

中等专业学校教材

机械原理与 机械零件

姜书金 王定国 杨明生 周全光 编

王定国 周全光 主 编

高等教育出版社



本书是根据新修订的中等专业学校《机械原理与机械零件教学大纲》(机械类多学时)编写而成的。

本书依据中等专业学校的培养目标,精选了内容,注重基本概念、基本理论的阐述和设计公式的运用,加强了结构设计。各章附有数量较多的例题、复习思考题和习题。

本书分为机械原理和机械零件两部分,共计十九章。主要内容有:绪论;平面机构的运动简图和自由度;平面连杆机构;凸轮机构;直齿圆柱齿轮机构;其它常用齿轮机构;轮系和减速器;其它常用机构;刚性回转件的平衡;铰联接和销联接;螺纹联接和螺旋传动;带传动;链传动;齿轮传动;蜗杆传动;轴;滑动轴承;滚动轴承;联轴器和离合器;弹簧。附录中还刊有机械设计综述和机械零件的计算机辅助设计两个专题。

中等专业学校教材

机械原理与机械零件

姜书金 王定国 杨明生 周金光 编

王定国 周金光 主编

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

商务印书馆上海印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 25.25 字数 576,000

1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷

印数 00001—6,500

ISBN 7-04-000552-2/TH·33

定价 5.20 元

前 言

本书是根据1986年审订的《机械原理与机械零件教学大纲》(126~136学时)编写的,适用于中等专业学校工科机械类专业。

全书共计十九章,前八章为机械原理部分,后十一章为机械零件部分,附录中列有机械设计综述和机械零件的计算机辅助设计(CAD)简介两个专题。

本书根据中等专业学校的培养目标,精选了教材内容,略去了繁难公式不必要的数学推导,注意基本概念、基本理论的阐述和设计公式的应用,加强了结构设计。本书各章都附有数量较多的例题、复习思考题和习题,以利于培养学生分析问题和解决问题的能力。本书引用了最新的国家标准并采用了我国的法定计量单位。书中带“*”的内容和专题内容,供教学时选讲或学生自学。

本书的编写是在吉林省教育委员会指导下进行的。参加编写的有姜书金(绪论、第一、二、三、八章和专题I),王定国(第四、五、六、七章,并对机械原理部分进行统稿),杨明生(第九、十、十一、十二、十九章),周金光(第十三、十四、十五、十六、十七、十八章和专题II,并对全书进行统稿),并由王定国、周金光担任主编。

本书由赵祥、杨树骥主审。

本书专题II中的电算程序实例是由宋学刚提供的。

在编写过程中,一些大、中专院校的教师对本书提出了许多宝贵的建议和意见,谨在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中的错误和缺点在所难免,殷切希望读者批评指正。

编 者

1987年10月

目 录

绪论	1
§ 0-1 机器及其组成	1
§ 0-2 本课程的性质和研究对象	4
§ 0-3 学习本课程的基本要求和方法	4
第一章 平面机构的运动简图和自由度	6
§ 1-1 平面运动副	6
§ 1-2 平面机构的运动简图	8
§ 1-3 平面机构的自由度	10
第二章 平面连杆机构	15
§ 2-1 概述	15
§ 2-2 铰链四杆机构	16
§ 2-3 含有一个移动副的平面四杆机构	20
§ 2-4 平面四杆机构的工作特性	23
§ 2-5 平面四杆机构运动设计简介	25
* § 2-6 平面多杆机构简介	28
第三章 凸轮机构	32
§ 3-1 概述	32
§ 3-2 凸轮的轮廓与从动件的运动规律	34
§ 3-3 盘形凸轮轮廓曲线的设计	38
§ 3-4 凸轮机构基本尺寸的确定	43
§ 3-5 凸轮机构设计的其它问题	45
第四章 直齿圆柱齿轮机构	51
§ 4-1 概述	51
§ 4-2 齿廓啮合基本定律	52
§ 4-3 渐开线齿廓	53
§ 4-4 渐开线齿轮各部分的名称和几何尺寸	57
§ 4-5 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	60
§ 4-6 渐开线齿轮的加工原理和根切现象	62
§ 4-7 渐开线变位直齿圆柱齿轮传动	66
第五章 其它常用齿轮机构	75
§ 5-1 斜齿圆柱齿轮机构	75
* § 5-2 交错斜齿圆柱齿轮机构	80

§ 5-3 直齿圆锥齿轮机构	82
§ 5-4 蜗杆蜗轮机构	85
* § 5-5 圆弧齿轮机构简介	89
第六章 轮系和减速器	93
§ 6-1 概述	93
§ 6-2 定轴轮系的传动比	93
§ 6-3 行星轮系的传动比	96
§ 6-4 复合轮系的传动比	99
* § 6-5 其它行星传动简介	100
* § 6-6 减速器简介	105
第七章 其它常用机构	113
§ 7-1 概述	113
§ 7-2 棘轮机构	113
§ 7-3 槽轮机构	118
* § 7-4 组合机构	122
第八章 刚性回转件的平衡	124
§ 8-1 概述	124
§ 8-2 回转件的平衡计算	125
§ 8-3 回转件的平衡试验	127
第九章 键联接和销联接	131
§ 9-1 概述	131
§ 9-2 键联接的类型	131
§ 9-3 平键联接的尺寸选择和强度校核	135
§ 9-4 花键联接	138
§ 9-5 销联接	142
第十章 螺纹联接和螺旋传动	144
§ 10-1 螺纹的形成、类型和主要参数	144
§ 10-2 螺旋副的受力分析、自锁和效率	147
§ 10-3 螺纹联接的基本类型和螺旋联接件	150
§ 10-4 螺栓联接设计应注意的几个问题	153
§ 10-5 螺栓强度的计算	156
§ 10-6 螺旋传动	163
第十一章 带传动	171
§ 11-1 概述	171

§ 11-2	带传动的基本理论	175	§ 16-2	滑动轴承的主要类型和结构	296
§ 11-3	三角带传动的设计计算	179	§ 16-3	轴瓦和轴承衬	298
§ 11-4	三角带轮	188	§ 16-4	非液体摩擦滑动轴承的计算	301
§ 11-5	带传动的张紧、安装和维护	182	§ 16-5	滑动轴承的润滑	303
第十二章 链传动		200	*§ 16-6	动压液体摩擦滑动轴承简介	307
§ 12-1	概述	200	第十七章 滚动轴承		309
§ 12-2	滚子链和链轮	201	§ 17-1	概述	309
§ 12-3	链传动的运动特性和主要参数	205	§ 17-2	滚动轴承类型的选择	314
§ 12-4	滚子链传动的设计计算	209	§ 17-3	滚动轴承的失效形式	316
§ 12-5	链传动的布置和润滑	215	§ 17-4	滚动轴承的寿命计算	316
第十三章 齿轮传动		218	§ 17-5	滚动轴承的静载荷能力计算	325
§ 13-1	齿轮传动的失效形式和设计准则	218	§ 17-6	滚动轴承的组合设计	326
§ 13-2	齿轮常用材料及热处理	221	*§ 17-7	滚动轴承与滑动轴承的比较	332
*§ 13-3	圆柱齿轮传动精度简介	221	第十八章 联轴器和离合器		341
§ 13-4	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	224	§ 18-1	概述	341
§ 13-5	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	237	§ 18-2	常用联轴器	341
§ 13-6	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	249	§ 18-3	常用离合器	348
第十四章 蜗杆传动		261	第十九章 弹簧		358
§ 14-1	概述	261	§ 19-1	概述	359
§ 14-2	蜗杆传动的强度计算	263	§ 19-2	圆柱形螺旋弹簧的端部结构、特性曲线、参数和尺寸	363
§ 14-3	蜗杆传动的效率和热平衡计算	266	§ 19-3	圆柱形螺旋弹簧的计算	365
§ 14-4	蜗杆蜗轮的结构	268	*§ 19-4	扭转弹簧简介	369
*§ 14-5	各种传动型式的比较	273	附录		372
第十五章 轴		277	专题 I	机械设计综述	372
§ 15-1	概述	277	专题 II	机械零件的计算机辅助设计 (CAD)简介	379
§ 15-2	轴的结构设计	279	主要参考文献		393
§ 15-3	轴的强度计算	286	英文目录		395
§ 15-4	轴的刚度计算简介	291			
§ 15-5	轴的工作图	292			
第十六章 滑动轴承		296			
§ 16-1	概述	296			

绪 论

随着生产的不断发展,各种各样的机器(machine)越来越多地进入人类社会的各个领域。这不仅可以大量减轻人们的体力劳动,提高生产率,而且还能完成人力无法达到的某些生产要求。因此,迅速发展机械工业,以先进可靠的机器装备国民经济的各个部门,大幅度提高生产的机械化和自动化程度,对我国的社会主义建设具有重大意义。

在中华民族的悠久历史中,既有灿烂的文化史,也有光辉的科学技术史。早在公元前五世纪时我国的大哲学家墨翟,在所著的《墨经》中便论述了杠杆平衡问题。公元81年东汉时期发明的水排是炼铁时带动风箱鼓风的机械装置,如图0-1所示,它应用了水力学原理和复杂的连杆机构。图0-2所示用于舂米的连机碓采用了凸轮机构。根据陕西省长安县汉墓出土的齿轮可知,在公元一世纪(东汉初年)我国已经有了人字齿轮。仅由以上几个实例即可说明我国古代在机械方面的卓越成就。

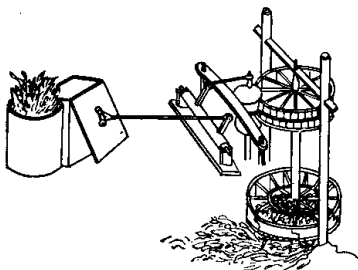


图 0-1 水排

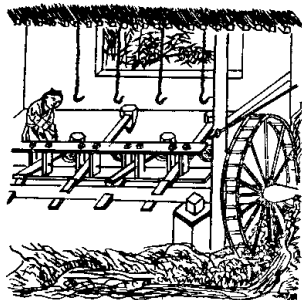


图 0-2 连机碓

新中国的成立为我国科学技术的发展开辟了广阔的道路。万吨水压机的制造、人造卫星的发射、大型喷气式客机和万吨级远洋货轮的生产等等,都标志着我国的机械工业正在朝着世界先进水平迈进。

§ 0-1 机器及其组成

人们在日常生活和生产实践中已经用过和看到过不少机器,如洗衣机、缝纫机、汽车、飞机和机床等。机器的种类很多,为了便于研究,下面首先来分析机器的组成,了解其各部分之间

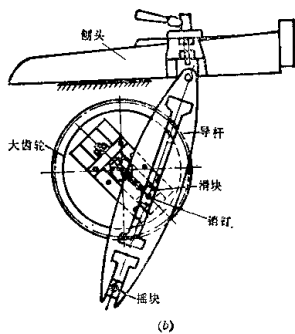
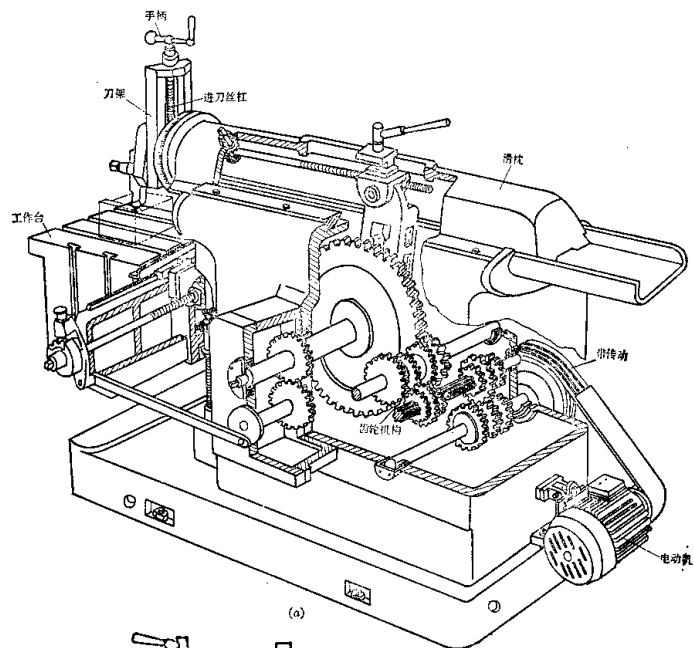


图 0-3 牛头刨床结构示意图

的相互关系、它们的共同属性以及有关的基本概念。

图 0-3(a)所示为牛头刨床的结构示意图。牛头刨床是机械加工车间常用的一种机器。电动机通过带传动和一系列齿轮传动,带动大齿轮转动。在大齿轮侧面调节螺母的销钉上装有滑块(图 0-3b),滑块镶在导杆的导槽中。导杆下部的导槽与绕定轴摆动的摇块相配合,导杆的上端以销钉与刨头铰接。当大齿轮转动一周时,滑块带动导杆往复摆动一次,而导杆则带动刨头作往复直线运动,使装在刨头上的刨刀完成对工件的切削(机器的其它辅助系统这里暂不分析)。

在这部机器中,由电动机供给机械能,它是机器的动力来源,称为原动部分。刨刀对工件进行切削直接完成生产任务,称为执行部分。把原动部分的运动和动力传递给执行部分的各种中间装置,称为传动部分。牛头刨床就其主体来说包含上述三个部分。同样,根据对其它各种机器的分析可得到相同的结论,即一台完整的机器一般都是由原动部分、传动部分和执行部分所组成。

机器的执行部分,应按生产工艺所需要的运动规律和方式进行确定的运动。原动部分(如电动机)多数为回转运动。为把原动机的转动变换成执行部分所需的运动,则要求传动部分所采用的每个中间装置,都必须具有确定的相对运动,并能改变运动的规律或转换运动形式。因此有必要单独研究这些中间装置的结构和特性,于是引入了机构(mechanism)的概念。例如牛头刨床中,两根定轴上的带轮和带组成了带传动机构。每一对相啮合的齿轮组成了齿轮机构。大齿轮、导杆、滑块和机架组成了连杆机构等。它们各自都有确定的相对运动,其作用是实现运动形式或运动速度的变换。牛头刨床的主传动系统就是由上述几种机构组成的,从而实现了把电动机的等速转动,变换成刨刀的直线切削运动。

通过上面所举的几种机构可知,尽管机构的结构、性能、作用等截然不同,但是都具有以下两个共同的特征:

- (1) 它们都是若干实体的组合。
- (2) 各实体之间具有确定的相对运动。

这里所说的“实体”是指组成机构的运动单元,称为构件(link)。构件可以是单一的整体,也可以是由几个通常称为零件(element)的基本实物组成的刚性结构。如在刨床的带传动机构中,三角带就是单一整体的构件,或者说是由一个零件组成的构件;而由带轮、轴以及键联接成的刚性结构则是由多个零件组成的构件。构件与零件二者的区别是,构件是运动的单元,零件则是制造的单元。

广泛用于日常生活和生产中的机器,虽然种类繁多,用途各异,但所有机器都是由若干个机构组成的。它们用来代替人们完成有用的机械功(如牛头刨床的切削功等),或者进行能量的转换(如内燃机把热能转换为机械能)。所以,机器不但具有机构的共同特征,还具有关于功与能的特征,即:

- (1) 机器是若干实体的组合。
- (2) 各实体之间具有确定的相对运动。
- (3) 机器能代替人类劳动作出有用机械功或转换机械能。

人们习惯上把机械作为机器和机构的总称。

从上述分析中不难看出,机器的完善与可靠性,将在很大程度上取决于机构的性能和零件的质量。因此无论是设计和制造新机器,还是使用和改造现有机器,都必须把机构和零件作为基础来研究。

§ 0-2 本课程的性质和研究对象

本课程内容包括机械原理和机械零件两个部分。在机械原理中以常用机构作为研究对象。所谓常用机构是指常见于各种机器中的机构,如连杆机构、齿轮机构、凸轮机构等。在机械原理部分主要研究常用机构的组成、运动特性和动力特性,以及设计的基本原理和方法。

在机械零件中以通用零件作为研究对象。通用零件是指在各种机器中普遍使用的零件,如螺栓、轴、轴承等。在机械零件部分,主要研究一般尺寸和参数的通用零件(不包括巨型、微型及在高速、高压、高温条件下工作的通用零件)的工作原理、特点、选用、设计原理与计算方法。其中涉及如何确定零件最适当的外形和尺寸、如何选择材料、公差、表面质量以及规定制造上的技术条件等等。

上述的研究对象和研究内容,都是属于各种机械的共性问题。因此,本课程就其性质来说是一门技术基础课。在这门课程中将综合运用理论力学、材料力学、金属学及热处理、机械工程材料工艺学、公差与技术测量、机械制图等知识,来建立机械设计的一些基础理论和基本方法,并结合设计实践进行必要的基本训练。本课程内容是机械类专业学生学习有关专业课的基础,同时也是机械工程技术人员必须具备的基本知识。

§ 0-3 学习本课程的基本要求和方法

一、基本要求

通过本课程的学习,应达到以下基本要求:

1. 熟悉常用机构的构造、工作原理、特点、应用以及运动特性和设计的基本知识。
2. 熟悉通用零件的工作原理、特点、结构及标准。掌握通用零件的选用、设计的基本原理和方法。
3. 学会使用技术资料进行通用零件和简单机械传动装置的设计,能对一般机构的特性和零件常见的失效原因进行分析,解决生产实际中有关机械零、部件结构方面的问题。

二、学习本课程的一般方法

1. 坚持理论联系实际的学习方法,对日常所遇到的机器要结合所学理论进行观察与分析。
2. 机器是由许多零件组成的有机整体,组成机器的各零件之间既相互联系又相互制约,学习时应从整体出发来理解,不要片面孤立地进行研究。
3. 设计计算的公式与数据都是有条件的,学习时要着重了解各量的物理意义、取值范围、

应用条件以及它们之间的相互关系。

4. 要充分重视结构设计。要多观察现有零部件的实物或图纸, 进行分析与比较, 提高和丰富结构设计方面的知识。

复 习 思 考 题

1. 试举例说明现代社会如果离开机器, 将对生活、生产和科技发展产生什么影响?
2. 机器与机构的共同特征有哪些? 它们的区别是什么?
3. 为什么机器中要用机构? 机构的基本职能是什么?
4. 家用缝纫机、自行车、机械式手表是机器还是机构?
5. 试举一例说明机器的三个组成部分。
6. 组成机构的各构件之间为什么要有确定的相对运动? 各构件的相对运动不确定会有什么后果?
7. 什么是构件? 什么是零件? 它们之间有什么关系? 区别是什么?
8. 本课程研究的对象是什么?

第一章 平面机构的运动简图和自由度

若机构中的各构件均平行于同一固定平面运动,则该机构称为平面机构。由于常用机构大多数是平面机构,因此本章只研究平面机构的有关问题。

§ 1-1 平面运动副

一、运动副的概念

机构既然是具有确定的相对运动的构件组合体,那么由构件组成机构时各构件就不应再有各自独立的自由运动,当然也不能连成刚体。为此必须以适当的方式相互联接,既对构件的运动加以限制,又使彼此联接的两构件之间仍能产生一定的相对运动。这种两个构件间的可动联接称为运动副(kinematic pair)。例如图 1-1(a)所示,构件 1 与构件 2 用铰链联接成运动副后,两构件只能绕铰链轴线在一个平面内作相对转动。在图 1-1(b)中,构件 1 与构件 2 联接成一个运动副后,它们之间只能沿某一轴线作相对直线移动。这都是由联接而产生相互限制的结果。

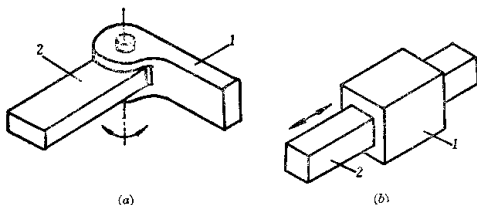


图 1-1 运动副

二、自由度和约束条件

由上述可见,两个构件用不同的方式相互联接,就可以得到不同形式的相对运动。为了进一步分析两构件之间的相对运动关系,现引入自由度和约束条件的概念。图 1-2 所示作平面运动的构件 2,在尚未与其它构件组成运动副之前,可以产生 3 个独立运动,即构件随任意点 A(在理论力学中称为极点)沿 x 轴方向和 y 轴方向的两个移动以及绕点 A 的转动。构件的这种独立运动称为自由度(degree of freedom)。所以作平面运动的自由构件具有 3 个自由度。

但如图 1-3 所示,当构件 2 与固联在坐标轴上的构件 1 在 A 点铰接面形成运动副时,构件 2 沿 x 轴方向和沿 y 轴方向的独立运动则受到限制。对构件某一个独立运动的限制称为约束条件,故每加上一个约束条件,构件便失去一个自由度。图 1-3 中铰链 A 对构件 2 施加两

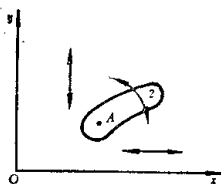


图 1-2 自由构件

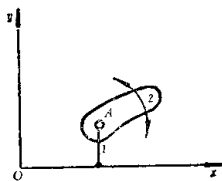


图 1-3 受约束构件

个约束条件,因而构件 2 失去两个自由度,只剩一个自由度即绕点 A 的转动。由此可见,运动副对构件相对运动所产生的作用是: 1) 在两构件间施加约束,减少与约束条件数量相等的自由度。2) 限定两构件间相对运动的形式。显然,两构件间所受约束条件的多少和约束特性,完全取决于运动副的类型。

三、运动副的分类

平面运动副的类型可分为:

1. 低副

两构件通过面与面接触而组成的运动副称为低副(见图 1-1)。组成低副时引入的约束条件为 2,故构件失去的自由度数亦为 2。低副按允许相对运动的形式不同又可分为

转动副 如图 1-1(a)所示,构件 1 和构件 2 只能在平面内作相对转动。

移动副 如图 1-1(b)所示,构件 1 和构件 2 只能沿直线方向作相对移动。

这类运动副由于是面接触,在承受载荷时压强较低,不易磨损。

2. 高副

两构件以点、线的形式相接触而组成的运动副称为高副。如图 1-4 所示,构件 2 可以相对构件 1 绕接触点 A 转动,又可以沿接触点的切线 $t-t$ 方向移动,只是沿公法线 $n-n$ 方向的运动受到限制。可见组成高副时引入的约束条件为 1,即失去的自由度数为 1。高副由于以点或线相接触,其接触部分压强较高,故易磨损。

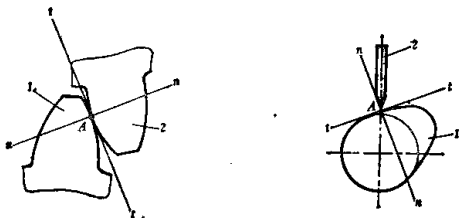


图 1-4 高副

§1-2 平面机构的运动简图

一、绘制机构运动简图的目的

事物都有它的现象和本质,现象是指事物的外部形态,本质是指事物的内在联系。绘制机构运动简图的目的在于:撇开那些与机构运动无关的外部形态,而把决定机构运动性质的内在联系抽象出来,以便揭示机构的运动规律和特性。

实际的机器或机构比较复杂,构件的外形和构造也各式各样。但是机构的相对运动只与运动副的数目、类型、相对位置及某些尺寸有关,而与构件的截面尺寸、组成构件的零件数目、运动副的具体结构等无关。因此在研究机器或机构运动时,可以不考虑与运动无关的因素。用线条表示构件,用简单符号表示运动副的类型,按一定比例确定运动副的相对位置及与运动有关的尺寸,这种简明表示机构各构件运动关系的图形就叫做机构运动简图(kinematic diagram of a mechanism)。

对于只为了表示机构的结构及运动情况,而不严格按照比例绘制的简图,通常称为机构示意图。

机构中的固定构件称为机架,它的作用是支承运动构件。由外界给定运动规律的构件称

表 1-1 机构运动简图符号

名 称	简 图 符 号	名 称	简 图 符 号
轴, 杆		基本符号	
构	 	机架是转动副的一部分	
		机架是移动副的一部分	
件		平面	
副	转动副	齿轮副外啮合	
	移动副	内啮合	
		凸轮副	

注: 其它运动简图符号可查阅 GB 4460—84。

为主动件,一般主动件与机架相连。除主动件以外的全部活动构件都称为从动件。

在机构运动简图中,构件和运动副的表示符号见表 1-1。

二、平面机构运动简图的绘制

绘制平面机构运动简图的步骤是: 1) 观察机构的运动情况, 找出主动构件(即运动规律已知的构件, 通常也是驱动机构的外力所作用的构件)、工作构件(即直接执行生产任务或最后输出运动的构件)和机架(或称固定构件)。2) 根据相联两构件间的相对运动性质和接触情况, 确定各个运动副的类型。3) 根据机构实际尺寸和图纸大小确定适当的长度比例尺 μ_l

$$\mu_l = \frac{\text{实际长度(m)}}{\text{图示长度(mm)}}$$

按照各运动副间的距离和相对位置, 以规定的符号将各运动副表示出来。4) 用直线或曲线将同一构件上的运动副联接起来, 即为所要画的机构运动简图。

例 1-1 图 1-5(a) 所示为牛头刨床的结构图, 已知 $l_a = 1000 \text{ mm}$, $l_{a1} = 540 \text{ mm}$, $l_{AB} = 240 \text{ mm}$, 试绘制该牛头刨床主机构的机构运动简图。

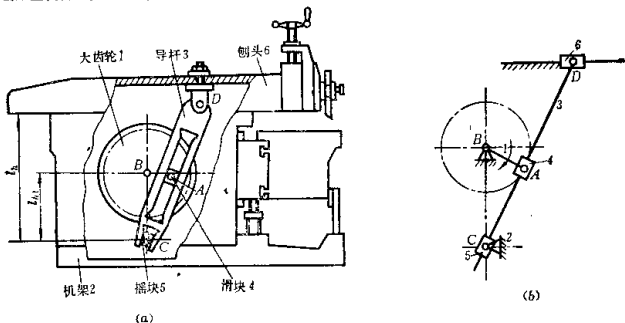


图 1-5 牛头刨床结构图及主机构运动简图

解题分析 牛头刨床主机构是指由大齿轮 1、机架 2、导杆 3、滑块 4、摇块 5、刨头 6 所组成的机构。该机构的运动情况见绪论第一节, 这里不再重复。

解 1. 此机构由 5 个活动构件和机架组成。大齿轮的运动规律为已知, 它是机构的主动构件。刨头直接执行生产任务是工作构件。床身为机架。

2. 大齿轮 1 与机架 2、滑块 4 分别组成转动副, 这两个转动副的中心 A、B 的距离在运动中不变, 可以看作一个定长的构件。导杆 3 与滑块 4、摇块 5 分别组成移动副, 而与刨头 6 组成转动副。刨头 6 相当于一个滑块, 与机架 2 组成移动副。摇块 5 与机架 2 组成转动副。

3. 取长度比例尺 $\mu_l = 0.02 \text{ m/mm}$, 按已知实际长度求图示长度

$$h = \frac{l_a}{\mu_l} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ mm}$$

$$h_1 = \frac{l_{a1}}{\mu_l} = \frac{0.54}{0.02} = 27 \text{ mm}$$

$$AB = \frac{l_{AB}}{\mu_l} = \frac{0.24}{0.02} = 12 \text{ mm}$$

定出与机架相联的转动副中心 B 、 C 以及导路 2 的位置, 选主动件的适当位置(使图面清晰, 避免构件交叉)定出其它转动副中心。

4. 用简图符号画出各转动副、移动副和机架, 把同一构件上的运动副用直线联接起来, 各转动副中心标以大写英文字母 A 、 B 、 $\dots$, 将各构件编号并用数字 1 、 2 、 $\dots$ 标明, 主动构件上用箭头表示其运动规律为已知, 图下注明比例尺, 即得图 1-5(b) 所示的机构运动简图。

例 1-2 图 1-6(a) 所示冲压机构中, 1 为偏心轮, 2 为可绕转动中心 C 摆动的连杆, 3 为冲头。试绘制该机构的机构示意图。

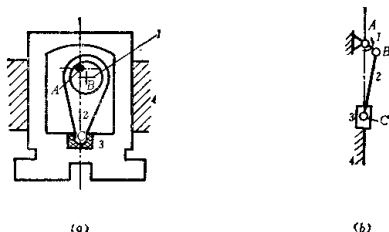


图 1-6 冲压机构

解题分析 此机构由偏心轮 1 、连杆 2 、冲头 3 和机架 4 所组成, 共有 3 个活动构件。偏心轮 1 由其它机构带动绕回转中心 A 转动。由于偏心轮的回转中心 A 与几何中心 B 有一偏距, 所以偏心轮每转一周, 则通过活塞在偏心轮上的连杆 2 带动冲头 3 上、下往复运动一次进行冲压工作。偏心轮的几何中心 B 与回转中心 A 和连杆的摆动中心 C 之间的距离在运动中不变, 故都可以看作定长的构件。

解 1. 偏心轮 1 为主动构件, 冲头 3 为工作构件, 构件 4 为机架。

2. 偏心轮 1 与机架 4 、连杆 2 分别组成转动副。连杆 2 与冲头 3 组成转动副。冲头 3 相当于滑块, 与机架 4 组成移动副, 且导路的中心线通过 AC 。

3. 选择主动件的适当位置, 画出各转动副、移动副以及机架, 把同一构件上的运动副用直线联接起来。标注字母与构件号, 并在主动构件上标注箭头。图 1-6(b) 即为该机构的机构示意图。

§ 1-3 平面机构的自由度

一、平面机构自由度的计算

我们已经知道, 每个作平面运动的构件, 在自由状态时都具有 3 个自由度。它们之间每组成 1 个低副时, 就引入了 2 个约束条件, 失去 2 个自由度。每组成 1 个高副时, 就引入 1 个约束条件, 失去 1 个自由度。所以, 平面机构的自由度应为: 全体活动构件在自由状态时自由度的总数与全部运动副所引入的约束条件总数之差。设以 F 表示平面机构的自由度数、 n 表示机构的的活动构件数, 机构中共有低副的个数为 P_L , 高副的个数为 P_H , 则平面机构自由度的计算公式为

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

如图 1-5 所示牛头刨床主机构, 它的活动构件 $n=5$ 。共组成 7 个低副, 即 $P_L=7$ 。没有

高副, 即 $P_H=0$ 。故该机构的自由度由式(1-1)得

$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 5-2 \times 7-0=1$$

如图 1-6 所示冲压机构, 它的活动构件数 $n=3$, 低副数 $P_L=4$, 高副数 $P_H=0$, 其自由度为

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

计算平面机构的自由度时, 应注意三种特殊情况。

1. 复合铰链

图 1-7 所示为直线机构, 其构件的相对长度为: $AF=FE$, $AD=AB$, $BC=CD=DE=EB$, 当构件 FE 摆动时, C 点的轨迹为垂直于 AF 的直线。该机构在 A 、 B 、 D 、 E 四点各为 3 个构件组成轴线重合的 2 个转动副, 称为复合铰链。凡由 m 个构件组成的复合铰链, 其转动副的个数为 $m-1$ 。在计算机构自由度时要注意复合铰链, 切不可将其看作 1 个转动副。所以该机构 $n=7$, $P_L=10$, $P_H=0$, 其自由度为

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

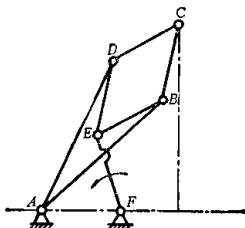


图 1-7 直线机构

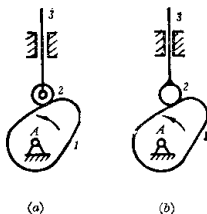


图 1-8 凸轮机构

2. 局部自由度

如图 1-8(a) 所示的凸轮机构, 为了减少高副处的摩擦, 常在从动件 3 上装一滚子 2。当主动凸轮 1 绕固定轴 A 转动时, 从动件 3 则在导路中上下往复运动。但在计算自由度时, 如果按 $n=3$, $P_L=3$, $P_H=1$, 则

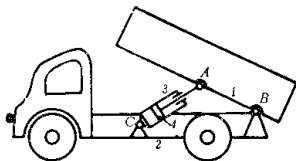
$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 3-2 \times 3-1=2$$

实际上此机构的自由度为 1。计算的结果与实际不符, 其原因在于: 小滚子 2 绕自身轴转动的快慢或不转(见图 b), 都不影响整个机构的运动。这种与机构运动无关的构件的自由度称为局部自由度。在计算机构自由度时, 这种构件应除去不计。于是 $n=2$, $P_L=2$, $P_H=1$, 该机构的自由度为

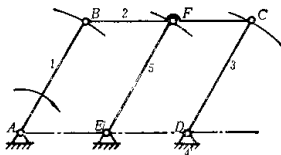
$$F=3n-2P_L-P_H=3 \times 2-2 \times 2-1=1$$

3. 虚约束

图 1-9(a) 所示为自卸卡车的翻斗机构, 其中活塞 4 为主动构件, 油缸 3 可以绕定轴 O 转动, 1 为车斗。工作时油缸中充入压力油, 推动活塞上移, 使与活塞固联为一体的活塞杆向外



(a) 自卸卡车的翻斗机构



(b) 机车车轮联动机构

图 1-9

伸出,从而推动车斗绕 B 点转动,达到自动卸料的目的。在计算此机构的自由度时,往往误认为活塞与油缸壁、活塞杆与油缸盖分别组成两个移动副。实际上活塞与活塞杆是同一个构件,油缸壁与油缸盖也是同一构件,在研究机构运动规律时,每两个构件之间只能组成一个有效的运动副。因此,对该机构运动来说就有一个多余的运动副。由多余运动副引入的约束对机构运动不起限制作用,称为虚约束。又如图 1-9(b)所示的机车车轮联动机构中,无论构件 5 和转动副 E 、 F 是否存在,对机构的运动都不发生影响,也可以说构件 5 和转动副 E 、 F 所引入的一个约束(一个构件加入 3 个自由度,两个转动副产生 4 个约束)不起限制作用,也叫虚约束。计算机构自由度时对虚约束应除去不计。所以在图 1-9(a)所示的自卸卡车翻斗机构中, $n=3$, $P_L=4$, $P_H=0$, 故其自由度为

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

在图 1-9(b)所示的机车车轮联动机构中, $n=3$, $P_L=4$, $P_H=0$, 其自由度为

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

二、机构具有确定运动的条件

机构是具有确定的相对运动的构件系统,但不是任何构件系统都能实现确定的相对运动的,因此也就不是任何构件系统都能成为机构的。构件系统能否成为机构,可以用是否具有确定运动的条件来判别。

机构的自由度数是机构具有的独立运动数,例如机构的自由度为 1,则表示机构只有 1 个独立运动。如果通过 1 个主动件,并给定 1 个运动规律对此独立运动加以控制,则该机构的运动就完全确定了。一般 1 个主动构件只能给定 1 个运动规律,所以机构若有 2 个自由度,则需要 2 个主动构件。由此可知,机构具有确定运动的条件是:机构的主动件个数应与其自由度相等。

如图 1-10 所示的四构件系统, $n=3$, $P_L=4$, $P_H=0$, 其自由度为

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

当主动件 1 在任何瞬时位置时,从动件 2 和 3 都占有相应的确定位置,这说明从动件的运动是确定的,故该构件系统是机构。

如图 1-11 所示的五构件系统, $n=4$, $P_L=5$, $P_H=0$, 其自由度为