



21 世纪高等学校机电类规划教材

JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI

机械 设计基础

- ◆ 魏春梅 魏兵 主编
- ◆ 左惟炜 汤亮 赵迪 副主编



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等学校机电

JIDIANL

22
550

目次

人：京机——编：魏春梅、魏兵、左惟炜、汤亮、赵迪
民邮电出版社，2018.8
31 世纪高等学校教材
ISBN 978-7-115-45101-3

1. ①机械②机械③机械④机械⑤机械⑥机械⑦机械⑧机械⑨机械⑩机械⑪机械⑫机械⑬机械⑭机械⑮机械⑯机械⑰机械⑱机械⑲机械⑳机械㉑机械㉒机械㉓机械㉔机械㉕机械㉖机械㉗机械㉘机械㉙机械㉚机械㉛机械㉜机械㉝机械㉞机械㉟机械㊱机械㊲机械㊳机械㊴机械㊵机械㊶机械㊷机械㊸机械㊹机械㊺机械㊻机械㊼机械㊽机械㊾机械㊿机械

中国标准书号：155103 第 00407 号

机械 设计基础

要 容 内

- ◆ 魏春梅 魏兵 主编
- ◆ 左惟炜 汤亮 赵迪 副主编

编 者：魏春梅、魏兵、左惟炜、汤亮、赵迪

副 编 者：左惟炜、汤亮、赵迪

责任编辑：左惟炜、汤亮、赵迪

人民邮电出版社北京市丰台区右安门内大街 26 号

邮编：100064 电话：010-88379616

网址：www.ptpress.com.cn

中国标准书号：155103 第 00407 号

ISBN 978-7-115-45101-3

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计基础 / 魏春梅, 魏兵主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2016.6
21世纪高等学校机电类规划教材
ISBN 978-7-115-42104-3

I. ①机… II. ①魏… ②魏… 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(2016)第064047号

内 容 提 要

本书从培养高质量应用型人才要求出发, 将“机械设计”“工程力学”“互换性与技术测量”“工程材料”等课程的内容进行整合, 以理论上够用、篇幅上适用为原则, 探索案例式教学法, 以实际案例来讲述机械设计领域相关知识。

本书针对工科院校开设的机械基础类课程而编写, 全书内容共分为12章, 从认识机器入手, 分析机器的组成, 介绍机械设计中常用材料的选用原则以及机械零件结构设计的基本要求和方法。本书第1章和第2章介绍工程力学的相关知识; 第3章介绍零件精度设计的相关内容; 第4章、第5章和第6章介绍平面连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等常用机构; 第7章和第8章介绍带传动、链传动和齿轮传动等机械传动应用及其设计; 第9章介绍轮系的传动比及其计算; 第10章介绍螺纹、键和销等常用连接的相关内容; 第11章和第12章介绍轴、轴承、联轴器、轴系结构的设计计算。另外, 本书每章开头提供了该章的重点学习内容, 并附有思考与习题供读者课后学习。

本书可作为高等院校非机械类专业“机械设计基础”课程的教材, 也可作为相关工程技术人员的参考书。

◆ 主 编 魏春梅 魏 兵

副 主 编 左惟炜 汤 亮 赵 迪

责任编辑 税梦玲

责任印制 杨林杰

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

中国铁道出版社印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.25

2016年6月第1版

字数: 408千字

2016年6月北京第1次印刷

定价: 45.00元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第8052号

为满足工程实际的需要,电气信息类、近机类等非机械类专业的学生必须具备一定的机械基础知识,这已被长期的工程实践所证实,并已成为教育界和产业界的共识。

随着科学技术的迅猛发展,各学科之间的交叉、融合,以及信息、互联网技术的普及和广泛应用等,都对学生的基本素质提出了更高的要求,要求学生学得更活、知识面更宽。显然,传统的课程及学分累加式的教学模式已不能适应新时期高素质人才的需要。在这样的形势下,进行教学改革很有必要,让教、学双方用更少的学时数,教、学更多的知识。“机械设计基础”课程是将“工程力学”“工程材料”“互换性原理”“机械原理”和“机械设计”等多门机械课程的内容,经统筹融合、有机结合而成的一门综合性的技术基础课程,具有较强的综合性和实践性。通过对该课程的学习,可以大幅度减少教学学时数,也可拓宽学生的知识面,培养学生适应工程实践的能力,使学生具有对一般机械设备进行分析、维护、改进的基本能力。

本书共 12 章,整个理论体系突出了以机械系统设计为主线的基本主导思想,打破了原有各门机械课程的界线,贯彻“少而精”的原则,并紧密结合工程实际,有利于培养学生的学习兴趣和工程意识。

本书由湖北工业大学的魏春梅、魏兵担任主编,并负责全书的统稿工作,由左惟炜、汤亮、赵迪担任副主编。另外,参与本书编写的还有邓援超、谢卫容、蒋小盼、周俊荣、任军,在此表示感谢。在本书的编写过程中,作者参阅了其他版本同类教材、相关的技术标准和文献资料等,因篇幅所限,书后未能将所有参考文献一一列出,谨在此对其编著者表示衷心的感谢!

编者

2016 年 1 月

绪论	1	3.2 公差与配合的基本术语及定义	57
0.1 机器的组成和本课程研究的内容	2	3.3 公差与配合国家标准	62
0.2 平面机构的自由度	4	3.4 几何公差	64
0.3 机械零件的常用材料和钢的 热处理	12	3.5 表面粗糙度	68
0.4 机械零件的结构工艺性	15	思考与习题	72
思考与习题	19	第4章 平面连杆机构	74
第1章 零件的受力分析和计算	21	4.1 平面四杆机构的基本类型及 应用	74
1.1 静力学的基本概念	21	4.2 平面四杆机构的基本特性	79
1.2 静力学公理	22	4.3 平面四杆机构的设计	82
1.3 物体的受力分析和受力图	24	思考与习题	85
1.4 平面汇交力系	28	第5章 凸轮机构	86
1.5 力偶和平面力偶系	30	5.1 凸轮机构的应用及类型	86
1.6 平面一般力系	33	5.2 从动件的常用运动规律	88
思考与习题	36	5.3 图解法设计凸轮轮廓	93
第2章 零件的失效分析与计算	39	5.4 凸轮轮廓设计中应注意的问题	95
2.1 基本概念	39	思考与习题	97
2.2 轴向拉伸与压缩强度	43	第6章 间歇运动机构	98
2.3 剪切与挤压强度	44	6.1 棘轮机构	98
2.4 扭转强度	45	6.2 槽轮机构	102
2.5 弯曲强度	47	6.3 不完全齿轮机构	104
2.6 接触强度	51	思考与习题	105
2.7 耐磨计算	52	第7章 带传动和链传动	106
2.8 疲劳强度	53	7.1 带传动的类型、应用和特点	106
思考与习题	53	7.2 带与带轮	108
第3章 零件的精度设计	56	7.3 带传动的工作情况分析	111
3.1 互换性的基本概念	56		

7.4 带传动的设计计算与实例分析	115	9.3 周转轮系及其传动比	179
7.5 V 带传动的张紧、正确安装与维护	123	9.4 复合轮系的传动比	182
7.6 同步带传动简介	125	9.5 轮系的功用	183
7.7 链传动的特点和应用	126	思考与习题	186
7.8 链条和链轮	127	第 10 章 连接	187
7.9 链传动的工作情况分析	130	10.1 螺纹连接	188
7.10 滚子链传动的设计计算与实例分析	132	10.2 键连接和花键连接	196
7.11 链传动的合理布置和润滑	137	10.3 销连接	199
思考与习题	138	10.4 无键连接	201
第 8 章 齿轮传动	139	思考与习题	202
8.1 齿轮传动的特点和分类	139	第 11 章 轴与联轴器	204
8.2 渐开线及渐开线直齿圆柱齿轮	141	11.1 轴的功用及类型	204
8.3 渐开线直齿圆柱齿轮正确啮合和连续传动的条件	146	11.2 轴的结构设计	207
8.4 渐开线齿廓的加工	148	11.3 轴的强度计算	211
8.5 齿轮传动的失效形式、设计准则和常用材料	151	11.4 轴设计的实例分析	212
8.6 直齿圆柱齿轮传动的强度计算与实例分析	154	11.5 联轴器	217
8.7 平行轴斜齿轮传动	161	思考与习题	222
8.8 直齿圆锥齿轮机构	168	第 12 章 轴承	224
8.9 齿轮的结构设计	171	12.1 滑动轴承的类型、结构和材料	224
8.10 齿轮传动的润滑和效率	172	12.2 非液体摩擦滑动轴承的计算	231
思考与习题	173	12.3 液体摩擦滑动轴承简介	233
第 9 章 轮系及其设计	175	12.4 滚动轴承的类型和代号	234
9.1 轮系的类型	175	12.5 滚动轴承的寿命及选择计算	238
9.2 定轴轮系及其传动比	176	12.6 滚动轴承的组合设计	244
		12.7 滚动轴承的设计计算与实例分析	249
		思考与习题	250
		参考文献	253

重点学习内容

1. 零件、构件、机构、机器、机械等概念的含义。
2. 本课程的研究内容。
3. 平面运动副的定义、分类及其表示方法。
4. 平面机构自由度的计算及其运动确定的条件。
5. 常用材料的类型及选用原则。
6. 机械零件结构设计的基本要求。

在人们的日常生活和生产中广泛使用着不同类型、用途各异的机器，如汽车、电风扇、洗衣机、电动机、起重机、机床、钟表等。使用机器进行生产的水平已经成为衡量一个国家的技术水平和现代化程度的标志之一。

近代机械的发展是以蒸汽机的发明和广泛应用为基础的，这使人类从手工生产进入到机械化生产的时代。

在我国，机械的发明和使用在夏商时代已经有了记录；东汉时期，张衡利用杠杆原理制造了世界第一台地震仪；杜诗发明了用水作动力，带动水盘运转从而驱动风箱炼铁的连杆机械装置，如图 0-1 所示，这已经具备了现代机械的雏形；此外还有西汉时期带有齿轮机构的指南车、元朝时期的纺织机械等。

从 20 世纪中期开始，随着电子、计算机、原子能、通信等技术的飞速发展，大量的新机器也从传统的纯机械系统发展成为光、机、电一体化的机械设备。机械设计、制造手段也都发生了巨大变化，计算机以及数字和通信技术被广泛运用在现代机械设计和制造过程中。更加科学合理的设计方法不断出现，机电关系越来越密切，中间传动装置大为简化和取消，机械产品向着高速、精密、重载、智能等方向发展。

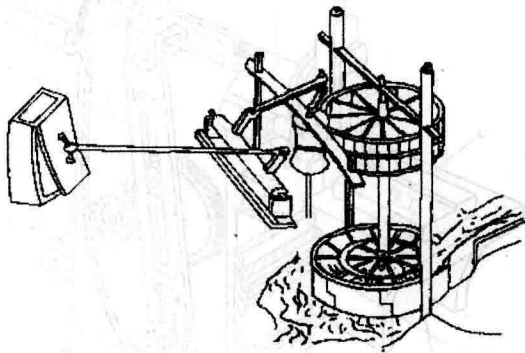


图 0-1 驱动风箱炼铁的连杆机械装置

0.1 机器的组成和本课程研究的内容

图 0-2 所示为一台单缸四冲程内燃机，它是汽车、飞机、轮船、装载机等各种机械最常用的动力装置。它是由汽缸体（机架）1、曲轴 2、连杆 3、活塞 4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮 8、齿轮 9 及齿轮 10 等组成。燃气燃烧后膨胀，推动活塞往复运动，通过连杆使曲轴连续转动。凸轮和顶杆是用来按一定的运动规律启闭进气阀和排气阀的。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次，曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样，当燃气推动活塞运动时，各实体协调地动作，进、排气阀有规律地启闭，加上汽化、点火等装置的配合，就把燃气燃烧产生的热能转换为曲轴转动的机械能。

由此，我们知道，内燃机有以下 3 个部分。

(1) 原动部分：该部分是通过火花塞点火，使燃气燃烧产生推动活塞的压力，将燃气燃烧时产生的热能转变为机械能的部分。

(2) 主运动传动部分：该部分是将活塞的往复移动转换成曲轴的连续转动，从而输出并传递能量（力和运动）的部分。

(3) 协调控制部分：该部分是使进气阀门和排气阀门定时开闭和适时点火的部分。

图 0-3 所示为牛头刨床，它由电动机 1、小齿轮 2、大齿轮 3、滑块 4、杆 5、滑块 6、牛头 7、刀架 8、工作台 9、螺杆 10 和床身 11 组成。电动机 1 的旋转运动通过皮带传动，使小齿轮 2 带动大齿轮 3 转动（同时传力）；大齿轮 3 上用销子铰接了一个滑块 4，它可在杆 5 的槽中滑动，杆 5 下端的槽中有一个与机架 11 铰接的滑块 6，当大齿轮 3 上的销子做圆周运动时，滑块 4 在杆 5 的槽中滑动，同时推动杆 5 绕滑块 6 的中心做往复摆动；杆 5 的上端用销子和牛头 7 铰接，推动牛头 7 在刨床床身的导轨中往复滑动；牛头 7 上装有刀架 8，牛头在工作行程中切削工件，回程时，刀架稍抬起后与牛头一起快速退回；在再次切削行程前，齿轮 3 通过连杆和棘轮（图 0-3 中未画处）及螺杆 10 使工作台 9（工件）横向移动一个进刀的距离，以进行下一次切削。由此可知牛头刨床也有 3 个部分。

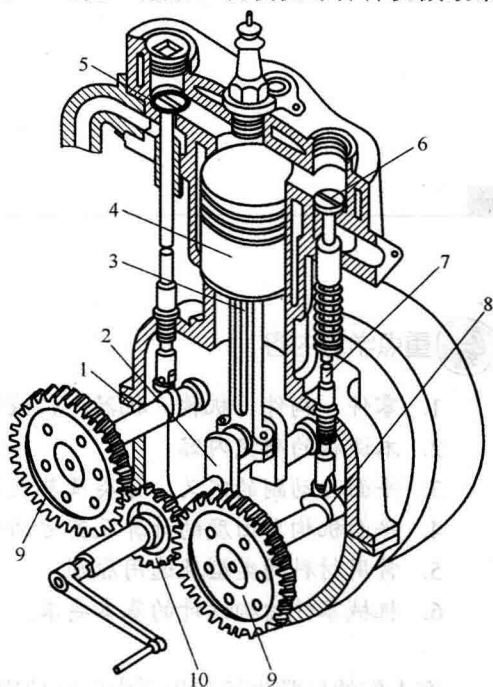


图 0-2 单缸四冲程内燃机

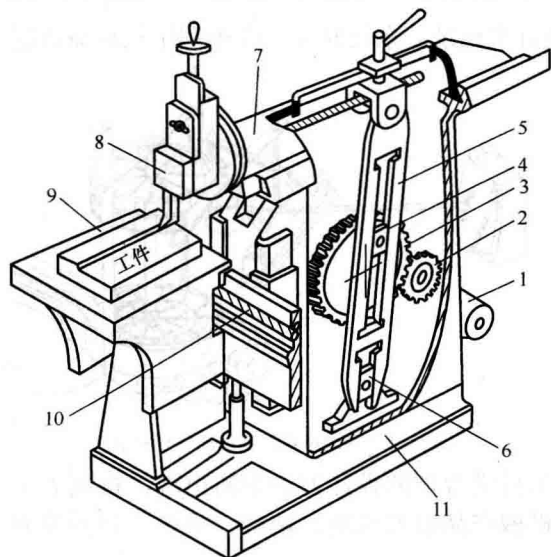


图 0-3 牛头刨床

电动机 1 的旋转运动通过皮带传动，使小齿轮 2 带动大齿轮 3 转动（同时传力）；大齿轮 3 上用销子铰接了一个滑块 4，它可在杆 5 的槽中滑动，杆 5 下端的槽中有一个与机架 11 铰接的滑块 6，当大齿轮 3 上的销子做圆周运动时，滑块 4 在杆 5 的槽中滑动，同时推动杆 5 绕滑块 6 的中心做往复摆动；杆 5 的上端用销子和牛头 7 铰接，推动牛头 7 在刨床床身的导轨中往复滑动；牛头 7 上装有刀架 8，牛头在工作行程中切削工件，回程时，刀架稍抬起后与牛头一起快速退回；在再次切削行程前，齿轮 3 通过连杆和棘轮（图 0-3 中未画处）及螺杆 10 使工作台 9（工件）横向移动一个进刀的距离，以进行下一次切削。由此可知牛头刨床也有 3 个部分。

(1) 原动部分：电动机将电能转化为机

械能。

(2) 主运动传动部分：电动机的转动变为牛头的往复移动。

(3) 协调控制部分：齿轮转动变为工作台适时的间歇运动。

以上两台机器都是由原动部分、主运动传动部分和协调控制部分组成的，虽然它们的构造、用途和性能各不相同，但从其组成、运动确定性以及功能关系来看，均具有以下共同的特征。

(1) 它们都是人为的实物组合体。

(2) 各实体之间具有确定的相对运动。

(3) 能够用来变换或传递能量、物料与信息。

所以，同时具有以上三个特征的实物组合体就称为机器。国家标准对机器的定义为：机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料与信息。

根据用途的不同，机器一般可以分为动力机器、工作机器和信息机器三类。

动力机器的功用是实现机械能和其他形式的能量之间的转换。例如，内燃机、压气机、涡轮机、电动机、发电机等都属于动力机器。

工作机器的功用是完成有用的机械功或搬运物品。例如，各种机床、轧钢机、汽车、飞机、起重机、洗衣机等都属于工作机器。

信息机器的功用是完成信息的传递和变换。例如，复印机、打印机、绘图机、传真机、照相机等都属于信息机器。

进一步分析以上两个实例，可以看出，各个实物组合体具有确定的相对运动是它们成为机器的基本要求。在机器的各种运动中，有些是传递回转运动的（如齿轮传动、链传动等）；有些是把转动变为往复移动的；有些是利用实物本身的轮廓曲线实现预期运动规律的。在工程实际中，人们常常根据实现这些运动形式的实物的外形特点，把相应的一些实物的组合称为机构。如图 0-2 所示，2-3-4-1 称为曲柄滑块机构，它在内燃机中的运动功能是将滑块 4 的往复移动变换为曲柄 2 的连续转动；9-10-1 称为齿轮机构，其功能是实现转速的变化，即齿轮 10 每转两圈，齿轮 9 转一圈；7-8-1 称为凸轮机构，它是将凸轮 8 的旋转运动变换为推杆 7 的往复移动，且推杆在凸轮廓线的控制下实现预期的运动规律。

由此可以看出，机构具有机器的前两个特征。

(1) 它们都是人为的实物组合体。

(2) 各实体之间具有确定的相对运动。

通过以上分析可知，机器是由各种各样的机构组成的，它可以完成能量转换、做有用功或处理信息；而机构则是机器的运动部分，机构在机器中仅仅起着运动传递和运动形式转换的作用。

一部机器可能是多种机构的组合体，例如上述的内燃机和牛头刨床，就是由齿轮机构、凸轮机构和连杆机构等组合而成的；一部机器也可能只含有一个最简单的机构，例如人们所熟悉的发电机，就只含有一个由定子和转子所组成的基本机构。

从实现运动的结构组成观点来看，机构和机器之间并无区别。因此，人们常用“机械”作为机器和机构的总称。而组成机械的相对运动单元称为构件，机械中不可拆卸的制造单元称为零件。构件可以是单一的零件，如图 0-2 中的曲轴 2；也可以是由几个零件组成的刚性结构，如图 0-4 所示的内燃机的连杆。构件与零件的区别在于：构件是机器的运动单元，而零件则是机器的制造单元。

各种机械中普遍使用的机构称为常用机构,如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、步进传动机构等。

各种机械中普遍使用的零件称为通用零件,如螺钉、轴、轴承、齿轮、弹簧等。只在某一类型机器中使用的零件称为专用零件,如内燃机的活塞、曲轴,汽轮机的叶片等。

机械设计基础是一门综合性质的技术基础课。本课程主要阐述一般机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计理论和设计方法,同时扼要地介绍与本课程有关的国家标准和规范。

通过本课程的学习,可使学生获得认识、使用和维护机械设备的一些基本知识;并培养学生初步具有运用手册设计简单机械传动装置的能力,为今后的技术改造和技术革新创造条件,并为学习有关专业机械设备课程奠定必要的基础。

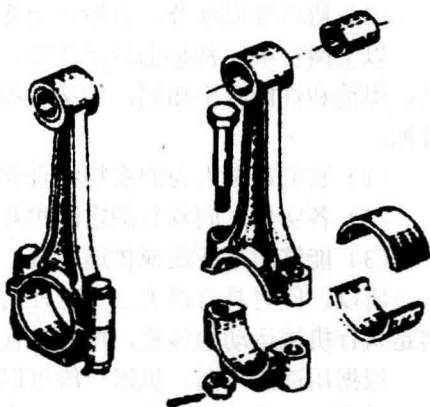


图 0-4 连杆

0.2 平面机构的自由度

1. 运动副的分类及其表示方法

机构是由构件组成的,而机构最主要的特征是各构件之间具有确定的相对运动。这就要求组成机构的各构件必须按一定的方式进行连接,并使各构件之间仍有确定的相对运动。这种使两个构件直接接触并能产生某种相对运动的连接称为运动副。平面机构中,构成运动副的各构件的运动均为平面运动,故该运动副称为平面运动副。

(1) 运动副的分类

- ① 高副:两构件构成点、线接触的运动副称为高副,如图 0-5 所示齿轮轮齿间的啮合。
- ② 低副:两构件构成面接触的运动副称为低副,如图 0-6 所示均为低副。

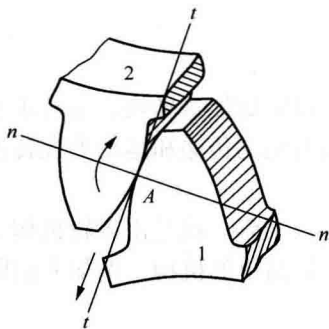
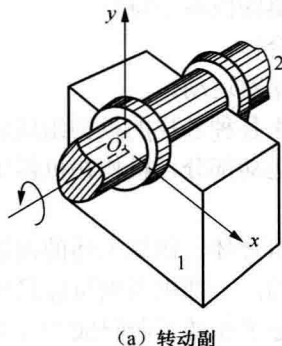
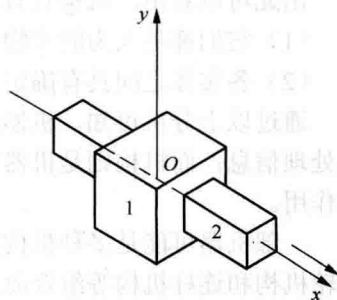


图 0-5 高副



(a) 转动副



(b) 移动副

图 0-6 低副

平面低副按其相对运动形式又可分为转动副和移动副。

(a) 转动副:两构件间只能产生相对转动的运动副称为转动副,如图 0-6 (a) 所示。

(b) 移动副:两构件间只能产生相对移动的运动副称为移动副,如图 0-6 (b) 所示滑块

与导向装置的连接。

(2) 运动副的表示方法

① 转动副的画法如图 0-7 所示，其中带斜线的为固定构件（又称机架）。

② 移动副的画法如图 0-8 所示。

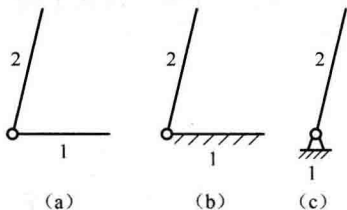


图 0-7 转动副的表示方法

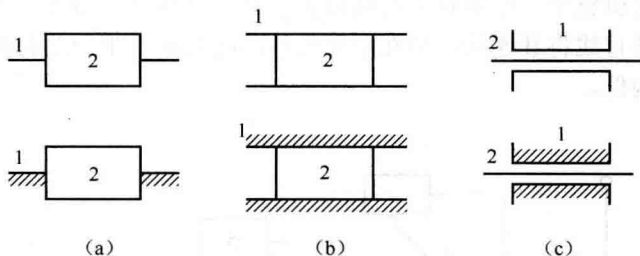


图 0-8 移动副的表示方法

③ 高副的表示方法如图 0-9 所示，即绘出其接触处的轮廓线形状。图 0-9 (a) 所示为凸轮副，图 0-9 (b) 所示为齿轮副（也可用一对节圆代替）。

2. 构件的分类及其表示方法

(1) 构件的分类

构件可分为三类。

① 固定件（机架）：用来支承活动构件的构件。例如图 0-1 中的汽缸体 1 就是机架，用以支承活塞 4 和曲轴 2 等。研究机构中活动构件的运动时，常以机架作为参考坐标系。

② 原动件：按给定运动规律运动的构件。它的运动是由外界输入的，故又称为输入构件。如图 0-1 中的活塞 4 就是原动件。

③ 从动件：机构中随着原动件的运动而运动的其余活动构件。如图 0-1 中的连杆 3、曲轴 2 等均属于从动件。

(2) 构件的表示方法。

实际构件的外形和结构可以是各种各样的。表示构件的原则是：撇开那些与运动无关的构件外形和结构，仅把与运动有关的运动学尺寸用简单的线条表示出来。例如，图 0-3 中的构件 5 分别与滑块 4 和 6 组成移动副，构件 5 的复杂外形和结构与其运动无关，所以可用图 0-10 所示的简单线条来表示。

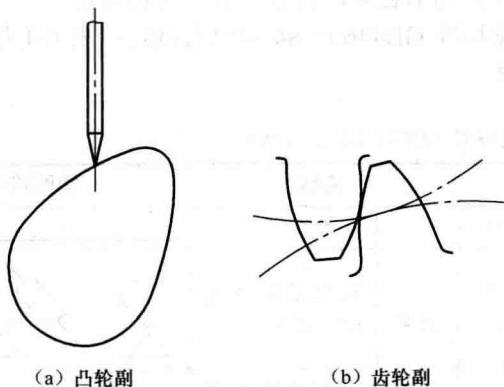


图 0-9 高副的表示方法

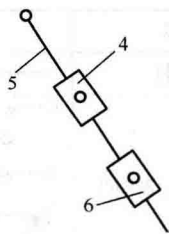


图 0-10 构件的简化示例

① 一个构件上具有两个运动副，其表示方法见图 0-11。图 (a) 为具有两个转动副的构件，图 (b) 为有两个移动副的构件，图 (c) 为有一个移动副和一个转动副的构件。

② 一个构件上具有三个运动副，其表示方法如图 0-12 所示。图 (a) 用三角形表示，为了表明这是一个单一的构件，故在三角形内角上涂以焊缝符号。图 (b) 也用三角形表示，只是将整个三角形画上斜线以表示是一个构件。如果三个运动副共线，可按图 (c) 所示，用一条直线将其连接，但在中间的转动副处画上半圆的跨越符号，以表示上、下两线段属于同一构件。

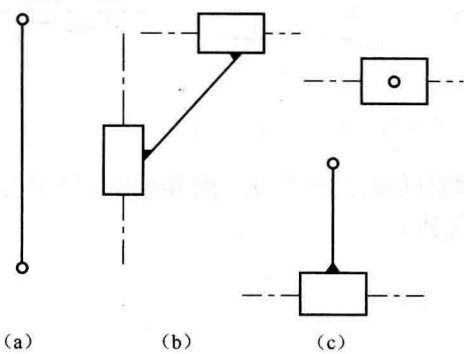


图 0-11 构件的表示方法

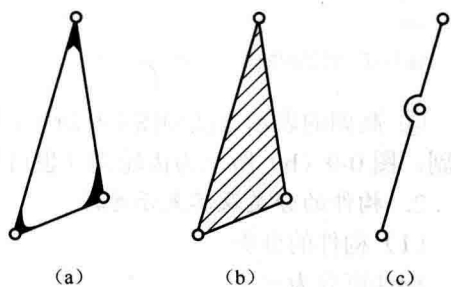


图 0-12 构件的表示方法

其他常用零部件的表示方法可参看 GB/T 4460—1984 “机构运动简图符号”。

3. 平面机构运动简图

(1) 机构运动简图与机构示意图

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，称为平面机构运动简图。机构运动简图保持了其实际机构的运动特征，它简明地表达了实际机构的运动情况。

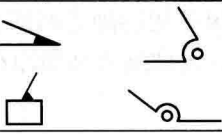
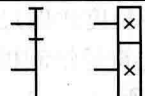
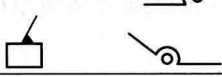
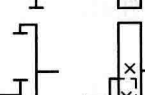
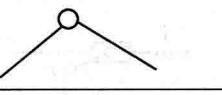
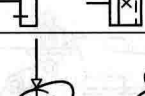
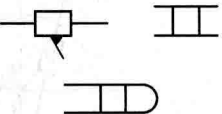
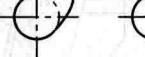
机构示意图是指为了表示机构的结构组成及运动原理而不严格按比例绘制的简图，是用特定的构件和运动副符号表示机构的一种简化示意图，仅着重表示结构特征。

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 0-1 给出了最常用的构件和运动副的简图符号，可供参考。

表 0-1 机构运动简图符号 (GB/T 4460—1984)

名称		简图符号	名称		简图符号
构件	轴、杆		机架	基本符号	
	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	

续表

名称		简图符号	名称		简图符号
构件	构件的永久连接		平面高副	齿轮副	
				外啮合	
平面低副	转动副			内啮合	
	移动副			凸轮副	

(2) 平面机构运动简图的绘制

在绘制机构运动简图时, 首先必须分析该机构的实际构造和运动情况, 分清机构中的原动件(输入构件)及从动件; 然后从原动件(输入构件)开始, 顺着运动传递路线, 仔细分析各构件之间的相对运动情况; 从而确定组成该机构的构件数、运动副数及性质。在此基础上按一定的比例及特定的构件和运动副符号, 正确绘制出机构运动简图。绘制时应撇开与运动无关的构件的复杂外形和运动副的具体构造。同时应当注意, 绘制机构运动简图时, 原动件的位置选择不同, 所绘制的机构运动简图的图形也不同。当原动件的位置选择不恰当时, 构件会相互重叠或交叉, 使图形不易辨认。为了清楚表达各构件间的相互关系, 绘图时, 应选择合适的原动件位置。

绘制平面机构运动简图可按以下步骤进行。

① 首先弄清楚机构的实际构造和运动情况, 找出机构的机架和原动件, 按照运动的传递线路弄清楚机械原动部分的运动如何传递到工作部分。

② 弄清楚机构由多少个构件组成, 并根据两构件间的接触情况及相对运动的性质, 确定各个运动副的类型和数目。

③ 恰当地选择投影面, 并将机构停留在适当的位置, 避免构件重叠。一般选择与多数构件的运动平面相平行的面为投影面, 必要时也可以就机构的不同部分选择两个或两个以上的投影面, 然后展开到同一平面上。

④ 选择适当的长度比例尺 μ_l , 确定出各运动副之间的相对位置, 用规定的符号表示各运动副, 并将同一构件参与构成的运动副符号用简单线条联接起来, 即可绘制出机构的运动简图。

$$\mu_l = \frac{\text{构件的实际尺寸 (m)}}{\text{构件的图样尺寸 (mm)}} \quad (0-1)$$

总之, 绘制机构运动简图要以正确、简单、清晰为原则。

下面通过一个实例说明机构运动简图的绘制过程。

例 0-1 如图 0-13 (a) 所示为牛头刨床执行机构的结构图, 试绘制机构运动简图。

解: 牛头刨床由 7 个构件组成。安装于机架 1 上的主动齿轮 2 将回转运动传递给与之相啮合的齿轮 3, 齿轮 3 带动滑块 4 而使导杆 5 绕 E 点摆动, 并通过连杆 6 带动滑枕 7 使刨刀作往复直线运动。齿轮 2、齿轮 3 及导杆 5 分别与机架 1 组成转动副 A、C 和 E。构件 3 与 4,

构件5与6, 构件6与7之间组成转动副 D 、 F 和 G , 构件4与构件5、构件7与机架1之间组成移动副, 齿轮2与3之间的啮合为平面高副 B 。

合理选择长度比例尺 μ_l (m/mm) 和投影面后, 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, 并标上构件号、运动副名称和原动件的运动方向, 如图0-13 (b) 所示。

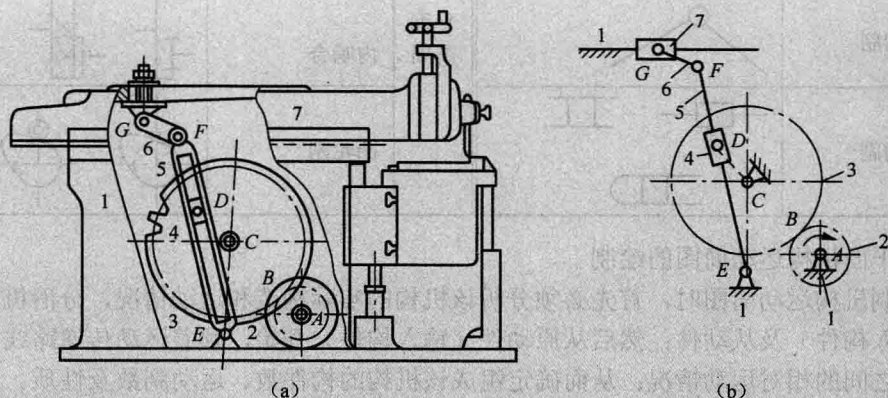


图0-13 牛头刨床主体运动机构

4. 平面机构的自由度

(1) 构件的自由度

在平面运动中, 每一个独立的构件, 其运动均可分为三个独立的运动, 如图0-14所示。即沿 x 轴和 y 轴的移动及在 xOy 平面内的转动。构件的这三种独立运动称为其自由度。构件的位置, 可以用其上任意一点 A 的 x 坐标、 y 坐标及其上任意直线 AB 的倾角 α 来决定。 x 、 y 及 α 为三个独立的参数。由上述可知: 构件的自由度数等于构件的独立运动参数。

(2) 运动副的约束

当两构件通过运动副连接时, 任一构件的运动将受到限制, 从而使其自由度减少, 这种对构件独立运动所加的限制称为约束。每引入一个约束, 构件就减少一个自由度。有运动副就要引入约束。运动副的类型不同, 引入的约束数目也不同。如图0-6 (a) 所示构件2沿 x 轴和 y 轴方向的两个移动都受到限制, 而只能在坐标平面中转动, 构件的自由度为1。如图0-6 (b) 所示, 移动副也有两个约束。如图0-5所示, 构件2相对于构件1在其接触点法线 $n-n$ 方向的运动受到约束, 在切线 $t-t$ 方向可移动, 绕垂直于平面的轴可以转动。由上述可知: 平面低副引入两个约束, 高副引入一个约束。

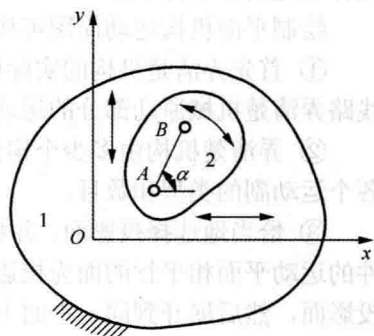


图0-14 构件的自由度

(3) 平面机构的自由度

① 平面机构自由度的计算公式。

设一个平面机构由 N 个构件组成, 其中必有一个机架, 故活动构件数 $n=N-1$ 。这 n 个活动构件在没有通过运动副连接时, 共有 $3n$ 个自由度, 当用运动副将构件连接起来组成机构之后, 则自由度减少。引入一个低副, 自由度就减少2个; 引入一个高副, 自由度就减少1个。如果上述机构中引入了 P_L 个低副, P_H 个高副, 自由度减少的总数为 $2P_L+P_H$, 则该机构所剩

的自由度（用 F 表示）为

$$F = 3n - 2P_L - P_H \quad (0-2)$$

式中， F 表示平面机构的自由度。注意 n 为机构中的活动构件的个数，所以公式中的 n 不包括机架。

例 0-2 求图 0-15 所示凸轮机构的自由度。

解：该机构的活动构件数 $n=2$ ，低副数 $P_L=2$ ，高副数 $P_H=1$ ，故

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

例 0-3 求图 0-16 所示平面连杆机构的自由度。

解：该机构的活动构件数 $n=3$ ，低副数 $P_L=4$ ，高副数 $P_H=0$ ，故

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

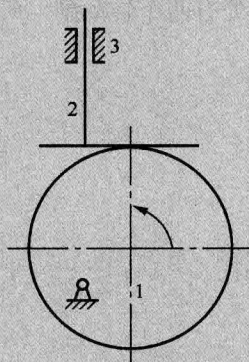


图 0-15 凸轮机构

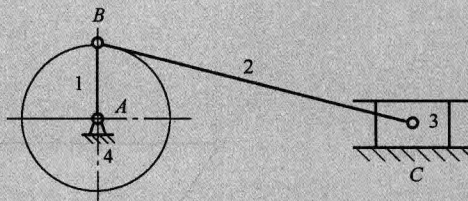


图 0-16 平面连杆机构

概括起来，机构的自由度就是机构所具有的独立运动参数的个数。由前述可知，从动件是靠原动件来带动的，本身是不能独立运动的，只有原动件才能独立运动。通常原动件和机架相联，所以每个原动件只能有一个独立的运动参数，因此，机构的自由度必定与原动件数目相等。

如果原动件数少于自由度数，则机构就会出现运动不确定的现象，如图 0-17 所示。

如果原动件数大于自由度数，则机构中最薄弱的构件或运动副可能被破坏，如图 0-18 所示。

如果自由度等于零，则这些构件组合在一起形成的是刚性结构，各构件之间没有相对运动，故不能构成机构，如图 0-19。

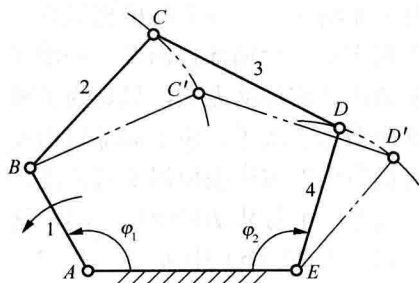


图 0-17 原动件数 $< F$

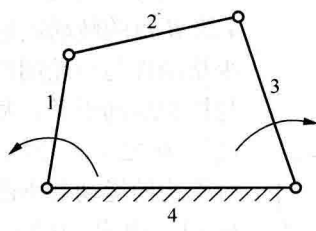


图 0-18 原动件数 $> F$

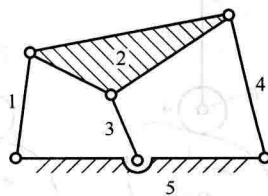


图 0-19 $F=0$ 的构件组合

综上所述，机构具有确定运动的条件是： F 大于零且 F 等于原动件的个数。

② 计算机构的自由度时应注意的问题。

在计算机构自由度时,对以下几种情况必须加以注意。

a. 复合铰链。两个以上的构件同时在一处以转动副相连,这就构成复合铰链。

如图 0-20 (a) 所示是三个构件在一处构成复合铰链,从侧视图 0-20 (b) 中可以看出,构件 1 分别与构件 2、构件 3 构成两个转动副。依此类推,如果有 k 个构件同时在一处以转动副相联,则必然构成 $(k-1)$ 个转动副。

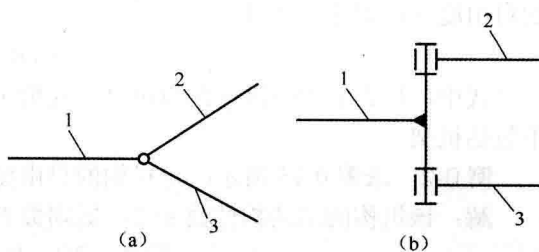


图 0-20 复合铰链

例 0-4 计算图 0-21 所示机构的自由度。

解: 图示机构中其活动构件数 $n=5$, C 点为复合铰链,该处有两个转动副,所以,低副数 $P_L=7$, 高副数 $P_H=0$, 则机构的自由度为

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

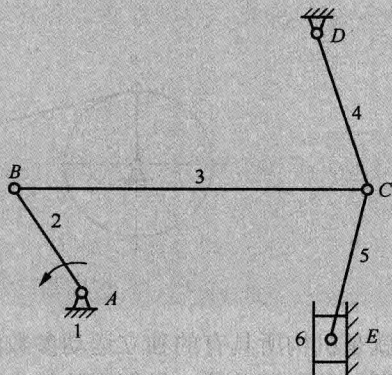


图 0-21 带复合铰链的机构

b. 局部自由度。机构中存在的与构件运动无关的自由度称为局部自由度,在计算机构自由度时应予以排除。

如图 0-22 (a) 所示的凸轮机构。当主动凸轮 1 绕 O 点转动时,通过滚子 4 使从动件 2 沿机架 3 移动,其活动构件数 $n=3$, 低副数 $P_L=3$, 高副数 $P_H=1$, 按式 (0-2) 得

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

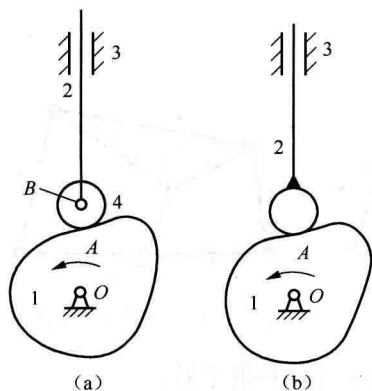


图 0-22 局部自由度

这说明此机构应有两个原动件,实际上此机构只有一个原动件。这是因为此机构中有一个局部自由度——滚子 4 绕 B 点的转动,它与从动件 2 的运动无关,只是为了减少从动件与凸轮间的磨损而增加了滚子。由于局部自由度与机构运动无关,故计算机构自由度时应去掉局部自由度。如图 0-22 (b) 所示,假设把滚子与从动杆焊在一起,这时机构的运动并不改变,则图 0-22 (b) 中 $n=2$, $P_L=2$, $P_H=1$, 由式 (0-2) 得

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

即说明只要一个原动件,机构运动就能确定,这与实际情况完全相符。

c. 虚约束。在机构中,有些运动副引入的约束与其他运动副引入的约束相重复,因而这种约束形式上存在但实际上对机构的运动并不起独立限制作用,这种约束称为虚约束。

如图 0-23 (a) 所示机构中, $AB \parallel CD$, 称为平行四边形机构, 该机构中, 连杆 2 作平动, 其上各点的轨迹均为圆心在 AD 线上而半径等于 AB 的圆弧, 根据式 (0-2) 得该机构的自由度为

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

如图 0-23 (b) 所示, 该机构的自由度为

$$F=3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

即表明此机构是不能动的, 这显然和实际情况不符。这就是由于引入了虚约束的结果。由于构件 1、3、5 相互平行且长度相等, 所以, B 、 C 、 E 点的轨迹都是等半径的圆周, 如去掉构件 5, 则构件 2 上 E 点的运动轨迹不变。但加上构件 5 后, 多了三个自由度, 而引入两个转动副 E 、 F , 引入四个约束, 所以, 结果相当于对机构多引入一个约束。如上所述, 这个约束对机构的运动并没有约束作用, 所以它是一个虚约束。计算自由度时, 应将虚约束除去不计, 故该机构的自由度实际上仍为 1。

虚约束是机构的几何尺寸满足某些特殊条件的产物。机构中的虚约束常发生在下述情况。

(a) 轨迹重合。机构中两构件相连, 连接前被连接件上连接点的轨迹和连接件上连接点的轨迹重合, 如图 0-23 (b) 所示。

(b) 两构件同时在几处接触并构成多个移动副, 且各移动副的导路互相平行或重合。如图 0-24 所示, 只算一个移动副, 其余是虚约束。

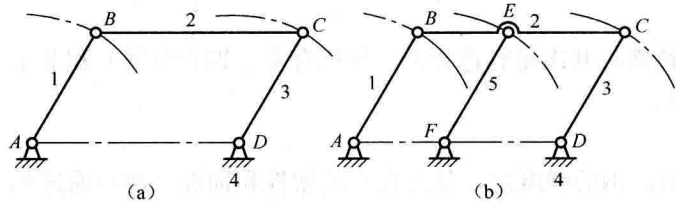


图 0-23 虚约束

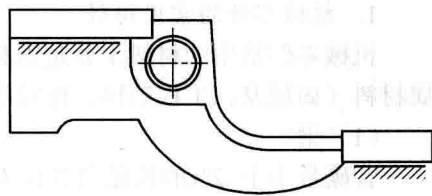


图 0-24 虚约束

(c) 两构件间在几处构成转动副且各转动副轴线重合时, 只能算一个转动副, 其余为虚约束, 如图 0-25 所示。

(d) 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分。如图 0-26 所示轮系, 中心轮 1 经过两个对称布置的小齿轮 2 和 2' 驱动内齿轮 3, 其中有一个小齿轮对传递运动不起独立作用。这是为了改善受力情况而装设的, 实际上只需要一个小轮就能满足运动要求。

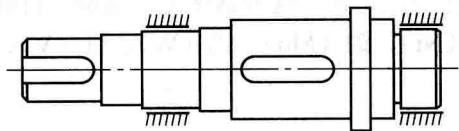


图 0-25 虚约束

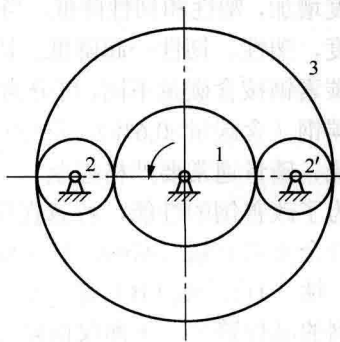


图 0-26 虚约束

各类虚约束在机构的设计中是很常见的, 因为它可以改善机构的受力情况。在计算机构