

农业机械化

何雄奎 刘亚佳 主编



化学工业出版社
农业科技出版中心

农业机械化

何雄奎 刘亚佳 主编



化学工业出版社
农业科技出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

农业机械化/何雄奎, 刘亚佳主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 2

ISBN 7-5025-8290-8

I. 农… II. ①何…②刘… III. 农业机械化 IV. S23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 013141 号

农业机械化

何雄奎 刘亚佳 主编

责任编辑: 刘兴春

责任校对: 周梦华

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
农业科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 13½ 字数 304 千字

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8290-8

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《农业机械化》编委会

主 编 何雄奎 刘亚佳

副主编 曾爱军 宋卫堂

编写人员 (按姓氏笔画排列):

丁嘉明 叶彩明 刘亚佳

李 辉 李秉礼 吴罗罗

何雄奎 宋卫堂 张林伯

周旺兴 封 俊 胡鸿烈

施森宝 曾爱军

前 言

现代农业发展离不开农业机械化,农业机械化课程是高等院校农科专业的专业基础课程之一。针对农科专业学生特点,在多年教学、科研和生产实践的基础上,本书突破了长期以来按照农业机械类型分别讲解种类繁多的作业机具的内容体系,而是建立了以北方大田农业生产典型机械化种植体系为主线,按照机械化生产过程讲解各类作业机具的基本结构、基本工作原理和基本使用方法的新体系。同时,编者力求从农业生产的实际出发,反映农业机械化在科研、生产和应用方面的最新成果,在大量阅读国内外农业机械和农业工程领域的书籍与文献基础上,充实了在实现全过程机械化生产中的许多新技术和新机具,例如免耕覆盖种植机械化技术、秸秆处理技术、化学除草技术、机械化施肥、节水灌溉技术、种子加工处理技术和田间试验机械化等。新的内容体系把农机与农艺、教学与机械化生产更加紧密地结合起来,较好地符合了农科院校学生的特点,具有农业大学农业机械化教材的特色,同时内容充实,较好地反映了农机学科的新成果和新发展。由于与农科学生所学专业知识结合紧密,本书实践性和应用性强,能使得读者思想开阔,接受得快,理解得深,掌握得牢。

本书由农用动力机械篇和农业生产机械篇两篇内容组成,其中农用动力机械篇包括柴油机、汽油机、拖拉机和电动机等内容;农业生产机械篇包括耕整地机械、种植机械、植保机械、灌溉设备、收获机械和种子加工工艺与机械设备等内容。全书由中国农业大学理学院农业工程教研室的何雄奎、曾爱军、刘亚佳、宋卫堂、封俊等几位老师共同编著,并由何雄奎统稿。

承蒙施森宝、胡鸿烈先生在百忙之中对本书初稿进行了全面审阅,提出了许多非常中肯的修改意见。同时,本书在编写过程中,农业工程教研室的肖健、陶雷、胡军、秦贵详细阅读了初稿,并提出了修改意见。

本书可作为高等农业院校农科专业农业机械化课程教材,也可供从事相关专业师生及科研和工程技术人员使用。

由于作者水平有限,不当之处在所难免,敬请读者指正。

编者

2005年12月

目 录

1 绪论	1	1.3 农业机械化的特点	2
1.1 农业机械化的意义	1	1.4 我国农业机械化的现状和发展趋势	2
1.2 农业机械化的作用	1	1.5 国外农业机械化的发展趋势	3

第一篇 农用动力机械

2 内燃机工作原理	4	4.3 磁电机点火系统	31
2.1 概述	4	4.4 汽油机的使用	34
2.2 内燃机的工作原理	5	5 拖拉机	36
2.3 燃料特性	9	5.1 概述	36
3 柴油机	11	5.2 传动系统	37
3.1 机体零件和曲柄连杆机构	11	5.3 转向系统和制动系统	41
3.2 配气机构	13	5.4 行走系统	43
3.3 燃料供给系统	15	5.5 工作装置	44
3.4 润滑系统	20	5.6 电气设备	47
3.5 冷却系统	22	5.7 拖拉机的使用	48
3.6 柴油机的起动	24	6 感应式异步电动机	51
3.7 柴油机的使用	25	6.1 概述	51
4 汽油机	28	6.2 三相异步电动机	51
4.1 概述	28	6.3 单相感应异步电动机	60
4.2 燃料供给系统	28		

第二篇 农业生产机械

7 耕整地机械	63	10.3 喷灌设备	142
7.1 概述	63	10.4 微灌设备	152
7.2 铧式犁	66	10.5 其他灌溉设备	160
7.3 圆盘耙	76	11 收获机械	161
7.4 旋耕机	77	11.1 概述	161
7.5 联合整地机械	80	11.2 谷物联合收获机	162
7.6 秸秆切碎还田机械	80	11.3 玉米收获机械	173
8 种植机械	84	11.4 其他作物收获机械	177
8.1 播种机械	84	12 种子加工工艺与机械设备	181
8.2 栽植机械	103	12.1 种子加工处理方法与工艺	181
8.3 施肥机械	108	12.2 种子清选分级机械	186
9 植保机械	110	12.3 种子处理设备	193
9.1 概述	110	12.4 种子干燥机械	197
9.2 手动植保机械	111	13 典型的农业生产过程机械化模式	202
9.3 机动植保机械	116	13.1 两茬平播条件下的“三秋”机 械化	202
9.4 植保机械的主要工作部件	124	13.2 两茬平播条件下的“三夏”机 械化	204
9.5 其他植保机械	131	参考文献	207
10 灌溉设备	134		
10.1 概述	134		
10.2 水泵	135		

1 绪 论

1.1 农业机械化的意义

我国是一个农业大国,长期以来有 80% 的人口从事繁重而低效的农业生产劳动。自 20 世纪 80 年代改革开放以来,我国的农业生产和工业化进程都进入了一个飞速发展的时期,越来越多的农民摆脱了贫困,解决了温饱,并正在迈向小康;与此同时,大量的农村劳动力开始从农业生产转向工业部门、乡镇企业和第三产业,从而对农业生产过程实现机械化提出了要求。同时,为进一步发展农业生产,就必须要用先进的科学技术和装备来改造传统的农业生产模式,只有这样才能提高劳动生产率,降低劳动强度,提高单位面积产量,增加农民的收入。

综观世界上,不论是地多人少的美国、人多地少的日本还是处于平均水平的德国,都是随着国民经济的发展和农业产业结构的调整促进了农业机械化程度的提高,目前世界上发达国家的农业人口占总人口的比例都在 10% 以内,因此农业机械化是实现农业劳动力转移和农业产业结构调整的保证,而农业机械化的发展又依赖于上述两者。由此可见,农业劳动力占总劳动力的比例越低,国民经济收入的水平就越高,农业机械化的程度也越高,而随着国民经济的不断发展,农业劳动力的不断转移,就要求不断提高农业劳动生产率,必然对农业机械化的需求越高,所以农业机械化是国民经济发展的必然结果,也是农业现代化的主要特征。

广义上的农业生产包括了农、林、牧、副、渔等许多方面,凡是用于这方面的各种装备和机械(包括田间作业机械、牧草机械、禽畜饲养机械、林业机械、农产品加工机械、保护地设施、排灌机械及运输机械等)都属于农业机械的范畴,因此,要全面实现农业机械化是一个发展过程。本书所述的农业机械主要为农田生产过程中采用的机械。

1.2 农业机械化的作用

根据国、内外农业机械化的经验,农业机械化在农业生产中所显示的作用可以归纳为以下几点。

① 农业机械作业因其动力大,作业速度快,可以极大地提高劳动生产率,从而节省出农业劳动力从事其他产业,提高收入。

② 农业机械作业的效率,可以及时地完成各项农业作业,从而保证了可贵的农时而获得增产效果。

③ 使用各种机械进行抗旱、排涝、防治病虫害等,可以有效地抵御自然灾害,减少损失,达到稳产目的。

④ 使用机械作业可以实现人、畜力无法做到的增产节支的措施,如深耕、深松、精量播种、精确施肥、精确喷药、喷灌、滴灌等。

⑤ 机械作业可以减轻劳动强度和改善劳动条件,有利于消除工农差别和城乡差别。

⑥ 最后也是最重要的是,农业生产尤其是种植业生产,因其生产周期长、产值低,必须实行规模经营才能提高效益,而农业机械化则是农业生产规模经营必不可

少的手段。

1.3 农业机械化的特点

农业机械的工作对象是生物、土壤、化学物质等，加之农业生产过程的复杂性和各种技术经济因素的影响，就形成了农业机械不同于其他机械，因此正确了解农业机械化的特点，对于更好地学习农业机械，自觉地把工程知识和技术应用于农业生产是非常重要的，农业机械化的特点主要有以下几个方面。

(1) 地区差异大

由于各地区的土壤类型、作物种类、耕作制度以及栽培方式等差异很大，即使同一种作物也因地区不同而有不同的种植方式，造成了农业机械的种类和类型、农业机械化作业的方式等多种多样有明显的地区性，因此在配备和选购农业机械时必须注意适应本地区的要求，一般都要先经试用再购买。即使这样，有时现有的农业机械（尤其是农具）仍然不符合当地的要求，就需使用单位自己对新购置的机具进行必要的改装，所以机具的改装工作是农业机械化的重要内容。

(2) 工作条件恶劣

农业机械作业大多是在露天和移动状态下进行，工作对象主要是土壤和作物，而土壤状况有硬有软，有干有湿，地面的高低不平，作物也是多种多样，加上气候和气温的变化，易受风沙、雨水等侵蚀，农业机械所受到的锈蚀、磨损、振动都比较大，因此农业机械应该有很高的制造质量，能够坚固耐用，在使用中更要加强维护保养，尽量减少磨损，延长其使用寿命。

(3) 农时紧迫

大多数农业作业的农时紧迫，因此农机作业的时间很短，如何在作业过程中最大限度地发挥工效，不出故障，更不能发生事故，除了保证作业质量以外，保证农机具的良好技术状态和工作可靠性就成为农机使用的关键问题。由于农机使用的时间短，造成停放不用的时间很长，所以做好农机具长期停放期间的保管工作就十分重要。此外，农业生产环节多以大田生产过程为例，包括耕地、整地、播种、除草、施肥、灌溉、病虫害防治、收获等环节，为完成一项作业就需要一种机具，造成每年的利用率很低，如何使农机具达到“一机多用”也是配备和购置机械时必须考虑的重要原则。

(4) 操作要求高

农业机械化作业和相应的农机具种类很多，作业对象变化大，加上农时紧迫，每项作业都要达到效率高，作业质量好，工作可靠，这就对农机操作人员提出了很高的要求。农机操作人员不但能够按时、高质量地完成各项农业机械化作业外，还应会维护保养、会排除故障、会必要的改装等，既要掌握农机的技能，还应懂得农业知识，所以农机操作人员都应经过专业培训。

1.4 我国农业机械化的现状和发展趋势

目前我国的农业机械化正处在蓬勃发展的初级阶段，工业化进程的加快，农业生产技术特别是生物技术的飞速发展，农村劳动力的大量转移以及农业生产体制的变革等都不断地推动着我国农业机械化事业的发展。

我国农村装备的总动力，拖拉机的保有量，与拖拉机配套的农机具、农用运输车、联合收获机等数量以及在耕地、播种和收获等作业的机械化水平，每年都在以很快的速度增长。

总结我国多年来农业机械化的发展，呈现出几个明显的发展趋势。

① 农业机械化首先是从劳动强度大的农业作业开始的，如耕地、播种、排灌、收获、植保等作业的机械化水平较高，而农产品加工、蔬菜种植等方面的机械化水平则相对较低。

② 农业机械化的发展是不平衡的，工业发达、经济条件好的地区的农业机械化水平明显高于经济欠发达地区；平原地区的农业机械化水平高于山区。

③ 我国幅员广阔，不但机具种类不同，其大小也不同，北方地区的农机具以大、中型为主，南方地区则以中、小型为主。

④ 随着农业机械化的不断发展，我国各地的科研单位、院校以及农机工作人员结合当地条件研制和生产出各种符合当地农业技术要求并具有我国自己特色的农机具，填补了我国在该领域空白，这些机具结构合理，操作容易，使用可靠，深受农民朋友欢迎。

1.5 国外农业机械化的发展趋势

国外发达国家在 20 世纪 70 年代前后就已实现了农业机械化，发展到现在已具有很高水平，但由于自然条件、土地和农业生产状况等不同，实现农业机械化的进程也不一样，如在以地多人少的美国为代表的国家是以发展大型农业机械为主，而以地少人多的日本为代表的国家则是以中、小型农业机械为主。尽管如此，他们实现农业机械化的过程基本相似，首先，农业机械化是伴随着工业化进程的加快而迅速发展起来的；其次，农业机械化都是随着农业生产规模不断扩大而发展起来的；此外，农业机械化能够确保丰产丰收，改善劳动条件等，也是农业机械化发展的重要因素。

目前国外农业机械化具有以下发展趋势。

① 拖拉机的平均功率不断增加。为了提高单机的作业生产率和扩大作业机械的功能，农业机械的平均功率不断增大，机组作业速度也相应提高，与拖拉机配套的农具种类不断增加，作业项目更加多样化，拖拉机的利用率更高。尤其是在人少地多、农业生产规模大的北美地区，农业机械继续向大型、宽幅、高速和高生产率的方向发展。在一般发达国家和发展中国家仍以中、小型农业机械为主，但其平均功率也在不断增加。

② 大力发展联合作业机械，联合作业机械可以一次完成两种或数种作业，例如耕、耙联合作业机组，耕、整、播联合作业机组，播种、施肥联合机组等，这样既可提高劳动生产率，抢农时，降低成本，又可减少机器的类型和在田间的运行次数，避免压实土壤。

③ 各种高新技术，如液压技术、电子技术、计算机技术、网络技术、GPS 全球定位系统等在农业机械上的应用更加广泛。例如，在现代大型农业机械上，几乎所有主要部件的操纵都采用液压装置，如离合器、变速器的动力换挡和转向机构等，有的传动机构直接采用液压装置；又如，大型联合收获机装备了 GPS 全球卫星定位系统，可以使驾驶员根据作物的状态调整机器的运行参数，以获得最佳的收获效果。

④ 农业机械的可靠性、安全性、使用方便性和工作环境的舒适性等越来越受到重视。例如，在农机上采用振动和噪声小的发动机，增设各种仪表和显示装置，设计制造良好的驾驶室等，从而提高了劳动生产率、作业质量和操作人员的舒适性。

⑤ 农业机械产品向系列化、标准化和通用化方向发展，以满足各种不同农业生产条件的需要。

第一篇 农用动力机械

在农业生产中常用的动力机械包括内燃机、拖拉机、电动机等。

内燃机在实现我国农业、工业、国防和科学技术现代化的过程中担负着重要使命。仅以农业生产为例，内燃机不仅用做拖拉机、汽车的发动机、自走机械的动力，而且还能直接驱动多种农业机械进行固定作业。

拖拉机是一种移动式的动力机械，用途广泛，它与农机具配套可完成耕地、耙地、播种、中耕和收割等项农田作业；以其为动力，可驱动排灌机械、脱粒机械和农副产品加工机械等；在农田基本建设中它可以进行开沟、打洞和推土等作业；还可以完成运输等多项作业。在今天的农业生产中拖拉机已成为一种必不可少的农业动力机械。

电动机是一种把电能转变成机械能的动力机械。它结构简单、造价低廉、工作可靠、使用方便，在有条件的地方，电动机基本上可以取代内燃机进行各项固定作业。

2 内燃机工作原理

2.1 概述

将某种形式的能量转变为机械能的机器统称为发动机，如常见的热力、风力、水力、电力、太阳能、原子能发动机等。发动机按其能量转换形式可分成外燃机和内燃机。如蒸汽机、汽轮机、热气机等属于外燃机；而内燃机是将燃料引入气缸内部燃烧，再经过燃烧膨胀，推动活塞、曲柄连杆机构，从而输出机械功的热力发动机。能量的转化都在气缸内部进行。内燃机的应用范围极其广泛，交通运输、工程机械、农业机械、矿山、石油、发电、船舶等国民经济重要部门与军用领域所需动力，绝大多数来自内燃机。

2.1.1 内燃机的主要分类

内燃机的种类很多，常见的分类方法有：按所用燃料不同，分为柴油机、汽油机及其他代用的液体、气体燃料的内燃机；按着火方式不同，分为点燃式和压燃式；按完成一个工作循环的行程数不同，分为四行程内燃机和二行程内燃机；按气缸数不同，分为单缸、双缸和多缸内燃机；按气缸布置不同，分为立式、卧式、V型、对置式和星型等多缸内燃机；按冷却方式不同，分为水冷式和风冷式；按用途不同，分为农用、车用、船用、固定动力用和发电用内燃机。本书主要介绍农用往复式活塞式内燃机。

2.1.2 内燃机的系列及型号

(1) 内燃机的系列

为提高标准化、通用化、系列化（“三化”）程度，减少机型、统一规格、简化生产和维修、降低生产成本，国家按气缸直径不同将内燃机分为几个系列。在同一系列中包括单缸和多缸机。例如，95系列柴油机有195、295、395、495、695等型

号。用这样的产品系列,就可满足生产上从几千瓦到几百千瓦发动机的不同用途的要求。

(2) 内燃机的型号

为表明内燃机的类型、结构、特征、用途、系列以及换代情况,我国颁布了内燃机名称和型号编制国家标准(GB 725—82)。内燃机型号由阿拉伯数字和汉语拼音文字的首位字母组成,型号由首部、中部和尾部三部分组成。

① 首部 缸数符号,用数字表示。

② 中部 机型系列代号,由行程符号和缸径符号两部分组成。有 E 表示二行程,没有 E 表示四行程;缸径符号用气缸直径的毫米数表示。

③ 尾部 机器特征符号或变型符号。变型符号表示该机型经过改型后,在结构和性能上发生变化,一般用数字表示顺序。特征符号表示内燃机的主要用途和不同结构特点,用汉语拼音字母表示,常用符号如:Q—汽车用,T—拖拉机用,C—船用,F—风冷(没有 F 表示水冷)。

例如,495 型柴油机表示四缸、四行程、缸径 95mm 的水冷式柴油机;1E40F 汽油机表示为单缸、二行程、缸径 40mm 的风冷式汽油机;4125T 柴油机表示四缸、四行程、缸径为 125mm、水冷式拖拉机用柴油机;6135C-1 柴油机表示六缸、四行程、缸径 135mm、水冷式船用柴油机,第一种变型产品。

有些内燃机在其型号前增加了企业代号,例如 CA 为长春第一汽车制造厂(CA6102),EQ 为中国第二汽车制造厂,BN 为北京内燃机总厂等。

2.2 内燃机的工作原理

在内燃机圆筒形的气缸中装有活塞,活塞通过活塞销与连杆小端铰接,连杆大端与曲轴铰接。曲轴末端固定有飞轮,如图 2-1 所示。气缸上端面用气缸盖密闭。气缸盖上装有进气门、排气门及喷油器或火花塞。当活塞在气缸内做往复运动时,通过连杆推动曲轴旋转。相反,当曲轴旋转时,通过连杆的推动也能使活塞在气缸内做往复运动。曲轴旋转一周,活塞上、下运动一次。

2.2.1 基本术语和概念

① 上、下止点 也称上、下死点。表示活塞在气缸中运动的两个极限位置。活塞离曲轴中心最远时,活塞顶所在的位置为上止点;活塞离曲轴中心最近时,活塞顶所在的位置为下止点。

② 活塞行程 也称冲程。活塞上、下止点之间的距离称为活塞行程,常用 S 表示。对于图 2-1 所示的中心曲柄连杆机构,活塞每经过一个行程,相应的曲轴转过 180° ,当以 R 表示曲轴半径时,则 $S=2R$,即活塞行程为曲柄半径的 2 倍。

③ 燃烧室容积 活塞位于上止点时,活塞顶部与气缸盖之间的空间称为燃烧室容积,常用 V_c 表示。

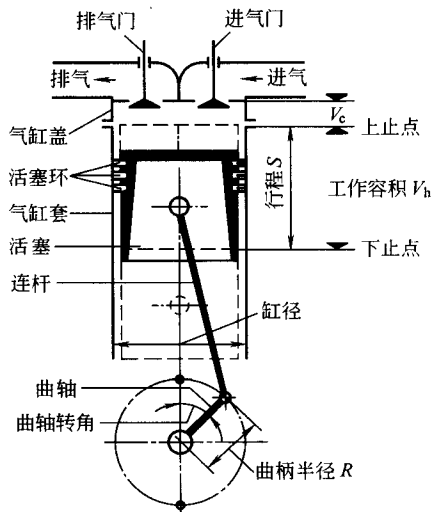


图 2-1 单缸发动机结构简图

④ 气缸工作容积 活塞上止点与下止点之间气缸容积称为气缸的工作容积，常用 V_h 表示。内燃机各缸工作容积的总和称为内燃机的排量，单位为升 (L)。

⑤ 气缸总容积 活塞位于下止点时，活塞顶部上方的容积称为气缸的总容积。常用 V_a 表示。气缸总容积为气缸工作容积与燃烧室容积的和，即：

$$V_a = V_c + V_h$$

⑥ 压缩比 气缸总容积与燃烧室容积之比，常用 ϵ 表示。

$$\epsilon = V_a / V_c$$

压缩比表示气体在气缸内被压缩的程度，压缩比愈大，表示气体在气缸中被压缩得愈厉害，它对内燃机的性能指标有重要影响。柴油机的压缩比一般为 16~22，汽油机的压缩比一般为 5~9，轿车汽油机有的压缩比可达到 11。增加压缩比可提高内燃机循环热效率。

内燃机工作时气缸内能量的转化需要经历进气、压缩、燃烧做功和排气四个过程。内燃机每完成这四个过程一次，就叫一个工作循环。根据完成一个工作循环活塞所经过的行程数，内燃机又可分为二行程和四行程两种。

2.2.2 单缸四行程柴油机的工作原理

曲轴旋转两圈，活塞经过四个行程完成一个工作循环的内燃机称为四行程内燃机。柴油发动机是将柴油燃烧放出的热量转变成机械能的机器，工作时，首先将干净的空气吸进气缸，再进行压缩提高温度，接着将雾化的柴油喷入气缸，雾化的柴油与被压缩的高温空气一经混合立即发生自燃，温度升高，体积膨胀，产生很高的压力推动活塞做功，把柴油燃烧时产生的热能转化为机械能，最后将废气排出气缸。这样每经过四个行程就完成一个工作循环。由于工作循环是不断重复的，因而动力也是连续不断的。现将柴油机一个循环中的四个行程分别叙述如下。

① 进气行程 [图 2-2 (a)] 活塞从上止点向下止点运动，活塞顶上气缸容积增大，使气缸内形成低压。此时进气门打开，排气门关闭，经过滤清的新鲜空气被吸进气缸。活塞到达下止点时，进气行程结束，进气门关闭。这时气缸内的气体压力约为 0.085~0.095 MPa，温度可达 300~340 K (新鲜空气加残余废气)。

② 压缩行程 [图 2-2 (b)] 活塞从下止点向上止点运动，此时进、排气门均关闭，气缸内的气体受到压缩，温度和压力均不断上升。活塞到达上止点时气缸内的

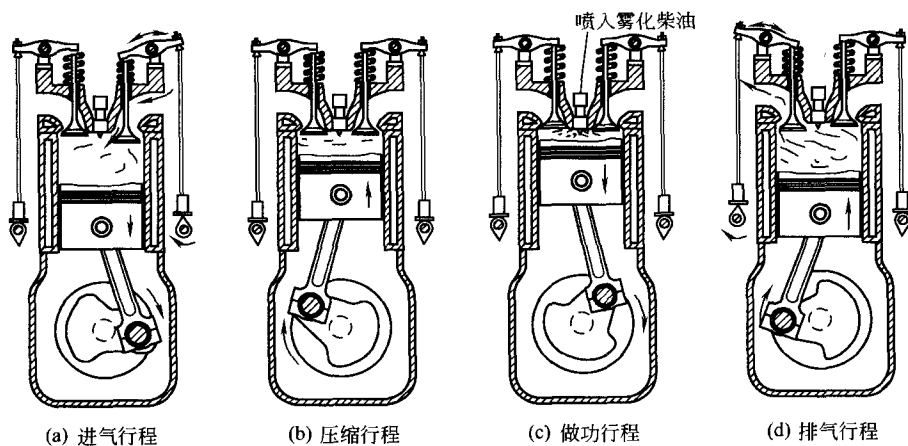


图 2-2 单缸柴油机工作过程

空气被压缩到最小的体积，压缩行程结束。这时气缸内的气体压力一般为 $3 \sim 5 \text{ MPa}$ ，温度为 $750 \sim 950 \text{ K}$ ，比该状态下柴油的自燃温度高出 $200 \sim 300 \text{ K}$ ，为柴油喷入气缸后的迅速燃烧创造了良好的条件。

③ 做功行程 [图 2-2 (c)] 压缩行程接近终了，活塞到达上止点之前，喷油器将柴油以雾状喷入气缸（喷油提前角为 $10^\circ \sim 35^\circ$ 曲轴转角），被喷入气缸内的柴油与高温、高压的空气迅速混合，自行着火燃烧，放出大量热能；此时，进、排气门仍然关闭着。气缸中的气体温度和压力急剧上升，压力达到 $6 \sim 9 \text{ MPa}$ ，温度达到 $1900 \sim 2300 \text{ K}$ ，高温、高压的气体推动活塞迅速从上止点向下止点运动，从而推动曲轴旋转。这样混合气的燃烧膨胀，就转换成了活塞和曲轴的机械运动，活塞到达下止点时，做功行程结束，此时气缸内的气体压力降到 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$ ，温度降到 $1000 \sim 1400 \text{ K}$ 。

④ 排气行程 [图 2-2 (d)] 由于惯性作用，曲轴继续旋转，推动活塞由下止点向上止点运动，这时排气门打开，而进气门仍然关闭，废气在自身压力和活塞的推动下，经排气门排出，活塞到达上止点时，排气行程结束。此时气缸内的废气温度约为 $700 \sim 900 \text{ K}$ ，压力约为 $0.105 \sim 0.125 \text{ MPa}$ 。

排气终了，排气门关闭，活塞经过了四个行程，完成了一个工作循环。排气行程结束后，曲轴依靠飞轮转动的惯性仍继续旋转，上述各行程又重复进行。在四个行程中只有做功行程是活塞带动曲轴对外做功，其他三个行程都是由曲柄连杆机构的惯性带动活塞做辅助运动。但它们又是互相联系不可分割的，做功行程为其他三个行程提供能量，而三个辅助行程又为做功行程准备条件。所以，这四个行程缺一不可，而且工作次序不能颠倒。由于柴油机是压缩燃烧的，所以又被称为压燃式发动机。

2.2.3 单缸四行程汽油机的工作原理

在汽车上广泛采用的四行程汽油机是将汽油燃烧的热能转变成机械能的机器。四行程汽油机的工作原理与上述柴油机工作原理基本类似，每一个工作循环同样包括进气、压缩、做功和排气四个行程。其工作过程与四行程柴油机的差别在于可燃混合气的形成和着火方式（图 2-3）。

① 进气行程时，进入气缸的气体不是纯空气，而是空气与汽油经气化器（或称化油器）混合后的新鲜可燃混合气。

② 在压缩行程达到上止点前 $10^\circ \sim 35^\circ$ 曲轴转角处，可燃混合气是由火花塞强制点燃，所以汽油机又称为点燃式发动机。

③ 汽油机的压缩比 ϵ 较柴油机低，压缩终点的压力、温度均较柴油机低。由于采用外源点火，可燃混合气已比较均匀混合，则在做功行程时，汽油机的燃烧速度较柴油机快。最高压力为 $2.9 \sim 4.9 \text{ MPa}$ ，最高温度为 $2170 \sim 2770 \text{ K}$ 。

④ 排气行程与柴油机相同。排气终点压力 $0.1 \sim 0.12 \text{ MPa}$ ，温度 $810 \sim 1170 \text{ K}$ 。

2.2.4 多缸四行程内燃机工作过程

单缸四行程内燃机工作中曲轴每旋转两圈，只有半圈做功，虽然曲轴上装有一

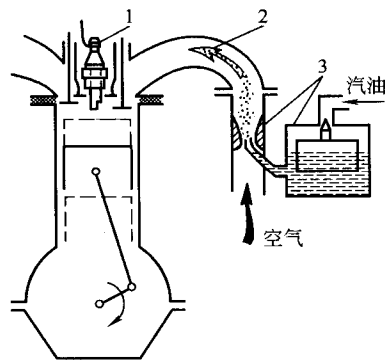


图 2-3 单缸四行程汽油机简图

1—火花塞；2—可燃混合气；3—气化器

个大而重的飞轮，但曲轴旋转时仍不能平稳，而且功率低。为了改善内燃机回转的均匀性，增大功率，目前多采用多缸四行程内燃机。

多缸内燃机的工作原理和单缸内燃机完全相同，相当于几个单缸内燃机用一根曲轴连在一起，每个气缸都是按照前述单缸内燃机中各过程进行工作，但在同一时刻，每个气缸所进行的工作行程却不相同，如图 2-4 所示，四缸内燃机曲轴每旋转两圈四个缸各做功一次，平均曲轴每半圈就有一个气缸在做功，这样曲轴的运转就比单缸平稳得多，而且飞轮也可以适当缩小。

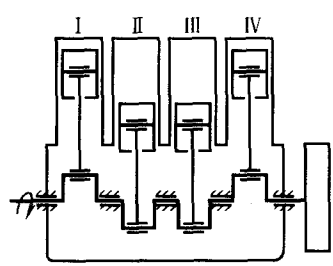


图 2-4 四缸四行程内燃机简图

多缸内燃机各气缸的工作行程顺序的排列，一般是由多缸机的平衡性和各缸机械负荷、热负荷的均匀性来确定，而且希望多缸内燃机一个工作循环内，各缸做功行程始点间的时间间隔相等。因此对于一种机型其工作顺序可以有两种或多种，如四缸四行程内燃机的工作顺序可以有 1—3—4—2 和 1—2—4—3 两种。我国生产的四缸柴油机大多采用 1—3—4—2，如表 2-1 所列。

表 2-1 工作顺序为 1—3—4—2 的四缸四行程内燃机的工作情况

曲轴转角	气 缸			
	I 缸	II 缸	III 缸	IV 缸
0°~180°	做功	排气	压缩	进气
180°~360°	排气	进气	做功	压缩
360°~540°	进气	压缩	排气	做功
540°~720°	压缩	做功	进气	排气

2.2.5 单缸二行程内燃机的工作原理

曲轴旋转一周，活塞经过两个行程完成一个工作循环的发动机称为二行程内燃机，包括二行程汽油机和二行程柴油机。目前，二行程汽油机主要用于摩托车、微型汽车、艇上舷外机、背负式或手提式小型轻便农林机具等的动力装置，在拖拉机上只被用作大功率柴油机的起动机，但这种方式已被电起动方式取代。二行程柴油机在农业上用的很少，主要用于低速大型船用动力，某些载重汽车上也有采用。

(1) 单缸二行程汽油机

单缸二行程汽油机的特点是没有进、排气门，而在气缸壁上开有进气孔、排气孔和换气孔，它们的开启或关闭均由活塞控制，进气孔与汽化器相连，排气孔与排气管相通。

二行程汽油机的曲轴箱是密封的。汽油与空气混合形成的可燃混合气先进入曲轴箱，依靠活塞与气缸壁上孔口的配合完成进气和排气。其工作过程如图 2-5 所示。

第一行程，做功、排气和进气行程。活塞由上止点到下止点。当第二行程活塞上移接近上止点时，火花塞跳火点燃混合气，混合气急剧燃烧、膨胀推动活塞下行做功，同时曲轴箱内的混合气被压缩。在做功接近终了时，活塞将排气孔打开，具有一定压力的废气经排气孔排出机体。活塞继续下行随即换气孔也被打开（换气孔上缘略低于排气孔上缘），曲轴箱内被压缩的可燃混合气经换气孔进入气缸，同时驱逐气缸内的废气继续排出。

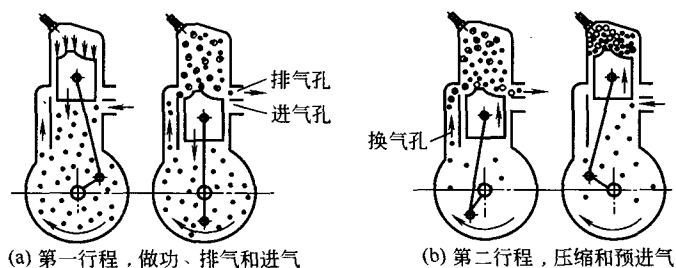


图 2-5 二行程汽油机的工作简图

第二行程, 压缩和预进气行程。活塞由下止点向上止点移动, 先后关闭了换气孔和排气孔, 活塞上部压缩上一个行程已经进入气缸内的混合气。由于活塞上行, 使密封的曲轴箱内的容积不断增大, 气压降低, 当活塞的下边缘将进气孔打开时, 在压力差的作用下, 可燃混合气被吸入曲轴箱, 完成预进气过程。第二行程结束, 下一个工作循环开始。

二行程汽油机与四行程汽油机相比, 二行程的结构比较简单、质量轻、尺寸小、成本低、使用维修方便。二行程汽油机曲轴旋转一周就做一次功, 因此当排量、转速和压缩比等相同时, 理论上应比四行程的功率大 1 倍, 但由于其换气过程不够完善和有效行程减少, 实际上的功率只是四行程汽油机的 1.5~1.6 倍。且在换气过程中不可避免地有部分新鲜可燃混合气随废气排出, 使其燃料的经济性较四行程汽油机差。

(2) 单缸二行程柴油机

二行程柴油机的工作过程与二行程汽油机大致相同。不同之处是进入气缸的不是可燃混合气而是纯空气。第一行程接近上止点时, 由喷油器将雾化良好的柴油喷入气缸, 与高温、高压空气混合自燃。为增加进入气缸的空气量, 有些二行程柴油机上取消预进气过程, 增加一个扫气泵, 使提高压力后的新鲜空气通过进气孔压入气缸内。

2.3 燃料特性

2.3.1 汽油

汽油是汽油机所使用的主要燃料。它的性能对汽油机的工作状况和性能指标有重大影响。汽油的性能主要是指蒸发性、抗爆性、胶质含量等项。

(1) 蒸发性

在汽油机中, 汽油必须蒸发成蒸气, 与一定量的空气在极短的时间内 (约 0.01s) 混合成可燃混合气才能着火燃烧。汽油是多种化学成分的混合物, 它的沸腾温度是一个温度范围。不同温度下的蒸发量, 对汽油机的冷起动、加速和耗油率等性能都有重要的影响。

(2) 抗爆性

表示汽油在燃烧时防止爆燃的能力。汽油的抗爆性以它的辛烷值来表示, 辛烷值越高, 则抗爆性越好。国标规定用汽油的辛烷值表示汽油的标号, 常用汽油号数为 66、70、85、90、93、97。汽油机汽油的选用主要是根据汽油机的压缩比 (ϵ), 压缩比高的汽油机应选用标号高的汽油。

提高汽油的抗爆性, 对提高汽油的性能指标具有重要的意义。由于汽油机的压

缩比受到汽油辛烷值的限制，提高汽油抗爆性最通常的方法是往汽油中加入抗爆剂。应用最广、功效最强的抗爆剂是四乙基铅 $[\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4]$ ，由于其含有剧毒，为安全起见，在加入四乙基铅的汽油中加入红色或蓝色染料以引起人们的注意。由于废气中的铅化物会造成大气的污染和对人体有害，目前国内外发展趋势是生产高辛烷值无铅汽油，或控制压缩比，尽量减少汽油中四乙基铅的含量或使用无铅汽油。

(3) 胶质

汽油由于氧化而生成胶质，胶质沉积在进油管内壁上，影响汽油流通；黏结于气门或火花塞上，就会破坏气门的密封和火花塞的跳火。为减少胶质的生成，汽油在使用和贮存过程中应尽量避免光 and 热的影响，并按规定的使用期限使用。

2.3.2 柴油

柴油是柴油机所用的燃料。柴油有轻柴油与重柴油之分，车用的高速柴油机采用轻柴油作燃料。柴油的性能主要指凝点、十六烷值、黏度和闪点等。

(1) 凝点

指柴油失去流动性而凝固时的温度。凝点表示了柴油使用的温度范围。柴油的牌号是按凝点来表示的，如-20号柴油表示其凝点不高于-20℃，10号表示柴油的凝点不高于10℃。

柴油机必须根据柴油的凝点在不同的季节选用不同牌号的柴油，如夏季可选用10号柴油，冬季则应选用-10号或-20号柴油，在寒区使用的柴油机则应选用-35号柴油。

(2) 十六烷值

是评定柴油着火和燃烧性能的指标。柴油的十六烷值越高，其自燃性越好，这使柴油机的起动比较容易，工作也较为平稳。但十六烷值越高，会使燃料黏度变大，这将使喷雾质量变坏，造成燃料颗粒粗大，引起燃烧不完全、排气冒黑烟。车用轻柴油十六烷值在40~50之间。

(3) 黏度

黏度是用来表示柴油流动性的指标。黏度影响柴油的喷雾质量，柴油的黏度随温度而变化。

(4) 闪点

燃油加热时，它的蒸气与周围空气混合，当接触火焰时，发出闪火的最低温度就是燃油的闪点。闪点不影响燃油的使用性能，主要影响燃料在贮存、运输和使用时的安全性，闪点越高越安全。

3 柴 油 机

内燃机将燃料热能转变为机械能，并能长期、稳定、高效、连续地对外做功，必须具有一定的机构和系统予以保证，且它们之间互相紧密连接、协调工作。不同类型和用途的内燃机，其机构和系统的形式可能不同，但其功用是完全一致的。柴油机一般由曲柄连杆机构、机体零件、配气机构、燃料供给系统、润滑系统、冷却系统及其起动装置等组成。

3.1 机体零件和曲柄连杆机构

机体零件和曲柄连杆机构是柴油机的基础零件和基本工作机构。机体零件是用来支撑和固定曲柄连杆机构及其他装置的机架。曲柄连杆机构是柴油机实现工作循环、完成能量转换的重要机构。它们共同担负起将活塞的往复直线运动变成曲轴的旋转运动，同时将柴油燃烧时产生的热能转变成机械能输送出去的重任。

3.1.1 机体零件

机体零件由气缸体、曲轴箱、气缸盖、气缸垫和缸盖螺栓等零件组成。如图 3-1 所示。

(1) 气缸体和曲轴箱

气缸体是柴油机的机架，在它的内部和外部安装着柴油机所有的零件。气缸套

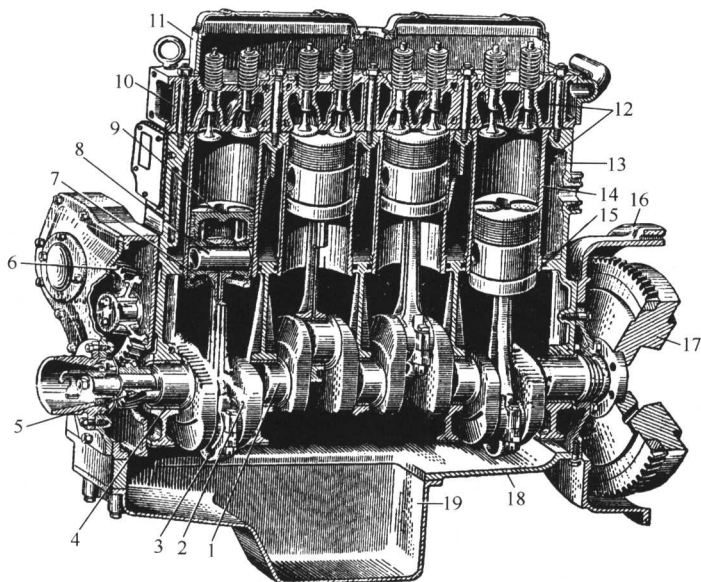


图 3-1 四缸柴油机剖面图

- 1—主轴颈；2—曲轴；3—连杆轴承；4—主轴承；5,6—正时齿轮；7—连杆；
8—活塞销；9—活塞；10—气缸盖；11—气缸盖罩；12—水套；13—气缸体；
14—气缸套；15—阻水圈；16—飞轮壳；17—飞轮；18—曲轴室；19—油底壳