



普通高等教育机电类“十二五”规划教材



机械设计基础

Fundamentals of Machine Design

李康举 王晓方 主编



中国轻工业出版社

普通高等教育机电类“十二五”规划教材

机械设计基础

李康举 王晓方 主 编
张素媛 赵 元 康凤华 副主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础/李康举, 王晓方主编. —北京: 中国轻工业出版社,
2012. 5

普通高等教育机电类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5019-8606-4

I. ①机… II. ①李… ②王… III. ①机械设计—高等学校—教材

IV. ①TH122.

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 008010 号

37407

责任编辑: 张晓媛

策划编辑: 王 淳

责任终审: 孟寿萱

封面设计: 锋尚设计

版式设计: 宋振全

责任校对: 晋 洁

责任监印: 吴京一

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京君升印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 19

字 数: 520 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-8606-4 定价: 38.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

081379J1X101ZBW

前 言

机械设计基础是高等院校机械类各专业学生必修的一门重要的技术基础课。随着教育改革的深入,专业设置和课程设置正在进一步调整和整合,与机械类各专业密切相关的机械设计基础课程的内容和体系也必须作相应的改革,对教材的实用性和针对性提出了较高的要求,既要求教材易懂、实用、能反映当今先进的技术和应用情况,更要有利于学生分析问题和解决问题能力的培养。

本书作者都是长期工作在教学和科研第一线的教师和工程技术人员。本书有如下主要特点:

(1) 取材新颖 本书尽可能反映机械工业的现状和最新的科技成果,特别是在例题与习题的选择上注意体现当前的设计、生产问题。

(2) 内容适当 在内容的取舍上做到基础理论知识以必需、够用为度,力求简单、实用,删去了大量的理论推导及纯理论的公式、定理。

(3) 整合合理 对机械原理部分的内容进行了合理的删减,对机械零件部分的内容进行了合理的整合,对设计类问题也尽可能使其简化,使学生易学、易懂。

(4) 强化应用 注重培养学生分析问题和解决问题的能力,突出应用型、实用型人才培养需要。

本书内容包括:绪论;平面机构的结构分析;平面连杆机构;凸轮机构;间歇运动机构;螺纹连接与螺旋传动;轴毂连接;带传动和链传动;齿轮传动;蜗杆传动;轮系;轴;滚动轴承;滑动轴承;联轴器、离合器和制动器。

本书由李康举、王晓方任主编,张素媛、赵元、康凤华任副主编。本书各章编写分工是:绪论、第一章、第三章、第五章、第十四章由沈阳理工大学王晓方编写;第六章、第九章、第十章由沈阳理工大学李康举编写;第四章、第七章、第十三章由沈阳大学康凤华编写;第八章由沈阳理工大学张素媛编写;第二章、第十一章、第十二章由沈阳理工大学应用技术学院赵元编写。全书由王晓方最后统稿审核。本书在编写过程中得到了张景耀、徐明、吴静、李银玉、于晓文等的大力支持和帮助,在此表示诚挚的感谢。

本书可作为普通高等院校、高等职业技术学院、成人高等教育等层次的机电类各专业的教学用书,也可供从事生产、科研工作的工程技术人员参考。

由于编者水平所限,再加上时间仓促,书中难免存在一些缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

绪 论	1
第一节 本课程研究对象和内容	1
第二节 本课程在教学中的地位及学习方法	2
第一章 平面机构的结构分析	3
第一节 机构的组成	3
第二节 平面机构的运动简图	4
第三节 平面机构的自由度	6
第四节 平面机构中的高副低代	11
第五节 平面机构的组成原理及结构分析	12
第二章 平面连杆机构	16
第一节 概述	16
第二节 平面机构的运动分析	16
第三节 平面机构的力分析	20
第四节 四杆机构的基本形式及演化	27
第五节 平面四杆机构的基本特性	30
第六节 平面四杆机构设计	33
第三章 凸轮机构	39
第一节 概述	39
第二节 从动件常用运动规律	40
第三节 盘形凸轮轮廓设计	44
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	49
第四章 间歇运动机构	53
第一节 棘轮机构	53
第二节 槽轮机构	55
第三节 凸轮式间歇运动机构和不完全齿轮机构	58
第五章 螺纹联接与螺旋传动	62
第一节 螺纹联接的基本知识	62
第二节 螺纹联接的预紧与防松	65
第三节 单个螺栓联接的强度计算	67
第四节 螺栓组联接的结构设计和受力分析	72
第五节 提高螺栓联接强度的措施	80
第六节 螺旋传动	82

第六章 轴毂联接	90
第一节 键联接	90
第二节 花键联接	94
第三节 销联接	96
第四节 无键联接	96
第七章 带传动和链传动	98
第一节 带传动概述	98
第二节 带传动的工作情况分析	102
第三节 普通 V 带传动设计	108
第四节 带轮设计	116
第五节 带传动的张紧、安装与维护	118
第六节 其他带传动简介	121
第七节 链传动概述	122
第八节 链传动的动力特性	125
第九节 滚子链传动的设计计算	127
第十节 链传动的布置、张紧及润滑	132
第八章 齿轮传动	135
第一节 概述	135
第二节 齿廓啮合基本定律	136
第三节 渐开线齿廓	137
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸	139
第五节 渐开线齿轮的啮合传动	143
第六节 渐开线齿轮的切齿原理	145
第七节 渐开线齿廓的根切现象和标准齿轮的最少齿数	147
第八节 变位齿轮传动	148
第九节 齿轮常见的失效形式和设计准则	153
第十节 齿轮常用材料及许用应力	155
第十一节 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	160
第十二节 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	168
第十三节 直齿圆锥齿轮传动	177
第十四节 齿轮的结构设计	182
第十五节 齿轮传动的润滑与效率	184
第九章 蜗杆传动	188
第一节 蜗杆传动的特点和类型	188
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸	190
第三节 蜗杆传动的失效形式及常用材料和结构	194
第四节 蜗杆传动的强度计算	197
第五节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	200

第六节 普通圆柱蜗杆传动的精度等级选择及安装与维护	204
第十章 轮系	207
第一节 轮系及其分类	207
第二节 定轴轮系及其传动比	208
第三节 周转轮系及其传动比	209
第四节 复合轮系及其传动比	212
第五节 轮系的功用	213
第六节 其他行星传动简介	216
第十一章 轴	221
第一节 概述	221
第二节 轴的结构设计	223
第三节 轴的强度计算	228
第四节 轴的刚度计算	233
第五节 轴的振动及振动稳定性	234
第十二章 滚动轴承	236
第一节 概述	236
第二节 轴承的结构、类型和特点	236
第三节 滚动轴承的代号	239
第四节 滚动轴承的工作情况分析	242
第五节 滚动轴承的寿命计算	244
第六节 滚动轴承的组合设计	254
第十三章 滑动轴承	264
第一节 概述	264
第二节 滑动轴承的结构	264
第三节 滑动轴承材料及轴瓦结构	265
第四节 滑动轴承的润滑	270
第五节 非液体摩擦滑动轴承的设计	272
第六节 液体动压润滑的形成及基本方程	273
第七节 液体静压滑动轴承简介	281
第十四章 联轴器、离合器和制动器	283
第一节 联轴器	283
第二节 离合器	289
第三节 制动器	293
主要参考文献	296

绪 论

第一节 本课程研究对象和内容

在进入本课程学习以前,首先需要了解一些基本概念及术语,如零件、构件、机构、部件、机器和机械等,然后才能具体地讨论本课程所研究的对象和内容。

一、基本概念及术语

(1) 零件 机械零件的简称,从制造工艺角度来看,零件是制造的最小单元。任何机器都是由零件组成的。若将一部机器进行拆卸,拆到不可再拆的最小单元就是零件。

(2) 构件 一个构件通常是由若干个零件组成的,如内燃机中的连杆,其结构如图 0-1 所示,它由连杆体 1、连杆头 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5 和螺母 6 等零件组成。这些零件刚性地联接在一起组成一个系统,机器运动时作为一个整体来运动。所以,构件是由若干零件组成的一个刚性系统,是运动的最小单元。当然也有的构件仅由一个零件组成。

(3) 机构 机构是由若干个构件组成的一个构件组合体。机构的功用在于传递运动或改变运动的形式。如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等。组成机构的各构件之间的相对运动是有规律的(是一个变量或多个变量的函数)。

(4) 部件 从制造和装配的角度来看,部件是指由一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合物,构件和机构都可以称为部件。

(5) 机器 机器是由若干机构组成的。机器的类型虽然很多,但组成机器的常用机构的类型并不多,如常见的机床、起重机、缝纫机、内燃机等机器,都是由连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、带传动机构等常用机构组合而成的。从运动的观点来看,机器与机构并无差别,机构是机器中执行运动的机械运动装置。从研究的观点来看,对机构,着重研究它们的结构组成、运动与动力性能及尺寸设计等问题;对机器,则着重研究它们变换或传递能量、物料和信息等方面的问题。如电动机或发电机用来变换能量,加工机械用来变换物料的状态,起重运输机械用来传递物料,计算机则用来变换信息等。这便是机构与机器的根本区别。

(6) 机械 一般常将机器和机构总称为机械。

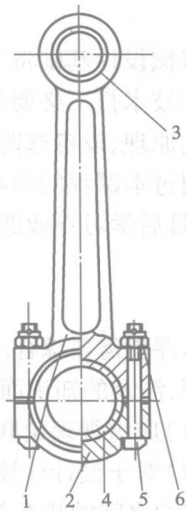


图 0-1 连杆

1—连杆体 2—连杆头 3—轴套
4—轴瓦 5—螺栓 6—螺母

二、本课程研究的对象和内容

机械设计是为了满足机器的某些特定功能要求而进行的创造性过程,即用新的原理或新的概念,开发创造出新的产品,或对现有机器的局部进行创造性的改革。机械设计是生产机械产品的第一道工序,设计质量的高低,直接影响着产品质量的高低。

机械设计基础是一门研究机械传动及其设计中的一些基础知识的课程,其研究的内容主要有以下几个方面:

1. 常用机构

(1) 机构的组成原理 研究构件组成机构的原理以及各构件间具有确定运动的条件。

(2) 常用机构的分析和设计 对常用机构的运动和工作特点进行分析,并根据一定的运动要求和工作条件来设计机构。

2. 通用零件

根据使用范围的不同,机械零件可分为两类:一类是广泛用于各种机械的通用零件,如螺钉、键、销、轴承、弹簧、齿轮等;另一类则是只在某些特定类型的机械中才能用到的专用零件,如风扇的叶片、洗衣机的波轮等。本课程只研究通用零件的设计和选用问题,包括零件工作能力设计和结构设计,以及标准零、部件的选用等。

第二节 本课程在教学中的地位及学习方法

一、本课程在教学中的地位

机械设计基础将为机械类相关专业的学生学习机械装备设计等专业课程以及掌握新的机械科学技术打下必要的理论基础。同时,也使从事工艺、运行、管理的工程技术人员了解机械的传动原理、设备选购、设备的正确使用和维护、设备的故障分析等方面获得必要的基本知识。

通过本课程的学习和设计实践,可使学生初步具备运用手册设计简单机械传动装置的能力,为日后学习专业课程以及从事技术革新创造条件。

二、本课程的学习方法

本课程需要综合应用先修课程的知识,如数学、机械制图、工程材料及机械制造基础、工程力学等,涉及的知识面较广,且偏重于应用。学习本课程的一般方法为:

(1) 应重视理论联系实际,对日常所遇到的机器要结合所学理论进行观察分析;

(2) 对于设计计算的公式与数据,应着重了解其中各量的物理意义、取值范围、应用条件以及它们之间的相互关系;

(3) 了解组成机器的各零件之间相互联系、相互制约的关系,从机器整体出发,体会本课程内容的系统性和规律性,避免把各章节内容分割开来孤立地学习;

(4) 充分重视结构方面的设计,要多观察现有零部件的实物或图样,进行分析比较,提高和丰富结构设计方面的知识,为从事生产一线的技术工作打下坚实的基础。

复习思考题与习题

0-1 机器与机构的共同特征有哪些?它们的区别是什么?

0-2 家用缝纫机、洗衣机、机械式手表是机器还是机构?

0-3 按机器的功能,分析一种机械装置(如机床、洗衣机、自行车、建筑用起重机等)由哪些部分组成。

0-4 以自行车为例,列举两个构件,说明其主要由哪几个零件组装而成。

第一章 平面机构的结构分析

第一节 机构的组成

一、构件的自由度

一个不受其他物体约束的自由构件 S 在做平面运动时,可以在 xOy 坐标平面中随其上的某一点 A 沿 x 轴、 y 轴方向移动,同时还可以绕 A 点转动,这三种运动方式之间可以没有任何的联系,即相互之间是独立的,如图 1-1 所示。

构件所具有的独立运动规律称为构件的自由度。一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。构件之间组成运动副后,由于独立运动受到限制,因而其自由度便随之减少。

二、运 动 副

机构的重要特征是各个构件都要有确定的运动。为此,必须对各构件的运动加以约束,这种约束是由构件之间的相互联接引入的。机械中的每一个构件必须与另外的构件相联接,但这种联接不应是刚性的,而应保证它们之间仍能产生某种相对运动。凡是两个构件直接接触并且具有确定相对运动的联接称为运动副。如图 1-2、图 1-3 所示轴与孔的配合、图 1-4 所示两齿轮的轮齿啮合都构成了运动副。两构件构成运动副,不外乎是通过点、线或面的接触来实现的。这些构成运动副的点、线、面称为运动副的元素。按照形成运动副的几何元素,通常将运动副分为低副和高副两种类型。

(一)低副

两构件以面接触形成的运动副称为低副。根据形成低副的两个构件之间的相对运动形式是转动还是移动,低副又可分为转动副和移动副。

(1)转动副 组成运动副的两构件之间只能绕某一轴线做相对转动,如图 1-2 所示。通常转动副的具体形式是用铰链连接,即由圆柱销和销孔所构成的转动副。

(2)移动副 组成运动副的两构件只能沿某一方向做相对移动的运动副,如图 1-3 所示。内燃机中的活塞与气缸体所组成的运动副也为移动副。

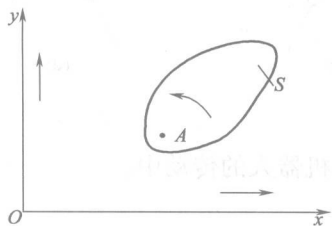


图 1-1 平面运动构件的自由度

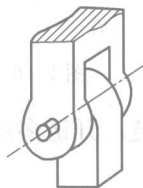


图 1-2 转动副

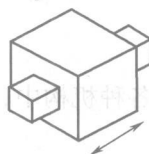


图 1-3 移动副

(二)高副

两构件之间以点或线接触组成的运动副称为高副,如图 1-4 所示。构件 1 与构件 2 组成

的高副中构件沿公法线 $n-n$ 方向的移动受到约束,而构件 1 相对于构件 2 则可沿接触点 A 的切线 $t-t$ 方向移动,同时可绕 A 点转动。

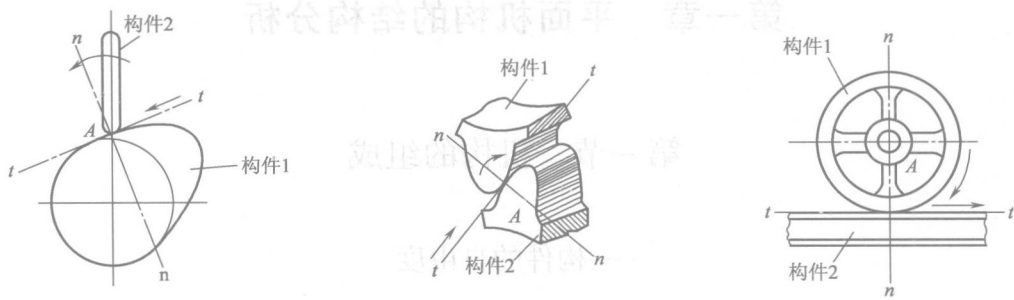


图 1-4 高副

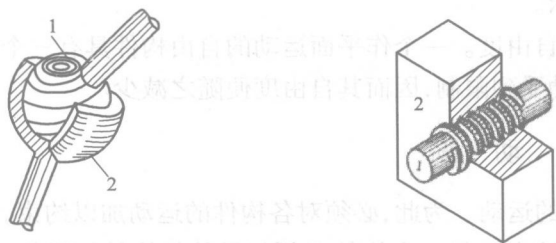


图 1-5 球面副和螺旋副

此外,常用的运动副还有球面副、螺旋副,它们都属于空间运动副,即两构件的相对运动为空间运动,如图 1-5 所示。

按照组成机构的各构件之间的相对运动为平面运动或空间运动,可以将机构分为平面机构和空间机构两大类。平面机构是指机构中各构件的运动在相同的平面内或相互平行的平面内。常用机构大多数为这类机构,因此,我们只讨论平面机构及其运动副的有关问题。

三、运 动 链

由两个以上构件通过运动副联接所构成的系统称为运动链。如果组成运动链的各构件构成首末封闭的系统,如图 1-6(a)、(b),则称为闭式运动链或简称为闭链。如果运动链的各构件没有构成首末封闭的系统,如图 1-6(c)、(d),则称为开式运动链或简称为开链。闭链中只有一个封闭形的链[如图 1-6(b)]称为单环闭链;有两个封闭形的链[如图 1-6(a)]则称为双环闭链;依此类推。

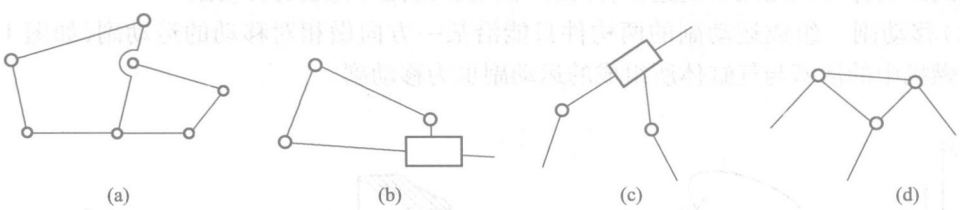


图 1-6 运动链

在各种机构中,一般多采用闭链。开链多用于机械手或机器人的传动中。

第二节 平面机构的运动简图

设计新机械或分析、研究、革新现有机件,常常需要把复杂的机械用一些简单的线条和规定的符号将其传动系统、传动机构间的相互联系、运动特性表示出来,表示这些内容的图称为

机构运动简图或机构示意图。

在绘制机构运动简图时,首先要分析清楚该机构的实际构造和运动情况,即清楚该机构是由多少构件组成的,各构件之间通过何种运动副相联接,从而理清该机构原动部分的运动是怎样传递到其执行部分的,然后才能正确地绘出其机构运动简图,如图 1-7 所示。

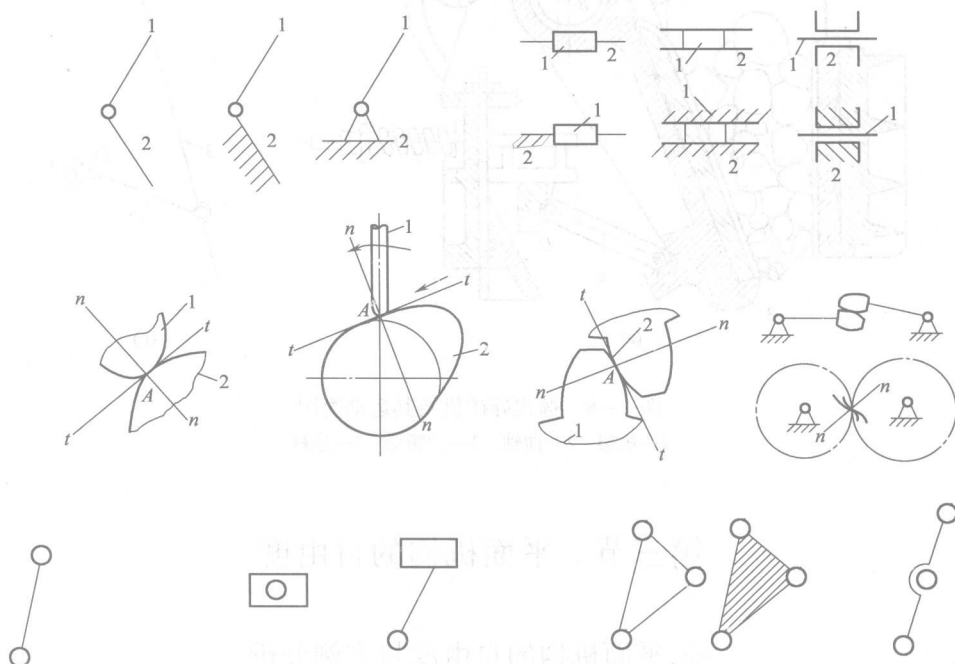


图 1-7 运动副及构件的画法

为了把机构的运动情况表示清楚,在绘制机构运动简图时需恰当地选择投影面。一般选择其多数构件的运动平面为投影面,必要时也可以就机构的不同部分选择两个或两个以上的投影面,然后转到同一平面上,或者把在主运动简图上难于表示清楚的部分另绘一局部简图。总之,以能够简明地把机构的结构及运动情况表示清楚为原则。

选定投影面后,选择适当的比例尺,定出各运动副之间的相对位置,用简单的线条和代表运动副的符号画出机构运动简图。

按一定的比例尺绘制运动简图,便于用图解法在图上对机构进行运动和动力分析。工程上还广泛应用不按严格的比例绘制的运动简图,通常称为机构示意图。在机构示意图上只是定性地表达出机械中各构件之间的运动和动力的传递关系,绘制较为方便。

下面通过具体实例,来说明机构运动简图的绘制步骤。

例 1-1 图 1-8(a)所示为颚式碎矿机。当曲轴 2 绕轴心 A 连续回转时,动颚板 3 绕轴心 B 往复摆动,从而将矿石轧碎。试绘制此碎矿机的机构运动简图。

解 先找出碎矿机的原动部分为曲轴 2,工作部分为动颚板 3,然后按运动传递的路线可看出,此碎矿机是由曲轴 2、动颚板 3、连杆 4 和机架 1 等构件组成。其中曲轴 2 和机架 1 在 A 点构成转动副,而曲轴 2 还与动颚板 3 在 B 点构成转动副,动颚板 3 与连杆 4 在 C 点构成转动副,连杆 4 与机架 1 在 D 点构成转动副。

将碎矿机的组成情况搞清楚后,再选定投影面和比例尺,并定出转动副 A、B、C、D 的位置,即可绘出其机构运动简图,如图 1-8(b)所示。

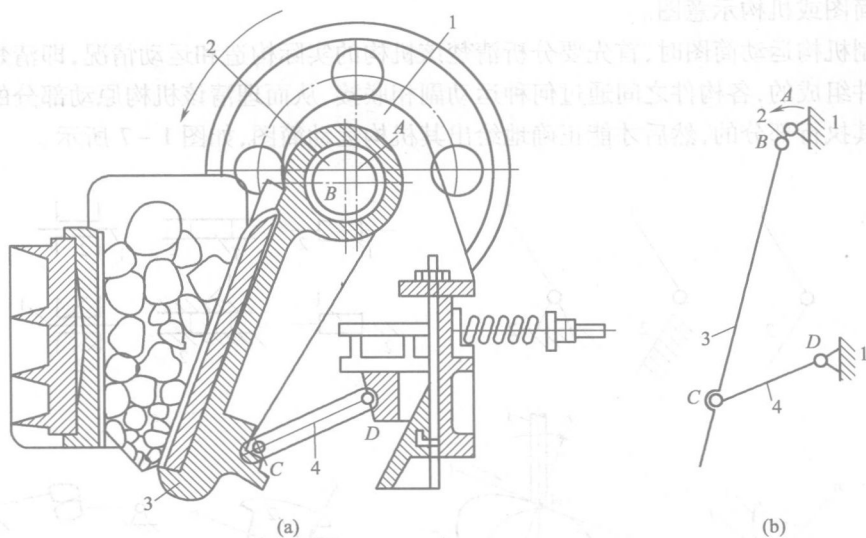


图 1-8 颞式碎矿机及其运动简图

1—机架 2—曲轴 3—动颞板 4—连杆

第三节 平面机构的自由度

一、平面机构的自由度与实例分析

(一) 平面机构自由度计算

平面机构的自由度就是该机构中各构件相对于机架所具有的独立运动的数目。

平面机构的自由度与组成机构的构件数目、运动副的数目及运动副的性质有关。图 1-2 中的两构件组成转动副后,构件间只能绕轴线做相对转动,也就是转动副引入了两个约束,保留了 1 个自由度。同样,图 1-3 中的两构件组成移动副后,也引入两个约束,保留了一个自由度。综上所述,平面低副使构件失去两个自由度。图 1-4 中的两构件组成高副后,引入一个约束,保留了两个自由度。

设平面机构中活动构件数目为 n ,形成运动副前共有 $3n$ 个自由度。若机构中低副共有 P_L 个,则引入 $2P_L$ 个约束,使机构减少 $2P_L$ 个自由度;若高副共有 P_H 个,则引入 P_H 个约束,使机构减少 P_H 个自由度。因此,机构中活动构件的自由度总数减去因运动副约束而减少的自由度,即为机构的自由度,以 F 表示。

即

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (1-1)$$

根据自由度与原动件数目之间的关系可以判定机构是否具有确定的运动:

- (1) 若原动件数目小于 F , 机构可以运动, 但运动不确定;
- (2) 若 $F > 0$ 且等于原动件数目, 机构具有确定的运动;
- (3) 若原动件数目大于 F 或 $F \leq 0$, 机构不能运动。

(二) 平面机构自由度的实例分析

例 1-2 试计算图 1-9 所示活塞泵的自由度。

解 活塞泵有四个活动构件, $n = 4$; 共组成了四个转动副和一个移动副, $P_L = 5$; 有一个高

副, $P_H = 1$ 。由式(1-1)得机构自由度

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 1$$

机构中构件 1 为原动件, 机构自由度 F 与原动件数目相等, 该机构具有确定的相对运动。

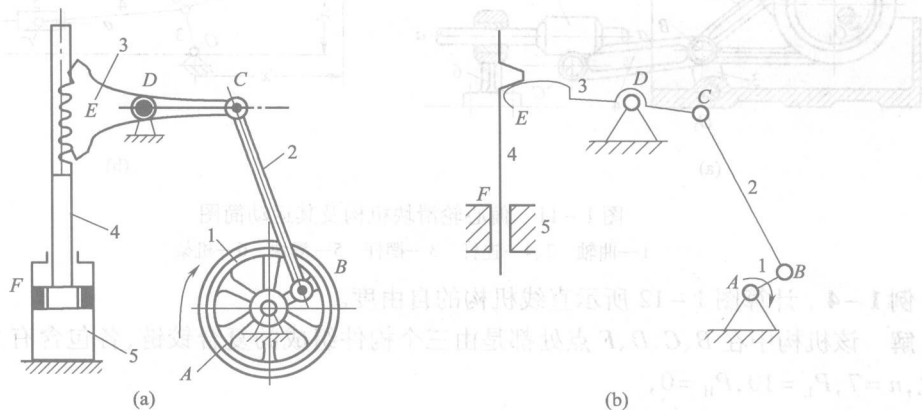


图 1-9 活塞泵及其机构运动简图

1—曲轴 2—连杆 3—摆杆 4—活塞 5—机架

二、计算平面机构自由度时应注意的问题

在计算机构的自由度时, 往往会遇到按公式计算出的自由度数目与机构实际的自由度数目不相符合的情况, 这是因为在应用公式(1-1)计算机构的自由度时, 还有某些应注意的事项未能正确处理的缘故, 还需引起注意。

(一) 复合铰链

两个以上构件在同一处以转动副相联接, 所构成的运动副称为复合铰链。如图 1-10(a) 所示, 构件 1 与构件 2、3 组成两个转动副, 当两个转动副轴线间的距离缩小到零时, 两轴线重合为一, 便得到图 1-10(b) 所示的复合铰链, 也就是 3 个构件在同一处以转动副相联接, 而图 1-10(c) 为图 1-10(b) 的侧视图, 从中可看出, 此 3 个构件共构成 2 个转动副。同理若有 m 个构件以复合铰链联接时, 其构成的转动副数应等于 $m-1$ 个。

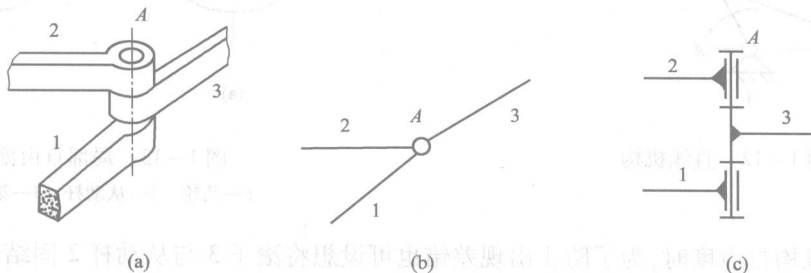


图 1-10 复合铰链

在计算机构自由度时应注意是否存在复合铰链, 以免把运动副数目搞错。

例 1-3 计算如图 1-11 所示偏心轮滑块机构的自由度。

解 该机构中 B 点处为一复合铰链, 包含有 2 个转动副,

因此, $n = 5, P_L = 7, P_H = 0$,

由公式(1-1), $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$

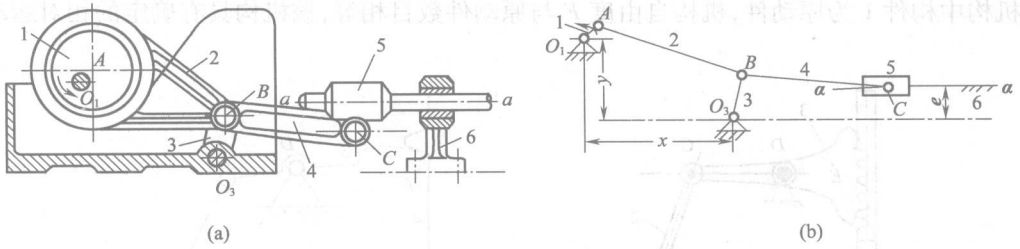


图 1-11 偏心轮滑块机构及其运动简图

1—曲轴 2、4—连杆 3—摆杆 5—滑块 6—机架

例 1-4 计算图 1-12 所示直线机构的自由度。

解 该机构中在 B、C、D、F 点处都是由三个构件组成的复合铰链, 各包含有 2 个转动副, 因此, $n = 7, P_L = 10, P_H = 0$,

由公式(1-1), $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$

(二) 局部自由度

机构中若某些构件所具有的自由度仅与其自身的局部运动有关, 并不影响其他构件的运动, 则这种自由度称为局部自由度。如图 1-13(a) 所示的平面凸轮机构中, 为了减少高副元素的磨损, 在凸轮 1 和从动杆 2 之间安装了一个滚子 3, 当凸轮 1 回转时, 通过滚子 3 带动从动杆 2 做上下运动, 故该机构是一个单自由度的平面高副机构, 但在用公式(1-1)计算其自由度时 $F = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$ 与事实不符, 这是因为滚子 3 有一个绕其自身轴线转动的局部自由度, 它并不影响从动杆 2 的运动规律。因此, 在计算机构的自由度时局部自由度应除去不计。

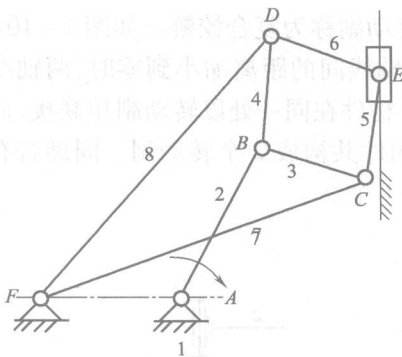


图 1-12 直线机构

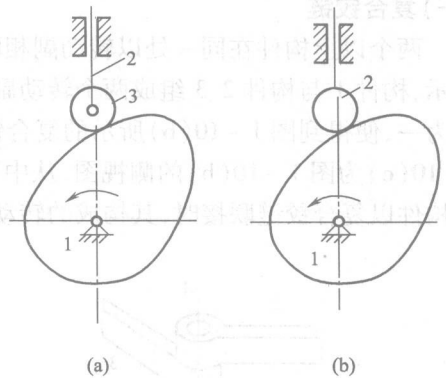


图 1-13 局部自由度

1—凸轮 2—从动杆 3—滚子

在计算机构自由度时, 为了防止出现差错也可设想将滚子 3 与从动杆 2 固结成一体, 视为一个构件, 如图 1-13(b) 所示, 预先排除局部自由度, 然后按自由度计算公式计算。

即

$$F = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1。$$

(三) 虚约束

机构中某些运动副所形成的约束, 与其他约束重复而对机构的运动不再单独起约束作用, 则这种重复的约束称为虚约束。在计算机构自由度时, 应将虚约束除去不计。

例如, 在图 1-14(a) 所示的平行四边形机构中, 构件 1 和构件 3 的长度相等、构件 2 和机

架的长度相等,组成平行四边形。该机构运动时,构件2作平移运动,构件2上各点的轨迹均为圆心在AD线上而半径等于AB杆长的圆弧。该机构的自由度为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

现如图 1-14(b) 所示,在连杆 2 与机架之间再加一个与构件 1、3 相互平行且长度相等的构件 5,构件 5 的一端与杆 2 铰接于 E 点,另一端与机架铰接于 E 点的圆弧中心 F 点,显然构件 5 及所带的两个转动副对该机构的运动并不产生影响,但此时该机构的自由度却变为:
 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$ 。这是因为加入了一个构件 5,引入了 3 个自由度,但增加了两个转动副而引入了 4 个约束,即引入了一个虚约束的缘故,计算机构自由度时应除去。即除去构件 5 及其所带的两个转动副:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1。$$

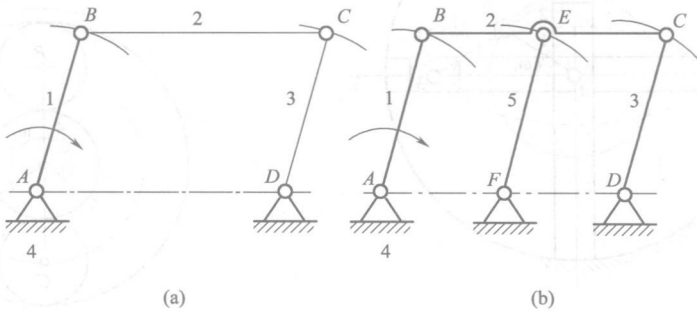


图 1-14 平行四边形机构

虚约束常发生在以下场合:

(1) 两构件间构成多个相同的运动副。两构件间组成若干个转动副,但其轴线相互重合,如图 1-15(a) 中 A、A'; 两构件间组成若干个移动副,但其导路互相平行或重合,如图 1-15(b) 中 B、B'; 两构件间组成若干个平面高副,但各接触点之间的距离为常数,如图 1-15(c) 中 C、C'。在这些情况下,只有一个运动副起约束作用,其余运动副所提供的约束均为虚约束。

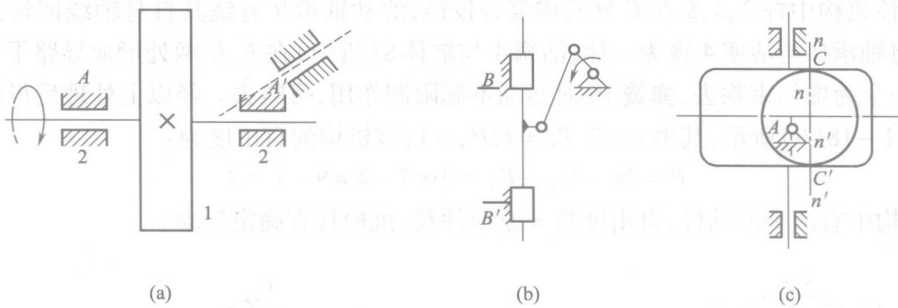


图 1-15 虚约束

(2) 两构件上某两点间的距离在运动过程中保持不变。如图 1-14(b) 所示的平行四边形机构中的 E 点和 F 点,用一个带两个转动副的构件将两点相联,则引入一个虚约束。

(3) 联接构件与被联接构件上联接点的轨迹重合。在图 1-16 所示的椭圆机构中,由于 $BC = BD = AB$; $\angle CAD = 90^\circ$, 故可以证明,其连杆 2 上除 C、B、D 三点外,其余各点在机构运动过程中,均描述出椭圆轨迹,而 C 点运动轨迹为沿 x 轴的直线,滑块 3 的运动轨迹也为沿 x 轴的直线,因此,连杆 2 与滑块 3 在 C 点处的轨迹重合,故滑块 3 和所带的两个运动副引入了一

个虚约束,计算时应除去。 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$ 。

(4) 机构中的对称部分。在图 1-17 所示的行星轮系中,若仅从运动传递的角度看,只需一个行星轮 2 就足够了,这时,机构的自由度为: $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 2 = 1$,但为了使机构受力均衡并可传递较大功率,增加了与行星轮 2 对称布置的行星轮 2'。增加的行星轮 2' 和一个转动副及两个平面高副引入了一个虚约束。由于行星轮 2' 和 2 的运动完全相同,故引入的这个约束,是对机构运动不起实际约束作用的虚约束。

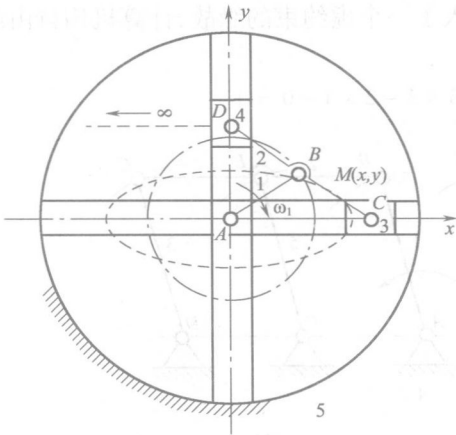


图 1-16 椭圆机构图

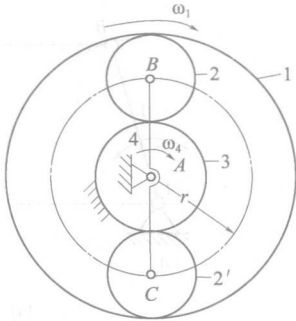


图 1-17 行星轮机构

综上所述,机构中的虚约束都是在特定的几何条件下出现的,如果这些条件不满足,则虚约束将变成有效约束,而使机构的自由度减少,以致不能运动,如图 1-15(a) 中的虚线所示。

特别需要指出的是,机械设计时采用虚约束,往往或是为了改善机构的受力情况,或是为了增加机构的刚性,或是为了传递较大的功率,或是为了满足某种特殊需要。若由于这些需要而必须使用虚约束时,则必须严格保证设计、加工、装配的精度,以满足虚约束所需的特定几何条件。

例 1-5 计算图 1-18(a) 所示机构的自由度。

解 该机构中杆 2、3、5 在 C 处构成复合铰链,滚动轴承 9 有绕其自身轴线回转的局部自由度,可将轴承 9 与活塞 4 视为一体;活塞 4 与缸体 8(机架)在 E、E' 两处形成导路平行的移动副,其中一个为虚约束除去,弹簧 10 对运动不起限制作用,可略去。经以上处理后得机构运动简图如图 1-18(b) 所示,其中 $n = 7, P_L = 9, P_H = 1$; 该机构的自由度为:

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

该机构中有两个原动件,自由度数 = 原动件数,机构具有确定运动。

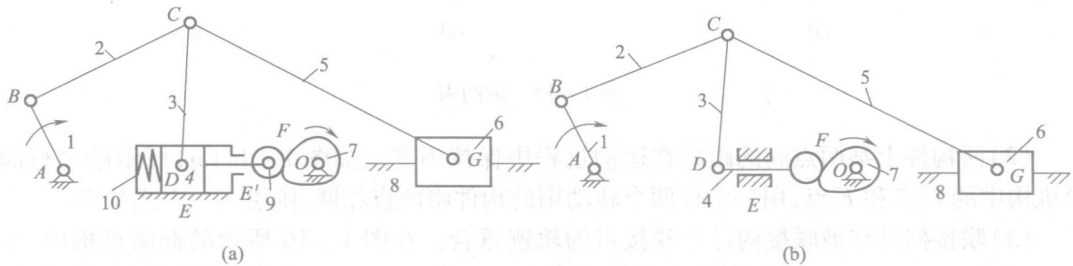


图 1-18 大筛机构

1、2、3、5—杆 4—活塞 6—滑块 7—凸轮 8—机架 9—轴承 10—弹簧