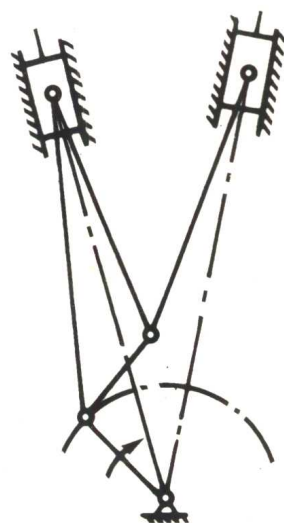
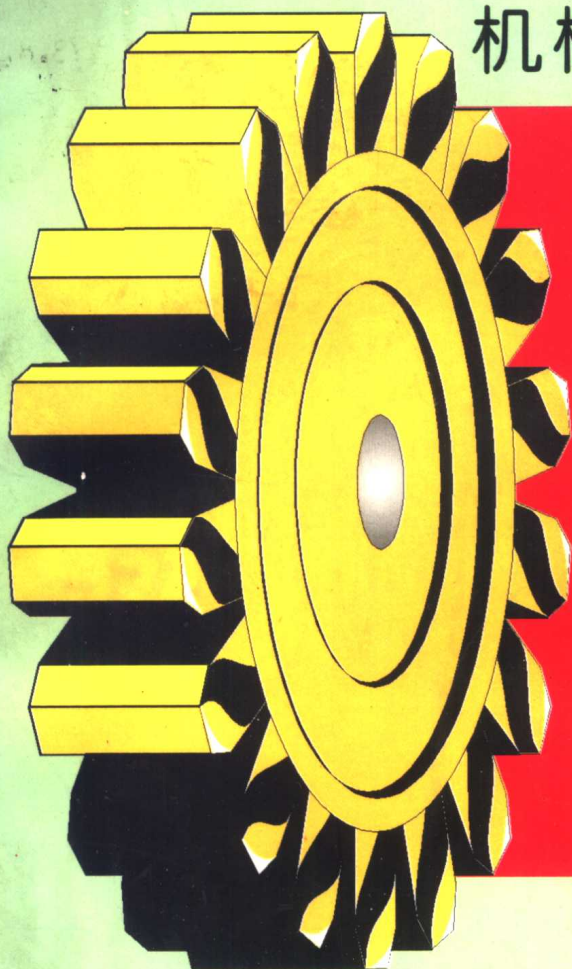


机械类专科系列教材

机械原理

陈明 主编



哈尔滨工业大学出版社

哈尔滨工业大学机械类高等工程专科系列教材

机 械 原 理

陈 明 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书以讲述平面机构为主,重点介绍了平面机构的结构分析、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构及其它常用机构的运动分析和设计,同时还介绍了运动副中摩擦力的计算、机械效率的计算和刚性转子的平衡。

本书可作为高等工程专科机械类专业的教材,也可供本科机械类专业和其它专业少学时机械原理课选用,还可供工程技术人员参考。

哈尔滨工业大学机械类 高等工程专科系列教材编委会

主任委员	姜继海	副主任委员	荣涵锐
委 员	陈 明	王连明	荣涵锐
	李 旦	王广林	黄开榜
	韩荣第	周 明	姜继海

机 械 原 理

陈 明 主编

陈 明 主编

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

肇东粮食印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 9.875 字数 238 千字

1998年2月第1版 1998年2月第1次印刷

印数 1—5 000

ISBN 7-5603-1235-7 / TH·59 定价 16.00 元

前 言

高等工程专科教育是我国高等教育的重要组成部分,主要是为工程第一线培养专门技术人才。为使专科教学水平不断提高,我们在总结多年专科教学和教改经验的基础上,根据国家教委对高等工程专科教学的基本要求,并吸取兄弟院校专科教学的经验,编写了这套机械类专科系列教材。

这套系列教材包括机械原理、机械设计、金属切削机床、机械制造工艺学、金属切削原理与刀具、液压传动六门机械制造专业技术基础课和专业课中的主干课程。

在这套系列教材编写过程中,我们特别注意把握专科教育与本科教育的区别,从专科教育特点出发,强调知识的应用与能力的培养。因此,在教学内容的选取上,处理好理论与实际应用的关系,基础理论知识以必需、够用为原则,对理论知识本身的产生过程,只讲思路,不做详细推导,重点介绍理论知识的应用,强调工程师的基本训练,加强分析、解决实际问题的能力及工程应用素质的培养,我们希望这套系列教材对我国机械类专科教育的发展能起到积极的作用。

哈尔滨工业大学机械工程系
机械类专科系列教材编委会

1997年4月于哈尔滨

编者的话

本教材是为高等工程专科机械类专业编写的。为了适合专科教学的特点,教材中尽量避免复杂的公式推导,力求浅显易懂。考虑到学生在物理学和理论力学中已获得相当的动力学知识,而有关机构的知识却知之甚少,在教材内容的编排上,减少了动力学的内容,集中介绍了各种常用机构的分析和设计。又考虑到常用机构的设计知识是机械设计所必备的最重要的基础,在机构运动分析中,用杆组分析的解析法取代了过去教材中常用的图解法,以便于应用计算机进行机构的运动分析。

本教材讲授 50~55 学时。

参加本教材编写的有陈明(第一、二、三、五章)、刘荣强(第四、九章)、祁勇(第六章)、邓宗全(第七章)、焦映厚(第八章),由陈明主编。

本书第三章 3.3 节是在王知行教授和李瑰贤教授多年教学经验的基础上写成的,全书承安永辰教授审阅,提出了宝贵的意见,在此,对几位教授的无私帮助表示衷心感谢。

由于我们水平所限,书中必有疏漏之处,希望广大读者指正。

编者

1997 年 11 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 机械在现代生产和生活中的作用和地位	(1)
1.2 机械原理的研究对象和内容	(1)
1.3 学习本课程的目的	(2)
第二章 平面机构的结构分析	(3)
2.1 机构组成的基本知识	(3)
2.2 机构运动简图	(5)
2.3 平面机构的自由度	(7)
2.4 机构的组成原理及平面机构的结构分类	(11)
习题	(13)
第三章 平面连杆机构及其设计和运动分析	(15)
3.1 平面四杆机构的类型及应用	(15)
3.2 平面四杆机构的基本知识	(20)
3.3 平面四杆机构的设计	(23)
3.4 平面连杆机构的运动分析	(28)
3.5 速度瞬心在平面机构速度分析中的应用	(37)
习题	(40)
第四章 机械中的摩擦和机械效率	(43)
4.1 概述	(43)
4.2 运动副中的摩擦	(43)
4.3 机械的效率	(49)
4.4 机械的自锁及其应用	(56)
习题	(59)
第五章 凸轮机构及其设计	(62)
5.1 凸轮机构的应用及类型	(62)
5.2 推杆的运动规律	(64)
5.3 凸轮轮廓曲线的设计	(69)
5.4 凸轮机构基本尺寸的确定	(72)
习题	(77)
第六章 齿轮机构及其设计	(79)
6.1 齿轮机构的应用和分类	(79)
6.2 渐开线的形成及其特性	(81)
6.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和尺寸计算	(84)
6.4 渐开线直齿圆柱齿轮啮合传动	(91)
6.5 渐开线齿轮的切制原理	(97)
6.6 渐开线齿廓的根切及渐开线齿轮的变位	(100)
6.7 斜齿圆柱齿轮传动	(104)

6.8 圆锥齿轮传动	(109)
习题	(112)
第七章 轮系	(114)
7.1 轮系及其分类	(114)
7.2 轮系的传动比	(115)
7.3 周转轮系的应用	(121)
7.4 周转轮系齿数确定的基本条件	(124)
习题	(125)
第八章 其它常用传动机构及其设计	(127)
8.1 棘轮机构	(127)
8.2 槽轮机构	(131)
8.3 不完全齿轮机构	(135)
8.4 螺旋机构	(137)
8.5 万向铰链机构	(139)
习题	(140)
第九章 转子的平衡	(142)
9.1 平衡的目的及分类	(142)
9.2 刚性转子的平衡计算	(142)
9.3 刚性转子的平衡试验方法	(145)
9.4 挠性转子的动平衡概念	(148)
习题	(149)
参考文献	(151)

第一章 绪 论

1.1 机械在现代生产和生活中的作用和地位

在日常生活和工业生产中,我们会遇到各种各样的机械和机器,如汽车、机床、起重机、自行车、缝纫机、洗衣机等等。各种不同的机器,具有不同的形式、结构和用途。由于机器的种类极其繁多,工作性能和特征相差很大,因此,很难用一个简单的定义完美无缺地概括它的全部特征。机器的一个能为大多数人接受的定义是:机器是由自然能源(水、热、电、风、原子能、太阳能等)驱动的能够代替人的劳动进行有益工作的人为实物装置。它必须由三部分组成:①将自然能(水、热、电、风、原子能、太阳能等)转换为机械能的原动部分;②完成有益工作的工作部分;③将原动力传送到工作部分去的传动部分。根据这一定义,像自行车、缝纫机等一类靠人力驱动的工作装置自然不在其列了。而机械的含义比机器的含义更广。像机器、组成机器的部分(如减速器等)和无自然能源驱动的装置(如自行车等)均可称为机械。机械曾在人类社会的发展进程中发挥过巨大的作用。蒸汽机的发明引发了人类发展史上的第一次工业革命,使人类社会的发展大大跨跃了一步,并加速了人类社会的发展进程。在现代工业生产中,任何工业部门无不与机械有关系,如机器人、汽车、机床、航海、航空、航天、钢铁、纺织、造纸、化工、石油、医药、食品、玩具、电子等等。在这众多的工业部门中,有的其产品就是机器或机械,如机器人、机床、飞机、舰船、火箭等等;有的则是在生产过程中使用了大量的机械设备,如纺织、造纸、化工、石油、医药、食品、玩具、电子等等。在人们的日常生活中,使用着大量的家用机械,如自行车、洗衣机、缝纫机、手表、冰箱、照相机、录音机、微型计算机(其硬盘和软盘驱动器就是精巧的机械装置)等等。

随着科学技术的发展,大量的新兴工业部门不断涌现,机械工业占整个工业的比重有所降低。但这些新兴工业部门无不需要机械工业为其提供装备和配套产品。因此,机械工业仍是一个工业化国家的基础工业之一。未来的机器必然是自动化、智能化程度越来越高,传统机械技术和各种新技术完美结合的产物。

1.2 机械原理的研究对象和内容

机械原理是从力学原理出发,研究机械的组成及创新的普遍规律和机械的运动及动力特性的一门学科。

一个复杂的机械系统,往往是由许多部分组成的,其中有些部分在结构上具有一定的相对独立性,并且能实现某些特定的运动。在机械原理学科中,将把这些部分从机械系统中分离出来,分别进行研究,这些部分通常称为机构。由于机构是组成各类机械的基础,所以,研究各类常用机构的组成、设计及其运动和动力特性,在此基础上创造新的机构,将是本学科最主要也是最重要的任务。

机械原理从机构的结构分析入手,研究机构组成的普遍规律,这一规律对于创造新机构具有理论指导意义。

任何一台机器都是通过把原动部分的运动和力传递到工作部分,来完成预定的工作,并且工作部分的运动应是设计者所预期的,因此,必须研究机构中运动和力的传递,在机械原理中称之为机构的运动分析和受力分析。同时也研究运动分析和受力分析的方法。

机构的运动主要是由机构的结构类型和结构尺寸所决定的。不同结构类型的机构能实现的运动不同,而相同结构类型的机构,由于其结构尺寸的不同,它所实现的运动也不同。因此,对机构结构类型的研究和结构尺寸的设计,也是机械原理研究的主要内容之一。机构的运动还受诸如摩擦力、工作阻力和惯性力等外力的影响,这时机构的运动规律称为机构的动力特性。对机构动力特性的研究也是机械原理的重要内容。而机构中各运动部分所产生的惯性力,将对机械的受力产生很大的影响,严重时,会使机械的效率和使用寿命降低,甚至会使机械不能正常工作,因此,必须设法消除或减小惯性力的影响。本学科将研究用惯性力平衡的原理消除和减弱惯性力影响的一般方法。

机器或机械都是由各种机构组成的,一个复杂的机械系统往往由各种结构类型、结构尺寸不同的机构所组成。本学科在机构研究的基础上,将研究机械系统组成的一般规律。本教材的内容将主要涉及平面机构。①平面机构的结构分析将介绍平面机构的组成原理、平面机构的自由度和平面机构具有确定运动的条件;②连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等工业生产中最常用的几种机构的运动分析和设计;③机械中摩擦力的计算和机械效率的计算;④机械中转动构件的惯性力的平衡。由于受篇幅的限制,本教材不可能把机械原理学科的内容全部包容进来。

随着社会的进步和技术的发展,人类要求机械能够完成的工作越来越复杂,对其自动化程度的要求也越来越高。这就要求机械原理学科对机械的研究更加深入和广泛。任何一门学科所研究的内容都不是一成不变的。随着现代生产技术的发展,机械原理的研究内容也将会更新和扩展。

1.3 学习本课程的目的

机械工业担负着为其它工业部门提供装备的任务。新兴工业的发展,必然需要大量的新型装备;技术的发展,使原有工业部门也需要大量的新型装备;随着人民生活水平的提高,各种新型的家用机械也会大量进入家庭,因此,设计新机器是技术人员的重要任务之一。

通过本课程的学习,掌握有关机构的结构分析、运动分析、受力分析以及机构设计的知识,为将来的机械设计工作打下坚实的基础。掌握了机构分析的方法,还可以对现有的机械设备进行分析,这对充分发挥现有设备的潜力和对其进行合理改进都是非常有利的。通过本课程的学习,可以掌握学习机械专业后续课程和机械学科的有关专业知识必备的知识基础。本课程的内容也是工科其它专业的学生所应具备的关于机械的一般基础知识。

第二章 平面机构的结构分析

2.1 机构组成的基本知识

一、构件

任何机器都是由若干零件组合而成的。如图 2.1 所示的内燃机,就是由气缸 11、活塞体 10、连杆体 3、齿轮 1……一系列零件组成的。在这些零件中,有的是作为一个独立的运动单元体而运动的(如推杆 8 和 9),有的则是由多个零件刚性地连接在一起(如连杆是由连杆头、连杆体、螺栓、螺母、垫圈等若干个零件刚性地连接在一起),作为一个整体而运动,它们共同组成了一个独立的运动单元体。机器中的每一个独立的运动单元体称为构件。机器中的构件是机器的最小运动单元体,而机器中的零件则是机器的最小制造单元体。从运动的观点看,又可以说任何机器都是由构件组成的。

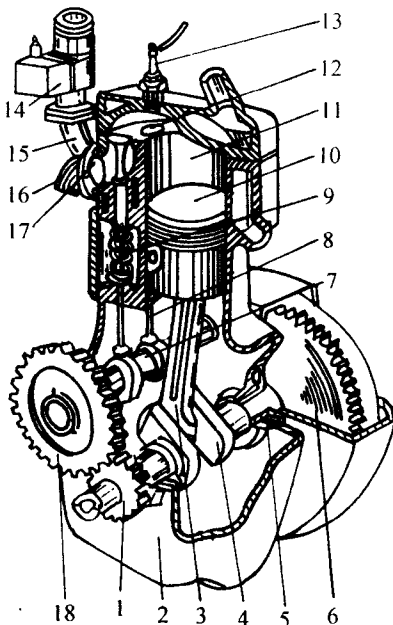


图 2.1

二、运动副

当构件组成机器时,必须以一定的方式把各个构件彼此连接起来。当然,这种连接不能是刚性的,而是能保证彼此连接的两个构件之间仍能产生某些相对运动。我们把这种由两个构件组成的仍能产生某些相对运动的连接称为运动副,而把两构件上能够参加接触而构成运动副的部分称为运动副的元素。例如,图 2.2

所示的轴 1 与轴承 2 的接触、图 2.3 所示的凸轮 1 与推杆 2 的接触、图 2.4 所示的导轨 1 与滑块 2 的接触,都构成了运动副,它们的运动副元素分别为内圆柱面和外圆柱面、两个曲面和两个平面。

当构件构成运动副后,它们之间能产生哪些相对运动,则是由该运动副对两构件间的相对运动所引入的约束决定的。如图 2.5(a)所示,当构件 1(与坐标系 $O-xyz$ 固联)与构件 2 尚未构成运动副时,构件

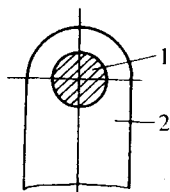


图 2.2

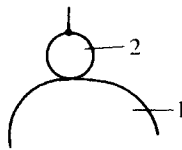


图 2.3



图 2.4

2 相对于构件 1 能产生 6 个独立的相对运动(沿 x 、 y 、 z 轴的三个移动和绕 x 、 y 、 z 轴的三

个转动)。这时,可以说构件 1 与构件 2 之间有 6 个相对运动的自由度。当两构件构成运动副后,如图 2.5(b)所示,构件 2 相对于构件 1 沿 x 、 y 、 z 轴的三个移动和绕 x 、 y 轴的两个转动受到了约束,只剩了一个绕 z 轴的转动。由于这两个构件构成运动副而使其之间的相对运动减少了 5 个,所以说该运动副引入了 5 个约束。此时,两构件间相对运动的自由度为 1。

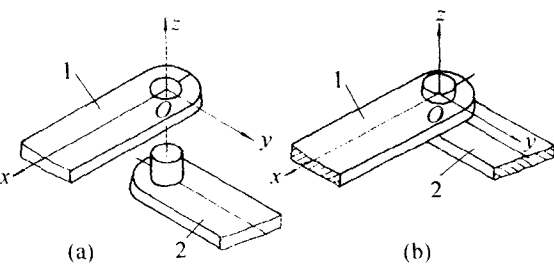


图 2.5

两构件构成运动副后,必然会引入约束,所构成运动副的种类不同,引入约束的数目也不同。所以,可以根据运动副引入约束的数目对运动副分类。把引入一个约束的运动副称为 I 级副,引入两个约束的运动副称为 II 级副,依此类推,可以有 III 级副、IV 级副和 V 级副。

还可以根据运动副元素的接触情况进行分类。凡两运动副元素是点接触或线接触的,则称为高副,如图 2.3 所示;两运动副元素为面接触的,则称为低副,如图 2.2 和图 2.4 所示。也可以根据构成运动副的两构件之间的相对运动情况对运动副分类。如图 2.2 所示的运动副,两构件之间的相对运动为转动,则称为转动副或回转副;图 2.4 所示的运动副,两构件之间的相对运动为移动,则称之为移动副;图 2.6 所示的螺旋与螺母组成的运动副,两构件之间的相对运动为螺旋运动,则称之为螺旋副;图 2.7 所示的是球与球窝构成的运动副,两构件之间的相对运动为球面运动(绕 x 、 y 、 z 轴的三个转动),则称之为球面副。此外,还可以把构成运动副的两构件的相对运动为平面运动的统称为平面运动副,为空间运动的统称为空间运动副。由上述可见,构成运动副的两构件之间的相对运动情况,只与两运动副元素的几何形状及它们的接触情况有关。

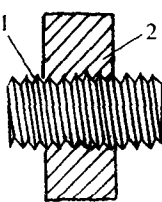


图 2.6

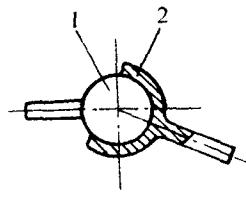


图 2.7

为绘制机构运动简图方便,常将运动副用能体现其特征的简单符号来表示,图 2.8 所

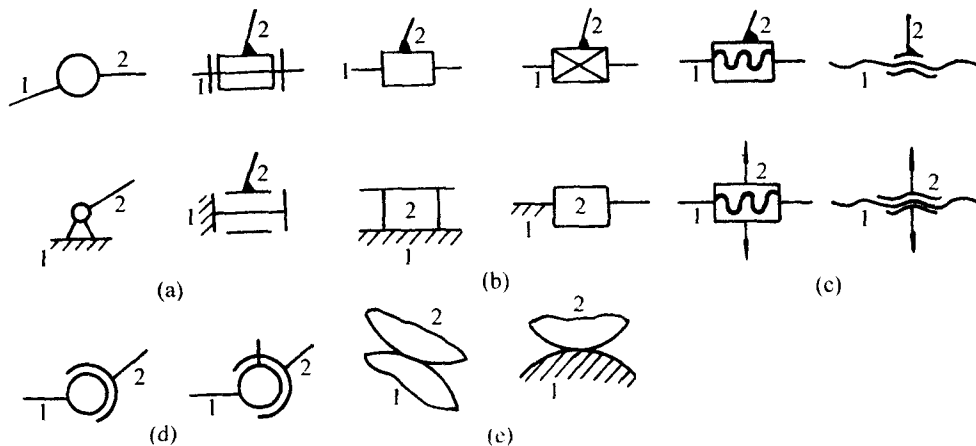


图 2.8

示的是常用运动副的代表符号。其中,图(a)是转动副的代表符号;图(b)是移动副的代表符号;图(c)是螺旋副的代表符号;图(d)是球面副及带销的球面副(简称球销副)的代表符号。以上均为低副。图(e)是高副的代表符号。

三、运动链

所谓运动链是指由两个以上的构件通过运动副连接而构成的一个系统。若运动链是首尾封闭的,如图 2.9(a)和(b)所示,则称之为闭式链,简称为闭链;反之,若首尾不封闭,如图 2.9(c)和(d)所示,则称之为开式链,简称为开链。若运动链中各构件间的相对运动是平面运动,则称之为平面运动链,如图 2.9 所示;若是空间运动,则称之为空间运动链,如图 2.10 所示。

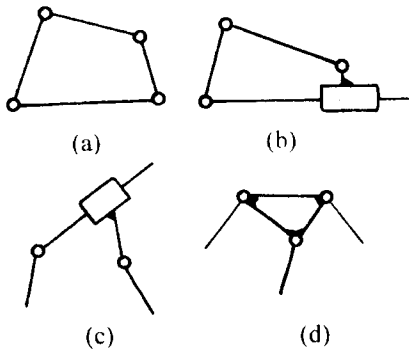


图 2.9

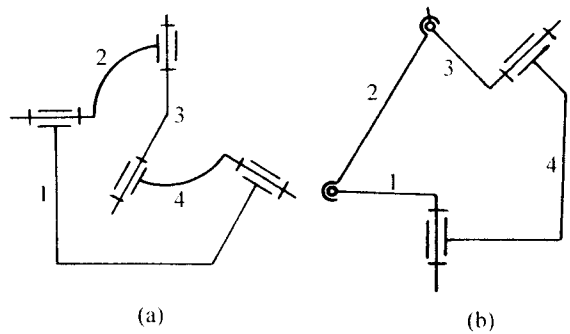


图 2.10

四、机构

如果把运动链中的某一构件看作是静止不动的,则其它构件相对于该静止构件而运动。通常,把该静止构件称为机架,把这种指定了机架的运动链称为机构。机构中按给定的已知运动规律独立运动的构件称为原动件,而其余的活动构件则称为从动件。从动件的运动规律决定于原动件的运动规律和机构的结构。

根据组成机构的各构件之间的相对运动是平面运动或是空间运动,也可把机构分为平面机构和空间机构两类。

2.2 机构运动简图

在对现有机械进行分析或为设计新机械而拟定机械传动方案时,人们往往只关心其中各构件的运动。机构中各构件的运动是由原动件的运动规律、该机构中各运动副的类型(例如,是高副还是低副,是转动副还是移动副)和机构的运动尺寸(确定各运动副相对位置的尺寸)所决定的,而与构件的外形、断面尺寸和组成构件的零件数目及固联方式等无关。所以,可以根据机构的运动尺寸,按一定的比例尺定出各运动副的相对位置,用表示运动副类型的运动副符号和简单的线条绘出一个能表明机械运动特征的简图,通常将该简图称为机构运动简图。该简图具有与原机械相同的运动特性,所以,可以根据该图对机械进行运动和动力分析。

有时只是为了表明机构的结构状况,也可以不按严格的比例绘制简图,通常把这样绘

制的机构运动简图称为机构示意图。

表 2.1 是从 GB 4460 — 84 中摘录的部分机构运动简图符号,供绘制简图时参考。

表 2.1 常用机构运动简图符号(摘自 GB 4460—84)

名称	符号	名称	符号	名称	符号
在支架上的电机		齿轮齿条传动		带传动	
圆锥齿轮传动		链传动		蜗轮与圆柱蜗杆传动	
外啮合圆柱齿轮传动		凸轮传动		内啮合圆柱齿轮传动	
棘轮机构					

绘制机构运动简图的方法和步骤如下:

(1) 定出原动构件(运动的起始部分)和工作构件(直接执行生产任务或最后输出运动的部分),然后,搞清原动构件和工作构件之间运动的传递路线,并搞清组成机械的构件数目及连接各构件的运动副的类型和数目。

(2) 恰当地选择投影面。一般可以选择机械的多数构件的运动平面作为投影面。必要时,也可以就机械的不同部分选择两个或两个以上的投影面,然后展到同一图面上,或者把主机构运动简图上难以表示清楚的部分,另绘一局部简图。总之,以能简单清楚地把机械的运动情况正确地表示出来为原则。

(3) 选择适当的比例尺,定出各运动副的相对位置,以简单的线条和运动副符号绘出机构运动简图。

下面举例说明机构运动简图的画法。

例 2.1 图 2.11(a)所示为一颚式破碎机。当曲轴 1 绕轴心 O 连续转动时,动颚板 5 绕轴心 F 往复摆动,从而把矿石轧碎。试绘制此破碎机的机构运动简图。

解 根据绘制机构运动简图的方法和步骤,先找出破碎机的原动构件为曲轴 1,工作构件为动颚板 5。运动是先由曲轴传递给构件 2,再经构件 3 和构件 4 最终传递给动颚板 5。由此可知,该破碎机是由曲轴 1、构件 2、3、4 及动颚板 5 五个活动构件和机架 6 共六个构件组成的。其中曲轴 1 和机架 6 在 O 点构成转动副,曲轴 1 和构件 2 在 A 点构成转动副,构件 2 与构件 3、4 在 D 、 B 两点分别构成转动副,构件 3 还与机架 6 在 E 点构成转动副,动颚板 5 与构件 4、机架 6 在 C 、 F 两点分别构成转动副。由此可见,连接组成破碎机六个构件的运动副全部是转动副,共七个。

由于破碎机的五个活动构件的运动平面都平行于绘图的纸面,所以,选该纸面为投影面。假设已经选定了合适的比例尺,就可以定出转动副在 O 、 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 点的位置,然后,分别用直线段连接属于同一构件上的各运动副。这样就绘出了如图 2.11(b)所示

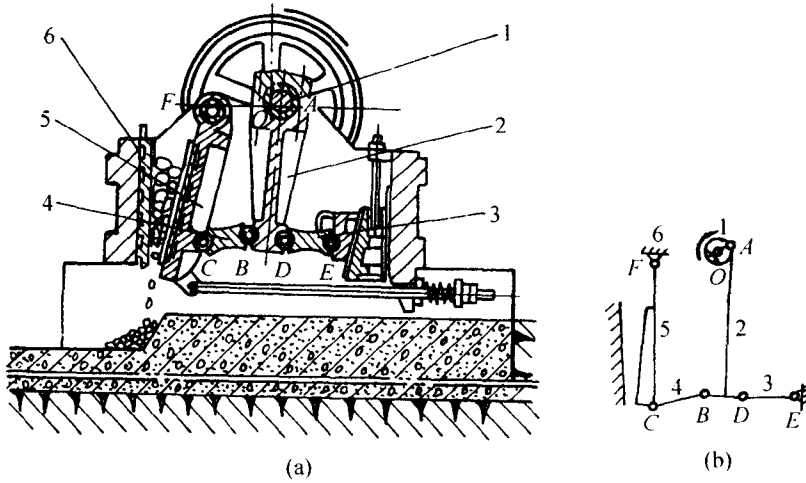


图 2.11

的机构运动简图。

该机构运动简图简单清晰地表明了破碎机的运动特性,也表明了破碎机与运动有关的结构状况。

2.3 平面机构的自由度

在平面机构中,构件只做平面运动。如图 2.12 所示,当做平面运动的构件 1 尚未与构件 2(与坐标系 xOy 固联)构成运动副时,构件 1 相对于构件 2 的运动有三个自由度(分别沿 x 、 y 轴的移动和绕与运动平面垂直的轴线的转动)。若一平面机构共有 n 个活动构件(机架静止不动,不包括在内),当各构件尚未通过运动副连接时,显然,它们一共有 $3n$ 个自由度。但是,机构中的每一个构件至少应与另一构件通过运动副连接,而运动副又必然会引入约束,使构件运动的自由度减少,运动副引入约束的数目就是构件运动自由度减少的数目。我们把机构中活动构件自由度的总数减去各运动副引入约束的总数所剩余的自由度,称为该机构的自由度。

当两构件构成运动副后,需要保证两构件之间仍能产生一定的相对运动。而在平面机构中,两构件之间相对运动的自由度最多只能有三个,所以,每个运动副所能引入的约束最多为 2,最少为 1。因此,在平面机构中,两构件构成的运动副只能是有两个约束的平面低副(转动副和移动副。构成转动副或移动副的两构件只剩一个相对转动或相对移动的自由度)和有一个约束的平面高副(构成平面高副的两构件间有相对滚动和相对滑动两个自由度)。设一机构中有 n 个活动构件,各构件间共构成了 P_1 个低副和 P_h 个高副。那么,活动构件共有 $3n$ 个自由度,运动副共引入 $(2P_1 + P_h)$ 个约束。于是,该机构的自由度可按下面公式计算

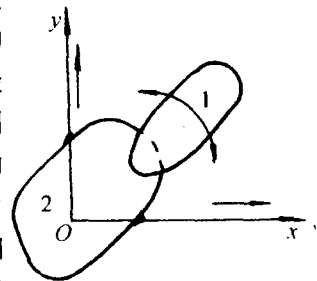


图 2.12

$$F = 3n - (2P_1 + P_h) = 3n - 2P_1 - P_h \quad (2.1)$$

下面应用此公式计算平面机构的自由度。

例 2.2 试计算图 2.13 所示平面四杆机构(曲柄滑块机构)的自由度。

解 由机构运动简图可以看出,该机构共有三个活动构件(即构件 1、2 和 3)和四个低副,其中三个转动副在 A、B 和 C 处,一个移动副由构件 3 和机架 4 构成,机构中没有高副。该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

在该机构中,如果给定一个独立的运动参数,例如,给定构件 3 的位移规律 $S_3 = S_3(t)$,则不难看出,机构中的其它活动构件(构件 1 和 2)的运动便都是完全确定的,而不能随意运动。

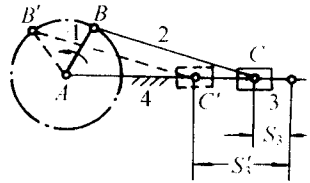


图 2.13

例 2.3 试计算图 2.14 所示的平面五杆机构的自由度。

解 由图可知,该机构共有四个活动构件(构件 1、2、3 和 4)和五个低副(转动副在 A、B、C、D 和 E 点),没有高副,故该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

在此机构中,如果使构件 1 按运动参数 $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ 独立运动,此时,构件 2、3、4 的运动并不能确定。例如,当构件 1 占据位置 AB 时,构件 2、3、4 可以占据位置 BC、CD 和 DE,也可以占据位置 BC'、C'D' 和 D'E,或者是占据其它位置。但是,再给定另一个独立的运动参数,使构件 4 按运动参数 $\varphi_4 = \varphi_4(t)$ 独立运动,即同时给定两个独立的运动参数。则不难看出,当构件 1 和构件 4 占据位置 AB 和 DE 时,构件 2 和构件 3 的位置 BC 和 CD 是唯一确定的,也就是说,此时机构的运动是确定的。

由上面两个例子可以看出,欲使机构具有确定的运动,必须使机构所给定的独立运动参数的数目等于机构自由度的数目,这就是机构具有确定运动的条件。通常,把机构中按照给定的运动规律独立运动的构件称为原动件,如例 2.2 中的构件 3 及例 2.3 中的构件 1 和构件 4。一般情况下,原动件都是和机架相连的。对于这样的原动件,一般只能给定一个独立的运动参数,因此,机构具有确定运动的条件又可表述为:机构原动件的数目等于机构自由度的数目。

当机构的自由度大于或等于 1 时,只要机构的原动件的数目与自由度数目相等,该机构就具有确定的运动。但是,当机构的自由度小于或等于零时,则机构中的任何构件都不能运动。例如,图 2.15 所示的所谓机构,其自由度为 $F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$ 。再如图 2.16 所示的“机构”,其自由度为 $F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 5 - 0 = -1 < 0$ 。严格地讲,图 2.15 和图 2.16 所示的已经不能称其为机构了,实际上它们是桁架。在设计机构时,不能允许出现自由度小于或等于零的情况。

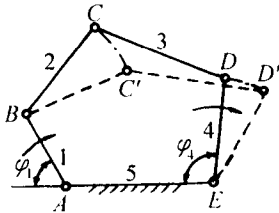


图 2.14

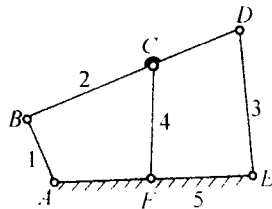


图 2.15

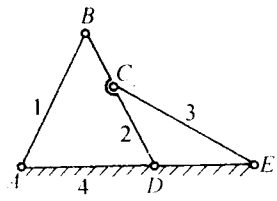


图 2.16

在利用公式(2.1)计算机机构自由度时,会遇到一些特殊情况,使得计算结果与实际不符,下面介绍几种特殊情况及其处理方法。

一、复合铰链

在机构运动简图中,当一个转动副符号连接三个或三个以上构件时,则此转动副称为复合铰链,如图 2.17(a)所示机构点 C 处的转动副。实际上,构件 2、3、4 这三个构件在 C 处构成了两个转动副,其结构如图 2.17(b)所示。同理,若一个转动副符号连接了 m 个构件,则这 m 个构件实际上构成了 $m - 1$ 个转动副。因此,在遇到复合铰链时,应注意正确计算转动副的数目,以免自由度的计算得出错误的结果。

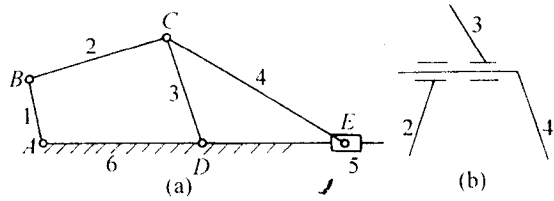


图 2.17

二、局部自由度

在图 2.18(a)所示的滚子推杆凸轮机构中,为了减少运动副元素的磨损,在推杆 3 的端部装了一个滚子 2。此时,该机构中 $n = 3, P_1 = 3, P_h = 1$, 则其自由度为

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$$

实际上,该机构只要给定一个独立的运动参数,即使凸轮 1 作为原动件转动,则推杆 3 的运动便是确定的。而滚子 2 绕其自身轴线的转动并不影响机构中其它构件的运动。机构中个别构件所具有的对整个机构的运动不产生影响的自由度,称为局部自由度。

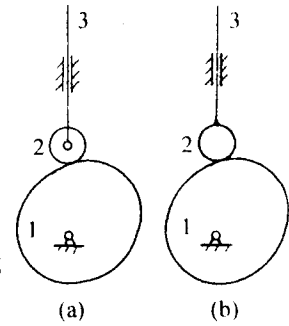


图 2.18

如图 2.18(b)所示,当假想地把滚子 2 与推杆 3 固联在一起时,推杆 3 的运动与原来的机构是完全相同的。也就是说,这样做并不影响整个机构的运动。这时再计算机机构的自由度,有 $n = 2, P_1 = 2, P_h = 1$, 则

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

计算结果与机构运动的实际情况相符。

在计算机机构自由度时,应正确判断是否有局部自由度存在,并用上面所述的方法把局部自由度略去。

三、虚约束

在图 2.19(a)所示的平行四边形机构中,由于 $AB \parallel CD, BC \parallel AD$, 则连杆 3 上任意一点的运动轨迹都是半径为 AB 的圆,且其圆心在 AD 线上。该机构的自由度为

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

当在连杆 3 上的 E 点和它的运动轨迹的圆心 F 点(在 AD 线上)之间加一个构件 5,并用转动副连接,如图 2.19(b)所示,则构件 5 的增加不会对原平行四边形机构的运动产生任何影响。但是,此时机构的自由度则成为

$$F = 3n - 2P_1 - P_h = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$$

这是因为增加了一个构件 5 虽然引入了三个自由度,但却由于在 E 、 F 处增加了两个转动副而引入了四个约束,即多引入了一个约束的缘故。多引入的一个约束只对自由度的计算结果产生了影响,而对机构的实际运动情况并未产生影响。我们把这种对机构的运动实际上不起约束作用的约束称为虚约束。

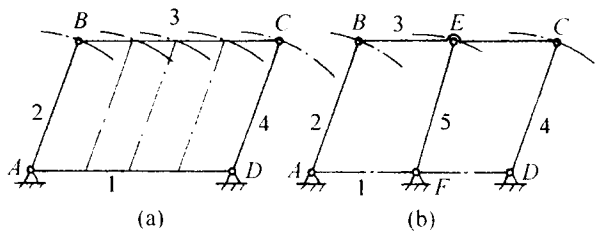


图 2.19

为了使自由度的计算结果与机构的实际运动情况相符,在计算机构的自由度时,应略去虚约束。例如,在计算图 2.19(b)所示机构的自由度时,应把引入虚约束的构件 5 和 E 、 F 处的转动副除去不计。

虚约束不像复合铰链和局部自由度那样一目了然,需要仔细观察甚至要结合运动分析来作出判断。下面介绍几种常见的虚约束存在的情况。

(1) 在机构中如果有两构件通过转动副连接,当把该转动副拆开后,两构件上连接点的轨迹互相重合,则该转动副引入一个虚约束。

如上述例子中图 2.19(b)所示的机构,把连接构件 3 和构件 5 E 处的转动副拆开后,构件 3 上 E 点的运动轨迹是以 F 点为圆心, AB 为半径的圆周,而构件 5 上 E 点的运动轨迹也是这样一个圆周,所以, E 处的转动副引入了一个虚约束。

又如图 2.20 所示的椭圆仪机构,图中 $\angle CAD = 90^\circ$, $AB = BC = BD$ 。如果把连接构件 2 和构件 3 在 C 处的转动副拆开,则构件 3 上 C 点的运动轨迹是直线 AC ,而构件 2 上 C 点的运动轨迹也是直线 AC (由几何条件 $\angle CAD = 90^\circ$, $AB = BC = BD$ 可以得到),所以, C 处的转动副引入了一个虚约束。

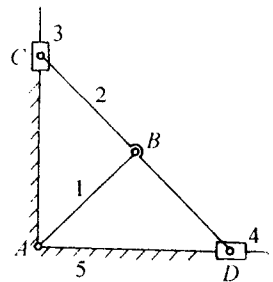


图 2.20

(2) 在机构运动过程中,若两构件上的两点之间的距离始终不变,那么,将此两点以两个转动副和一个构件相连,则会因此引入一个虚约束。如图 2.21 所示的平行四边形机构,由于 $AE \parallel DF$,所以,在机构的运动过程中 E 、 F 两点间的距离始终不变。在这种情况下,若以构件 5 和两个转动副连接 E 、 F 两点,则必然引入一个虚约束。图 2.19(b)所示的构件 5 和 E 、 F 处的转动副所引入的一个虚约束也可以看作是属于这种情况。

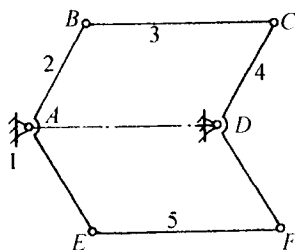


图 2.21

(3) 如果两构件在几处构成移动副,且这些移动副的相对运动方向都一致(如图 2.22 所示的机构中 B 、 B' 处的移动副和图 2.23 所示的机构中 D 、 D' 处的移动副),或者两构件在几处构成转动副,且这些转动副的相对运动轴线重合(如图 2.24 所示机构中 A 、 A' 和 B 、 B' 处的转动副)。在这种情况下计算机构自由度,应只考虑一处运动副所引入的约束,将其余各处运动副所引入的约束作为虚约束略去。

由上述几种情况可见,机构中的虚约束都是在一些特定的几何条件下出现的。如果这些特定的几何条件不能满足,则这些虚约束就将变成实际有效的约束,而使机构的自由度减少。在各种机械中,为了改善机构的受力情况,增加机构