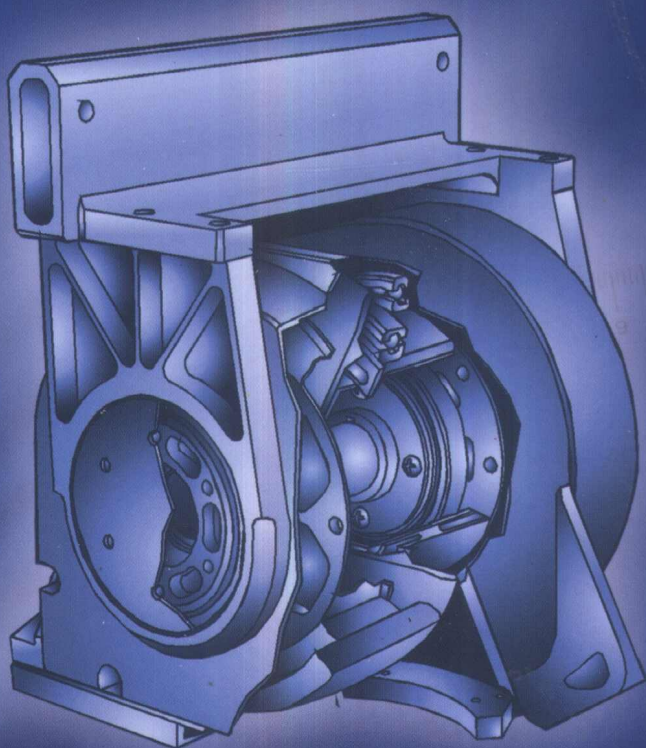


全国水利水电类高职高专统编教材

机械设计基础

广西水利电力职业技术学院 梁建和 主编



865

71-1122-43
247

全国水利水电类高职高专统编教材

机械设计基础

广西水利电力职业技术学院 梁建和 主 编
黄河水利职业技术学院 余爱民 副主编



A1036568

黄河水利出版社

内容提要

本书是全国水利水电类高职高专统编教材,全书共分 15 章,包括平面机构、凸轮机构、螺纹、齿轮机构、齿轮传动、蜗杆传动、带传动以及刚性回转件的平衡等。在传统内容的基础上着重加强了材料、热处理及使用等方面内容,同时对日益得到广泛应用的滚动螺旋传动、同步齿型带传动和机械 CAD 等都作了较详细的介绍。本书适合于水利水电高职高专机电类专业学生及相关工程技术与科研人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/梁建和主编. —郑州:黄河水利出版社,2002.8

全国水利水电类高职高专统编教材

ISBN 7-80621-588-3

I. 机… II. 梁… III. 机械设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 054053 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

印张:15

字数:347 千字

印数:1—4 100

版次:2002 年 8 月第 1 版

印次:2002 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-588-3/TH·10

定价:25.00 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定教材编写规划,报水利部批准,用中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费组织编写的。

《机械设计基础》是高职高专机电类专业的一门重要的技术基础课。为适应高职高专工科培养应用型人才的特点,本书坚持“以能力为本位,以应用为目的,以必需、够用为度。”的原则,内容力求精炼明了和通俗易懂,注重对学生基本技能的训练和综合分析能力的培养,避免繁琐抽象的公式推导和冗长的过程叙述,采用法定单位和新近颁布的国家标准。本书精选及融汇了“机械原理”和“机械设计”的部分内容,在传统内容的基础上着重加强了材料、热处理及使用等方面的内容,对日益得到广泛应用的滚动螺旋传动、同步齿型带传动和机械 CAD 等内容作了较详细的介绍。

参加本书编写的人员为:广西水利电力职业技术学院梁建和编写绪论和第一、二、十五章,广西水利电力职业技术学院陈伟珍编写第十二、十三章,山东省水利职业技术学院李永敏编写第三、四、十四章,长沙电力学院水利学院向英编写第五、十一章,黄河水利职业技术学院余爱民编写第六、十章,黄河水利职业技术学院单冬敏编写第七、八、九章。全书由广西水利电力职业技术学院梁建和担任主编,黄河水利职业技术学院余爱民担任副主编,黄河水利职业技术学院张国强担任主审。

由于编者水平所限,加之时间仓促,且高职高专教材体系尚在建设之初,书中不妥之处在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见。

编 者

2002 年 3 月

目 录

前 言	
绪 论	(1)
第一节 机器及其组成	(1)
第二节 本课程的性质和研究对象及基本要求	(2)
第一章 平面机构及其运动简图	(4)
第一节 平面运动副	(4)
第二节 平面机构的运动简图	(6)
第三节 平面机构的自由度	(8)
习题一	(12)
第二章 平面连杆机构	(13)
第一节 铰链四杆机构	(13)
第二节 铰链四杆机构的其他形式	(16)
第三节 平面四杆机构的工作特性	(19)
第四节 平面四杆机构运动设计简介	(21)
习题二	(23)
第三章 凸轮机构	(24)
第一节 概述	(24)
第二节 从动件的常用运动规律	(25)
第三节 盘形凸轮轮廓曲线的设计	(29)
第四节 凸轮机构基本尺寸的确定	(32)
习题三	(34)
第四章 螺纹连接与螺旋传动	(36)
第一节 螺纹	(36)
第二节 螺纹连接的主要类型和使用	(39)
第三节 螺栓连接的强度计算	(42)
第四节 螺旋传动	(45)
习题四	(51)
第五章 齿轮机构	(53)
第一节 齿轮机构的齿廓啮合基本规律、特点和类型	(53)
第二节 渐开线齿廓	(55)
第三节 渐开线标准齿轮各部分名称、参数和几何尺寸	(57)
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	(59)
第五节 渐开线齿廓的根切现象	(60)

第六节	渐开线变位直齿圆柱齿轮传动	(63)
第七节	平行轴斜齿圆柱齿轮传动	(65)
第八节	直齿圆锥齿轮传动	(68)
习题五		(71)
第六章	齿轮传动	(72)
第一节	齿轮传动的失效形式和设计准则	(72)
第二节	齿轮常用材料及热处理	(73)
第三节	齿轮传动精度简介	(75)
第四节	标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(76)
第五节	标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	(82)
第六节	标准直齿圆锥齿轮传动的强度计算	(85)
第七节	齿轮的结构设计	(87)
第八节	齿轮传动的润滑	(88)
习题六		(89)
第七章	蜗杆传动	(90)
第一节	蜗杆传动的类型和特点	(90)
第二节	蜗杆传动的基本参数和几何尺寸计算	(91)
第三节	蜗杆传动的失效形式、设计准则、材料和结构	(94)
第四节	蜗杆传动的强度计算	(96)
第五节	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	(99)
习题七		(102)
第八章	带传动	(104)
第一节	带传动的类型和特点	(104)
第二节	V带和带轮	(105)
第三节	V带传动工作能力分析	(110)
第四节	普通V带传动设计计算	(112)
第五节	同步带传动	(121)
第六节	带传动的安装、张紧和维护	(128)
习题八		(130)
第九章	链传动	(131)
第一节	链传动的特点和类型	(131)
第二节	滚子链和链轮	(132)
第三节	链传动的传动比及运动的不均匀性	(136)
第四节	链传动的设计计算	(137)
第五节	链传动的布置、张紧和润滑	(141)
习题九		(143)
第十章	机械传动系统及其传动比	(144)
第一节	定轴轮系的传动比计算	(144)

第二节	行星轮系的传动比计算·····	(146)
第三节	典型机械传动系统及其传动比计算·····	(148)
习题十	·····	(153)
第十一章	间歇运动机构·····	(155)
第一节	棘轮机构·····	(155)
第二节	槽轮机构·····	(157)
第三节	不完全齿轮机构·····	(159)
习题十一	·····	(160)
第十二章	轴系零部件·····	(161)
第一节	滑动轴承·····	(161)
第二节	滚动轴承·····	(167)
第三节	键连接和销连接·····	(177)
第四节	轴·····	(181)
第五节	轴承的组合设计·····	(192)
习题十二	·····	(202)
第十三章	其他常用零部件·····	(204)
第一节	联轴器·····	(204)
第二节	离合器·····	(207)
第三节	弹簧·····	(209)
习题十三	·····	(213)
第十四章	刚性回转件的平衡·····	(214)
第一节	平衡的目的和分类·····	(214)
第二节	刚性转子的平衡计算·····	(214)
第三节	回转件平衡试验法·····	(218)
习题十四	·····	(220)
第十五章	机械设计综述及 CAD 简介 ·····	(222)
第一节	机械设计综述·····	(222)
第二节	机械 CAD 简介 ·····	(224)
参考文献	·····	(230)

绪 论

机械是人类在长期的生产实践中创造出来的重要生产工具。它用来减轻人的劳动强度、改善劳动条件、提高产品质量、提高劳动生产率,帮助人们创造更多的社会财富。机械在人类的生产活动中历来都担负着十分重要的角色,尤其是在现代化生产的今天更离不开机械。

第一节 机器及其组成

机械是机器和机构的统称。

在生产实践和日常生活中,广泛使用和接触着各种机器,例如:自行车、摩托车、汽车、轮船、洗衣机、电梯等。机器的种类繁多,有复杂的也有简单的,为方便研究,下面以牛头刨床为例,分析机器的组成。

图 0-1 所示为牛头刨床的结构示意图。电动机的动力通过带传动和一系列齿轮传动

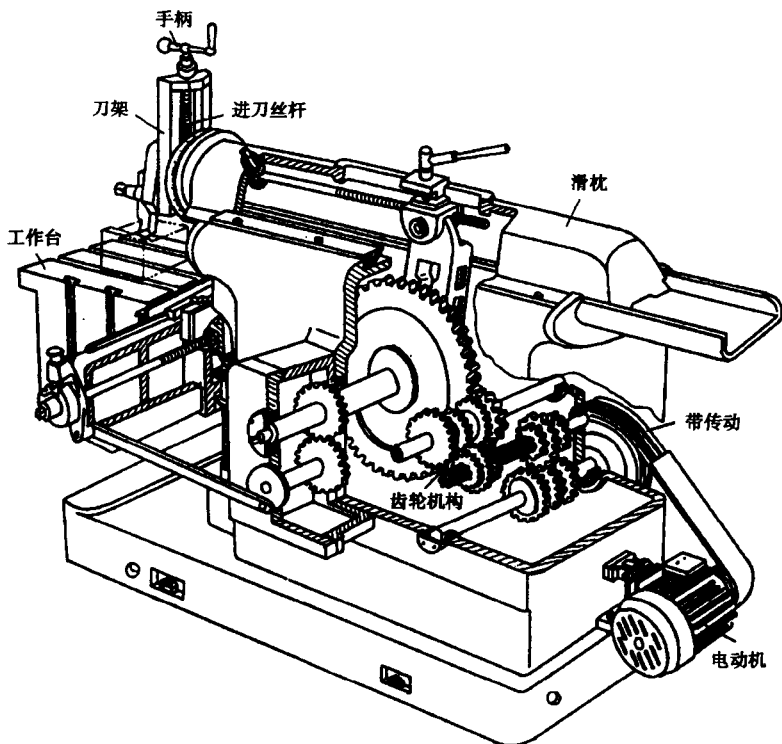


图 0-1 牛头刨床结构示意图

传给大齿轮。大齿轮的转动通过销钉带着滑块在导杆槽中上下滑行,迫使导杆绕摇块摆

动,从而推动滑枕前后移动。固装在刀架上的刀具随之往复直线运动,实现对工件的加工。在这里,整台机器的机械能量由电动机提供,电动机是机器的动力来源,称为原动部分。刀架带着刨刀对工件进行切削,直接完成生产任务,称为执行部分。原动部分的动力和运动要经过一系列的中间装置才传到执行部分,这些中间装置统称为传动部分。

又例如内燃机车,是由内燃机提供动力,经各种中间传动装置使驱动轮转动,由驱动轮将得到的扭矩转化成轨道给轮子的牵引力以推动机车运动。在这里,内燃机是原动部分,驱动轮是执行部分,两者之间的各种传动装置统称为传动部分。

由此可见,一台机器一般由原动部分、传动部分和执行部分组成。

原动部分一般输出回转运动和扭矩。执行部分则应按生产工艺所需要的运动规律和方式作确定的运动。这样一来,就要求传动部分能够把原动部分的转动转变成执行部分所需的运动,也就是要求传动部分能够改变运动的规律或转换运动的形式。为此,我们引入机构的概念,以便于研究传动部分各组成装置的结构和特性。例如牛头刨床中,电动机轴上有带轮,齿轮轴上也有带轮,通过传动带就把电动机的转动传给了齿轮轴,这里的两个带轮和传动带就组成了带传动机构。一对啮合的齿轮就组成了齿轮机构。能实现导杆往复摇动的装置,齿轮、导杆、滑块和固定的支架一起组成了连杆机构。

上述几种机构尽管结构、性能、作用各有不同,但都具有如下两个共同特性:

- (1)它们都是由若干构件组合而成;
- (2)各构件之间具有确定的相对运动。

这里所说的构件可以是单一的整体,也可以是由几个零件组成的没有相对运动的刚性构件。零件是生产完成后不能再分拆的独立单元。构件和零件的区别在于前者是运动单元,后者是生产制造单元。

第二节 本课程的性质和研究对象及基本要求

一、本课程的性质和研究对象

机械工程学是最基本的技术科学之一,机械设计学又是机械工程学的基础。因此,工程技术人员掌握一定的机械设计知识是很有必要的。

《机械设计基础》是一门培养学生具有一定机械设计能力的技术基础课程。本课程研究的对象是机械,内容包括常用机构和通用零件两大部分。常用机构是指常见于机器中的机构,如连杆机构、齿轮机构、带传动机构等。通用零件是指在各种机器中普遍使用的零件,如螺钉、弹簧、齿轮、轴、轴承等。从庞然大物的航空客机到小巧玲珑的袖珍式机械手表,从精度要求极高的导航仪表到精度要求较低的玩具汽车等,它们所采用的机构和零件虽然在尺寸、形状、工作条件等方面均有很大的差异,但是其工作原理、运动特点、设计计算的基本理论和方法都是类同的。

在本课程的教学中将综合运用工程力学、材料学、公差与技术测量、机械制图等知识,建立机械设计的一些基本理论和方法,并结合练习题和课程设计进行必要的基本训练。

二、课程的基本要求

(1)熟悉常用机构的构造、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,具备对一般机构的特性和零件常见失效原因进行分析,解决生产实际中有关机械零件、部件结构等方面问题的能力,为学习有关专业机械设备课程以及参与技术改造奠定必要的基础。

第一章 平面机构及其运动简图

第一节 平面运动副

一、平面运动构件的自由度

平面机构是指组成机构的各个构件均平行于同一固定平面运动。组成平面机构的构件称为平面运动构件。

两个构件用不同的方式连接起来,显然会得到不同形式的相对运动,如转动或移动。

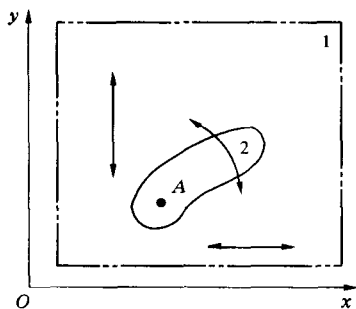


图 1-1 自由构件

为便于进一步分析两构件之间的相对运动关系,引入自由度和约束的概念。如图 1-1 所示,假设有一个构件 2,当它尚未与其他构件连接之前,我们称之为自由构件,它可以产生 3 个独立运动,即沿 x 方向的移动、沿 y 方向的移动以及绕任意点 A 的转动,构件的这种独立运动称为自由度。可见,作平面运动的构件有 3 个自由度。如果我们将硬纸片(构件 2)用钉子钉在桌面(构件 1)上,硬纸片就无法作独立的沿 x 或 y 方向的运动,只能绕钉子转动。这种两构件只能作相对转动的连接称为铰接。对构件某一个独立运动的限制称为约束条件,每加一个约束条件构件就失去一个自由度。

二、运动副的概念

机构是具有确定相对运动的若干构件组成的,组成机构的构件必然相互约束,相邻两构件之间必定以一定的方式连接起来并实现确定的相对运动。这种两个构件之间的可动连接称为运动副。例如两个构件铰接成运动副后,两构件就只能绕轴在同一平面内作相对转动,称为转动副,见图 1-2(a)、(b)所示。又如图 1-2(d)所示,一根四棱柱体 1 穿入另一构件 2 大小合适的方孔内,两构件就只能沿轴线 x 作相对移动,称之为移动副,图 1-2(c)所示为车床刀架与导轨构成的移动副。我们日常所见的门窗活叶、折叠椅等均为转动副,推拉门、导轨式抽屉等为移动副。

三、运动副的分类

两构件只能在同一平面作相对运动的运动副称为平面运动副。构成运动副的点、线或面称为运动副元素,根据运动副元素的不同,平面运动副可分为低副和高副。

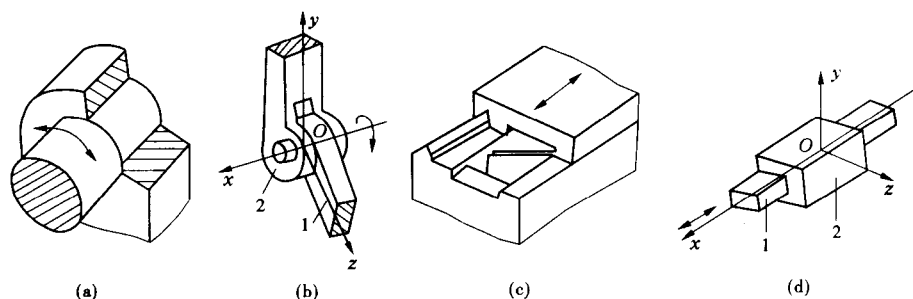


图 1-2 平面低副

1. 低副

两构件之间通过面与面接触而组成的运动副称为低副。两构件组成低副时引入了两个约束条件,也就失去 2 个自由度,只剩下 1 个自由度,即移动或转动。因此,低副又可分为移动副和转动副,如图 1-2 所示。

2. 高副

两构件以点或线的形式相接触而组成的运动副称为高副。例如图 1-3(a)所示的火车轮子 1 与钢轨 2,图 1-3(b)所示的凸轮机构的凸轮 1 与从动件 2,图 1-3(c)所示的两相互啮合的轮齿等,分别组成了高副。两构件组成平面高副时,只引入 1 个约束条件。

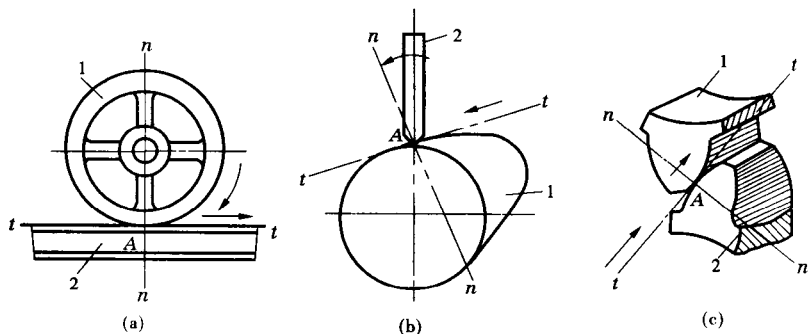


图 1-3 平面高副

四、运动链和机构

1. 运动链

若干构件通过运动副连接构成的系统称为运动链。各构件构成封闭形式的运动链称为闭式运动链,简称闭链,如图 1-4(a)所示;各构件不能构成封闭形式的运动链称为开式运动链,简称开链,如图 1-4(b)所示。

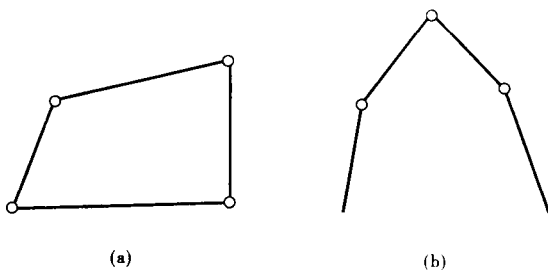


图 1-4 闭链和开链

2. 机构

如果将运动链中的一个构件固定,并使另一个或几个构件按给定的规律运动,而且其

余构件都能随之作确定的相对运动,则这种运动链就成为机构。通常将被固定的构件称为机架,将按给定规律运动的构件称为原动件,其余构件称为从动件。

第二节 平面机构的运动简图

一、机构运动简图的概念

在研究机构运动特性时,为了使问题简化,只考虑与运动有关的运动副的数目、类型及相对位置,不考虑构件和运动副的实际结构和材料等与运动无关的因素。用简单线条和规定符号表示构件和运动副的类型,并按一定的比例确定运动副的相对位置及与运动有关的尺寸,这种表示机构组成和各构件间运动关系的简单图形,称为机构运动简图。

只是为了表示机构的结构组成及运动原理而不严格按比例绘制的机构运动简图,称为机构示意图。

二、平面机构运动简图的绘制

绘制平面机构运动简图可按以下步骤进行:

(1)观察机构的运动情况,分析机构的具体组成,确定机架、原动件和从动件。机架即固定件,任何一个机构中必定只有一个构件为机架;原动件也称主动件,即运动规律为已知的构件,通常是驱动力所作用的构件;从动件中还有工作构件和其他构件之分,工作构件是指直接执行生产任务或最后输出运动的构件。

(2)由原动件开始,根据相连两构件间的相对运动性质和运动副元素情况,确定运动副的类型和数目。

(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 ,按照各运动副间的距离和相对位置,以与机构运动平面平行的平面为投影面,用规定的线条和符号绘图。

$$\mu_l = \frac{\text{实际尺寸(m)}}{\text{图样尺寸(mm)}} \quad (1-1)$$

常用构件和运动副的简图符号在国家标准 GB4460—84 中已有规定,表 1-1 给出了最常用的构件和运动副的简图符号。

【例 1-1】 图 1-5(a)所示为牛头刨床执行机构的结构示意图。已知滑枕 6 的导轨高 $l_h = 1\,000\text{ mm}$,大齿轮 2 的中心高 $l_{h1} = 540\text{ mm}$,滑块销 3 的回转半径 $r_x = 240\text{ mm}$,试绘制机构运动简图。

解:(1)机构分析。牛头刨床执行机构由大齿轮 2、机架 7、滑块 3、导杆 4、摇块 5 和滑枕 6 共 6 个构件组成,转动的大齿轮为原动件,移动的滑枕 6 为工作构件。

(2)确定运动副类型。原动件大齿轮 2 用轴通过轴承与机架 7 铰接成转动副 z_1 ;滑块 3 通过销子与大齿轮铰接成转动副 z_2 ;滑块 3 与导杆 4 用导轨连接为面接触成移动副 Y_1 ;摇块 5 与机架铰接成转动副 z_3 ;摇块 5 与导杆 4 用导轨连接,成移动副 Y_2 ;导杆 4 与滑枕 6 铰接成转动副 z_4 ;滑枕 6 与机架 7 用导轨连接以面接触成移动副 Y_3 。这里有 4 个转动副和 3 个移动副共 7 个运动副。

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	
构件	三副元素 构件 	机架是转动副的一部分	
		机架是移动副的一部分	
构件的永久连接		平面高副	
平面低副	转动副	齿轮副	
	移动副	外啮合	
		内啮合	
		凸轮副	

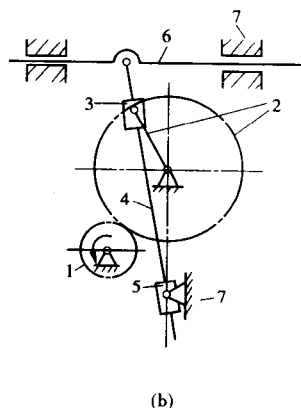
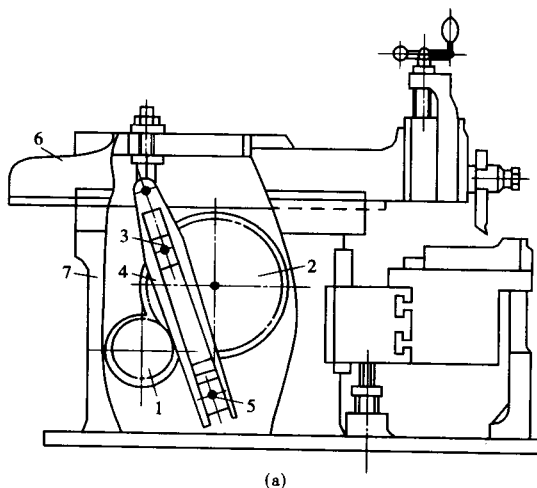


图 1-5 牛头刨床主体运动机构

(3) 计算长度比例和图示长度。设图样最大尺寸为60 mm, 则长度比例尺

$$\mu_l = l_h/60 = 1\,000\text{ mm}/60\text{ mm} = 16.7 \approx 20 = 0.02\text{ m/mm}$$

$$h = l_h/\mu_l = 1/0.02 = 50\text{ mm}$$

$$h_1 = l_{h1}/\mu_l = 0.54/0.02 = 27\text{ mm}$$

$$r = l_r/\mu_l = 0.24/0.02 = 12\text{ mm}$$

(4)绘制机构运动简图。①按各运动副间的图示距离和相对位置,选择适当的瞬时位置,用规定的符号表示各运动副;②用直线将同一构件上的运动副连接起来,并标上件号、铰点名和原动件的运动方向,即得所求的机构运动简图,如图 1-5(b)所示。

【例 1-2】 图 1-6(a)为反铲挖掘机工作装置的结构简图,已知 $AC = 1.8\text{ m}$ 、 $AF = 3.3\text{ m}$ 、 $CF = 1.7\text{ m}$ 、 $FI = 1.4\text{ m}$,请画出它的运动示意图。

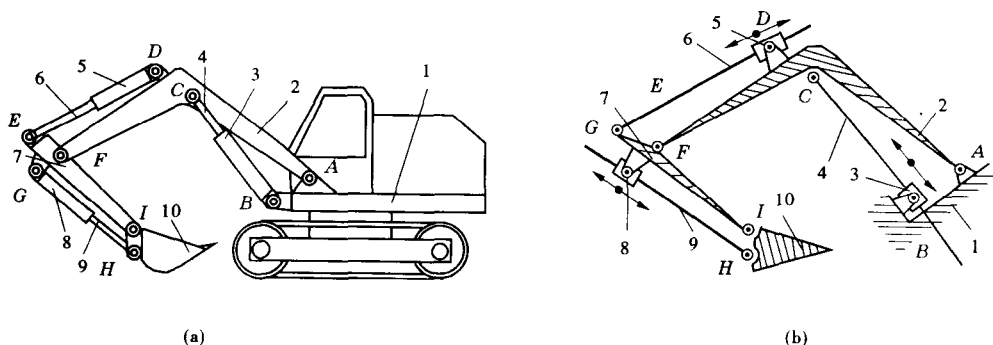


图 1-6 反铲液压挖掘机工作装置

解:(1)机构分析。机构由转台 1、动臂 2、动臂缸筒 3 及活塞杆 4、斗杆缸筒 5 及活塞杆 6、斗杆 7、转斗缸筒 8 及活塞杆 9、铲斗 10 共 10 个构件组成。三个液压缸为原动件,分别驱动动臂 2 绕 A 点转动,斗杆 7 绕 F 点转动,铲斗 10 绕 I 点转动。铲斗 10 为工作构件。

(2)确定运动副类型。有 A、B、C、D、E、F、G、H、I 共 9 个转动副,三个液压缸构成 3 个移动副。

(3)计算长度比例和图示长度。设图样最大尺寸为 60 mm,则长度比例尺 $\mu_l = l_{\max}/60 = (3.3 + 1.4)/60 \approx 0.08\text{ (m/mm)}$

$$L_{AF} = 3.3/0.08 \approx 41\text{ (mm)}$$

$$L_{AC} = 1.8/0.08 \approx 22.5\text{ (mm)}$$

$$L_{CF} = 1.7/0.08 \approx 21\text{ (mm)}$$

$$L_{FI} = 1.4/0.08 \approx 17.5\text{ (mm)}$$

(4)绘制机构运动简图。①按各运动副间的图示距离和相对位置,选择适当的瞬时位置,用规定的符号表示各运动副;②用直线将同一构件上的运动副连接起来,并标上件号、铰点名和原动件的运动方向,即得所求的机构运动简图,如图 1-6(b)所示。

第三节 平面机构的自由度

一、平面机构自由度的计算

机构相对于机架所具有的独立运动数目,称为机构的自由度。

设一个平面机构由 N 个构件组成,其中必定有 1 个构件为机架,其活动构件数为 $n = N - 1$ 。这些构件在未组合成运动副之前共有 $3 \times n$ 个自由度,在连接成运动副之后便引入了约束,减少了自由度。设机构共有 P_L 个低副、 P_H 个高副,因为在平面机构中每个低副和高副分别限制 2 个和 1 个自由度,故平面机构的自由度为

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

例如牛头刨床执行机构共有 6 个构件组成 7 个低副和 0 个高副,活动构件 $n = 5$,则该机构的自由度为 $F = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$ 。

又例如挖掘机工作装置,共有 10 个构件,活动构件为 $n = 9$ 个,连接成 9 个转动副、3 个移动副,则该机构的自由度为 $F_w = 3 \times 9 - 2 \times 12 = 3$ 。

在计算平面机构的自由度时,应注意如下三种特殊情况。

(一) 复合铰链

三个或更多的构件在同一处连接成同轴线的 2 个或更多个转动副,就构成了复合铰链,计算自由度时应按 2 个或更多个转动副计算。图 1-7(a)所示为一个六构件机构,其中构件 6 为机架,构件 1 为原动件。请注意 B 点处是由 2、3、4 三构件构成的两个同轴转动副,如图 1-7(b)所示。其中,构件 4 与构件 2 铰接构成转动副 Z_{42} 、与构件 3 铰接构成转动副 Z_{43} ,两转动副均绕轴线 B 转动。这个复合铰链计算自由度时应按 2 个转动副计算。如果有 m 个构件以复合铰链相连接,则构成的转动副数目应为 $(m - 1)$ 个。在计算机构自由度时,应注意分析是否存在复合铰链。

(二) 局部自由度

在有的机构中为了其他一些非运动的原因,设置了附加构件,这种附加构件的运动是完全独立的,对整个构件的运动毫无影响,我们把这种独立运动称为局部自由度。在计算机构自由度时局部自由度应略去不计。

如图 1-8(a)所示为凸轮机构,随着主动件凸轮 1 的顺时针转动,从动件 2 作上下往复运动。为了减少摩擦和磨损,在凸轮 1 和从动杆 2 之间加入滚子 3,应该注意到无论滚子

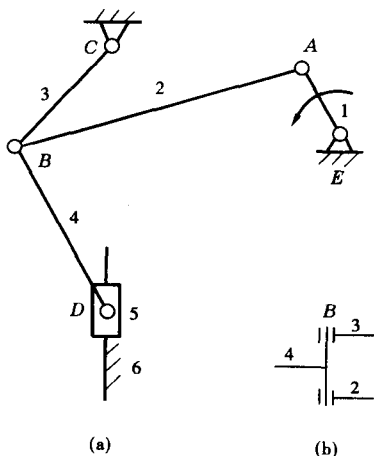


图 1-7 复合铰链

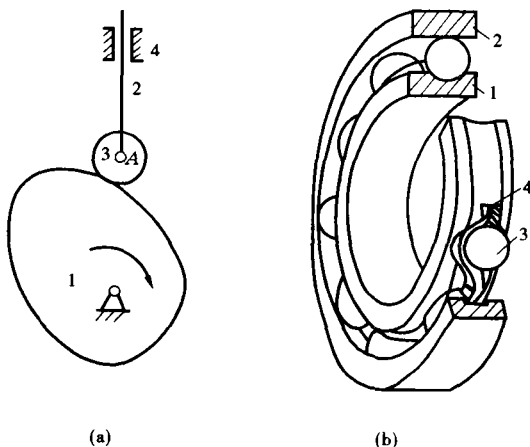


图 1-8 局部自由度

3 是否绕 A 点转动,都不改变从动杆 2 的运动,因而滚子 3 绕 A 点的转动属于局部自由度,计算机构自由度时应将滚子和从动杆看成一个构件。又如图 1-8(b)所示为滚动轴承的结构示意图,为减少摩擦,在轴承的内外圈之间加入了滚动体 3,但是滚动体是否滚动对轴的运动毫无影响,滚动体的滚动属于局部自由度,计算机构自由度时可将内圈 1、外圈 2、滚动体 3 看成一个整体。

(三)虚约束

指机构中与其他约束重复,对机构不产生新的约束作用的约束。计算机构自由度时应将虚约束除去不计。虚约束经常出现的场合有:

(1)两构件间形成多处具有相同作用的运动副。如图 1-9(a)所示,轮轴 2 与机架 1 在 A、B 两处形成转动副,其实两个构件只能构成一个运动副,这里应按一个运动副计算自由度。又如图 1-9(b)所示,在液压缸的缸筒与活塞、缸盖与活塞杆两处构成移动副,实际上缸筒与缸盖、活塞与活塞杆是两两固连的,只有两个构件而并非四个构件,此两个构件也只能构成一个移动副。

(2)两构件上连接点的运动轨迹重合。例如图 1-10 所示是火车头驱动轮联动装置示意图,它形成一个平行五边形机构,其中构件 EF 存在与否并不影响平行四边形 ABCD 的运动。进一步可以肯定地说,三构件 AB、CD、EF 中缺省其中任意一个,均对余下的机构运动不产生影响,实际上是因为此三构件的动端点的运动轨迹均与构件 BC 上对应点的运动轨迹重合。应该指出,AB、CD、EF 三构件是互相平行的,否则就形成不了虚约束,机构就出现过约束而不能运动。

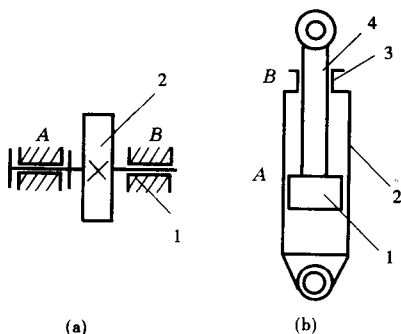


图 1-9 两构件间形成多处运动副的虚约束

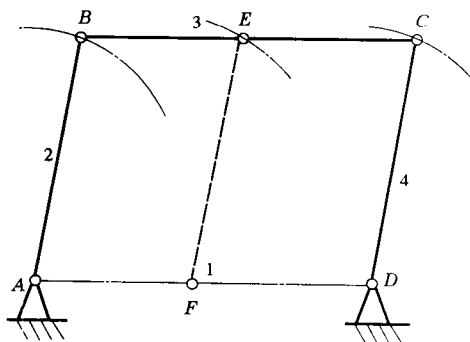


图 1-10 两构件上连接点运动轨迹重合

(3)机构中具有对运动起相同作用的对称部分。如图 1-11 所示为一对称的齿轮减速装置,从运动的角度看,运动由齿轮 1 输入,只要经齿轮 2、3 就可以从齿轮 4 输出了。但是为使输入输出轴免受径向力,即从力学的角度考虑,加入了齿轮 6、7。未引入对称结构时,机构由 4 个构件、3 个转动副、2 个高副组成,自由度为

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

引入对称结构后,如果不将虚约束去掉,则机构由 5 个构件、4 个转动副、4 个高副组成,自由度为

$$F = 3 \times (5 - 1) - 4 \times 2 - 4 = 0$$