

高等学校教材

机械设计 基础

· 上册 ·

(机械原理部分)

胡西樵 主编 马书山 副主编

高等教育出版社

本书经机械设计课程教学指导小组于1983年10月召开的教材评选会议上通过,推荐出版。继根据国家教育委员会1987年批准印发的《机械设计基础(原机械原理及机械零件)课程教学基本要求》重新改编而成。参考学时为130。

本书分上、下册出版。除绪论外,全书共分十九章。上册为机械原理部分,包括平面机构的组成、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、其他机构、机组速度波动的调节、转子的平衡;下册为机械设计部分,包括概论、螺纹联接及螺旋传动、焊联接、粘联接、齿轮传动、蜗杆蜗轮传动、带传动、链传动、轴及轴毂联接、滑动轴承、滚动轴承、联轴器和离合器、弹簧。各章中有例题或示例,章末附有习题。

本书可作为高等工业学校机械设计基础(原机械原理及机械零件)课程的教材,也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

高等学校教材
机械设计基础
上册

(机械原理部分)

胡西樵 主编

马书山 副主编

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
河北省香河县印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 10.5 字数 240 000

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数 0001—2 700

ISBN7-04-002879-6/TH·221

定价 2.00 元

前 言

本书是在我系 1976 年编写的《机械设计》讲义的基础上, 根据国家教育委员会 1987 年批准的《机械设计基础(原机械原理及机械零件)课程教学基本要求》, 按参考学时上限(130 学时)编写的。

本书注意贯彻“打好基础, 精选内容, 逐步更新, 利于教学”的精神, 着重讲清基本概念、基本理论和基本方法, 注意理论联系实际, 着眼于培养学生分析问题、解决问题的能力。本书力求做到文字简明, 篇幅适当, 有启发性, 便于自学。本书编有一些加深加宽的内容, 但只作扼要介绍, 目的在于扩大视野和启发思考。

本书中的机械原理部分和机械设计部分, 分为上、下两册出版, 可以合起来使用, 也可分开独立使用, 便于适应不同的教学情况。

本书中的小字号部分为自学内容和延伸内容, 带星号的为选学内容。

本书附有少量的常用数据资料, 供一定范围内的设计计算用, 其他资料可查阅有关手册。

参加本书编写的有: 马书山(绪论)、黎顺义(第一、二章)、周家才(第三、五章)、张万祥(第四章)、王景连(第六、七、八章)、胡西樵(第九章和第十章的焊联接、粘联接部分)、赵素红(第十章)、齐良(第十一章)、高桂茹(第十二章)、梁志平(第十三章)、李林贵(第十四章)、王志兆(第十五章)、姜恒甲(第十六章和附表)、谢德坚(第十七章)、滕弘飞(第十八章)、韩云鹏(第十九章)。由胡西樵担任主编、马书山担任副主编。全书插图主要由马兰绘制。

本书承张世民和吴宗泽两位教授仔细审阅, 并承全永昕教授复审, 提出了许多宝贵意见, 我们表示衷心感谢。

在本书的编写过程中, 我校机械原理教研室和机械零件教研室的许多同志给予热心帮助, 我们表示衷心感谢。

限于我们的水平, 难免有所漏误, 恳请各位教师和广大读者批评指正。请将意见寄北京沙滩后街 55 号高等教育出版社机械编辑室(邮政编码 100009) 或直接寄大连理工大学机械系(邮政编码 116023)给编者。

编 者

1989 年 7 月于大连理工大学机械系

主要符号表

A	面积、功、轴向力	u	[线]速度、齿数比
a	中心距、[线]加速度	V	体积、容积
B	宽度	v	[线]速度
b	宽度、齿宽	W	载荷
C	常数、系数、节点	x	坐标、坐标轴、变位系数
c	系数、间隙、厚度	y	坐标、坐标轴、挠度、距离
D, d	直径	z	坐标、坐标轴、数目
E	能	α	角度、压力角、包角、系数
e	系数、偏心距、齿槽宽	β	角度、螺旋角、系数
F	力、自由度	γ	角度
f	摩擦系数	Δ, δ	厚度、间隙
G	力、重量	ϵ	系数、滑动率、重合度、角加速度
g	重力加速度	η	效率
H	高度	θ	角度
h	高度、厚度、行程	λ	角度
i	数目、传动比	μ	系数、比例尺
J	转动惯量	ρ	密度、曲率半径
K	系数	Σ	总值
k	系数	Σ	轴交角
L	长度、距离	φ	系数、角度、摩擦角、扭转角、齿宽系 数
l	长度、距离	ψ	系数、角度
M	力矩、弯矩	ω	角速度
m	质量、数目、模数、指数		
N	正压力		
n	转速、数目		
P	功率		
p	节距、螺距、齿距		
Q	力		
R	半径、力、径向力、锥距		
r	半径		
S	导程、面积、质心		
s	弧长、厚度、齿厚、距离、位移		
T	扭矩、周期		
t	时间、温度		

下 标

n	法向、法面
t	切向、端面
r	径向
a	轴向
m	平均
v	当量、等效

上 标

$'$	节圆
-----	----

目 录

绪论.....	1	* § 4-12 变位齿轮概述	89
§ 0-1 本课程研究的对象和内容	1	§ 4-13 斜齿圆柱齿轮机构	92
§ 0-2 本课程的性质和任务	3	§ 4-14 蜗杆蜗轮机构	98
§ 0-3 机械设计的一般程序和要求	3	§ 4-15 直齿圆锥齿轮机构	102
第一章 平面机构的组成、自由度和速度分析	5	习题	106
§ 1-1 平面运动副	5	第五章 轮系	109
§ 1-2 平面运动链及其自由度	8	§ 5-1 轮系的分类	109
§ 1-3 运动链成为机构的条件	9	§ 5-2 定轴轮系的传动比	110
§ 1-4 计算运动链自由度时应注意的事项	10	§ 5-3 周转轮系的传动比	111
§ 1-5 平面机构的运动简图	13	§ 5-4 周转轮系的功用	116
§ 1-6 平面机构的速度分析——瞬心法	15	* § 5-5 其他行星轮系简介	121
习题	17	习题	126
第二章 平面连杆机构及其设计	21	第六章 其他常用机构和机构的选型与组合	128
§ 2-1 平面连杆机构的类型和应用	21	§ 6-1 万向联轴节	128
§ 2-2 平面连杆机构的基本特性	30	§ 6-2 棘轮机构	131
§ 2-3 平面连杆机构的设计	34	§ 6-3 槽轮机构	133
习题	41	§ 6-4 不完全齿轮机构	135
第三章 凸轮机构及其设计	43	§ 6-5 凸轮间歇运动机构	137
§ 3-1 凸轮机构的应用和类型	43	* § 6-6 机构的选型和机构组合的基本概念	138
§ 3-2 推杆常用的运动规律	46	习题	139
§ 3-3 凸轮轮廓曲线的设计——反转法	53	第七章 机组速度波动的调节	141
§ 3-4 凸轮机构基本尺寸的确定	63	§ 7-1 调节机组速度波动的目的	141
习题	65	§ 7-2 等效力(或力矩)和等效质量(或转动惯量)	142
第四章 齿轮机构及其设计	68	§ 7-3 调节机组速度波动的方法	146
§ 4-1 齿轮机构的应用和类型	68	§ 7-4 机组运转的平均角速度和不均匀系数	148
§ 4-2 齿廓啮合基本定律	70	§ 7-5 飞轮设计	148
§ 4-3 渐开线的形成及其性质	71	习题	152
§ 4-4 渐开线标准齿轮各部分名称和尺寸	74	第八章 转子的平衡	154
§ 4-5 任意圆上齿厚的计算	76	§ 8-1 转子的不平衡及其危害性	154
§ 4-6 一对渐开线齿廓的啮合	77	§ 8-2 转子平衡的条件和平衡的分析法	154
§ 4-7 一对渐开线齿轮的正确搭配条件和标准中心距	80	§ 8-3 转子平衡的实验法	158
§ 4-8 重合度	82	* § 8-4 挠性转子的概念	160
§ 4-9 渐开线齿轮与齿条的啮合	83	习题	160
§ 4-10 渐开线齿轮切齿原理	85	主要参考书目	162
§ 4-11 渐开线齿廓的根切现象和标准齿轮的最少齿数	87		

绪 论

§ 0-1 本课程研究的对象和内容

由于生活和生产的需要,人类从创造和使用工具开始,逐渐发展到研制和改进机械。一般认为工具就是简单的机械,而机械则是复杂的工具。它们是人类改造客观世界和主观世界的重要的物质手段。在古代就已有杠杆、斜面、尖劈、车辆甚至纺织机、指南车等的创造,在现代则有更复杂的动力机械、运输机械、农业机械、纺织机械、工程机械、机床、飞行器以至机械手和机器人等的出现。如今机械的应用范围很广,种类很多,发展也很快。人们用它来减轻和代替繁重的、琐碎的以及有害人体的体力劳动并且向减轻人的脑力劳动的方向扩展,不断地提高劳动生产率,卓有成效地为人类服务。因此,机械的研究和开拓更加显示出其重要性来。并且随着机械和机械学科的发展,也逐步形成了包括机械设计基础(原机械原理及机械零件)在内的课程。

研究机械就是要研究机械区别于非机械的特殊属性。但就机械本身来说,它的种类又十分繁多,且各有各的特殊性能。各种机械分别具有的特殊性能的研究属于各类专业课程的范围,本课程则只研究各种机械的共同属性,即各种机械共同具有的普遍规律性。

例如图 0-1 所示的内燃机,它由活塞 1、连杆 2、曲轴 3、齿轮 4 和 5、凸轮 6、推杆 7、气阀 8 和缸体 9 所组成。它的主要功用是把燃气的热能转换成为机械能。当燃气在燃烧室里燃烧膨胀时,产生压力,使活塞获得机械能而作直线往复运动,活塞又通过连杆带动曲轴转动并做功;同时,曲轴又带动齿轮和凸轮,使之推动推杆,按时打开和关闭阀门,以便吸进燃气和排除废气。由于这些动作的协调配合,使曲轴得到连续不断的转动。

众所周知,内燃机是一种机械。因此,它具有机械的特殊属性,也就是机械的特征。这些特征是:(1)它是实物的人为的组合体,它区别于牲畜,更区别于人;(2)它的各部分之间具有确定的相对运动;(3)它能转换机械能或完成机械功。例如内燃机把燃气的热能转换成机械能,电动机把电能转换成机械能;又如起重机用于提升重物做功,压缩机用于压缩空气做功等等。各种机械

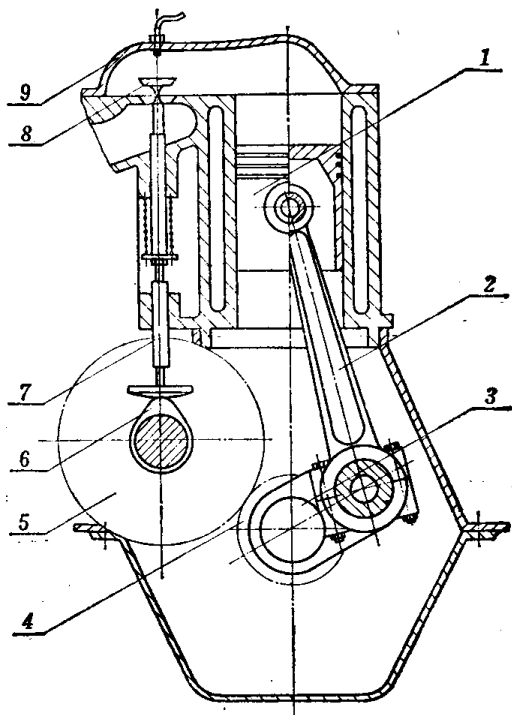


图 0-1 内燃机

尽管千差万别,但都具有这三个特征。这三个特征又是所有机械的普遍属性。因此,它既是机械区别于非机械的个性,又是所有机械的共性。

一般说,凡具有上述三个特征的,称为机器;只具有前两个特征的,称为机构。机器主要是做功或把其他能量和机械能作相互转换,因此它必然传递力和运动。机构通常以传递运动为主要目的,如钟表、仪器等。由于机器的三个特征包括了机构的两个特征,所以机器是包含着机构的,即机器由机构所组成。一般认为机械是机器和机构的总称。

一部机械可以含有一个或几个机构。如图 0-1 所示的内燃机即含有曲柄滑块机构(包括活塞、连杆、曲轴和缸体)、齿轮机构(包括一对齿轮和缸体)及凸轮机构(包括凸轮、推杆和缸体)。研究机械原理不可能将各种复杂机械(指动力机械、运输机械、……)逐一阐述,只能把机械中常用的几种机构加以阐明。只要掌握这些常用机构的特性,就可以认识已有的各种机械,也能具有创造新机械的初步基础。因此,本课程只阐明几种常用机构(或称基本机构)及其组合的知识。常用机构主要有:平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系和其他常用机构。此外,还要阐述平面机构的结构、选型、自由度以及机组调速与回转件的平衡等问题。由此可知,本课程机械原理部分主要是阐述机构的结构、运动学和动力学的基本知识,以初步培养学生分析、选用和设计基本机构的能力。

另一方面,各种机械又都是由零件组成的。零件的种类很多,其中有的只用于某种机械中,如汽轮机的叶片只用在汽轮机中,活塞只用在某些动力机械中等,称为专用零件。专用零件的设计涉及许多专门知识,如活塞的设计涉及燃气燃烧得是否迅速、完全等,需要在相应的专业课程中研究。本课程只研究各种机械中通常用到的典型零件,即通用零件。按零件的功能,通用零件分为:(1) 联接件,如螺纹联接件、键及花键、焊及粘联接件等;(2) 传动件,如带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆蜗轮传动、螺旋传动等中的零件;(3) 轴系零件,如轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴

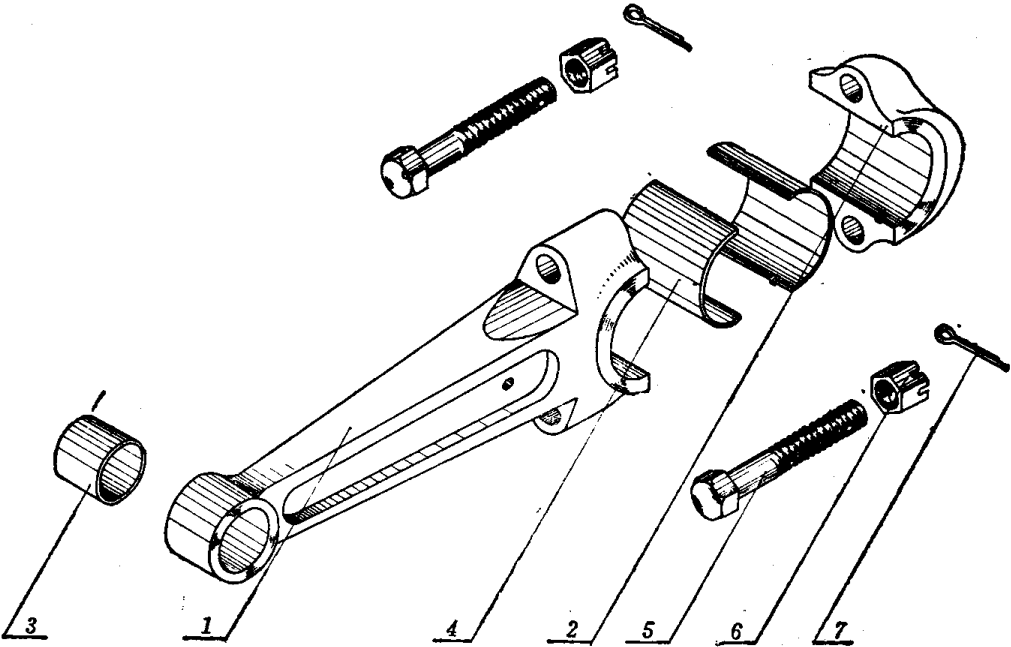


图 0-2 连杆结构图

器和离合器;(4) 其他通用零件,如弹簧等。此外,还要阐述机械设计的基本理论和原则。由此可知,本课程机械设计部分是阐述通用零件的工作原理、特点、维护及设计计算的基本知识的。它初步培养设计简单传动装置(如减速器)和简单机械的能力以及运用标准、规范、手册和图册等技术资料的能力。

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是一个零件,也可以是许多零件的刚性组合体。图 0-2 所示为一连杆的结构图。它由连杆体 1、连杆盖 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5、螺母 6 和开口销 7 等零件组成。这些零件安装在一起,成为一个整体进行运动,而各零件间没有相对运动,即在运动时,如同一个零件一样。因此,从运动的观点看,应当把组成连杆的这些零件看作是一个单元,称为一个构件。但这些零件在制造时却是要分别加工的,所以零件是制造的单元,构件则是运动的单元。

综上所述,由零件组成为构件,由构件组成为机构,再由机构组成为机械。本课程就是阐述机构和零件的基本知识,为认识和创造机械准备必要的和初步的条件。

§ 0-2 本课程的性质和任务

本课程是一门培养学生具有一定机械设计能力的工科学技术基础课程。它介于基础课和专业课之间。它的先修课程是画法几何、工程制图、工程材料、机械制造基础知识、金工实习、理论力学和材料力学等。本课程为进一步学习机械方面的其他后续课程提供基础。对有些专业,本课程是最后一门机械方面的课程,故它将培养包括先修的机械课程的综合运用的能力。

§ 0-3 机械设计的一般程序和要求

由前所述可知,机构、零件与机械的关系是部分与整体的关系,它们之间互相制约又互相配合。在机械设计的一般程序中明显地体现出这种关系。

机械设计包括创造新机械和改进旧机械。在设计开始时,必须充分了解和具体确定所需设计的机械的用途和性能上的要求,然后,调查、搜集和研究现有同类机械的使用情况,比较、选择和确定合适的机构方案。这部分工作叫做选型设计。再进一步确定与机构运动有关的尺寸,作出机构的简单示意图(即运动简图)。由此,可以分析机构的运动情况,计算各构件承受的力。这部分工作叫做运动设计。然后,根据零件上的作用力及其安装情况,初步确定各零件的结构形状和尺寸,初步画出机械的装配图。这部分工作叫做总体设计。最后,再进行零件的强度、刚度等工作能力的设计计算,考虑结构的需要和制造工艺的要求,选定材料,确定零件的最后形状和尺寸以及技术上的要求,画出零件图。这部分工作叫做零件设计。

上述各设计阶段一般说是有先后次序的,但具体进行时,也常有重叠、交叉和反复,如有时就需要根据确定的零件尺寸对初步作出的总体设计进行修改,使之臻于完善。

正确的设计需要正确的设计指导思想。正确的设计指导思想主要是:(1)设计的机械务求性

能好、效率高、成本低、寿命长、安全可靠、操作方便、便于维修和美观大方等；(2)应虚心地吸收群众的经验和智慧，细心地观察和体会情况；(3) 应从实际出发，勇于实践，锐意创新，力求设计的机械切合实际，又性能先进；(4)要善于在实践中积累经验以提高自己的能力，不断改进设计。总之，要求设计者必须具有高度的为人民服务的热忱和强烈的责任心及事业心。

第一章 平面机构的组成、自由度和速度分析

前已述及,机构中各构件都具有确定的相对运动。本章将进一步说明机构应该如何组成,各构件才能具有确定的相对运动;并分析各构件间的运动情况。

所有构件的运动平面都相互平行的机构称为平面机构,否则称为空间机构。有的空间机构是由几个互相不平行的平面机构组成的,所以可把它们分别按几个平面机构来看待。本章只阐述平面机构,因为在生活和生产中,它的应用最多。

§ 1-1 平面运动副

一、运动副

机构是由若干个相互连接起来的构件所组成的。这种连接是两构件之间直接接触并能作相对运动的可动连接。如图 0-1 所示的内燃机中,活塞和缸体之间、轴和轴承之间、凸轮和推杆之间以及两齿轮的齿和齿之间所构成的连接,都是可动连接。构件之间的可动连接称为运动副。在平面机构中的运动副,称为平面运动副。

二、运动副的分类

平面运动副中,两构件之间的直接接触有三种情况,即点接触、线接触和面接触。不同的接触情况,构件接触处力的分布和构件之间的相对运动也不同,故运动副通常按两构件的接触情况和相对运动的形式来分类。

1. 低副

两构件通过面接触构成的运动副,在接触处的压强较相同载荷下的点接触或线接触都小,故称为低副。根据两构件间的相对运动形式,低副又分为移动副和转动副。两构件间的相对运动为直线运动的,称为移动副,如图 1-1 所示。在图 0-1 中,活塞和缸体之间形成移动副。两构件之

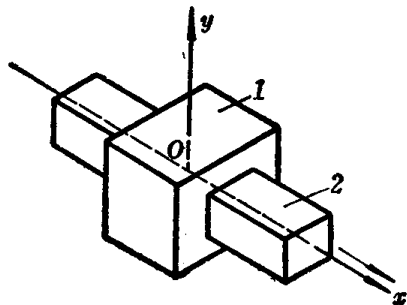


图 1-1 移动副

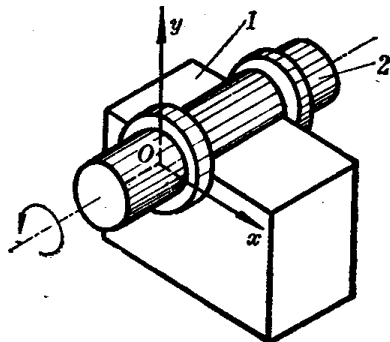


图 1-2 转动副

间的相对运动为转动的,称为转动副,或称为铰链,如图 1-2 所示。在图 0-1 中,轴和轴承之间形成转动副。

2. 高副

两构件通过点接触或线接触构成的运动副,在相同载荷下由于压强较低副的大,故称为高副。例如图 1-3a 所示的凸轮 1 与尖顶推杆 2 的接触处构成的高副,图 b 所示的两齿轮轮齿啮合处构成的高副。

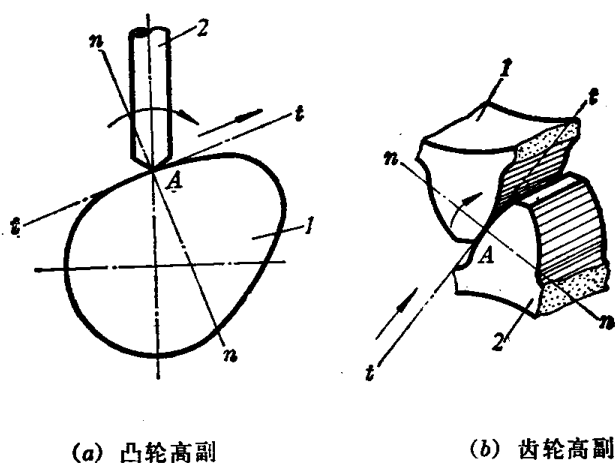


图 1-3 高副

低副因其两构件接触处的压强小,故承载能力大,耐磨损,寿命长,且因形状简单,所以容易制造,而高副则相反。但低副的两构件之间只能作相对滑动,而高副的两构件之间则可作相对滑动或滚动,或二者并存。

三、运动副及构件的符号 (摘自 GB4460—84)

1. 移动副符号

图 1-4 a、b 所示为两个活动构件形成的移动副的符号,其中构件 2 表示导杆,构件 1 表示滑块或导路。不管两构件的形状简单或复杂,也不管构件尺寸的大小,在同一机构图中均用同一形式和同一大小的符号表示滑块或导路(如用同样尺寸的长方形表示)。

图 c、d、e、f 表示有一构件相对固定的移动副的符号。有阴影线的构件为相对固定件,称为机架。在图 c 和图 d 中,构件 2 为机架,在图 e 和图 f 中,构件 1 为机架。在图 0-1 所示内燃机的活塞和缸体形成的移动副中,设装机燃在安内该车上,因缸体相对于车身为固定件,故缸体是机架。

2. 转动副符号

图 1-5a 表示由两活动构件形成的转动副的符号。不管连接处轴的直径大小,在同一机构图中均用同一大小的圆圈来表示转动副。图 b 表示有一构件为机架的转动副符号。

两个构件均为活动构件的铰链,称为活动铰链,如图 a 所示;有一构件为机架的,称为固定铰链,如图 b 所示。

3. 高副符号

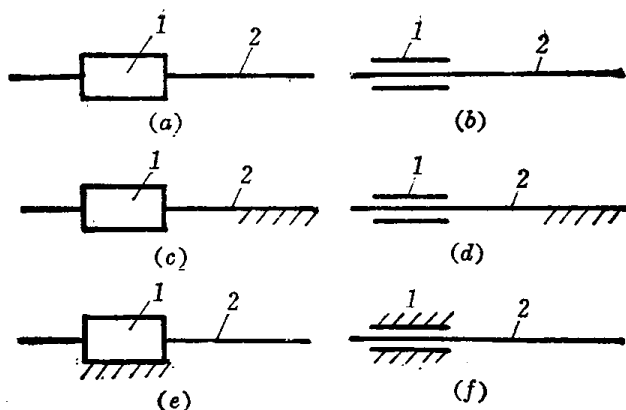
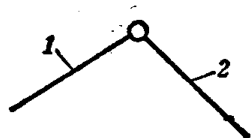
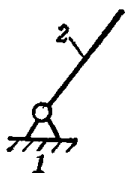


图 1-4 移动副符号

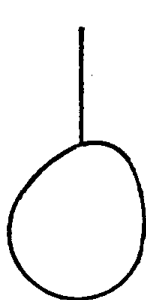


(a)

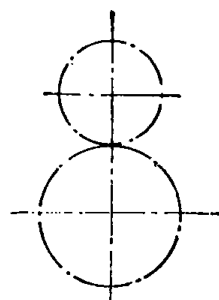


(b)

图 1-5 转动副符号



(a)



(b)

图 1-6 高副符号

图 1-6a 为凸轮副符号,需把凸轮的轮廓曲线画出。图 1-6b 为齿轮副符号,习惯上只画出两齿轮的节圆(点划线圆)。

4. 构件的表示法

图 1-7a 表示参与形成两个转动副的构件。图 b 为参与形成一个转动副和一个移动副的构件。图 c、d、e 表示参与形成三个转动副的构件。三个转动副为三角形排列时,在构件的三个角处画上“焊接”符号,如图 c 所示,或者将三角形画上剖面线,如图 d 所示。三个转动副在一直线上时用图 e 表示。形成更多的运动副的构件画法可依此类推。

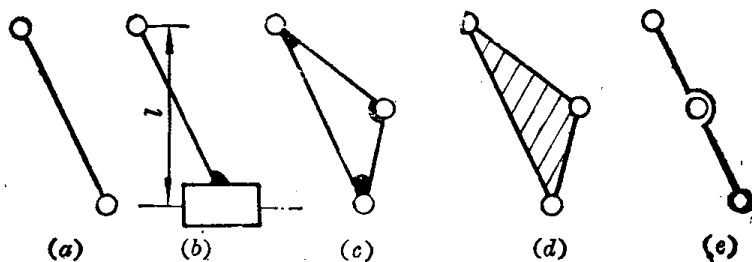


图 1-7 构件的表示法

四、运动副对构件运动的限制

构件间用运动副相连接,在于限制两构件的某些相对运动,而保留某些需要的相对运动。

由理论力学可知,作平面运动的一个自由构件,有三个独立的相对运动。图 1-8 表示构件 1

位于平面参考坐标系 Oxy 中, 并相对于该平面可沿 x 轴与 y 轴方向移动和绕垂直该平面的轴转动。一构件相对另一构件的独立运动, 称为自由度。这样, 作平面运动的一个自由构件, 就有三个自由度。当两个构件形成运动副后, 由于直接接触产生的互相制约, 使得某些独立的相对运动受到限制。对独立的相对运动的限制, 称为约束。约束增多, 自由度就相应减少。

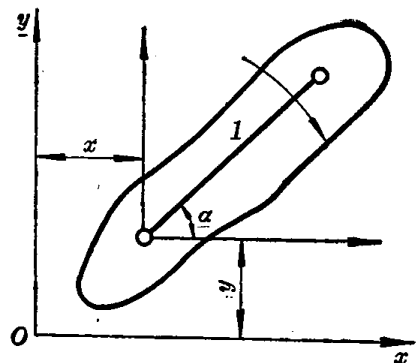


图 1-8 构件的自由度

在图 1-1 所示两构件尚未形成运动副前, 构件 2 相对于构件 1 (反之, 也一样) 有三个独立的相对运动, 即沿构件 1 的 x 轴与 y 轴的两个相对移动和绕垂直于 Oxy 平面的轴的一个相对转动, 因而构件 2 相对于构件 1 有三个自由度。当两构件形成如图 1-1 所示的移动副后, 构件 2 沿 y 轴的相对移动和绕垂直于该平面的轴的相对转动受到约束, 只能沿 x 轴方向相对移动。由此可知, 当两构件形成移动副后, 产生两个约束, 即失去两个自由度。

在图 1-2 所示的转动副中, 构件 2 沿构件 1 的 x 轴和 y 轴的两个相对移动受到约束, 只能绕垂直于 Oxy 平面的轴作转动。由此可知, 当两构件形成转动副后, 也产生两个约束, 即失去两个自由度。

在图 1-3 所示的高副中, 构件 2 沿接触点 A 处公法线 nn 方向上的相对移动受到约束 (因它们既不能互相嵌入, 又必须保持接触), 但还保留着构件 2 相对构件 1 沿接触点 A 的切线 tt 方向上的移动和绕垂直于 nn 和 tt 所在平面的轴的转动这两个自由度。由此可知, 两构件形成平面高副时, 只产生一个约束, 即失去一个自由度。

综上所述, 在平面机构中, 每个低副产生两个约束, 故失去两个自由度; 每个高副产生一个约束, 故失去一个自由度。

§ 1-2 平面运动链及其自由度

一、运动链及其类别

两个和两个以上构件用运动副连接起来而构成的系统称为运动链, 如图 1-9 所示。

运动链分为闭式运动链和开式运动链两种。组成运动链的每个构件都至少参与形成两个运

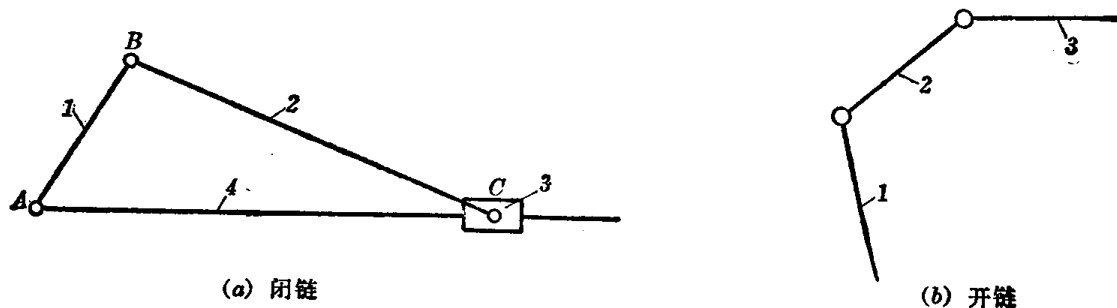


图 1-9 运动链

动副并构成全部封闭的系统称为闭式运动链,简称闭链,如图 1-9a 所示;运动链中有的构件只参与形成一个运动副,而没有构成全部封闭的系统称为开式运动链,简称开链,如图 1-9b 所示。机械中应用较多的是闭链。无一构件相对固定的运动链是一个自由的运动链,它极少应用。

二、运动链的自由度

将运动链中的一个构件固定为机架,成为有限制的运动链。该运动链中其余构件相对于机架的自由度,即有限制的运动链的自由度,简称为运动链的自由度。

运动链中,除机架(如图 1-10 中的构件 4)外,其余构件(如图 1-10 中的构件 1、2、3)均为活动构件。设机构中的活动构件数为 k ,则在这些构件互不连接时,它们共有 $3k$ 个自由度。当这些构件及机架组成运动链后,若各构件共形成 P_L 个低副和 P_H 个高副,则它们共产生 $(2P_L + P_H)$ 个约束(因每个低副产生两个约束,每个高副产生一个约束),亦即消除或失去 $(2P_L + P_H)$ 个自由度。这样,若以 F 表示该运动链的自由度数,则

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

由上式可知,自由度数 F 取决于活动构件数 k 以及运动副的类别(低副或高副)和数目。

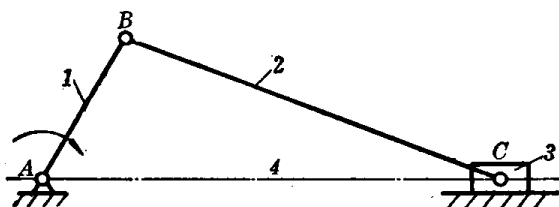


图 1-10 有机架的运动链

如图 1-10 所示的运动链中,

$$k = 3, P_L = 4, P_H = 0,$$

由式(1-1)得

$$F = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

即该运动链自由度数 1。

§ 1-3 运动链成为机构的条件

运动链的自由度数就是运动链具有的独立运动数,亦即外界可以加给运动链的独立运动数。当运动链的各独立运动给定后,所有构件的运动便确定了。由外界给予独立运动的构件称为主动件。主动件在图上用箭头标出。其余活动构件相对主动件来说称为从动件。主动件的独立运动可以用其参变数表示。

由前述机构的定义可知,具有确定相对运动的运动链才是机构。如图 1-11 所示的运动链, $k = 3, P_L = 4, P_H = 0$,则由式(1-1)得

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

即该运动链只有一个独立的运动。设构件 1 为主动件,其独立转动的参变数为位置角 φ_1 。由图可见,当给定一个 φ_1 值时,从动件 2 和 3 便有一个确定的相对位置。这说明具有一个自由度的运动链在具有一个主动件时,各构件可以获得确定的相对运动,而成为机构。如果给定两个主动件,则会导致运动链的破坏,或者所给定的主动,实际上并不能实现。

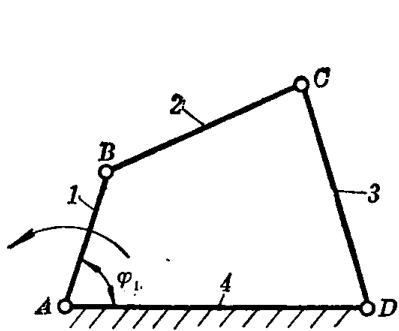


图 1-11 一个自由度的运动链

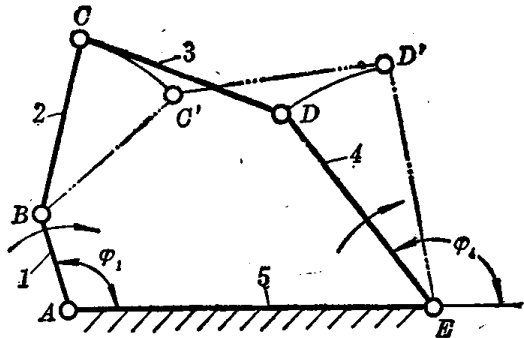


图 1-12 两个自由度的运动链

又如图 1-12 所示的运动链, $k=4, P_L=5, P_H=0$, 由式(1-1)得

$$F=3k-2P_L-P_H=3\times 4-2\times 5-0=2$$

即该运动链有两个独立运动。设构件 1 和 4 为主动件,其独立转动的参变数分别为位置角 φ_1 和 φ_4 , 由图可见,当给定一组 φ_1 和 φ_4 值时,从动件 2 和 3 便有一个确定的相对位置。这说明具有两个自由度的运动链在具有两个主动件时,各构件可以获得确定的相对运动,而成为机构。如果只给定一个主动件(如构件 1),则当 φ_1 给定后,由于 φ_4 没有给定,从动件 2、3 和 4,既可处于实线所示的位置,又可处于双点划线所示的位置或其他任意位置,即从动件的位置不能确定。因此,这个运动链就不能成为机构。

根据以上分析可知,运动链成为机构的条件是:运动链的自由度数必须同给定的独立运动数相等,亦即运动链的自由度数应该同主动件数相等。由此,机构又可以定义为自由度数同主动件数相等的运动链。用这个定义可以分析和认识已有的机构,也可以计算和检验新构思的“机构”。

§ 1-4 计算运动链自由度数时应注意的事项

应用式(1-1)计算运动链的自由度数时,应该注意以下几个问题。

一、复合铰链

用转动副把两个以上的构件在同一轴线上铰接起来即成复合铰链。图 1-13a 表示由三个构件形成的复合铰链。由该复合铰链的侧视图(图 b)可以看出,这三个构件共形成两个转动副。同理,若有 m 个构件形成复合铰链时,形成的转动副数为 $(m-1)$ 个。

例 1-1 试计算图 1-14 所示运动链的自由度数,并判断该运动链是否为机构。

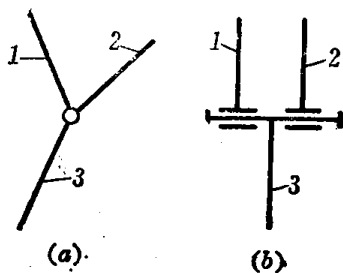


图 1-13 复合铰链

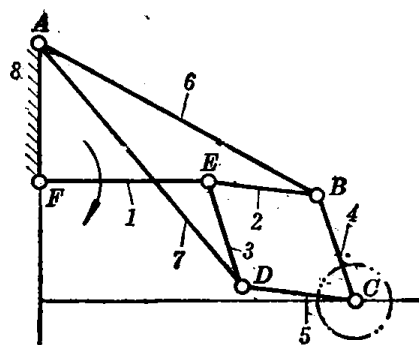


图 1-14 具有复合铰链的运动链

解 因 A, B, D, E 四处都是由三个构件形成的复合铰链, 它们各具有两个转动副, 故该运动链中, $k=7$, $P_L=10, P_H=0$ 。由式(1-1)得

$$F=3k-2P_L-P_H=3\times 7-2\times 10-0=1$$

由于自由度数同主动件数(图示为一个主动件)相等, 可知该运动链为机构。

二、局部自由度

一些运动链中, 有一种与运动链的主要运动无关的自由度, 称为局部自由度。在计算运动链的自由度数时, 应当将它除去不计。

例 1-2 试计算图 1-15a 所示运动链的自由度数, 并判断该运动链是不是机构。

解 由于滚子 3 绕其轴线 C 的自由转动不影响从动件 2 的运动, 故属局部自由度。在计算运动链的自由度数时, 可以设想将滚子 3 与从动件 2 “焊接”为一体, 如图 1-15b 所示。这样, 在该运动链中, $k=2, P_L=2, P_H=1$ 。由式(1-1)得

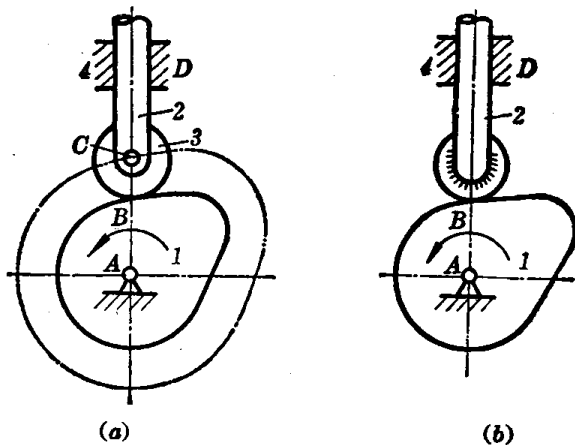


图 1-15 局部自由度实例

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

由于自由度数同主动件数相等(图示为一个主动件), 可知该运动链为机构。

三、虚约束

在运动链中, 有些运动副的作用是重复的, 有些构件是多余的, 这种运动副和构件所形成的约束对整个运动链的运动没有独立的限制作用, 称为虚约束。在计算自由度数时, 应当除去不计。

例 1-3 图 1-16 所示运动链的结构特点为: $AB=CD=EF$, $AE=BF$, $CE=DF$, 试计算该运动链的自由度数, 并判断其是不是机构。

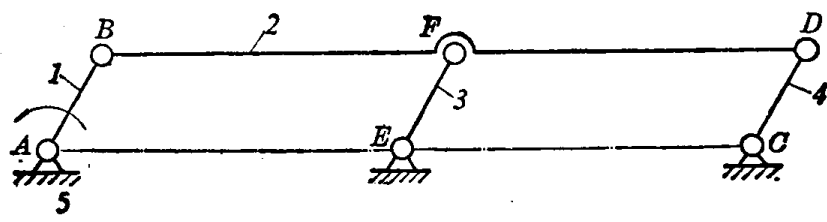


图 1-16 平行四边形运动链

解 在该运动链中, 构件 1、2、4、5 组成平行四边形 $ABDC$ 。所以当主动件运动时, 构件 2 上任意点的轨迹均为圆心在 AC 线上、半径等于 AB 的圆。例如在平行四边形 $ABDC$ 中, F 点的轨迹为以 E 点为圆心、以 EF 为半径的圆, 而 $EF=AB$, 这样, 构件 3 的设置成为多余。它与构件 2、5 连接所形成的运动副对整个运动链的运动也就没有约束作用。由于引入一个构件, 增加三个自由度; 同时该构件参与形成两个低副, 产生四个约束, 这样四个约束消除三个自由度后, 还存在一个约束。但实际上运动链并没有受到这个约束的作用, 所以它是虚约束。为此, 在计算自由度数时, 应去掉构件 3 及转动副 E 和 F 。这样, $k=3$, $P_L=4$, $P_H=0$ 。由式 (1-1) 得

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

由于自由度数同主动件数相等 (图示为一个主动件), 可知该运动链为机构。

常见的构成虚约束的情况简介如下:

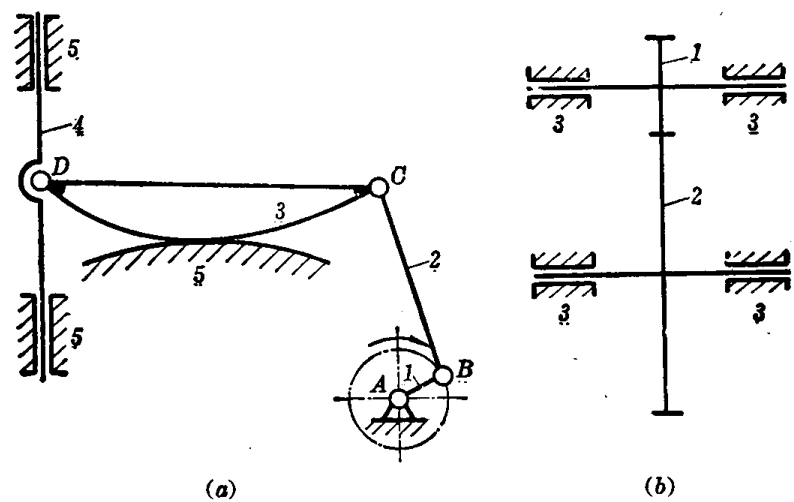


图 1-17 两构件之间形成的虚约束

- (1) 机构运动过程中, 在两构件上有相应两点之间的距离保持不变而用构件将该两点以转动副连接起来时, 该构件为多余构件, 其所参与构成的两个转动副为虚约束 (如例 1-3 所示)。
- (2) 机构中, 一构件上某点的轨迹为直线而在该点用转动副和附加的移动构件连接时, 该移动构件为多余构件, 其所参与构成的移动副和转动副的约束为虚约束 (参看习题 1-8)。
- (3) 两个构件只能形成一个有实际约束作用的运动副, 如果形成的运动副不止一个, 则除一个有实际约束作用外, 其余运动副的约束都是虚约束。如图 1-17a 所示, 构件 4 和 5 所形成的两个移动副中, 只有一个有实际约束作用, 另一个为虚约束。又如图 b 所示的齿轮传动