

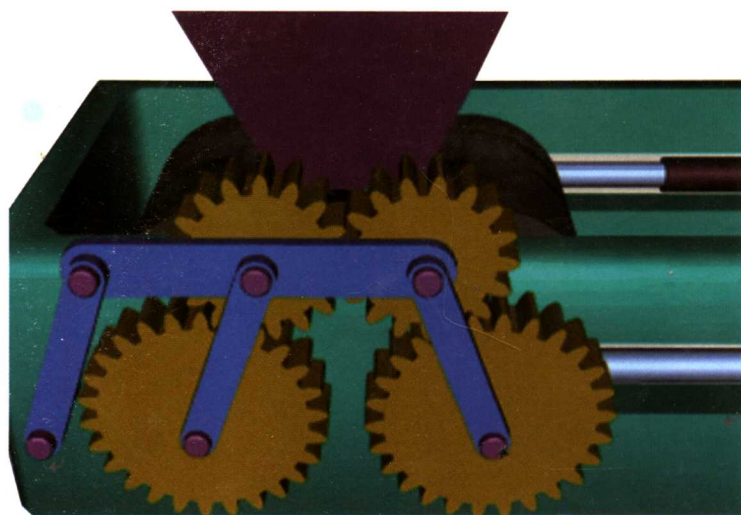
高校工科专业精品课程系列教材

(配多媒体课件)

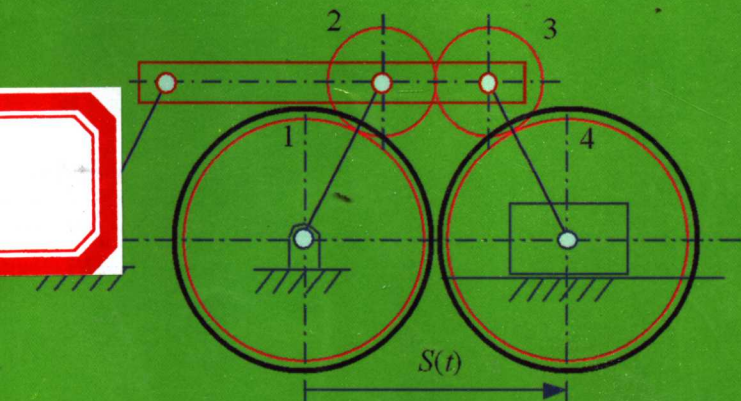


机械原理

王洪欣 编著



GAOXIAOGONGKEZHUYAN YEJINGPINKECHENGXILIEJIAOCAI



东南大学出版社



机械原理

王洪欣 编著

东南大学出版社

·南京·

内 容 提 要

机械原理是机械类专业的基础核心课程,适用于机械工程及自动化,热能与动力工程,测控技术与仪器等专业,建议学时为64学时。本书是作者在长期的教学与学术研究的基础上,考虑到市场经济的发展对机械设计人才的更高的要求而写成的。

本书共分13章,它们是绪论,平面机构的组成分析,平面机构的运动分析,平面机构的力分析,平面连杆机构及其设计,凸轮机构及其设计,间歇运动机构,齿轮机构及其设计,齿轮系及其设计,机械的运转及其速度波动的调节,机械的平衡,机械无级变速机构以及工业机器人机构学简介。多数章后附有一定数量的习题。

本书可作为高等院校工科机械类专业本专科生学习“机械原理”课程的教材,也可供其他有关专业的教师与工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理/王洪欣编著. —南京:东南大学出版社,
2005.8
ISBN 7-5641-0006-0

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(2005)第051311号

机械原理

编 著:王洪欣

责任编辑:张 煦

装帧设计:王 月

出版发行:东南大学出版社

社 址:江苏省南京市四牌楼2号(210096)

经 销:江苏省新华书店

制 版:南京水晶山制版有限公司

印 刷:大丰市科星印刷有限责任公司印刷

版 次:2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11.5

字 数:287千

印 数:1~3000册

定 价:24.00元(附赠光盘)

前 言

随着时代的进步、科技的发展,机械产品的构成与质量已经发生了显著的变化。现代的机械大多数集机构、电子、电器和液压等元件于一体,可以按照人们的要求实施过程控制,工作质量大大提高。现代机械的工作原理、结构组成和设计理念也大大不同于传统的机器。机械原理这一课程发生了广泛、深刻和质的变化,以适应市场经济发展对机械设计人才的需求。

进入 21 世纪,机械产品的国际竞争将更加剧烈,这就要求机械产品不断创新,质量不断提高,功能不断改进。每一个设计人员必须具有深厚的机械设计理论、了解市场需求,才能设计出满足市场要求的机械产品,而学习和掌握机械原理的重要目的就是培养机械设计人员的机械设计能力。为此,“机械原理”课程不仅介绍机械设计中的各种机构的特点与设计方法,而且应讲述它们的综合应用。基于这种思想,编者负责建设的“机械原理”课程荣获省级优秀课程,配合教学使用的多媒体教学课件也获得省级课件评比的一等奖。

为了培养学生的机械设计能力和机械创新能力,本教材作者经过长期教学实践和学术研究的积累,在以下几个方面对教材内容进行了改革和提高。

1) 既传授知识,又培养设计能力

本教材在阐述课程的基本内容时,不但讲清基本概念、基本理论和基本方法,而且还作了适当的扩展,以提高学生的机构设计能力,并通过机构参数的变化,展示机构的几何特征和运动特征。

2) 既培养逻辑思维能力,又促进形象思维能力的提高

本教材的许多基本理论都经过理论分析,以期培养学生的逻辑思维能力,同时提供了大量的机构创新设计实例,以启发学生的形象思维能力。

3) 既注重机构分析,又讲述机构创新设计

本教材在讲述基本机构的常用分析与设计方法的同时,介绍了机构创新设计的内容,以培养学生机构创新设计的能力。

4) 介绍工业机器人的应用,以普及工业机器人的机构学理论

本教材对工业机器人的类型与应用、工业机器人的机构学理论予以简介,以期学生了解机电一体化产品,增强对交叉学科知识的应用能力。

5) 介绍机械无级变速机构,以扩大对机械传动的了解

本教材介绍了机械无级变速器的机构类型与传动比分析方法,以期学生了解机械无级变速的概念与理论。

由于水平有限,本书尚存错误与不足之处在所难免,敬请同仁和广大读者不吝指正。

编 者

2005 年 5 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 机械、机器与机构	(1)
1.2 设计机器的基本要求与流程	(1)
1.3 机械原理的基本内容	(1)
1.3.1 平面机构的组成分析	(2)
1.3.2 平面机构的运动分析	(2)
1.3.3 平面机构的受力分析	(2)
1.3.4 平面机构的摩擦力分析	(2)
1.3.5 机器的动力分析	(2)
1.3.6 常用机构的设计	(2)
1.4 学习本课程的目的	(2)
1.5 学习本课程的方法	(2)
2 平面机构的组成分析	(4)
2.1 概述	(4)
2.2 平面机构的组成分析	(4)
2.2.1 构件	(4)
2.2.2 运动副	(4)
2.2.3 运动链	(5)
2.2.4 机构	(5)
2.3 平面机构的运动简图	(6)
2.4 平面机构的自由度	(8)
2.5 计算平面机构自由度的注意事项	(9)
2.5.1 局部自由度	(10)
2.5.2 虚约束	(10)
2.5.3 复合铰链	(10)
2.6 平面机构的组成原理与结构分析	(10)
2.6.1 平面机构的组成原理	(10)
2.6.2 面机构的结构分析	(11)
习题	(12)
3 平面机构的运动分析	(14)
3.1 概述	(14)
3.2 平面机构运动分析的图解法	(14)
3.2.1 速度瞬心法	(14)
3.2.2 矢量方程图解法	(16)

3.3	平面机构运动分析的解析法	(10)
	习题	(23)
4	平面机构的力分析	(24)
4.1	概述	(24)
4.2	平面机构力分析的图解法	(24)
4.3	计入运动副中摩擦的机构受力分析	(27)
	习题	(30)
5	平面连杆机构及其设计	(33)
5.1	概述	(33)
5.2	平面四杆机构的基本型式及其演化	(33)
5.2.1	平面四杆机构的基本型式	(33)
5.2.2	平面四杆机构的演化	(33)
5.3	平面四杆机构的基本概念与传动特征	(35)
5.3.1	平面四杆机构存在曲柄的条件	(35)
5.3.2	平面四杆机构的极限位置与急回特性	(36)
5.3.3	压力角、传动角和死点位置	(37)
5.4	按行程速比系数设计平面四杆机构	(37)
5.4.1	曲柄摇杆机构的作图法设计	(38)
5.4.2	曲柄滑块机构的设计	(39)
5.5	平面四杆机构的解析法设计	(40)
5.5.1	按许用传动角设计曲柄摇杆机构	(40)
5.5.2	刚体导引四杆机构的解析法设计	(42)
5.5.3	铰链四杆函数生成机构的解析法设计	(44)
5.5.4	四杆轨迹生成机构的解析法设计	(46)
5.6	平面连杆机构的应用	(48)
	习题	(51)
6	凸轮机构及其设计	(53)
6.1	概述	(53)
6.2	凸轮机构的分类及封闭形式	(53)
6.3	从动件常用的运动规律	(54)
6.3.1	一次多项式运动规律	(54)
6.3.2	二次多项式运动规律	(55)
6.3.3	五次多项式运动规律	(56)
6.3.4	余弦加速度运动规律	(57)
6.3.5	正弦加速度运动规律	(57)
6.4	盘形凸轮轮廓曲线的作图法设计	(58)
6.4.1	对心直动尖底从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计	(58)
6.4.2	对心直动滚子从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计	(59)
6.4.3	偏置直动尖底从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计	(59)

6.4.4	偏置直动滚子从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计	(59)
6.4.5	平底直动从动件盘形凸轮轮廓曲线的设计	(60)
6.5	盘形凸轮轮廓曲线的解析法设计	(60)
6.5.1	直动平底从动件盘形凸轮轮廓曲线的解析法设计	(60)
6.5.2	直动滚子从动件盘形凸轮轮廓曲线的解析法设计	(61)
6.6	凸轮机构基本尺寸的确定	(62)
6.6.1	凸轮机构中的作用力与许用压力角	(62)
6.6.2	凸轮基圆半径的确定	(62)
6.6.3	滚子半径的确定	(63)
6.7	凸轮机构的应用	(63)
	习题	(64)
7	间歇运动机构	(66)
7.1	概述	(66)
7.2	棘轮机构	(66)
7.3	槽轮机构	(67)
7.3.1	槽轮机构的组成与运动特征	(67)
7.3.2	槽轮机构的运动系数	(68)
7.4	不完全齿轮机构	(68)
7.5	滚子分度凸轮机构	(69)
7.6	平行分度凸轮机构	(69)
8	齿轮机构及其设计	(71)
8.1	概述	(71)
8.2	齿轮机构的类型	(71)
8.3	齿轮的齿廓曲线	(72)
8.3.1	齿廓啮合的基本定律	(72)
8.3.2	渐开线的形成与特点	(73)
8.4	渐开线齿廓的啮合特征	(74)
8.4.1	渐开线齿廓具有定传动比的特征	(74)
8.4.2	渐开线齿廓间的作用力在一条固定的直线上	(74)
8.4.3	渐开线齿廓传动具有中心距的可分性	(74)
8.5	渐开线标准齿轮的基本参数和几何尺寸	(74)
8.5.1	渐开线标准齿轮各部分的名称	(74)
8.5.2	渐开线标准齿轮的基本参数	(75)
8.5.3	渐开线标准齿轮的几何尺寸关系	(76)
8.6	渐开线标准圆柱齿轮的啮合传动	(77)
8.6.1	一对渐开线齿轮正确啮合的条件	(77)
8.6.2	齿轮传动的中心距与啮合角	(78)
8.6.3	一对轮齿的啮合过程与连续传动条件	(79)
8.7	渐开线圆柱齿轮的加工	(80)

8.7.1	仿形法	(80)
8.7.2	范成法	(80)
8.8	渐开线齿轮的变位加工与传动	(82)
8.8.1	齿条型刀具加工齿轮的最少齿数	(82)
8.8.2	齿轮型刀具加工齿轮的最少齿数	(82)
8.8.3	齿条型刀具加工齿轮的最小变位系数	(83)
8.8.4	变位齿轮的几何尺寸	(83)
8.8.5	变位齿轮传动	(84)
8.9	斜齿圆柱齿轮传动	(86)
8.9.1	斜齿圆柱齿轮齿面的形成原理	(86)
8.9.2	斜齿圆柱齿轮的几何参数	(86)
8.9.3	斜齿圆柱齿轮传动的特点	(87)
8.10	圆柱蜗杆传动	(87)
8.11	直齿圆锥齿轮传动	(88)
8.11.1	直齿圆锥齿轮的形成原理	(88)
8.11.2	直齿圆锥齿轮的背锥与当量齿数	(88)
8.11.3	直齿圆锥齿轮的几何参数计算	(89)
	习题	(91)
9	齿轮系及其设计	(92)
9.1	概述	(92)
9.1.1	定轴轮系	(92)
9.1.2	周转轮系	(93)
9.1.3	复合轮系	(93)
9.2	定轴轮系的传动比	(94)
9.3	周转轮系的传动比	(95)
9.4	复合轮系的传动比	(97)
9.5	轮系的功用	(101)
9.5.1	实现大的传动比	(102)
9.5.2	实现变速与换向	(102)
9.5.3	实现大功率传动	(102)
9.5.4	实现分路传动	(102)
9.5.5	实现运动的合成与分解	(103)
9.5.6	生成复杂的轨迹	(103)
9.6	周转轮系的设计	(105)
9.6.1	行星轮系中的齿数条件	(105)
9.6.2	行星轮系中的均载设计	(106)
9.7	其他类型的行星传动简介	(107)
9.7.1	渐开线少齿差行星传动	(107)
9.7.2	摆线针轮行星传动	(107)

9.7.3	谐波行星传动	(108)
9.7.4	活齿传动	(108)
9.7.5	牵引传动	(110)
	习题	(110)
10	机械的运转及其速度波动的调节	(113)
10.1	概述	(113)
10.2	机械运动的微分方程及其解	(113)
10.3	稳定运转状态下机械的周期性速度波动及其调节	(118)
	习题	(123)
11	机械的平衡	(126)
11.1	概述	(126)
11.2	平面连杆机构的平衡	(126)
11.3	圆盘类零件的静平衡	(128)
11.3.1	圆盘类零件的静平衡原理与计算	(129)
11.3.2	圆盘类零件的静平衡实验	(129)
11.4	刚性转子的动平衡	(130)
11.4.1	刚性转子的动平衡原理与计算	(130)
11.4.2	刚性转子的动平衡实验	(131)
	习题	(132)
12	机械无级变速机构	(134)
12.1	概述	(134)
12.2	定轴无中间滚动体式无级变速传动	(134)
12.2.1	正交轴无级传动	(134)
12.2.2	相交轴锥盘环盘式无级传动	(135)
12.2.3	光轴斜盘式无级传动	(135)
12.3	定轴有中间滚动体式无级变速传动	(136)
12.3.1	滚锥平盘式无级传动	(136)
12.3.2	钢球平盘式无级传动	(136)
12.3.3	钢环分离锥盘式无级传动	(137)
12.3.4	弧锥环盘式无级传动	(137)
12.3.5	菱锥式无级传动	(138)
12.3.6	钢球外锥轮式无级传动	(139)
12.4	行星式无级变速传动	(139)
12.4.1	转臂输出式无级传动	(139)
12.4.2	转臂输出式封闭行星锥轮无级传动	(140)
12.4.3	内锥轮输出式行星无级传动	(142)
12.4.4	环锥行星式无级传动	(142)
12.4.5	钢球行星式无级传动	(143)
12.5	脉动无级变速传动	(144)

12.5.1	曲柄摇杆式脉动无级传动	(144)
12.5.2	曲柄摇块摇杆式脉动无级传动	(145)
13	工业机器人机构学	(146)
13.1	概述	(146)
13.2	工业机器人的组成	(146)
13.3	工业机器人的分类与性能	(148)
13.4	工业机器人的运动学基础	(149)
13.4.1	目标物体的空间转动矩阵	(149)
13.4.2	坐标系之间的空间变换矩阵	(152)
13.4.3	目标物体的齐次坐标表示	(153)
13.4.4	刚体的空间位移矩阵	(154)
13.4.5	欧拉角表示的变换矩阵	(155)
13.4.6	转动关节之间的位移矩阵	(156)
13.5	工业机器人的正向运动学	(157)
13.5.1	平面关节型机器人的正向运动方程	(157)
13.5.2	斯坦福机器人的正向运动方程	(159)
13.6	工业机器人的逆向运动学	(164)
	习题	(168)
	参考文献	(171)

1 绪 论

1.1 机械、机器与机构

机器是人类设计与制造的产物,其用途在于代替人类做有用功或进行能量转换。飞机、坦克、电动机、内燃机、数控机床与机器人都是机器。机器的类型很多,结构多种多样,用途各不相同,但是,它们拥有三个共同的特征,第一,它们都是人为的实物组合体;第二,各实物组合体之间具有确定的相对运动;第三,它们或者做机械功或者进行能量转换。

机构也是人类设计与制造的产物,在对机器进行研制的过程中,为了对某一类问题作全面深入的研究,引入了机构的概念。它们也是人为的实物组合体,各实物组合体之间具有确定的相对运动。

人们将机器与机构统称为机械。

机构中每一个具有独立运动规律的单元体称为构件,机器中每一个单独制造的单元体称为零件。为了制造、维修、装配与提高耐磨性的需要,一个构件往往由若干个零件以互不作相对运动的方式组合而成。

机器有简单与复杂之分,手工操作与自动工作之别,对于相对简单与手工操作的机器,它由原动机、传动机构与执行机构组成;对于相对复杂与自动工作的机器,它由原动机、传动机构、执行机构与测控系统组成。

机器中普遍使用的机构有连杆机构、齿轮机构、齿轮系与凸轮机构等。

1.2 设计机器的基本要求与流程

机械设计是一项创造性的实践活动,机械设计在向市场提供需要产品的同时,从中获得一定的利润。机械设计的起点是市场需求,接着是将市场需求细化为期望设计机器的功能要求,经过方案设计与比较之后,最终确定机器的方案设计。一旦有了机器的设计方案,就可以对每一个组成部分进行尺寸设计,首先确定影响机器运动规律的尺寸,其次确定影响动力传递的尺寸,最后研究与优化机器的动力学特征。在以上工作中,所设计的机器满足了机器的功能要求,可靠性要求,同时还应该满足生产工艺性的要求,标准化的要求,经济性的要求,可操作性与可维护性的要求,以及安全性与环保的要求。

1.3 机械原理的基本内容

机械原理研究机器、机构的分析与设计的基本理论与方法,具体内容如下。

1.3.1 平面机构的组成分析

平面机构的组成研究机构组成的一般规律。机构是一个运动变换与动力传递的实物组合体,机构的组成原理通过构件、运动副、机架与自由度的概念,研究机构是如何组成的。

1.3.2 平面机构的运动分析

当机构中的一个构件作匀速运动时,机构运动分析的任务是研究其余构件的位移、速度与加速度的分析方法,研究方法既有基于作图的图解方法,也有基于数学分析的解析方法。通过对机构作运动分析,了解机构的运动规律是否满足设计要求。

1.3.3 平面机构的受力分析

当机构中的一个构件在外力作用下作匀速运动时,机构受力分析的任务是研究力是如何传递的,以便为构件的三维尺寸设计提供力参数。

1.3.4 平面机构的摩擦力分析

当机构中的一个构件在外力作用下作匀速运动时,机构摩擦力分析的任务是研究运动副中摩擦存在时,如何作机构的受力分析,以便确定机器的机械效率。

1.3.5 机器的动力分析

当机器在外力作用下运动时,机器的动力分析研究某个构件的真实运动规律,当它的运动规律不满足设计要求时,通过对“飞轮”的设计,达到对机器运动规律的调节。

1.3.6 常用机构的设计

在机器中应用最多的机构是连杆机构、齿轮机构、齿轮系与凸轮机构。常用机构的设计的任务是研究这些机构的类型、传动特点、设计与分析方法以及相关标准。

1.4 学习本课程的目的

机械原理属于技术基础课,它比物理、工程力学更加接近工程实际,但它又不是关于机械的专业课。机械原理研究机械中的共性问题,它为各种专业机械课程提供基础知识。为此,学习机械原理,首先是为进一步学习专业机械课程提供条件;其次,是为机械产品的创新设计提供基本的机构设计理论与分析方法;最后,为认识已有的机械,了解机械的工作原理,改进机械的工作性能提供基础。

1.5 学习本课程的方法

机械原理研究机构的组成原理、可动性分析、运动与受力分析以及动力学分析,研究常用机构的传动特性与设计方法。为此,在学习本课程时应注重知识之间的相关性,注重通过知识的积累,提高分析与解决实际问题的能力。由于本门课是通过机构运动简图对机械进

行研究的,较为抽象,因此,应充分发挥形象思维的作用,以深刻认识关于机械的相关设计理论。机械产品在日常生活中随处可见,应注意从现实生活中认识机械的组成,发现其中的设计特点,做到理论联系实际。

2 平面机构的组成分析

2.1 概述

在设计平面机构时,首先应该确定选择什么类型的机构,由多少个构件、多少个运动副组成,然后才能进行机构的尺寸设计。为此,通过机构的运动简图表达机构,借助于一定的规则判断平面机构的可动性是平面机构组成原理研究的内容。

2.2 平面机构的组成分析

2.2.1 构件

在机器中,每一个具有相同运动规律的单元体称为构件;每一个单独制造的单元体称为零件。构件是机器中的运动单元体,零件是机器中的制造单元体。

2.2.2 运动副

两个构件连接接触且仍具有一定形式的相对运动的连接称为运动副。当两个构件以面接触且仍具有一定形式的相对运动的连接称为低副,如图 2.1(a)、(b)所示。图 2.1(a)中的

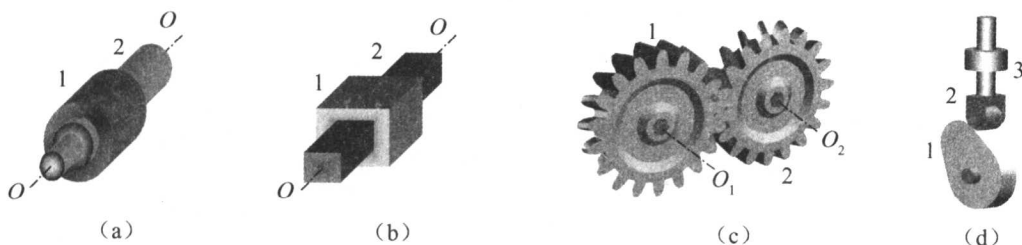


图 2.1 运动副的三维图

两个构件可以作相对转动,图 2.1(b)中的两个构件可以作相对移动。当两个构件以点或线接触且仍具有一定形式的相对运动的连接称为高副,如图 2.1(c)、(d)所示。图 2.1(c)中的两个构件作共轭相对运动,图 2.1(d)中的两个构件作非共轭相对运动。两个构件通过运动副的约束作相对运动时,若相对运动为平面运动,则称为平面运动副,如图 2.1 所示。当两个构件通过运动副的约束作相对运动时,若相对运动为空间运动,则称为空间运动副,如图

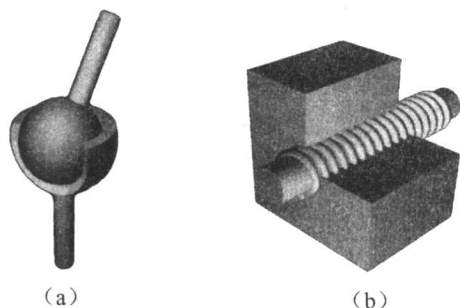


图 2.2 球面副与螺旋副

2.2 所示,图 2.2(a)为球面副,图 2.2(b)为螺旋副。

为了研究机构的设计与分析,便于在工程上交流设计思想,国家标准制定了绘制机构运动简图的运动副符号规范。表 2.1 列出了常用的运动副符号。

表 2.1 常用的运动副符号(GB4460—1984)

运动副名称		运 动 副 符 号	
		两个运动构件组成运动副	两个构件之一固定组成运动副
平面运动副	转动副		
	移动副		
	平面高副		
空间运动副	圆柱副		
	球面销副		
	螺旋副		

2.2.3 运动链

若干个构件通过运动副连接而形成的可动系统称为运动链。若运动链为封闭结构的,则称为闭式运动链,如图 2.3(a)、(b)所示;若运动链为开放结构的,则称为开式运动链,如图 2.3(c)、(d)所示。若形成运动链的各个构件的运动平面相互平行,则称为平面运动链,如图 2.3 所示;若形成运动链的各个构件的运动平面不相互平行,则称为空间运动链,如图 2.4 所示。

2.2.4 机构

当在一个运动链中选择一个构件作为机架时,则该运动链便成为了机构。在机构中,运动规律已知的构件称为原动件或主动件,原动件与机架之外的构件称为从动件。从动件的

运动规律取决于原动件的运动规律与机构的尺寸。若机构中各个构件的运动平面相互平行,则称为平面机构;若机构中各个构件的运动平面不相互平行,则称为空间机构。

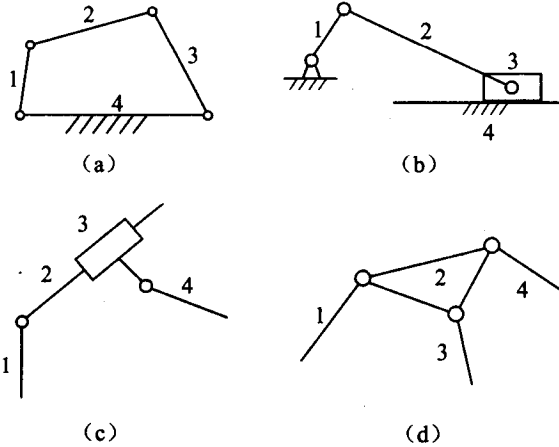


图 2.3 平面运动链

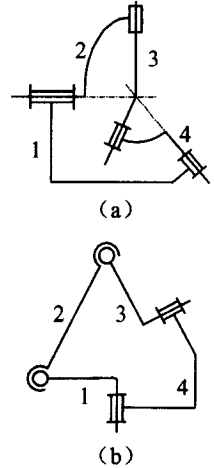


图 2.4 空间运动链

2.3 平面机构的运动简图

无论是对已有的机器进行运动与动力分析,还是设计新的机器,都需要画出机构的运动简图。所谓机构的运动简图,是指用规定的符号所绘出的简单图形,它与机器的运动副之间的尺寸成比例关系。有了机构的运动简图,就可以对机器的运动与动力进行分析,通过机构的运动简图,就可以开展新机器的设计。有时,为了表明机器的结构情况,所绘出的图形与机器的运动副之间的尺寸不成严格的比例关系,通常称这样的简图为机构的示意图。为了正确绘制机构的运动简图,国家标准制定了绘制机构运动简图的符号规范。图 2.5(a)给出了摩擦轮传动、图 2.5(b)给出了外啮合圆柱齿轮传动、图 2.5(c)给出了内啮合圆柱齿轮传动的机构运动简图,其他类型的机构运动简图参见 GB4460—1984 所示。

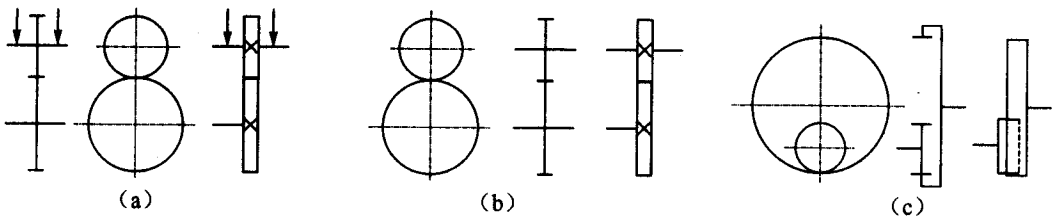


图 2.5 机构运动简图

在绘制机构的运动简图时,首先应该把机器的构造分析清楚,理清运动是如何传递的,区分出主动件与执行构件,从主动件到执行构件经历了哪些传动环节。

为了具体说明机构运动简图的画法,下面举两个例子予以说明。

[例 2.1] 图 2.6(a)为辊式破碎机机械传动部分的三维结构图,图 2.6(b)为辊式破碎机的两个辊子破碎物料的示意图。当被破碎的物料中夹带了过硬的物体而破碎不了时,支承可让位辊子两端的两个滑块的两个液压油缸的推力超过预设的数值,溢流阀自动卸油,于

表 2.2 一般构件的表示方法(GB4460—1984)

杆、轴类 构件	构件的表示方法				
固定构件					
同一构件					
两副构件					
三副构件					

是,两个辊子之间的距离加大,从而放过这些硬物。

[解] 由图 2.6(a)得知,齿轮 1 为主动件,通过一套连杆机构,使齿轮 4 在时变轴距下

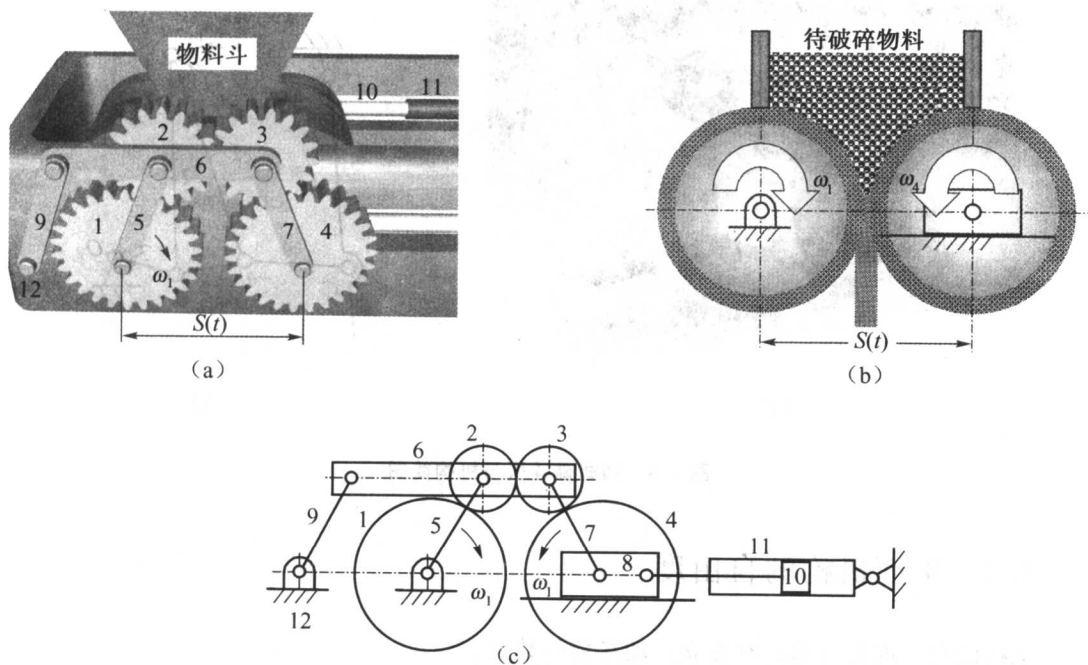


图 2.6 辊式破碎机的传动图