

普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材

机械原理

主 编 毕 艳
副主编 刘 春

清华大学出版社

TH111-43
62

014057582

普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材

机械原理

主 编 毕 艳
副主编 刘 春



TH111-43
62

清华大学出版社



北航

C1745937

014027283

内 容 简 介

机械原理是一门介绍各类机械产品中常用机构设计的基本知识、基本理论和基本方法的重要的技术基础课,是机械类及相关工程类专业的必修课程。本书共分9章,内容包括:绪论,机构的结构分析,平面连杆机构及其设计,凸轮机构及其设计,齿轮机构及其设计,齿轮系及其设计,其他常用机构简介,机械传动系统动力学设计,机械传动系统的方案设计。每章后附有练习题。

本书可作为高等院校工科大学的教材,也可供工程技术人员使用或参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/毕艳主编.--北京:清华大学出版社,2014

普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材

ISBN 978-7-302-36425-2

I. ①机… II. ①毕… III. ①机构学—高等学校—教材 IV. ①TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 096401 号

责任编辑:孙 坚 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16 字 数:386千字

版 次:2014年8月第1版 印 次:2014年8月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00元

产品编号:047948-01

普通高等教育机电工程类应用型 本科规划教材编委会

主任：吴昌林

副主任(以姓名首字母排序)：

陈小圻 李元科 容一鸣

孙立鹏 余世浩

编委(以姓名首字母排序)：

常万顺 陈晓岑 胡正前

李从权 李 硕 齐洪方

石从继 王晓进 杨家军

序

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应科学技术的发展、满足人才市场的需求,高等工程教育必须适时地进行调整和变化。专业的知识体系、教学内容在社会发展和科技进步的驱使下不断地伸展扩充,这是专业或课程边界变化的客观规律,而知识体系内容边界的再设计则是这种调整和变化的主观体现。为此,教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会与中国机械工程学会、清华大学出版社合作出版了《中国机械工程学科教程》(2008年出版),规划机械专业知识体系结构乃至相关课程的内容,为我们提供了一个平台,帮助我们持续、有效地开展专业的课程体系内容的改革。本套教材的编写出版就是在上述背景下为适应机电类应用型本科教育而进行的尝试。

本套教材在遵循机械专业知识体系基本要求的前提下,力求做到知识的系统性和实用性相结合,满足应用型人才培养的需要。

在组织编写时,我们根据《中国机械工程学科教程》的相关规范,按知识体系结构将知识单元模块化,并对应到各个课程及相关教材中。教材内容根据本专业对知识和技能的设置分成多个模块,既明确教材应包含的基本知识模块,又允许在满足基本知识模块的基础上增加特色模块,以求既满足基本要求又满足个性培养的需要。

教材的编写,坚持定位于培养应用型本科人才,立足于使学生既具有一定的理论水平,又具有较强的动手能力。

本套教材编写人员新老结合,在华中科技大学、武汉大学、武汉理工大学、江汉大学等学校老教师指导下,一批具有教学经验的年轻教师积极参与,分工协作,共同完成。

本套教材形成了以下特色:

(1) 理论与实践相结合,注重学生对知识的理解和应用。在理论知识讲授的同时,适当安排实践动手环节,培养学生的实践能力,帮助学生在理论知识和实际操作方面都得到很好的锻炼。

(2) 整合知识体系,由浅入深。对传统知识体系进行适当整合,从便于学生学习理解的角度入手,编排教材结构。

(3) 图文并茂,生动形象。图形语言作为机电行业的通用语言,在描述机械电气结构方面有其不可替代的优势,教材编写充分发挥这些优势,用图形说话,帮助学生掌握相应知识。

(4) 配套全面。在现代化教学手段不断发展的今天,多媒体技术已经广泛应用到教学中,本套教材编写过程中,也尽可能为教学提供方便,大部分教材有配套多媒体教学资源,以期构建立体化、全方位的教学体验。

本套教材以应用型本科教育为基本定位,同时适用于独立学院机电类专业教学。

作为机电类专业应用型本科教学的一种尝试,本套教材难免存在一些不足之处,衷心希望读者在使用过程中,提出宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

2012年6月

前言

随着科学技术的进步,现代计算方法和计算机技术的迅速发展和广泛应用,为更接近工程设计实践,近年来,《机械原理》教材在基本机构的设计中往往偏重解析法而轻图解法,笔者看到有些教材甚至完全只介绍解析法。然而在各类三本院校的教学实践中,由于学生数学、计算机编程或相关软件等知识和技能的不足,以及学时所限,在《机械原理》教学中着重讲解析法却面临着如建“空中楼阁”的尴尬局面。且在工程实际中,进行机构设计,特别是创新性较高的设计时,初期设计雏形的产生多是以直观的图解法为开端的。为此,本书回归经典,在基本机构的设计方法上仍以图解法为重点,对解析法仅进行初步介绍,旨在完成机构学的基本知识积累和建立机械原理的基本知识构架。在编写过程中,注意做到内容阐述深入浅出,设计过程与步骤尽量详细清楚,例题丰富,习题简单实用。

本书由华中科技大学文华学院担任主编单位。参加编写的人员有:毕艳(第1~4,6,8章);刘春(第5章);孟超莹(第7章);李文慧(第9章)。部分习题与内容由朱传军提供。全书由毕艳主编。

在本书的编写过程中得到了华中科技大学文华学院机械系各位老师的大力支持与帮助,特别是李元科教授提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢!

由于水平有限,错误及不妥之处难免,恳望同仁及广大读者批评指正。

编者

2014年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机械设计概述	1
1.2 机械系统的组成	3
1.3 机械原理课程的研究对象及内容	4
第 2 章 机构的结构分析	6
2.1 机构的组成、分类	6
2.2 机构运动简图	8
2.3 机构的自由度	10
2.4 平面机构的组成原理与结构分析	14
习题	17
第 3 章 平面连杆机构及其设计	21
3.1 连杆机构及其特点	21
3.2 平面四杆机构的类型及应用	22
3.2.1 平面四杆机构的基本型式	22
3.2.2 平面四杆机构的演化型式	25
3.3 平面四杆机构的共性问题	28
3.3.1 铰链四杆机构	29
3.3.2 滑块机构	36
3.3.3 导杆机构	38
3.4 平面连杆机构的设计	40
3.4.1 连杆机构设计的基本问题和方法	40
3.4.2 几何法设计四杆机构	41
3.4.3 解析法设计四杆机构	48
3.4.4 实验法设计四杆机构	49

3.5	瞬心法在机构运动分析中的应用	51
3.5.1	速度瞬心的概念	52
3.5.2	瞬心位置的确定	52
3.5.3	瞬心法进行机构的速度分析	54
3.6	连杆机构中运动副的常见结构	55
3.6.1	转动副的常见结构形式	55
3.6.2	移动副的常见结构形式	56
	习题	58
第4章	凸轮机构及其设计	61
4.1	凸轮机构的类型及应用	61
4.2	从动件运动规律	65
4.2.1	运动循环	66
4.2.2	从动件常用的运动规律及特点	68
4.2.3	从动件运动规律的选择	71
4.3	凸轮轮廓曲线的图解法设计	72
4.3.1	尖顶从动件盘形凸轮机构的凸轮轮廓曲线设计	73
4.3.2	滚子从动件盘形凸轮机构的凸轮轮廓曲线设计	75
4.3.3	平底从动件盘形凸轮机构的凸轮轮廓曲线设计	76
4.4	凸轮轮廓曲线的解析法设计	77
4.5	盘形凸轮机构基本尺寸的设计	80
4.5.1	尖顶移动从动件盘形凸轮机构的基本尺寸	81
4.5.2	尖顶摆动从动件盘形凸轮机构的基本尺寸	83
4.5.3	滚子从动件盘形凸轮机构的基本尺寸	84
4.5.4	平底移动从动件盘形凸轮机构的基本尺寸	86
4.5.5	诺模图及其应用简介	87
4.6	凸轮机构的常见结构形式及常用材料	87
4.6.1	凸轮在轴上的固定方式	87
4.6.2	滚子及其与从动件的连接形式	88
4.6.3	凸轮和滚子的材料	89
	习题	89
第5章	齿轮机构及其设计	93
5.1	齿轮机构的类型及应用	93
5.2	齿轮的齿廓曲线	94
5.2.1	齿廓啮合的基本定律	94
5.2.2	渐开线齿廓及其啮合特性	95
5.2.3	齿轮的齿廓曲线	98

5.3	渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数与几何尺寸	99
5.3.1	外齿轮的基本参数与几何尺寸	99
5.3.2	内齿轮的基本参数与几何尺寸	102
5.3.3	齿条的基本参数与几何尺寸	102
5.3.4	渐开线齿轮任意圆上的齿厚	103
5.4	渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	104
5.5	渐开线齿廓的切削加工	110
5.5.1	仿形法	110
5.5.2	范成法	111
5.5.3	标准齿轮和变位齿轮的切削	112
5.6	变位齿轮传动	115
5.6.1	采用变位齿轮避免根切	115
5.6.2	变位齿轮的正确传动条件	117
5.6.3	变位齿轮传动的类型	117
5.6.4	变位齿轮传动的计算	119
5.6.5	变位齿轮传动的其他应用	119
5.7	渐开线斜齿圆柱齿轮传动	122
5.7.1	斜齿圆柱齿轮齿廓曲面的形成与啮合特点	122
5.7.2	斜齿圆柱齿轮的基本参数	123
5.7.3	斜齿圆柱齿轮的啮合传动与几何尺寸的计算	125
5.7.4	斜齿圆柱齿轮的当量齿数	127
5.7.5	斜齿圆柱齿轮传动的特点	128
5.7.6	交错轴斜齿圆柱齿轮传动简介	132
5.8	直齿圆锥齿轮传动	133
5.8.1	圆锥齿轮传动的应用、特点和分类	133
5.8.2	直齿圆锥齿轮的齿廓曲线	133
5.8.3	直齿圆锥齿轮的背锥及当量齿轮	133
5.8.4	直齿圆锥齿轮的啮合传动	135
5.8.5	直齿圆锥齿轮传动的几何参数和尺寸计算	135
5.9	蜗轮蜗杆传动	137
5.9.1	蜗轮蜗杆机构的形成及其传动特点	137
5.9.2	阿基米德蜗杆及其正确啮合条件	138
5.9.3	蜗轮蜗杆机构的主要参数和几何尺寸的计算	139
	习题	140
第 6 章	齿轮系及其设计	143
6.1	齿轮系及其分类	143
6.2	定轴轮系的传动比	144
6.3	周转轮系的传动比	147

6.4	复合轮系的传动比	149
6.5	轮系的功用	151
6.6	几种特殊行星传动简介	154
	习题	156
第7章	其他常用机构简介	159
7.1	间歇运动机构	159
7.1.1	槽轮机构	159
7.1.2	棘轮机构	162
7.1.3	不完全齿轮机构	168
7.1.4	凸轮式间歇运动机构	169
7.2	螺旋机构	171
7.3	万向铰链机构	173
7.3.1	单万向铰链机构	173
7.3.2	双万向铰链机构	174
7.4	广义机构	176
7.4.1	广义机构概述	176
7.4.2	液动机构和气动机构	176
7.4.3	电磁机构	179
7.4.4	振动及惯性机构	181
7.4.5	光电机构	184
7.4.6	微位移机构	185
7.5	基本机构的常见组合	188
7.5.1	组合机构的基本概念及其分类	188
7.5.2	机构组合	188
7.5.3	组合机构	192
7.5.4	组合机构的应用	193
7.5.5	基于组合原理的机构设计举例	195
	习题	196
第8章	机械传动系统动力学设计	198
8.1	机械的平衡	198
8.1.1	机械平衡的目的和内容	198
8.1.2	刚性转子的平衡	199
8.1.3	刚性转子的平衡实验	201
8.1.4	平面机构的平衡	203
8.2	机械的运动方程式和动力学模型	206
8.3	功率平衡及速度波动的调节	212
	习题	220

第 9 章 机械传动系统的方案设计	222
9.1 机械设计过程简介	222
9.2 机械工作原理的拟定	224
9.3 执行构件的运动设计和原动机的选择	226
9.4 机械系统方案的设计与评价	231
9.5 机械传动系统方案设计举例	236
习题.....	240
参考文献	241

绪 论

1.1 机械设计概述

研究机械原理是为了进行机械设计。机械设计是人类设计活动中的一个重要分支。

设计是一种创造活动,伴随着人类活动的伊始而生,某种程度上说,人类文明的发展史即是一部设计史。最初的设计仅仅是一种单凭直觉的创造活动,例如剥下树皮或兽皮稍加整理披在身上防寒——服装设计;为了猎取动物、分食兽肉而制作刀形斧状的工具——结构设计……这些创造活动是受为了生存的生物本能的驱使。后来,人们在长期的生产活动中积累了数学、物理等基础学科的知识,用来解决设计问题,并将设计上升到提高物质文化生活的层面,设计也划分出了科技和艺术两大范畴。在科技领域,当人们设计的产品经过实践检验并有了丰富的经验后,开始归纳总结出各种设计的经验公式,还通过试验与测试获得各种设计参数留作以后的设计依据,同时开始借助于图纸绘制设计产品,逐步使设计规范化。

机械设计是根据使用要求对机械的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、各个零件的材料和形状尺寸、润滑方法等进行构思、分析和计算,并将其转化为具体的描述以作为制造依据的工作过程。机械设计是机械工程的重要组成部分,是机械生产的第一步,是决定机械性能的最主要的因素。根据创造性的程度不同,机械产品的设计分为三种类型:

(1) 开发性设计

开发性设计是指在工作原理、功能结构等完全未知的情况下,运用成熟的科学理论或经过试验证明可行的新技术,设计出过去没有的新型机械。它是一种完全创新的设计。

(2) 适应性设计

适应性是指在工作原理、功能结构基本保持不变的前提下,对产品作局部的变更或重新设计少数零部件,以改变产品的某些性能或克服原有缺陷。它是具有部分创新的设计。

(3) 变型设计

变型设计是指在工作原理、功能结构基本保持不变的前提下,对产品作尺寸大小或布置方式的改变,以适应量的变化要求,而且不会出现诸如材料、应力、工艺等方面的新问题。它是具有较少创新的设计。

时至今日,机械学科已经发展成为一门古老而成熟的学科,完全原创的开发性设计仅占

总量的三成不到,近六成都是部分创新的适应性设计,剩下的是增加型号、扩大工作范围的变型设计。我们从自行车的发展史来看这三种类型的机械设计。图 1-1(a)所示为世界上第一辆自行车或者只能说是自行车的雏形,它仅有木质的前后轮和车架,靠人脚蹬地来前行,

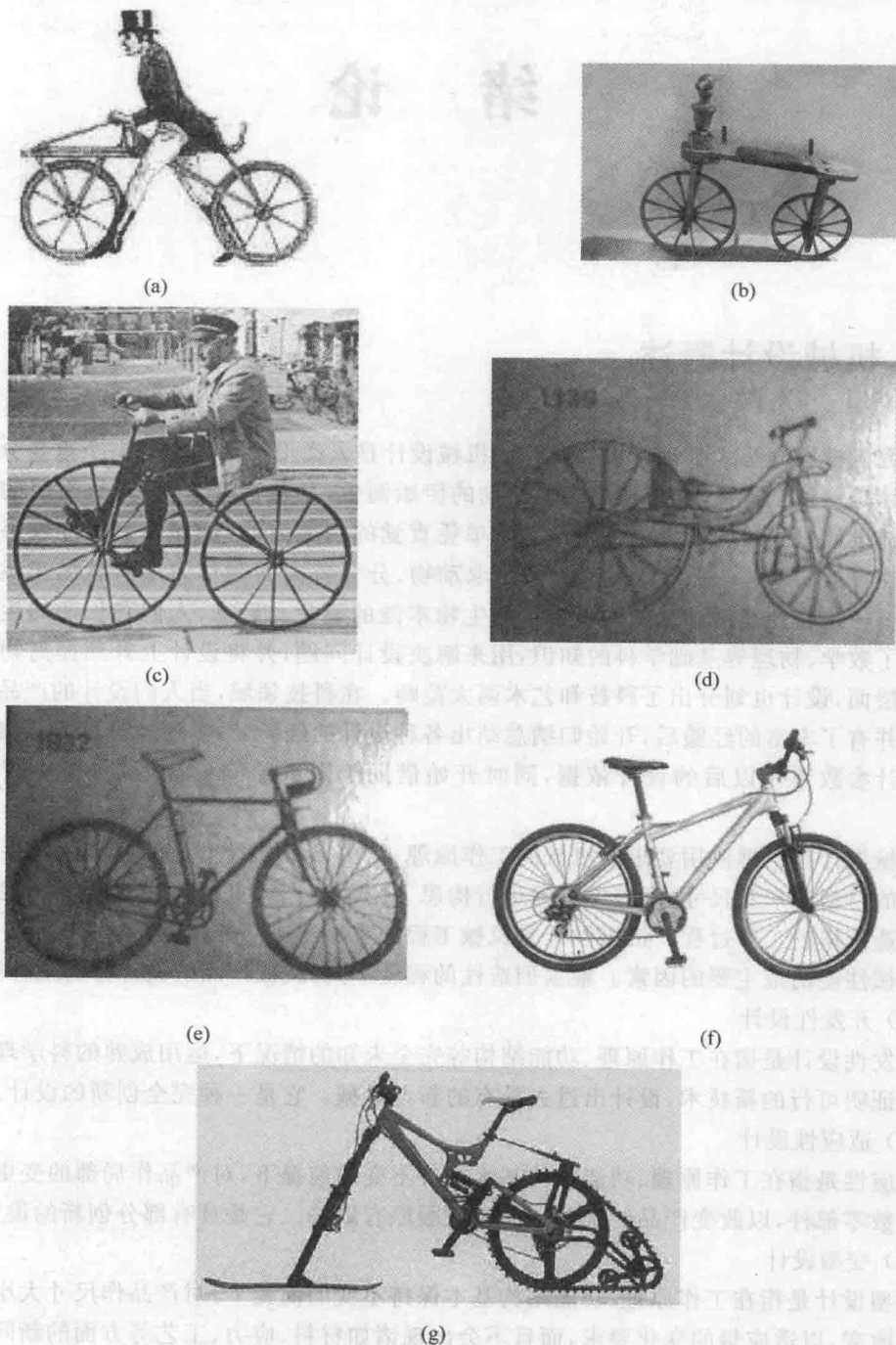


图 1-1 自行车的发展演变过程

仅仅利用了滚动摩擦小、物体惯性等一些如今看来非常基础的物理常识。尽管它的设计简陋粗糙,但从无到有,在当时绝对可以算得上是开发性设计。由于第一辆自行车没有转向装置,在转向时需要人下车进行整体搬动,为了克服这一缺陷,后来加上了前叉和转向装置,如图 1-1(b)所示,这就是一种适应性设计。再后来加上了前轮曲柄作为动力装置,前轮大后轮小,人脚可以离地了,如图 1-1(c)所示;后又演变为后轮驱动,如图 1-1(d)所示。随着钢铁、橡胶等材料的出现和使用,自行车演变为铁质的车架并有了充气橡胶轮胎,链条和脚踏的设计也改善了动力装置,自行车具备了如今的形式,如图 1-1(e)所示。当然,这是一个相当漫长的过程。为了使骑行的舒适性更好,自行车上又被装上减震装置;为了适应不同路面且使骑行更省力,人们又设计出具有大小链轮的牙盘和超越机构的自行车变速器,从而有了如图 1-1(f)所示的山地自行车……如今的自行车形式多样,有城市公路自行车、山地自行车、折叠自行车、多人骑行自行车等,自行车的用材也越来越高级、外形越来越美观、骑行感受越来越舒适,但可以看出,其演变过程是一个渐进的过程,其中大部分变化都是适应性设计。而为了适应不同的使用者而将自行车的大小做成二八、二六、……,一直到童车的十寸,这就是典型的变型设计了。另外,图 1-1(g)所示为雪地自行车,它将自行车的前轮做成雪橇、后轮做成类似坦克履带的形式,可以看作是装置、技术的转用融合,这也是设计工作时常用的一种思路。

1.2 机械系统的组成

机械是机器与机构的总称。现代机械的种类越来越多,结构也越来越复杂,常称为机械系统。传统的定义中,机器是执行机械运动的装置,它用来变换或传递能量、物料及信息。这里物料指被加工的对象或被搬运的重物。按照这个定义,根据所起到的作用不同,可将机器分为动力机器、工作机器和信息机器。

动力机器是能量变换装置,可以实现机械能与其他形式的能量之间的转换。例如内燃机、涡轮机、电动机、发电机等,都属于动力机器。

工作机器用来做有用的机械功。例如金属切削加工机床、轧钢机、起重机、输送机、缝纫机等,都属于工作机器。

信息机器是用来获得和变换信息的。如打字机、绘图仪依赖机械运动来实现信息的记录和输出,属于信息机器。而电子计算机,由于并不依靠机械运动来获取和变换信息,按此定义,并不能称之为机器。但电子计算机的硬件系统中却离不开机械的支撑,例如计算机光驱中就有螺旋机构。

机械系统从其实实现功能的角度看,主要由动力系统、传动系统、执行系统、操纵系统和控制系统等子系统组成,如图 1-2 所示。

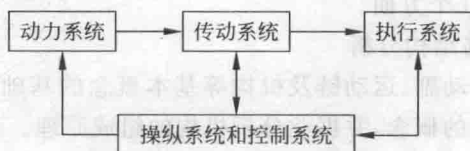


图 1-2 机械系统的组成

机械系统区别于其他装置或设备的主要区别为机械系统一定要作机械运动,并通过运动来实现其功能。而机械运动是由机械系统中的各种机构来完成的。所谓机构,是指具有确定相对运动的物的组合。机构与机器的区别在于,机器更强调其做机械功或转换机械能的功能性,而机构仅仅起到运动传递和运动形式转换的作用。

随着电子和自动化技术与机械技术的结合,诞生了机电一体化技术,它的迅猛发展改变了传统的机械设计模式。如今纯粹的机械系统已不多见,取而代之的是机、电结合的机电一体化系统。在国民经济、社会生活的各个领域,从军事到经济、从生产到生活、从简单的消费品生产到复杂的社会化生产和管理系统,机电一体化技术的渗透几乎达到“无孔不入”的地步。近年来,机电一体化技术的日益发展,使得机器中的传动机构、控制机构和执行机构的数目有减少的趋势,机械结构有简化的可能。但无论如何发展,都离不开机构的应用。例如电脑绣花机,相比于传统纯机械式的绣花机,其机械结构大大简化,但主要集中在控制和操纵部分,其挑线、刺布、勾线等动作仍采用相应的执行机构来完成。

1.3 机械原理课程的研究对象及内容

机械原理主要研究机械中常用机构的工作原理、结构特点,以及基本的设计理论和计算方法。

无论简单还是复杂的机械系统都离不开常用机构的应用,有时是常用机构的直接应用,有时是常用机构的组合、变型应用。在开发设计新型机械时,也往往需要从机械学科所积累的已有的常用机构中得到启示。通过对本课程的学习,学生应具有分析和选择基本机构的能力,并为后续专业课程的学习提供必要的理论基础。

常用机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构及齿轮系、间歇运动机构等。以图 1-3 所示的单缸四冲程内燃机为例,其中就有连杆机构、凸轮机构和齿轮机构的组合运用,而这三种机构恰恰是应用最广的,也是本课程要学习的重点内容。图 1-3(a)所示为单缸四冲程内燃机的结构示意图,图 1-3(b)所示为其完成机械运动的主要部件的机构运动简图。可以看出,所用机构包括齿轮机构——齿轮 $4'$ 、齿轮 5 和气缸体 1; 凸轮机构——凸轮 $5'$ 、顶杆 6 和气缸体 1; 连杆机构——曲轴 4、连杆 3、活塞 2 和气缸体 1。这三种机构不是相互独立的,而是相互联系组合应用的: 燃气推动活塞 2 作往复移动,经连杆 3 转变为曲轴 4 的连续转动; 齿轮 $4'$ 与曲轴 4 固结在一起转动,又与齿轮 5 按齿数比 $1:2$ 配合; 凸轮 $5'$ 随齿轮 5 转动并推动顶杆 6 往复移动来实现开启、闭合的动作。凸轮 $5'$ 和顶杆 6 有两组,分别作为进、排气阀,两组中的凸轮错开一定角度,这样,四个冲程,曲柄转动两周,进、排气阀各启闭一次。

当然,熟悉和掌握常用机构只是机械原理课程学习任务的一部分,概括来说,机械原理课程的内容主要包括以下几个方面。

(1) 机构的组成原理与结构分析

在介绍了有关构件、运动副、运动链及机构等基本概念的基础上,研究机构运动的可能性及确定性条件,提出杆组的概念,并据此分析机构的组成原理。为系统地进行机构的性能分析及机构运动方案的创新设计奠定基础。

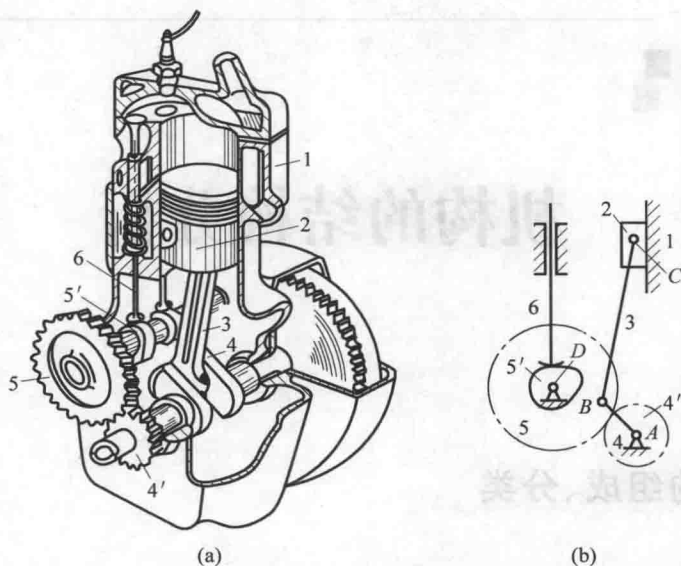


图 1-3 单缸四冲程内燃机

1—气缸体；2—活塞；3—连杆；4—曲轴；4'、5—齿轮；5'—凸轮；6—顶杆

(2) 常用机构的分析与设计

熟悉常用机构的结构形式、功能、应用场合,对常用机构的运动及工作特性进行分析,并研究其设计方法。介绍对机构进行运动分析的基本原理与方法。

(3) 机构及其系统动力学设计

从机构及其系统的质量平衡和功率平衡两方面研究改善机械的运动性能和动力性能的途径和方法。重点讨论了机构惯性力的平衡方法及机械系统等效动力学模型的建立、飞轮转动惯量的确定。

(4) 机械系统的方案设计

讨论在进行具体机械设计时机构的选型、组合、变异及机械系统的方案设计等问题。在简要介绍了机构及其系统运动方案设计的步骤之后,系统阐明了执行机构的功能原理方案设计、运动规律设计、运动协调设计及机构选型与创新设计方法。

应当指出的是,除了课堂教学之外,机械原理实验、机械原理课程设计及课外的有关科技活动对学好本门课程,特别是对培养学生的设计、创新能力具有重要作用。而严格的基本技能和创新思维的训练,将在培养专业技术人才的全局中发挥举足轻重的作用。在学习本课程时,应注意理论推演的严密性和逻辑性,注重工程实际应用的复杂性和多变性,还应随时留意日常生产生活中遇到的各种机械,以丰富自己的感性认识,尝试用所学知识分析认识这些机械,以加深理解。