

# 机械原理

J I X I E Y U A N L I

清华大学机械设计教研组  
中央广播电视大学机械组

合编

张世民 主编

中央广播电视大学出版社

# 目 录

|                                   |                                        |
|-----------------------------------|----------------------------------------|
| 绪论.....1                          | § 3-13 平面四杆机构的几个工作特性 .....100          |
| § 0-1 机械原理的研究对象 .....1            | § 3-14 平面连杆机构的运动设计 .....111            |
| § 0-2 机械原理课程的内容 .....3            | <b>第四章 凸轮机构的分析和设计</b> .....125         |
| § 0-3 机械原理课程在教学计划中的地位 .....4      | § 4-1 概述 .....125                      |
| <b>第一章 机构的结构分析</b> .....5         | § 4-2 从动件的常用运动规律 .....128              |
| § 1-1 研究机构结构的目的是 .....5           | § 4-3 图解法设计盘形凸轮轮廓 .....137             |
| § 1-2 构件与运动副 .....5               | § 4-4 解析法设计盘形凸轮轮廓 .....144             |
| § 1-3 平面机构的运动简图 .....8            | § 4-5 凸轮设计中的几个问题 .....146              |
| § 1-4 平面机构的自由度 .....14            | § 4-6 柱体凸轮轮廓设计方法介绍 .....154            |
| § 1-5 平面机构的组成原理 .....23           | <b>第五章 齿轮的啮合原理和几何设计</b> .....157       |
| § 1-6 平面机构的高副低化 .....26           | § 5-1 概述 .....157                      |
| <b>第二章 机械中的摩擦和效率</b> .....29      | § 5-2 齿轮机构的类型 .....158                 |
| § 2-1 概述 .....29                  | § 5-3 齿廓啮合的基本定律 .....160               |
| § 2-2 机械的效率 .....30               | § 5-4 渐开线的产生、性质及其方程 .....161           |
| § 2-3 移动副的摩擦 .....31              | § 5-5 渐开线齿廓满足定角速比啮合的基本定律 .....163      |
| § 2-4 螺旋副的摩擦 .....42              | § 5-6 渐开线齿廓啮合的几个重要性质 .....166          |
| § 2-5 转动副的摩擦 .....45              | § 5-7 渐开线直齿圆柱标准齿轮的基本参数和尺寸计算 .....168   |
| <b>第三章 平面连杆机构的分析和设计</b> .....51   | § 5-8 渐开线直齿圆柱齿轮传动的正确啮合条件 .....178      |
| § 3-1 平面连杆机构运动分析的目的和方法 .....52    | § 5-9 齿轮无齿侧间隙啮合的几何条件 .....185          |
| § 3-2 平面连杆机构的位置图和动点轨迹的求法 .....53  | § 5-10 齿轮齿条啮合的特点 .....188              |
| § 3-3 同速点法及其在机构速度分析中的应用 .....55   | § 5-11 渐开线齿轮的加工方法 .....190             |
| § 3-4 向量多边形法及其在机构运动分析中的应用 .....61 | § 5-12 渐开线齿廓的根切 .....195               |
| § 3-5 平面连杆机构运动的解析法分析 .....74      | § 5-13 渐开线直齿圆柱标准齿轮不发生根切时的最少齿数 .....197 |
| § 3-6 机构的运动线图 .....77             | § 5-14 标准齿轮的局限性和变位齿轮 .....198          |
| § 3-7 机构中所受的力和受力分析的方法 .....78     | § 5-15 变位齿轮传动的几何尺寸计算 .....201          |
| § 3-8 平面连杆机构的静力分析 .....79         | § 5-16 齿轮的传动类型 .....208                |
| § 3-9 构件惯性力的确定和连杆质量的代换 .....83    | § 5-17 变位系数的选择 .....211                |
| § 3-10 平面连杆机构的动态静力分析 .....86      | § 5-18 斜齿圆柱齿轮机构 .....214               |
| § 3-11 平面连杆机构设计的基本问题 .....88      | § 5-19 螺旋齿轮机构 .....229                 |
| § 3-12 四杆机构的基本型式及其变换和演化 .....89   | § 5-20 蜗杆蜗轮机构 .....233                 |
|                                   | § 5-21 圆锥齿轮机构 .....241                 |
|                                   | <b>第六章 轮系及其设计</b> .....251             |

|                                  |     |                               |     |
|----------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| § 6-1 轮系的分类 .....                | 251 | <b>第八章 回转构件的平衡</b> .....      | 292 |
| § 6-2 定轴轮系传动比的计算 .....           | 251 | § 8-1 机械平衡的目的和分类 .....        | 292 |
| § 6-3 定轴轮系的功用 .....              | 253 | § 8-2 刚性回转构件的平衡计算 .....       | 294 |
| § 6-4 周转轮系的分类 .....              | 254 | § 8-3 刚性回转构件的平衡试验 .....       | 299 |
| § 6-5 周转轮系传动比的计算 .....           | 256 | § 8-4 回转构件的平衡精度 .....         | 302 |
| § 6-6 行星轮系各轮齿数和行星轮数<br>的选择 ..... | 268 | <b>第九章 机械系统的运动和速度调节</b> ..... | 306 |
| § 6-7 行星轮系的效率 .....              | 271 | § 9-1 概述 .....                | 306 |
| <b>第七章 其它常用机构</b> .....          | 277 | § 9-2 机械系统的驱动力和工作阻力 .....     | 307 |
| § 7-1 万向联轴节 .....                | 277 | § 9-3 机械系统的等效动力学模型 .....      | 309 |
| § 7-2 棘轮机构 .....                 | 280 | § 9-4 机械系统的运动方程 .....         | 314 |
| § 7-3 槽轮机构 .....                 | 283 | § 9-5 机械系统速度波动的调节 .....       | 318 |
| § 7-4 不完全齿轮机构 .....              | 287 | <b>习题</b> .....               | 324 |
| § 7-5 非圆齿轮机构 .....               | 290 | <b>主要参考文献</b> .....           | 356 |

# 绪 论

## §0-1 机械原理的研究对象

人们在日常生活和生产过程中,广泛使用着各种各样的机器,以便减轻体力劳动和提高工作效率,在有些人类难以生存的场所,更是非借助机器来代替人进行工作不可。

机器的种类极其繁多,它们的构造、用途和性能也各不相同。例如图 0-1 所示的是单缸内燃机。燃气由进气管通过进气阀 3 被吸入气缸后,进气阀关闭,点火,使燃气在气缸中燃烧产生压力,推动活塞 2 下行,通过连杆 5 使曲轴 6 转动,向外输出机械能。当活塞上行时,排气阀 4 打开,废气通过排气阀由排气管排出。曲轴上的齿轮 10 分别带动两个齿轮 9,从而带动轴上的凸轮 7,凸轮 7 再推动顶杆 8,使它按一定的规律定时地打开或关闭进气阀和排气阀。以上各个机件的协同配合动作,便能将燃气燃烧时的热能转变为曲轴转动的机械能。图 0-2 所示的是牛头刨床。电动机 1 通过带传动(图中未画出)使齿轮 2 带动大齿轮 3 转动。大齿轮 3 的侧面利用销轴装有滑块 4。滑块 4 和绕定轴转动的滑块 6 镶在导杆 5 的滑槽中。滑块 4 随齿轮 3 转动时,导

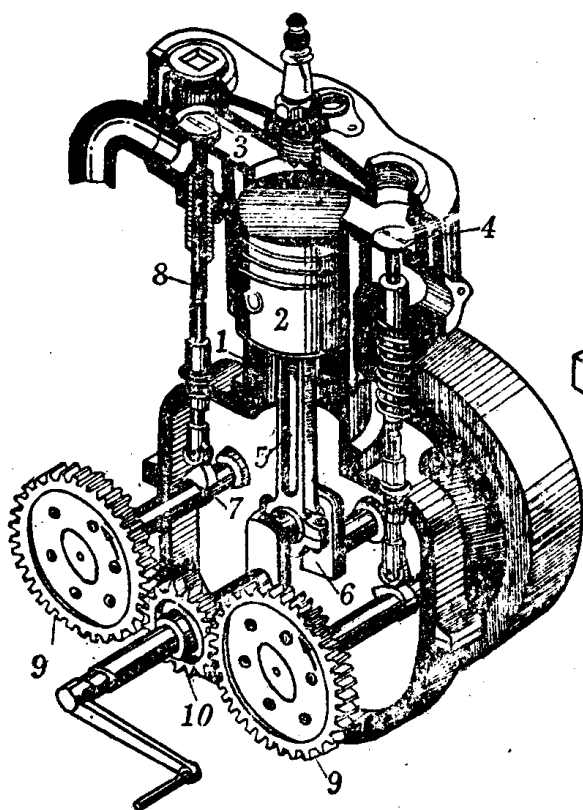


图 0-1

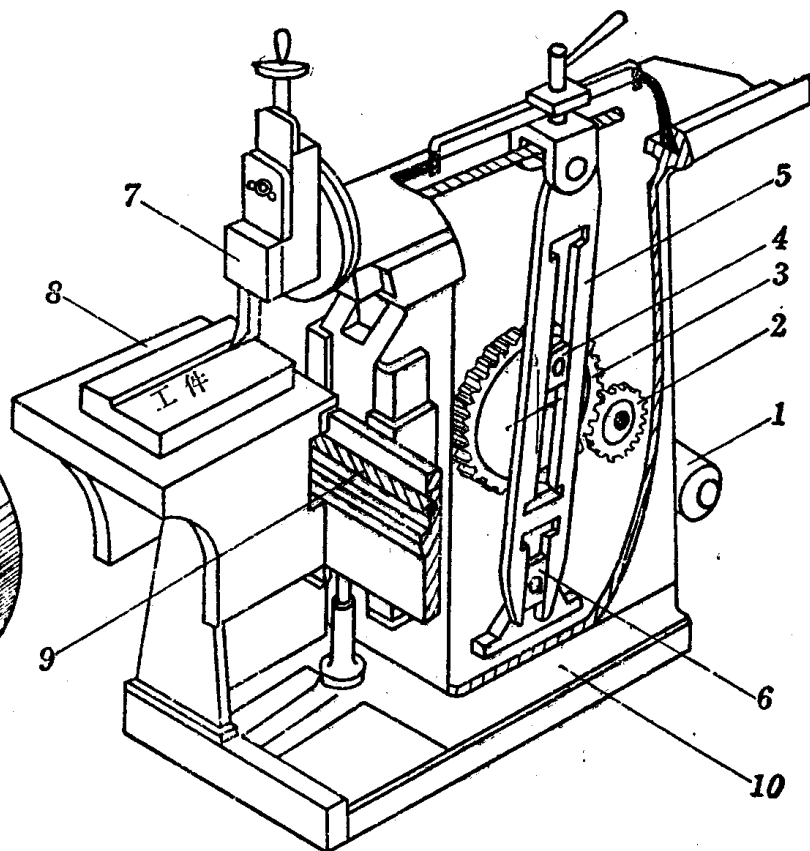


图 0-2

杆5往复摆动,由导杆5上端的销钉使刨头7作往复的直线移动,从而产生刨切动作。与此同时,工作台8连同工件还需要有横向的进给运动,以便使往复移动的刨刀能将工件刨切出平面。工作台8的这个横向进给运动,是通过其他辅助部分(图中未画出)带动丝杠9作间歇转动来实现的。通过牛头刨床的这些机件的协同动作,把电机的电能最后转换为刨刀往复切削的机械能,完成有用的功。

从以上两个例子可以看出,尽管这些机器的结构、性能、用途等截然不同,但是作为机器,它们之间仍有下列三个共同特征,即:

- 1) 它们都是人为的实体(机件)的组合;
- 2) 各个运动实体之间具有确定的相对运动。
- 3) 能实现能量的转换(如内燃机的热能转换为机械能)、代替或减轻人类的劳动,来完成有用的机械功(如牛头刨床的切削功)。

我们进一步分析以上两种机器,可以看出各个机件具有确定运动是其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,如带传动、齿轮传动等;有些是把转动变为往复移动,如牛头刨床中的滑块和导杆将齿轮3的转动变为刨头7的往复移动;有些是利用机件的轮廓曲线实现预定规律的移动或摆动,如内燃机中的凸轮。因此人们常根据实现这些运动形式的机件的外形特点,把相应的一些机件的组合称为机构。例如图0-3所示的是齿轮机构,它的构件形状的特点是具有轮齿,其运动特点是把高速转动变为低速转动或反之;图0-4所示的是凸轮机

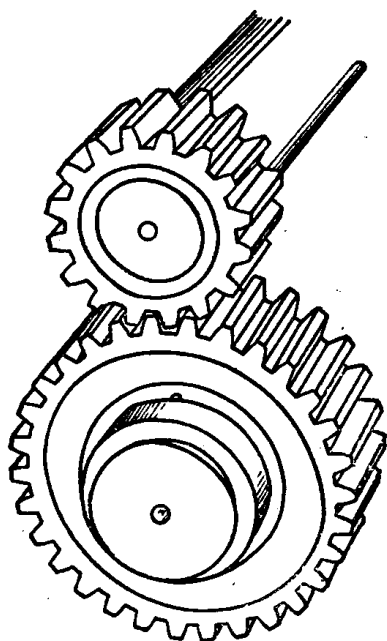


图 0-3

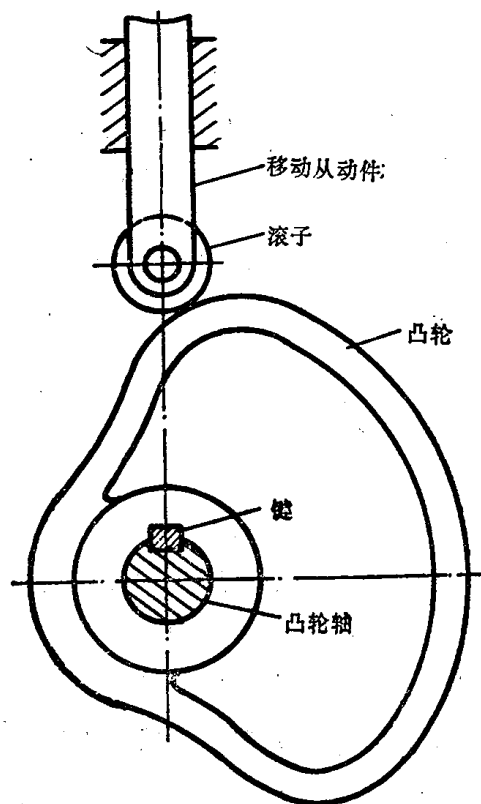


图 0-4

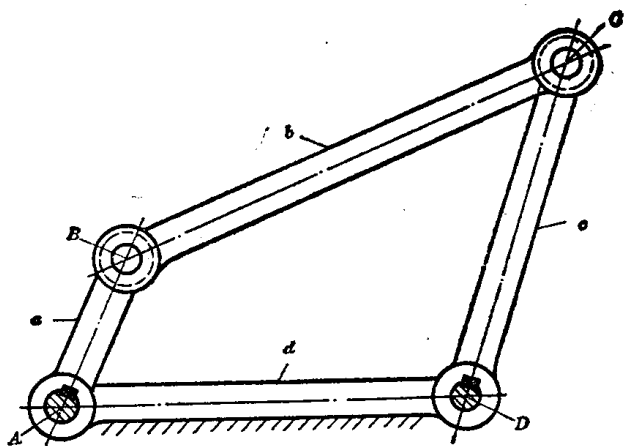


图 0-5

构,它的主要构件是具有特定轮廓曲线的凸轮,利用它的轮廓曲线使从动件作周期性的有规律的移动或摆动;图 0-5 所示的是连杆机构,其构件的基本形状是杆状或块状(如内燃机中的活塞或牛头刨床中的刨刀滑枕),能实现转动、摆动、移动等运动形式的相互转换。

由以上例子可以看出,机器是由各种机构所组成,可以完成能量的转换或做有用功;而机构则仅仅是起着运动的传递和运动形式的转换的作用。因此,机构的特征是:

- 1) 它们都是人为实体(机件)的组合;
- 2) 各个运动实体之间具有确定的相对运动。

从结构和运动的观点来看,机器和机构二者之间没有区别,因此我们用机械一词作为它们的总称。

作为一门学科来说,机械原理是研究机器和机构的一些共性的问题;此外,机器的种类虽有千千万万,但是组成机器的机构,其种类却是有限的(在一定意义上来说,二者类似于化学中的化合物和化学元素的关系),因此,机械原理是以机构作为具体的研究对象,探讨它们各自所具有的一些基本问题。至于各种具体的机器,有许多涉及专业方面的要求和特点,这些问题则是属于专业课程所讨论的范围。

## §0-2 机械原理课程的内容

机械原理课程的内容,大体分为三部分:

(1) 各种机构共同的基本问题:

- 1) 机构的组成原理和自由度计算;
- 2) 机构运动简图的表示方法;
- 3) 机构中的摩擦、效率和自锁。

(2) 分别讨论几种主要机构所特有的问题(其中有些分析方法也可应用于其他机构的分析中):

- 1) 连杆机构的运动分析、受力分析和连杆机构的运动设计;
- 2) 凸轮机构从动件运动规律的选择,凸轮轮廓设计和凸轮机构的尺寸参数的选择;

- 3) 齿轮传动的几何原理以及齿轮的参数和尺寸计算;
- 4) 齿轮系的传动比计算和齿轮齿数的确定;
- 5) 其他几种常用的特殊机构运动特性的分析和基本尺寸的确定。

(3) 机器运转的稳定性问题:

- 1) 回转构件的平衡;
- 2) 机器运转过程中速度波动的调节。

本课程所用的方法,以几何图解法作为基本方法,因为这种方法具有明晰、具体和便捷等优点;必要时,则辅以解析方法,以适应精度要求较高的场合。

### §0-3 机械原理课程在教学计划中的地位

由于机器的种类极其繁多,因此在教学计划中,按各种专业设置了相应的专业课程,针对有关的专业机器的专门问题进行讲述;至于各种专业机器所共有的一些问题,则由机械原理、机械零件等几门技术基础课程来讨论。

机械原理课程以高等数学、普通物理、理论力学和机械制图等课程为基础;而它本身则又为以后学习机械零件和有关的专业课程打下理论基础。因此,机械原理是一门对机械类各个专业都很重要的技术基础课程;它起着承先启后的桥梁作用。此外,本课程中有些内容也可以直接应用于生产实践。因此,机械原理课程在教学计划中占有十分重要的地位。

# 第一章 机构的结构分析

## §1-1 研究机构结构的目的

不论是机器还是机构, 它们的共同特征是各个运动部分都必须有确定的相对运动。在设计新机器时, 首先应判断所设计的各个机构能否运动; 如果能够运动, 则还必须判断在什么条件下才会具有确定的运动。研究机构结构的目的之一, 就是探讨机构运动的可能性及其具有确定运动的条件。在分析已有的机器时, 也要求对其中的机构, 尤其是对一些复杂的机构进行结构分析, 以便比较透彻地了解机构的结构特点, 从而为机构的运动分析、受力分析等指明方向。

实际机构的机件外形往往比较复杂, 其中有些尺寸仅与强度、加工工艺、机器的布局等有关, 而与运动性质无关; 但其中有些尺寸则直接影响到机构的运动。机械原理课程既然以机构的运动为主要的研究内容, 则为了便于研究机构的运动, 就有必要撇开那些与运动无关的尺寸(如厚度、宽度等), 仅仅根据那些与运动有关的尺寸, 用简单的线条和符号, 绘制出机构的简图, 以便在设计新机器时, 作为机构方案讨论的一种工程语言。同时, 这种机构简图也是进一步作机构分析的基础。这种机构简图只标注与运动有关的那些尺寸, 因此称为运动简图。

## §1-2 构件与运动副

### 一、零件与构件

前面提到的“运动实体”、“机件”, 是指机构运动时作为一个整体参与运动的刚体, 我们称之为构件。一个构件, 可以是不能拆开的单一整体, 但更常遇见的构件, 则是由若干个分别加工制造的部分装配起来的刚性体, 这些分别加工制造的部分, 称为零件。因此, 构件与零件的区别在于: 构件是运动的单元, 零件是加工制造的单元。本课程以构件作为研究的基本对象。在图 0-4 所示的凸轮机构中, 凸轮用键来与凸轮轴装配成一个运动整体, 成为一个构件, 而凸轮、键和轴, 则都是零件。

### 二、运动副

机构的重要特征是各个构件都要有确定的运动, 为此必须对各个构件的运动加以限制。在机构中, 每个构件都以一定的方式来与其他构件相互接触, 二者之间形成一种可动的联接, 从而使两个互相接触的构件之间的相对运动受到限制。两构件之间的这种可动联接, 称为运动副。

按照机构各构件的运动范围, 可以将机构分为平面机构和空间机构两大类。平面机构的各个构件, 在同一个平面或互相平行的平面中运动。由于常用的机构大多数为平面机构, 因此我们只讨论平面机构的一些有关问题。

图 1-1 表示与平面坐标系  $xOy$  固结在一起的构件 1。设在该平面中有另一构件 2, 它在该平

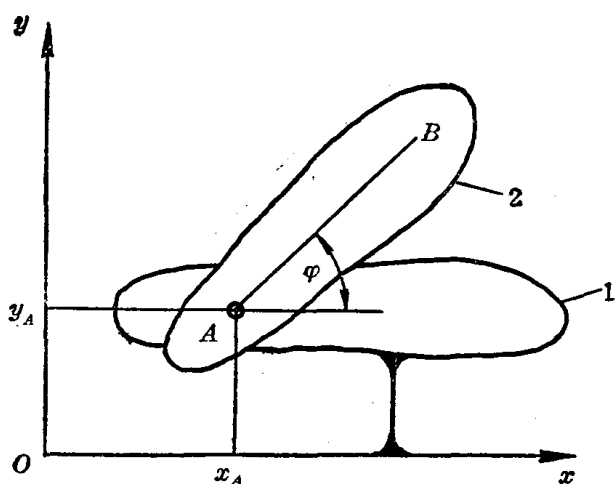


图 1-1

面中的位置, 可以用其上任一点  $A$  的坐标  $x_A$  和  $y_A$  以及过点  $A$  的任一直线  $AB$  的倾角  $\varphi$  来描述。当构件 2 与构件 1 之间毫无联系时, 构件 2 上点  $A$  的坐标  $x_A$  和  $y_A$  以及角  $\varphi$  可任意变化。这三个可变参数称为两构件之间相对位置的自由度。如果两个构件以某种形式相互接触而形成运动副之后, 例如图 1-1 所示的两构件 1 和 2 借助于铰链而在点  $A$  形成一种转动的运动副, 则构件 2 上的点  $A$  相对于构件 1 的移动参数  $x_A$  和  $y_A$  就不能再任意变化, 也就是说, 这两个相对的自由度被限制、被约束了, 只剩下一个角  $\varphi$  可以自由变化, 亦即只剩下一个绕垂直于平面  $xOy$  的轴  $z$  的转动自由度。由此可见, 两构件之间的运动副所起的作用, 是限制或约束该两构件之间的相对运动, 使相对运动自由度的数目减少。

运动副对自由度所产生的约束数目和内容取决于运动副的型式。

平面机构中的运动副有三种型式。图 1-2 和图 1-3 所示, 是约束掉两个自由度的运动副。

图 1-2 所示的是构件 1 和构件 2 以铰链联接起来的运动副 (轴与轴承的配合也构成这种运动副), 两构件只能绕轴  $z$  自由转动, 沿轴  $x$  和轴  $y$  的自由移动则被约束掉了。这种运动副称为转动副。

图 1-3 表示矩形构件 2 可在构件 1 的矩形孔中沿轴  $x$  作相对移动, 而沿轴  $y$  的移动自由度和绕轴  $z$  的转动自由度则被约束掉了。这种运动副称为移动副。

转动副和移动副所具有的共同点是:

- 1) 都约束掉两个自由度(虽然约束的内容有所不同);
- 2) 可动联接的部分都是面与面的接触(转动副中是圆柱面的接触, 移动副中是矩形表面的接触)。

面接触的运动副, 在承受载荷之后, 其压强要比点或线相接触时低得多, 因此我们把这种面与面相接触的运动副称为低副。显然, 由于低副的压强较低, 因此比较耐磨损。上述两种低副对自由度的约束数均为 2。

图 1-4 所示的是平面机构的第三种型式的运动副, 两构件以点或线的形式相接触而形成运动副。这种运动副, 允许两构件在接触点  $A$  绕垂直于平面的轴  $z$  作相对转动和沿切线  $tt$  方向作

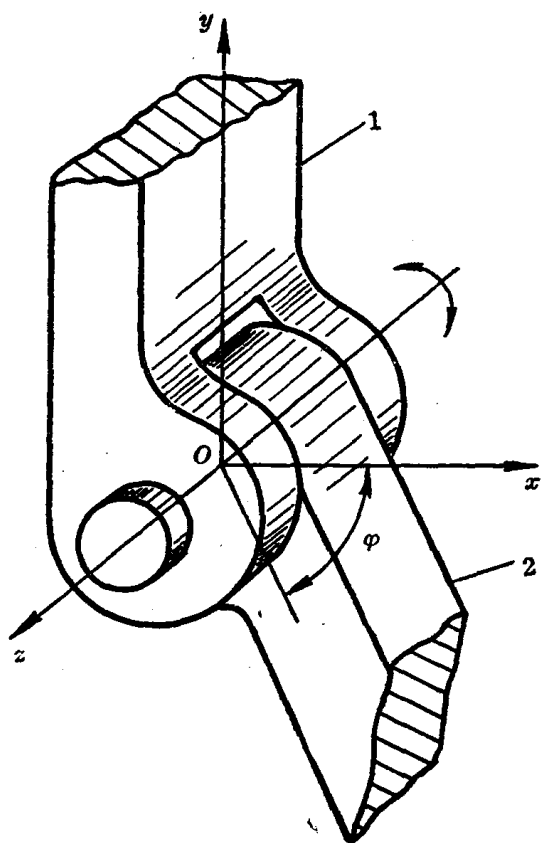


图 1-2

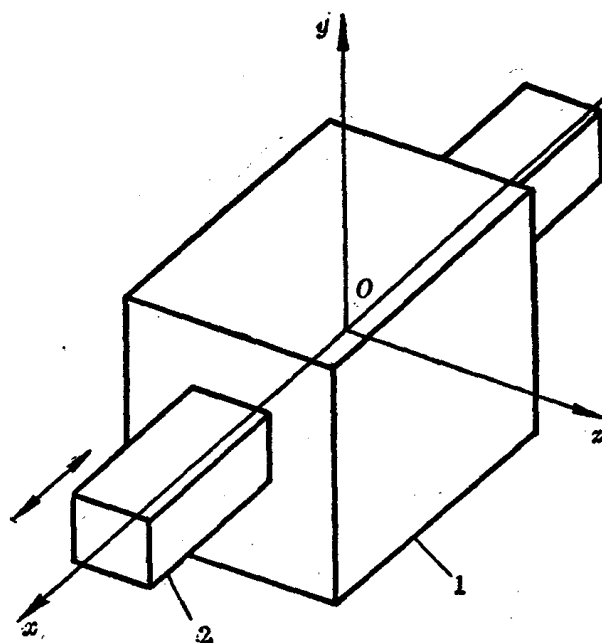
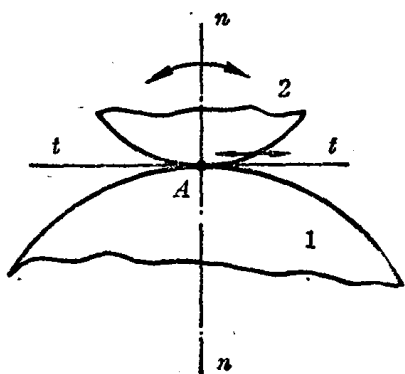
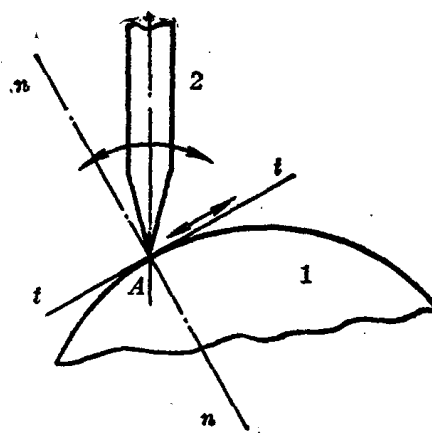


图 1-3

相对移动,而只约束掉沿着过接触点  $A$  的廓线法线  $nn$  方向的移动自由度。这种以点或线相接触的运动副,接触部分的压强较高,因此称为高副。显然,高副的接触表面不如低副那样耐磨损;但由于高副的约束数较少(只约束掉一个移动自由度),因此含有高副的机构(例如凸轮机构)在运动设计时,要比低副机构容易得多。



(a)



(b)

图 1-4

### §1-3 平面机构的运动简图

机器是由许多机构组成的。因此,在新机器的方案设计时,或是对已有机器和新机器进行运动分析和受力分析时,都需要有一种简明的图形,以表明机构和运动副的类型以及各机构在传动过程中的先后顺序,以供方案讨论之用;有时并需标出那些与机构运动有关的尺寸,以便作为机构的运动分析和受力分析时的基本数据。这种简明的机构图形就是**机构运动简图**。

机构运动简图所要表示的主要内容为:运动副的类型和数目、构件的数目、运动尺寸、机构的类型。

#### 一、运动副的表示方法

图 1-5 所示的是两个构件形成转动副的几种情况的表示方法。转动副都用小圆圈表示。图 1-5(a) 表示两个活动构件形成转动副;如果两构件之一是固定件(机架),则把固定件画上斜线,如图 1-5(b)或(c)所示。

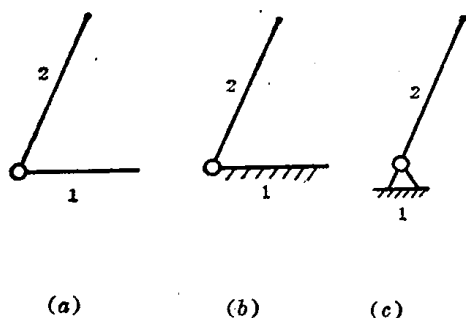


图 1-5

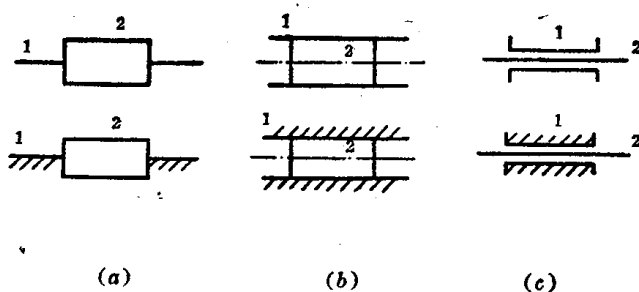


图 1-6

图 1-6 是两构件组成移动副的几种表示方法,其中画有斜线的构件表示是固定件。

当两构件组成高副时,在传动示意图或方案讨论用的运动简图中,可在两构件的接触处示意性地画出曲线轮廓,如图 1-4 的(a)和(b)所示。如果已经明确是凸轮机构或齿轮机构的高副,则可直接按凸轮机构或齿轮机构的简图形式,示意性地画出来(表明它是哪种凸轮机构或齿轮机构即可)。

#### 二、几种主要机构的简图表示方法

##### 1. 连杆机构

连杆机构是由转动副和移动副这两种低副组成的机构,因此有时也称为**低副机构**,其构件形状则为杆状和块状。具有两个转动副的杆状构件,用直线连接两转动副的几何中心来表示。图 1-7 是图 0-5 所示四铰链(转动副)机构的运动简图,其中构件上两铰链中心连线的长度,是直接于机构运动有关的尺寸,在进行运动分析和受力分析时,应标注出这些运动副之间相对位置的尺寸。有时为了避免该运动构件与其他构件相碰而把构件做成某种形状。图 1-8(a)所示的弯曲构件,在运动简图中,仍用两转动副几何中心所连直线来表示,如图 1-8(b)所示。

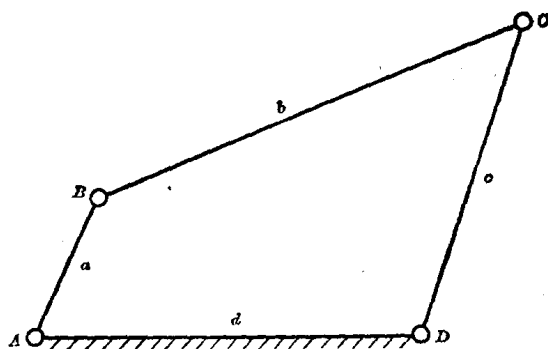


图 1-7

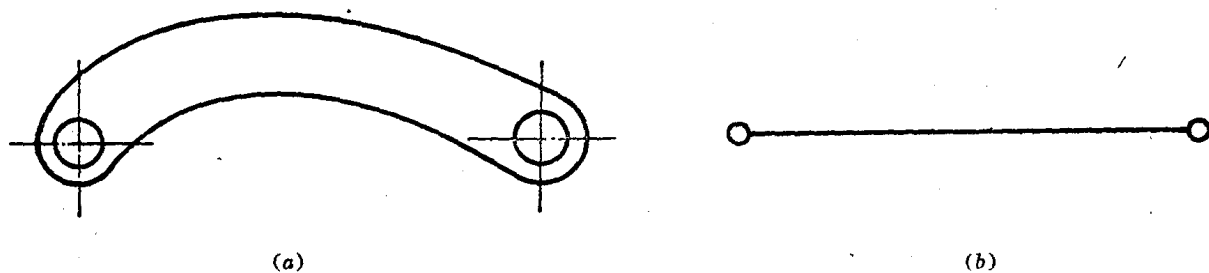


图 1-8

如果构件上具有多个转动副, 则用直线把它们连接成多边形, 并在相邻两条直线相交部位涂以焊接记号, 如图 1-9(a) 和 (b) 所示, 或者把多边形画上阴影线, 如图 (c) 所示。如果同一构件上的三个转动副正好位于一直线上, 则为了表明它们是同一构件上的三个转动副, 可用跨越半圆符号来连接两段直线, 如图 (d) 所示, 而绝不可用两段简单的连线来表示, 因为这将使人误认为是两个构件正好位于一直线上。

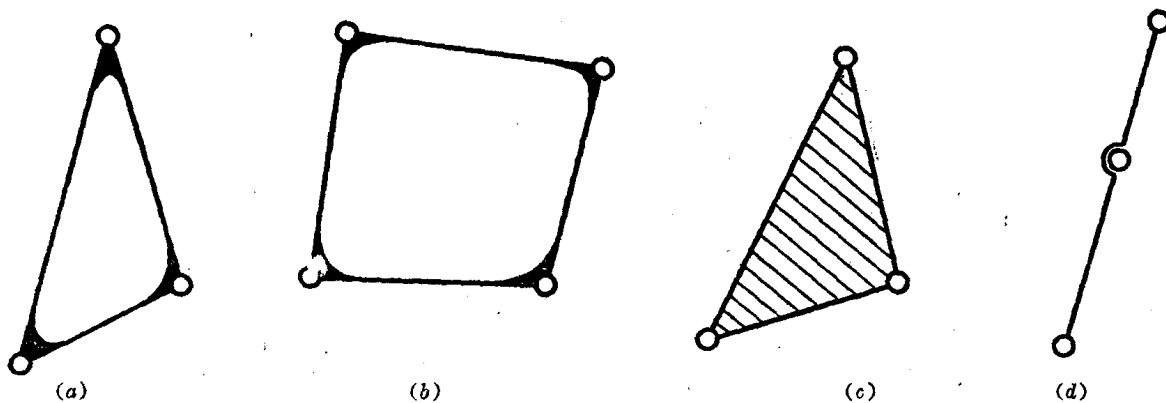


图 1-9

当两构件形成移动副时, 它们的相对移动方向关系到运动量的变化性质, 应该在运动简图

中正确表示出来。图 1-6 是两构件形成移动副的几种表示方法；图 1-10(a) 和(b) 表示构件 1 分别与构件 2 和构件 3 形成移动副的表示方法，其中点划线表示两构件的相对移动方向，在画机构的运动简图时，点划线则画为实线，以表示滑块所沿之滑动的构件。图 1-10(c) 和(d) 表示一个构件与另两构件分别形成移动副和转动副的表示方法。

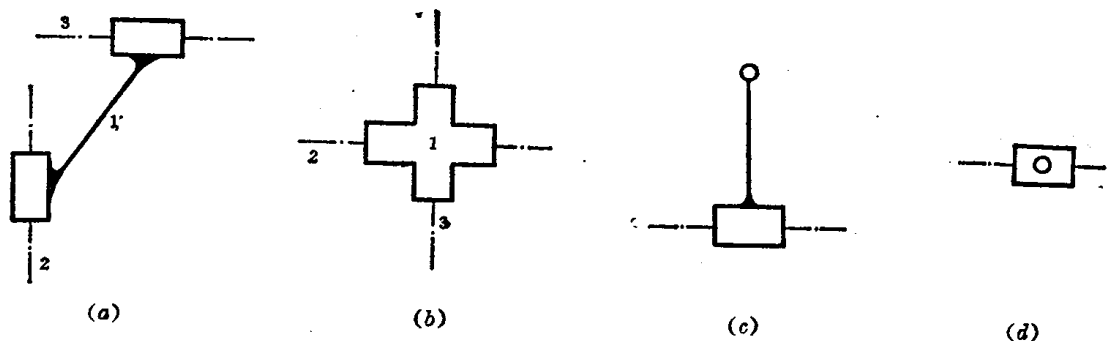


图 1-10

## 2. 凸轮机构

凸轮机构中的主要构件是凸轮，它的形状基本上有三种。一种是盘形凸轮，如图 0-4 所示，它的示意性简图如图 1-11(a)、(b) 所示。第二种是移动凸轮，它的示意性简图如图 1-11(c)、(d) 所示。第三种是圆柱凸轮，它的示意性简图如图 1-11(e)、(f) 所示(图中“×”号表示固结在凸轮轴上)。

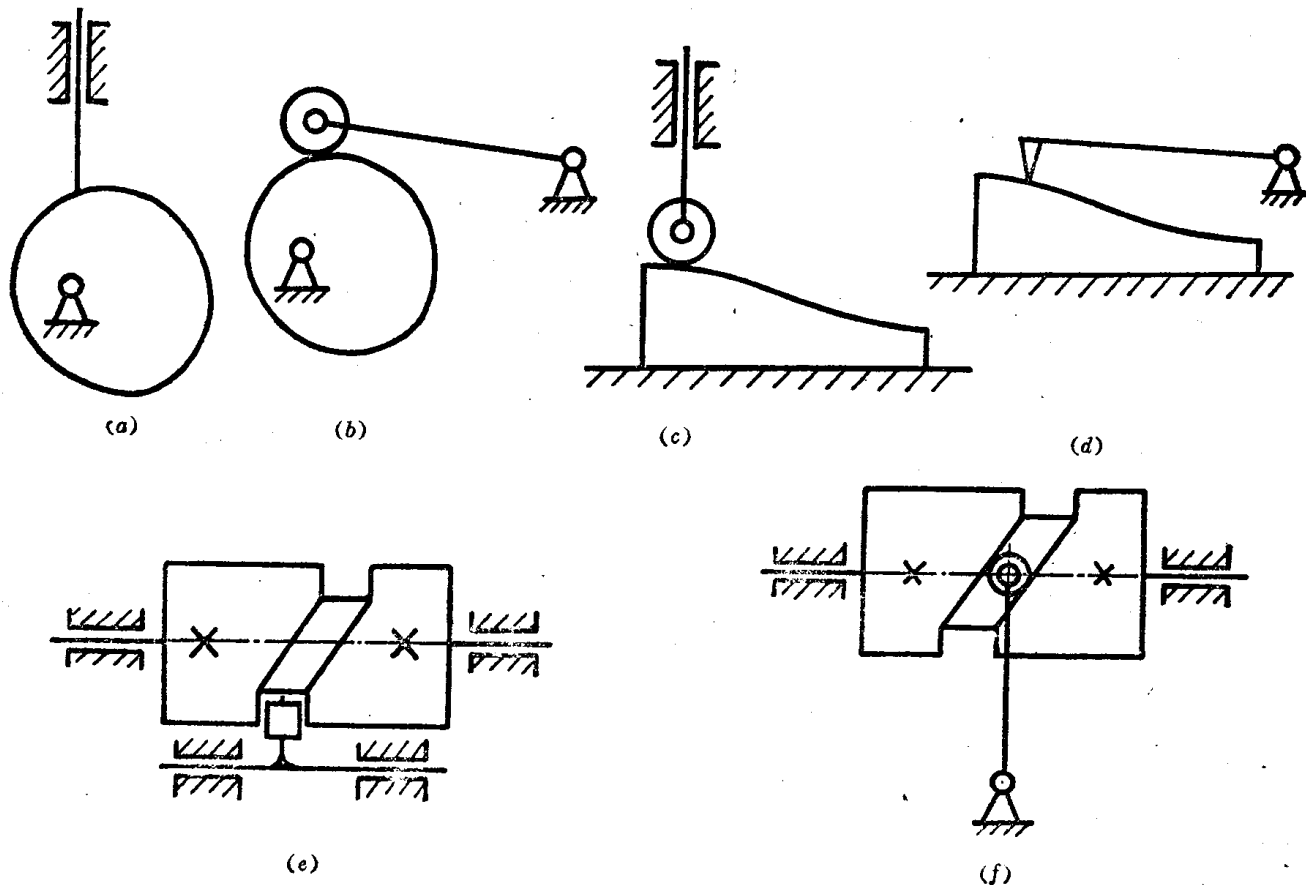


图 1-11

### 3. 齿轮传动

齿轮传动按它们的轴线关系, 可分为以下几类(图 1-12, 其中固定转轴的符号均略去未表示)。

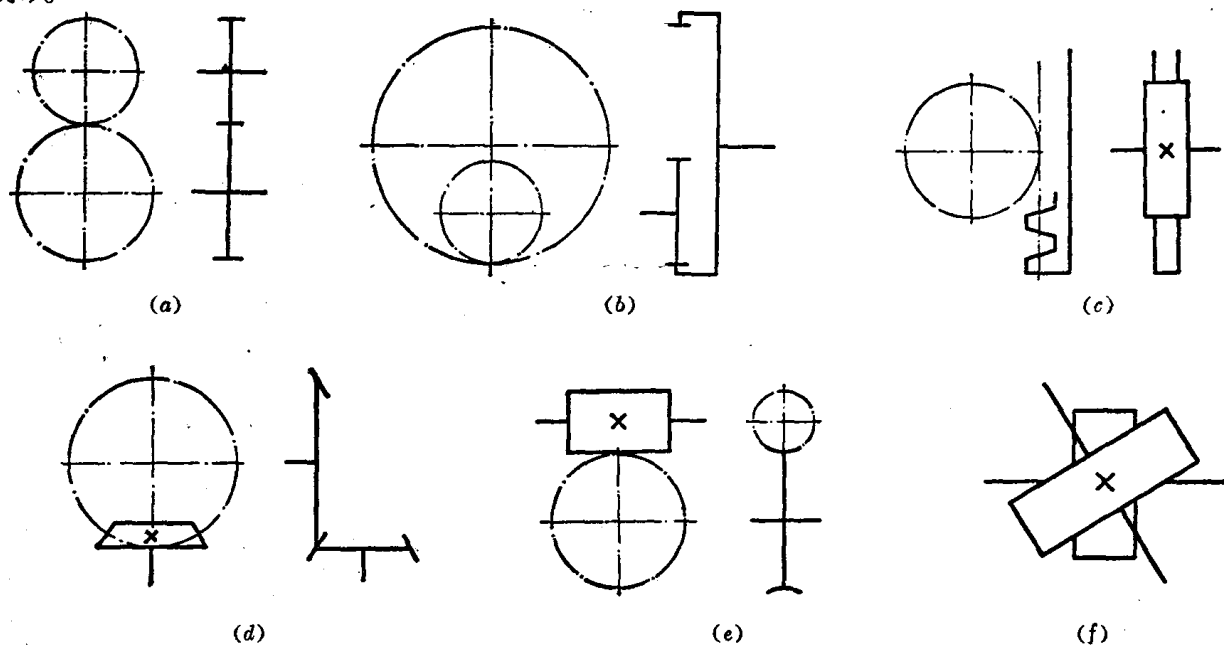


图 1-12

(1) 两轴线平行的圆柱齿轮传动, 其中又分为:

- 1) 两齿轮转向相反的外啮合传动, 其正面视图和侧面视图的简图如图 1-12(a) 所示;
- 2) 两齿轮转向相同的内啮合传动, 其简图如图 1-12(b) 所示。

(2) 齿轮-齿条传动的简图, 如图 1-12(c) 所示。

(3) 两轴线相交的圆锥齿轮传动, 其简图如图 1-12(d) 所示。

(4) 两轴线交错的齿轮传动, 其中又分为:

- 1) 蜗杆蜗轮传动, 其简图如图 1-12(e) 所示;
- 2) 螺旋齿轮传动, 其简图如图 1-12(f) 所示。

### 4. 胶带传动

- 1) 开口式平型带传动的简图, 如图 1-13(a) 所示;
- 2) 交叉式平型带传动的简图, 如图 1-13(b) 所示。

除以上介绍的几种主要的常用机构之外, 其他一些机构的简图, 可参阅国家标准 GB138-74, 这里不再详细介绍。

### 三、机器运动简图的绘制

一部比较完整的机器, 它所包含的机构大体上可分为三类:

- 1) 主要运动系统的机构(主机机构), 例如牛头刨床刨刀的运动机构;
- 2) 辅助运动系统的机构(辅助机构), 例如刨床工作台的横向进给运动机构;
- 3) 调整系统的机构。

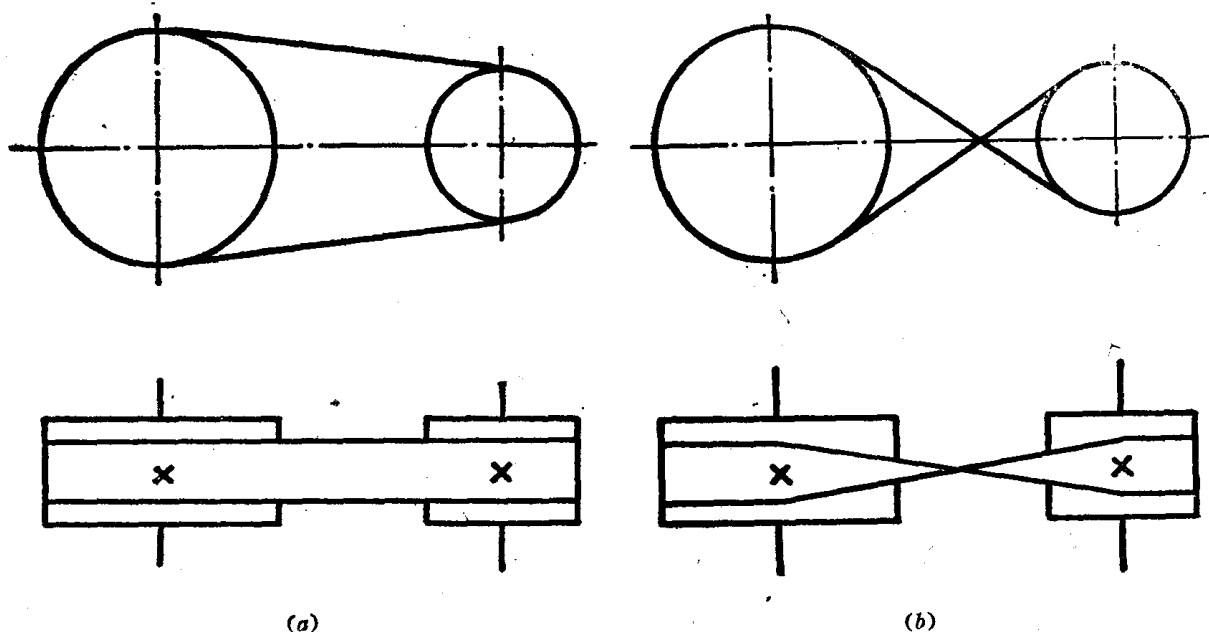


图 1-13

机器运动简图的主要内容是主机构系统的简图，它应在图面中占有最明显的地位。其次是辅助系统的机构，如果辅助机构与主机构不在同一平面或平行平面内，则可用辅助视图来表示。至于调整系统的机构，通常在机器运行之前发挥调整作用，而当机器运行时，它们则处于相对静止状态，有如一个刚体，在机器方案讨论时，常常不予考虑，因此机构的运动简图有时不表示出调整机构。

在图 0-2 所示牛头刨床的轴测图中，主要表示了主运动系统的机构。我们就以这个机器为例来讨论运动简图的绘制。

牛头刨床的主运动系统是从电机 1 开始，通过一级带传动减速（图中未表示出来），带动小齿轮 2 和大齿轮 3，再由与大齿轮 3 侧面所铰接的滑块 4，带动槽形导杆 5 和绕定轴摆动的滑块 6 作往复摆动，最后通过导杆 5 上的铰链，使装有刨刀的滑枕 7 在机架 10 的燕尾槽中往复移动，刨切工作台 8 上的工件。因此，从电机 1 开始，直到滑枕 7，都属于主运动系统的机构。机构运动简图的主要视图面应取这些机构的运动平面作为主平面，以便能清晰地表示出电动机、带传动、齿轮传动和连杆机构。从电机开始到齿轮传动，都是回转运动，后经连杆机构则把回转运动转换为滑枕 7 的往复移动，运动形式上起了变化，因此从这个意义上来说，有时仅仅把大齿轮 3 及其滑块 4、导杆 5、滑块 6 和滑枕 7 所组成的连杆机构称为主机构。辅助的送进机构是丝杠 9 和工作台 8 组成的螺旋机构，它位于主平面的左侧面中。而带动丝杠 9 作间歇单向转动的机构，是连杆机构和棘轮机构，它们位于主平面中（图 0-2 中随刨床外壳被剖去而未表示出来，请参阅图 7-8），因此在主平面中可以表示出这套连杆机构和棘轮机构。至于侧面的螺旋机构则需单独表示，并且要表明丝杠 9 与棘轮机构之间的联系。滑枕 7 内部的丝杠，则是用来调整滑枕 7 相对于工件的前后位置的，机器进入工作状态后，滑枕 7 内部的螺旋机构处于相对静止状态，因此在机器的运动简图中可以不必表示出来。

图 1-14 是图 0-2 所示牛头刨床的运动简图。其中构件 11、12 连同大齿轮 3 和机架 10 组成连杆机构,而摆动杆 12、棘爪 13 和棘轮 9' 组成棘轮机构,这两个辅助运动机构都在主运动平面内。棘轮 9' 和丝杆 9 是同一构件,绕轴 H 转动。由于丝杠 9 与工作台 8 组成的螺旋机构在转过 90° 的侧平面内,因此采用单独表示的办法表示在左边。

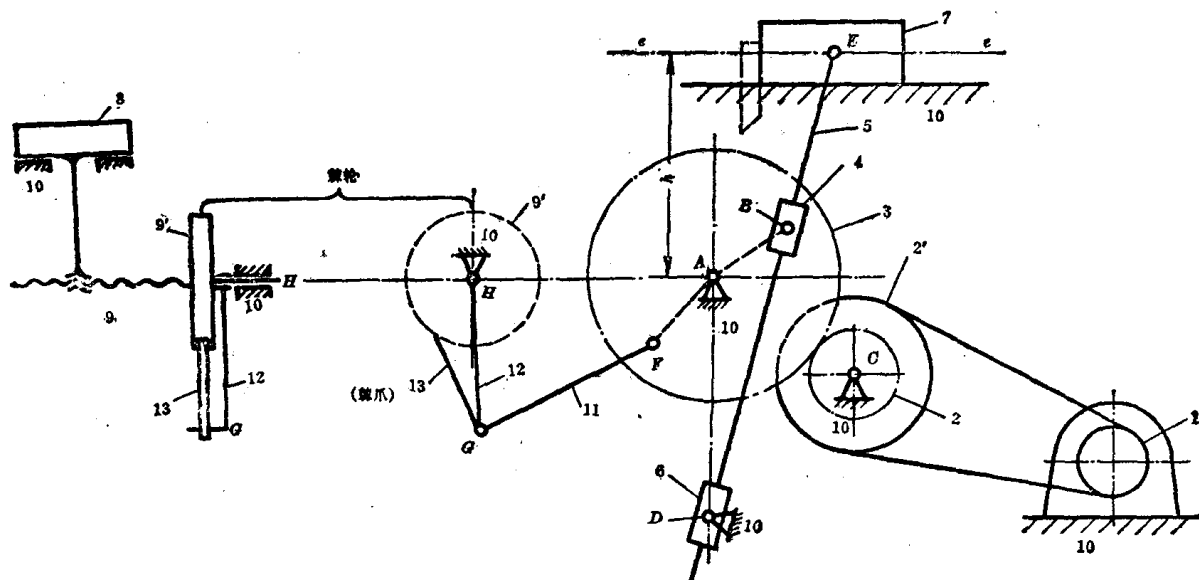


图 1-14

在绘制运动简图时,要注意以下几个方面:

1) 简图上应尽量减少构件重迭时的虚线,在实际机器中,图 1-14 的大胶带轮 2' 很可能比小齿轮 2 更靠近读者,这时小齿轮 2 将完全被遮盖。为了避免引用虚线,可以变通地把大带轮 2' 移到小齿轮 2 的后面去,这种变动对运动并无影响。

2) 当一个轴上装有若干个零件时,在所选的视图中,常常区别不出它们究竟是组成一个刚体(作为一个构件同速转动,如图 1-14 中的大胶带轮 2' 和小齿轮 2)呢? 还是共轴的两个单独转动的构件(如图 1-14 中的棘轮 9' 和杆件 12)呢? 为了避免混乱,凡是同一刚体的若干个零件,都编以同样的构件数码,只是在它们各自数码右上角加以撇号(一撇、两撇等);如果它们各自分别转动,则分别标以不同的构件数码。

在绘制供运动分析、受力分析和机构尺寸设计用的运动简图时,需要准确地按长度比例尺画出各个机构的构件,并标注出那些与运动有关的尺寸,长度比例尺用符号  $\mu_l$  表示:

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

在图 1-14 所示的机构运动简图中,要标出胶带轮直径  $D_1$ 、 $D_2$  和齿轮齿数  $z_2$  和  $z_3$ ,并标出连杆机构各杆件的长度。至于各固定转动副 A、C、D、H 等,则要标出它们的相对位置,例如以大齿轮 3 的转动副 A 为坐标参考点,标出 C、D、H 等相对于点 A 的方位和距离。对于移动副,如象滑块 7 (刨刀的滑枕),则要标出滑块上的转动副 E 移动的方向线 ee,以及 ee 线到参考点 A 的垂直距离 h,而不能标注滑动面到点 A 的距离,因为这个距离取决于滑块 7 的厚度,而这个厚度则是

与运动无关的量。

## §1-4 平面机构的自由度

若干构件借助于运动副连接而成的系统,称为运动链。把运动链中的某一构件加以固定或相对固定(成为机架),当其中一个或几个具有独立运动的构件推动其余构件作确定的运动时,则这个运动链就成其为机构。其中作独立运动的构件称为原动件,其余构件称为从动件。如果各个从动件根本不能运动,或作无规律的乱动,则这个运动链就不是机构。

运动链能否成为机构,取决于构件的数目、运动副的种类和数目以及原动件的数目。我们以图 1-15 所示的运动链为例来讨论它能成为机构的条件。

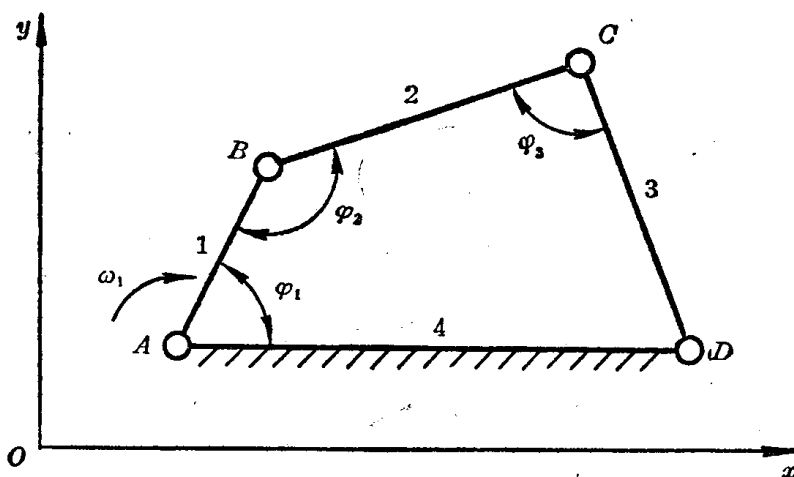


图 1-15

我们在坐标平面  $xOy$  中取一固定件 4 作为机架。首先引入构件 1, 当它尚未以点 A 与固定件 4 铰接之前, 可以在平面  $xOy$  中自由运动, 亦即它的  $x_A$ 、 $y_A$  和  $\varphi_1$  三个参数可以自由变化而不受任何约束, 因此构件 1 具有三个自由度。当构件 1 以其点 A 与固定件 4 铰接之后, 它的  $x_A$  和  $y_A$  这两个参数受到了约束(限制)而不能任意变化, 这时它只有  $\varphi_1$  可以自由改变, 只需要知道独立参数  $\varphi_1$  的值, 活动构件 1 相对于机架 4 的位置就可以确定。我们以符号  $F$  表示它的自由度数目, 则上述过程可以写成下列关系式:

$$F = \text{原有的自由度数目} - \text{被运动副约束掉的自由度数目} = 3 - 2 = 1。$$

再引入第二个构件 2。它在未受任何约束之前具有三个自由度, 这时由活动构件 1 和构件 2 所组成的系统(运动链), 一共将有四个自由度, 即

$$F = (3 - 2) + 3 = 4$$

亦即要确定这个系统相对于机架 4 的位置时, 需要知道  $\varphi_1$ 、 $x_B$ 、 $y_B$  和  $\varphi_2$  四个独立参数。如果构件 2 以点 B 与构件 1 相铰接, 则参数  $x_B$  和  $y_B$  就只能随构件 1 的位置而变化, 不再是独立参数, 构件 2 只有  $\varphi_2$  可以独立变化。这时, 由活动构件 1 和 2 组成的系统, 其自由度为  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  这两个独立参数, 即自由度数目为:

$$F = (3 - 2) + (3 - 2) = 2$$