

886968

高等学校教材

工程机械用 内 燃 机

(构造 原理 修理)



华北水利水电学院 杨景章 主编

水利电力出版社

高等学校教材

工程机械用 内燃机

(构造 原理 修理)

华北水利水电学院 杨景章 主编

水利电力出版社

高等学校教材
工程机械用内燃机

(构造 原理 修理)

华北水利水电学院 杨景章 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 25印张 587千字

1989年6月第一版 1989年6月北京第一次印刷

印数0001—3870册 定价4.90元

ISBN 7-120-00624-X/TV·297

内 容 提 要

全书共分三篇十九章，第一篇为内燃机构造，第二篇为内燃机原理，第三篇为内燃机修理。本书对工程机械用内燃机的构造、原理、修理进行了详细地、系统地介绍与分析，对工程机械用内燃机的特点进行较详尽地论述。该书所阐述的主要机型为国产6130型、195系列等柴油机及某些国外机型。

前 言

本书是根据水利水电类高等学校教材编审委员会审定并于1983年公布的工程机专业本科用“工程机内燃机及修理”课程教学大纲编写的。大纲规定纯讲课学时为88至95学时，本书按88学时编写，绪论为1学时，第一篇内燃机构造为25学时，第二篇内燃机原理为38学时，第三篇内燃机修理为24学时。编写中根据学科的发展，在总学时不变的情况下对部分学时进行了调整。

本书从工程机专业的实际需要出发，分三篇对工程机用内燃机从构造上、原理上、修理上进行了系统地介绍与分析，并力求突出工程机用内燃机的特点。同时也适当地讨论了外延的某些内容，力求反映工程机用内燃机及修理的最新成果。第一篇以目前国内常用的为工程机配套的6130、135系列等柴油机及某些国外机型为重点，着重讲清工程机用内燃机的构造与特点；第二篇从提高内燃机使用性能出发，着重从理论上阐述内燃机的原理、工作过程与指标，并以典型的工程机用内燃机为例进行分析与阐述。考虑到工程机专业多未单独开设工程热力学课，因此在第二篇中工程热力学内容占了一定的篇幅。第三篇讨论了内燃机的故障、零件失效分析、零件修复工艺、典型内燃机零部件的缺陷与修理等，特别对内燃机不拆卸检验设备原理进行了较多地介绍，而对具体修理工艺及修理标准等，则采用从简介绍的原则。

本书除绪论外共分三篇（十九章），全书由华北水利水电学院副教授杨景章主编，由上海工程技术大学副教授（原华北水利水电学院老师）石树声、河海大学机械学院副教授（原葛洲坝水电工程学院老师）程敬之、武汉水利电力学院副教授朱河海参加编写，其编写分工如下：

石树声编写第一篇第四章，第二篇第四、七、八章；

程敬之编写第一篇第一、五、六章，第二篇第一、二、三章；

朱河海编写绪论、第一篇第二、三章，第二篇第五、六、九章；

杨景章编写第三篇第一、二、三、四章。

全书由武汉水利电力学院余恒睦教授主审。

本书除作为高等学校工程机专业本科教材外，还可作为相近专业教材，并可作为工程机设计及内燃机使用、维修方面的工程技术人员参考书。

在编写过程中，得到了有关研究单位与工厂的协助，华北水利水电学院周林森副教授、张彦平老师、范自强老师对本书提出过宝贵意见，在此一并表示谢意。

由于本书涉及面较广，加上编者水平所限，书中挂一漏万及不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

主 编

1988年4月

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

第一篇 内 燃 机 构 造

第一章 内燃机的基本组成和工作原理	7
第一节 内燃机的基本组成	7
第二节 内燃机的工作原理	10
第二章 曲柄连杆机构与机体	17
第一节 活塞连杆组	17
第二节 曲轴飞轮组	29
第三节 机体组	38
第三章 配气机构与进排气系	48
第一节 配气机构的功用与类型	48
第二节 配气机构的主要机件	50
第三节 配气相位与气门间隙	57
第四节 进排气系统	59
第四章 燃油供给系	63
第一节 柴油机燃油供给系的功用与组成	63
第二节 喷油泵	64
第三节 调速器	72
第四节 喷油器与泵-喷油器	80
第五节 PT燃油供给系	85
第六节 柴油机燃油供给系的辅助设备	94
第七节 汽油机燃油供给系	98
第五章 润滑系、冷却系与起动系	108
第一节 润滑系	108
第二节 冷却系	115
第三节 起动系	122
第六章 内燃机电气设备	126
第一节 蓄电池	126
第二节 硅整流发电机	130
第三节 硅整流发电机调节器	133

第二篇 内 燃 机 原 理

第一章 工程热力学基础	137
-------------------	-----

第一节	气体的热力性质	137
第二节	热力学第一定律	142
第三节	气体的热力过程	147
第四节	热力学第二定律	153
第五节	内燃机的理想循环	156
第二章	内燃机的实际循环与性能指标	164
第一节	内燃机的实际循环	164
第二节	内燃机性能指标与热平衡	166
第三章	内燃机的工作过程	180
第一节	内燃机的换气过程	180
第二节	内燃机的压缩过程与膨胀过程	195
第四章	内燃机混合气的形成与燃烧	199
第一节	柴油与汽油	199
第二节	柴油机可燃混合气的形成	202
第三节	柴油机可燃混合气的燃烧	205
第四节	柴油机的燃烧室	210
第五节	汽油机的燃烧	217
第六节	内燃机对环境的污染与防治	223
第五章	内燃机的特性	228
第一节	柴油机的速度特性	229
第二节	柴油机的负荷特性与万有特性	232
第三节	柴油机的调速特性	235
第四节	汽油机的速度特性与负荷特性	242
第五节	工程机械对内燃机特性的要求	245
第六章	曲柄连杆机构运动学与动力学	251
第一节	曲柄连杆机构运动学	251
第二节	曲柄连杆机构动力学	253
第七章	柴油机增压	268
第一节	柴油机增压的基本概念	268
第二节	涡轮增压器	273
第三节	涡轮增压器与柴油机匹配时的一般要求	276
第八章	内燃机试验	280
第一节	内燃机试验的目的、类别及设备	280
第二节	内燃机试验中主要参数的测量	281
第三节	柴油机主要特性的测定	287
第九章	工程机械用柴油机的特点与选用	290
第一节	工程机械用柴油机的特点	290
第二节	工程机械用柴油机的选用	292

第三篇 内 燃 机 修 理

第一章 内燃机的故障与零件的失效	295
第一节 内燃机的故障及其原因	295
第二节 内燃机零件的失效分析	305
第二章 内燃机的诊断与零件的检验	318
第一节 内燃机的诊断	318
第二节 内燃机零件的检验	337
第三章 零件修理工艺	341
第一节 零件的焊修与堆焊	341
第二节 零件的电镀修复	348
第三节 零件的喷涂修复	354
第四节 零件的其他修理工艺	357
第四章 内燃机修理	363
第一节 汽缸体与汽缸套的修理	363
第二节 活塞连杆组的修理	367
第三节 曲轴与滑动轴承修理	370
第四节 配气机构主要零件修理	373
第五节 柴油机燃油系修理	375
第六节 电气设备的修理	385
第七节 内燃机的总装与试验	389

绪 论

一、内燃机的发展概况

在人类生活和生产中,应用最广泛的动力机械是将燃料燃烧所产生的热能转化为机械能的热力机械,简称热机。热机又可分为外燃机与内燃机。外燃机是将燃料置于动力机械以外的专门设备(锅炉)中燃烧,并借助于工质(蒸汽)的状态变化实现做功,如蒸汽机、蒸汽轮机等;内燃机则是使燃料直接在机械内部燃烧并借助于工质(燃气)的状态变化实现做功,如汽油机、柴油机、燃气轮机和喷气式发动机等都属于内燃机类。目前,一般所说的内燃机常指汽油机和柴油机。

早在1876年左右,德国人奥托在蒸汽机的基础上研制成了实用的单缸四冲程卧式3kW煤气机。起先采用电点火,后改为火焰点火,该机运转平稳,近于完善。虽然压缩比只有2.5左右,热效率为12%~14%,但当时它已远比其他热机优越,所以在中小企业中得到广泛应用。此后,奥托又把压缩比逐渐提高,1886年使热效率达到15.5%,到1897年热效率已达20%~26%。因此,他获得了“内燃机发明人”的声誉。

汽油机的发明,首先是从使用容易汽化的燃料开始的,最早完成这个试验的是英国人司派尔,1883年他在奥托煤气机的基础上创制了汽油机。汽油机的优点是轻小价廉,起动和使用方便等。现代汽油机最高转速可达12000r/min,迄今已成为汽车的主要动力装置。

柴油机的发明应归功于德国人鲁道夫·狄塞尔,他于1897年左右首先制成了柴油机,即向气缸内吸入纯空气,并将其压缩到温度高于燃料的自燃点,随之将燃料喷入气缸内自燃并推动活塞做功。目前,柴油机的发展日趋完善,其热效率已高达50%左右,居热机首位;其功率范围也非常广(单机最小功率为1kW左右,最大功率达35000kW以上)。因此,它广泛用于工业、农业、交通运输及国防等各个方面。

增压柴油机的最早发明人是瑞士的阿尔弗雷德·约·贝希,他于1926年设计了利用废气能量来压缩进气的废气涡轮增压器。1930年开始用于柴油机。柴油机增压后,其功率可以大幅度或成倍增加,目前,它的功率可达到非增压柴油机的3倍以上,其经济性也大大提高,既减少废气污染,又可节约原材料。因此,增压已成为柴油机的重要发展趋势之一。

我国内燃机工业的发展始于本世纪初,自1901年广州均和安机器厂制造出第一台煤气机起,到建国前的近50年间,全国生产内燃机的工厂不到20家,其总产量仅15万kW,而且一些主要零部件还依靠外国进口。建国后,我国内燃机工业发展迅速,全国已有大中型内燃机制造厂400多家。1958年我国试制成功第一台6135型柴油机。至1982年已生产的中小功率内燃机产品有43个系列,250多个型号。柴油机最小缸径为65mm,最大是760mm。单机最小功率为2.2kW,最大达10000kW以上。它对实现我国四个现代化将起十分重要的作用。

二、内燃机在工程机械上的应用与发展趋势

(一) 内燃机在工程机械上的应用

当前, 工程机械用的动力装置有电动机、燃气轮机、汽油机和柴油机等。就它们各自的特点来看: 电动机具有功率范围广, 噪声小, 无污染等优点。但是, 由于其使用范围受电源的限制, 因此, 大多用于很少移动或移距较短的挖掘、起重机械上。燃气轮机的优点是结构简单, 尺寸小, 重量轻, 运转平稳等, 其缺点是效率较低, 大功率时虽有明显改善, 但中小功率时还不能与柴油机竞争。此外, 燃气轮机工作可靠性差, 成本高, 噪声大。所以, 它主要用于航空动力方面。近年来, 由于各国的研制已有很大发展与改进, 预期它的燃油消耗率将可与同等功率的柴油机相媲美。它在工程车辆上的应用已接近实用阶段, 在大型工程机械中亦将会逐渐得到推广。汽油机与柴油机相比, 由于升功率高, 噪声与振动较小, 所以它多用于中小型汽车上。而柴油机由于具有前面谈到的突出优点, 而被广泛应用于国民经济的各个领域之中, 并成为工程机械的主要动力, 而且在今后相当长的时间内仍然会在工程机械动力装置中占绝对优势。

(二) 工程机械用内燃机的发展趋势

随着水利、电力等大型建设工程项目的日益增多和规模的日益扩大, 将促使工程机械向大型化发展。与其配套的内燃机(主要是柴油机)也在向专用系列化、提高单机功率、降低燃油消耗率、减少公害、操纵自动化及提高工作可靠性和使用寿命等方面发展。

1. 专用系列化 在工程机械发展较早的国家, 如美国、西德、日本和英国等, 都已有了工程机械专用柴油机系列: 如美国康明斯(Cummins)公司的NT、KT和VT柴油机系列; 卡特皮勒(Caterpillar)公司的3000、3200、3300、3400及新3500柴油机系列; 西德麦塞台斯-奔驰(Mercedes-Benz)公司的OM柴油机系列, 道依茨(Detz)公司的风冷FL柴油机系列等。动力机械专用系列化、通用化、标准化的程度愈高就愈便于大量生产、提高产品质量和降低成本, 亦便于使用和维修。此外, 它还可以用较少的品种, 满足工程机械的多种机型、多档功率的要求。为此, 我国在《1981—1990年全国中小功率柴油机产品发展纲要(试行)》中, 特别对柴油机专用系列化作出了具体规定, 以适应各种机械配套的需要。例如为工程机械配套的主要柴油机系列有: H、F、J、M、L、T、K等系列。其基本气缸直径分别为100、102mm的水、风冷柴油机系列; 气缸直径为115、130、135、140、159mm的水冷柴油机系列。

2. 提高单机功率 值得注意的是国外有些大型工程机械的单机功率已经很高。如美国卡特皮勒公司的3516TA型柴油机功率高达1470kW(1800r/min), 康明斯KTA-3067-C柴油机功率为1194kW(2100r/min)等。当前, 提高单机功率的措施, 除增加内燃机的排量(如增加气缸数和加大气缸直径)外, 主要靠提高转速和采用废气涡轮增压。

(1) 提高转速 提高转速是提高内燃机功率的有效方法。但它却受到机件磨损、可燃混合气的形成、燃烧过程的组织以及热负荷等因素的限制。由于工程机械的负荷沉重而带有冲击性, 又受到底盘传动系统齿轮强度的限制, 因此转速不宜过高。但近年来由于新结构、新材料、新工艺的不断出现, 使机件的强度和寿命有了进一步提高, 所以内燃机的转速也有逐渐提高的趋势。一般工程机械用柴油机的转速较汽车用柴油机转速稍低。70年代

我国工程机械用柴油机转速多在1500~1800r/min, 80年代已提高到1800~2200r/min, 国外一般为2000~2600r/min。

(2) 采用废气涡轮增压: 内燃机采用废气涡轮增压, 是提高内燃机功率最有效的方法之一, 也是内燃机发展的重要趋势之一, 其优点如前所述。目前, 国外工程机械用柴油机, 其功率在150kW以上的, 80%以上都采用废气涡轮增压(汽油机也开始采用废气涡轮增压)。如苏联提高内燃机功率的主要措施是对非增压柴油机采用废气涡轮增压, 对已增压的柴油机则提高其增压度。根据工程机械的工作特点, 其柴油机增压多为中等程度的增压(一般将功率提高40%~60%)。加装中冷器后, 功率还可再提高15%~30%。多年来我国也发展了增压型柴油机, 如130、135、140、159型柴油机系列等, 都有了不同增压度的机型。

最近十几年, 气波增压器发展很快, 并且逐步进入实用阶段。气波增压具有某些独特的优点, 例如低速时扭矩大, 加速性好等。这些特点很适合工程机械及汽车的要求。此外, 它结构简单, 制造方便, 不需要昂贵的耐热合金材料。其缺点是噪声、重量和体积均较大, 而且需要由内燃机曲轴供给动力。气波增压器也是一种值得重视的增压器。

3. 降低燃油消耗率和采用代用燃料 在当前世界能源比较紧张的情况下, 节约或采用代用燃料就显得特别重要。我国内燃机的燃油消耗率与世界先进水平相比, 还有一定的差距, 例如高速内燃机的燃油消耗率为220~280g/(kW·h), 国外一般为204~245g/(kW·h) [工程机械与重型车用为220~245g/(kW·h)]。降低燃油消耗率的方法有: ①改进燃烧方式、燃烧室及燃油喷射系统(采用电子控制式燃油喷射系统比机械控制式可节约燃油7%); ②提高机械效率; ③采用增压; ④与工程机械合理匹配。

近年来, 世界各国为了节约石油, 提出多种代用燃料。如煤的液化、酒精、植物油以及醇类等。就目前来看, 最有希望的代用燃料是由资源丰富的煤或页岩提取的轻油和重油。其次是醇类燃料, 主要是指甲醇和乙醇。甲醇是从天然气、煤或林产品制取的。乙醇一般是从来源丰富的农副产品提取的, 故倍受重视。有些国家正在推广使用醇类燃料。此外, 用氢气作燃料的发动机也在不断研制之中。

4. 废气净化和降低噪声 随着社会的发展, 对环境的保护及对生态平衡的要求也愈来愈高。内燃机在工作时, 对环境的危害主要是振动、噪声和废气污染。对于隧道或井下作业的工程机械尤为突出。因此多年来, 一些工业发达的国家对内燃机的噪声和废气污染都作了法律上的限制, 这种限制有越来越严格的趋势, 且对内燃机的研制有着重大的影响。为此我国已颁布了载重汽车的噪声及废气的污染量限制标准、中小功率的内燃机噪声限制标准、工程机械噪声的部颁标准等。为降低内燃机噪声及排放污染, 许多国家进行了大量的研究。

5. 内燃机操纵自动化 近年来, 由于微型电子计算机的迅速发展, 促进了内燃机操纵自动化的进程。例如, 利用微机对柴油机的喷油提前角、喷油量以及废气排放量等进行电子控制。这样可以在短时间内对发动机或整机进行最优性能选择, 以保证发动机在各种工况下, 既可获得良好的经济性, 又可限制对环境的污染量, 还可改善操纵人员的工作条件, 有利于提高生产率。因此, 这也是内燃机的重要发展趋势之一。

6. 提高内燃机工作可靠性及使用寿命 任何一台先进的内燃机, 不仅要有先进的性能指标, 而且还应有足够的工作可靠性及使用寿命。改进设计, 使零部件所受应力不致过高, 大力开发新结构、新材料(包括陶瓷)、新工艺的研究, 提高使用维修水平等, 对提高内燃机的工作可靠性及使用寿命有着重要的意义。现代工程机械用内燃机第一次大修前的使用寿命约为10000~25000h。

三、内燃机的分类与型号编制

(一) 内燃机的分类

(1) 按所用的主要燃料分类(国标按此分类), 可分为柴油机、汽油机、煤气机、氢气机等。

(2) 按完成一个工作循环的行(冲)程数分类, 可分成四行程内燃机和二行程内燃机。

(3) 按气缸数及其排列形式分类, 可分为单缸机与多缸机。单缸机又可分为立式和卧式; 多缸机又可分为直列立式, 对置卧式, V型, X型, H型, W型及星型等, 如图0-0-1所示。

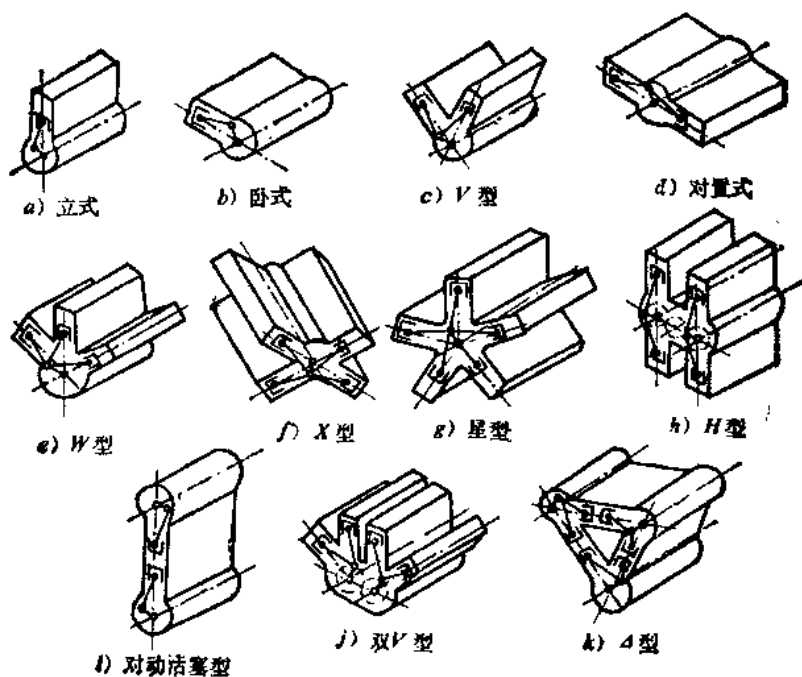


图 0-0-1 内燃机的结构形式

(4) 按着火方式分类, 可分为压燃式与点燃式内燃机。

(5) 按进气方式分类, 可分为自然进气(或称非增压)式与增压进气式内燃机。

(6) 按冷却方式分类, 可分为水冷式与风冷式内燃机。

(7) 按标定转速高低分类, 可分为高速内燃机(1000r/min以上); 中速内燃机(600~1000r/min); 低速内燃机(600r/min以下)。

(8) 按活塞的运动方式分类, 可分为往复式活塞式与旋转活塞式内燃机。

(9) 按用途分类, 可分为移动式与固定式内燃机。移动式的包括工程机械用、汽车用、拖拉机用、船用及农用内燃机等; 固定式的包括发电用及排灌用内燃机等。

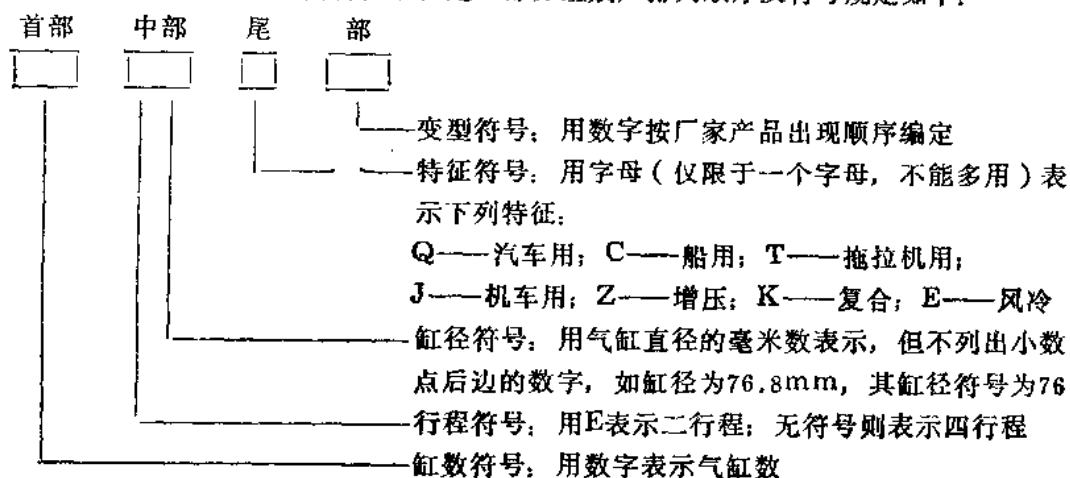
(二) 内燃机产品的型号编制规则

GB725-65 为内燃机型号编制规则的国家标准。该标准适用于各种类型活塞式内燃机(以下简称内燃机)的产品命名和型号的统一编制(特种用途的内燃机经主管部门批准可另行编号)。其主要规则如下:

(1) 内燃机产品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) 内燃机型号由阿拉伯数字(以下简称数字)和汉语拼音文字的首位字母(以下简称字母)组成。为避免字母重复, 也可使用其他汉语拼音字母, 但不得使用其他文字或代号。

(3) 内燃机型号依次由首、中、尾三部分组成, 排列顺序及符号规定如下:



按上述规定举例如下:

1E56F汽油机——表示单缸机, 二行程, 缸径56mm, 风冷式。

4100Q-4汽油机——表示四缸, 四行程, 缸径100mm, 汽车用, 第四种变型产品, 水冷式。

6130Z柴油机——表示六缸, 四行程, 缸径130mm, 增压, 水冷式。

6135K-2柴油机——表示六缸, 四行程, 缸径135mm, 水冷式, 工程机械用(K除表示复合意义外, 上海柴油机厂又将K作为工程机械用的特征符号), 第二种变型产品。

12E230C柴油机——表示12缸, 二行程, 缸径230mm, 船用, 水冷式。

第一篇 内 燃 机 构 造

第一章 内燃机的基本组成和工作原理

第一节 内燃机的基本组成

内燃机是一种比较复杂的机器，其型式有多种，具体构造也各异。为了保证内燃机能正常地运转和更好地实现能量转换，它一般由下列机构和系统所组成（图1-1-1和图1-1-2）。

1. 机体与曲柄连杆机构 机体是由气缸盖、气缸体、曲轴箱、油底壳等组成的固定件，内燃机的运动件和辅助系统都支承和安装在它上面；它又分别是配气机构、冷却和润滑等系统的组成部分。气缸盖、气缸孔内壁还和活塞顶共同组成燃烧室，燃油在燃烧室内燃烧，使气体膨胀而推动活塞运动。

曲柄连杆机构包括活塞组、连杆组、曲轴飞轮组等内燃机的主要运动件。它的功用是将活塞的往复运动转变为曲轴的旋转运动，并将作用在活塞上的燃气压力转变为扭矩，通过飞轮向外输出。

2. 配气机构与进排气系 配气机构由气门组、气门传动组等组成。进排气系由空气滤清器、进排气管与消声器等零部件组成。配气机构与进排气系亦称配气系，其功用是按一定要求定时地吸入新鲜空气（对柴油机而言）或可燃混合气（对汽油机而言），并将燃烧后的废气排出机外。

3. 燃料供给系 燃料供给系的功用是向内燃机气缸内供给燃料。由于所用燃料及可燃混合气形成方法的不同，柴油机与汽油机燃料供给系的组成和结构也不同。

柴油机燃料供给系一般由柴油箱、输油泵、柴油滤清器、喷油泵、喷油器及调速器等组成。它定时、定量、定压地将燃料喷入燃烧室内。

汽油机燃料系一般由汽油箱、输油泵、汽油滤清器及化油器等组成。根据汽油机的工作要求，汽油与空气按一定比例在化油器内混合而形成可燃混合气，并经进气管被吸入气缸。

4. 润滑系 润滑系的功用是将润滑油以一定压力连续地送到内燃机各运动件的摩擦表面，起减摩、冷却、净化、密封、缓冲及防锈等作用，保证内燃机能正常工作，并延长使用寿命。它主要由油底壳、机油泵、机油滤清器、机油散热器以及各种阀门、润滑油道等组成。

5. 冷却系 冷却系的功用是适当冷却高温机件，以保证内燃机工作时温度正常。按所用冷却介质的不同，冷却系可分为水冷却系和空气冷却系两类。水冷却系主要由散热器、风扇、水泵、气缸体和气缸盖中的冷却水套、节温器等组成。而空气冷却系则主要由气缸

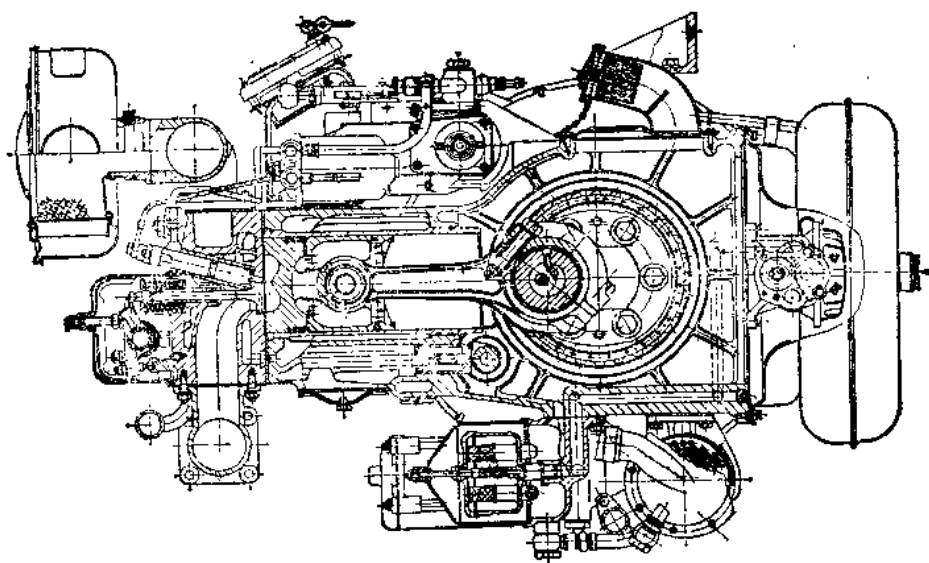
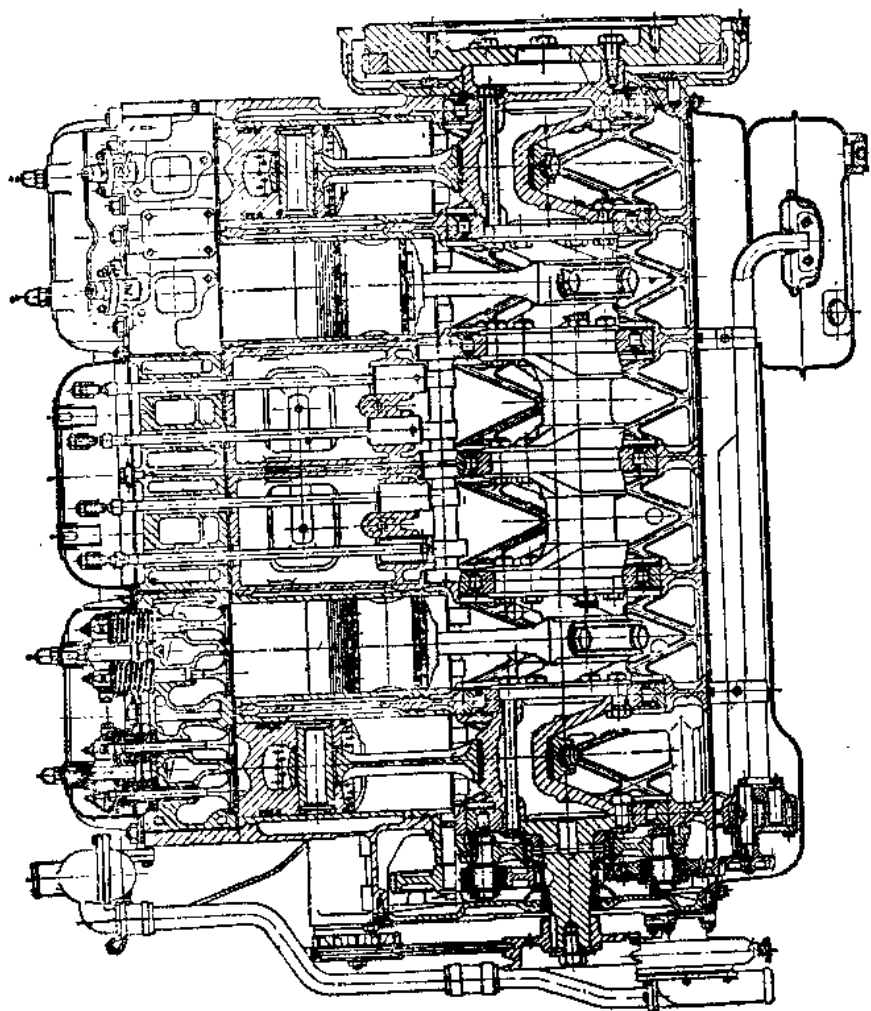


图 1-1-1 6135G型柴油机纵横剖面图



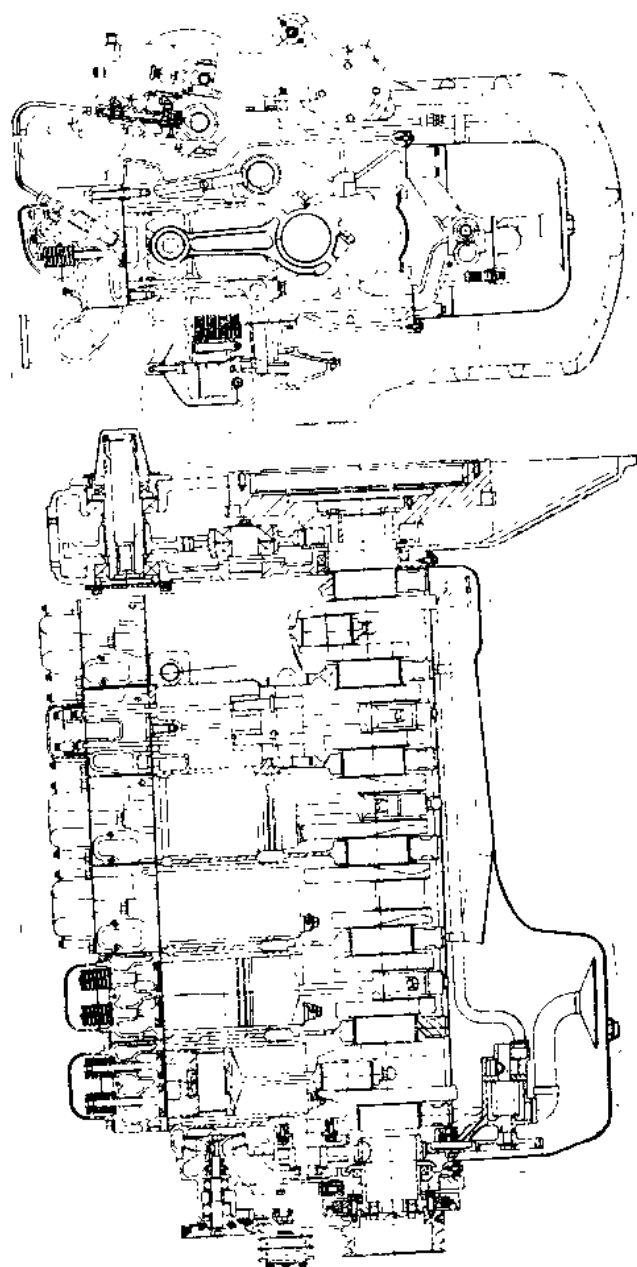


图 1-1-2 6130F₁型柴油机的纵、横剖面图