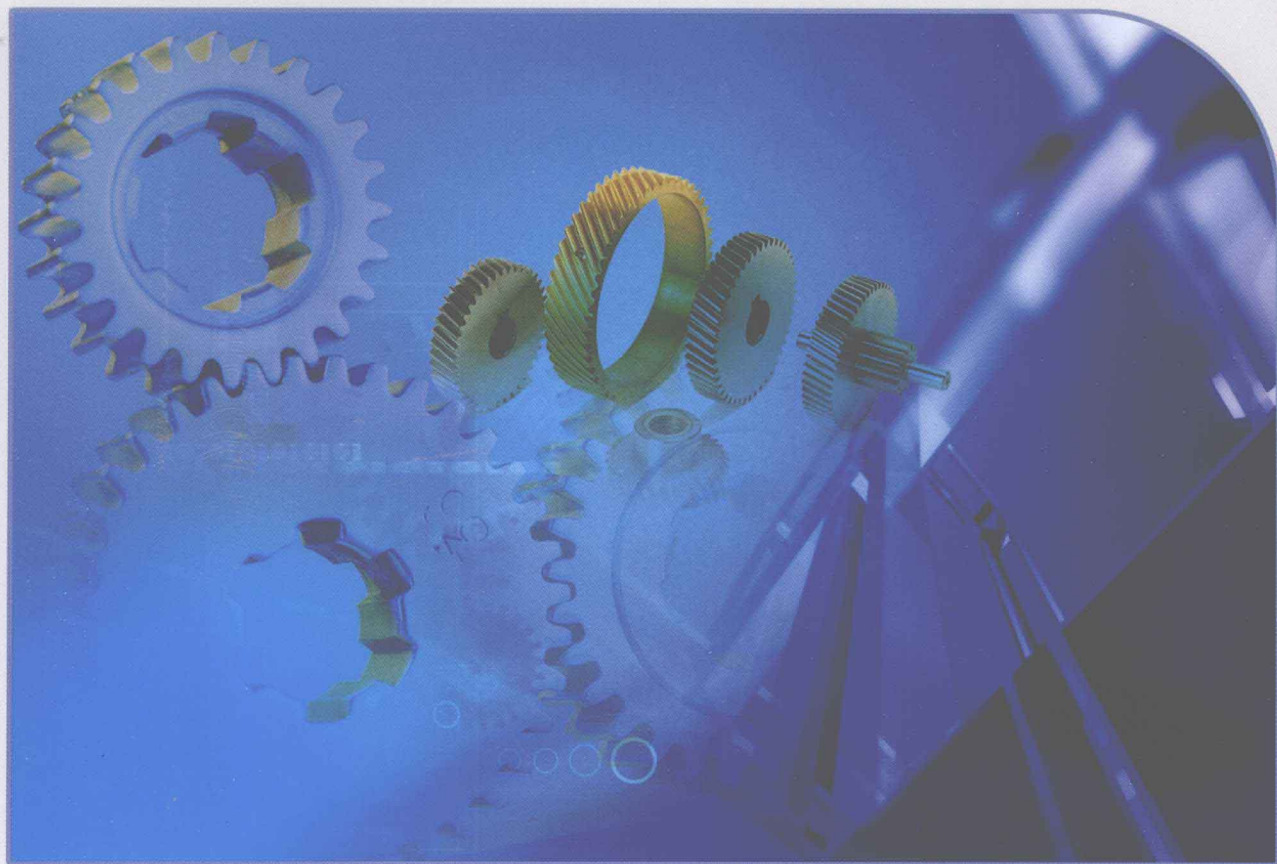




高等院校“十二五”示范性建设成果



机械设计基础

JIXIE SHEJI JICHU

主 编 陈 岚
主 审 胡照海

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等院校“十二五”示范性建设成果

机械设计基础

主编 陈 岚

主审 胡照海

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据目前高等教育发展的实际情况,参照教育部制订的《机械设计课程基本要求(机械类专业)》而编写。

全书包括平面机构、平面连杆机构、凸轮机构、连接、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴、轴承、联轴器和离合器,机械装置的润滑和密封等内容,并配有适量的例题、思考题和习题。

与本书配套的教材《机械设计基础习题集》可让使用者自我练习或作为学生作业。《机械设计基础课程设计指导书》,可作为该门课程课程设计指导书。

本书可作为高等院校机械类专业课程的教材,适用学时为 80 ~ 112 学时。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/陈岚主编. —北京:北京理工大学出版社,2012.7

ISBN 978-7-5640-6298-9

I. ①机… II. ①陈… 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 159226 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 310 千字

版 次 / 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷 责任编辑 / 张慧峰

印 数 / 1 ~ 1 500 册 责任校对 / 周瑞红

定 价 / 37.00 元 责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

随着高等教育的迅速发展，全国的高等院校越来越多。各院校为了办出特色，都在进行深入的教学改革。

本书将原《机械原理与零件》《机械设计》的内容有机地融合在一起，形成了比较完善、比较协调的新体系。全书内容包括：绪论、平面机构、平面连杆机构、凸轮机构、链传动、连接、带传动、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、轴、轴承、联轴器和离合器，机械装置的润滑和密封等。

本书作为高等院校机械类专业的教材用书，也可供其他有关师生及工程技术人员参考。

参加本书编写的成员有：陈岚（第一、八、九、十章），郑立新（第二、四、十一章），唐俊（第三、十四章），邱红（第十二、十三章），吴廷婷（第六、七章），孙勇（第五章），孙博（第十五章）。全书由陈岚主编，胡照海主审。

编写过程中，得到各位同行的相助，在此表示衷心感谢。限于编者的水平，书中难免有不妥之处，希望批评指正。

编者

目 录

第一章 绪论	1
思考题与习题	3
第二章 平面机构	4
第一节 运动副及其分类	4
第二节 平面机构运动简图	5
第三节 平面机构的自由度	7
思考题与习题	12
第三章 平面连杆机构	14
第一节 概述	14
第二节 铰链四杆机构	14
第三节 滑块四杆机构	18
第四节 四杆机构的基本特性	20
思考题与习题	24
第四章 凸轮机构	26
第一节 凸轮机构的类型	26
第二节 从动件的常用运动规律	28
第三节 凸轮轮廓线设计	30
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	33
思考题与习题	35
第五章 其他常用机构	37
第一节 棘轮机构	37
第二节 槽轮机构	39
第三节 螺旋机构	40
思考题与习题	45
第六章 带传动	47
第一节 概述	47
第二节 带传动的失效分析	51
第三节 带传动的设计	54
第四节 带传动的张紧、安装与维护	62
第五节 同步带传动	64

思考题与习题	64
第七章 链传动	66
第一节 链传动的特点和类型	66
第二节 滚子链和链轮	67
第三节 链传动的传动比及运动的不均匀性	71
第四节 链传动的失效形式	72
第五节 链传动的布置、张紧和润滑	73
思考题与习题	74
第八章 圆柱齿轮传动	75
第一节 概述	75
第二节 齿轮传动常见失效形式与设计准则	89
第三节 直齿圆柱齿轮传动设计	93
第四节 斜齿圆柱齿轮传动	100
第五节 齿轮的精度等级和侧隙	106
第六节 齿轮传动技术的发展概况	107
思考题与习题	110
第九章 空间齿轮传动	113
第一节 圆锥齿轮传动	113
第二节 蜗杆传动	118
第三节 常用各类型齿轮传动的比较	126
思考题与习题	127
第十章 轮系	130
第一节 概述	130
第二节 定轴轮系及其传动比	131
第三节 行星轮系及其传动比	133
第四节 混合轮系	135
第五节 轮系的功用	137
思考题与习题	139
第十一章 连接	142
第一节 螺纹连接	142
第二节 键连接和花键连接	149
第三节 销连接	154
思考题与习题	154
第十二章 轴	157
第一节 概述	157
第二节 轴的结构设计	160
第三节 轴的使用与维护	166
思考题与习题	167

第十三章 轴承	169
第一节 概述.....	169
第二节 滚动轴承的类型及选择.....	170
第三节 滚动轴承的寿命计算.....	176
第四节 滚动轴承的组合设计.....	177
第五节 滑动轴承.....	182
第六节 滚动轴承与滑动轴承性能对比.....	186
思考题与习题.....	186
第十四章 联轴器与离合器	188
第一节 概述.....	188
第二节 联轴器.....	189
第三节 离合器.....	192
思考题与习题.....	194
第十五章 机械装置的润滑、密封	195
第一节 概述.....	195
第二节 常用润滑剂及选择.....	195
第三节 常用润滑方式及装置.....	198
第四节 常用传动装置的润滑.....	200
第五节 机械装置的密封.....	203
思考题与习题.....	206
参考文献	208

第一章 绪 论



一、课程的内容及基本要求

随着社会的进步,科学技术的发展,特别是机电技术的结合,创造、发明了很多代替或减轻人类劳动的机器,比如:自行车、汽车、飞机、洗衣机、机床等。机器的类型很多,用途各异,但仔细分析可以看出,它们都是由基本的零、部件组成。

例如图 1-1 所示圆柱齿轮减速器。它的作用是降低转速,增大转矩,满足工作机的要求。它由传递动力的齿轮,支承齿轮的轴和轴承,连接箱体箱盖的螺栓、连接齿轮和轴的键等零件组成。这些零件称为通用零件,因为这些零件在各种机器中都使用到。只在一定类型的机器中使用的零件称为专用零件,比如:内燃机中使用的曲轴,汽轮机中的叶片等。

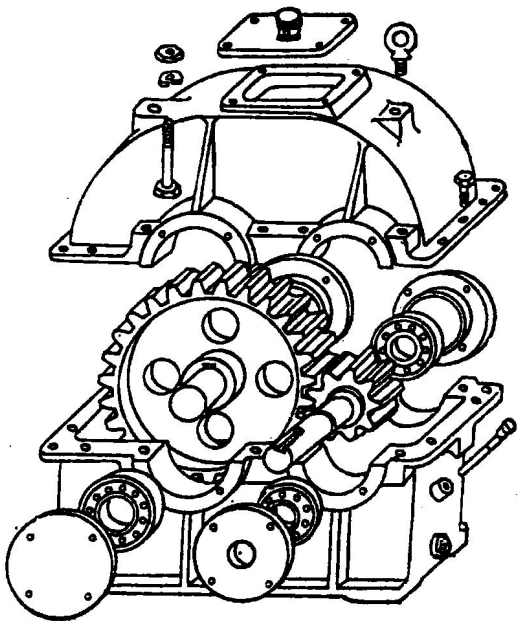


图 1-1 圆柱齿轮减速器

零件的受力大小、性质以及抵抗变形的能力决定了零件的尺寸大小。受力越大,冲击越大,变形越大的零、部件,其尺寸越大,结构越复杂,因此零件抵抗变形的能力和受力分析是机械设计的基础。

本课程综合运用机械设计的基本理论,研究在普通工作条件下一般参数的通用零件和部件。

二、课程的任务及学习方法

本课程是机械类各专业的一门主干技术基础课,课程任务是:使学生初步具有应用受力和材料的受力特性,分析和设计零、部件的能力,为学习后续课程和新的技术科学建立基础,为以后解决生产实际问题和技术改造打下基础。

本课程为综合性很强的学科,内容包括原工程力学和机械零件课程内容,同时还涉及机械制图、机械加工基础、机械工程基础中的内容。在学习时,应围绕通用零件的受力分析、工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法,去选择、设计合格的零件,避免纠缠理论的来源和公式的繁琐推导,以及过多知识点引起的杂乱感觉。

本课程也是实践应用性很强的学科,机械设计是生产机械产品的第一道工序,设计质量的高低,将直接影响机械产品的技术水平、运行状况和经济效果。因此在学习一中一方面要通过实验、课程设计等实践教学环节,逐步提高解决实际问题的能力;另一方面,要勇于实践,在继承成熟的理论的同时努力创造新理论、新机械,只有这样才能很好地掌握本课程的内容要求。

三、设计人员的素质

1. 广博的基础理论知识

由于机械产品的类型很多,各类型的使用、结构、工作要求不同,而设计人员在得到任务后,一般要求在一定的时间内完成,时间紧,而且有可能以前从未接触过类似任务,这就要求设计人员,平时积累各方面的知识,特别是基础理论知识,这样在面对任务时才能胸有成竹,圆满、按时地完成任务。

2. 丰富的生产实践知识

机械产品必须在使用中才能体现它的价值,因此设计机械产品必须经受实践的检验。只有具有丰富的生产实践经验的设计人员,才能充分考虑设计机械产品需要注意的问题,比如毛坯形式、材料的选择、产品的加工、使用维修等问题。

3. 不断创新和改革的能力

设计就是创新的问题。如果照抄照搬别人的设计,可能要涉及知识产权问题,可能引发法律纠纷,同时,也不可能提高设计的水平和质量。设计人员要勤于思考和观察,从中发现和提出问题,产生改革和创新的契机,这样不断地、有意识地锻炼自己,才能逐渐地提高自己的设计水平。

4. 团队协作精神

现代设计都需要团队协作,一方面是设计人员间的协作,因为现代机械产品大都是机电一体化产品,设计越来越复杂,涉及的领域较多,需要分工合作;另一方面是要向用户、制造、管理、销售和同行技术专家征求各种意见,才可能制定出比较适合实际情况的完善的设计方案。所有这些都需要设计人员具有团队协作精神。

四、机械设计的新发展

(1) 基础理论得到进一步深化和扩展。由过去的宏观研究转向微观方向,如传统力学主要研究外部宏观受力,断裂力学研究微观裂纹的扩展规律。用传统观点认为应报废的零、

部件,用断裂力学研究微观裂纹的扩展规律却认为可以继续使用。实践证明继续使用这样的零、部件确实没有问题。这项成果对“复活”报废零件、部件,改善结构、降低成本具有积极作用。

(2) 现代设计已从过去的偏重零、部件的设计,向以多种零件的综合或整机系统为对象的动态设计过渡。

(3) 在现代机械设计中,充分利用了计算机的运算速度快、计算精度高、有记忆和逻辑判断功能的特点,进行优化设计、有限元法设计,同时建立程序库、数据库。三维 CAD 软件的普遍使用,使现代机械设计进入了计算机辅助设计的时代。

(4) 现代的产品已是机械与电子、强电与弱电、软件与硬件、控制与信息等多种技术的有机结合,数控机床、加工中心、机器人等都是典型的例子。这些产品具有技术先进、结构简单、工作精度高、易于实现自动控制等特点。

思考题与习题



1. 举例说明通用零件和专用零件的区别。
2. 作为设计人员应具备哪些基本素质?
3. 机械设计发展趋势是什么?

第二章 平面机构



本章知识点

1. 理解运动副及其分类, 熟识各种平面运动副的一般表示方法, 了解平面机构的组成。
2. 熟练看懂教材中的平面机构的运动简图。
3. 能够正确判断和处理平面机构运动简图中的复合铰链、局部自由度和常见的虚约束, 综合运用公式 $F = 3n - 2P_L - P_H$ 计算平面机构的自由度并判断其运动可行性。

第一节 运动副及其分类

一个作平面运动的自由构件具有三个独立运动的可能性。如图 2-1 所示, 在坐标系 xOy 中, 构件 S 可随其上任一点 A 沿 x 轴、 y 轴方向独立移动和绕点 A 独立转动。构件相对于参考系的独立运动称为自由度, 所以, 一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

机器是由机构组成的, 一部机器可以包含一个或若干个机构。而机构是由构件组成的, 构件是由零件组成的。分析一台机器, 例如车床、内燃机、洗衣机等的工作过程可知, 其工作过程实际上都是包含着多种机构和零部件的运动过程。

机构是由许多构件组成的。机构的每个构件都以一定的方式与其他构件相互连接, 这种连接不是固定连接, 而是能产生一定相对运动的连接。两构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副。

两构件组成的运动副, 不外乎通过点、线或面的接触来实现。按照接触特性, 通常把运动副分为低副和高副两类。

1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。平面机构中的低副有转动副和移动副两种:

(1) 转动副。若组成运动副的两构件只能在平面内相对转动, 这种运动副称为转动副, 如图 2-2 (a) 所示。

(2) 移动副。若组成运动副的两构件只能沿某一轴线相对移动, 这种运动副称为移动副, 如图 2-2 (b) 所示。

2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。如图 2-3 (a) 所示的凸轮 1 与从动件 2、图 2-3 (b) 中的齿轮 1 与齿轮 2 分别在接触点 A 处组成高副。组成高副的两构件间的相对运动是沿接触处切线 $t-t$ 方向的相对移动和在平面内的相对转动。

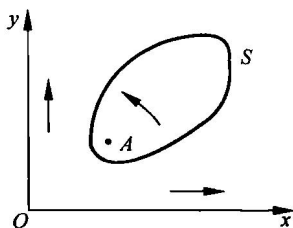


图 2-1 作平面运动的自由构件的独立运动

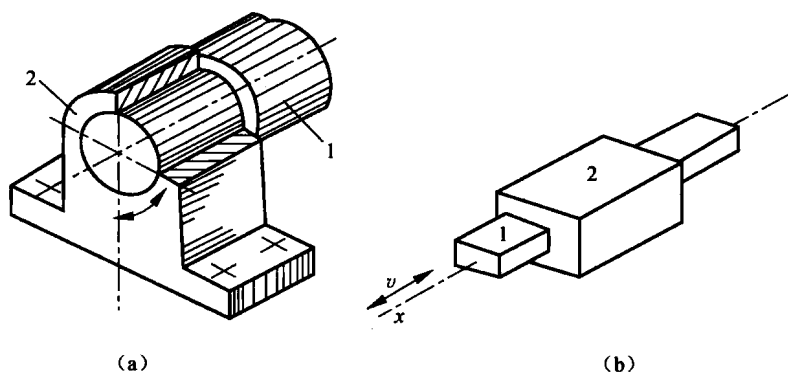


图 2-2 低副

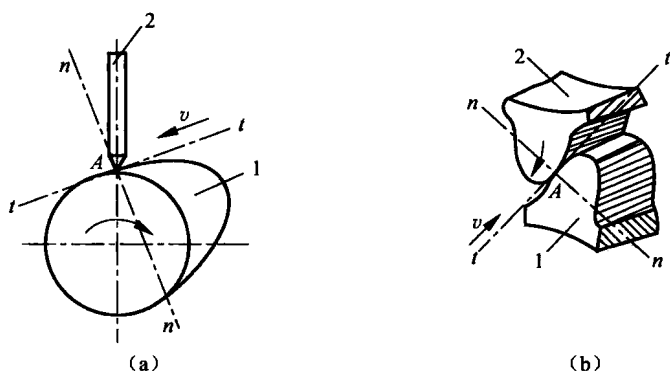


图 2-3 高副

此外，机械中还经常见到球面副和螺旋副。这些运动副的两构件之间的相对运动是空间运动，属于空间运动副，不在本章的讨论范围内。

第二节 平面机构运动简图

在对现有机件进行分析或设计新机械时，都需要绘出其机构运动简图。实际构件的外形和结构很复杂，在研究机构运动时，为了使问题简化、有必要撇开那些与运动无关的构件外形和运动副具体构造，仅用简单线条和规定的符号表示构件和运动副，并按比例定出各运动副的位置。这种用来表示机构各构件间相对运动关系的图形，称为机构运动简图。有时只为表明机构的运动状态或各构件的相互关系，也可以不按比例来绘制运动简图，该简图通常称为机构示意图。

国家标准规定了机构运动简图的符号，表 2-1 所示为常用构件和运动副的代表符号。

机构中的构件可分为三类：

- (1) 固定件（机架）是指用来支承活动构件的构件，该构件静止不动。
- (2) 原动件（主动件）是指运动规律已知的活动构件，它的运动是由外界输入的。
- (3) 从动件是指机构中随原动件运动而运动的其余活动构件。

表 2-1 常用构件和运动副符号

	两运动构件形成的运动副		两构件之一为机架时所形成的运动副	
转动副				
移动副				
构件	二副元素构件	三副元素构件	多副元素构件	
凸轮及其他机构	凸轮机构	棘轮机构	带传动	
齿轮机构	外齿轮	内齿轮	圆锥齿轮	蜗杆蜗轮

绘制机构运动简图时，①应首先分析机构的运动，找出固定件、原动件和从动件，然后从原动件开始，按照运动传递的顺序，分析各构件之间相对运动的性质，确定构件的数目、运动副的类型和数目。②选择机械中多数构件的运动平面为视图平面，选择适当的比例尺，定出各运动副之间的相对位置，用构件和运动副的简图符号绘制机构运动简图。③最后进行标注，每一个构件用一个阿拉伯数字标注，每一处运动副用一个大写英文字母标注，原动件上标注箭头。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法。

例 2-1 绘制图 2-4 (a) 所示颞式破碎机的机构运动简图

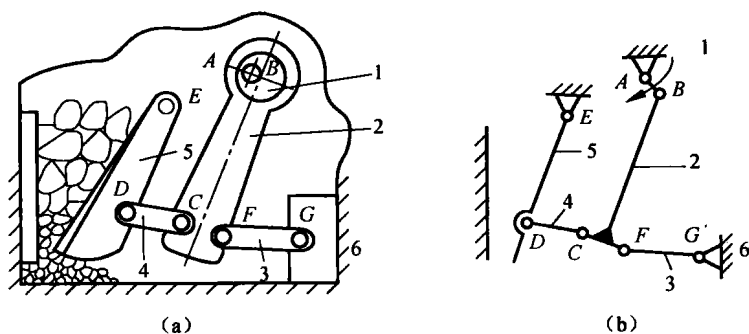


图 2-4 颞式破碎机的机构运动简图

解 (1) 确定构件数目及运动副的类型

由颚式破碎机的工作过程可知, 构件 6 为机架, 原动件为曲柄 (偏心轮) 1。根据运动传递的路线可以看出, 此破碎机是由曲柄 1, 构件 2、3、4, 动颚板 5 和机架 6 等组成的。其中曲柄 1 和机架 6 在 A 点组成转动副。曲柄 1 和构件 2 也组成转动副, 其转动中心在偏心轮 1 的几何中心点 B 。故曲柄 1 的长度为 $\overline{AB}$ 。而构件 2 还与构件 3、4 分别在 F 、 C 两点组成转动副。构件 3 和机架 6 在 G 点组成转动副。动颚板 5 与构件 4 和机架 6 分别在点 D 和点 E 组成转动副。

(2) 合理选择视图平面

选择与上述构件的运动平面相平行的面为投影面 (可最大程度展示各构件间的相对运动关系)。

(3) 合理选择长度比例尺 μ_L 。

(4) 按长度比例尺定出各运动副之间的相对位置, 用构件和运动副的规定符号绘制机构运动简图, 在机架加上短斜线, 在原动件上加上箭头, 如图 2-4 (b) 所示。

第三节 平面机构的自由度

机构的各构件之间应具有确定的相对运动。不能产生相对运动或做无规则运动的一堆构件是不能成为机构的。为了使组合起来的构件能产生相对运动并具有确定的运动, 有必要探讨机构的自由度和机构具有确定运动的条件。

一、平面机构的自由度计算公式

如前所述, 一个作平面运动的构件具有三个自由度。但当构件之间通过运动副连接之后, 它们的相对运动就会受到限制, 自由度数也随之减少, 这种限制作用称为约束。

不同种类的运动副引入的约束不同, 所以保留的自由度也不同。低副中的转动副约束了两个移动自由度, 只保留一个转动自由度, 而移动副约束了沿一轴线方向的移动和在平面内的转动两个自由度, 只保留沿另一轴线方向移动的自由度; 高副则只约束了沿接触处公法线 $n-n$ 方向移动的自由度, 保留绕接触处的转动和沿接触处公切线 $t-t$ 方向的移动两个自由度 (参见图 2-3)。由此可知, 在平面机构中: 每个低副引入两个约束, 使构件失去两个自由度; 每个高副引入一个约束, 使构件失去一个自由度。

设某平面机构共由 N 个构件组成。除去固定构件, 则机构中的活动构件数为 $n = N - 1$ 。在未用运动副连接之前, 这些活动构件的自由度总数为 $3n$ 。当用运动副将构件连接组成机构之后, 机构中各构件具有的自由度随之减少。若机构中低副数为 P_L 个, 高副数为 P_H 个, 则运动副引入的约束总数为 $2P_L + P_H$ 。因此, 活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数就是该机构的自由度, 用 F 表示。即

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

式 (2-1) 是平面机构自由度的计算公式。由式 (2-1) 可知机构的自由度取决于活动构件数目及运动副的性质和数目。

二、机构具有确定运动的条件

机构的自由度也就是机构相对机架具有的独立运动的数目。为了使机构具有确定的相对

运动, 还应使给定的独立运动数目等于机构的自由度。而给定的独立运动规律是由原动件提供的, 通常每个原动件具有一个独立运动规律 (如电动机转子具有一个独立转动、内燃机活塞具有一个独立移动)。因此, 机构的自由度应当与原动件数相等。

例 2-2 计算图 2-4 (b) 所示颚式破碎机主体机构的自由度。

解 在颚式破碎机主体机构中, 活动构件数 $n=5$, 低副数 $P_L=7$, 高副数 $P_H=0$ 。由式 (2-1) 得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

该机构具有一个原动件 (曲柄 1), 原动件数与机构自由度相等。

机构原动件的独立运动是由外界给定的。如果给出的原动件数 w 不等于机构自由度 F , 将会发生下列问题。

图 2-5 所示为原动件数小于机构自由度时的例子 (其中原动件数等于 1, 机构自由度 $F=3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$)。当只给定原动件 1 (画有箭头) 的偏置角 φ_1 时, 从动件 2、3、4 的位置不能确定, 不具有确定的相对运动。只有给出两个原动件, 使构件 1、4 都处于给定位置, 才能使从动件获得确定运动。

图 2-6 所示为原动件数大于机构自由度的例子 (其中原动件数等于 2, 机构自由度 $F=3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$)。如果原动件 1 和原动件 3 的给定运动同时都满足, 则机构中最弱的构件必将损坏。

图 2-7 所示为机构自由度等于零的构件组合 ($F=3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$), 它是一个桁架。它的各构件之间不可能产生相对运动。

综上所述, 机构具有确定运动的条件是: 机构自由度 $F > 0$, 且 F 等于原动件数, 即

$$F = w \geq 1$$

式中, w ——原动件数。

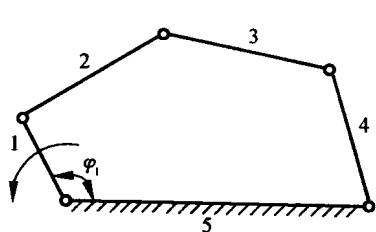


图 2-5 原动件数 $< F$

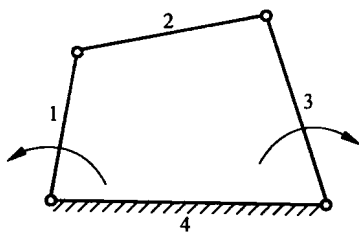


图 2-6 原动件数 $> F$

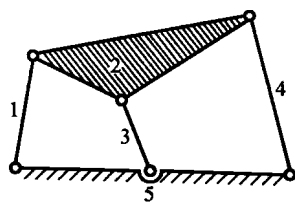


图 2-7 $F=0$ 的构件组合

三、计算平面机构自由度的注意事项

应用式 (2-1) 计算平面机构的自由度时, 须注意以下几种情况, 否则得不到正确的结果。

1. 复合铰链

两个以上的构件同时在一处用转动副相连接就构成复合铰链。如图 2-8 (a) 所示, 构件 1、2、3 在同一处构成转动副, 而从左视图 [见图 2-8 (b)] 可知, 这三个构件共组成两个转动副。显然, 如有 m 个构件 (包括固定构件) 汇集构成的复合铰链, 应有 $m-1$ 个转动副。

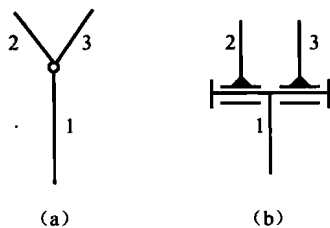


图 2-8 复合铰链

例 2-3 计算图 2-9 所示线锯机构的自由度。

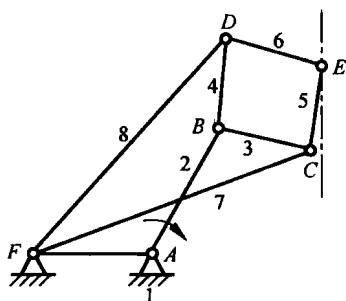


图 2-9 线锯机构

解 机构中有七个活动构件, $n=7$; 在 B 、 C 、 D 、 F 四处都是由三个构件组成的复合铰链, 各具有两个转动副。所以, $n=7$, $P_L=10$, $P_H=0$, 由式 (2-1) 得

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

机构的自由度与原动件数相等, 故该机构具有确定的相对运动。

2. 局部自由度

在有些机构中, 某些构件产生的局部运动并不影响其他构件的运动, 我们把这些构件产生的这种局部运动的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时, 应将机构中的局部自由度除去不计。

例 2-4 计算图 2-10 (a) 所示滚子从动件凸轮机构的自由度。

解 如图 2-10 (a) 所示, 当原动件凸轮 1 转动时, 通过滚子 2 驱使, 从动件 3 以一定运动规律在机架 4 中往复移动, 从动件 3 是输出构件。可以看出, 滚子绕其自身轴线的自由转动不影响输出构件 3 的运动。因此, 滚子绕其中心的转动是一个局部自由度。为了在计算自由度时排除这个局部自由度, 可以设想将滚子与从动件焊成一体 (转动副 C 也随之消失), 化成如图 2-10 (b) 所示形式, 然后进行计算。此时, $n=2$, $P_L=2$, $P_H=1$, 按式 (2-1) 可得

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

如果将局部自由度计算在内, 则 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$, 显然与事实不符, 因此, 在计算机构自由度时, 应将局部自由度去除在外。

局部自由度虽然不影响整个机构的运动, 但滚子可使高副接触处的滑动摩擦变为滚动摩擦, 减少磨损。

3. 虚约束

对机构的运动不起限制作用的重复约束称为虚约束, 在计算机构自由度时应当除去不计。

例如在图 2-11 (a) 所示的正平行四边形机构中, 杆 3 作平动, 其上各点的轨迹均为圆心在线 AD 上而半径等于 AB 的圆。若在该机构中再增加一个构件 5, 使其与构件 2、4 相互平行, 且长度相等, 如图 2-11 (b) 所示, 则由于杆 5 上点 E 的轨迹与杆 3 上点 E 的轨迹相互重合, 因此, 加上杆 5 并不影响机构的运动, 但此时机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

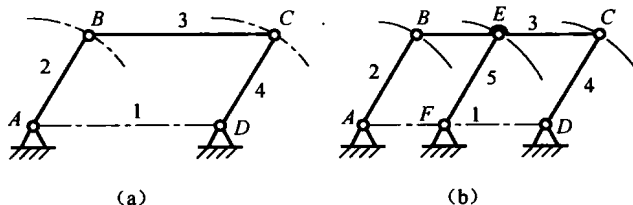


图 2-11 运动轨迹重合引起的虚约束

这个结果与实际情况不符,造成这个结果的原因是增加了一个构件5,引入了三个自由度,但同时又增加了两个转动副,形式上引入了四个约束,即多引入了一个约束。而实际上这个约束对机构的运动起着重复的限制作用,因而它是一个虚约束。在计算机构的自由度时,应先将产生虚约束的构件和运动副去掉[见图2-11(a)],然后再进行计算。即该机构的自由度为

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

常见的虚约束有以下几种情况:

(1) 如果用转动副连接的两构件运动轨迹重合,则该连接引入的约束为虚约束,如图2-11(b)所示。

(2) 机构运动时,如果两构件上两点间的距离始终保持不变,将此两点用构件和运动副连接,则会引入虚约束,如图2-12所示。

(3) 两个构件之间组成多个导路平行或重合的移动副时,只有一个移动副起作用,其余都是虚约束,如图2-13所示。

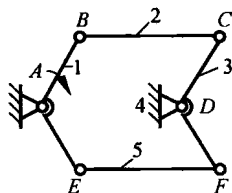


图 2-12 两点间距离不变引入的虚约束

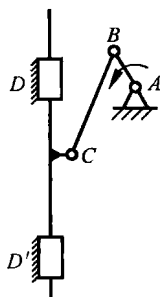


图 2-13 多个导路平行或重合引入的虚约束

(4) 两个构件之间组成多个轴线重合的转动副时,只有一个转动副起作用,其余都是虚约束,如图2-14所示。

(5) 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分是虚约束。在图2-15所示的差动轮系中,为了受力均衡,采取三个行星轮2、2'和2''对称布置的结构,而事实上只要一个行星轮便能满足运动要求,其余两个行星轮带入的约束为虚约束。

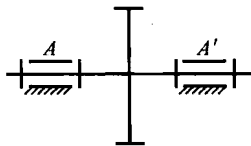


图 2-14 轴线重合引入的虚约束

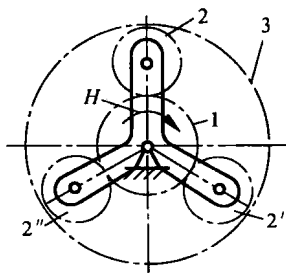


图 2-15 差动轮系

虚约束对机构的运动虽不起作用,但可以增加机构的刚度或改善机构的受力状况,因而被广泛采用。但虚约束要求较高的制造精度,如果加工误差太大,不能满足某些特殊几何条件,虚约束便会变成实际约束,阻碍构件运动。