



普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

机械原理

○张 静 主 编
○刘春东 副主编



➤ 结合生产实践和日常生活的实际应用实例

➤ 内容的选取和编排侧重应用型人才的培养

➤ 各章后附有一定数量的练习题及考研真题



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

机械原理

第2版



机械原理

第2版

机械原理



机械原理

机械原理

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

机 械 原 理

张 静 主 编

刘春东 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是根据教育部高等教育机械基础课程教学指导委员会的要求而编写的,旨在满足全国众多应用型本科院校培养机械类人才的需要。

全书共 12 章,内容包括绪论、平面机构的结构分析、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、轮系及其设计、间歇运动机构、平面机构的运动分析、平面机构的力分析、机械的平衡、机械的运转及其速度波动的调节、机械系统的方案设计。在各章后附有一定数量的思考题与习题及考研真题,以利于读者学习。

本书主要作为应用型本科院校机械类各专业本科生必修课的教材,也可作为高职高专机械类各专业的教材,还可作为非机械类学生及有关工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容
版权所有,侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械原理 / 张静主编. —北京:电子工业出版社, 2015.2
普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材
ISBN 978-7-121-25100-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 292962 号

策划编辑:郭穗娟

责任编辑:陈韦凯

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:390 千字

版 次:2015 年 2 月第 1 版

印 次:2015 年 2 月第 1 次印刷

定 价:45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

《普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材》

专 家 编 审 委 员 会

主 任 委 员 黄传真

副主任委员 许崇海 张德勤 魏绍亮 朱林森

委 员 (排名不分先后)

李养良 高 荣 刘良文 郭宏亮 刘 军

史岩彬 张玉伟 王 毅 杨玉璋 赵润平

张建国 张 静 张永清 包春江 于文强

李西兵 刘元朋 褚 忠 庄宿涛 惠鸿忠

康宝来 宫建红 宁淑荣 许树勤 马言召

沈洪雷 陈 原 安虎平 赵建琴 高 进

王国星 张铁军 马明亮 张丽丽 楚晓华

魏列江 关跃奇 沈 浩 鲁 杰 胡启国

陈树海 王宗彦 刘占军 刘仕平 姚林娜

李长河 杨建军 刘琨明

前 言

本书注重能力的培养，力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力，以及不断自我更新知识的能力，促进学生向着富有鲜明个性的方向发展，旨在满足全国众多应用型本科院校培养机械类人才的需要。

本书的编写章节结合生产实践和日常生活实际的应用实例，在阐述机械原理的基本概念、基本原理和基本方法的同时，遵循由浅入深、循序渐进的原则，内容侧重应用型人才的培养。课堂教学学时宜为 60 学时左右，实验学时为 6~8 学时，课程设计为 1.5 周。

各章参考学时见下表：

章 节	参 考 学 时
第 1 章 绪论	1
第 2 章 平面机构的结构分析	8
第 3 章 平面连杆机构及其设计	8
第 4 章 凸轮机构及其设计	6
第 5 章 齿轮机构及其设计	12
第 6 章 轮系及其设计	4
第 7 章 间歇运动机构	2
第 8 章 平面机构的运动分析	4
第 9 章 平面机构的力分析	4
第 10 章 机械的平衡	3
第 11 章 机械的运转及其速度波动的调节	4
第 12 章 机械系统的方案设计	4

本书由河北建筑工程学院张静担任主编，河北建筑工程学院刘春东担任副主编。参加本书编写工作的有河北建筑工程学院张静（第 2、4、11 章，5.1~5.8 节）、刘春东（第 1、8、9 章，5.9~5.11 节）、张灿果（第 7 章）、郑州科技学院张晓莹（第 3、6 章）、桂林航天工业学院许本胜（第 10、12 章）。

感谢电子工业出版社对本书的编写工作给予了热情的关注和大力支持。

尽管编者为本书付出了十分的心血和努力，但疏漏和欠妥之处仍然存在，恳请广大同仁和读者批评指正。

编 者

2015 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1	习题与思考题	24
1.1 机械原理课程研究的对象 与内容	1	第 3 章 平面连杆机构及其设计	26
1.1.1 机器	1	3.1 平面连杆机构及其传动特点	26
1.1.2 机构	3	3.2 铰链四杆机构的基本类型 及其演化	26
1.2 机械原理课程在专业中的地位 和作用	3	3.2.1 铰链四杆机构的基本类型 及其应用	26
1.3 如何进行本课程的学习	4	3.2.2 铰链四杆机构存在曲柄 的条件	29
1.4 机械原理学科的发展现状 及趋势	4	3.2.3 铰链四杆机构的演化	30
习题与思考题	5	3.3 平面四杆机构的基本知识	33
第 2 章 平面机构的结构分析	6	3.3.1 平面四杆机构的急回 运动特性	33
2.1 平面机构的结构分析的内容 和目的	6	3.3.2 平面四杆机构的死点	34
2.2 机构的组成	6	3.3.3 平面四杆机构的压力角和 传动角	34
2.2.1 构件与零件	6	3.4 平面四杆机构的设计	35
2.2.2 运动副	6	3.4.1 用图解法设计平面四杆机构	36
2.2.3 运动链	7	3.4.2 用解析法设计平面四杆机构	39
2.3 平面机构运动简图	8	3.4.3 用实验法设计平面四杆机构	40
2.3.1 构件的自由度	8	习题与思考题	40
2.3.2 运动副的分类及表示	8	第 4 章 凸轮机构及其设计	45
2.3.3 构件的分类及表示	9	4.1 概述	45
2.3.4 平面机构运动简图	12	4.1.1 凸轮机构的组成	45
2.4 平面机构自由度	13	4.1.2 凸轮机构的应用和分类	45
2.4.1 平面机构自由度计算公式	13	4.2 从动件的运动规律	48
2.4.2 平面机构具有确定运动的 条件	14	4.2.1 凸轮机构的基本概念和参数	48
2.4.3 计算平面机构自由度时应 注意的事项	15	4.2.2 从动件常用的运动规律	49
2.5 平面机构的组成原理与 结构分析	19	4.2.3 从动件运动规律的选择	59
2.5.1 平面机构的组成原理	19	4.3 盘形凸轮轮廓曲线的设计	60
2.5.2 平面机构的结构分类	20	4.3.1 凸轮轮廓曲线设计的 基本原理	60
2.5.3 平面机构的高副低代	20	4.3.2 用图解法设计盘形凸轮轮廓 曲线	61
2.5.4 平面机构的结构分析	22		

4.3.3 用解析法设计盘形凸轮轮廓曲线	65	5.8 变位齿轮简介	96
4.4 凸轮机构基本参数的确定	68	5.8.1 变位齿轮的概念	96
4.4.1 压力角的确定	68	5.8.2 不根切的最小变位系数 $x_{\min}$	96
4.4.2 基圆半径的确定	71	5.8.3 变位齿轮的几何尺寸	97
4.4.3 滚子半径的确定	71	5.8.4 变位齿轮传动	98
4.4.4 平底尺寸的确定	72	5.8.5 变位齿轮传动类型及特点	100
习题与思考题	73	5.8.6 变位齿轮传动的设计步骤	100
第5章 齿轮机构及其设计	76	5.9 斜齿圆柱齿轮机构	101
5.1 概述	76	5.9.1 斜齿圆柱齿轮齿面的形成及其传动特点	101
5.1.1 齿轮机构的特点	76	5.9.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数及几何尺寸	102
5.1.2 齿轮机构的分类	76	5.9.3 斜齿圆柱齿轮的当量齿轮和当量齿数	105
5.2 传动比齿廓啮合基本定理	78	5.9.4 斜齿圆柱齿轮啮合传动	106
5.2.1 传动比	78	5.9.5 交错轴斜齿轮传动	107
5.2.2 齿廓啮合基本定理	78	5.10 圆锥齿轮机构	108
5.3 渐开线的形成及其性质	79	5.10.1 圆锥齿轮的传动特点	108
5.3.1 渐开线的形成	79	5.10.2 渐开线直齿圆锥齿轮齿廓曲面的形成	109
5.3.2 渐开线的性质	80	5.10.3 圆锥齿轮的背锥与当量齿数	109
5.3.3 渐开线方程与渐开线函数	80	5.10.4 圆锥齿轮的啮合传动及其几何尺寸	110
5.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	81	5.11 蜗杆传动机构	112
5.4.1 齿轮各部分名称和符号	81	5.11.1 蜗杆传动的特点	112
5.4.2 标准齿轮的基本参数	83	5.11.2 蜗杆传动的基本参数	112
5.4.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮几何尺寸计算	83	5.11.3 蜗杆传动的正确啮合条件	114
5.5 渐开线齿轮传动及渐开线齿廓的啮合特性	85	5.11.4 蜗杆传动的几何尺寸	114
5.5.1 节点、节圆、啮合线和啮合角	85	习题与思考题	115
5.5.2 渐开线齿廓的啮合特性	85	第6章 轮系及其设计	119
5.6 渐开线齿轮正确啮合和连续传动的条件	87	6.1 轮系的分类	119
5.6.1 正确啮合的条件	87	6.2 定轴轮系的传动比计算	120
5.6.2 正确安装条件	88	6.3 周转轮系的传动比计算	121
5.6.3 连续传动条件	90	6.4 复合轮系的传动比计算	123
5.7 渐开线齿廓的切削加工	92	6.5 轮系的功用	124
5.7.1 渐开线齿廓的切削原理	92	6.6 周转轮系的设计及各轮齿数的确定	129
5.7.2 渐开线齿廓的根切现象及其产生的原因	95	6.7 其他类型行星传动简介	132
5.7.3 渐开线标准齿轮不根切的条件	95	6.7.1 渐开线少齿差行星齿轮传动	132

6.7.2 摆线针轮传动	133	8.3.1 矩阵法	160
6.7.3 谐波齿轮传动	133	8.3.2 复数矢量法	162
习题与思考题	134	8.4 运动线图	163
第7章 间歇运动机构	138	习题与思考题	164
7.1 棘轮机构	138	第9章 平面机构的力分析	167
7.1.1 棘轮机构的组成和工作原理	138	9.1 机构的惯性力确定和动态	
7.1.2 棘轮机构的类型	138	静力分析	167
7.1.3 棘轮机构的应用	139	9.1.1 构件惯性力的确定	168
7.2 槽轮机构	140	9.1.2 机构的动态静力分析	169
7.2.1 槽轮机构的组成及工作原理	140	9.2 机械传动中摩擦力的确定	171
7.2.2 槽轮机构的类型	141	9.2.1 移动副中摩擦力的确定	171
7.2.3 槽轮机构的应用	141	9.2.2 螺旋副中摩擦力的确定	174
7.3 不完全齿轮机构	142	9.2.3 转动副中摩擦力的确定	175
7.3.1 不完全齿轮机构的组成及		9.2.4 考虑运动副摩擦时机构的	
工作原理	142	力分析	177
7.3.2 不完全齿轮机构的类型		9.3 机械效率与自锁	178
及应用	142	9.3.1 机械的效率	178
7.4 螺旋机构	143	9.3.2 机械的自锁	181
7.4.1 螺旋机构的组成及工作原理	143	习题与思考题	184
7.4.2 螺旋机构的应用	144	第10章 机械的平衡	187
7.5 万向联轴节	145	10.1 机械平衡的目的和内容	187
7.5.1 单万向联轴节	145	10.1.1 机械平衡的目的	187
7.5.2 双万向联轴节	146	10.1.2 机械平衡的内容	187
7.5.3 万向联轴节的应用	147	10.2 刚性转子的平衡原理及方法	188
习题与思考题	147	10.2.1 静平衡	188
第8章 平面机构的运动分析	148	10.2.2 动平衡	189
8.1 用速度瞬心法对机构进行		10.2.3 平衡试验简介	191
速度分析	148	10.2.4 转子的许用不平衡量	193
8.1.1 速度瞬心的数目	148	10.3 平面连杆机构的平衡简介	194
8.1.2 瞬心的位置	149	10.3.1 完全平衡	194
8.1.3 瞬心法在机构速度分析		10.3.2 部分平衡	196
中的应用	150	习题与思考题	198
8.2 用相对运动图解法对机构		第11章 机械的运转及其速度波动	
进行速度和加速度分析	152	的调节	202
8.2.1 同一构件上两点间的速度和		11.1 机械系统动力学问题	202
加速度分析	152	11.1.1 研究机械系统动力学问题	
8.2.2 组成移动副的两构件瞬时重合		的目的和内容	202
点间的速度和加速度分析	155	11.1.2 机械运转的过程	202
8.3 用解析法对机构进行速度		11.1.3 驱动力和工作阻力的类型	
和加速度分析	159	及机械特性	203

11.2 机械系统的等效动力学模型 · 204	12.2.3 构件间运动的协调与机械 系统运动循环图·····221
11.2.1 等效动力学模型的基本原理 204	12.3 机构的组合·····224
11.2.2 等效力矩和等效力·····205	12.3.1 机构的串联组合·····224
11.2.3 等效转动惯量和等效质量 · 205	12.3.2 机构的并联组合·····224
11.3 机械运动速度波动的调节·····208	12.3.3 机构的复合式组合·····225
11.3.1 周期性速度波动产生的原因 208	12.3.4 机构的反馈式组合·····226
11.3.2 周期性速度波动的不均匀 系数·····210	12.4 机械系统方案设计举例·····226
11.3.3 周期性速度波动调节的 基本原理·····211	12.4.1 C1325 自动车床刀架机械 传动系统的分析·····226
11.3.4 飞轮转动惯量 J_F 近似计算 · 212	12.4.2 多头专用钻床的机械传动 系统设计·····229
11.3.5 非周期性速度波动的调节 · 214	12.5 现代机械系统发展情况简介 · 233
习题与思考题·····215	12.5.1 系统分析设计方法·····233
第 12 章 机械传动系统的方案设计·····218	12.5.2 创造性设计方法·····233
12.1 概述·····218	12.5.3 优化设计·····234
12.2 机构选型及机构系统传动 方案设计·····218	12.5.4 可靠性设计·····234
12.2.1 机构系统传动方案设计的 基本原则·····218	12.5.5 机构的动力平衡·····235
12.2.2 机构类型的选择·····220	习题与思考题·····235
	参考文献·····236

第 1 章 绪 论

学习目标：主要介绍本课程的研究对象、内容、地位及在培养高级工程技术人才中的地位、作用和任务。要求掌握机器及机构的定义、特征；了解机器的组成、机械原理学科的发展，本课程的主要内容及在机械专业中的地位和作用，学习本课程的目的。

1.1 机械原理课程研究的对象与内容

机械原理 (Theory of Machines and Mechanisms)，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技术基础课。本课程以高等学校机械类专业的学生为对象，研究机械中机构的结构和运动，以及机器的结构、受力、质量和运动。通过理论学习与不断实践，加强创新思维和工程设计能力的训练，为机械产品创新设计提供必要的基础知识与方法。通过启发创新思维，培养学生主动实践的工程设计能力。

1.1.1 机器

“机械”是机器和机构的统称。在日常生产和生活中，我们接触过很多机器。不同的机器具有不同的形式、构造和用途，但通过分析可以看出，机器都是为了完成某种功能而专门设计的系统化装置。如内燃机和电动机用来转换能量；各类机床用来改变物料的形状或状态；起重运输机械用于传递物料；计算机、DVD 等用来加工、转换和传递电子信息等。如图 1-1 所示为一单缸四冲程内燃机，一个工作循环由吸气、压缩、工作和排气四个行程组成，将燃气的热能转换为机械能。工作顺序如下：活塞 3 下行将燃气由进气管通过进气门吸入汽缸 4 后，进气门关闭；活塞 3 上行压缩燃气；火花塞点火使高压燃气在汽缸中燃烧，迅速膨胀产生的压力推动活塞 3 下行，通过连杆 1 带动曲轴 2 转动，输出机械能；活塞 3 再次上行，排气门打开，废气通过排气管排出。其中，凸轮 7 和顶杆 6 用于控制进、排气门的开闭。

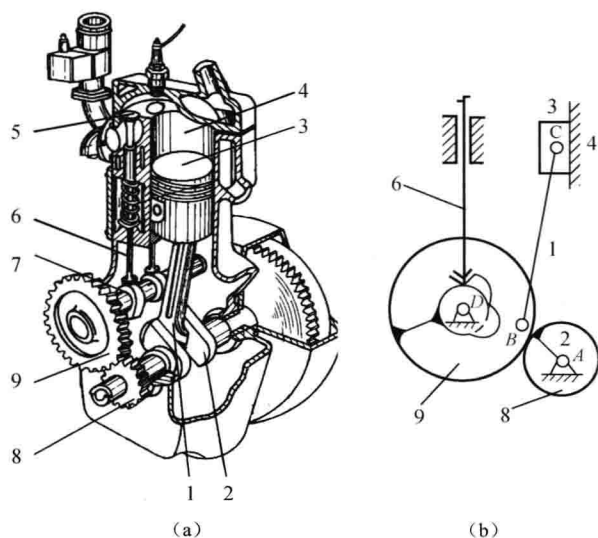
如图 1-2 (a) 所示为工件自动装卸装置。由电动机通过带传动、蜗杆传动、凸轮机构和连杆机构等的传动使滑杆向左移动时，滑杆上的动爪和定爪将工件夹住。电动机反转带动滑杆向右移动到一定位置时 (如图 1-2 (b) 所示)，夹持器的动爪受挡块的压迫将工件松开，于是工件落于工件载送器上，被送往下道工序。

由以上两个实例可以看出，机器应该具有以下 3 个共同特征：

- (1) 机器是人为的实物组合体，非自然之物；
- (2) 该组合体各部分之间都具有确定的相对运动；
- (3) 该组合体能够完成有用的机械功或实现能量、物料或信息的转换或转移。

同时具备上述 3 个特征的实物组合体就称为机器。典型机器主要由 4 部分组成：

- (1) 动力部分：是机器的动力来源。常用的有内燃机、电动机等；



1—连杆 2—曲轴 3—活塞 4—汽缸 5—进气阀 6—顶杆 7—凸轮 8—齿轮 9—齿轮

图 1-1 单缸四冲程内燃机

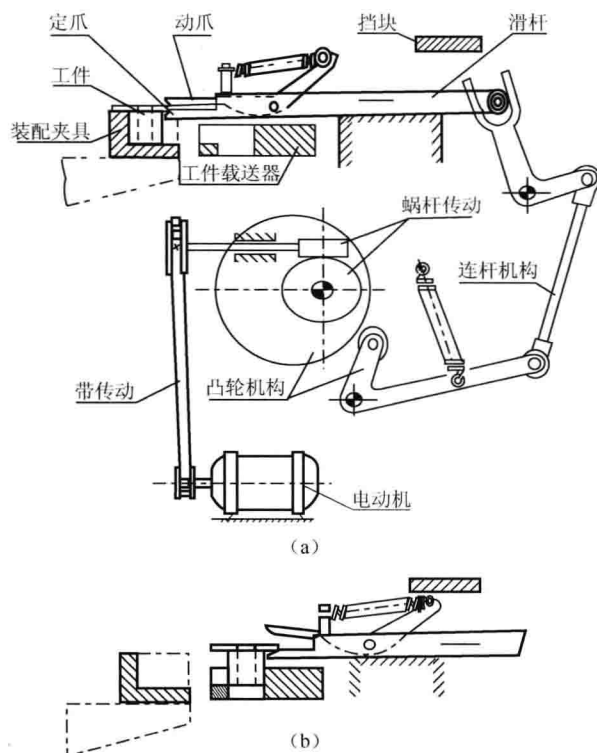


图 1-2 工件自动装卸装置

(2) 传动部分：是连接动力部分和执行部分的中间环节，传递或变换运动和动力，主要由各种传动结构组成；

(3) 执行部分：是机器的执行终端，完成预期的动作和实现一定功能；

(4) 控制部分：用于协调动力部分、传动部分和执行部分的工作形式和状态，能够有序、准确、可靠地完成预定的功能。

随着科学技术的发展，机器的种类也层出不穷，就其功能而言，大体可以将机器分为3类：

(1) 动力机器：将其他形式的能转化为机械能（内燃机、电动机等）；

(2) 工作机器：完成有用的机械功或搬运物品（切削机床、轧钢、起重、织布、包装、运输机等）；

(3) 信息机器：完成信息的传递与转换（复印、打印、传真、照相、绘图机等）。

1.1.2 机构

如图 1-2 所示的工件自动装卸装置中，包含了很多的传动机构，虽然形式多样，但都具有以下两个共同特征：

(1) 机器是人为的实物组合体；

(2) 该组合体各部分之间都具有确定的相对运动。

通过以上分析可知，机器与机构的区别在于：

① 机器可以包含一个机构，也可以包含多个机构。

② 机构只用来传递运动和力，而机器除传递运动和力外，还具有变换或传递能量、物料和信息的功能。

1.2 机械原理课程在专业中的地位 and 作用

机械原理是机械类专业研究机械共性问题的一门专业技术基础课程，具有更宽的研究范围和更广的适应性。是承上启下、联系基础课和专业课的桥梁和纽带，在机械专业学生的课程体系中占有非常重要的地位。

(1) 为机械类专业课程奠定基础。本课程主要研究具有机械共性的理论问题与实验分析方法，使学生掌握机构运动学和动力学的基本理论、基本知识和基本技能，学会常用机构的分析和设计方法，了解和掌握机械系统的设计过程，为专业课程的学习打下一个良好的基础。

(2) 为合理使用机械设备提供指导。作为机械专业的工程技术人员，将在工作中面对各种各样的机械设备。要能够正常使用、维护、管理各类机械设备、充分发挥设备的能力，就必须了解机械产品的原理和特性。通过本课程的学习，深入了解机构性能和基本特性，就能更好地使用、维护、管理各类机械设备。

(3) 为机械产品的改造和创新提供指导。创新是发展的动力，工业的进步离不开创新。对于已有的机械设备如何改造、完善，如何根据市场需要设计、开发出新的产品是机械专业工程技术人员所需要面对的问题。而产品的改造和创新主要是原理和设计方案的创新，那么，本课程所涉及的知识就可以提供必不可少的指导和帮助。

1.3 如何进行本课程的学习

鉴于本课程的特点和所占学科地位,为了学好本课程,就要着重注意弄清基本概念,理解基本原理,掌握基本规律和机构分析与涉及的基本方法。因此,在学习过程中就需要:

(1) 在学习知识的同时,注重能力的培养。通过各种实习,实践机会,加深理论理解,培养动手能力。

(2) 在重视逻辑思维的同时,加强形象思维能力的培养。本课程所讲述的内容都是一些原理性的知识,比较抽象,不容易理解,因此不仅要具有一定逻辑思维能力,而且还要具有一定形象思维能力。

(3) 注意先修课程的应用。本课程与一些基础课程联系紧密,如高等数学、理论力学、机械制图等,这些课程学习的好坏将直接影响本课程的学习。

(4) 理论联系实际,能够做到举一反三。现实生活中有各种设计新颖、构思巧妙的机构和机器,平时应注意观察、分析、比较和积累,主动将所学知识用于实践中。

1.4 机械原理学科的发展现状及趋势

机械学科已成为多学科融合的学科,已不可能在孤立、封闭的状态下发展,机械学科比以往任何时候更紧密地依赖诸如数学、物理、化学、微电子、计算机、系统论、信息论、控制论及管理学等学科的发展,不断丰富着现代机械学科的内涵和外延。

现代机械工业日益向高速、重载、高精度、高效率、低噪声等方向发展。对机械提出的要求也越来越苛刻。如有的需用于宇宙探测,有的要在深海作业;有的小到能沿人体血管爬行,有的又是庞然大物;有的速度数倍于声速,有的又要做亚微米级甚至纳米级的微位移等。

现代机械原理学科的发展趋势主要体现在以下几个方面:

(1) 新机构的研发。为适应生产发展的需要,当前在自控机构、机器人机构、仿生机构、柔性机构和机、电、光、声、液、气、热的综合机构等的研制上有很大进展。

(2) 重视了对空间连杆机构、多杆多自由度空间机构、特殊串联及多环并联机构、连杆机构的弹性动力学和连杆机构的动力平衡的研究。

(3) 发展了齿轮啮合原理,提出了许多性能优异的新型齿廓曲线和新型传动,加速了对高速齿轮、精密齿轮、微型齿轮的研制。

(4) 十分重视对高速凸轮机构的研究。为了获得动力性能好的凸轮机构,在凸轮机构推杆运动规律的开发、选择和组合上做了很多工作。

(5) 为了适应现代机械高速度、快节拍、优性能的需要,还发展了高速、高定位精度的分度机构,具有综合性能优良的组合机构,以及各种机构的变异和组合等。

(6) 在机械的分析与综合方面,一方面由只考虑其运动性能过渡到同时考虑其动力性能;考虑到机械在运转时,构件的振动和弹性变形,运动副中的间隙和构件的误差对机械运动及动力性能的影响;以及如何对构件和机械进一步做好动力平衡的问题等。另一方面日益广泛地应用了计算机,发展并推广了计算机辅助设计、优化设计、考虑误差的概

率设计。

总之，作为机械原理学科，其研究领域十分广阔，内涵非常丰富。在机械原理的各个领域，每年都有大量的内容新颖的文献资料涌现。但是，作为一门专业技术基础课程，根据教学要求，我们将只研究有关机械的一些最基本的原理及最常用的机构分析和综合方法。这些内容也都是进一步研究机械原理课题所必需的知识基础。

习题与思考题

- 1-1 何谓机器？机器的功用是什么？机器与机构的主要区别是什么？
- 1-2 如何才能学好机械原理课程？
- 1-3 本课程研究的内容主要包括哪几个方面的问题？
- 1-4 通过观察身边的机械，分析其功能与结构组成。

第2章 平面机构的结构分析

学习目标：掌握平面运动副和构件的分类及表示方法；掌握平面机构自由度计算及机构具有确定运动的条件；掌握根据实物绘制机构运动简图。了解平面机构的组成原理、结构分析及结构综合。

2.1 平面机构的结构分析的内容和目的

平面机构结构分析的内容和目的如下：

(1) 研究机构的组成及其具有确定运动的条件。机构可以传递运动和动力，因此机构需要具有确定的运动。研究机构的组成及其具有确定运动的条件，这是机构结构分析的内容之一。

(2) 根据结构特点进行机构的结构分析。对机构的运动和动力进行分析，以便了解机构中构件的速度、加速度及其受力的变化规律。

(3) 研究机构的组成原理。研究机构的组成原理，不仅有利于新机构的创造，而且可以根据组成原理，将各种机构进行结构分类，也有利于对机构进行运动和动力分析。

2.2 机构的组成

2.2.1 构件与零件

机构由许多具有确定相对运动的单元体所组成，其运动单元体称为构件。一个构件可以是一个零件，也可以是由多个零件装配而成的刚性整体。如图 1-1 (a) 所示内燃机中的曲轴既是一个构件也是一个零件。如图 2-1 (a) 所示的连杆是内燃机中的一个构件，它由连杆体 1、连杆盖 2、轴瓦 3~5、螺栓 6、螺母 7、开口销 8 等零件刚性连接构成，如图 2-1 (b) 所示。由此可见，构件和零件是两个不同的概念，构件是运动单元，而零件是制造单元。

2.2.2 运动副

机构是由构件以一定方式连接而成的，其中每个构件至少与另一个构件相连接，这种连接既使两构件直接接触，又使两构件能产生一定的相对运动。把两构件直接接触而形成的可动连接称为运动副。例如，如图 1-1 所示的内燃机中，汽缸体 4 与活塞 3 的连接、连杆 1 与曲轴 2 的连接、凸轮 7 与顶杆 6 的连接，以及齿轮 8 与齿轮 9 的啮合都构成了运动副。

构成运动副的两个构件间的接触主要有点、线、面三种形式，两个构件上参与接触而构成运动副的点、线、面部分称为运动副元素。

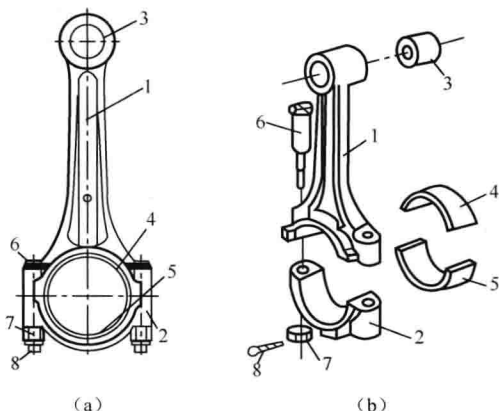


图 2-1 连杆

运动副常见的分类方法有以下几种。

(1) 按运动副的接触形式分类。两构件通过面接触形成的运动副称为低副，而通过点、线接触形成的运动副称为高副。低副根据其运动形式又分为转动副和移动副。

(2) 按运动空间分类。当构成运动副的两构件之间的相对运动若为平面运动时，则称为平面运动副。当构成运动副的两构件之间的相对运动是空间运动时，则称为空间运动副。

(3) 按运动副引入的约束数分类。引入一个约束的运动副称为 I 级副，引入两个约束的运动副称为 II 级副，依次类推，最多为 V 级副。

2.2.3 运动链

两个或两个以上的构件用运动副连接构成的构件系统称为运动链。运动链可分为闭式链和开式链两种。各构件用运动副首尾连接构成封闭环路的运动链称为闭式链，简称闭链，如图 2-2 (a) 所示；反之，各构件用运动副首尾连接构成不封闭环路的运动链称为开式链，简称开链，如图 2-2 (b) 所示。根据运动链中各构件间的相对运动为平面运动还是空间运动，也可以把运动链分为平面运动链和空间运动链两类，分别如图 2-2、图 2-3 所示。一般机械中多数采用平面闭式链，开式链多用于工业机器人等机械中。

在运动链中，若将某一构件加以固定，而让另一个（或几个）构件按给定运动规律相对于该固定构件运动，而其余各构件都能得到确定的相对运动，则此运动链称为机构。

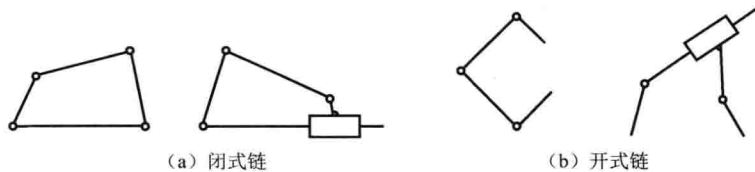


图 2-2 平面运动链