

高等学校教材

# 机械设计基础

(修订版)

南京工学院 上海工业大学 同济大学  
上海科学技术大学 华东化工学院 合编

杨可桢 程光蕴 主编

高等教育出版社

## 内 容 提 要

本书是在第一版的基础上,根据1980年8月审订的近机类、动力类专业试用《机械原理及机械零件教学大纲》(草案)的内容,按大纲的下限学时(100学时)修订的。修订后除绪论外,全书共分十八章。前八章叙述常用机构和机器动力学等方面的基本知识,后十章叙述通用零件的工作能力、构造和设计计算等。这种编排是从学生的认识规律和循序渐进的原则考虑的,而且便于组织教学。

本书力求将基本概念阐述清楚,在此前提下,尽量使份量恰当、叙述简洁。

本书可作为高等工科学校100学时机械原理及机械零件课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

高等学校教材

### 机械设计基础

(修订版)

南京工学院 上海工业大学 同济大学  
上海科学技术大学 华东化工学院 合编  
杨可桢 程光蕴 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

二二〇七工厂印装

开本 $787 \times 1092$  1/16 印张18 字数400 000

1979年3月上册第1版

1979年5月下册第1版

1981年12月第2版修订 1988年2月第8次印刷

印数296 401—354 410

ISBN 7-04-001530-7/TH·96

定价 2.50元

## 序

本书是在第一版(1979年3月人民教育出版社出版)的基础上,根据1980年8月审订的高等工业学校四年制近机类、动力类专业试用《机械原理及机械零件教学大纲》(草案)的内容,按大纲下限(100学时)修订的。

本书修订后,除绪论外,共分十八章。前八章叙述常用机构以及机器动力学的基本知识,后十章叙述通用零件的工作原理、特点和设计计算等。同第一版相比,齿轮机构一章只叙述齿轮的啮合原理和几何计算,关于齿轮承载能力的设计计算则另成一章,称为齿轮传动;螺旋传动附在联接一章的螺纹联接一节之后;将带传动和链传动合并改写成一章;其余章节也进行了删改和重写。这样编排是从学生的认识规律和循序渐进的原则考虑的,而且便于组织教学。

本书力求将基本概念阐述清楚,在此前提下,尽量使份量恰当、叙述简洁。

本书小号字部分为论证及延伸内容,带星号部分为选学内容。使用本书时可酌情取舍。

本书附录仅摘录了少量与正文密切相关的数据资料,其他一般设计资料可查阅有关设计手册。

参加本书第一版编写的有:南京工学院程光蕴、钱庆蕊、杨可桢、朱永玉、胡宗祺、郑文纬;同济大学喻怀正、董亲建;上海工业大学王绍杰;上海科学技术大学谢伟民、胡哲鸿;华东化工学院李永年、李仲生。在这次修订中,仍由原编写者提供修订初稿。除此以外,南京工学院龚善康、朱刚恒也参加本书修订工作。杨可桢、程光蕴担任主编。

本书承大连工学院胡西樵、马书山、高桂茹同志审阅,提出很多宝贵意见,编者表示衷心感谢。

限于编者水平,谬误欠妥之处在所难免,深望使用本书的教师和读者批评指正。对本书的意见请寄南京工学院机械原理及机械零件教研组。

编者

1981年9月

## 主要符号表

<p><math>a</math>——中心距、线加速度  <math>A</math>——面积、功  <math>b, B</math>——厚度、宽度  <math>c, C</math>——系数  <math>d, D</math>——直径  <math>E</math>——[拉、压]弹性模量  <math>f</math>——摩擦系数  <math>F</math>——力、自由度  <math>G</math>——力、重量、剪切弹性模量  <math>h, H</math>——高度  <math>i</math>——数目、传动比  <math>I</math>——[轴]惯性矩  <math>I_p</math>——极惯性矩  <math>J</math>——转动惯量  <math>k, K</math>——系数、数目  <math>l, L</math>——长度  <math>m</math>——质量、模数  <math>M</math>——力矩、弯矩  <math>n</math>——转速、数目  <math>N</math>——力、循环次数  <math>p</math>——压强  <math>P</math>——功率、力  <math>Q</math>——力、流量  <math>r, R</math>——半径  <math>s, S</math>——安全系数、力  <math>t</math>——时间、温度  <math>T</math>——扭矩、力  <math>v</math>——速度  <math>W</math>——重量、力  <math>z</math>——数目、齿数</p>	<p><math>Z</math>——断面系数  <math>Z_p</math>——极断面系数  <math>\alpha</math>——角度、系数  <math>\beta</math>——角度、系数  <math>\gamma</math>——角度、系数、密度、重度  <math>\delta, \Delta</math>——厚度、间隙  <math>e</math>——角加速度、重合度、滑动率  <math>\eta</math>——效率、[动力]粘度  <math>\theta</math>——角度  <math>\mu</math>——泊松比、长度系数  <math>\nu</math>——运动粘度  <math>\rho</math>——摩擦角、曲率半径  <math>\sigma</math>——正应力、拉应力  <math>\sigma_B</math>——抗拉强度[极限]  <math>\sigma_a</math>——应力幅  <math>\sigma_b</math>——弯曲应力  <math>\sigma_c</math>——离心拉应力  <math>\sigma_e</math>——有效应力、当量应力  <math>\sigma_p</math>——挤压应力  <math>\sigma_s</math>——屈服极限  <math>\sigma_m</math>——平均应力  <math>\sigma_{-1}</math>——对称循环弯曲持久极限  <math>\tau</math>——切应力、剪应力、扭剪应力  <math>\tau_B</math>——剪切强度极限  <math>\tau_s</math>——剪切屈服极限  <math>\tau_{-1}</math>——对称循环剪切持久极限  <math>\varphi</math>——角度  <math>\Phi</math>——系数  <math>\omega</math>——角速度  <math>\psi</math>——系数</p>
---	---

# 目 录

绪论	1
§ 0-1 本课程研究的对象和内容	1
§ 0-2 本课程在教学计划中的地位	2
第一章 平面机构的运动简图及自由度	4
§ 1-1 运动副及其分类	4
§ 1-2 平面机构运动简图	6
*§ 1-3 平面机构的自由度	8
第二章 平面连杆机构	13
§ 2-1 铰链四杆机构的基本型式和特性	13
§ 2-2 铰链四杆机构的曲柄存在条件	19
§ 2-3 铰链四杆机构的演化	21
*§ 2-4 平面四杆机构的设计	24
第三章 凸轮机构	31
§ 3-1 凸轮机构的类型和应用	31
§ 3-2 从动件的常用运动规律	32
§ 3-3 按给定运动规律设计盘形凸轮轮廓	35
*§ 3-4 圆柱凸轮轮廓设计	38
§ 3-5 设计凸轮机构应注意的问题	39
第四章 齿轮机构	44
§ 4-1 齿轮机构的特点和类型	44
§ 4-2 齿廓啮合基本定律	45
§ 4-3 渐开线齿廓	46
§ 4-4 齿轮各部分名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸	48
§ 4-5 渐开线标准齿轮的啮合	50
§ 4-6 渐开线齿轮的切齿原理	53
§ 4-7 根切现象、最少齿数及变位齿轮	55
§ 4-8 斜齿圆柱齿轮机构	58
§ 4-9 圆锥齿轮机构	62
第五章 轮系	67
§ 5-1 轮系的类型	67
§ 5-2 定轴轮系及其传动比	67
§ 5-3 周转轮系及其传动比	69
§ 5-4 混合轮系及其传动比	72
§ 5-5 轮系的应用	73
*§ 5-6 几种特殊的行星传动简介	75
第六章 间歇运动机构	80

§ 6-1	棘轮机构	80
§ 6-2	槽轮机构	82
§ 6-3	不完全齿轮机构	84
<b>第七章</b>	<b>机械速度波动的调节</b>	<b>86</b>
§ 7-1	机械速度波动调节的目的和方法	86
§ 7-2	机械运转的平均速度和不均匀系数	87
§ 7-3	飞轮设计的近似方法	88
<b>第八章</b>	<b>回转件的平衡</b>	<b>93</b>
§ 8-1	回转件平衡的目的	93
§ 8-2	回转件平衡的分析	93
§ 8-3	回转件平衡的试验	97
<b>第九章</b>	<b>机械零件设计概论</b>	<b>102</b>
§ 9-1	机械零件设计概述	102
§ 9-2	机械零件的强度	103
§ 9-3	机械零件接触强度的概念	106
§ 9-4	机械制造中常用材料及其选择	107
§ 9-5	机械零件的工艺性及标准化	110
<b>第十章</b>	<b>联接</b>	<b>111</b>
§ 10-1	联接的类型和应用	111
§ 10-2	键联接	112
§ 10-3	销联接	115
§ 10-4	螺纹参数	116
§ 10-5	螺旋副的受力分析、效率和自锁	117
§ 10-6	机械制造中常用的螺纹	119
§ 10-7	螺纹联接的基本类型及螺纹联接件	120
§ 10-8	螺栓联接的预紧和防松	122
§ 10-9	螺栓联接的强度计算	124
§ 10-10	螺栓的材料和许用应力	128
§ 10-11	提高螺栓联接强度的措施	129
§ 10-12	螺旋传动	132
§ 10-13	滚动螺旋简介	135
<b>第十一章</b>	<b>齿轮传动</b>	<b>137</b>
§ 11-1	轮齿的失效形式	137
§ 11-2	齿轮材料及热处理	138
§ 11-3	齿轮传动的精度	140
§ 11-4	直齿圆柱齿轮传动的作用力及计算载荷	141
§ 11-5	直齿圆柱齿轮传动的齿面接触强度计算	142
§ 11-6	直齿圆柱齿轮传动的轮齿弯曲强度计算	145
§ 11-7	斜齿圆柱齿轮传动	148
§ 11-8	直齿圆锥齿轮传动	151
§ 11-9	齿轮的构造	153

§ 11-10 齿轮传动的润滑和效率	155
*§ 11-11 圆弧点啮合齿轮传动简介	156
<b>第十二章 蜗杆传动</b>	<b>160</b>
§ 12-1 蜗杆传动的特点和类型	160
§ 12-2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸的计算	161
§ 12-3 蜗杆传动的失效形式、材料和结构	164
§ 12-4 蜗杆传动的受力分析	165
§ 12-5 蜗杆传动的强度计算	166
§ 12-6 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	167
<b>第十三章 带传动和链传动</b>	<b>171</b>
§ 13-1 带传动的类型和应用	171
§ 13-2 带传动的受力分析, 欧拉公式	173
§ 13-3 带传动的应力分析	175
§ 13-4 带传动的弹性滑动和传动比	176
§ 13-5 三角胶带的标准和许用功率	177
§ 13-6 三角胶带传动的设计计算	181
§ 13-7 三角带轮的结构	183
*§ 13-8 同步齿形带传动简介	185
§ 13-9 链传动概述	187
§ 13-10 链传动的传动比及运动不均匀性	190
§ 13-11 链传动的主要参数及其选择	191
§ 13-12 链传动的设计计算	192
§ 13-13 链传动的布置	195
<b>第十四章 轴</b>	<b>198</b>
§ 14-1 轴的功用和类型	198
§ 14-2 轴的材料	199
§ 14-3 轴的结构设计	200
§ 14-4 轴的强度计算	202
§ 14-5 轴的刚度计算	206
*§ 14-6 轴的临界转速的概念	207
<b>第十五章 滑动轴承</b>	<b>209</b>
§ 15-1 滑动轴承的润滑状态	209
§ 15-2 滑动轴承的结构型式	210
§ 15-3 轴瓦及轴承衬材料	212
§ 15-4 润滑剂和润滑装置	214
§ 15-5 非液体润滑轴承的计算	217
§ 15-6 动压润滑的形成原理	219
*§ 15-7 动压润滑的基本方程	220
*§ 15-8 单油楔液体润滑轴承的设计计算	221
*§ 15-9 多油楔滑动轴承的性能	228
*§ 15-10 静压轴承与空气轴承简介	229

<b>第十六章 滚动轴承</b> .....	232
§ 16-1 滚动轴承的基本类型和特点.....	232
§ 16-2 滚动轴承的代号.....	235
§ 16-3 滚动轴承的失效形式及选择计算.....	236
§ 16-4 滚动轴承的润滑和密封.....	244
§ 16-5 滚动轴承的组合设计.....	246
<b>第十七章 联轴器和离合器</b> .....	250
§ 17-1 联轴器、离合器的类型和应用.....	250
§ 17-2 固定式联轴器.....	251
§ 17-3 可移式联轴器.....	251
§ 17-4 牙嵌离合器.....	255
§ 17-5 圆盘摩擦离合器.....	257
§ 17-6 电磁粉末离合器.....	259
§ 17-7 定向离合器.....	260
<b>第十八章 弹簧</b> .....	262
§ 18-1 弹簧的功用和类型.....	262
§ 18-2 圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧的应力与变形.....	263
§ 18-3 弹簧的制造、材料和许用应力.....	265
§ 18-4 圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧的设计.....	267
*§ 18-5 其他弹簧简介.....	272
<b>附表</b> .....	275
附表 1 常用钢铁材料的性能.....	275
附表 2 平键的尺寸.....	276
附表 3 普通粗牙螺纹的尺寸.....	277
附表 4 单列向心轴承的额定动载荷 $C$ 和额定静载荷 $C_0$ .....	278
附表 5 向心推力球轴承的额定动载荷 $C$ 和额定静载荷 $C_0$ .....	278
附表 6 单列圆锥滚子轴承的额定动载荷 $C$ 和额定静载荷 $C_0$ .....	279
<b>主要参考书</b> .....	280



# 绪 论

## § 0-1 本课程研究的对象和内容

人类通过长期的生产实践逐渐创造了机器。在现代生产活动和日常生活中，经常见到的拖拉机、起重机、汽车、各种机床、内燃机以及缝纫机、洗衣机等都是机器。

机器的类型很多，用途不一，但它们却有一些共同的特征。

如图 0-1 所示的单缸四冲程内燃机，它是由气缸体 1、活塞 2、进气阀 3、排气阀 4、连杆 5、曲轴 6、凸轮 7、顶杆 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气推动活塞作往复移动，经连杆转变为曲轴的连续转动。凸轮和顶杆是用来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，在曲轴和凸轮轴之间安装了齿轮，齿数比为 1:2。这样，当燃气推动活塞运动时，进排气阀有规律地启闭，就把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。又如发电机主要是由转子(电枢)和定子所组成。当驱动转子回转时，发电机就把机械能转换为电能。再如洗衣机是由电动机，经带传动使叶轮回转，搅动洗涤液来进行工作。从以上三个例子可以看出，机器具有下列特征：1) 它们是人为的实物的组合；2) 它们各部分之间具有确定的相对运动；3) 它们用来代替或减轻人类的劳动去完成有用的机械功(如起重机、金属切削机床和洗衣机)或转换机械能(如内燃机、发电机)。

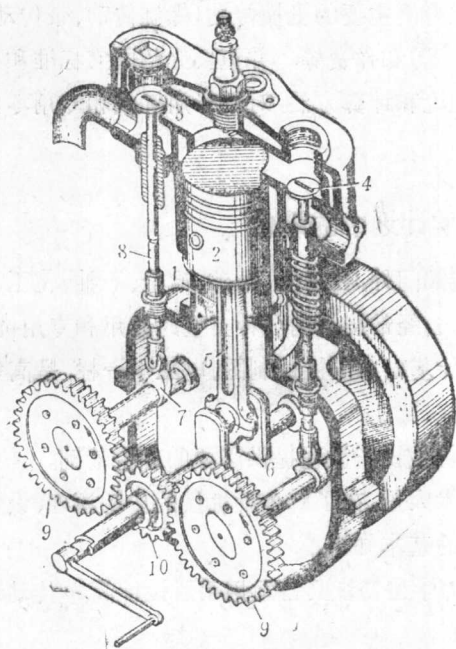


图 0-1

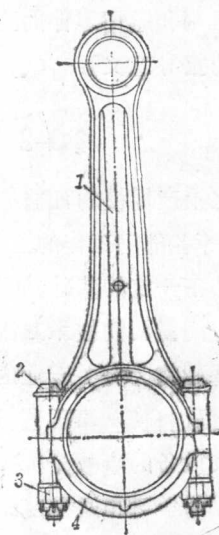


图 0-2

机构也是人为的实物组合，其各部分之间具有确定的相对运动。所以机构只具有机器的前两个特征。在内燃机中，活塞(看作滑块)、连杆、曲轴(即曲柄)和气缸体组成一个曲柄滑块机构，可将活塞的往复移动转变为曲轴的连续转动。凸轮、顶杆和气缸体组成凸轮机构，将凸轮的连续转动变为顶杆的有规律的往复移动。而曲轴、凸轮轴上的齿轮和气缸体组成齿轮机构，可使两轴保持一定的转速比。由此可见，机器是由机构组成的。最简单的机器只包含一个机构，如电动机、鼓风机。

若撇开机器在作功和转换能量方面所起的作用，仅从结构和运动的观点来看，则机器与机构之间并无区别。因此，习惯上用“机械”一词作为机器和机构的总称。

组成机构的各个相对运动部分称为构件。构件可以是单一的整体，也可以是几个零件组成的刚性联结。如图 0-2 所示内燃机的连杆就是由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 以及螺母 3 等几个零件组成。这些零件形成一个整体而进行运动，所以称为一个构件。由此可知，构件是运动的单元，而零件是制造的单元。

机械中的零件可以分为两类。一类称为通用零件，它在各种机械中都能经常遇到，如齿轮、螺钉、轴、弹簧等。另一类称为专用零件，它只出现于某些机械之中，如汽轮机的叶片、内燃机的活塞等。

“机械设计基础”(或称为“机械原理及机械零件”)主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。

本书前半部分属机械原理范围，着重研究机械中的常用机构(连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、间歇运动机构等)以及机器动力学的某些问题(如飞轮设计和机械的平衡)；后半部分属机械零件范围，着重研究常用的联接(键、销、螺栓联接等)，主要的机械传动(螺旋传动、带传动、链传动、齿轮和蜗杆传动)，轴系零、部件(轴、轴承、联轴器)和弹簧等，并扼要介绍国家标准和有关规范。这些常用机构和通用零件的工作原理、设计理论和计算方法，对于专用机械和专用零件的设计也具有一定的指导意义。

## § 0-2 本课程在教学计划中的地位

随着机械化生产规模的日益扩大，除机械制造部门外，在动力、采矿、冶金、石油、化工、土建、轻纺、食品工业等各部门工作的工程技术人员，将会经常接触到各种类型的通用和专用机械，他们应当对机械具备一定的基础知识。因此机械设计基础如同机械制图、电工学一样，是高等学校工科有关专业一门重要的技术基础课。

机械设计基础将为有关专业的学生学习专业机械设备课程提供必要的理论基础。

机械设计基础将使从事工艺、运行、管理的技术人员，在了解各种机械的传动原理、设备的正确使用和维护及设备的事故分析等方面获得必要的基本知识。

通过本课程的学习和课程设计实践，可以培养学生初步具备运用手册设计简单传动装置的能力，为日后从事技术革新创造条件。

机械设计是指规划和设计实现指定任务的新机器，或改进原有机器的性能。通常，一部机器

是由若干机构组成一个整体而进行工作的。设计一部机器之初,必须先选择和确定合宜的机构,进行运动分析、动力分析,然后确定载荷,进行零、部件的工作能力计算和结构设计。为了使所设计的机器性能好、效率高、成本低,在额定的寿命期内安全可靠,操作方便和便于调整维修,设计工作者必须确立正确的设计思想;要从我国和本单位实际情况出发,尽可能吸收国内外同类型机械的先进技术,使设计方案既先进而又切实可行;要重视设计工作的群众路线,广泛吸取工艺人员和工人的宝贵经验;要坚持实践第一的观点,在设计、加工、安装、调试过程中及时发现问题,对原方案反复修改,并注意积累设计经验。

机械设计是许多学科知识的综合运用。机械设计基础的先修课程主要是机械制图、金属工艺学和工程力学等。除此以外,考虑到许多近代机械设备并非单纯采用机械传动,各专业的工程技术人员还应当了解液压传动、气压传动、电力传动和电子技术等有关知识。

在各个生产部门实现机械化,对于发展国民经济具有十分重要的意义。为了加速社会主义建设的步伐,应当对现有机械设备进行技术改造,以充分挖掘企业潜力;应当设计出各种高质量的成套设备来装备各个生产部门;还应当研究和设计出完善的机械手和机器人,从事空间探测、海底开发和实现生产过程自动化。可以预计,在实现四个现代化的进程中,机械设计这门科学必将会发挥越来越大的作用,它本身也将会得到更大的发展。

# 第一章 平面机构的运动简图及自由度

如绪论所述,机构是具有确定相对运动的构件组合。显然,任意拼凑的构件组合不一定能产生相对运动,即使能够运动,也不一定能产生确定的相对运动。判断机构在什么条件下才具有确定的相对运动,对于分析已有机构或设计新的机构都是非常重要的。实际构件的结构往往都很复杂,为了便于分析和研究,有必要以简单的线条和符号作出机构的运动简图。上述问题都将在本章讨论。

所有构件都在同一平面或相互平行的平面内运动的机构称为平面机构;否则称为空间机构。由于工程中常见的机构大多属于平面机构,因此,本章限于讨论平面机构。

## § 1-1 运动副及其分类

一个作平面运动的自由构件有三个独立运动的可能性。如图 1-1 所示,在  $oxy$  坐标系中,构件  $S$  可随其任一点  $A$  沿  $x$ 、 $y$  轴方向移动和绕该点转动。这种可能出现的独立的运动称为构件的自由度。所以,一个作平面运动的自由构件有三个自由度。

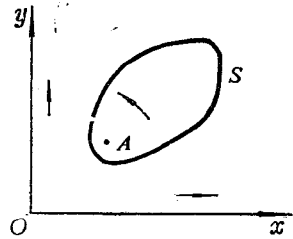


图 1-1

机构是由许多构件组合而成的。机构的每个构件都以一定的方式与其他构件相互联接。这种联接都不是固定联接,而是能产生一定相对运动的联接。这种使两构件直接接触并能产生一

定相对运动的联接称为运动副。例如在图 0-1 所示内燃机中,活塞 2 与连杆 5 的联接、活塞 2 与气缸体 1 的联接等都构成了运动副。显然,构件组成运动副后,它们的独立运动就受到约束,自由度便随之减少。

两构件组成的运动副,不外乎是通过点、线或面的接触来实现。按照接触的特性,通常把运动副分为低副和高副两类。

### 1. 低副

两构件通过面接触组成的运动副称为低副。根据它们的相对运动是转动或移动,又可分为回转副和移动副。

(1) 回转副 若组成运动副的两个构件只能在一个平面内作相对转动,这种运动副称为回转副,或称铰链。如图 1-2,  $a$  所示的轴 1 与轴承 2 组成的回转副,它有一个构件是固定的,故称为固定铰链。图 1-2,  $b$  所示构件 1 与构件 2 也组成回转副,它的两个构件都未固定,故称为活动铰链。例如图 0-1 中曲轴与气缸体所组成的回转副是固定铰链,活塞与连杆、连杆与曲轴所组成的回转副是活动铰链。

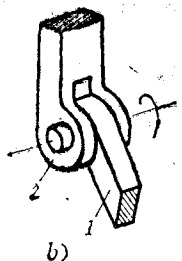
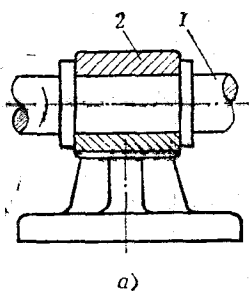


图 1-2

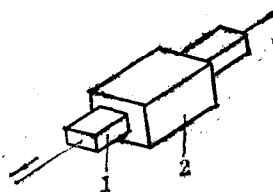


图 1-3

(2) 移动副 若组成运动副的两个构件只能沿某一轴线相对移动,这种运动副称为移动副。图 1-3 中构件 1 与构件 2 组成的是移动副。图 0-1 中的活塞和气缸体所组成的也是移动副。

## 2. 高副

两构件通过点或线接触组成的运动副称为高副。它们的相对运动是转动和沿切线  $t-t$  方向的移动。图 1-4,  $a$  中的车轮 1 与钢轨 2、图  $b$  中的凸轮 1 与从动件 2、图  $c$  中的轮齿 1 与轮齿 2, 分别在其接触处  $A$  组成高副。

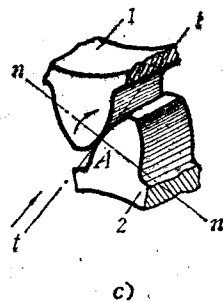
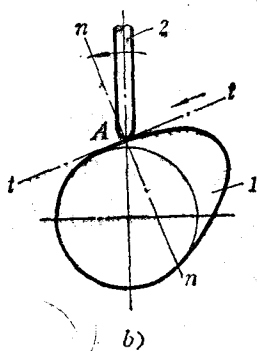
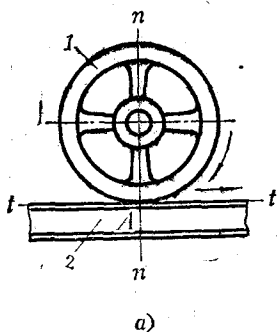


图 1-4

此外,常用的运动副还有图 1-5,  $a$  所示的球面副, 图 1-5,  $b$  所示的螺旋副, 它们都是空间运动副, 在本章不作讨论。

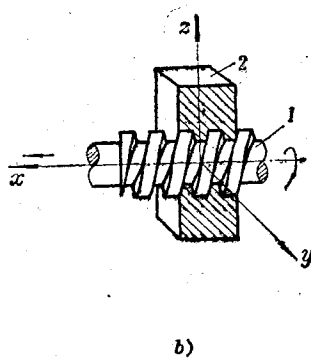
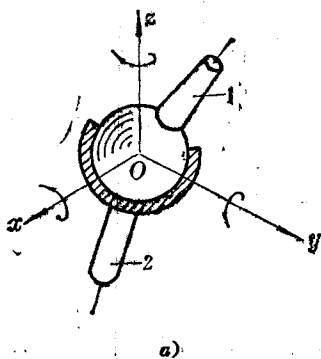


图 1-5

## § 1-2 平面机构运动简图

如前所述,实际构件的结构往往很复杂,在研究机构运动时,为了使问题简化,有必要撇开那些与运动无关的因素(如构件的形状、组成构件的零件数目、运动副的具体构造等),仅用简单线条和符号表示构件和运动副,并按一定比例定出各运动副的位置。这种说明机构各构件间相对运动关系的简单图形,称为机构运动简图。

在机构运动简图中,运动副的表示方法如下:

图 1-6, *a* 表示由两个活动构件组成回转副。如果两构件之一为机架,则应把代表机架的构件画上斜线如图 1-6, *b*、*c* 所示。

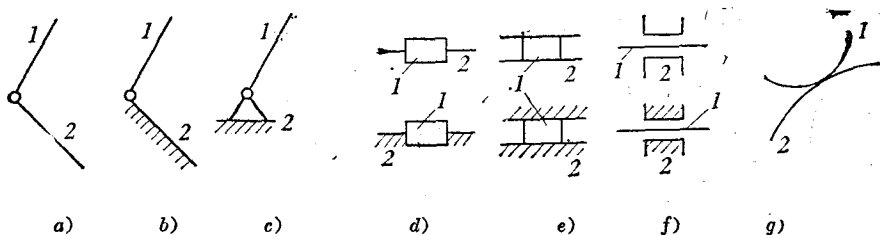


图 1-6

两构件组成移动副时,其表示方法如图 1-6, *d*、*e*、*f* 所示。图中画有斜线的构件代表机架。

两构件组成高副时,在简图中应当画出两构件接触处的曲线轮廓,如图 1-6, *g* 所示。

图 1-7, *a*、*b* 表示可能组成两个运动副的构件,图 *a* 表示两个回转副,图 *b* 表示一个回转副和一个移动副。图 1-7, *c*、*d* 表示可能组成三个回转副的构件,如果三个回转副在一直线上,则可用图 *d* 表示。

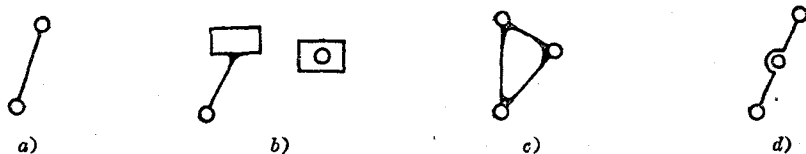


图 1-7

一般机构中的构件可分为三类:

(1) 固定件(机架) 是用来支承活动构件的构件。图 0-1 中的气缸体就是固定件,它用以支承活塞和曲轴等。在研究机构中活动构件的运动时,常以固定件作为参考坐标系。

(2) 原动件 是运动规律已知的活动构件。它的运动规律是由外界给定的,图 0-1 中的活塞就是原动件。

(3) 从动件 是机构中随着原动件的运动而运动的其余活动构件。图 0-1 中的连杆和曲轴都是从动件。从动件的运动规律取决于原动件的运动规律和机构的组成情况。

任何一个机构中,必有一个构件被相对当作固定件。例如:气缸体虽然随着汽车运动,但在研究发动机的运动时,仍把气缸体当作固定件。在活动构件中必须有一个或几个原动件,其余的都是从动件。

下面举例说明机构运动简图的绘制方法。

例1-1 绘制图 1-8, a 所示颚式破碎机的机构运动简图。

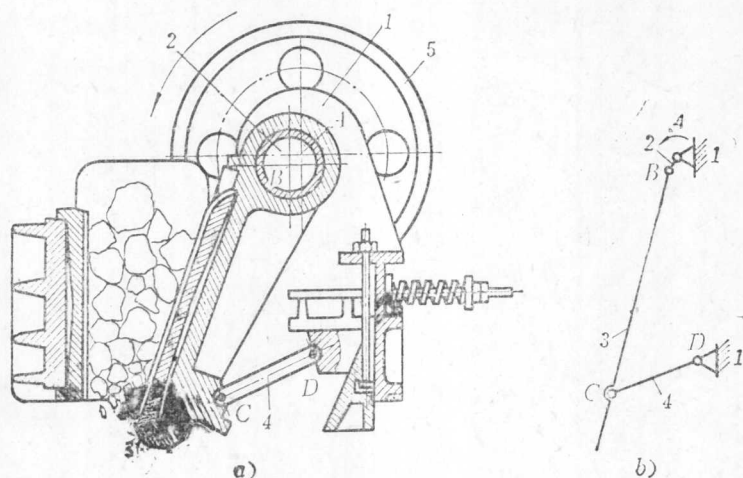


图 1-8

**解** 颚式破碎机的主体机构是由机架 1、偏心轴(又称曲轴)2、动颚 3、肘板 4 共四个构件通过回转副联接组成的。当偏心轴 2 在与它固联的带轮 5 的拖动下绕轴线 A 转动时, 驱使动颚 3 作平面运动, 从而将矿石轧碎。

绘制机构运动简图的一般步骤如下:

(1) 分析机构的运动, 认清固定件、原动件与从动件。

在图示颚式破碎机中, 机架 1 是固定件, 偏心轴 2 是原动件, 剩下的动颚 3 与肘板 4 都是从动件。

(2) 由原动件开始, 按照运动的传递顺序, 仔细分析各构件之间相对运动的性质, 从而确定构件的数目以及运动副的种类和数目。

颚式破碎机中, 偏心轴 2 与机架 1、偏心轴 2 与动颚 3、动颚 3 与肘板 4、肘板 4 与机架 1 之间的相对运动都是转动。因此, 机构中共有四个构件, 组成四个回转副。

(3) 选定适当的比例尺, 定出各运动副的相对位置, 用构件和运动副的规定符号绘制机构运动简图。

图 1-8, b 所示为颚式破碎机的机构运动简图。其绘制过程如下: 先画出偏心轴 2 与机架 1 组成的回转副中心 A; 再按 D 与 A 的相对位置, 画出肘板 4 与机架 1 组成的回转副中心 D; 而后画出偏心轴 2 与动颚 3 组成的回转副中心 B (B 是偏心轴的几何中心), 它与 A 之间的距离称为偏心距, 即曲柄的长度, 用线段 AB 表示; 接着以 B、D 为圆心, 以圆心到杆 3、4 回转副中心的距离为半径画弧交于 C, 得回转副中心 C 的位置; 最后用构件和运动副的规定符号相连, 绘制出机构运动简图。图中, 固定件应加画斜线, 原动件应标注指示运动方向的箭头。

需要指出: 虽然曲轴 2 与动颚 3 是用一半径大于偏心距 AB 的回转副联接的, 但是, 由于运动副的规定符号仅与相对运动的性质有关, 所以简图中可用小圆圈表示。

例 1-2 绘制图 1-9, a 所示内燃机的机构运动简图。

**解** 图 1-9, a 所示的内燃机是由活塞 1、连杆 2、曲轴 3 与气缸体 4 组成的曲柄滑块机构; 同曲轴 3 固联的齿轮 5、同凸轮轴 7 固联的齿轮 6 与气缸体 4 组成的齿轮机构; 凸轮 7、进气阀顶杆 8 与气缸体 4 组成的凸轮机构(排气阀在图中未画出) 共同组成的。气缸体 4 作为机架, 是固定件; 燃气推动下的活塞 1 是原动件; 其余构件都是从动件。

各构件之间的联接方式如下: 5 和 6、7 和 8 之间构成高副; 1 和 4、8 和 4 之间构成移动副; 7 和 4、2 和 1、2 和 3、3 和 4 之间均为相对转动, 构成回转副。

选取一定的比例尺, 用构件与运动副的符号可以绘出此机构的运动简图, 如图 1-9, b 所示。图中齿轮副用

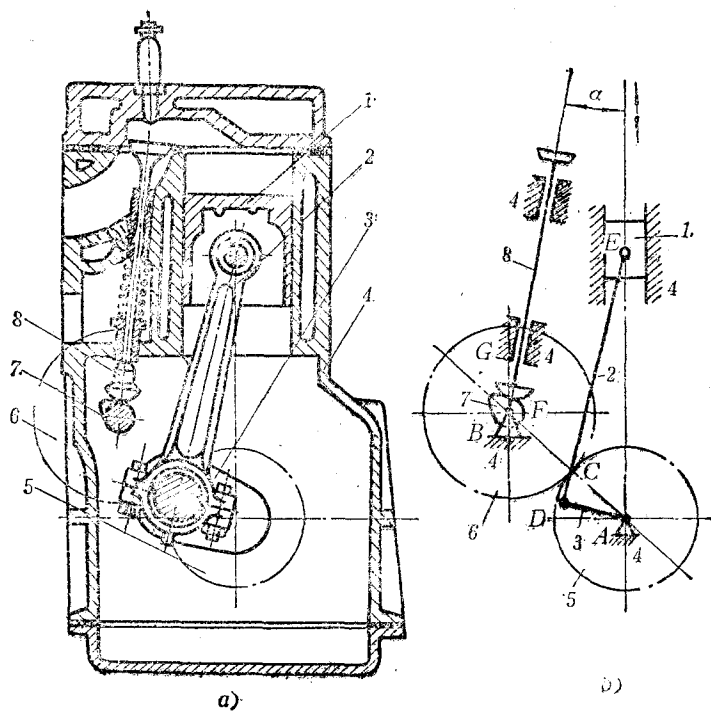


图 1-9

齿轮的节圆来表示,这是一种常用的习惯表示方法。

另外,应当注意,绘制机构运动简图时,原动件位置选择不同,所绘机构简图的图形也不同。当原动件位置选择不当时,构件互相重叠或交叉,使图形不易辨认。为了清楚地表达各构件的相互关系,应当选择恰当的原动件位置来绘图。

### \*§ 1-3 平面机构的自由度

机构是具有确定运动的构件组合体。显然,不能产生相对运动或无规则乱动的一堆构件是不能组成机构的。为了使所设计的机构能够运动并具有运动确定性,必须探讨机构自由度和机构具有确定运动的条件。

#### 一、平面机构的自由度

如前所述,一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。因此,在平面机构中,每一个活动构件在未用运动副联接之前,都有三个自由度,即沿着  $x$  轴和  $y$  轴的移动,以及在  $oxy$  平面内的转动(坐标系  $oxy$  与固定件固联,并且平行于运动平面)。当两个构件组成运动副之后,它们的相对运动就受到约束,相应的自由度数随之减少。不同种类的运动副,由于引入的约束数目不同,保留的自由度也不相同。如回转副(图 1-2)约束了沿  $x, y$  轴方向的两个移动的自由度,只保留一个转动的自由度;而移动副(图 1-3)约束了沿一轴方向的移动和在平面内的转动两个自由度,只保留沿另一轴方向移动的自由度;高副(图 1-4)则只约束了沿接触处公法线  $nn$  方向移动的自由度,保留绕接触处的转动和沿接触处公切线  $tt$  方向移动的两个自由度。也可以说,在平



面机构中,每个低副引入两个约束,使构件丧失两个自由度;每个高副引入一个约束,使构件丧失一个自由度。

若一个平面机构共有  $N$  个构件。除去固定件,则机构中的活动构件数为  $n=N-1$ 。在未用运动副联接之前,这些活动构件的自由度总数应为  $3n$ 。当用运动副将构件联接起来组成机构之后,机构中各构件具有的自由度数就减少了。若该机构中低副的数目为  $p_L$  个,高副的数目为  $p_H$  个,则机构中全部运动副所引入的约束总数为  $2p_L+p_H$ 。因此,活动构件的自由度总数减去运动副引入的约束总数就是该机构的自由度,又称机构活动度,以  $F$  表示,即

$$F=3n-2p_L-p_H \quad (1-1)$$

这就是计算平面机构自由度的公式。由公式可知,机构自由度  $F$  取决于活动构件的数目以及运动副的性质(低副或高副)和数目。

不言而喻,机构要能够动,它的自由度必须大于零。由于每个原动件具有一个自由度(如电动机转子具有一个独立转动,内燃机活塞具有一个独立移动)。因此,当机构自由度等于 1 时,需要有一个原动件;当机构自由度等于 2 时,就需要有两个原动件。也就是说,机构具有确定运动的条件是:机构的原动件数目必须等于机构的自由度。

由于机构的原动件的运动是由外界给定的,是已知条件,所以只需算出该机构的自由度,就可以判断它的运动是否确定。

**例 1-3** 试计算图 1-8,  $b$  所示颚式破碎机主体机构的自由度。

**解** 在颚式破碎机的主体机构中,有三个活动构件,即  $n=3$ ;组成的运动副是四个回转副,  $p_L=4$ ;没有高副,  $p_H=0$ 。所以由式(1-1)可得机构的自由度为

$$F=3n-2p_L-p_H=3 \times 3-2 \times 4=1$$

即此机构只有一个自由度。此机构原动件(曲轴 2)的数目与机构的自由度相等,故运动是确定的。当曲轴 2 绕轴线  $A$  转动时,动颚 3 与肘板 4 就能按照一定的规律运动。

**例 1-4** 试计算图 1-9 所示内燃机机构的自由度。

**解** 图中曲轴 3 与齿轮 5 是刚性联接,只能看作一个构件。同样,齿轮 6 与凸轮 7 也是同一构件。此机构的活动构件数为 5;低副数为 6:四个回转副和两个移动副(进气阀顶杆 8 与机架 4 之间的两个支承只应看作一个移动副);高副数为 2。由式(1-1)得

$$F=3n-2p_L-p_H=3 \times 5-2 \times 6-2=1$$

此机构只有一个原动件——活塞。因原动件数等于机构自由度,故运动是确定的。当活塞移动时,曲轴、凸轮和气阀均作有规律的运动。

当算得的机构自由度等于零时,说明机构中的活动构件的自由度总数与运动副引入的约束总数相等,自由度全部被取消了,构件之间不可能存在任何相对运动,它们与固定件形成一刚性桁架。例如在图 1-10,  $a$  中,三个构件用三个回转副相联,其机构自由度为零( $F=3 \times 2-2 \times 3=0$ )。显然,它是一个静定的桁架,与焊成一体的三角架(图 1-10,  $b$ )完全相同。如果算得的机构自由度是负值,则为超静定桁架。

通过上面的讨论可知,计算机构的自由度并检查它与给定的原动件数是否相等,是在分析现有机构以及设计新机构时判断机构是否具有确定运动的重要方法。