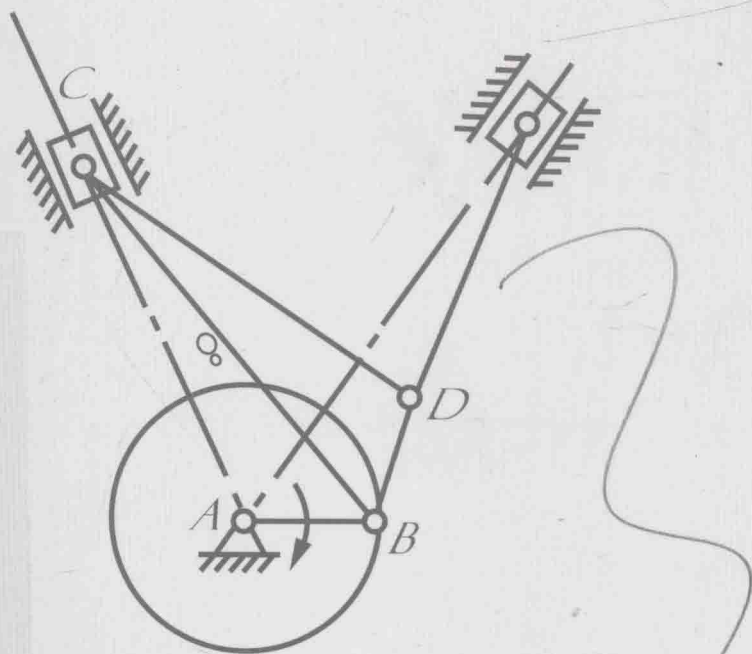


普通高等院校机械工程学科“十三五”规划教材

机械原理

主 编 郑树琴
副主编 洪 业 李秀春



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校“十五”规划教材



机械原理

主 编 郑树琴
副主编 洪 业 李秀春
参 编 常艳红 段桂荣 王东风 李 峰

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是根据教育部有关机械原理课程教学的基本要求,结合近年来教学改革实践的经验编写而成。在满足教学基本要求的前提下,精选内容,力求实现重点突出,可读性好,便于学生学习和其他工程技术人员自学,具有良好的适用性和启发性。

本书除绪论之外共分为三大篇。第1篇为机构的运动学分析及其设计,包括:机构的结构分析、平面机构运动分析、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、轮系及其设计、其他常用机构;第2篇为机械的动力学分析及其设计,包括:平面机构的力分析、机械的平衡、机械系统动力学、机械的效率和自锁;第3篇为机械系统方案设计,包括:功能分析和机构创新、机械运动方案的拟定。每章后有小结、思考题、习题,以方便学生学习。

本书可作为高等院校机械类各专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/郑树琴主编. —北京:国防工业出版社,
2016.7

普通高等院校机械工程学科“十三五”规划教材
ISBN 978-7-118-10762-3

I. ①机… II. ①郑… III. ①机构学—高等学校—
教材 IV. TH11

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第164745号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20¼ 字数 453 千字

2016年7月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 39.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

普通高等院校机械工程学科“十三五”规划教材 编委会名单

名誉主任	艾 兴	山东大学
	王先逵	清华大学
主 任	吕 明	太原理工大学
副 主 任	庞思勤	北京理工大学
	朱喜林	吉林大学
秘 书 长	杨胜强	太原理工大学
委 员	吴宗泽	清华大学
	潘宏侠	中北大学
	轧 刚	太原理工大学
	任家骏	太原理工大学
	陈 明	北华航天工业学院
	谭晓兰	北方工业大学
	李德才	北京交通大学
	杨 康	佳木斯大学
	石望远	北华航天工业学院
	王好臣	山东理工大学
	王卫平	东莞理工学院
	张平宽	太原科技大学
	赵 波	河南理工大学

序

国防工业出版社组织编写的“普通高等院校机械工程学科‘十三五’规划教材”即将出版,欣然为之作“序”。

随着国民经济和社会的发展,我国高等教育已形成大众化教育的大好形势,为适应建设创新型国家的重大需求,迫切要求培养高素质专门人才和创新人才,学校必须在教育观念、教学思想等方面做出迅速的反映,进行深入教学改革,而教学改革的主要内容之一是课程的改革与建设,其中包括教材的改革与建设,课程的改革与建设应体现、固化在教材之中。

教材是教学不可缺少的重要组成部分,教材的水平将直接影响教学质量,特别是对学生创新能力的培养。作为机械工程学科的教材,不能只是传授基本理论知识,更应该是既强调理论,又重在实践,突出的要理论与实践结合,培养学生解决实际问题的能力和创新能力。在新的深入教学改革、新课程体系的建立及课程内容的发展过程中,建设这样一套新型教材的任务已经迫切地摆在我们面前。

国防工业出版社组织有关院校主持编写的这套“普通高等院校机械工程学科‘十三五’规划教材”,可谓正得其时。此套教材的特点是以编写“有利于提高学生创新能力和知识水平”为宗旨,选题论证严谨、科学,以体现先进性、创新性、实用性,注重学生能力培养为原则,以编出特色教材、精品教材为指导思想,注意教材的立体化建设,在教材的体系上下功夫。编写过程中,每部教材都经过主编和参编辛勤认真的编写和主审专家的严格把关,使本套教材既继承老教材的特点,又适应新形势下教改的要求,保证了教材的系统性和精品化,体现了创新教育、能力教育、素质教育教学理念,有效激发学生自主学习能力,提高学生的综合素质和创新能力,为培养出符合社会需要的优秀人才服务。丛书的出版对高校的教材建设、特别是精品课程及其教材的建设起到了推动作用。

衷心祝贺国防工业出版社和所有参编人员为我国高等教育提供了这样一套有水平、有特色、高质量的机械工程学科规划教材,并希望编写者和出版者在与使用者的沟通过程中,认真听取他们的宝贵意见,不断提高该套规划教材的水平!

中国工程院院士

前 言

《机械原理》是国防工业出版社“十三五”规划教材。本教材是根据教育部有关机械原理课程教学的基本要求,结合编者多年来教学改革实践的经验编写而成。编写中本着“打好基础、精选内容、不断更新、利于教学、打造精品”的原则,着重突出课程的基本理论、基本知识和基本技能,采用最新的国家标准和名词术语。

本教材的编写具有以下特点:

(1) 结构编排新颖、合理,知识体系清晰、完整。

全书除绪论外共分3篇12章。

第1篇机构的运动学分析及其设计,重点介绍机构的结构分析和运动分析,以及各种常用机构的分析与设计。

第2篇机械的动力学分析及其设计,主要介绍机构的力分析、机械的平衡、机械系统动力学和机械的效率与自锁等内容。

第3篇机械系统方案设计,主要介绍机械传动系统方案设计的内容、方法和步骤等。

(2) 本教材力求将理论与实际有机地结合在一起,在内容的阐述中,注重与工程背景相结合,着重培养学生的创新意识和工程实践能力。

(3) 注重先进性和实用性相结合,旨在提高学生的理论水平、设计计算的能力以及应用计算机的技能等。

(4) 语言精练、内容紧凑、信息量大、知识面宽。

(5) 注重题目的选编。为了配合课程内容每章都精心选编了适量的例题;同时为巩固和深化教学内容,每章后都准备了适量的复习思考题与习题,以利于学生全面掌握教学内容,达到满意的教学效果。

本教材由太原理工大学机械原理教研室组织编写。郑树琴任主编,洪业、李秀春任副主编。参加编写工作人员的分工如下:郑树琴编写绪论、第2,6,9章;李秀春编写第4,12章;洪业编写第3,5章;常艳红编写第8,11章;段桂荣编写第1章;王东风编写第10章;李峰编写第7章。

由于编者水平有限,书中难免存在错误及疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015年8月

目 录

0 绪论	1
0.1 机械原理课程的研究对象和内容	1
0.1.1 机械原理课程的研究对象	1
0.1.2 机械原理课程的研究内容	4
0.2 机械原理课程的地位及其学习目的	5
0.2.1 机械原理课程的地位	5
0.2.2 学习机械原理课程的目的	5
0.3 机械原理课程的学习方法	5
0.4 机械原理学科的发展趋势	6
思考题与习题	6

第 1 篇 机构的运动学分析及其设计

第 1 章 机构的结构分析	7
1.1 机构结构分析的目的及内容	7
1.1.1 机构的组成及其具有确定运动的条件	7
1.1.2 机构的结构分类方法及其组成原理	7
1.1.3 机构运动简图	7
1.2 机构的组成	7
1.2.1 构件	7
1.2.2 运动副及其元素	8
1.2.3 自由度和约束	8
1.2.4 运动副类型	9
1.2.5 运动链和机构	10
1.3 机构运动简图	11
1.3.1 机构运动简图	11
1.3.2 绘制机构运动简图的步骤	12
1.4 平面机构自由度	14
1.4.1 平面机构自由度的计算公式	14
1.4.2 机构具有确定运动的条件	15

1.4.3	计算平面机构自由度时应注意的事项	16
1.5	平面机构的高副低代	21
1.6	平面机构组成原理和结构分析	24
1.6.1	杆组	24
1.6.2	平面机构的组成原理	25
1.6.3	平面机构的结构分析	26
*1.7	空间机构自由度	28
	思考题与习题	30
第2章	平面机构的运动分析	34
2.1	概述	34
2.1.1	平面机构运动分析的任务	34
2.1.2	平面机构运动分析的目的	34
2.1.3	平面机构运动分析的方法	34
2.2	速度瞬心法及其在机构速度分析中的应用	35
2.2.1	速度瞬心法	35
2.2.2	速度瞬心法在机构速度分析中的应用	37
2.3	用相对运动图解法作机构的速度和加速度分析	40
2.3.1	同一构件上两点之间的速度、加速度关系	40
2.3.2	组成移动副两构件重合点间的速度、加速度关系	43
2.4	用解析法作机构的运动分析	46
2.4.1	铰链四杆机构的运动分析	46
2.4.2	曲柄滑块机构的运动分析	48
2.4.3	导杆机构的运动分析	50
2.4.4	机构的运动线图	54
	思考题与习题	55
第3章	平面连杆机构及其设计	59
3.1	平面连杆机构及其传动特点	59
3.2	平面四杆机构的类型及演化	59
3.2.1	四杆机构的基本形式	59
3.2.2	平面四杆机构的演化形式	63
3.3	铰链四杆机构有曲柄的条件及主要工作特性	67
3.3.1	铰链四杆机构有曲柄的条件	67
3.3.2	铰链四杆机构的急回运动和行程速度变化系数	69
3.3.3	压力角和传动角	70
3.3.4	死点位置	72
3.4	平面四杆机构的设计	73
3.4.1	设计的基本问题	73

3.4.2	用图解法设计四杆机构	73
3.4.3	用解析法设计四杆机构	78
3.4.4	用实验法设计四杆机构	81
	思考题与习题	82
第4章	凸轮机构及其设计	85
4.1	凸轮机构的应用和分类	85
4.1.1	凸轮机构应用	85
4.1.2	凸轮机构的分类	86
4.2	从动件的常用运动规律	88
4.2.1	基本名词和术语	88
4.2.2	从动件常用运动规律	89
4.2.3	从动件运动规律的组合	97
4.2.4	从动件运动规律的选择和设计	97
4.3	按给定运动规律设计凸轮轮廓曲线	100
4.3.1	凸轮轮廓曲线设计方法的基本原理	100
4.3.2	用作图法设计凸轮轮廓曲线	101
4.3.3	用解析法设计凸轮轮廓曲线	104
4.4	凸轮机构基本参数的确定	107
4.4.1	凸轮机构压力角	107
4.4.2	凸轮机构的基圆半径	108
4.4.3	滚子从动件滚子半径的选择	108
4.4.4	平底从动件平底尺寸的确定	109
	思考题与习题	110
第5章	齿轮机构及其设计	114
5.1	齿轮机构的特点及其分类	114
5.2	齿廓啮合基本定律	116
5.3	渐开线齿廓及其啮合特性	118
5.3.1	渐开线的形成	118
5.3.2	渐开线的性质	118
5.3.3	渐开线方程	119
5.3.4	渐开线齿廓的啮合特性	120
5.4	渐开线标准齿轮的基本参数和几何尺寸	121
5.4.1	齿轮各部分名称及符号	121
5.4.2	渐开线齿轮的基本参数	123
5.4.3	渐开线标准齿轮的几何尺寸	124
5.4.4	任意圆周上的齿厚计算	125
5.4.5	内齿轮	126

5.4.6	齿条	126
5.5	渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	127
5.5.1	正确啮合条件	127
5.5.2	标准齿轮传动的中心距	128
5.5.3	齿轮的连续传动条件与重合度	130
5.6	渐开线齿廓的加工及根切现象	134
5.6.1	渐开线齿廓的加工原理	134
5.6.2	用齿条形刀具范成切削标准齿轮时的位置	136
5.6.3	渐开线齿廓的根切现象	136
5.6.4	渐开线标准齿轮不发生根切的最少齿数	137
5.7	渐开线变位齿轮概述	138
5.7.1	变位目的	138
5.7.2	径向变位法及变位齿轮	138
5.7.3	避免根切时刀具的最小变位系数	139
5.7.4	变位齿轮的几何尺寸	140
5.7.5	变位齿轮传动	140
5.8	斜齿圆柱齿轮机构	144
5.8.1	渐开线斜齿圆柱齿轮	144
5.8.2	平行轴斜齿圆柱齿轮机构	148
*5.8.3	交错轴斜齿圆柱齿轮简介	151
5.9	蜗杆蜗轮传动机构	153
5.9.1	蜗杆蜗轮的形成及传动特点	153
5.9.2	蜗杆蜗轮机构的啮合传动	154
5.9.3	蜗杆蜗轮传动机构的主要参数及几何尺寸	155
5.10	圆锥齿轮机构	156
5.10.1	圆锥齿轮机构传动的特点及应用	156
5.10.2	直齿圆锥齿轮齿廓的形成	157
5.10.3	直齿圆锥齿轮的背锥及当量齿轮	158
5.10.4	直齿圆锥齿轮的啮合传动	159
5.10.5	直齿圆锥齿轮的基本参数和几何尺寸	160
	思考题与习题	161
第6章	轮系及其设计	165
6.1	概述	165
6.1.1	定轴轮系	165
6.1.2	周转轮系	165
6.1.3	复合轮系	165
6.2	定轴轮系的传动比	166
6.2.1	平面定轴轮系	166

6.2.2	空间定轴轮系	167
6.3	周转轮系的组成及传动比	169
6.3.1	周转轮系的组成	169
6.3.2	周转轮系的分类	170
6.3.3	周转轮系传动比的计算	171
6.4	复合轮系的传动比	175
6.4.1	复合轮系传动比的计算方法	175
6.4.2	复合轮系传动比的计算实例	175
6.5	轮系的应用	177
6.5.1	实现变速传动	177
6.5.2	实现大传动比传动	177
6.5.3	实现合成运动与分解	178
6.5.4	实现分路传动	179
6.5.5	实现换向传动	179
6.5.6	实现利用行星轮输出的复杂运动获得某些特殊功能	180
6.5.7	实现结构紧凑的大功率传动	180
6.6	轮系的效率	181
6.6.1	定轴轮系的效率	181
6.6.2	周转轮系的效率	182
6.7	轮系的设计	184
6.7.1	定轴轮系的设计	184
6.7.2	周转轮系的设计	187
6.8	其他类型的行星传动简介	193
6.8.1	渐开线少齿差行星传动	193
6.8.2	摆线针轮行星传动	194
6.8.3	谐波齿轮传动	194
	思考题与习题	196
第7章	其他常用机构	199
7.1	棘轮机构	199
7.1.1	棘轮机构的组成及工作原理	199
7.1.2	棘轮机构的类型	199
7.1.3	棘轮机构的设计	202
7.1.4	棘轮机构的特点及其应用	203
7.2	槽轮机构	205
7.2.1	槽轮机构的组成及工作原理	205
7.2.2	槽轮机构的类型	205
7.2.3	槽轮机构的设计	206
7.2.4	槽轮机构的特点及其应用	208

7.3 不完全齿轮机构	209
7.3.1 不完全齿轮机构的组成及工作原理	209
7.3.2 不完全齿轮机构的特点	209
7.3.3 不完全齿轮机构的类型及其应用	210
7.4 螺旋机构	211
7.4.1 螺旋机构的组成及特点	211
7.4.2 螺旋机构的类型及应用	211
7.5 万向联轴节机构	212
7.5.1 万向联轴节机构的工作原理及类型	212
7.5.2 万向联轴节的特点和应用	214
7.6 广义机构	214
7.6.1 气、液动机构简介	215
7.6.2 光电机构简介	216
思考题与习题	217

第 2 篇 机械的动力学分析及其设计

第 8 章 平面机构的力分析	219
8.1 概述	219
8.1.1 作用在机械上的力	219
8.1.2 机构力分析的目的	219
8.1.3 机构力分析的方法	220
8.2 构件惯性力的确定	220
8.2.1 作平面复合运动的构件	220
8.2.2 作平面移动的构件	221
8.2.3 绕定轴转动的构件	221
8.3 运动副中摩擦力的确定	221
8.3.1 移动副中的摩擦	221
8.3.2 螺旋副中的摩擦	223
8.3.3 转动副中的摩擦	225
8.3.4 平面高副中的摩擦	228
8.3.5 考虑运动副摩擦时机构的受力分析	228
8.4 不考虑摩擦时平面机构的动态静力分析	230
8.4.1 构件组的静定条件	230
8.4.2 用图解法作机构的动态静力分析	230
8.4.3 机构动态静力分析的解析法	232
思考题与习题	235

第 9 章 机械的平衡	237
9.1 概述	237
9.1.1 机械平衡的目的	237
9.1.2 机械平衡的内容及分类	237
9.2 刚性转子的平衡计算	238
9.2.1 刚性转子的静平衡计算	238
9.2.2 刚性转子的动平衡计算	240
9.3 刚性转子的平衡实验	243
9.3.1 静平衡实验法	243
9.3.2 动平衡实验法	244
9.4 转子的许用不平衡量与平衡精度	245
9.4.1 转子的许用不平衡量	245
9.4.2 转子的平衡精度	245
9.5 平面机构的平衡	247
9.5.1 平面机构惯性力的平衡条件	247
9.5.2 机构总惯性力的完全平衡	247
9.5.3 机构惯性力的部分平衡	249
思考题与习题.....	251
第 10 章 机械系统动力学	254
10.1 概述.....	254
10.1.1 机械运转的三个阶段.....	254
10.1.2 作用在机械上的驱动力和工作阻力	255
10.2 机械的等效动力学模型.....	257
10.2.1 等效构件和等效动力学模型.....	257
10.2.2 等效量的计算.....	258
10.3 机械的运动方程式.....	261
10.3.1 机械的运动方程式.....	261
10.3.2 机械运动方程式的求解.....	262
10.4 机械的周期性速度波动及其调节方法.....	266
10.4.1 周期性速度波动的原因和调节方法.....	266
10.4.2 衡量机械速度波动程度的性能参数.....	267
10.4.3 飞轮的简易设计方法.....	268
10.5 机械的非周期性速度波动及其调节.....	273
思考题与习题.....	273
第 11 章 机械的效率和自锁	277
11.1 机械的效率.....	277

11.1.1 机械效率的表达形式·····	277
11.1.2 机械系统的效率·····	279
11.2 机械的自锁·····	280
11.2.1 运动副的自锁条件·····	281
11.2.2 机械的自锁条件·····	281
思考题与习题·····	283

第 3 篇 机械系统方案设计

第 12 章 机构创新及机械系统方案设计·····	285
12.1 机构的创新·····	285
12.2 机械系统的方案设计·····	296
思考题与习题·····	304
参考文献·····	306

0 绪 论

0.1 机械原理课程的研究对象和内容

0.1.1 机械原理课程的研究对象

机械原理是机器和机构理论的简称,是一门以机器和机构为研究对象的学科。

1. 机器

人类经过长期的生产实践逐步创造了各种机器,从家用的电风扇、洗衣机到工业上使用的各种机床;从汽车、火车、轮船、飞机到火箭、宇宙飞船、航天飞机;从挖掘机、起重机到各种机器人等。机器的种类很多,构造、性能和用途各不相同,但概括归纳一下,它们却有以下共同的特征:

- (1) 机器是人为的实物(杆块)组合体;
- (2) 组成机器的各实物(杆块)之间均具有确定的相对运动关系;
- (3) 在生产过程中,它们能代替或减轻人类的劳动,完成有用的机械功或转换机械能,还能进行信息的采集、处理和传递等。

如图 0-1 所示为一电动机,它是由一个转子(电枢)1 和一个定子 2 组成的。当有电流输入时,转子便相对定子转动起来,将电能转换为机械能。

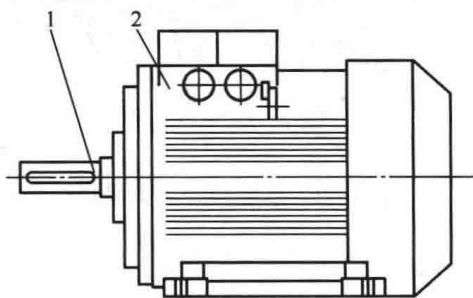


图 0-1 电动机

2. 机构

对于机构的概念人们可能不像对机器的概念那么熟悉,为了说明这个问题我们对下面的两个实例进行分析。

如图 0-2 所示为一单缸四冲程内燃机,它是由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7 和 7'、顶杆 8 和 8'、齿轮 9 和 9'、齿轮 10 等杆块组成。这些杆块又组成四个相对独立、又协同动作的部分:①将燃气燃烧推动活塞 2 的往复移动通过连杆 5 转换为曲轴 6 的连续转动;②凸轮 7 转动通过进气阀门顶杆 8 启闭进气阀门,以便可燃气体进入气缸;③凸轮 7'转动通过排气阀门顶杆 8'启闭排气阀门,以便燃烧后的废气排出气缸;④三个齿轮 9、9'和 10 分别与凸轮 7、7'和曲轴 6 相连,使安装它们的轴保持一定的

速比,保证进、排气阀门和活塞之间有一定节奏的动作。当燃气推动活塞运动时,各部分协调动作,进、排气阀门有规律地启闭,加上汽化、点火等装置的配合,就把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。显然,这四部分是各自具有运动特点且能实现预期运动的基本组合体,我们把它们称为机构。在如图 0-2 所示的内燃机中,活塞 2、连杆 5、曲轴 6 和气缸体(机架)1 是一个基本组合体,可将活塞的往复移动转换为曲轴的连续转动,称为曲柄滑块机构,其机构运动简图如图 0-3 所示。凸轮 7、进气阀门顶杆 8 和机架 1 又是一个基本组合体,可将凸轮的连续转动转换为顶杆的按某一种预期运动规律(如等速运动规律)的往复移动,称为凸轮机构;凸轮 7'、排气阀门顶杆 8' 和机架 1 组成另一凸轮机构,其机构运动简图如图 0-4 所示,三个齿轮 9、9'、10 和机架 1 组合起来,可将转动变快或变慢,甚至改变转向,称为齿轮系。它由两个完全对称的齿轮机构 9、10、1 和 9'、10、1 组成,其中一个的机构运动简图如图 0-5 所示。内燃机即由平面连杆机构、凸轮机构和齿轮机构三种常用机构组成,内燃机的组合机构如图 0-6 所示。可见机器是由各种机构组成的系统。

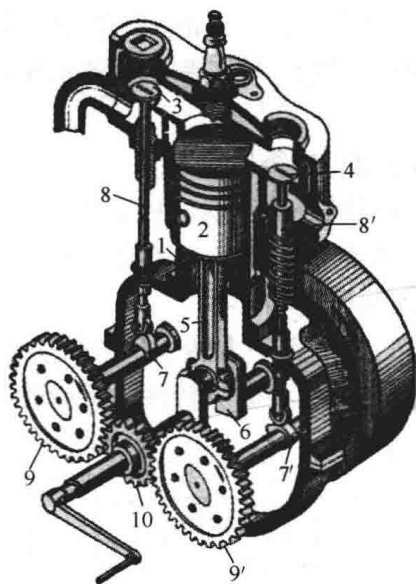


图 0-2 单缸四冲程内燃机

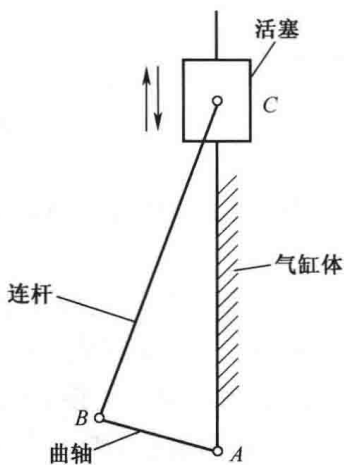


图 0-3 曲柄滑块机构

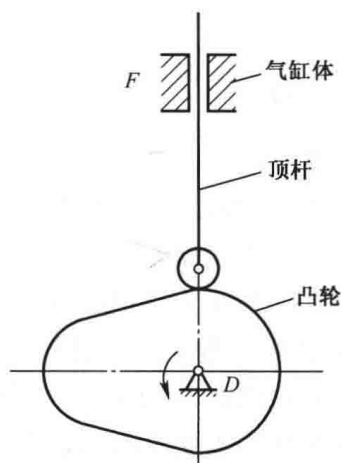


图 0-4 凸轮机构

大多数机器包含若干个不同的机构。有一些简单的机器也可以只含有一个最简单的机构——两杆机构,如电动机、鼓风机等。

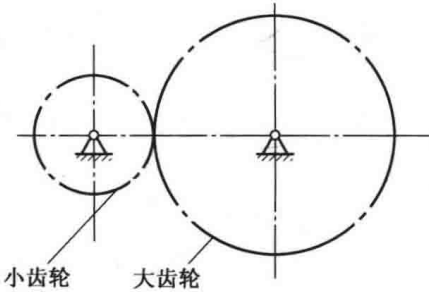


图 0-5 齿轮机构

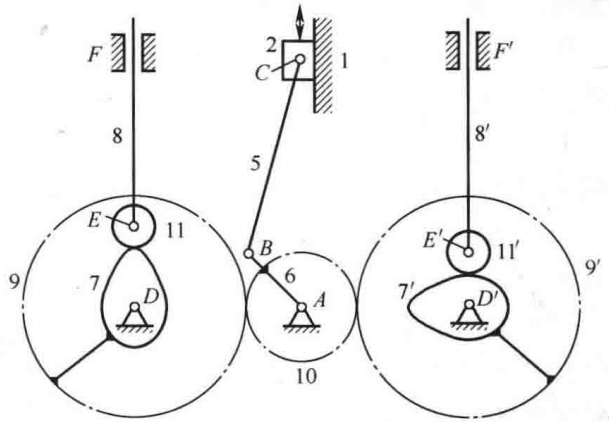


图 0-6 单缸四冲程内燃机机构运动简图

如图 0-7 所示为牛头刨床,它是由电动机 1、小皮带轮 2、皮带 3、大皮带轮 4、齿轮 5、6、7、8、导杆 9、滑块 10、连杆 11、刨头 12、凸轮 13、摆杆 14、连杆 15、摇杆 16、棘轮 17、棘爪 18、工作台 19、床身 20 以及图中未画出的辅助部分组成。它所采用的原动机为电动机,电动机 1 经带传动机构(由 2、3、4 和 20 组成)并通过齿轮系(由两个齿轮机构 5、6、20 和 7、8、20 组成)、摆动导杆机构(由 8、9、10 和 20 组成)和摇杆滑块机构(由 9、11、12 和 20 组成)驱动刨头带着刨刀往复移动,从而产生切削动作。与此同时,动力还通过凸轮机构(由 13、14 和 20 组成)、四杆机构(由 14、15、16 和 20 组成)和棘轮机构(由 16、17、18 和 20 组成)间歇地带动螺杆转动,使工作台 19 横向进给。刨刀每往复移动一次,工作台横向移动一个进刀距离,直到刨削完整个工件表面。

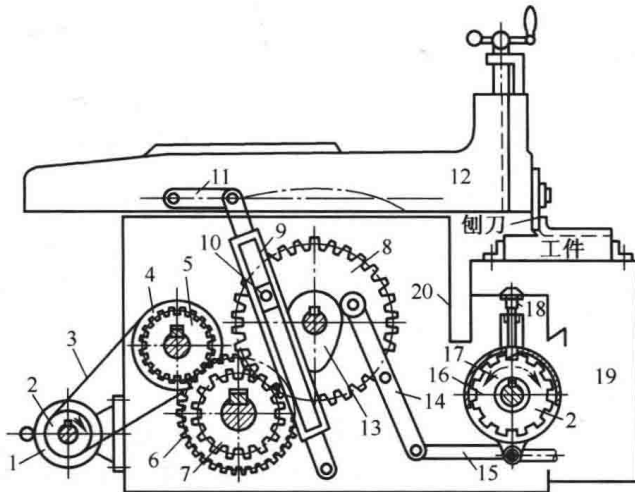


图 0-7 牛头刨床

通过以上分析可以看出,机构具有机器的前两个特征:

- (1) 机构是人为的实物(杆块)组合体;
- (2) 组成机构的各运动实体之间均具有确定的相对运动。

机构仅仅起着运动及动力传递和运动形式的转换作用;而机器是由各种机构组成的,