



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

机械原理



主编 王跃进

主审 张春林



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

机 械 原 理

主 编	王跃进		
副主编	窦蕴平	张 静	
参 编	唐伯雁	刘春东	周瑞强
主 审	张春林		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本教材是根据教育部高等学校教学指导委员会机械基础课程教学指导分委员会制订的《高等学校机械原理课程教学基本要求(2008年版)》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。

全书共分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,其他常用机构简介,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。在各章后还附有一定数量的思考题与习题,以利于学生学习。

本教材可供高等学校工科机械类专业学生学习,也可供教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/王跃进主编. —北京:北京大学出版社, 2009. 9

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-15425-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 105195 号

书 名: 机械原理

著作责任者: 王跃进 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-15425-0/TH·0141

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 涿州星河印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 369 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

机械原理是研究机械共性问题的课程,是培养机械类专门人才的重要专业基础课程,是联系理论力学和专业课程的桥梁,起着承上启下的重要作用。

本教材的编写以现代工程技术人才为培养目标,以创新型应用型机械类专门人才为对象,力求内容简洁、新颖、实用,利于教学。在选材上注重体现应用性和实践性。

教材在重点阐述机械原理的基本概念、基本原理和基本方法的同时,简化了较为繁琐的理论推导过程,加强了机构应用内容的介绍,更适合侧重应用型人才培养的学校使用。在教学方法上采用了概念清晰、方法步骤明确的图解法,也采用了适合现代技术发展需求且易于用计算机精确求解的解析法,更适合教师对不同教学方法的选择和学生的自主学习。

本教材主要作为高等工科院校机械类本科各专业机械原理课程教材,适宜课堂教学学时为 56 学时左右、实验 6~8 学时、课程设计 1.5 周。书中标有 * 号的各节可根据教学要求进行选择。各章的参考教学学时见下表:

章 次	参考学时	章 次	参考学时
绪论	1	第 6 章 其他常用机构简介	2
第 1 章 平面机构的结构分析	6	第 7 章 平面机构的运动分析	4
第 2 章 平面连杆机构及其设计	8	第 8 章 平面机构的力分析	4
第 3 章 凸轮机构及其设计	6	第 9 章 机械的平衡	3
第 4 章 齿轮机构及其设计	10	第 10 章 机械的运转及其速度波动的调节	4
第 5 章 轮系及其设计	4	第 11 章 机械系统的方案设计	4

参加本教材编写的有:北京建筑工程学院王跃进(绪论、第 4 章、第 11.3 节)、窦蕴平(第 2、5 章)、唐伯雁(第 1、6 章),河北建筑工程学院张静(第 3、10 章)、刘春东(第 7、8 章),广东省茂名学院周瑞强(第 9、11 章)。全书由王跃进负责统稿并担任主编,窦蕴平、张静任副主编。

北京理工大学张春林教授对全书进行了仔细的审阅,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢!

北京大学出版社对本教材的编写给予了极大的支持、帮助和指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,真诚希望广大读者批评指正。

编 者

2009 年 4 月

目 录

绪论	1	2.2.1 平面四杆机构的 基本形式	23
0.1 机械原理研究的对象	1	2.2.2 平面四杆机构的演化	26
0.2 机械原理课程的主要内容	3	2.3 平面连杆机构的特性	30
0.3 机械原理课程在专业中的地位及 学习本课程的目的	4	2.3.1 平面四杆机构几何特性 ...	30
习题	4	2.3.2 平面四杆机构的急回 运动特性	31
第1章 平面机构的结构分析	6	2.3.3 平面四杆机构的 传动特性	33
1.1 平面机构的组成	6	2.4 平面四杆机构的设计	36
1.1.1 构件与零件	6	2.4.1 用图解法设计平面 四杆机构	36
1.1.2 运动副	7	2.4.2 用解析法设计平面 四杆机构	40
1.1.3 运动链	7	2.4.3 用实验法设计平面 四杆机构	44
1.1.4 机构	8	习题	45
1.2 平面机构的运动简图	8	第3章 凸轮机构及其设计	49
1.2.1 构件与运动副的 简图表示	8	3.1 凸轮机构的概述	49
1.2.2 机构运动简图绘制方法 ...	10	3.1.1 凸轮机构的应用	49
1.3 平面机构自由度	12	3.1.2 凸轮机构的组成和分类 ...	50
1.3.1 机构具有确定运动的 条件	12	3.2 从动件的运动规律	52
1.3.2 平面机构自由度计算	13	3.2.1 凸轮机构的工作过程	52
1.3.3 计算机构自由度时应 注意的问题	13	3.2.2 从动件基本运动规律	53
1.4 平面机构的组成原理与 结构分析	16	3.2.3 从动件运动规律的选择 ...	60
1.4.1 平面机构的组成原理	16	3.3 盘形凸轮轮廓曲线的设计	60
1.4.2 平面机构的结构分类	16	3.3.1 凸轮轮廓曲线设计的 基本原理	61
1.4.3 平面机构的结构分析	17	3.3.2 用图解法设计盘形凸轮 轮廓曲线	61
1.4.4 平面机构的高副低代	18	3.3.3 用解析法设计盘形凸轮 轮廓曲线	65
习题	19	3.4 凸轮机构基本参数的确定	69
第2章 平面连杆机构及其设计	23	3.4.1 压力角的确定	69
2.1 平面连杆机构及其特点	23	3.4.2 基圆半径的确定	71
2.2 平面四杆机构的类型和应用	23		

3.4.3 滚子半径的确定	71	4.8.2 斜齿圆柱齿轮的基本参数及 几何尺寸计算	101
3.4.4 平底尺寸的确定	72	4.8.3 斜齿圆柱齿轮的 当量齿数	103
习题	73	4.8.4 斜齿圆柱齿轮啮合 传动	104
第4章 齿轮机构及其设计	77	4.8.5 斜齿圆柱齿轮传动 特点	105
4.1 齿轮机构的类型及特点	77	* 4.8.6 交错轴斜齿轮传动	106
4.2 齿廓啮合基本定律	79	4.9 蜗杆传动机构	107
4.3 渐开线齿廓及其啮合特性	80	4.9.1 蜗杆传动的基本参数	108
4.3.1 渐开线的形成及其特性 ...	80	4.9.2 蜗杆传动正确啮合 条件	109
4.3.2 渐开线函数及渐开线 方程式	81	4.9.3 蜗杆传动几何尺寸 计算	110
4.3.3 渐开线齿廓的啮合特性 ...	82	4.9.4 蜗杆蜗轮转向的判定	110
4.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 几何尺寸	83	4.9.5 蜗杆传动的特点	110
4.4.1 齿轮各部分的名称	83	4.10 圆锥齿轮机构	111
4.4.2 齿轮的基本参数	83	4.10.1 圆锥齿轮传动的特点 ...	111
4.4.3 渐开线齿轮的尺寸 计算公式	85	4.10.2 直齿渐开线圆锥齿轮 齿廓曲面的形成	111
4.4.4 内齿轮和齿条的尺寸	86	4.10.3 圆锥齿轮的背锥与 当量齿数	112
4.5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的 啮合传动	86	4.10.4 圆锥齿轮的几何尺寸 计算	113
4.5.1 正确啮合条件	87	习题	114
4.5.2 正确安装条件	87	第5章 轮系及其设计	118
4.5.3 连续传动条件	89	5.1 轮系及其分类	118
4.6 渐开线齿廓的切削加工	91	5.1.1 定轴轮系	118
4.6.1 渐开线齿廓切削加工的 基本原理	91	5.1.2 周转轮系	118
4.6.2 根切现象及其产生的 原因	94	5.1.3 混合轮系	119
4.6.3 标准齿轮无根切的 最少齿数	94	5.2 轮系的传动比计算	119
* 4.7 变位齿轮概述	95	5.2.1 定轴轮系的传动比 计算	119
4.7.1 问题的提出	95	5.2.2 周转轮系的传动比 计算	121
4.7.2 变位齿轮的概念	95	5.2.3 混合轮系的传动比 计算	123
4.7.3 避免根切的最小变位 系数	96	5.3 轮系的功用	124
4.7.4 变位齿轮的几何尺寸	96	5.3.1 获得较大的传动比	125
4.7.5 变位齿轮传动	97		
4.8 斜齿圆柱齿轮机构	100		
4.8.1 斜齿圆柱齿轮齿面的 形成	100		

5.3.2 实现变速换向传动	125	6.5.2 双万向联轴器	148
5.3.3 实现分路传动	126	习题	149
5.3.4 实现运动的合成与分解	126	第 7 章 平面机构的运动分析	151
5.4 周转轮系的设计及各轮齿数的确定	128	7.1 用速度瞬心法对机构进行速度分析	151
5.4.1 传动比条件	128	7.1.1 瞬心的概念与数目	151
5.4.2 同心条件	129	7.1.2 瞬心的位置	152
5.4.3 装配条件	129	7.1.3 瞬心在机构速度分析中的应用	153
5.4.4 邻接条件	130	7.2 用相对运动图解法对机构进行运动分析	155
5.5 其他轮系简介	131	7.2.1 同一构件上两点间的速度和加速度分析	155
5.5.1 渐开线少齿差行星齿轮传动	131	7.2.2 两构件重合点间的速度和加速度分析	157
5.5.2 摆线针轮传动	132	7.3 用解析法对机构进行运动分析	161
5.5.3 谐波齿轮传动	132	7.3.1 矩阵法	162
习题	134	7.3.2 复数矢量法	164
第 6 章 其他常用机构简介	138	习题	165
6.1 棘轮机构	138	第 8 章 平面机构的力分析	169
6.1.1 棘轮机构的组成和工作原理	138	8.1 机构的动态静力分析	170
6.1.2 棘轮机构的类型和特点	139	8.1.1 构件惯性力的确定	170
6.2 槽轮机构	141	8.1.2 机构的动态静力分析	171
6.2.1 槽轮机构的组成及工作原理	141	8.2 机械传动中摩擦力的确定	173
6.2.2 槽轮机构的类型及应用	142	8.2.1 移动副中摩擦力的确定	173
6.3 不完全齿轮机构	143	8.2.2 螺旋副中摩擦力的确定	176
6.3.1 不完全齿轮机构的组成及工作原理	143	8.2.3 转动副中摩擦力的确定	177
6.3.2 不完全齿轮机构的优缺点及应用	143	8.2.4 考虑运动副摩擦的机构力分析	179
6.4 螺旋机构	145	8.3 机械效率与自锁	180
6.4.1 螺旋机构的工作原理和类型	145	8.3.1 机械的效率	180
6.4.2 螺旋机构的传动特点和应用	146	8.3.2 机械的自锁	184
6.4.3 滚珠螺旋机构	147	习题	187
6.5 万向联轴器	147	第 9 章 机械的平衡	191
6.5.1 单万向联轴器	147	9.1 机械平衡的目的和内容	191
		9.1.1 机械平衡的目的	191
		9.1.2 机械平衡的内容	191

9.2 刚性回转构件平衡原理及方法	192	10.3.3 周期性速度波动调节的基本原理	216
9.2.1 静平衡	192	10.3.4 飞轮转动惯量 J_F 近似计算	217
9.2.2 动平衡	194	10.3.5 非周期性速度波动的调节	219
9.2.3 平衡试验简介	199	习题	221
9.3 平面连杆机构的平衡简介	202	第 11 章 机械系统的方案设计	224
9.3.1 完全平衡	202	11.1 概述	224
9.3.2 部分平衡	204	11.1.1 机械设计的一般过程 ...	224
习题	205	11.1.2 机械系统方案设计的任务与步骤	226
第 10 章 机械的运转及其速度波动的调节	208	11.2 机构选型及机构系统运动方案设计	228
10.1 机械系统动力学问题概述	208	11.2.1 机构系统运动方案设计的基本原则	228
10.1.1 研究机械系统动力学问题的目的和内容	208	11.2.2 机构类型的选择	230
10.1.2 机械运转的过程	208	11.2.3 构件间运动的协调与机械系统运动循环图	234
10.1.3 驱动力和工作阻力的类型及机械特性	209	11.3 机构的组合	237
10.2 机械系统的等效动力学模型 ...	210	11.3.1 机构的串联组合	237
10.2.1 等效动力学模型的基本原理	210	11.3.2 机构的并联组合	238
10.2.2 等效力矩和等效力	211	11.3.3 机构的封闭组合	239
10.2.3 等效转动惯量和等效质量	211	11.3.4 机构的叠加组合	239
10.3 机械运动速度波动的调节	214	11.4 机械系统方案设计举例	240
10.3.1 周期性速度波动产生的原因	214	习题	243
10.3.2 周期性速度波动的不均匀系数	215	参考文献	245

绪 论

教学提示：本章主要介绍机械原理课程的研究对象、内容、地位、学习本课程的目的，以及在培养机械工程技术人才中的作用。

教学要求：掌握机器和机构的定义、特征；了解机器的组成，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。

0.1 机械原理研究的对象

机械是为人类服务的工具，随着人类文明的进步，人们对各类工具的使用水平不断提高、范围不断扩大。现代社会离不开机械，社会的文明程度越高，对各类机械的需求也就越多，对其技术水平要求也就越高。“机械原理”研究的对象就是为人类服务的工具——机械，研究的内容是有关机械的基本理论问题。

“机械”是机器和机构的统称。机器是为完成某种用途而专门设计的执行机械运动的装置，用于转换或传递能量、物料和信息。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；DVD 通过光盘驱动器提取、转换和传递电子信息等。

机器的类型很多，其构造、用途和性能也各不相同，但都具有一些共同的特征。下面用两个具体实例来说明。

图 0.1 所示为单缸四冲程内燃机，其主要功能是将燃气的热能转换为机械能。四冲程内燃机的一个工作循环由吸气、压缩、工作和排气 4 个行程组成。工作顺序如下：活塞 2 下行将燃气由进气管通过进气门吸入气缸 1 后，进气门关闭；活塞 2 上行压缩燃气；火花塞点火使高压燃气在气缸 1 中燃烧，迅速膨胀产生的压力推动活塞 2 下行，通过连杆 3 带动曲轴 4 转动，输出机械能；活塞 2 再次上行，排气门打开，废气通过排气管排出。其中同步齿形带传动用于通过凸轮轴控制进、排气门的开闭。可以看出在每个工作循环中活塞 2 上下往复运动各两次，曲轴 4、带轮 5 一同转动两周，带轮 7、凸轮轴一同转动一周，进、排气凸轮 10、9 分别控制进、排气门 11、8 各打开一

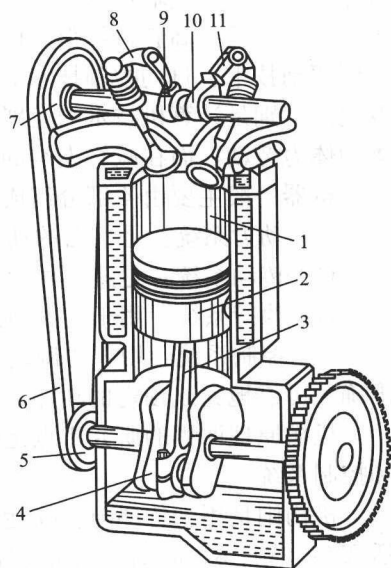


图 0.1 单缸四冲程内燃机

- 1—气缸；2—活塞；3—连杆；4—曲轴；
5、7—同步带带轮；6—同步齿形带；
8、11—排、进气门摇臂；
9、10—排、进气凸轮

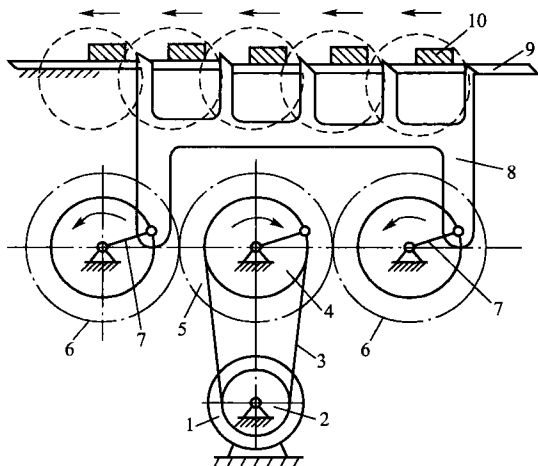


图 0.2 步进式自动运输机

1—电动机；2、4—带轮；3—传动带；5、6—齿轮；7—曲柄；8—连杆；9—滑轨；10—工件

次。内燃机中的各个部分协调、顺序的动作，再加上汽化、点火等装置的配合，便能够将燃气燃烧所产生的热能转变成曲轴转动的机械能。

图 0.2 所示的为步进式自动运输机，其主要功能是将工件 10 按间歇步进运输方式一步一步向左传递。当电动机的动力经带传动机构和齿轮机构传递到曲柄上时，使连杆 8 作平面运动，连杆上各点走出虚线所示的轨迹，使工件可以实现向左的步进运输动作，代替人完成有用的机械功。

由以上两个实例看出，机器具有以下 3 个共同的特征：

- (1) 机器是人为的实物(通常称为构件)组合体；
- (2) 该组合体各部分(构件)之间都具有确定的相对运动；
- (3) 能够完成有用的机械功或转换机械能。

能同时具备上述 3 个特征的实物组合体就称为机器。凡能将其他形式的能量转变为机械能的机器称为原动机，如内燃机、蒸汽机、水轮机、电动机、液动机(又称液压马达)、气动机(又称气动马达)等。凡能利用机械能来完成有用机械功的机器称为工作机，如各类机床、起重机、运输机等。

现代机器中高新科技得到广泛地应用(如计算机技术、信息处理技术、检测传感技术、伺服驱动技术、自动控制技术等)，使传统机器的组成和产品结构等方面发生了根本性的变化。特别是计算机技术的发展，促进了智能机器人技术的飞速发展，其不仅可以减轻人类的体力劳动，而在减轻人类的脑力劳动方面有显著的成效。

机器一般主要由 4 部分组成：

- (1) 动力系统：是机器的动力源。常用的原动机有内燃机、电动机等。
- (2) 传动系统：是连接原动系统和执行系统的中间环节，用于传递与变换运动和力。
- (3) 执行系统：用于完成预期的动作和功能。其结构形式取决于机器的用途。
- (4) 控制系统：用于协调动力系统、传动系统和执行系统，使之彼此之间能够有序、准确、可靠地完成预定的功能。

机械原理课程的研究重点是机器的传动系统和执行系统，并不涉及机器中的动力系统和控制系统。

机构则是用来传递与变换运动和力的可动装置。在图 0.1 所示的内燃机中由气缸 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4 的组合物，能够将活塞 2 的往复直线运动转变为曲轴 4 的旋转运动，反之亦然，称其为曲柄滑块机构；由带轮 5、7 和同步齿形带 6 组成的组合物，可以利用带轮直径的不同，实现速度的转变，称其为带传动机构；具有特定曲线轮廓的凸轮 9、10 运动时，利用其曲线轮廓推动从动件摇臂 8、11 作往复摆动，从而在从动件上实现预期的运动，称其为凸轮机构。在图 0.2 所示的自动运输机上齿轮 5、6，通过轮齿的接触传递运动和动力，并可以利用各轮齿数的不同实现减速或增速，称其为齿轮机构；由杆件 7 及

8 组成的组合体, 当各杆长度不同时, 在杆件 8 上可以获得不同形状的曲线, 并且在两个连架杆之间实现转动、摆动等运动形式的相互转换, 称其为连杆机构。

由以上几个例子可以看出, 机构仅具有机器的前两个特征, 即

- (1) 机构都是人为的实物(构件)组合体;
- (2) 各运动实体(构件)之间具有确定的相对运动。

通过以上分析可以看出, 机器是由各种机构组成的, 它可以完成能量的转换或作有用的机械功; 而机构则仅仅起着运动、动力传递和运动形式转换的作用。因此, 可以说机构是传递与变换运动和力的实物组合体; 而机器则是能够完成有用的机械功或转换机械能的机构组合体。复杂机器是由多个机构组合而成的, 简单的机器可以仅由单一的机构构成。

由于机构具有机器的前两个特征, 所以从结构和运动的观点来看, 两者之间并无区别。

0.2 机械原理课程的主要内容

机械原理主要研究内容可分为以下几个方面:

1. 机构的组成原理与结构分析

机器和机构最显著的特征是各实体之间都具有确定的相对运动。因此, 首先需要研究怎样组成才能使机构和机器具有确定的相对运动及满足其需要的条件; 其次研究机构的组成原理及机构的分类; 最后, 研究机构运动简图, 用其表达机构的组成、各实体间的连接及运动传递的路径、原动件的数目及位置等。

机构的组成原理与结构分析是机械系统运动方案分析、改进与创新设计的基础。

2. 机构运动分析

机构的运动分析是在已知原动件运动规律条件下, 不考虑引起机构运动的外力影响时, 研究机构各点的轨迹、位移、速度和加速度等运动参数的变化规律。这种分析不仅是了解机械的性能的手段, 也是设计新机器的重要步骤。本课程将介绍对机构进行运动分析的基本原理和方法。

3. 机器动力学

机器动力学主要研究: 在已知外力作用下, 机器真实的运动规律; 确定机构运动副的反力、机构上需要加的平衡力、平衡力矩和效率等问题; 分析机器速度波动的原因及应采用的调节方法和不平衡质量的平衡问题。机器动力学所研究、分析的问题既是高速机械必须要考虑的重要问题, 也是获得高品质、性能优良机器必须要研究的问题。

4. 常用机构及其设计

机器种类繁多, 然而构成各种机器的机构类型却是有限的, 常用的机构主要有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等。本课程将对常用机构的运动及工作特性进行分析, 并介绍其设计方法。

5. 机械系统运动方案设计

介绍机构的选型、组合方式、运动循环图拟定等方面的基本知识和机械系统运动方案设计的基本过程。

0.3 机械原理课程在专业中的地位及学习本课程的目的

机械原理是机械类专业研究机械共性问题的一门主干技术基础课。它以高等数学、普通物理、机械制图及理论力学等课程为基础,但比普通物理、理论力学等基础课程所研究的问题更加接近工程实际;它不同于机电一体化设计、汽车设计等专业课程,机械原理研究的重点是各种机械所具有的共性问题,而各专业课程则研究某一类机械所具有的特殊问题。因此,它比专业课具有更宽的研究范围和更广的适应性。所以,机械原理课程起着承上启下、联系基础课和专业课的桥梁的作用,在机械专业学生的课程体系中有非常重要的地位。

正是由于机械原理课程在机械专业中有着独特而不能替代的地位,所以学习本课程的目的就十分明确:

(1) 为学习机械类专业课程奠定基础。机械原理课程的任务是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与动力学的基本理论、基本知识和基本技能,学会常用机构的分析和综合方法,了解和掌握进行机械系统设计的方法,为专业课程的学习打好基础。

(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。通过机械原理课程的学习,可以掌握机构和机器的分析方法,能够深入了解机构性能和特性,为更好地使用、维护、管理各类机械设备提供指导和帮助。

(3) 为机械产品的改造和创新提供指导。创新是一个民族的灵魂,没有创新人类社会就不会发展。对于已有的机械设备如何改进、完善、提高其性能和效率,如何根据市场需要开发、设计出新的产品是机械专业工程技术人员经常要面对的问题。而产品改造与创新主要是原理和设计方案的创新,因此在这方面机械原理的知识是必不可少的,其可以为机械产品的改造和创新提供指导和帮助。

机械原理是一门与工程实际密切相关的课程,因此学习本课程要更加注意理论联系实际。现实生活中有各种设计新颖、构思巧妙的机构和机器,在学习本课程的过程中,应注意观察、分析、比较和积累,主动把所学知识用于实际,就可以逐步扩大视野。在学习中要注意基本概念、基本方法和基本技能的掌握,要敢于提出问题,并能尝试用本课程所介绍的方法去解决问题,就能够使自己的水平不断提高,从而很好地掌握这些知识。

习 题

- 0-1 机械原理课程的研究对象是什么?其研究内容有哪些方面?
- 0-2 机器有哪些特征?

- 0-3 机器和机构有哪些区别与联系?
- 0-4 机器一般主要由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?
- 0-5 对具有下述功用的机器各举出两个实例: 原动机、改变物料形状的机器、变换或传递信息的机器、传递物料的机器。
- 0-6 机械原理课程在培养机械类专业人才中有什么作用?
- 0-7 学习机械原理课程的目的是什么?

第 1 章 平面机构的结构分析

教学提示：零件是组成机械的基本单元，构件和运动副是组成机构的基本要素，机构运动简图是表示机构组成的基本方法，在机构分析和设计过程中有重要作用。机构自由度计算是理解和分析机构运动的基础，而机构的结构分析将进一步加深对机构运动分析和设计的认识和理解。

教学要求：了解和认识构成平面机构的基本要素，掌握平面机构各要素的简图表示以及机构运动简图的绘制方法。掌握平面机构自由度的计算方法，能正确识别和处理复合铰链、局部自由度和虚约束。了解平面机构的组成原理和分类方法，掌握平面机构的结构分析方法。

1.1 平面机构的组成

机构是由构件组成的运动系统，通常包括机架和运动件。平面机构是指组成机构的各构件都在同一平面或相互平行的平面中运动的机构。在工程中，平面机构的应用非常广泛，如铰链四杆机构、凸轮机构、平行轴齿轮机构等。

1.1.1 构件与零件

1. 构件

机器都是由许许多多的零件组成的。图 1.1 所示的移动式混凝土布料机就是由底座、支撑梁、回转体、配重箱、臂架、连杆体、连杆套等一系列零件组成的。在这些零件中，有些是作为一个独立的运动单元体而运动的，有些是通过紧固件或其他方式连接成一个整体后参与运动的，把每一个独立运动的单元体称为构件。由于受到结构和制造等因素的限制，机器中的大部分零件都是作为构件的组成部分出现的，可见，构件是组成机构的基本要素之一。从运动的观点看，任何机构都是由若干个(两个以上)构件组合而成的。

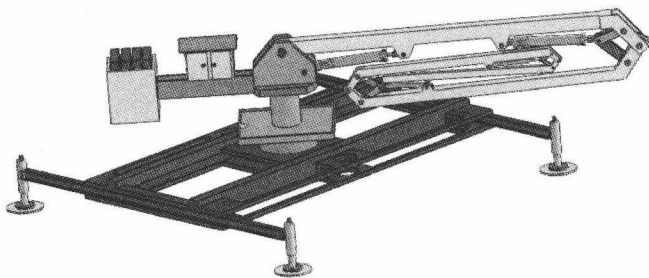


图 1.1 移动式混凝土布料机

2. 零件

正如细胞是组成生物体的最小单位一样,零件是组成机构的最小单元,机构总是由一些具有特定几何形状和特定功能的零件组合而成的,因此,任何机器和机构都是零件的集合体。图 1.2 所示的连杆就是由连杆体 1 和连杆套 2 组成的,连杆体与连杆套之间通过过盈配合连接而成。显然零件是加工制造的单元。

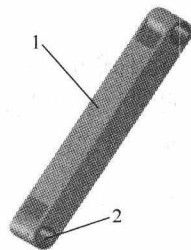


图 1.2 连杆的结构

1.1.2 运动副

机械零件间的连接按彼此是否存在相对运动可分为刚性连接和可动的连接。两零件通过焊接、铆接、粘接、过盈配合、螺纹连接等方式连接在一起,就构成刚性连接。两构件直接接触而构成的可动连接称为运动副。每个参与接触而构成运动副的表面称为运动副元素。显然,组成运动副的运动副元素并不是独立的,它们之间相互依存。例如,轴 1 与轴承 2 的配合(见图 1.3)、滑块 2 与导轨 1 的接触(见图 1.4)、两齿轮轮齿的啮合(见图 1.5)等都构成了运动副。它们的运动副元素分别为圆柱面和圆孔面、燕尾槽面和燕尾棱面以及两齿廓曲面。由此可见,运动副也是组成机构的又一基本要素。

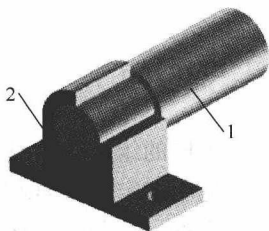


图 1.3 滑动轴承配合

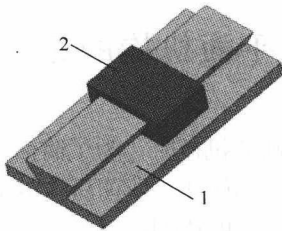


图 1.4 燕尾导轨

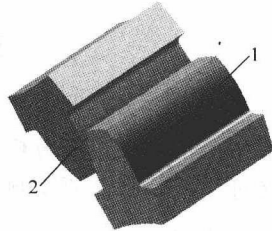


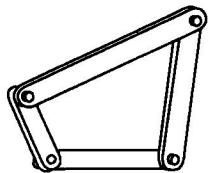
图 1.5 齿轮啮合

归结起来,按照运动副元素的接触方式来分,运动副可分为两大类:①通过点或线接触而构成的运动副统称为高副(见图 1.5);②通过面接触而构成的运动副统称为低副。低副按照运动方式的不同又可分为回转副(见图 1.3)和移动副(见图 1.4)。

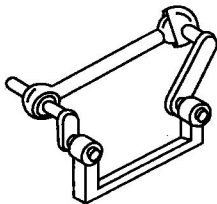
此外还有其他分类方法。按照运动空间来分,可分为平面副和空间副;按照运动副引入的约束数目来分,可分为Ⅰ级副、Ⅱ级副、Ⅲ级副、Ⅳ级副和Ⅴ级副。

1.1.3 运动链

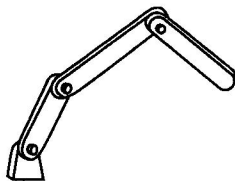
构件通过运动副的连接而构成的相对可动的系统称为运动链。如果运动链中的各构件构成首末封闭的系统,则称为闭式链[见图 1.6(a)、(b)],否则称为开式链[见图 1.6



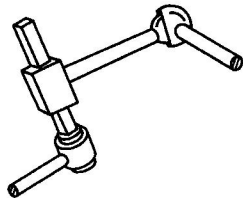
(a) 平面运动链(闭式)



(b) 空间运动链(闭式)



(c) 平面运动链(开式)



(d) 空间运动链(开式)

图 1.6 运动链

(c)、(d)]。绝大部分的机器采用闭式链的结构,如内燃机、颚式碎石机等,只有少数机器采用开式链的结构,如工业机器人、混凝土布料机(见图 1.1)、挖掘机等。

此外,根据运动链中各构件间的相对运动的空间特征不同,可把运动链分为平面运动链[见图 1.6(a)、(c)]和空间运动链[见图 1.6(b)、(d)]。

1.1.4 机构

如果将运动链中的某一构件固定为机架,则该运动链成为机构。如果在机架上定义一个参考系,则该参考系可用做其他构件运动的参照,其运动规律可由该参考系表述。机架的固定是相对的,因此机架相对于地面既可以是不动的,也可以是运动的,例如安装在汽车、轮船、飞机等运动载体上的机架就是运动的。

通常,机构总是在外部系统的驱动下运动,机构中按给定的已知运动规律独立运动的构件为原动件,而其余构件则称为从动件。从动件的运动规律取决于原动件的运动规律和机构的结构及各构件的尺寸。

机构可分为平面机构和空间机构两类,其中平面机构应该最为广泛,因此本书只讲述平面机构。

1.2 平面机构的运动简图

在对现有机械进行分析或设计新的机械时,为了简洁清晰地表达机构的组成、运动和动力的传递情况,都需要绘制出机构运动简图。所谓机构的运动简图就是用规定的符号和简单的线条表示运动副和构件,并按照一定的比例表示各运动副间的相对位置所绘制的机构的简单图形。由于这种图形撇开了与运动无关的要素(如截面形状、外形等),且能准确地表达机构运动特性,因而成为机械运动分析的重要工具,被广泛应用于机械分析和设计过程中。因此,利用机构运动简图将使了解机械的组成及对机械进行运动和动力分析变得十分简便。

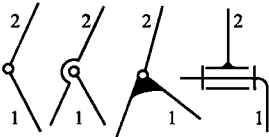
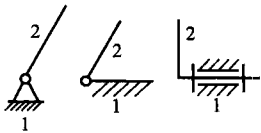
1.2.1 构件与运动副的简图表示

国家标准 GB/T 4460—1984《机械制图 机构运动简图符号》用于构件和运动副的简图表示。下面分别说明常用运动副、构件及机构的运动简图表示方法。

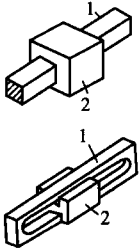
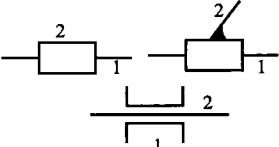
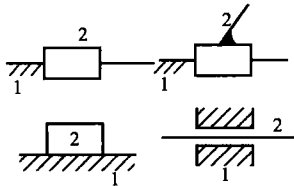
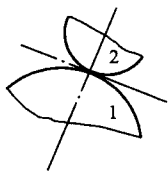
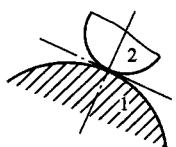
1. 运动副的简图

常用平面机构运动副有三种,表 1-1 给出了典型平面机构运动副的简图。

表 1-1 平面机构运动副的简图

运动副名称	运动副模型	运动副简图	
		两运动构件构成的运动副	两构件之一为机架时的运动副
转动副			

(续)

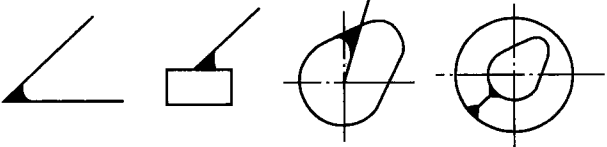
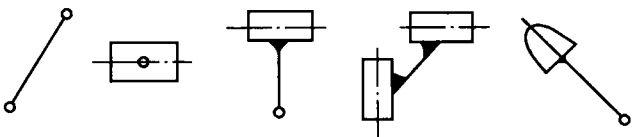
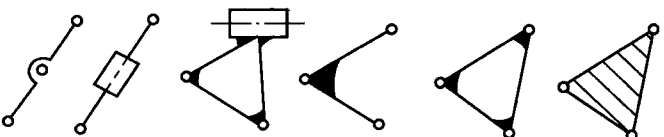
运动副名称	运动副模型	运动副简图	
		两运动构件构成的运动副	两构件之一为机架时的运动副
移动副			
高副			

注：图中有阴影线的构件为机架。

2. 构件的简图

平面机构中的构件，不论其形状如何复杂，都可以简化成一些简单的线条或几何图形，表 1-2 给出了平面机构典型构件的简图。

表 1-2 常用构件的简图

构件类型	构件运动简图
同一构件	
两副构件	
三副构件	

3. 常用机构运动简图

表 1-3 给出了常用机构的运动简图。若需更多机构，请查阅机械设计的相关手册或标准。