



普通高等教育农业部“十二五”规划教材



拖拉机构造

Tuolaji Gouzao

赵建柱 张学敏 主编



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE



普通高等教育农业部“十二五”规划教材

拖拉机构造

赵建柱 张学敏 主编

中国农业大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统讲述了拖拉机用内燃机及拖拉机底盘的结构和工作原理,并对国内外内燃机及底盘的最新技术进行了介绍。全书共分为 15 章,内容包括拖拉机内燃机概述、曲柄连杆机构、配气机构、柴油机供给系、润滑系统、冷却系统、发动机增压技术,拖拉机的电气设备,拖拉机底盘概述,拖拉机传动系、行走系、转向系、制动系,拖拉机工作装置和拖拉机新技术等。

本书注重理论知识与工程实践的结合,以基本知识为主线,结合国内外典型实例介绍拖拉机的结构与工作原理。本书可作为高等院校拖拉机、农业机械化、工程机械等专业的教材,也可作为农业动力机械相关行业研究、设计、制造、使用、修理等人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

拖拉机构造/赵建柱,张学敏主编. —北京:中国农业大学出版社,2016.6

ISBN 978-7-5655-1175-2

I. ①拖… II. ①赵…②张… III. ①拖拉机-构造 IV. ①S219.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 031179 号

书 名 拖拉机构造

作 者 赵建柱 张学敏 主编

责任编辑 张苏明

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62731190,2620

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷

规 格 787×1092 16 开本 20 印张 495 千字 插页 1

定 价 45.00 元

封面设计 郑 川

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出版部 010-62733440

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

前言

农业机械化事业的发展,对人才知识、能力、素质提出了新的更高的要求,教材必须在适应我国农业工程教育发展的需要、全面推行素质教育的总体要求下进行改革。农业机械化及其自动化专业在机械方面的培养要求为:具备农业机械及其自动化装备的构造原理、使用管理方面的基本知识,受到农业生产过程机械化、自动化、工艺设计及相关装备的设计制造、选型配套、使用维修方面的基本训练。对所需动力方面的知识,要求学习非道路车辆——拖拉机构造。现有的教材不能很好地适应教学的需要:首先是内容、结构和技术比较陈旧,不能适应不断发展的技术和应用要求;其次是内容的针对性不强,涉及商用车、乘用车、轮式拖拉机、履带拖拉机、手扶拖拉机等,前两部分内容对于农业机械化及其自动化专业学生来说并不合适。在同一本教材中讲解道路运输工具和非道路作业装置是不合适的,其结构有相似之处,但设计理念不同,汽车作为运输工具注重的是行驶速度,而拖拉机作为农业用动力机械注重的是转矩。所有内容混在一起,学时又不够多,许多内容讲不清、讲不透,甚至会使学生在认识上产生偏差,分不清楚汽车和拖拉机的具体结构,张冠李戴,影响对所需知识的理解和应用。

因此,编写一本包含拖拉机基本结构、基本技术和拖拉机领域的新技术、新结构、新工艺、新知识,注重理论与实践紧密结合,强化学生实际动手能力,既有较高的学术价值,又有较好的推广空间,以田间作业所需动力机械为目标的非道路车辆——拖拉机构造方面的教材非常必要。借“普通高等教育农业部‘十二五’规划教材”项目实施之机,我们编写了这本《拖拉机构造》。

本书编写力求反映当代拖拉机的新技术,注重理论与实践的结合,应用大量的典型实例介绍拖拉机用内燃机、底盘的结构和工作原理,努力做到深入浅出、易于理解。

本书可作为高等院校拖拉机、农业机械化、工程机械等专业的教材,也可作为农业动力机械相关行业研究、设计、制造、使用、修理等人员的参考用书。

全书共分15章,其中:内蒙古农业大学田海清编写第1、2、3章,昆明理工大学王凤花编写第4章,中国农业大学张学敏编写第5、6、7章,中国农业大学李真芳编写第8章,中国农业大学赵建柱编写第9、10、12章,广西大学叶忠慧编写第11、13章,中国农业大学黄韶炯编写第14章,南京农业大学薛金林编写第15章。由赵建柱、张学敏担任主编,中国农业大学辛喆教授、王国业教授主审。

本书的编写得到了中国农业大学周一鸣教授、柳志远教授和李齐隆教授的关心和大力支持,在此表示深深的谢意!

本书在编写过程中得到了曹正清教授的大力支持和无私帮助,书中使用的许多内容是曹老师撰写的,许多图是曹老师亲手绘制或修改的,曹老师还对整本书稿进行了通篇审读,提出了许多宝贵的意见,在此表示万分的感谢!

在编写过程中,本研究室的硕士研究生宋吉龙、王一如、张筱青、王枫辰、于斌、陈宏伟、孙

风涛和孙佳在查找资料、插图绘制和修改、文稿录入和校对等方面做了大量的工作,在此表示感谢!

本书的出版得到了中国农业大学出版社的大力支持与帮助,编写的过程中参考了国内外大量的文献资料,在此一并表示衷心感谢!

由于编者的水平和经验有限,书中内容难免有错误或不当之处,恳请使用本教材的师生和广大读者批评指正。

赵建柱

2015年8月

目 录

第 1 章 拖拉机内燃机概述	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 发动机与内燃机	1
1.1.2 内燃机的类型	1
1.1.3 内燃机常用的名词术语	2
1.2 内燃机的基本工作原理和总体构造	4
1.2.1 四冲程柴油机的工作原理	4
1.2.2 二冲程柴油机的工作原理	6
1.2.3 多缸四冲程内燃机的工作顺序	6
1.2.4 内燃机的总体构造	8
1.3 内燃机产品名称和型号编制规则	8
1.4 内燃机主要性能指标	9
思考题	11
第 2 章 曲柄连杆机构	12
2.1 概述	12
2.2 机体组	13
2.2.1 气缸体-曲轴箱	13
2.2.2 气缸盖、气缸盖螺栓与气缸垫	17
2.2.3 下曲轴箱(油底壳)	19
2.2.4 风冷式内燃机的气缸体和气缸盖	20
2.3 活塞组	20
2.3.1 活塞	20
2.3.2 活塞环	25
2.3.3 活塞销	28
2.4 连杆总成	28
2.4.1 直列内燃机连杆	28
2.4.2 V 形内燃机连杆	30
2.4.3 连杆轴瓦与主轴瓦	31
2.4.4 连杆螺栓	33
2.5 曲轴飞轮组	33
2.5.1 曲轴	34
2.5.2 飞轮	36
思考题	36

第3章 配气机构	37
3.1 配气机构的类型和组成	37
3.1.1 配气机构的类型	37
3.1.2 配气机构的组成	38
3.2 配气机构的零件和组件	39
3.2.1 气门组	39
3.2.2 气门传动组	42
3.3 配气相位与气门间隙	45
3.3.1 配气相位	45
3.3.2 气门间隙	46
思考题	47
第4章 柴油机供给系	48
4.1 柴油的性能与选用	48
4.2 柴油机供给系的作用及组成	49
4.2.1 柴油机供给系的作用	49
4.2.2 柴油机供给系的组成	49
4.2.3 柴油机供给系应满足的要求	50
4.3 空气的供给及废气的排出	50
4.3.1 柴油机的进排气系统	50
4.3.2 空气滤清器的作用与结构	51
4.3.3 进、排气歧管	52
4.3.4 消声器	52
4.3.5 排气净化装置	53
4.4 柴油的供给和滤清	55
4.4.1 燃油箱	55
4.4.2 燃油滤清装置	55
4.4.3 输油泵	56
4.5 柴油机中混合气的形成和燃烧	58
4.5.1 柴油机中混合气的形成	58
4.5.2 柴油机燃烧室	59
4.6 喷油器	61
4.6.1 孔式喷油器	61
4.6.2 轴针式喷油器	63
4.7 喷油泵	64
4.7.1 柱塞式喷油泵的工作原理	64
4.7.2 柱塞式喷油泵的构造	66
4.7.3 供油提前角的调整	70
4.8 调速器	73
4.8.1 调速器的作用	73

4.8.2 调速器的种类	73
4.8.3 机械式调速器的工作原理	74
4.9 柴油机电子控制柴油喷射系统	78
4.9.1 柴油机电控柴油喷射系统的特点与类型	78
4.9.2 高压共轨式电控柴油喷射系统的组成与原理	79
4.9.3 高压共轨式电控柴油喷射系统的主要部件及结构	81
思考题	85
第5章 润滑系统	86
5.1 润滑系统的作用与润滑方式	86
5.1.1 润滑系的作用	86
5.1.2 润滑剂及其选择	87
5.1.3 润滑方式	87
5.2 润滑系统的组成和润滑油路	88
5.2.1 润滑系统的组成	88
5.2.2 润滑油路	89
5.3 润滑系统的主要部件	91
5.3.1 机油泵	91
5.3.2 机油滤清器	91
5.3.3 机油散热器	92
5.4 曲轴箱通风	94
思考题	95
第6章 冷却系统	96
6.1 冷却系统的作用与类型	96
6.2 水冷却系统	96
6.2.1 水冷却系统分类	96
6.2.2 水冷却系统的主要部件	98
6.3 风冷却系统	104
6.3.1 风冷却系统的特点	105
6.3.2 风冷却系统的布置	106
6.3.3 风量的调节	106
思考题	107
第7章 发动机增压技术	108
7.1 发动机增压概述	108
7.1.1 发动机增压的基本概念	108
7.1.2 增压系统类型	109
7.2 排气涡轮增压器的基本结构与工作原理	112
7.2.1 离心式压气机的工作原理	112
7.2.2 径流式涡轮机的结构及工作原理	113
7.2.3 可变截面涡轮增压系统(VGT)	113

7.2.4 增压压力调节	114
7.2.5 增压发动机在结构上的变动	115
思考题	116
第8章 拖拉机的电气设备	117
8.1 蓄电池	117
8.1.1 铅酸蓄电池的作用	118
8.1.2 铅酸蓄电池的结构	118
8.1.3 起动用铅酸蓄电池型号	118
8.1.4 铅酸蓄电池的性能参数	118
8.2 交流发电机	119
8.2.1 硅整流交流发电机的结构	120
8.2.2 硅整流交流发电机的工作原理	121
8.2.3 交流发电机电压调节器	122
8.3 起动电动机	124
8.3.1 起动系统的组成	124
8.3.2 起动电动机	126
8.4 照明、信号、仪表设备	132
8.4.1 照明装置	132
8.4.2 信号装置	133
8.4.3 仪表装置	135
8.5 典型拖拉机电气线路	136
8.5.1 保险装置	136
8.5.2 拖拉机线束	137
8.5.3 开关装置	137
8.5.4 拖拉机电气线路图	138
思考题	139
第9章 拖拉机底盘概述	140
9.1 拖拉机及其作用	140
9.2 拖拉机的组成	141
9.3 国产拖拉机的型号	142
9.4 拖拉机按照功率分类	143
9.5 拖拉机的行驶原理	143
思考题	144
第10章 传动系	145
10.1 概述	145
10.1.1 传动系的作用和组成	145
10.1.2 传动系的类型及构成	146
10.2 离合器	147
10.2.1 离合器的作用和类型	147

10.2.2 单作用离合器	148
10.2.3 双作用离合器	153
10.2.4 离合器主要元件	157
10.3 变速箱	162
10.3.1 变速箱的作用和类型	162
10.3.2 变速箱的变速传动机构	163
10.3.3 同步器	167
10.3.4 变速箱的操纵机构	171
10.3.5 典型变速箱的结构分析	173
10.3.6 负载换挡变速箱	175
10.3.7 机械液压功率分流无级变速箱	179
10.4 联轴节	180
10.4.1 弹性联轴节	180
10.4.2 十字轴式刚性万向节	181
10.5 驱动桥	182
10.5.1 中央传动	183
10.5.2 最终传动	188
思考题	192
第 11 章 行走系	193
11.1 轮式拖拉机的行走系	193
11.1.1 车架	194
11.1.2 车桥	195
11.1.3 车轮总成	202
11.1.4 悬架	206
11.2 履带拖拉机的行走系	207
11.2.1 悬架	208
11.2.2 行走装置	211
思考题	216
第 12 章 转向系	217
12.1 轮式拖拉机的转向系	217
12.1.1 转向的基本原理与转向系的组成	217
12.1.2 转向器	219
12.1.3 转向传动机构	222
12.1.4 简单式差速器	224
12.1.5 动力转向	227
12.2 履带拖拉机的转向系	235
12.2.1 履带拖拉机的转向原理	235

12.2.2 转向离合器及转向操纵机构	236
12.2.3 行星齿轮式转向机构	237
12.2.4 双差速器式转向机构	239
思考题	240
第13章 制动系	241
13.1 制动系概述	241
13.1.1 作用和组成	241
13.1.2 工作原理	241
13.2 制动器	242
13.2.1 蹄式制动器	242
13.2.2 盘式制动器	245
13.2.3 带式制动器	248
13.3 动力制动	250
13.3.1 全液压动力制动	251
13.3.2 拖拉机拖车气压制动	252
思考题	255
第14章 拖拉机工作装置	256
14.1 牵引装置	256
14.1.1 固定式牵引装置	256
14.1.2 摆杆式牵引装置	257
14.2 动力输出装置	257
14.2.1 动力输出轴	257
14.2.2 动力输出皮带轮	259
14.3 液压悬挂装置	260
14.3.1 概述	260
14.3.2 悬挂农具耕作深度的控制	265
14.3.3 分置式液压系统	268
14.3.4 半分置式液压系统	279
14.3.5 悬挂装置	291
思考题	294
第15章 拖拉机新技术	296
15.1 农机 CAN 总线技术	296
15.1.1 农机 CAN 概述	296
15.1.2 ISO 11783 标准的内容与结构	296
15.1.3 CAN 总线技术在农业车辆上的应用	297
15.2 Wi-Fi 技术	299
15.2.1 Wi-Fi 技术的原理	299
15.2.2 Wi-Fi 技术的特点与未来发展	300

15.2.3 Wi-Fi 技术在车辆上的应用	301
15.3 无人驾驶拖拉机	302
15.3.1 无人驾驶拖拉机的意义	302
15.3.2 无人驾驶拖拉机的系统结构与工作	303
15.3.3 无人驾驶拖拉机的关键技术	304
思考题	305
参考文献	306

第1章 拖拉机内燃机概述

1.1 基本概念

1.1.1 发动机与内燃机

将某种形式的能量转变为机械能的机器统称为发动机。按其能量来源不同,发动机分为热力发动机、风力发动机、水力发动机、电力发动机、太阳能发动机、原子能发动机等。

把燃料燃烧的热能转变为机械能的发动机称为热力发动机。其中燃料在机器内部燃烧,产生热能,再转变为机械能的热力发动机称为内燃机。内燃机主要包括活塞式内燃机和燃气轮机。燃料在机器外部燃烧,产生热能,再转变为机械能的热力发动机称为外燃机,主要有蒸汽机、汽轮机、热气机(也称斯特林发动机)等。

与外燃机相比,内燃机具有结构紧凑、热效率高、功率范围宽、适应性好、体积小、重量轻、起动性能好、使用操作方便等优点,目前广泛应用于飞机、船舶、汽车、拖拉机、工程机械、火车等各种机械上作为动力装置。

内燃机是燃料在机器内部燃烧,并在膨胀过程中将热能转变成机械能做功,因此内燃机包含燃料燃烧将化学能转变为热能、又由热能转变为机械能这两个能量转变过程。它要求燃料在短时间内实现与空气均匀混合,迅速燃烧。目前内燃机常用的燃料是石油及其制品,如汽油、柴油、煤油等,其来源受到自然资源的限制。另外内燃机排出的废气中含有较多对人体有害的成分,在内燃机的保有量非常巨大的今天,已引起社会的高度重视。也正是人类生态环境的污染和能源限制问题推动了内燃机技术的进步和其他新能源发动机研究工作的发展。

目前,拖拉机上实际使用的动力装置中内燃机仍占绝对优势,本书主要介绍内燃机。

1.1.2 内燃机的类型

目前内燃机应用范围非常广泛,为了从不同角度进行分析、研究和叙述的方便,将其进行分类。常见的分类方法有:

(1)按所用燃料不同,分为汽油机、柴油机及其他代用的液体、气体燃料内燃机。以汽油和柴油为燃料的活塞式内燃机分别称作汽油机和柴油机。使用天然气、液化石油气和其他气体燃料的活塞式内燃机称作气体燃料发动机。

(2)按内燃机冷却方式不同,分为水冷式和风冷式内燃机。以水或冷却液为冷却介质的称作水冷式内燃机,而以空气为冷却介质的则称作风冷式内燃机。

(3)按进气状态不同,分为增压和非增压内燃机。若进气是在接近大气状态下进行的,称为非增压内燃机或自然吸气式内燃机;若利用增压器将进气压力增高,进气密度增大,则为增压内燃机。增压内燃机可以提高内燃机功率。

(4)按气缸内活塞运动方式的不同,分为往复活塞式与旋转活塞式内燃机。前者活塞在气缸内作往复直线运动,后者活塞在气缸内作旋转运动。往复活塞式内燃机目前在内燃机使用总量中占绝对优势,因此是本书讨论的主要对象。以下讨论均指往复活塞式内燃机,简称内燃机。

(5)按每一工作循环所需活塞冲程数的不同,分为四冲程与二冲程内燃机。

(6)按气缸数目和排列方式的不同,分为单缸、多缸内燃机,两个及两个气缸以上的内燃机均为多缸内燃机。多缸内燃机按其排列方式的不同,又分为直列立式、直列卧式、V形、对置式、星形等,如图 1-1 所示。单缸内燃机一般分为立式机和卧式机。

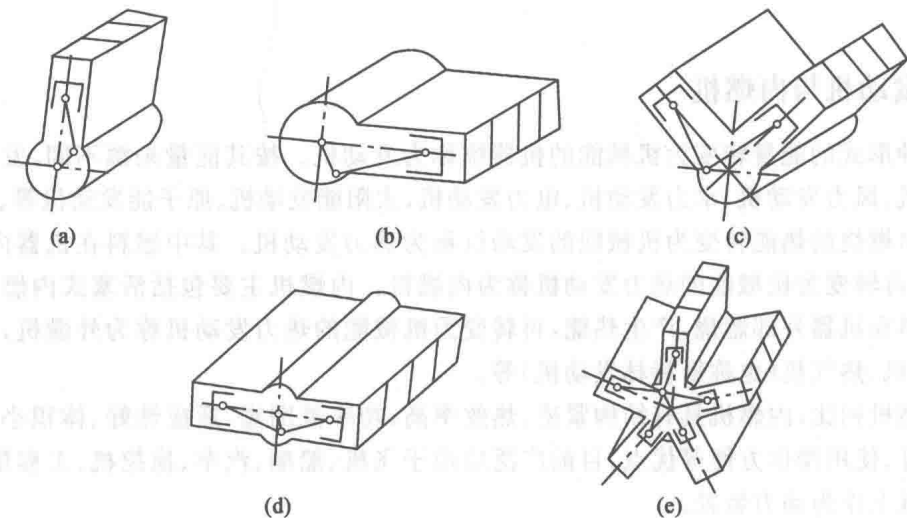


图 1-1 气缸排列方式

(a)直列立式;(b)直列卧式;(c)V形;(d)对置式;(e)星形

(7)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等。

(8)按燃料在气缸内着火方式的不同,分为压燃式和点燃式内燃机。汽油机为点燃式内燃机,柴油机为压燃式内燃机。

(9)按曲轴转速或活塞平均速度的不同,分为高速、中速和低速内燃机。

1.1.3 内燃机常用的名词术语

1.1.3.1 内燃机的基本结构

图 1-2 所示为单缸四冲程柴油机简图。单缸柴油机主要零件包括活塞 5、活塞销 6、连杆 7、曲轴 8 组成的曲柄连杆机构,该机构将活塞的往复直线运动转化为曲轴的旋转运动。活塞顶与气缸壁、气缸盖 9 组成可变容积的密闭空间,称为气缸容积。机体 10、曲轴箱 12 静止不动,作为内燃机的骨架。气缸盖 9 上设有进气道 14、进气门 2、排气道 13、排气门 1 及相应的驱动机构,构成进、排气系统,保证定时把新鲜空气吸入气缸并排出燃烧后的废气。气缸盖上装有喷油器 3,定时、定量地向燃烧室内喷入柴油。

1.1.3.2 内燃机常用名词术语

以单缸四冲程柴油机为例(图 1-2),介绍内燃机常用名词术语:

(1)工作循环:活塞式内燃机的工作循环是由进气、压缩、作功和排气 4 个工作过程组成的

封闭循环。

(2) 上止点: 活塞顶面距曲轴回转中心 O 最远的位置, 为活塞的上止点(或上死点), 见图 1-2(a)。

(3) 下止点: 活塞顶面距曲轴回转中心 O 最近的位置, 为活塞的下止点(或下死点), 见图 1-2(b)。

(4) 活塞行程: 为活塞上、下止点之间的距离。用 S 表示, 常用单位为毫米(mm)。

(5) 曲轴回转半径: 曲轴回转中心 O 至曲柄销中心 O' 之间的距离, 用 R 表示, 如图 1-3 所示, 单位为毫米(mm)。对于图 1-3 所示曲柄连杆机构, S 与 R 的关系可用式(1-1)表示。

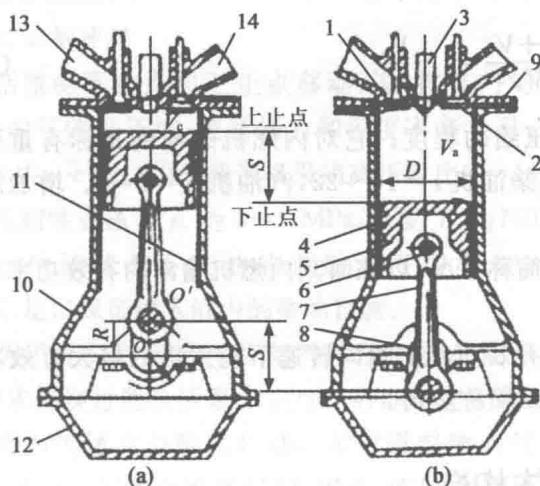


图 1-2 单缸四冲程柴油机简图

(a) 活塞在上止点; (b) 活塞在下止点

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; 9-气缸盖; 10-机体; 11-气缸套;

12-曲轴箱; 13-排气管; 14-进气管

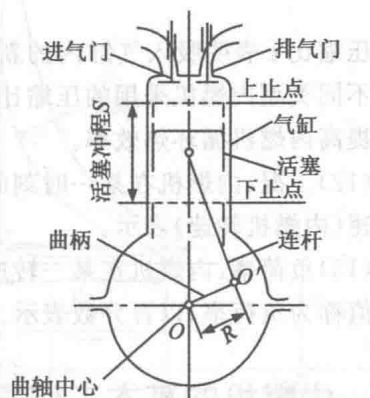


图 1-3 往复式内燃机示意图

$$S = 2R \quad (1-1)$$

(6) 内燃机转速: 内燃机发出动力直接或间接由曲轴输出, 为了应用方便, 用曲轴转速表示内燃机转速。常用字母 $n(\text{r/min})$ 和 $\omega(\text{rad/s})$ 表示, ω 与 n 关系为

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (1-2)$$

(7) 燃烧室容积: 当活塞位于上止点时, 活塞顶面上方的容积为燃烧室容积。用 V_c 表示, 单位为升(L)。

(8) 气缸工作容积: 活塞由上止点移动至下止点, 活塞顶面所扫过的容积为气缸工作容积, 又称气缸排量。用 V_s 表示, 单位为升(L)。

$$V_s = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot S \times 10^{-6} \quad (1-3)$$

式中: D 为气缸直径, mm。

(9) 气缸总容积: 当活塞位于下止点时, 活塞顶面上方的容积为气缸总容积。用 V_t 表示,

单位为升(L)。

$$V_a = V_c + V_s \quad (1-4)$$

(10) 内燃机排量: 内燃机各缸工作容积的总和, 用 V_L 表示, 单位为升(L)。

$$V_L = i \cdot V_s = i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \times 10^{-6} \quad (1-5)$$

式中: i 为气缸数。

(11) 压缩比: 气缸总容积与燃烧室容积之比, 用 ϵ 表示。

$$\epsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c} \quad (1-6)$$

压缩比 ϵ 表明吸入气缸内的新鲜充量被压缩的程度。它对内燃机的性能指标有重要影响。不同类型内燃机采用的压缩比不同, 一般柴油机 $\epsilon = 16 \sim 22$, 汽油机 $\epsilon = 6 \sim 9$ 。增加压缩比可提高内燃机循环热效率。

(12) 工况: 内燃机在某一时刻的运转状况简称工况, 以该时刻内燃机输出的有效功率和曲轴转速(内燃机转速)表示。

(13) 负荷率: 内燃机在某一转速下发出的有效功率与相同转速下能发出的最大有效功率的比值称为负荷率, 以百分数表示。负荷率通常简称负荷。

1.2 内燃机的基本工作原理和总体构造

内燃机气缸中每一次进行的将热能转变为机械能的一系列连续过程称为内燃机的一个工作循环(作一次功)。每一个工作循环都包括进气、压缩、膨胀-做功和排气四个过程。四冲程内燃机的一个工作循环是在活塞四个冲程即曲轴转两周的过程中完成的, 而二冲程内燃机一个工作循环是在活塞两个冲程即曲轴转一周的过程中完成的。

1.2.1 四冲程柴油机的工作原理

柴油机使用的燃料是柴油, 与汽油相比, 柴油黏度大, 不易蒸发, 但其自燃温度较低, 因此可燃混合气的形成及其在缸内点燃方式各有特点。图 1-4 为四冲程柴油机工作原理示意图。每个工作循环包括进气、压缩、膨胀-做功、排气四个冲程, 曲轴转两周。

1. 进气冲程

进气门 4 开启, 排气门 3 关闭, 活塞在曲轴的带动下从上止点向下止点移动, 活塞上方的气缸容积增大, 气缸内的压力逐渐降低至大气压以下, 即在气缸内产生真空度, 这样新鲜的纯空气经进气管道、进气门被吸入气缸。

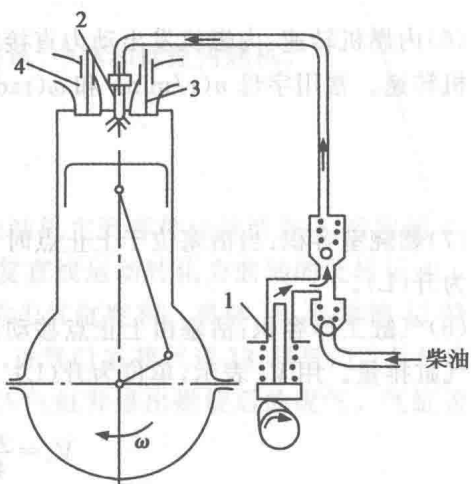


图 1-4 四冲程柴油机工作原理示意图

1-喷油泵; 2-喷油器; 3-排气门; 4-进气门

为了分析工作循环中气体压力 p 和相应于活塞不同位置的气缸容积 V 之间的变化关系,经常利用发动机循环的示功图来表示活塞在不同位置时气缸内压力的变化情况。示功图中曲线所围成的面积表示内燃机整个工作循环中气体在单个气缸内所作的功。四冲程柴油机示功图如图 1-5 所示,进气冲程压力线为 $r-a$,进气始点 r 压力略大于大气压力 p_0 ,是因为此时活塞上方仍残存少量前一个工作循环未排净的废气(简称残余废气)。 r 点压力 p_r 为 $0.104 \sim 0.117$ MPa,进气冲程终点 a 的压力 p_a 受到空气滤清器及进气管道阻力的影响,低于 p_0 , p_a 为 $0.08 \sim 0.095$ MPa。进气终点介质(新鲜空气加残余废气)的温度 T_a 可达 $300 \sim 400$ K,主要是高温零件加热与高温废气混合的结果。

2. 压缩冲程

活塞由下止点向上止点移动,进、排气门均关闭,缸内气体被压缩,使其压力和温度不断上升,如图 1-5 中 $a-c$ 线。由于柴油机采用高压缩比($\epsilon=16 \sim 22$),压缩终点压力 p_c 为 $3 \sim 5$ MPa,温度 T_c 为 $750 \sim 950$ K,比该状态下柴油的自燃温度高出 $200 \sim 300$ K,足以保证喷入缸内的柴油自燃。

为了充分利用燃料燃烧产生的热能,提高热效率,要求燃烧过程在活塞上止点稍后即迅速完成,使燃烧后的气体充分膨胀做功。考虑燃料喷入气缸后,须经过一段着火准备时间,因此,实际柴油机工作时,在压缩上止点前 $10^\circ \sim 35^\circ$ 曲轴转角即图 1-5 中 c' 点即将燃油喷入气缸。 c' 点为喷油始点,它距上止点所对应的曲轴转角称为喷油提前角。 $a-c'-c$ 线为压缩行程气缸容积与缸内气体压力变化曲线。

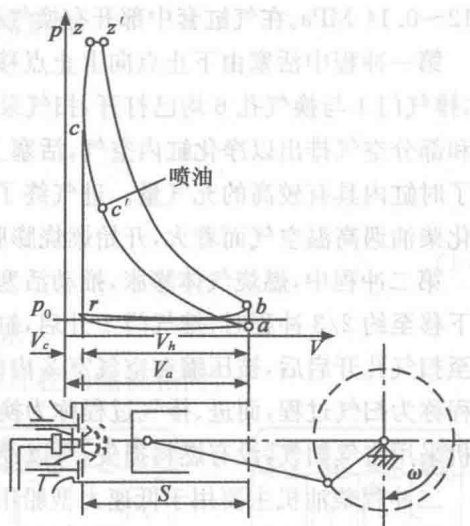


图 1-5 四冲程柴油机示功图

3. 膨胀-做功冲程

膨胀-做功冲程简称作功冲程。活塞在燃气压力推动下,由上止点向下止点移动,进、排气门仍处于关闭状态。

由于压缩冲程末期部分喷入燃油已开始着火燃烧,进入本冲程后燃烧速率急剧增加,导致压力迅速升高,如图 1-5 中 $c-z$ 段,相当陡,即压力升高率($dp/d\varphi$, φ 为曲轴转角)大,造成柴油机工作较粗暴。此后出现了近似等压膨胀 $z-z'$ 线,这是由于柴油喷射过程及与空气混合燃烧均需延续一段时间,此时虽然活塞下行,气缸容积有所增加,但缸内压力并不立即下降,直到 z' 点。其间最高压力 p_z 为 $6 \sim 9$ MPa,最高温度 T_z 可达 $1800 \sim 2200$ K。随着活塞被推动下移做功,缸内压力、温度逐渐下降,当活塞到达下止点时,作功冲程结束,其终点压力 p_b 为 $0.2 \sim 0.4$ MPa,温度 T_b 为 $1000 \sim 1400$ K。

4. 排气冲程

气缸内的混合气燃烧后成为废气。为使内燃机能够继续不断工作,就必须把废气排出机外。排气冲程活塞由下止点向上止点移动,排气门打开,废气被强制排出。排气过程中缸内压力与气缸容积变化如图 1-5 中 $b-r$ 线。由于排气系统产生的流动阻力使排气终点 r 的压力 p_r ,