



普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材



北京市高等教育精品教材立项项目



机械原理

(第二版)

主编 郭卫东



科学出版社

普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材
北京市高等教育精品教材立项项目

机 械 原 理

(第二版)

郭卫东 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是在第一版的基础上,依据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会编制的《机械基础系列课程教学基本要求》中的“第二部分 机械原理”的要求,结合有关课程改革的最新成果修订而成的。本书在更正第一版使用中存在的问题的同时,引入机械系统分析与仿真的先进技术,将先进技术与经典理论有机结合,通过双方面的互补,达到在加深对机构学经典理论认识和理解的同时,初步了解和掌握机构学分析与设计的先进技术和手段的目的,从而进一步加强理论与实践的联系。

除绪论外,本书共有 11 章,分别为机构的组成原理、平面连杆机构分析与设计、凸轮机构及其设计、齿轮机构及其设计、轮系、其他常用机构、空间连杆机构及机器人机构、机械中的摩擦与机械效率、机械系统动力学基础、机械的平衡和机构系统的运动方案设计。

本书可作为高等学校机械类各专业的教学用书,也可供机械工程领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/郭卫东主编. —2 版. —北京:科学出版社,2013.1
普通高等教育机械类国家级特色专业系列规划教材
ISBN 978-7-03-036307-7

I. ①机… II. ①郭… 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(2012)第 309159 号

责任编辑:毛 莹 / 责任校对:韩 杨
责任印制:闫 磊 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

化学工业出版社印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 1 月第 二 版 印张:18 1/2

2013 年 1 月第四次印刷 字数:469 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是在第一版的基础上,依据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会编制的《机械基础系列课程教学基本要求》中的“第二部分 机械原理”的要求,结合有关课程改革的最新成果修订而成的。

本书力图进一步体现第一版所贯彻的以“设计为主线”的指导思想,在加强基础理论、基本方法和基本技能培养的基础上,以机构和机械系统设计为主线,注重机构和机械系统创新设计能力的培养。为体现“设计为主线”的思想,本书精简了机构分析的有关内容。为充分体现“分析为设计服务”这一理念,本书将“机构的运动分析”内容归入到“平面连杆机构的分析与设计”中,将“平面机构的力分析”归入到“机械的摩擦与效率”中,并且其有关内容的多少和难易程度以满足机构设计的要求为准则。为达到“机构和机械系统创新设计能力培养”的目的,书中在大量介绍机构的应用和设计实例的基础上,重点突出了综合设计实例和机构的创新设计,加强了机械系统运动方案设计,并将空间连杆机构和机器人机构引入到本书中,拓宽了机构分析和设计的广度和深度。

本书更正了第一版中存在的问题,适当删减了部分较难掌握和理解的内容。为了体现先进技术的发展成果和应用,本书引入虚拟样机技术,通过虚拟样机仿真分析平台 Adams,将先进技术与经典理论相结合,力图做到借助于虚拟样机技术的仿真与分析,加深对机械原理经典理论知识的学习和理解,再借助于机械原理的理论知识,加深对虚拟样机技术本质的理解和认识,从而培养出既具有扎实基础理论知识、又掌握先进技术和手段的实用创新设计人才。

本书的内容量是按照 60 学时编写的,每章末配有精选的思考题和习题。此外,本书还配有辅导书《机械原理教学辅导与习题解答(第二版)》,既有对主教材内容的总结与归纳,又指出了重点和难点内容,特别是典型例题、常见错误和习题解答等,对读者大有帮助。

参加本书编写的院校有:北京航空航天大学、北京石油化工学院、北京工业大学、北京印刷学院、北京建筑工程学院、北京交通大学、北京林业大学、中国农业大学和北京化工大学,共 9 所院校。编写人员有:郭卫东(第 0 章、第 7 章),刘占民(第 1 章),赵京(第 2 章部分),张晓玲(第 2 章部分、第 3 章),王跃进(第 4 章),窦蕴平(第 5 章),李德才(第 6 章、第 11 章),司慧(第 8 章),张云文(第 9 章),张莉彦(第 10 章)。本书由郭卫东任主编,负责全书的统稿、修改和定稿工作。

本书是在科学出版社毛莹编辑的策划和组织下编写完成的,在此深表谢意,同时对为本书作出贡献的其他教师和人员一并表示感谢。在本书的编写过程中参考了一些同类教材和著作,在此也对这些教材和著作的作者们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中欠妥之处在所难免,诚望读者批评指正。

编 者

2012 年 10 月

目 录

前言

第0章 绪论 1

0.1 机械原理研究的对象..... 1

0.1.1 机器及其特征 1

0.1.2 机构及其特征 2

0.2 机械原理课程研究的主要内容及方法..... 3

0.2.1 机械原理课程研究的主要内容 3

0.2.2 机械原理课程研究的方法..... 3

0.3 机械原理课程的地位、作用及学习方法..... 4

0.3.1 机械原理课程的地位和作用 4

0.3.2 机械原理课程的学习方法..... 4

思考题与习题 4

第1章 机构的组成原理 5

1.1 机构的组成及机构运动简图..... 5

1.1.1 机构的组成要素——构件、运动副 5

1.1.2 运动链与机构 7

1.1.3 机构运动简图 8

1.2 平面机构的自由度 12

1.2.1 机构的自由度定义 12

1.2.2 机构具有确定运动的条件 12

1.2.3 平面机构自由度计算 14

1.2.4 平面机构自由度计算时的注意 事项 16

1.3 平面机构的组成原理与结构分析 20

1.3.1 平面机构的组成原理 20

1.3.2 平面机构的结构分析 22

1.3.3 平面机构的高副低代 25

1.4 综合实例 26

思考题与习题..... 28

第2章 平面连杆机构分析与设计..... 31

2.1 平面连杆机构的类型、特点与应用 31

2.1.1 平面连杆机构的特点 31

2.1.2 平面四杆机构的基本形式与应用 32

2.1.3 平面四杆机构的演化形式与应用 35

2.2 平面连杆机构的工作特性 39

2.2.1 运动特性 39

2.2.2 传力特性 42

2.3 平面机构的运动分析 44

2.3.1 平面机构运动分析的目的与方法 44

2.3.2 用速度瞬心法对平面机构进行速度分析 45

2.3.3 解析法及虚拟样机仿真法作平面机构的运动分析 47

2.4 平面连杆机构的设计 50

2.4.1 平面连杆机构设计的基本问题 50

2.4.2 图解法设计平面四杆机构 51

2.4.3 解析法设计平面四杆机构 55

2.4.4 实验法设计平面四杆机构 58

思考题与习题..... 59

第3章 凸轮机构及其设计..... 64

3.1 凸轮机构的应用及分类 64

3.1.1 凸轮机构的应用 64

3.1.2 凸轮机构的分类 65

3.2 从动件运动规律及其选择 68

3.2.1 凸轮机构的工作循环及基本名词术语	68	4.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸	99
3.2.2 从动件常用运动规律	68	4.3.1 齿轮各部分的名称	99
3.2.3 从动件运动规律的组合	72	4.3.2 齿轮的基本参数	100
3.2.4 从动件运动规律的选择	74	4.3.3 渐开线齿轮的几何尺寸计算	101
3.3 图解法设计凸轮廓线	75	4.3.4 内齿轮和齿条	102
3.3.1 凸轮廓线设计的基本原理	75	4.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	102
3.3.2 直动从动件盘形凸轮机构凸轮廓线的设计	75	4.4.1 正确啮合条件	102
3.3.3 摆动从动件盘形凸轮机构凸轮廓线的设计	78	4.4.2 正确安装条件	103
3.4 解析法设计凸轮廓线	79	4.4.3 连续传动条件	104
3.4.1 滚子直动从动件盘形凸轮机构凸轮廓线的设计	79	4.5 渐开线齿廓的切削加工	107
3.4.2 平底直动从动件盘形凸轮机构凸轮廓线的设计	81	4.5.1 渐开线齿廓切削加工的基本原理	107
3.4.3 滚子摆动从动件盘形凸轮机构凸轮廓线的设计	81	4.5.2 根切现象及其产生的原因	110
3.5 虚拟样机法设计凸轮廓线	82	4.5.3 标准齿轮无根切的最少齿数	111
3.6 凸轮机构基本尺寸的确定	83	4.6 变位齿轮概述	111
3.6.1 凸轮机构的压力角	83	4.6.1 问题的提出	111
3.6.2 凸轮基圆半径的确定	85	4.6.2 变位齿轮的概念	111
3.6.3 滚子半径的选择	86	4.6.3 避免根切的最小变位系数	112
3.6.4 平底宽度的确定	87	4.6.4 变位齿轮的几何尺寸	112
3.6.5 从动件偏置方向的确定	87	4.6.5 变位齿轮传动	113
3.7 凸轮机构的计算机辅助设计	88	4.7 斜齿圆柱齿轮机构	116
思考题与习题	91	4.7.1 斜齿圆柱齿轮齿面的形成	116
第4章 齿轮机构及其设计	94	4.7.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸计算	116
4.1 齿轮机构的类型及特点	94	4.7.3 斜齿圆柱齿轮的当量齿数	119
4.1.1 平面齿轮机构	94	4.7.4 斜齿圆柱齿轮啮合传动	119
4.1.2 空间齿轮机构	94	4.7.5 斜齿圆柱齿轮传动特点	120
4.2 齿廓啮合基本定律及渐开线齿廓	96	4.7.6 交错轴斜齿轮传动	121
4.2.1 齿廓啮合基本定律	96	4.8 蜗杆蜗轮机构	122
4.2.2 渐开线的形成及其特性	97	4.8.1 蜗杆蜗轮机构传动及特点	122
4.2.3 渐开线函数及渐开线方程式	98	4.8.2 蜗杆蜗轮机构的正确啮合条件	123
4.2.4 渐开线齿廓的啮合特性	98	4.8.3 蜗杆蜗轮机构的基本参数及几何尺寸计算	123

4.9 圆锥齿轮机构·····	125	6.1.4 摩擦式棘轮机构简介·····	156
4.9.1 圆锥齿轮机构的传动特点·····	125	6.2 槽轮机构·····	156
4.9.2 圆锥齿轮的背锥与当量齿数 ·····	125	6.2.1 槽轮机构的组成及工作原理 ·····	157
4.9.3 圆锥齿轮的几何尺寸计算·····	126	6.2.2 槽轮机构的类型、特点及应用 ·····	157
思考题与习题·····	128	6.2.3 槽轮机构的运动特性系数·····	159
第5章 轮系 ·····	131	6.2.4 槽轮机构的运动和动力特性 ·····	160
5.1 轮系的组成及其分类·····	131	6.3 不完全齿轮机构·····	161
5.1.1 定轴轮系的组成·····	131	6.3.1 不完全齿轮机构的组成和工作 原理·····	161
5.1.2 周转轮系的组成及分类·····	131	6.3.2 不完全齿轮机构传动的优缺点 ·····	162
5.1.3 混合轮系的组成·····	132	6.4 不完全摆线针轮机构·····	162
5.2 轮系的传动比计算·····	132	6.4.1 不完全摆线针轮机构的组成及 工作原理·····	162
5.2.1 定轴轮系的传动比计算·····	132	6.4.2 不完全摆线针轮机构的啮合与 传动特性·····	163
5.2.2 周转轮系的传动比计算·····	133	6.5 螺旋机构·····	164
5.2.3 混合轮系的传动比计算·····	135	6.5.1 螺旋机构的工作原理和类型 ·····	164
5.3 轮系的功用·····	137	6.5.2 螺旋机构的传动特点和应用 ·····	165
5.3.1 获得较大的传动比·····	137	6.5.3 滚珠螺旋简介·····	165
5.3.2 实现变速换向传动·····	138	6.6 万向联轴节·····	167
5.3.3 实现分路传动·····	138	6.6.1 万向联轴节的结构及其运动 特性·····	167
5.3.4 实现运动的合成·····	138	6.6.2 双万向联轴节·····	168
5.3.5 实现运动的分解·····	139	6.6.3 万向联轴节的特点与应用·····	169
5.4 周转轮系的设计及各轮齿数 确定·····	141	思考题与习题·····	169
5.4.1 传动比条件·····	141	第7章 空间连杆机构及机器人机构 ·····	171
5.4.2 同心条件·····	141	7.1 空间机构的自由度·····	171
5.4.3 装配条件·····	142	7.1.1 空间机构中构件的自由度与运 动副的约束·····	171
5.4.4 邻接条件·····	142	7.1.2 空间机构的自由度计算·····	173
5.5 其他轮系简介·····	143	7.2 空间连杆机构解析运算的矩 阵法基础·····	174
5.5.1 渐开线少齿差行星齿轮传动 ·····	143		
5.5.2 摆线针轮传动·····	145		
5.5.3 谐波齿轮传动·····	145		
思考题与习题·····	146		
第6章 其他常用机构 ·····	150		
6.1 棘轮机构·····	150		
6.1.1 棘轮机构的基本形式和工作 原理·····	150		
6.1.2 棘轮机构的特点与应用·····	152		
6.1.3 棘轮机构设计的若干问题·····	153		

7.2.1 空间坐标平移变换	174	9.1.1 研究机械系统动力学问题的 目的和内容	208
7.2.2 空间坐标旋转变换	175	9.1.2 机械运转的三个阶段	208
7.2.3 空间坐标一般变换	176	9.1.3 作用于机械的外力	210
7.3 空间 RSSR 四杆机构的运动 分析	177	9.2 机械系统的等效动力学模型	211
7.3.1 选定各坐标系及标定相关参数	177	9.2.1 转化法的基本原理	211
7.3.2 位移方程的建立与求解	178	9.2.2 等效量的一般表达式	213
7.3.3 角速度与角加速度的求解	179	9.2.3 转化构件运动方程的两种形式	217
7.4 机器人机构	179	9.3 机械真实运动的求解	219
7.4.1 机器人机构的组成与运动要求	180	9.3.1 等效转动惯量和等效力矩为位置 函数时机械运动的求解	219
7.4.2 机器人主体机构的主要类型	181	9.3.2 特例——等效转动惯量和等效力矩 均为常数时机械运动的求解	220
7.4.3 三自由度机器人机构的位置 问题	182	9.4 机械运动速度波动的调节	221
7.4.4 机器人的腕部和手部机构	183	9.4.1 周期性速度波动的衡量指标	221
思考题与习题	185	9.4.2 周期性速度波动产生的原因	223
第 8 章 机械中的摩擦与机械效率 ..	187	9.4.3 周期性速度波动调节的基本 原理	224
8.1 运动副中的摩擦与自锁	187	9.4.4 飞轮转动惯量的近似确定	224
8.1.1 研究运动副中摩擦的基本力学 原理	187	9.4.5 机械运动非周期性速度波动的 调节	229
8.1.2 移动副(平面和槽面)中的摩擦	188	思考题与习题	230
8.1.3 转动副中的摩擦	191	第 10 章 机械的平衡	235
8.1.4 考虑运动副摩擦的机构的力量分 析与摩擦的应用	193	10.1 机械平衡的分类及方法	235
8.2 机械效率与自锁	196	10.1.1 机械平衡的分类	235
8.2.1 机械效率的功率表达形式和力 表达形式	196	10.1.2 机械平衡的方法	236
8.2.2 机械系统的机械效率	198	10.2 刚性转子的平衡计算	236
8.2.3 机械效率与自锁的关系	200	10.2.1 刚性转子的静平衡计算	236
8.3 斜面传动和螺旋传动的机械 效率	200	10.2.2 刚性转子的动平衡计算	238
8.3.1 斜面传动的效率与自锁	200	10.3 刚性转子的平衡试验	240
8.3.2 螺旋传动的效率与自锁	202	10.3.1 静平衡试验	240
思考题与习题	205	10.3.2 动平衡试验	240
第 9 章 机械系统动力学基础	208	10.3.3 转子的许用不平衡量	241
9.1 机械系统动力学问题概述	208	10.4 挠性转子的动平衡简介	242
		10.5 平面机构的平衡	243

10.5.1 机构惯性力的完全平衡	243	11.4 机构选型及机构系统运动方案 设计	264
10.5.2 机构惯性力的部分平衡	246	11.4.1 机构类型的选择	264
思考题与习题	247	11.4.2 机构系统运动方案设计的某些 特殊要求	267
第 11 章 机构系统的运动方案设计	250	11.4.3 机构系统运动方案设计的基本 原则	269
11.1 机构系统运动方案设计概述	250	11.5 机构系统运动循环图	272
11.1.1 机构系统运动方案设计的任务 与步骤	250	11.5.1 机构系统运动循环图及其类型	272
11.1.2 机构系统设计的创新途径 ...	252	11.5.2 机构系统运动循环图的拟订	275
11.2 基本机构的组合方式	255	11.6 机构系统运动方案设计实例	280
11.2.1 机构的串接式组合	255	11.6.1 总功能分析	280
11.2.2 机构的并接式组合	256	11.6.2 功能分解	281
11.2.3 机构的复合式组合	256	11.6.3 运动转换功能图	281
11.2.4 机构的反馈式组合	257	11.6.4 形态学矩阵	282
11.2.5 机构的叠连式组合	257	11.6.5 运动循环图	283
11.3 典型组合机构的分析与设计	258	11.6.6 运动示意图	283
11.3.1 连杆-凸轮组合机构	258	思考题与习题	284
11.3.2 凸轮-齿轮组合机构	261	参考文献	286
11.3.3 连杆-齿轮组合机构	263		

第 0 章 绪 论

本章主要介绍机械原理课程的研究对象和研究内容,以及机械原理课程的地位、作用及学习方法,使读者对课程的性质、主要内容等方面有一个初步的了解,为进一步学习本课程打好基础。应掌握的主要内容:

- 机器及机构的特征;
- 本课程的研究内容。

0.1 机械原理研究的对象

机械原理是机器与机构原理的简称,是以机器和机构为研究对象的一门学科。

0.1.1 机器及其特征

在日常生活和工作中,我们接触和见过很多机器,从家庭用的洗衣机、电风扇到工厂使用的各种机床,从汽车、起重机到机器人、宇宙飞船等。机器的种类繁多,构造、用途和性能也各不相同。虽然我们对机器已经有了一定的感性认识,但一部机器究竟是怎样组成的,它有哪些特征?为了说明这些问题,首先来分析以下两个实例。

图 0-1 所示为一台内燃机,其主体部分由缸体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 等组成。当燃气在缸体内燃烧膨胀而推动活塞移动时,通过连杆带动曲轴绕其轴线转动。

为使曲轴得到连续的转动,必须定时地送进燃气和排出废气,这是由缸体两侧的凸轮 5',通过顶杆 6、控制进气阀 7 和排气阀 8,使其定时关闭和打开来实现的。

曲轴 4 的转动通过齿轮 4'、5 传递给凸轮 5',再通过杆件 6,使阀门 7 和 8 的运动与活塞 2 的移动位置保持某种配合关系。

以上各个机件协同工作的结果,将燃气燃烧的热能转变为曲轴转动的机械能,从而使这台机器输出旋转运动和驱动力矩,成为能做有用功的机器。

图 0-2 所示为汽车自动生产线上的焊接机器人,其功能是对所需要焊接的各部位进行自动点焊。

该机器人的主体部分是由基座 1、腰部 2、大臂 3、小臂 4 和手腕 8 所组成的。电机 M_1 通过蜗杆蜗轮减速和换向,驱动腰部 2,实现腰部的水平回转运动 φ_1 ;电机 M_2 驱动大臂 3,实现大臂的倾斜运动 φ_2 ;电机 M_3 驱动螺杆 6 转动,带动螺母 7 移动,通过连杆 5 的运动,实

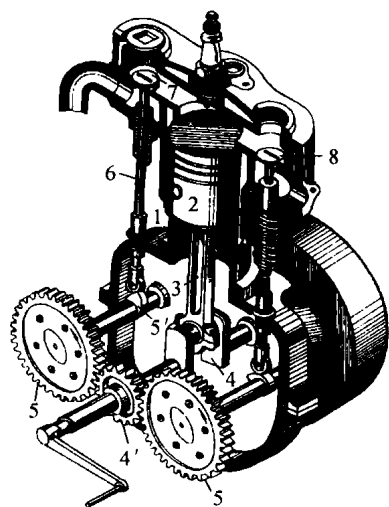


图 0-1 内燃机

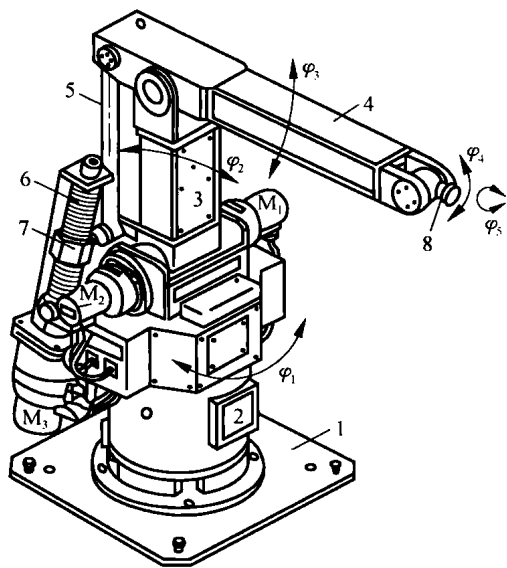


图 0-2 焊接机器人

现小臂 4 的俯仰运动 φ_3 ；电机 M_1 和 M_5 （图中不可见）驱动手腕 8，实现手腕的弯曲运动 φ_4 和旋转运动 φ_5 。各电机按预先设计好的运动规律转动时，通过腰部、大臂、小臂及手腕的运动，带动焊枪，按设定的运动顺序、动作方式、位置坐标、步进时间等运动，完成焊接工作。

从以上两个机器的实例可以看出，这些机器的构造、性能和用途虽然各不相同，但从组成、运动和功能来看，它们都具有以下共同的特征：

(1) 它们是一种通过加工制造和装配而成的机件组合体。

(2) 各个机件之间都具有确定的相对运动。

(3) 能实现能量的转换，并做有用的机械功。在生产过程中，能代替或减轻人的劳动。

凡同时具备上述三个特征的实物组合体就称为**机器**。机器是执行机械运动的装置，用来

完成有用的机械功或转换其他能量为机械能。利用机械能来完成有用功的机器称为**工作机**，如各种机床、轧钢机、纺织机、印刷机、包装机等。将化学能、电能、水力、风力等能量转换为机械能的机器称为**原动机**，如内燃机、电动机、涡轮机等。

0.1.2 机构及其特征

对上述两个机器的实例进一步分析可知，每部机器又可分为一个或多个由若干机件（如齿轮、凸轮、连杆、曲轴等）组成的特定组合体，用来实现某种运动的传递或运动形式的变换。例如，在图 0-1 所示的内燃机中，其主体部分是由缸体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 所组成的组合体，活塞 2 相对缸体 1 的移动，通过连杆 3 转变为曲轴 4 的定轴转动，它实现了将移动变换成为转动的功能。而齿轮机件之间的传动则是将一个轴的转动传递到另一个轴上。

这些各具特点，并且能够传递或变换运动的特定机件组合体称为**机构**。图 0-1 所示的内燃机经分解可知，是由齿轮机构、凸轮机构和连杆机构所组成的。

由此可见，机构是机器的重要组成部分，其主要功能是实现运动和动力的传递和变换。因此，机构也具有机器的前两个特性：

(1) 它是一种通过加工制造和装配而成的机件组合体。

(2) 各个机件之间具有确定的相对运动。

机器是由一个或多个不同机构所组成的。它可以完成能量的转换或做有用的机械功，而机构则仅仅起着运动和动力的传递和变换的作用。或者说，机构是实现预期的机械运动的机件组合体，而机器则是由各种机构组成的、能实现预期机械运动并完成有用机械功或转换机械能的机构系统。

由于机构与机器具有两个共同的特性，所以从组成和运动的角度，两者并无差别。本课程只研究机器和机构的组成和运动方面的问题，而不涉及机器的能量转换和做功问题，因此，在本课程中，将机器和机构总称为“**机械**”。

0.2 机械原理课程研究的主要内容及方法

0.2.1 机械原理课程研究的主要内容

机械原理作为一门学科,并不研究某种特定的机器或机构,而是研究机构与机器在运动学与动力学方面的共性问题,并着重研究常用机构的运动设计问题。机械原理课程研究的内容可归纳为“分析”和“综合”两大类。

分析:对已有机器或机构在组成、运动学和动力学等方面作分析,以了解和掌握机器或机构的运动学和动力学特性。

综合:按照给定的运动和传力等方面的要求和条件,选择机构的类型(包括创造新机构),并设计出与运动有关的机件的几何形状(如凸轮轮廓)和尺寸(如连杆长度)。由于不涉及各机件的强度、材料选择和具体的结构形状等问题,故机构的综合实质上是机构运动设计,简称机构设计。

机构的分析与综合虽然出发点和目的不同,但是在解决机器的结构和运动问题时,两者往往是紧密相关的,并由此构成机械原理研究的主要内容。

1. 机构的组成分析

研究机构的组成要素和组成原理,判断机构运动的可能性和确定性,为合理组成各种机构和创造新机构探索基本规律。

2. 常用机构的分析与设计

以设计为主线,介绍各种常用机构的类型、功用和特点,分析各种机构的传动特性,研究机构在满足给定运动和传力等要求时的尺寸或几何形状的设计方法。

3. 机构组合系统的分析与设计

研究由若干基本机构组成机构系统的连接方式,典型组合机构的分析与设计,以及机构系统运动方案的设计准则。

4. 机械的若干动力学问题

着重研究机械中的摩擦与机械效率对机构运动的影响,探讨机械在已知质量和外力作用下的真实运动规律,解决机械在运转中周期性速度波动和机械中惯性力不平衡等问题。

0.2.2 机械原理课程研究的方法

研究机械原理问题的方法有图解法、解析法和虚拟样机仿真法。图解法主要是通过作图求解机构运动和设计问题,特点是几何概念清晰、直观易懂,便于判断结果正确与否,在解决问题的过程中,侧重于形象思维。解析法是在建立数学模型的基础上,通过计算求解获得有关分析和设计结果,特点是应用计算机使计算变得快捷而精确,在解决问题的过程中,侧重于逻辑思维。虚拟样机仿真法是应用虚拟样机技术,借助虚拟样机软件平台,通过建立机械系统的虚拟样机,进行仿真分析,获取有关分析结果,或对设计结果进行验证,特点是形象直观、易于操作。

计算机的广泛应用和测试技术的提高,为机械原理课程的研究提供了先进的手段和方法,也促进了机械原理的发展。本教材着重反映机构分析与设计最基本的原理和方法,以及机械动力学的最基本问题,为适应现代机械设计工作打下良好的理论基础。

0.3 机械原理课程的地位、作用及学习方法

0.3.1 机械原理课程的地位和作用

机械原理是在画法几何、机械制图、大学物理和理论力学等前修课程的基础上,应用运动几何学、刚体力学等基本理论研究机械共性问题的一门主干技术基础课。它不同于数、理、化等理论课,而更接近工程实际;它也不同于有关机械类专业(如机械设计制造及其自动化专业)的专业课,而具有更广泛的适用性。因此本课程在教学计划中处于“承上启下”的地位。

由于机械原理是研究机构与机器关于运动学和动力学方面的共性问题,以及常用机构及机构系统的运动设计问题,因此它的任务是使学习者掌握有关机构与机器运动学和动力学的基本理论、基本方法和基本技能,初步具有拟订机构系统运动方案、分析和设计机构的能力,从而起到增强学习者对机械技术工作的适应性和开拓创造能力的作用。

0.3.2 机械原理课程的学习方法

从上述机械原理研究的主要内容可看出,机械原理课程有两个显著的特点,即具有较强的实践性和可动性。这是因为课程研究的问题来源于实际的具体机构和机器,课程研究的对象是具有确定运动的机构,而非静止不动的结构。因此,在学习方法上也要与之相适应。在学习过程中,尤其应注意以下几点“结合”。

(1) 理论与实践相结合。随时联系生产和生活实践,主动应用所学理论与方法去解决有关机构与机器在运动学和动力学方面的实际问题。

(2) 机构简图与实物相结合。为便于研究,课程中的机构均用简单的几何线条表示,与实际的机件所组成的机构的外形相差甚远。在进行机构运动设计时,应考虑到由实际机件组成的机构可能会出现的问题。

(3) 机构的静态与动态相结合。在研究机构运动时,往往要画出机构在某个位置的简图(几何图形),在屏幕或纸面上只是表示出该位置的静止状态。而要真正了解机构在一个运动周期的运动特性,就必须让机构位置的几何图形动起来,即将其看成一个可变的几何图形。

(4) 形象思维与逻辑思维相结合。在对机构的研究中,某些概念、结论或参数关系式并非完全由逻辑推理而得,常常直接由几何图形或物理概念获得。

思考题与习题

- 0-1 机械原理课程研究的对象是什么?
- 0-2 什么是机器?什么是机构?它们各有什么特性?
- 0-3 机械原理课程是属于什么性质的课程?它研究的主要内容是什么?
- 0-4 学习本课程应注意的学习方法是什么?

第 1 章 机构的组成原理

机构是具有确定相对运动的机件组合体,不具有确定相对运动或不具有相对运动的机件组合体都不能成为机构。按照怎样的规律,把各个机件连接组合到一起使其具有确定的相对运动而成为机构,是本章的主要任务之一。此外,本章还将从结构的观点来研究机构的组成原理,并对机构的结构进行分析。应掌握的主要内容:

- 机构运动简图绘制;
- 机构的自由度计算;
- 机构的组成原理及结构分析。

1.1 机构的组成及机构运动简图

通常来讲,机器是由机构组成的,而机构的设计常常是整个机器设计的第一步。因此,首先必须了解机构是怎样构成的,并对新设计的机构能否运动及其运动的确定性做出准确的判断。

其实机构的实际构造是很复杂的。这是因为除了要满足机器的运动要求以外,还要考虑机器零件的强度、加工工艺、安装和控制等其他因素,因此在分析机构的运动时,不需要考虑那些与运动无关的因素,只需绘制与机构的运动密切相关的简图,称之为运动简图,这是需要掌握的基本技能,也是进行机构运动分析的重要手段之一。

1.1.1 机构的组成要素——构件、运动副

1. 构件

构件是机构中的运动单元体。在图 1-1 所示的内燃机中,由缸体 1、活塞 2、连杆 3 和曲轴 4 四个机件组成的机构称为连杆机构。组成机构的各个机件被称为构件。

一个构件可能是一个零件,也可能由几个零件固定连接而成。如图 1-2(a)所示的曲轴,它是一个构件,也是一个零件;而如图 1-2(b)所示的连杆,它是一个构件,但是由连杆体、连杆盖、轴瓦、螺栓、螺母、开口销等

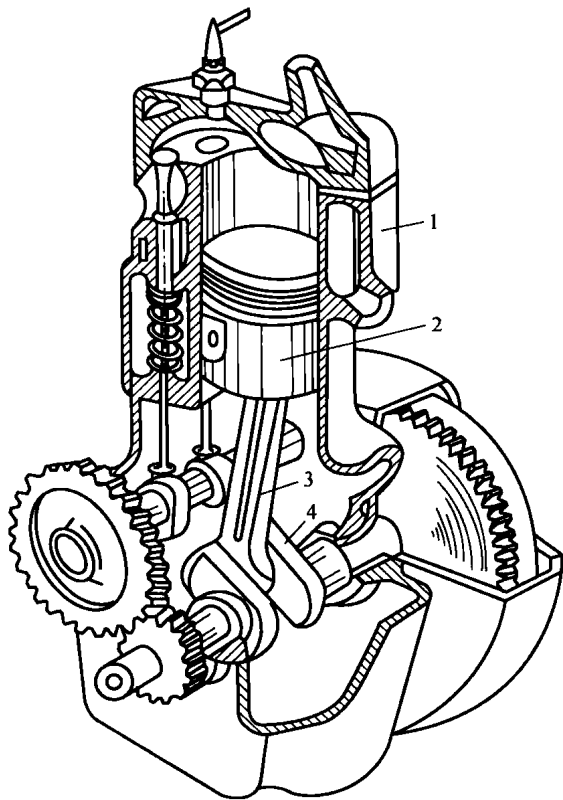


图 1-1 内燃机结构示意图

零件组成的。组成一个构件的各零件之间没有相对运动。构件与零件的本质区别在于：**构件是运动的单元体，而零件是制造的单元体**。本课程以构件作为基本研究单元。

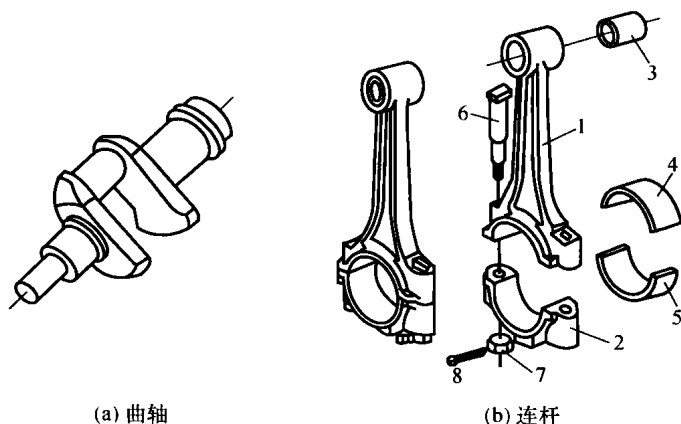


图 1-2 构件与零件

1—连杆体；2—连杆盖；3、4、5—轴瓦；6—螺栓；7—螺母；8—开口销

根据构件在机构中所起的作用不同，可将构件分成机架（或固定件）、原动件（或主动件）和从动件。机构中固连于定参考系的构件称为**机架**（或固定件）；机构中可相对于机架运动的构件称为**活动构件**，其中按照给定运动规律独立运动的构件称为**原动件**（主动件），而其余活动构件称为**从动件**。如图 1-1 所示的连杆机构中，缸体 1 为机架，活塞 2 为原动件，而连杆 3 和曲轴 4 为从动件。

需要说明的是，从现代机器发展趋势来看，机构中的各构件可以是刚性的，某些构件也可以是挠性的或弹性的，或是由液压、气动、电磁件构成的。所以说，现代机器中的机构已不完全是纯刚性构件的机构。

2. 运动副

构件组成机构时，需要以一定的方式将各个构件彼此连接起来，而且每个构件至少要与另一构件相连接。显然这种连接应保证被连接的两构件之间仍能产生一定的相对运动。这种由两个构件直接接触组成的可动的连接称为**运动副**。

根据组成运动副两构件间相对运动的位置分类，可将运动副分为平面运动副（见图 1-3(a)、(b)、(c)和(d)）和空间运动副（见图 1-3(e)和(f)）。

根据组成运动副两构件间的接触形式分类，面接触的运动副称为**低副**（见图 1-3(a)、(b)、(e)和(f)），点或线接触的运动副称为**高副**。常见的平面高副有齿轮齿廓接触组成的齿轮副（见图 1-3(c)）和凸轮轮廓与从动件端部之间的点或线接触所组成的凸轮副（见图 1-3(d)）。

根据组成运动副两构件间相对运动的类型分类，又可将其分为转动副（见图 1-3(a)）、移动副（见图 1-3(b)）等。

本章将重点讨论平面运动副。

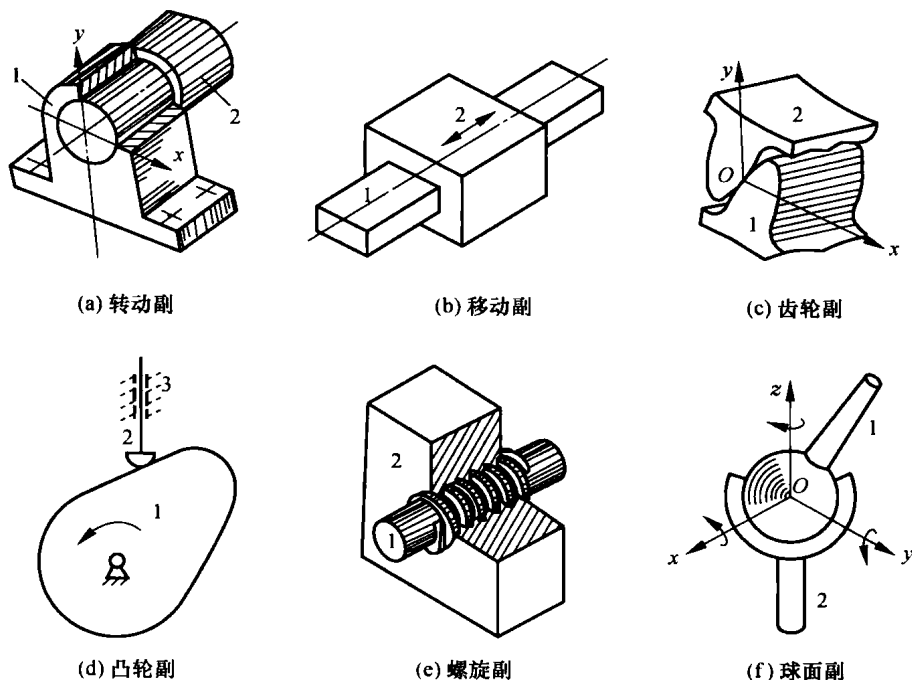


图 1-3 运动副

1.1.2 运动链与机构

1. 运动链

把若干个构件用运动副连接起来所形成的构件系统称为**运动链**。

如果运动链构成封闭图形,如图 1-4(a)所示,称为**闭式链**;运动链未形成封闭图形,如图 1-4(b)所示,称为**开式链**。闭式链和开式链在实际机构中,各有不同的应用。一般机械中闭式链应用的比较广,机器人中应用开式链多一些。

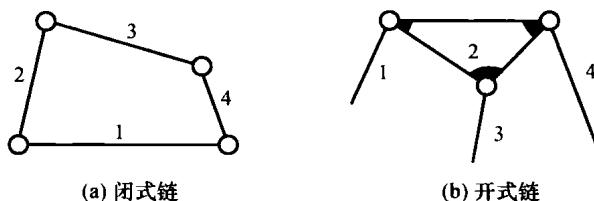


图 1-4 运动链

2. 机构

根据机构的定义,机构也是由若干个构件用运动副连接起来所形成的。和运动链不同的是,机构中必须有一个构件为机架,且各构件具有确定的运动。换句话说,如果取运动链中的某个构件为机架,当运动链中的一个或若干个构件相对于机架(参考坐标系)按规定的运动规律做相对独立的运动时,而该运动链中的其余构件能够随之按确定的规律运动,这样的运动链就成为了机构。

实际机构的形式千差万别,构造和用途也各不相同,但它们往往都是由一些具有基本形

式的机构所组成的。如往复式发动机、活塞式泥浆泵和压床等机器,就其外形和用途来说差别很大,但是它们的运动本质却是相同的,即机器的主要机构都是由曲柄滑块机构所构成的。因此,为了便于研究机构,应撇开机器的具体工作性能及构件的外形结构,而只研究机构的一般形式和运动规律就可以了。

1.1.3 机构运动简图

在实际的机构中,构件和运动副的外形结构通常都很复杂,但这种复杂的外形结构、截面尺寸及运动副的具体构造却与构件的运动方式和运动规律无关。因此,在对机构进行运动分析和动力分析时,可以忽略那些无关的因素而只考虑与运动有关的因素,并用最为简洁明了的方式,把构件和运动副所形成的机构图形画出来。这种利用简单线条和规定的运动副的表示方法绘制的机构图就是**机构运动简图**。机构运动简图与实际机构应具有完全相同的运动特性,即它们所有构件的运动形式是完全相同的,因此机构运动简图必须根据机构的实际尺寸按比例绘制。

机构是由构件和运动副组成的,要绘制机构运动简图,首先要明确怎样用简单的线条和符号来表示构件和运动副。

1. 运动副的表示符号

表 1-1 给出了几种常用运动副的表示符号。

表 1-1 常用运动副符号(摘自 GB 4460—1984)

运动副名称	运动副符号	
	两运动构件构成的运动副	两构件之一固定时的运动副
转动副		
平面运动副		
平面高副		