

农机工人技术培训教材

内燃机装试工艺学

(初、中级)

机械工业部农机工业局 统编

机械工业出版社

农机工人技术培训教材

内燃机装试工艺学

(初、中级)

机械工业部农机工业局 统编



机械工业出版社

1029 12

本书简明阐述了内燃机的工作原理和动力分析,对内燃机装试工人必备的基本知识和质量管理知识;内燃机试车和检查工人必需的试验知识等作了介绍。并结合实际叙述了内燃机各个系统的构成及装配、检查要点;还对新发展起来的清洗、厌氧胶、密封胶的应用技术也作了介绍,是一本内容比较全面、系统、新颖的内燃机技术工人培训教材,也可供在职内燃机装配、试车及检查工人和工艺技术人员参考。

本书由高大威、李仲发、于光海同志编写,高大威任主编。其中第七、九、十三、十五章由高大威执笔;第一、二、八、十四章由李仲发执笔;第三、四、五、六、十、十一、十二章由于光海执笔。王炳荣、张德忠审稿。

农机工人技术培训教材

内燃机装试工艺学

(初、中 级)

机械工业部农机工业局 统编

•
责任编辑:朱 华

封面设计:刘 代

•
机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

•
开本 787×1092 1/16·印张11 1/2·字数 278 千字

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数 0,001—1,882·定价:2.50 元

•
统一书号:15033·6946

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训是智力开发的一件大事，也是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容；才能逐步建立起正规的工人技术教育制度体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全中国农机行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套农机有关专业工种的初级、中级工人技术培训教材。

这套教材编写的依据是农业机械部一九八二年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和农机行业的特点，既坚持“少而精”的原则，又注意了知识的科学性、系统性、完整性，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。

这套教材的出版，得到了有关省市机械（农机）厅、局和有关企业、学校的大力支持，在此，特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部农机工业局
工人技术培训教材编审领导小组
一九八六年三月

目 录

前言

绪论	1
第一节 概述	1
第二节 内燃机的分类	3
第三节 内燃机产品名称和型号编制规则	4
思考题	5
第一章 内燃机的基本构造和	
工作原理	6
第一节 内燃机的基本构造	6
第二节 内燃机的工作原理	7
第三节 内燃机的性能指标	17
第四节 内燃机的热平衡	21
思考题	23
第二章 运动及动力分析	24
第一节 中心曲柄—连杆机构的	
运动分析	24
第二节 中心曲柄—连杆机构的	
动力分析	27
第三节 单缸与多缸发动机的平	
衡分析	31
思考题	33
第三章 装配的基本常识	34
第一节 装配前的准备工作	34
第二节 零件的清洗	4
第三节 常用的装配工具	37
第四节 常用设备	42
第五节 厌氧胶	45
第六节 密封	49
第七节 固定联接的装配	55
第八节 轴承的装配	59
第九节 齿轮的装配	60
思考题	62
第四章 机体组件	63
第一节 机体	63
第二节 气缸套	65
第三节 气缸垫、气缸盖、油底壳	70
思考题	71

第五章 曲轴、飞轮部件	72
第一节 曲轴	72
第二节 曲轴的轴向定位	73
第三节 主轴瓦的装配、拂刮和检查	74
第四节 圆盘组合式曲轴的装配过程	76
第五节 动平衡	77
第六节 飞轮	79
第七节 扭振减振器	79
思考题	80
第六章 活塞连杆部件	81
第一节 活塞	81
第二节 活塞环	83
第三节 活塞环的装配	85
第四节 活塞销	87
第五节 连杆组	89
第六节 活塞连杆部件的装配	90
思考题	91
第七章 配气定时部件	92
第一节 结构介绍	92
第二节 气门间隙	96
第三节 装配与检查	97
思考题	102
第八章 进、排气系统	103
第一节 结构介绍	103
第二节 装配与检查注意事项	105
思考题	105
第九章 燃油系统	106
第一节 柴油机的燃油系统	106
第二节 汽油机的燃油系统	116
思考题	120
第十章 润滑系统	121
第一节 润滑的功用及常见的润	
滑方式	122
第二节 润滑油路	123
第三节 润滑系统的主要机件	124
思考题	130
第十一章 冷却系统	131

第一节	水冷却方式	131	第五节	试验的分类及目的	149
第二节	水泵的装试工作	138	第六节	常见的几种试验	150
第三节	风冷却方式	138	第七节	试验设备及仪表	157
思考题		139	思考题		161
第十二章	起动系统	140	第十四章	柴油机增压	162
第一节	人力起动	140	第一节	基本概念	162
第二节	电动机起动	140	第二节	涡轮增压器的结构与原理简介	164
第三节	用汽油机起动柴油机	142	第三节	涡轮增压器型号编制规则	166
第四节	压缩空气起动	143	第四节	涡轮增压器的装配及检验	167
思考题		144	思考题		170
第十三章	出厂试车及特性试验	145	第十五章	全面质量管理	171
第一节	试车前的准备工作	145	第一节	什么是全面质量管理	171
第二节	试验时的注意事项	146	第二节	现场质量控制	173
第三节	试车过程中的检查与调整	147	第三节	装试中常用的质量管理方法	175
第四节	出厂试车的交验与交验后的工作	148	思考题		178

绪 论

第一节 概 述

将某一种能量转变为机械能的机器称为原动机或发动机。按照能源的不同,发动机可分为风力发动机(简称风力机)、水力发动机(简称水力机)、热能发动机(简称热机),还有太阳能发动机和原子能发动机等。

热能发动机的能量转变过程是很复杂的,其燃料的化学能先经过燃烧转变为热能,再由热能转变为机械能,从而对外作功。热能发动机根据燃料燃烧的地点可分为外燃机和内燃机两大类。外燃机是燃料在发动机外部燃烧的热机,如蒸汽机是典型代表。它是用燃料加热锅炉里的水,使之变成蒸汽,蒸汽经过管道输送到发动机内部,利用蒸汽膨胀时产生力的特性,推动蒸汽机的活动部件对外作功。内燃机是燃料直接在发动机内部燃烧的热机,如柴油机和汽油机等。通常说的发动机一般就理解为热能发动机的内燃机。

一、内燃机的优点

1. 对能量的利用率高

内燃机能灵活启动和停车,起动前及停车后不消耗燃料。起动后,可根据负荷的实际需要,灵敏地改变燃料的供应量。燃料是在气缸里直接燃烧——膨胀作功,不象外燃机在机器外部燃烧有许多能量被损耗掉。目前的科学技术水平可使柴油机的热效率高达46%左右,汽油机的热效率可高达30%左右,而蒸汽机的热效率只有16%以下。所以内燃机的经济性是热能发动机中的佼佼者。

2. 功率和转速范围宽广、适应性好

目前世界上柴油机的单机最小功率不足1kW,最大功率可达4万多kW。大型低速船用柴油机的转速仅每分钟几十转到一百多转,而小型高速车用柴油机的转速最高可达每分钟四千转以上,汽油机还可更高。同一型号的内燃机略经改装后,可以适应各种不同环境、不同用途的需要。

3. 结构紧凑、轻巧,便于移动

内燃机不象蒸汽机(外燃机)需要庞大的锅炉、冷凝器等辅助设备,用水量也小,因此它的比重量(即单位功率的重量)较小,现在一般柴油机仅为2~3kg/kW,甚至可以低于1kg/kW,所以适合作为移动式动力装置(如汽车、工程机械等)。

4. 起动迅速,工作可靠,操作方便

在正常情况下,在几秒钟之内即可起动,并在很短时间内达到最大功率和最高转速,这在外燃机是办不到的。在正常运行过程中,不需要进行繁重复杂的操作,而且可以远距离控制。

5. 水消耗量少

内燃机用水主要是循环冷却的需要,不象蒸汽机是以水作为工质。所以内燃机对水的消耗量很少,也不需许多补充量,这个优点对于缺水或水质不好的地区更具有特殊的意义。

二、内燃机的缺点

1. 不但对燃料成分要求高，并对燃料的清洁度要求也很严格。
2. 结构复杂，零部件的加工、装配和维修等技术要求都很高。
3. 噪声大，对空气污染较重。

三、装配、试验、检查工作的重要性

内燃机自十九世纪末问世以来，虽然还不足一百年的历史，但是它的优点已被充分肯定，经全世界的科学技术工作者及全体内燃机制造业工人的共同努力，优点得到发扬，缺点不断克服，促使工业上、农业上、交通运输业和国防工业等各个方面都少不了内燃机。它在促进国民经济发展中起着很重要的作用。

内燃机是一种很复杂的机器，不是简单零件的拼凑，而是由上千个形状复杂、形状和尺寸精密的零件按科学的方法和程序组装而成的，对于各个部件都有严格的精度要求，尤其是对于作往复运动和旋转运动的部件（如活塞连杆组、曲轴组、机油泵等）更是如此，有时，甚至丝毫差错将会造成机毁人亡的严重后果。

生产的目的是用最少的生产要素，按规定时间生产出满足需要质量的产品。所谓生产要素主要是原材料或零部件。生产过程就是由领导干部、工程技术人员、管理人员、生产工人在各自岗位上发挥积极主动性，把生产要素转变成经济财富的过程。生产过程的优劣可以导致是否浪费了生产要素；是否延长了生产过程；是否在生产过程中耗费了很大资金，最后是否造出了危害人民身体健康和损害社会利益的产品。所谓质量是指该产品能够满足使用要求的各种特性的总和，一般包括性能（包括效率）、可靠性（如运转成功概率、可维修性、抗御环境的能力等）、适宜性（如人身安全、易操作性、互换性、抗御环境的能力等）及外观（如造型、颜色、光洁等）等几个方面。

生产过程大致可分为以下几个环节：市场调查→可行性分析→方案论证→产品开发决策→产品设计→编制工艺→生产技术准备→采购→夹具制造→编制生产计划→组织生产→产品检验→装配→成品试验→销售→用户服务→用户意见反馈→改进设计→批量生产→准备→小批试制→小批检定→批量生产，这些环节之间不仅有相互联系，而且要按一定的程序进行才能生产出产品。为达到各阶段的目标，必须要组织人员、提供设备、应用技术知识，按日程与进度要求有程序地衔接生产过程的各个环节。否则不仅造成生产紊乱，而且不能按时交货。

装配和成品试验及检验是生产过程的重要环节之一，欲使生产过程稳定，必须控制影响生产过程的因素，从而保证产品质量的稳定。影响生产状态的因素很多，但主要是人、材料、机械、作业方法、环境和计测这六大要素。其中人是最重要和关键的因素，如果只有好的材料和机械设备，而工作人员没有质量第一的意识，没有高度质量责任感，没有旺盛的工作热情，没有足够的技术知识和技能，要想生产出优质产品是不可能的。每个装配、试车、检验工人都要有熟练的技术，在工作中一定按工艺文件要求严格把关，根据岗位责任制的要求精心操作，一丝不苟，把高质量的产品按期、按量地交给用户，使内燃机在四化建设中发挥应有的作用。否则，即使加工工人所制造的零件都是优质品，但由于某一个装试工人的疏忽大意也会造成产品不合格，甚至成为一堆废品。

第二节 内燃机的分类

根据内燃机的基本工作原理可分为往复式的和旋转式的两类。旋转式的又可分为活塞式的和燃气轮机两种，其中以往复活塞式内燃机使用最广泛。平时所说的内燃机就是指往复活塞式内燃机。

内燃机可分为以下各种类型：

一、按所用燃料分类

1. 柴油机——以柴油为燃料。
2. 汽油机——以汽油为燃料。
3. 煤气机——以煤气为燃料。
4. 天然气机——以天然气为燃料。

二、按完成一个工作循环的冲程数分类

1. 二冲程机——气缸内活塞移动二个冲程（曲轴旋转一圈），完成一个工作循环。
2. 四冲程机——气缸内活塞移动四个冲程（曲轴旋转二圈），完成一个工作循环。

三、按点火方式分类

1. 强制点火式内燃机——此类内燃机采用电火花点燃可燃混合气，如汽油机和煤气机即是。
2. 压燃式内燃机——此类内燃机利用气缸内的空气在压缩后温度高于燃油的自燃点，从而使可燃混合气自行点火燃烧，如柴油机即是。

四、按气缸数目分类

1. 单缸机——一台内燃机只有一个气缸。
2. 多缸机——一台内燃机具有两个或两个以上气缸。

五、按气缸排列方式分类

1. 直列立式——气缸中心线在同一垂直平面内。
2. 直列卧式——气缸中心线在同一水平平面内。
3. V型式——气缸中心线分别在两个平面内，该两个平面相交呈英文字母“V”形。
4. V型式的组合，如X、W及星形等。

六、按活塞平均速度或额定转速分类（这种分类无明显界限，而且二者不完全一致，仅作参考）

1. 高速机——活塞平均速度高于9m/s或额定转速高于1000r/min的内燃机。
2. 中速机——活塞平均速度为6~9m/s或额定转速为600~1000r/min的内燃机。
3. 低速机——活塞平均速度低于6m/s或额定转速低于600r/min的内燃机。

七、按冷却方式分类

1. 风冷式——以空气作为冷却介质。
2. 水冷式——以水作为冷却介质。

八、按进气压力分类

1. 非增压式（又称自然吸入式）——无增压器，空气是靠活塞的抽吸作用进入气缸的。
2. 增压式——有增压器，空气通过增压器提高压力后才进入气缸。

九、按用途分类

1. 固定式——内燃机在一个固定位置进行工作，如钻井、发电等所用的内燃机。
2. 移动式——内燃机作为移动机械的动力，如汽车、拖拉机用、船舶的主机和辅机、机车用内燃机等。

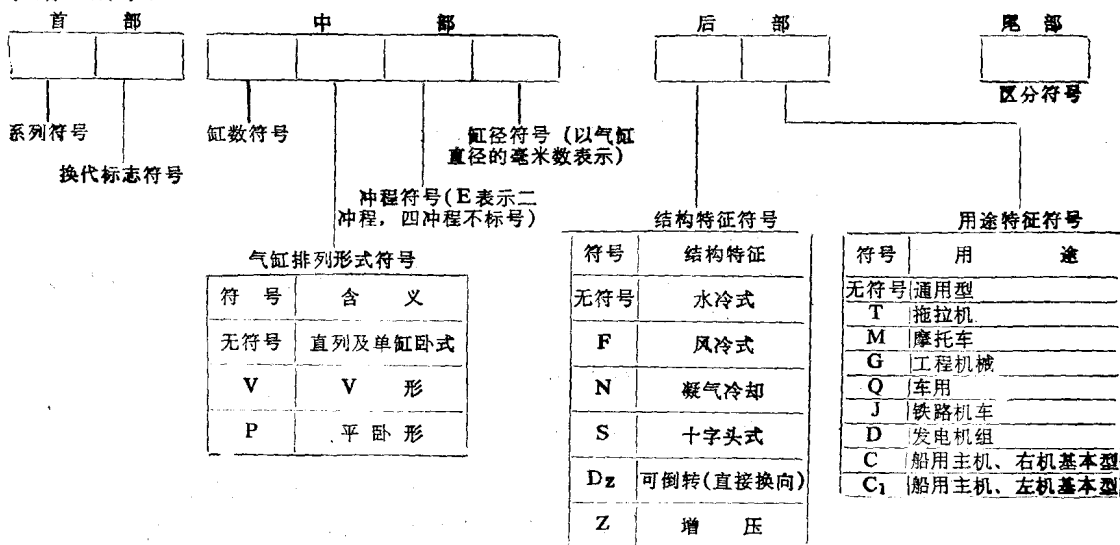
第三节 内燃机产品名称和型号编制规则

为了便于内燃机的制造、管理和使用，我国制定了《内燃机产品名称和型号编制规则》，已于1965年首次颁布，在1982年重申确认为国家标准，其编号是GB 725-82。该标准仅适用于往复内燃机，作为命名产品名称和型号的统一规定。特种用途的内燃机经主管部门批准可另作补充规定。该标准摘要如下：

一、内燃机产品名称均按所采用的燃料命名，例如柴油机、汽油机、煤气机、沼气机、双（多种）燃料发动机等。

二、内燃机型号由阿拉伯数码和汉语拼音字母或象形字组成。

三、内燃机型号依次分为四个部分：首部、中部、后部和尾部，排列顺序及符号规定如表绪-1所示：



表绪-1 内燃机型号排列顺序及符号的规定

根据上述规定, 举例如下:

一、柴油机

1. 165F——表示单缸、四冲程、缸径65mm、风冷。
2. R175——表示换代的、单缸、四冲程、缸径75mm、水冷、通用型。
3. R175ND——表示换代的、单缸、四冲程、缸径75mm、凝气冷却、发电用。
4. X4105——表示X系列、四缸、四冲程、缸径105mm、水冷。
5. 495T——表示四缸、四冲程、缸径95mm、水冷拖拉机用。
6. 6135C——表示六缸、二冲程、缸径135mm、水冷、船用右机。
7. 12VE230ZC₁——表示十二缸、V型、二冲程、缸径230mm、水冷、增压、船用主机左机基本型。

二、汽油机

1. 1E65F——表示单缸、二冲程、缸径65mm、风冷、通用型。
2. 4100Q——表示四缸、四冲程、缸径100mm、水冷、车用。

思 考 题

1. 什么叫内燃机?
2. 内燃机有什么优、缺点?
3. 你所生产的内燃机是属于哪一类? 另外再自选一种说明之。
4. 你如何认识自己所担负工作的重要性?

第一章 内燃机的基本构造和工作原理

第一节 内燃机的基本构造

内燃机是一种热机，燃料在气缸中进行着复杂的能量转换过程：先由化学能转换为热能，再由热能转变为机械能。为了保证内燃机能够正常地连续运转和更好地实现能量转换，往复式内燃机的基本构造，都有下列两个机构和六个系统组成（其中点火系统仅在汽油机上才有）。

一、曲柄连杆机构与机体

曲柄连杆机构是内燃机中的运动部件，它由活塞组、连杆组、曲轴组三部分组成。曲柄连杆机构的功能是将活塞的往复运动，通过连杆的作用转化为曲轴的旋转运动，从而实现热能转换为机械能的能量转换过程。

机体的作用是作为内燃机中各机构、各系统的安装骨架，并分别作为它们的组成部分，主要由气缸盖、气缸体、曲轴箱和油底壳等零部件组成。

二、配气机构

配气机构的作用是按内燃机工作循环的需要，定时地向气缸供应充足的新鲜空气（柴油机）或可燃混合气（汽油机），并将废气排出气缸。配气机构主要由气门组和气门传动组两部分组成。

配气机构按其气门安装位置的不同，可分为顶置式和侧置式两种。

三、进、排气系统

进、排气系统主要是向各气缸供给充足的、干净的新鲜空气并保证气缸中的燃烧产物（废气）排除干净。进、排气系统由空气滤清器、进气管、排气管、消音器等零部件组成。

四、燃料供给系统

燃料供给系统的作用是按内燃机工作循环所规定的时间和负荷的需要向气缸中供给适量的燃油。由于柴油机和汽油机两者的可燃混合气形成的方式不同，因此，它们的燃料供给系统有很大的差异。

柴油机的燃料供给系统一般由低压油路和高压油路两部分组成。低压油路中，在输油泵的作用下，将柴油由油箱经过柴油滤清器压入喷油泵，高压油路中，喷油泵在一定的时间间隔内使油压升高，按不同工况所需的供油量，经高压油管输送到喷油器，最后经喷油孔形成雾状喷入燃烧室内。其流动路线为：柴油箱→输油泵→柴油滤清器→喷油泵→高压油管→喷油器→燃烧室。

汽油机的燃料供给系统和柴油机的不同，一般由汽油泵和化油器（即汽化器）所构成。

汽油泵产生抽吸作用，将汽油从汽油箱中吸向化油器，汽油在化油器中与新鲜空气混合成可燃混合气，再通过进气管在进气门开启时，被吸入气缸。

五、润 滑 系 统

润滑系统的功用是将清洁的润滑油通过机油泵的抽吸作用，以一定的压力，不断地送到内燃机各摩擦副，以减少其摩擦损失和磨损，并起到一定的冷却、清洗及防锈作用。

润滑系统的主要机件由机油泵，机油滤清器和机油冷却器等组成。

六、冷 却 系 统

冷却系统的作用是对高温零件（如气缸盖、气缸套等）进行冷却，以保证内燃机的正常工作。内燃机的冷却方式有水冷式和风冷式两种。

风冷式冷却系统比较简单，一般用于小功率的内燃机，其冷却介质是空气，用气缸盖和气缸体上布满的散热片来进行散热。对一些较大功率的风冷式内燃机还需配备风扇，以加强冷却效果。

水冷式冷却系统用水作为冷却介质，将内燃机受热零件的热量带走，它的结构比较复杂。根据冷却水循环方式不同又分为：蒸发式、自然循环和强制循环三种。

七、起 动 系 统

任何机器由静止状态转变为运动状态，都需要借助于外力的作用，当然内燃机也不例外。起动系统的作用就是提供外力，以保证内燃机起动。

内燃机的起动设备主要取决于起动方式。不同的起动方式有不同的起动设备，这将在以后的章节里详细介绍。

八、点 火 系 统

点火系统只用在汽油机上，因此，汽油机要比柴油机多一套电器点火系统。它的功用是按照汽油机各气缸的工作顺序，在适当的时刻供应电火花，点燃混合气，使汽油机正常工作。点火系统的主要组件有蓄电池，发电机，点火线圈，断电-配电器及火花塞等。

第二节 内燃机的工作原理

一、基 本 名 词

1. 上止点和下止点

上止点和下止点是活塞在气缸内做上下往复运动的两个极端位置，如图1-1所示。

(1) 上止点：活塞顶面离曲轴中心线最远的位置，这个位置称为上止点。

(2) 下止点：活塞顶面离曲轴中心线最近的位置，这个位置称为下止点。

2. 活塞冲程

活塞由一个止点移至另一个止点所经过的直线距离称为活塞冲程，用符号 s 表示。

活塞每走一个冲程，曲轴旋转 180° ，活塞冲程等于曲柄半径的两倍，即：

$$s = 2r$$

(1-1)

式中 r ——曲柄半径(cm)。

3. 工作容积

活塞从上止点到下止点所扫过的气缸容积称为气缸工作容积, 用符号 V_a 表示。

$$V_a = \frac{\pi D^2 s}{4 \times 10^3} \quad (1-2)$$

式中 D ——气缸直径(cm);

s ——活塞冲程(cm)。

4. 燃烧室容积 (即余隙容积)

当活塞位于上止点时, 活塞顶上部空间称为燃烧室, 其容积称为燃烧室容积, 用符号 V_c 表示。

5. 气缸总容积

当活塞位于下止点时, 其上部的空间称为气缸总容积, 用符号 V_h 表示。由图1-1所示, 气缸总容积等于燃烧室容积和气缸工作容积之和, 即:

$$V_h = V_c + V_a \quad (1-3)$$

6. 压缩比

气缸总容积和燃烧室容积之比称为压缩比, 它是内燃机的一个极为重要的结构参数, 用符号 ϵ 表示, 即:

$$\epsilon = \frac{V_h}{V_c} \quad (1-4)$$

7. 工质

气缸里燃料的热能转换为机械能所借助的媒介质称为工质。工质以气体最为适宜, 因为它有良好的膨胀性。

8. 工作循环

从工质进入内燃机气缸到做功后废气排出气缸的整个实际过程称为工作循环。

9. 实际充量

每个工作循环里实际进入气缸里的空气 (对柴油机) 或空气与汽油混合气 (对汽油机) 的数量称实际充量。

10. 残余废气

内燃机在完成一个工作循环后, 残留在气缸内并参与下一个工作循环的燃烧产物称残余废气。

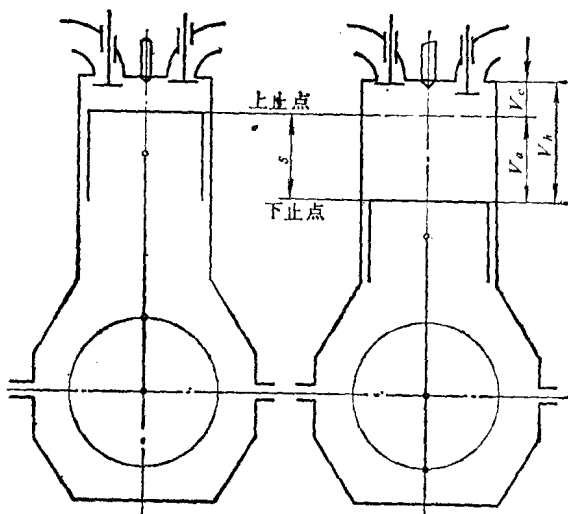


图1-1 内燃机上、下止点和各容积的位置关系

二、内燃机工作原理

内燃机将燃料的热能转换为机械能的过程是按一定规律进行的。首先, 气缸内充入新鲜充量, 接着将新鲜充量进行压缩, 随后被压缩的新鲜充量进行燃烧—膨胀, 推动活塞下移, 并通过连杆的作用使曲轴旋转而对外做功, 最后将燃烧后的废气排出气缸外。

上述充气、压缩、燃烧—膨胀、排气四个连续过程称为内燃机的工作循环。要使内燃机连续不断地工作，就必须使工作循环周而复始地进行下去。

内燃机工作循环，可以在活塞上下移动两次（曲轴旋转两圈 720° ）中完成；也可以在活塞上下移动一次（曲轴旋转一圈 360° ）中完成。前者活塞在曲轴旋转两圈的过程中走过了四个冲程，这种内燃机称之为四冲程内燃机，后者活塞在曲轴旋转一圈的过程中走过了二个冲程，这种内燃机称之为二冲程内燃机。

下面，我们对四冲程内燃机和二冲程内燃机的工作原理作进一步的研究。

1. 单缸四冲程柴油机的工作原理

(1) 各过程进行情况

图1-2所示的a、b、c、d四个简图分别表示了四冲程柴油机工作过程进行的情况和曲柄连杆机构有关动作的位置；a'、b'、c'、d'四个简图表示了四冲程柴油机在一个工作循环内气缸中燃气的压力 p 随着活塞位移 x (v)而变化的情形。

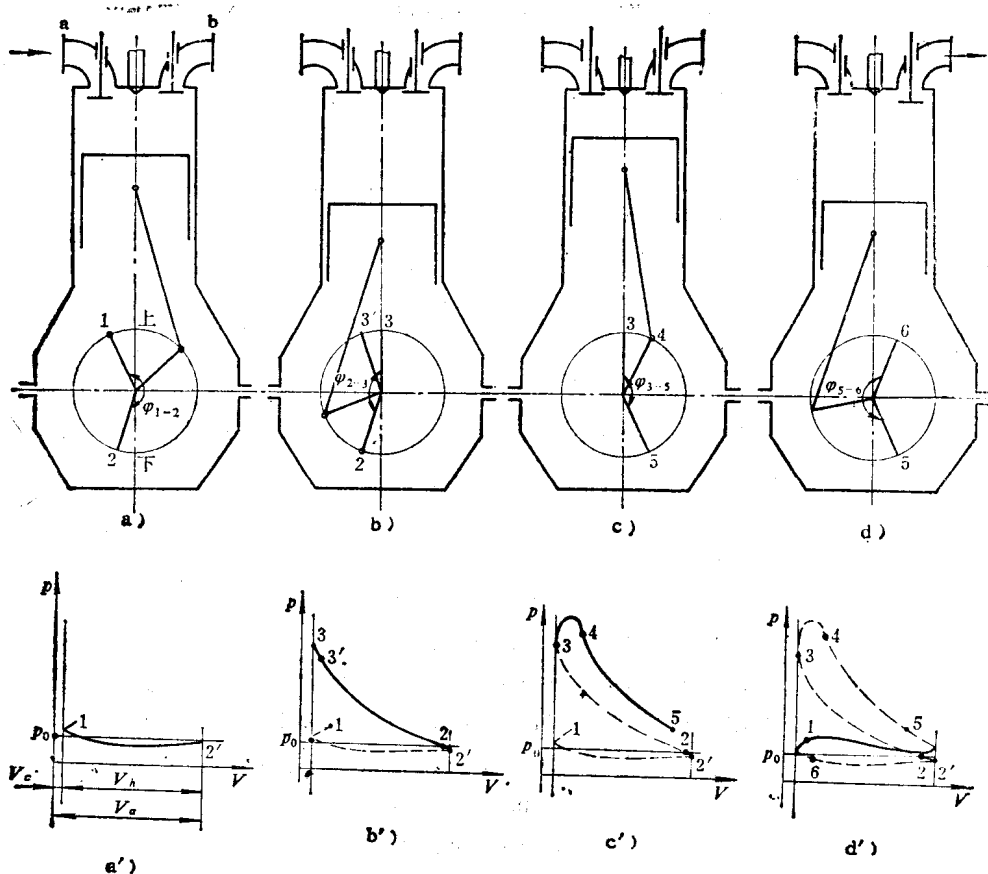


图1-2 四冲程柴油机工作原理图

吸气冲程(图1-2a) 活塞从上止点向下移动,这时由配气传动组控制的进气门 a 被顶开,排气门 b 仍关闭着。由于活塞的不断下移,气缸容积不断增加,造成了一定的真空度,气缸内压力下降到大气压力以下,这时空气在气缸内、外压差的作用下和活塞下移时的抽吸作用而不断被吸入气缸。

按理想循环的要求, 活塞在上止点时, 进气门打开, 活塞下移到下止点时, 进气门关闭, 这时曲轴正好从 0° 转到 180° , 但内燃机在实际工作中, 进气门必须在活塞到达上止点前的某一时刻 (图1-2a中 1 的位置) 提前打开, 而不能在上止点时打开, 否则会造成充气不足。

进气门的开启是逐渐由小变大的, 刚打开时, 仅开了一条细缝, 空气由于惯性的作用, 不能立刻进入气缸, 但这时活塞已下移了一小段距离, 这样进入气缸的空气量就要减少。为了弥补这个损失, 必须使进气门在活塞到达上止点前先开启, 当活塞移动到上止点时, 进气门已开得比较大, 在活塞开始向下止点移动时, 气缸内就可以多吸入一些空气, 这就弥补了进气量的不足。

同样, 进气门的关闭时刻, 也不是设计在活塞刚好到达下止点的位置, 因为进气冲程结束时, 外界空气由于它的惯性作用, 仍以很高的速度冲入气缸。如果活塞一到下止点进气门马上关闭, 那么, 势必把这一部分空气关在进气门外, 使进入气缸的空气量减少, 这是不利的。因此, 实际内燃机的进气门是在活塞移动到下止点后的某一时刻 (图1-2a中 2 的位置) 才关闭。

从以上分析可以看出, 实际内燃机吸气冲程的曲轴转角大于 180° , 即图1-2a中表明的 φ_{1-2} 角

另外, 在吸气过程中, 由于空气所流经的空气滤清器、进气管道和进气门的阻力因素, 使吸气冲程中的气缸压力总低于大气压力, 一般为:

非增压柴油机: $P_a = (0.8 \sim 0.9)P_0 = 78 \sim 88 (\text{kPa})$

增压柴油机: $P_a = (0.9 \sim 0.95)P_0 = 88 \sim 92 (\text{kPa})$

式中 P_a ——吸气终了气缸中的压力;

P_0 ——大气压力。

至于进入气缸的空气温度, 因为它受到上一循环残留在气缸中的废气和高温机件的加热, 因此, 进气终了时的温度 T_a 总要高于大气温度, 一般为:

非增压四冲程柴油机: $T_a = 310 \sim 330 \text{K}$

增压四冲程柴油机: $T_a = 320 \sim 380 \text{K}$

压缩冲程 (图1-2b) 进气结束后, 活塞在曲轴的作用下继续向上止点移动。从理论上讲, 活塞由下止点开始向上止点移动时, 压缩冲程就开始了。当活塞到达上止点时, 此过程就结束, 这时曲轴从 180° 转到 360° , 但实际上压缩过程是在进气门关闭 (图1-2b中 2 点) 至活塞到达上止点 (图1-2b中 3 点) 这段时间内进行, 进气门 a 和排气门 b 都处在关闭状态。气缸内空气由于被压缩, 其压力和温度也随至上升, 到压缩终了的压力 P_c 和温度 T_c 一般为:

$$P_c = 2900 \sim 4900 (\text{kPa})$$

$$T_c = 750 \sim 1000 (\text{K})$$

由于压缩终了的压力和温度很高, 这就为柴油机中燃料的点火创造了条件 (柴油的自然温度约为 300°C)。这里必须指出: 压缩终了的状态参数 (P_c 、 T_c) 主要决定于空气的压缩程度, 即决定于气缸总容积 V_a 和燃烧室容积 V_c 之比, 就是我们在前面提及的压缩比 ε 。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_a + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_c}{V_c} \quad (1-5)$$

压缩比越大, 压缩终了时的压力 P_c 和温度 T_c 越高, 燃烧速度也越大, 转换成机械能的部

分也越大, 经济性就越好。但是, 压缩比 ε 的提高是受到一定限制的, 因为压缩比过高, 将使柴油机工作粗暴, 机件也容易损坏, 所以压缩比只宜在一定范围内变动, 一般柴油机压缩比约为14~22左右。

燃烧—膨胀冲程 (图1-2c) 燃烧—膨胀冲程也叫作功冲程。从理论上讲, 活塞到达上止点时, 喷油器开始喷油, 并接着燃烧—膨胀, 至活塞移动到下止点时, 这个过程終了, 这时曲轴由360°转到540°。但在实际工作循环中, 当压缩冲程接近終了时, 即在活塞到达上止点前的某一时刻, 柴油就开始从喷油嘴以高压喷入燃烧室, 并和空气很快形成可燃混合气, 随后点火进行燃烧, 放出大量的热量, 使气缸中的压力和温度急剧升高, 这时燃气的最高压力 p_z 和最高温度 T_z 可达到:

直接喷射式柴油机: $p_z = 5880 \sim 8800 (\text{kPa})$

$$T_z = 1800 \sim 2200 (\text{K})$$

预燃室式柴油机: $p_z = 4000 \sim 6800 (\text{kPa})$

$$T_z = 1700 \sim 2700 (\text{K})$$

由于这时进气门和排气门都关闭着, 当活塞移动到上止点后的某一时刻 (图1-2c中4点), 燃烧基本结束。气缸中高温高压的燃气便膨胀而推动活塞向下止点移动, 并通过连杆的作用使曲轴旋转, 对外输出动力。随着活塞的下移, 气缸容积不断增大, 温度和压力也随之下降, 直到排气门开启时, 膨胀过程才结束。这时气缸中的压力 p_b 和温度 T_b 一般为:

$$p_b = 300 \sim 400 (\text{kPa})$$

$$T_b = 800 \sim 1400 (\text{K})$$

在内燃机的实际工作过程中, 为使废气尽可能的排除干净, 排气门的开启也是提前的。当活塞到达下止点前 (图1-2c中5点), 排气已经开始, 图中将燃烧—膨胀冲程用曲轴转角 φ_{3-5} 表示。

排气冲程 (图1-2d) 在理想循环中, 燃烧—膨胀冲程结束时, 活塞正处在下止点位置, 这时排气门打开, 并立即开始排气, 直到活塞再返回上止点时, 排气过程结束, 曲轴正好由540°转到720°。但在实际循环中, 为使废气排除得更加干净, 排气门必须提前打开 (图1-2d中5点), 这时活塞尚在下行。废气靠气缸内、外压力差经排气门排出气缸; 当活塞由下止点上行时, 废气又被活塞推出气缸。但由于燃烧室有一定容积, 排气系统也有一定阻力, 因此, 气缸里的废气不可能被彻底排净, 势必有一部分残留废气在气缸内与下一个循环进入气缸的新鲜空气混合而成为工作混合气, 这当然对柴油机的工作是不利的。残余废气越多, 对下一个循环的不良影响就越大, 所以希望废气排除得越干净越好。

为进一步提高排气效果, 要尽可能设法延长排气过程的持续时间。因此, 排气门不是在活塞到达上止点时关闭, 而是一直延迟到上止点后 (图1-2d中点6) 才关闭。排气过程用曲轴转角 φ_{5-6} 表示。

排气終了时气缸内的压力 P_r 和温度 T_r 分别为:

$$P_r = 100 \sim 120 (\text{kPa})$$

$$T_r = 600 \sim 1000 (\text{K})$$

(2) 示功图与配气定时图

示功图 图1-2下方用 $p-V$ 图表示出一个工作循环内气缸中燃气压力随活塞位移而变化的情形。纵坐标表示气缸内的气体压力 p , 横坐标相当于活塞行程的气缸容积 V 。