 气缸内瞬时工作压力为纵坐标的坐标系中, 绘出气缸内压力随气缸容积 (或活塞位置) 而变化的曲线, 称为示功图, 如图 1-3 所示。柴油机一个工作循环的示功图组成一个封闭曲线。封闭曲线所包围的面积就是一个实际工作循环中气体所做的有用功。

根据柴油机实际工作循环的特点, 将其分为进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个工作过程, 较之前述工作原理的四个冲程的分法, 其包含内容要复杂得多。

(一) 进气过程

此时进气门打开, 排气门关闭, 活塞由上止点向下止点移动。首先是上一循环排气终了留在燃烧室中的残余废气膨胀, 压力由排气终了压力 P_r 降到压力 P_r' , 然后新鲜空气才被吸入气缸。由于进气系统的阻力, 进气终了压力 P_a 总是小于大气压力 P_0 , 压力差 $P_0 - P_a$ 用来克服进气系统的阻力。因为进气受到机内高温零件及残余废气的加热, 进气终了的温度 T_a 总是高于大气温度 T_0 。在图中, 此过程为 $r \rightarrow a$ 。

进气过程进入气缸的新气量决定着柴油机每工作循环在气缸内能燃烧的燃料量。因而每工作循环进气缸新气量的多少是决定柴油机功率的主要因素。为了表明柴油机进气的完善程度, 引入充气系数 η_v (进气效率) 的概念。

充气系数 η_v 是实际进入气缸的新鲜充量与进气状态下充满工作容积的新鲜充量的比值。

$$\eta_v = \frac{m}{m_0} = \frac{V_1}{V_h}$$

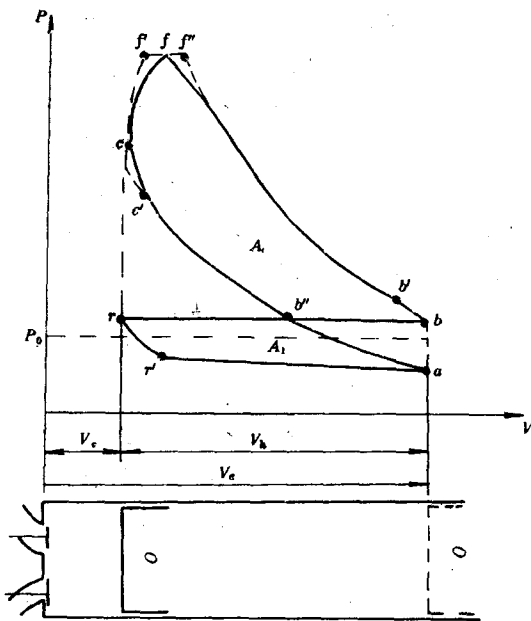


图 1-3 四冲程柴油机示功图

式中 m 、 V_I ——实际进入气缸的新鲜充量的质量、体积（在进气状态下）；

m_0 、 V_h ——进气状态下充满气缸工作容积的新鲜充量的质量、工作容积。

所谓进气状态，是指空气滤清器之后的进气管内的气体状态，为测量上方便，在非增压柴油机上一般都采用当时的大气状态（ P_0 、 T_0 、 V_0 ）。在增压柴油机上采用增压器出口状态。

若大气压力和温度为 P_0 、 T_0 ，气缸工作容积为 V_h ，则理论上能进入气缸的充气量 m_0 为：

$$m_0 = \frac{P_0 V_h}{RT_0}$$

式中 R ——空气的气体常数， $R=29.27\text{J/kg}\cdot\text{K}$

实际上，残余废气占有部分气缸容积（到 r' 点），也使实际进入气缸的气体容积 V_h'' 小于工作容积 V_h 。因此，每循环实际充气量 m 为：

$$m = \frac{P_a V_h''}{RT_a}$$

式中 V_h'' ——在 P_a 、 T_a 状态下进入气缸新鲜充量的容积。

比较以上两式： $P_a < P_0$ ， $V_h'' < V_h$ ， $T_a > T_0$ ，故 $m < m_0$ ，即实际充气量小于理想充气量， $\eta_v < 1$ 。 η_v 高，代表每循环进入气缸的充气量多，则柴油机功率可以增加，动力性能好。一般柴油机， η_v 大致为 0.75~0.9。在进气终了时的压力 $P_a = (0.80 \sim 0.95) P_0$ ，温度 $T_a = 310 \sim 340\text{K}$ 。

（二）压缩过程

此时进排气门均关闭，活塞由下止点向上止点移动，缸内气体受到压缩，温度、压力不断上升。由此压缩过程来创造高温条件，使柴油自燃着火。气体受压缩的程度用压缩比 ϵ 表示。

压缩过程是一个很复杂的热力学过程。在压缩刚开始时，气体温度低于气缸壁温度，所以气体吸热。当压缩到一定程度后，气体温度高于缸壁温度，开始向缸壁放热。在图 1-3 中表示为 $a-b''-c'-c$ 段曲线。该过程中，压缩缸活塞不能对外做功，而且需要消耗其它缸或者柴油机飞轮贮存的能量。压缩终了压力 $P_c = 2.94 \sim 4.9\text{MPa}$ ，温度 $T_c = 770 \sim 970\text{K}$ 。

由于提前喷油，燃料在上止点前 c' 点开始燃烧，所以实际压缩终点的压力和温度较上述值要高。

（三）燃烧过程

此时进排气门均关闭，活塞在上止点附近。因为整个燃烧过程不可能在活塞位于上止点的瞬时完成，因此柴油机应在上止点前就开始喷油（图 1-3 中的 c' 点），柴油与压缩的高温气体混合并自燃。开始燃烧速度很快，而容积变化很小，因此压力升高很快，如图 1-3 中 $c-f'$ 段。接着是一面喷油，一面燃烧。随着活塞向下止点移动，气缸容积增大，所以气体压力升高不明显，而温度却继续上升，如图 1-3 中 $f'-f$ 段。由于存在非瞬时燃烧损失和补燃损失，实际燃烧过程为 $c'-c-f$ 段。通过燃烧，将燃料的化学能转变为热能而加热气体。

燃烧过程的最高爆发压力及最高温度的大致范围是：

$$P_f = 5.88 \sim 8.83\text{MPa}, T_f = 1800 \sim 2200\text{K}$$

为了表示燃烧过程中喷入气缸的燃油量和进气过程进入气缸空气量的关系，引入过量

空气系数 α 的概念。若设 L_0 (kg/kg) 为每公斤燃料完全燃烧所需要的理论空气量, L 为柴油机 (汽油机同样) 工作过程中每公斤燃料实际供给的空气量, 则 $\alpha=L/L_0$ 。称为过量空气系数。柴油机中, $\alpha>1$, 以保证有充裕的空气量来保证燃油的完全燃烧。

(四) 膨胀过程

燃烧过程之后就是膨胀过程。此时, 高温高压的气体推动活塞由上止点向下止点移动, 膨胀做功, 将热能转变为机械能。气体的压力、温度迅速降低。

膨胀过程的进行比压缩过程更复杂。在燃烧过程进行的同时, 缸内气体已经开始膨胀, 故实际的膨胀过程应是图 1-3 中的 $c-f-b'-b$ 。由于 $c-f$ 段中燃烧是重要因素, 且对应的气缸容积变化很小, 所以这里讨论的膨胀过程是指 $f-b'-b$ 段。在膨胀过程初期, 由于存在补燃 (即一些燃料不能及时燃烧, 在膨胀过程中继续燃烧), 缸内气体被加热; 到某一瞬时, 加热量与气体向缸壁的放热量相等, 再过后, 气体就向缸壁放热。膨胀结束时, 气缸内压力 $P_b=0.199\sim0.392\text{MPa}$, 温度 $T_b=1000\sim1400\text{K}$ 。

(五) 排气过程

膨胀过程结束时, 活塞到达下止点以前就打开排气门, 如图 1-3 中 b' 点, 使气缸内压力在排气冲程开始之前能够迅速下降, 减少排气冲程所消耗的功。在此以后, 活塞由下止点向上止点移动, 将气缸内的废气排除。由于排气系统有阻力, 排气终了的压力 P_r 大于大气压力 P_0 , 压力差 P_r-P_0 用来克服排气系统的阻力。阻力越大, 排气终了的压力 P_r 越大。

排气温度一般作为检查柴油机工作状况的一个指标。因为排气温度低, 说明燃烧同样多的燃料转变为功的热量多, 工作过程进行得好。如果发现排温偏离正常, 应立即查明原因。排气终了的大致压力 $P_r=(1.05\sim1.2)P_0$, 温度 $T_r=700\sim900\text{K}$ 。

经过以上五个过程 (四个冲程), 柴油机完成了一个实际工作循环, 下一个循环从 a 点重新开始, 周而复始。

第二节 柴油机的总体结构

柴油机是一种比较复杂的动力机械, 它是由许多机构和系统共同组成的。目前柴油机型号种类繁多, 结构复杂, 但其总体结构均有其共同特点。为了适应地下无轨设备目前使用情况和将来的发展趋势, 将在以后的章节中专门详细介绍道依茨柴油机各种机构和系统的具体结构。这里首先以气缸 V 型排列的 F8L413F 柴油机为例, 简介四行程、风冷柴油机的总体组成 (参见图 1-4)。

1. 机体组件 机体是作为柴油机各机构、各系统的装配基准件, 同时, 其本身的很多部分又是有关机构和系统的组成部分。机体组件包括曲轴箱 21、气缸 22、气缸盖 24 和油底壳 15 等。

2. 曲柄连杆机构 通过曲柄连杆机构将活塞的直线往复运动转变为曲轴的旋转运动而输出动力; 同时还可以将曲轴的旋转运动转变为活塞的直线往复运动来完成无功冲程。曲柄连杆机构由活塞 23、连杆 18、曲轴 16 和飞轮等组成。

3. 配气机构与进排气系统 配气机构的作用是与曲柄连杆机构配合动作, 定时开闭进、排气门, 使新鲜空气及时地充入气缸, 并及时排出气缸中废气, 以保证燃烧过程的质量。配气机构主要由挺柱 3、挺杆 2、凸轮 6、正时齿轮、摇臂和气门等组成。

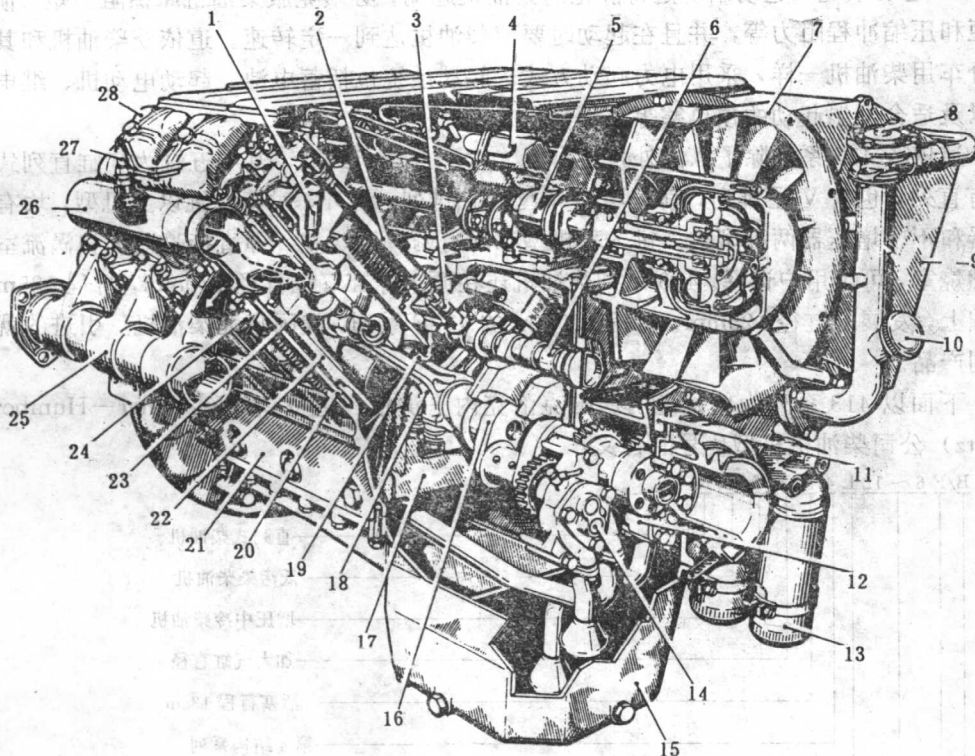


图 1-4 F8L413 柴油机总体结构

1—喷油器；2—挺杆；3—挺柱；4—喷油泵总成；5—风扇中间齿轮；6—凸轮轴；7—冷却风扇；8—通气孔；9—机油冷却器；10—加油口；11—减振块；12—润滑油泵；13—机油滤清器；14—回油泵；15—油底壳；16—曲轴；17—主轴承盖；18—连杆；19—冷却活塞喷嘴；20—气缸与缸盖紧固螺栓；21—曲轴销；22—气缸；23—活塞；24—气缸盖；25—排气歧管；26—进气歧管；27—火焰加热塞；28—摇臂室盖

进排气系统由空气滤清器、进排气管道，排气消音与净化装置等组成。

4. 燃油供给系统 柴油机燃油供给系统的作用是根据工况需要，将清洁的柴油定时、定量并按照一定质量要求喷入燃烧室，为燃烧创造必要条件。燃油供给系由燃油箱、输油泵、滤清器、喷油泵总成、喷油器等组成。

5. 润滑系统 润滑对于高速运动的柴油机的寿命和正常工作是极其重要的。润滑的作用就是在摩擦面之间形成油膜，减少磨损和摩擦损失功；利用润滑油的流动，起到冷却和清除磨屑的作用；密封运动间隙，防止气缸漏气；保护金属表面，防止氧化生锈。

润滑系的组成有机油泵、滤清器、散热器、调节阀及仪表等。

6. 冷却系统 冷却系统的作用是利用冷却介质（水或空气）将高温零件的热散到大气中去，以防止因高温使机件强度、刚度下降，几何尺寸改变及运动偶件卡滞等非正常现象的发生，保证内燃机正常工作。冷却系统按冷却介质不同，分为水冷和风冷两种。

道依茨柴油机都采用风冷系统，主要由风扇、导风罩、散热片等组成。而水冷却系统

主要由水箱一散热器、水泵、风扇、节温器及水温表等组成。

7. 起动系统 起动系统是将静止的柴油机起动，必须克服柴油机摩擦阻力矩、惯性阻力矩和压缩冲程阻力等，并且在起动时要使柴油机达到一定转速。道依茨柴油机和其它大部分车用柴油机一样，采用电力起动方式。起动系统包括蓄电池、起动电动机、继电调节器以及适合低温起动的预热塞等。

道依茨 413 系列除了八缸外，还有五、六、十、十二缸，其中五缸为气缸直列式，六缸有直列，也有 V 型排列，其它均为 V 型气缸排列。另外，对于六缸以上机型，均有带增压器和不带增压器两种型式。每一种机型都配有两种燃烧室，即直接喷射式和涡流室式二级燃烧室，可供用户选择。413 系列柴油机还在原来标准气缸直径 120mm，行程 125mm 的基础上，发展了缸径 125mm，行程 130mm 的 413F 系列，我国华北柴油机厂引进的就是该系列产品。

下面以 413 系列为例，说明德国克洛克内—洪堡—道依茨（Klößner—Humboldt—Deutz）公司柴油机型号代号的含义：

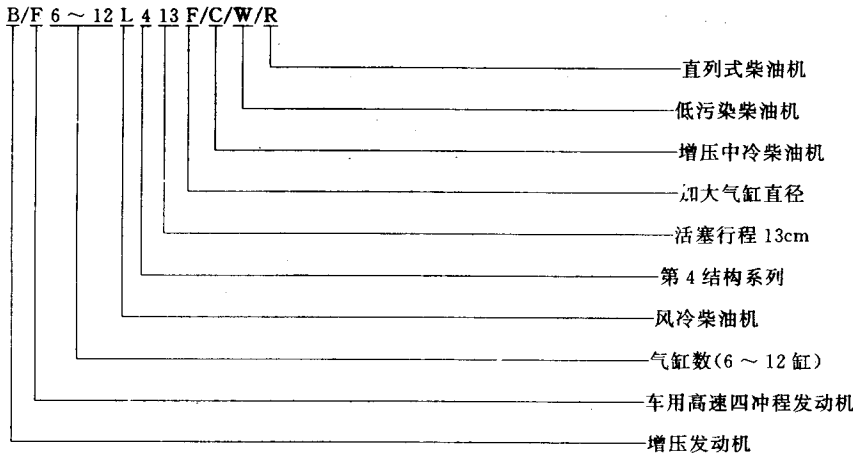


表 1-1 和表 1-2 给出了部分型号的道依茨柴油机技术性能参数。

图 1-5 是 F4L912/W 柴油机的外型图。912 系列有二、三、四、五、六缸，均为直列式，北京内燃机厂引进的为此种机型。

表 1-1 道依茨 F3~6L912/W 柴油机主要技术参数

型 号	F3L912/W	F4L912/W	F5L912/W	F6L912/W
型 式	三缸、直列	四缸、直列	五缸、直列	六缸、直列
缸径×行程 (mm)	100×120	100×120	100×120	100×120
总排量 (l)	2.83	3.77	4.71	5.65
燃烧室型式	直喷/涡流室	直喷/涡流室	直喷/涡流室	直喷/涡流室
压缩比	17/19	17/19	17/19	17/19
最大功率 ($\frac{\text{kW}}{\text{r/min}}$)	38/2800	49/2800	61/2800	74/2800

续表 1-1

型 号	F3L912/W	F4L912/W	F5L912/W	F6L912/W
最大扭矩 $\left(\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{r/min}}\right)$	149/1550	199/1550	248/1550	298/1550
最高活塞平均速度 (m/s)	11.2	11.2	11.2	11.2
耗油率 (g/kW·h)	≤224	≤218		≤215
起动方式	电起动	电起动	电起动	电起动
重量 (kg)	285	315	380	400

表 1-2 道依茨 B/F6~12L413F/W 柴油机主要技术参数

型 号	B/F6L413F/W	B/F8L413F/W	B/F10L413F/W	B/F12L413F/W
缸径×行程 (mm)	125×130	125×130	125×130	125×130
总排量 (l)	9.572	12.763	15.953	19.144
燃烧室型式	直喷/涡流室	直喷/涡流室	直喷/涡流室	直喷/涡流室
重量 (kg)	FL=605 BFL=680	FL=770 BFL=900	FL=940 BFL=1100	FL=1120 BFL=1250 BFL413W=1292
持续功率 (kW/r/min)	FL=111.7/2300 BFL=142.6/2300	FL=150/2300 BFL=189.7/2300	FL=187.5/2300 BFL=238.2/2300	FL=224.3/2300 BFL=286/2300
间断工作功率 (kW/r/min)	FL=122.8/2500 BFL=157.3/2500	FL=165.4/2500 BFL=210.3/2500	FL=205.9/2500 BFL=261.7/2500	FL=246.3/2500 BFL=314.7/2500
最大扭矩 $\left(\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{r/min}}\right)$	FL=613/1500 BFL= 735/1750~1850	FL=817/1500 BFL= 980/1750~1850	FL=1020/1500 BFL= 1226/1750~1850	FL=1226/1500 BFL= =1470/1750~1850
怠速 (r/min)	600	600	600	600
耗油率 (g/kWh)	FL=216 BFL=220	FL=216 BFL=220	FL=216 BFL=220	FL=216 BFL=220
起动方式	电起动	电起动	电起动	电起动
压缩比	FL=18:1 FL413FW=19.5:1		BFL=16.5:1 BFL413FFW=17:1	
着火顺序	1-6-3 -5-2-4	1-8-4-5 -7-3-6-2	1-10-5-7-2 -8-3-9-4-6	1-8-5-10-3-7- 6-11-2-9-4-12