

586381

575
44177

机械设计基础

华南工学院编



成都科学技术大学图书馆

基本馆藏

广东科技出版社

机械设计基础

华南工学院编

黎庶慰 熊文修 黄用周 何乐炯 周贵宽
秦绍天 郑时雄 谢存禧 汪 钦 何永然 执笔

广东科技出版社

内 容 简 介

本书以华南工学院原教材为基础,吸取了广大读者意见,参照了我国正在编写的《机械工程手册》所引用的资料和方法进行编写。书中主要介绍典型机构和常用零件的结构与设计,并增加了内齿轮传动的原理和设计、行星齿轮传动的分析和设计,补充了凸轮机构、间歇运动机构等典型机构的内容。滚动轴承、齿轮传动、带传动和链传动等设计方法,与《机械工程手册》中采用国际标准化组织(ISO)推荐的方法相同。

书中备有必要的表格、数据和例题,叙述力求由浅入深,便于自学。本书可供工科院校机械类专业学生、七·二一工人大学学生学习和机械行业职工参考。

机 械 设 计 基 础

华南工学院编

广东科技出版社出版

广东省新华书店发行

广东新华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 33.25印张 1插页 820,000字

1979年11月第1版 1979年11月第1次印刷

印数 1~10,000册

书号 15182·10 定价 2.60元

目 录

第一章 机器、机构及其组成	1
第一节 机械、机器、机构、零件和部件.....	1
第二节 平面机构的组成原理.....	3
第三节 机构运动简图的画法.....	6
第二章 螺纹联接与螺旋传动	9
第一节 螺纹.....	9
第二节 螺纹联接的结构.....	14
第三节 螺纹联接的计算.....	18
第四节 螺旋传动.....	30
第五节 滚珠丝杠简介.....	40
第三章 带传动	42
第一节 概述.....	42
第二节 三角胶带的规格.....	45
第三节 带传动的工作原理.....	45
第四节 三角胶带传动的工作能力及设计准则.....	50
第五节 三角胶带轮.....	59
第六节 平型胶带传动简介.....	62
第四章 链传动	68
第一节 概述.....	68
第二节 套筒滚子链和链轮.....	70
第三节 套筒滚子链传动的失效形式及其设计计算方法.....	75
第四节 齿形链传动简介.....	82
第五章 齿轮原理与设计	85
第一节 齿轮传动的特点和类型.....	85
——渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的几何计算	
第二节 标准直齿圆柱齿轮各部分名称和尺寸关系.....	87
第三节 外啮合直齿圆柱齿轮传动.....	93
第四节 齿轮齿条传动.....	97
第五节 内啮合直齿圆柱齿轮传动.....	98
第六节 任意半径齿厚和齿厚测量尺寸的决定.....	99
第七节 重合度和滑动率.....	107
第八节 齿轮的范成法加工原理.....	112

第九节 外啮合渐开线齿轮传动的干涉与过切	114
第十节 内啮合渐开线传动的干涉与过切	118
——渐开线直齿圆柱齿轮的强度计算	
第十一节 齿轮破坏形式和材料选择	124
第十二节 齿轮的主要参数和精度的确定	129
第十三节 直齿圆柱齿轮的强度的设计计算	133
第十四节 圆柱齿轮的结构和工作图	152
——变位直齿圆柱齿轮传动	
第十五节 齿轮的变位原理	159
第十六节 外啮合变位齿轮传动的尺寸计算	162
第十七节 外啮合变位齿轮传动的类型及其优缺点	170
第十八节 外啮合变位齿轮传动的变位系数选择	172
第十九节 内啮合变位齿轮传动和变位系数选择	182
——其它型式的渐开线齿轮传动	
第二十节 斜齿圆柱齿轮和人字齿轮传动	189
第二十一节 螺旋齿轮传动简介	203
第二十二节 直齿圆锥齿轮传动	206
第六章 蜗杆传动	223
第一节 概述	223
第二节 阿基米德蜗杆传动	225
第三节 蜗杆传动的滑动速度和效率	231
第四节 蜗杆传动的破坏形式和材料选择	232
第五节 蜗杆传动的承载能力计算	233
第六节 蜗杆蜗轮的结构	239
第七节 其它类型蜗杆传动简介	241
第七章 轴	247
第一节 概述	247
第二节 轴的结构	249
第三节 轴的常用材料及其主要机械性能	251
第四节 轴的强度计算	251
第五节 轴的刚度	269
第八章 键联接和花键联接	273
第一节 键联接	273
第二节 花键联接	277
第九章 联轴器和离合器	280
第一节 概述	280
第二节 固定式刚性联轴器	281
第三节 可移式刚性联轴器	283

第四节	弹性联轴器	287
第五节	啮合离合器	291
第六节	摩擦离合器	294
第七节	其它型式离合器	299
第八节	安全联轴器和安全离合器	301
第十章	滚动轴承	303
第一节	滚动轴承的结构和材料	303
第二节	滚动轴承的基本类型、特点和应用	304
第三节	滚动轴承的代号	311
第四节	滚动轴承中的负荷分布、失效形式和负荷计算	314
第五节	滚动轴承的寿命计算	322
第六节	滚动轴承的组合设计	337
第七节	滚动轴承的润滑与密封	344
第八节	滚动轴承的安装与拆卸	347
第十一章	滑动轴承	350
第一节	概述	350
第二节	向心滑动轴承的结构及轴承材料	353
第三节	轴承润滑剂和润滑方法的选择	359
第四节	非液体摩擦向心滑动轴承的设计计算	364
第五节	液体摩擦向心滑动轴承的设计计算	366
第六节	推力滑动轴承的结构及计算	376
第七节	特殊轴承	378
第八节	滑动轴承与滚动轴承的比较	379
第十二章	弹簧	381
第一节	概述	381
第二节	普通圆柱螺旋压缩弹簧	383
第三节	组合圆柱螺旋压缩弹簧	396
第四节	一些其它型式弹簧	399
第十三章	轮系和齿轮减速器	402
第一节	轮系的种类和传动比计算	402
第二节	定轴轮系效率计算	411
第三节	动轴轮系效率计算	412
第四节	普通减速器	417
第五节	行星减速器	428
第六节	渐开线少齿差行星减速器	442
第七节	其它型式减速器简介	450
第十四章	凸轮机构	454
第一节	概述	454

第二节	常用从动件运动规律	457
第三节	压力角的选择和基圆半径的决定	461
第四节	设计凸轮轮廓曲线的图解法	466
第五节	设计凸轮轮廓曲线的解析法简介	478
第六节	盘形圆弧凸轮简介	480
第七节	凸轮机构设计的其它问题	483
第八节	凸轮周期图简介	485
第十五章	平面连杆机构	486
第一节	概述	486
第二节	四杆机构的主要类型及其演化	486
第三节	四杆机构的运动特点	494
第四节	四杆机构设计概述	497
第五节	多杆机构简介	503
第十六章	间歇运动机构	506
第一节	不完全齿轮机构	506
第二节	棘轮机构	511
第三节	槽轮机构	518
第四节	蜗形凸轮机构简介	526

第一章 机器、机构及其组成

第一节 机械、机器、机构、零件和部件

随着社会主义建设的发展，机器已成为人们日常生活和生产劳动中不可缺少的重要工具。汽车、拖拉机、缝纫机、各种机床等都是机器。为了便于研究，可以把机器的概念归纳为：机器是由两个以上有确定相对运动（即能完成预定运动）的构件组成，并能完成有效功或转换能量。

例如图 1—1 所示的牛头刨床，主要由机架 1，电动机 2，齿轮变速箱 3（图中没有表示），齿轮 4、5（齿轮机构），曲柄 6（与齿轮 5 固连，但长度可调），滑块 7、16，导杆 8 和刨头 9（连杆机构）组成。通过这些机构，把电动机的等速转动变为刨头按预定规律的直线切削运动。此外，通过齿轮 10、11（齿轮机构）带动滑块 12（用螺旋调整，相当于曲柄）、连杆 13、摇杆 14（曲柄滑块机构）和棘轮 15（间歇运动机构），间歇地推动横向进给丝杠（螺旋机构）的回转运动，从而实现切削进给，完成有效功，达到切削平面的目的。

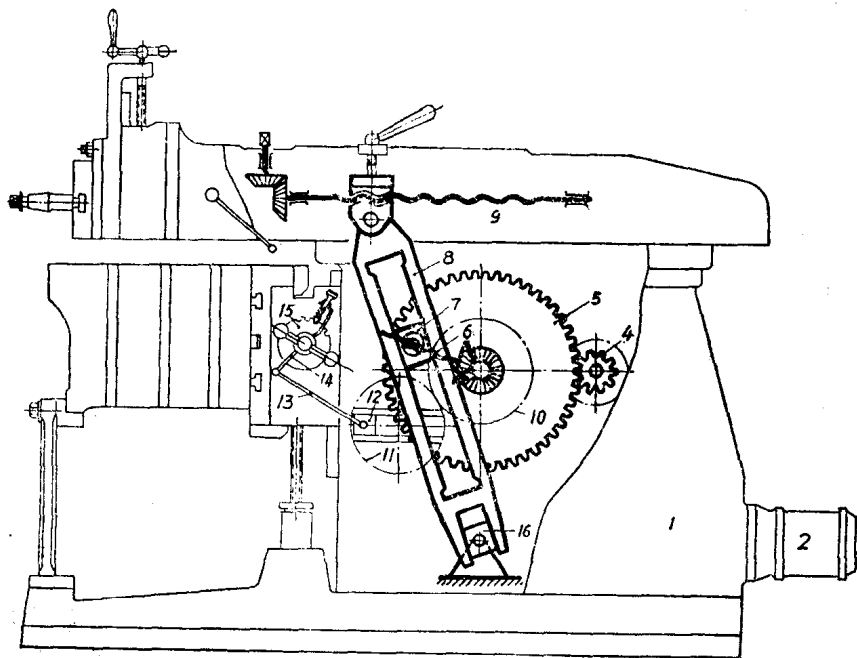


图 1—1 牛头刨床

又如图 1—2 所示的 NJ—130 汽车内燃机（局部剖视），主要由机架 1，曲柄 2，连杆 3 和活塞 4（曲柄滑块机构）组成。通过这机构把燃料燃烧时产生的热能转换为机械能，推动活塞作直线往复运动，从而带动曲柄作回转运动。又，内燃机的自动连续工作（进入燃料，排除废汽），是通过与曲柄相连的正时齿轮 5、6（齿轮机构）和凸轮 7、推杆 8（凸轮机构）推动阀门 9 定时启闭（点火系统与另一凸轮机构图中没有画出）来完成的。

由上述两个例子可见，机器是由运动特性不同的若干机构组成。例如牛头刨床是由齿轮机构、连杆机构、曲柄摇杆机构、螺旋机构等组成；内燃机是由曲柄滑块机构，凸轮机构等组成。曲柄摇杆和曲柄滑块机构都属于连杆机构。即机器的种类虽然很多，但组成机器的机构类型是不多的。通常使用的典型机构有螺旋机构、挠性杆机构（胶带传动，链传动等）、齿轮机构、连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构等。此外，根据不同的专业机器需要，还有一些特殊机构。

机构和机器一样，也是由两个以上有确定相对运动的构件组成，但机构不能独立地完成有效功或转换能量。

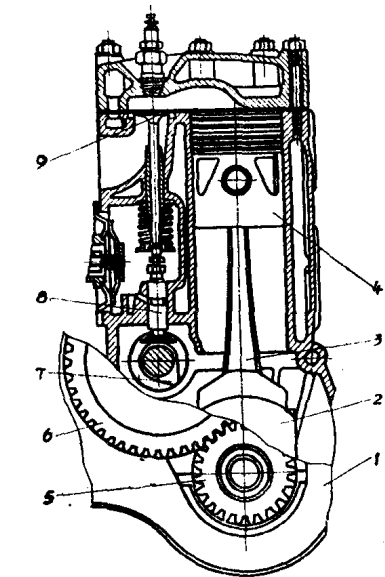


图 1—2 NJ—130 汽车内燃机

通常把机器和机构统称为机械。研究机构的组成，分析和设计时，通常可以把组成机构的构件看成是一个刚体。它由一个或多个具有特定用途和结构的零件组成。例如图 1—3 的曲柄（曲轴）是一个构件，它由一个零件组成。图 1—4 的连杆也是一个构件，它由连杆体 1、连杆盖 2、上下轴瓦 3、螺栓 4 和螺母 5 等零件组成。零件按用途又分为通用零件和专用零件两类：通用零件指在各种类型机器中都常用的零件，如螺栓、键、齿轮、蜗杆、蜗轮、胶带、链、轴、轴承、联轴器、弹簧等；而专用零件是指在某些专业机器中有特殊用途的零件，如飞机的螺旋桨、内燃机的曲轴等。

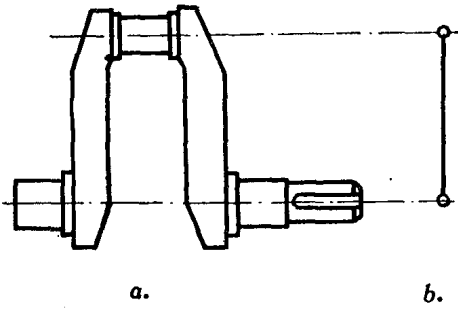


图 1—3 曲轴

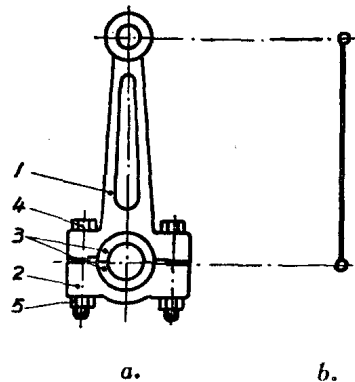


图 1—4 连杆

为了设计、制造、安装、运输等方面的利便，有时将零件组成部件，再由部件组成机器。本书主要介绍各种类型机器设计的共性问题，即机器的组成原理，典型机构和通用零件的分析，设计和选用。

第二节 平面机构的组成原理

各构件均在同一平面或平行平面内运动的机构，称为平面机构[⊖]。如上所述，机构是由两个以上具有确定相对运动的构件组成，因此如图 1—5 所示，两构件 1 和 3 各绕固定轴线 A 和 B 自由转动，如果 1 和 3 之间没有联系，就不能成为机构。如图 1—6 所示，把构件 1 和 3 在 C 点用铰链连接起来，这时构件 1、3 和机架构成一个刚性整体，不能运动，也不能成为机构。如图 1—7 所示，在 C 、 D 两点再用铰链上构件 2，这就成了具有确定相对运动关系的四杆机构（连杆机构的一种）。也可以如图 1—8 所示把构件 1 做成具有特定外廓形状的凸轮，构件 3 作为从动件，当凸轮绕 A 点转动时，从动件 3 可按预定规律摆动，这就是凸轮机构。



图 1—5 两自由运动构件

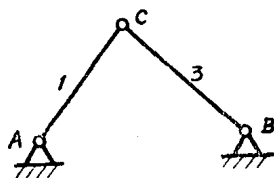


图 1—6 三杆刚架

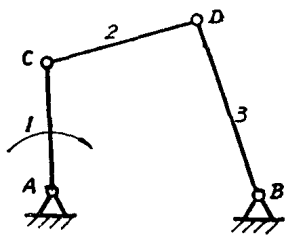


图 1—7 四杆机构

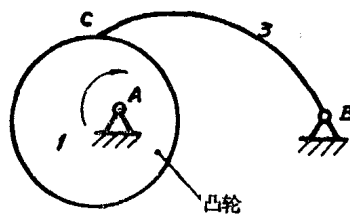


图 1—8 凸轮机构

由此可见，要使机构中各构件具有确定的相对运动关系，构件间必须具有能作相对运动的联接。两构件间有相对运动的联接处称为运动副。如图 1—9 所示，两构件用销轴和孔联接称为回转副（图 a ）；两构件用滑块和导路联接称为移动副（图 b ）；两构件用轮齿和轮齿联接称为齿轮副（图 c ）；两构件用凸轮和从动件联接称为凸轮副（图 d ）。其中回转副和移动副都是面接触，称为低副；齿轮副和凸轮副都是线或点接触，称为高副。

如图 1—10 所示，一个构件在没有任何约束的条件下相对于另一构件（如固定构件）[⊖]作平面运动时，运动构件在任一瞬间的位置可由构件中 A 点的坐标（ x 和 y ）和构件轴线 AA' 的转角（ φ ）三个参数来决定。这三个参数的变化表征机构的自由度。

⊖ 本章简称平面机构为“机构”。

⊖ 固定构件通常指机架，如汽车的车身、机床的床身等。

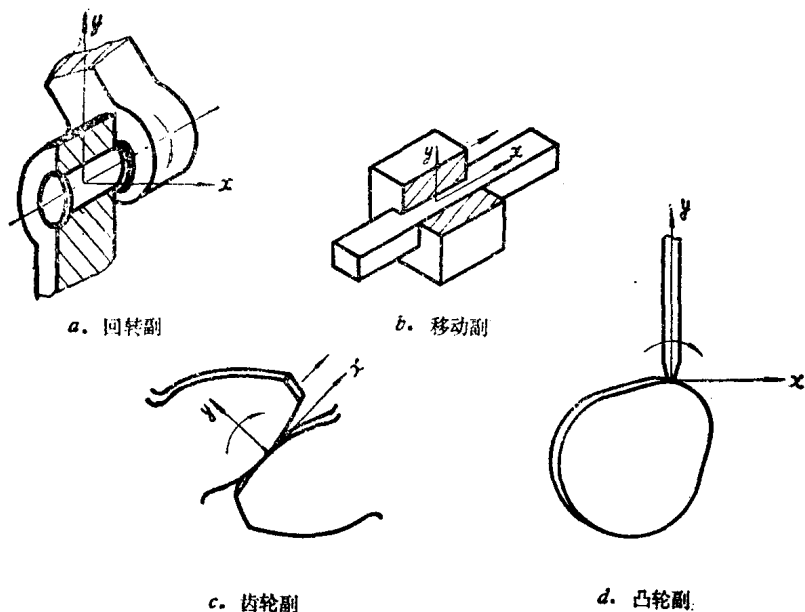


图 1—9 运动副形式

当两个构件组成运动副后，由于相对运动受到限制，故自由度减少。如图 1—9 所示，两构件组成回转副后，相对运动只有转动的自由，即失去了 x 、 y 方向移动的自由；两构件组成移动副后，相对运动只有 x 方向移动的自由，即失去了 y 方向移动和转动的自由；两构件组成齿轮副后，相对运动有 x 方向移动和转动的自由，即失去了 y 方向移动的自由；两构件组成凸轮副后，相对运动只有 x 方向移动和转动的自由，即失去了 y 方向移动的自由。也就是说，两构件组成一个低副就失去两个自由度，组成一个高副就失去一个自由度。

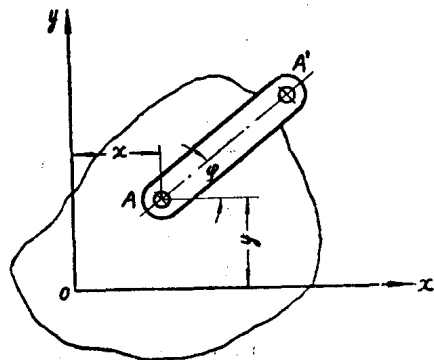


图 1—10 构件的相对自由度

如果平面机构由一个固定构件和 n 个活动构件组成，在没有相互联接前，活动构件相对于固定构件的自由度为 $3n$ 。组成机构后，如果有 p_1 个高副就失去 p_1 个自由度，有 p_2 个低副就失去 $2p_2$ 个自由度，故平面机构的相对运动自由度总数为

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 \dots\dots\dots (式 1-1)$$

上式称为平面机构自由度公式[⊖]。例如图 1—7 所示的铰链四杆机构，它的自由度为

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

同样，图 1—8 的凸轮机构的自由度为

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

这两个机构的自由度均为 1，即整个机构中每一构件在每一瞬间的位移、速度、加速度均由一个参数决定。例如把构件 1 作为主动件，并使之以等角速度 ω_1 按顺时针方向转动，

⊖ 此式不适用于全由移动副组成的平面机构。

这时整个机构每一构件便有确定的相对运动。

同理，图 1—11 所示的五杆机构的自由度为

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$$

此时，要使机构有确定的相对运动必须要有两个主动件，例如以构件 1 和 3 为主动件。如此类推，机构具有确定相对运动的条件为：机构的自由度数等于主动件数。

应用式 1—1 计算平面机构自由度时，应注意下列两个问题：

1. 虚约束

如图 1—12 所示的蒸汽机车车轮联动机构，机构中 $AB = CD = EF$, $BD = AC = DF = CE$ (即由两个平行四边形组成)。直接应用式 1—1 计算自由度时，得

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0$$

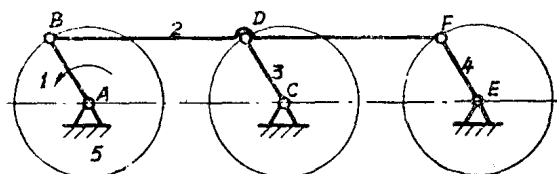


图 1—12 蒸汽机车车轮联动机构

即表示这个机构不能动。但事实上这是一个广泛应用的有确定相对运动的机构。如果把构件 3 和运动副 C、D 去掉，这就是图 1—7 的四杆机构，自由度为 1。由于图 1—12 的机构在运动时保持为一平行四边形，连杆 BF 作平移运动，其上每一点的轨迹都是圆，点 D 的轨迹是以 C 为中心的圆。在加上构件 3 和运动副 C、D 时，构件 3 上 D 点的轨迹与连杆上 D 点的轨迹重合，故对运动没有影响。所以应用式 1—1 计算自由度时应把构件 3 和运动副 C、D 除去，即

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

构件 3 和运动副 C、D 对机构自由度计算的影响是：增加构件 3 得到 3 个自由度，增加运动副 C、D 失去 4 个自由度，它们的加入使机构计算自由度减少 1，这个减少的自由度对机构运动没有影响，故称为虚约束。

虚约束对机构的运动不起作用，但对构件的受力情况有影响。如图 1—13 所示的行星齿轮机构，它是由主动的外齿轮 1，不动的内齿轮 3，和三个大小相等并装在行星架 H 上的行星齿轮 2、2' 和 2'' 组成。当主动齿轮转动时，推动行星齿轮沿内齿轮滚动，从而带动行星架转动。这个机构从运动上看，用一个行星齿轮 2 就够了，采用三个或更多行星齿轮对机构运动没有影响，但可减少轮齿之间的作用力（改由三对齿轮负担）和轴承

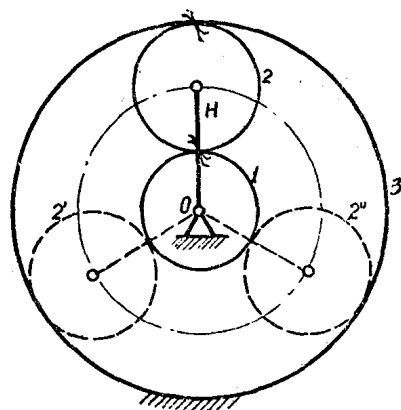


图 1—13 行星齿轮机构

反力, 改善机构受力情况。行星齿轮机构的自由度计算时应把行星轮 $2'$ 和 $2''$ 及与之有关的运动副除去, 即

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 \times 2 = 1$$

应当注意, 图中 O 点有两个回转副, 即行星架与机架组成一个回转副, 而外齿轮 1 与机架又组成另一个回转副。这种由两个以上构件汇交在一起组成的回转副称为复合铰链。复合铰链的运动副数等于铰接处构件数减 1 。

2. 过剩自由度

对图 1—14a 所示的具有滚子从动件的凸轮机构, 用式 1—1 计算自由度, 得

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 = 2$$

即表示此机构的自由度为 2 , 要有两个主动件才能使此机构有确定的相对运动。但实际上当凸轮 1 主动时, 从动件 3 即有确定的相对运动。这是因为滚子 2 绕其自身轴线 A 的自由转动不影响从动件的运动。因此计算此机构自由度时, 可把机构看成滚子和从动件固连在一起(图 1—14b)则机构自由度

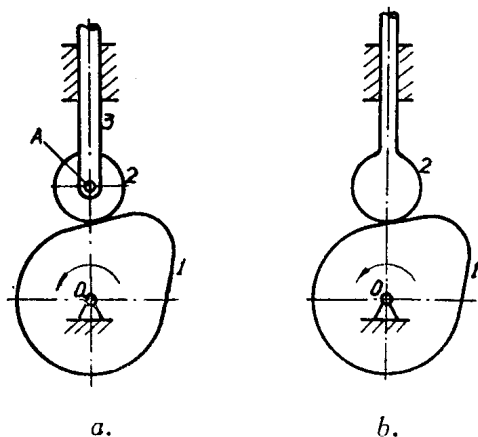


图 1—14 滚子从动件凸轮机构的自由度计算

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1$$

对从动杆运动没有影响的滚子绕自身轴线的转动的自由度, 称为过剩自由度。

从上述例子可见, 计算机构自由度时, 应注意除去机构的虚约束和过剩自由度, 并注意复合铰链处运动副的计算。

第三节 机构运动简图的画法

机构运动简图是利用符号表示运动副、以一定长度比例的直线或曲线表示构件的简单图形。用它来分析机构结构、运动、受力等问题时, 比用实际机构的生产图纸简便得多。

绘制机构运动简图时采用的运动副符号, 见表 1—1。

表 1—1 机构简图的运动副符号

运 动 副 符 号	代 表 意 义	运 动 副 符 号	代 表 意 义
	由两活动构件组成的回转副		外啮合圆柱齿轮传动高副
	固定构件与活动构件组成的回转副		齿轮齿条传动高副
	一个构件上有三个回转副		内啮合圆柱齿轮传动高副
	由两活动构件组成的移动副		凸轮高副
	固定构件与活动构件组成的移动副		

绘制机构运动简图的步骤如下：

1. 了解机构中各构件的相互运动关系，从而找出联接各构件的运动副性质，并用运动副符号表示。
2. 按机构实际尺寸以一定比例缩小或放大，用直线或曲线将同一构件的运动副连接起来，便成机构简图。
3. 验算所绘机构简图的自由度是否与原机构的相同。

〔例 1—1〕 绘制图 1—15a 碎矿石机的机构简图

〔解〕 分析机构运动。了解到偏心圆盘 1 与机架 6 组成回转副 O。构件 2 与偏心圆盘

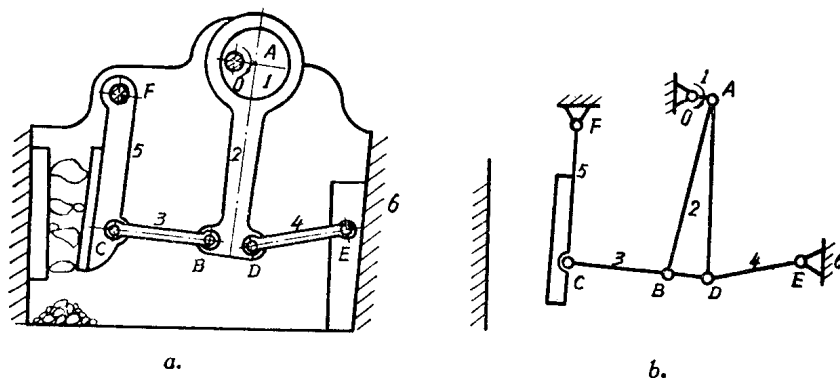


图 1—15 碎石机

1 也组成回转副，其中心在 A 点。两回转副的距离就是偏心距 OA 。其余 B 、 C 、 D 、 E 、 F 也均为回转副，各运动副距离很容易从图中量得。按一定长度比例定出所有与机架 6 组成的回转副中心 O 、 E 、 F 点的位置，然后以同样比例决定其余运动副 B 、 C 、 D 点的位置，最后用直线把同一构件各运动副连接起来，得机构运动简图（图 b ）。计算机构自由度

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1$$

计算结果与实际机构一致，说明简图是正确的。

〔例 1—2〕图 1—16a 所示的机构为 Y54 型插齿机中带动插齿刀往复插齿运动的传动机构。这是一个由齿轮、连杆机构组成的组合机构。机构的运动是由主动件 1（曲柄）的等速转动，带动连杆 2 运动，连杆 2 又在摇动滑块 3 内滑动，连杆 2 的右端做成齿条，通过齿条与齿轮 4 的啮合，将连杆 2 的运动变为齿轮 4 的往复摆动。齿轮 4 与齿轮 4' 同装在一根轴上，因此齿轮 4' 又带动齿条 5 使插齿刀作往复切削运动。

〔解〕根据机构的相对运动，可知主动件（曲柄 1）与机架 6 组成回转副 A ，与连杆 2 组成回转副 B ，故主动件可用曲柄 AB 表示。连杆 2 与摇动滑块 3 组成移动副 C ，摇动滑块 3 绕中心 D 转动，与机架组成回转副 D ，因此构件 1、2、3 和机架 6 组成曲柄摇块机构。再由齿轮齿条传动表示方法及用移动副表示插刀与机架组成的移动副 G ，得图 1—16b 所示的机构简图。

由式 1—1 计算机构自由度时， D 点是由 3、4、6 组成的复合铰链，故机构自由度

$$W = 3n - 2p_2 - p_1 = 3 \times 5 - 2 \times 6 - 1 \times 2 = 1$$

计算结果与实际机构一致，说明简图是正确的。

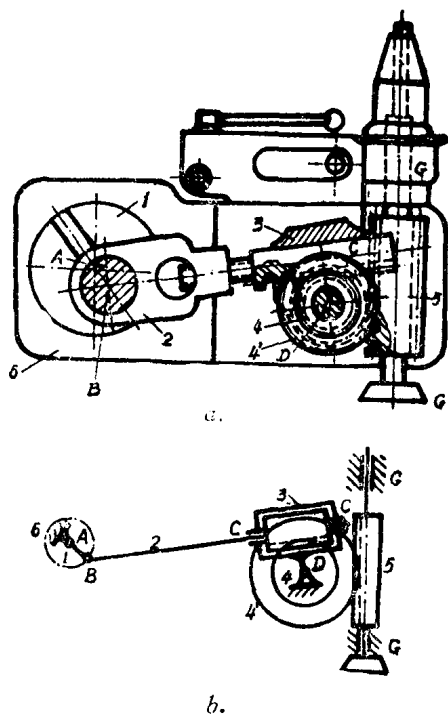


图 1—16 Y54 插齿机插齿刀往复运动机构

第二章 螺纹联接与螺旋传动

具有螺纹的零件，称为螺纹零件。螺纹零件常用来连结零、部件，使之构成整体，这称为螺纹联接（图 2—1）。螺纹零件也用于传递动力或运动，这称为螺旋传动。车床上（图 2—2）的传动螺旋就是螺旋传动的例子。

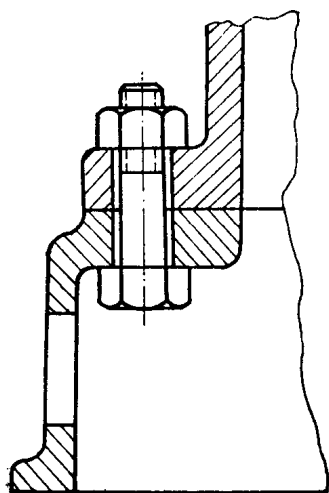


图 2—1 螺纹联接

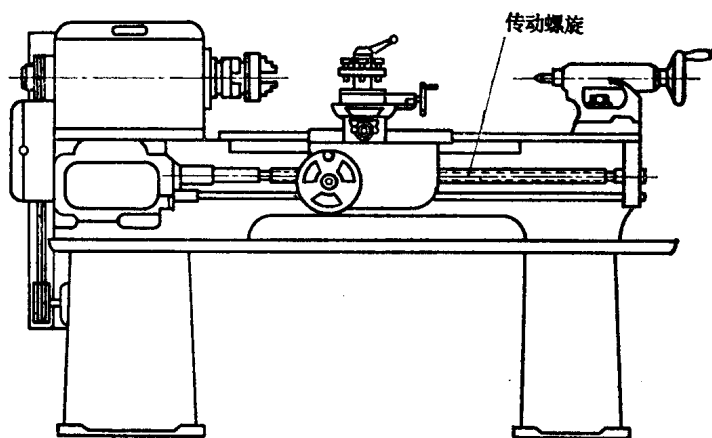


图 2—2 车床上的螺旋传动

螺纹联接和螺旋传动，由于构造简单，装拆方便和工作可靠，故在机器中应用十分广泛。

第一节 螺 纹

一、螺纹的形成及分类

如图 2—3 所示，在直径为 d_2 的圆柱体上卷绕一底边为 πd_2 的直角三角形，此三角形的斜边在圆柱体表面上所形成的曲线，称为螺旋线。若将一个平面图形（例如三角形）使其上一点沿螺旋线运动，同时保持图形平面通过圆柱体轴线 yy ，则此平面图形在空间所构成的形体称为螺纹（如三角螺纹）。

在图 2—3 中沿螺旋线运动的平面图形形状不同，则构成不同的螺纹。按螺纹的剖面形状分类，常用的螺纹有三角形螺纹、管螺纹、矩形螺纹、梯形螺纹和锯齿形螺纹等（图 2—4）。前二种主要用于联接，后三种主要用于传动。

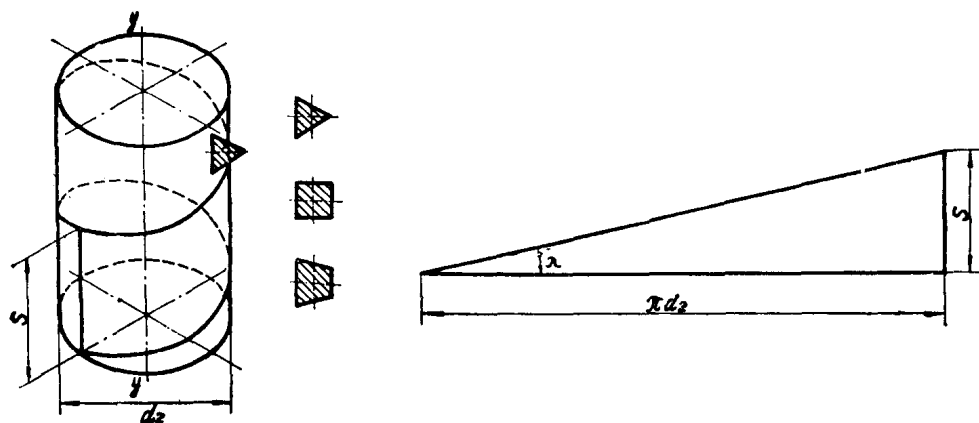


图 2—3 螺纹的形成

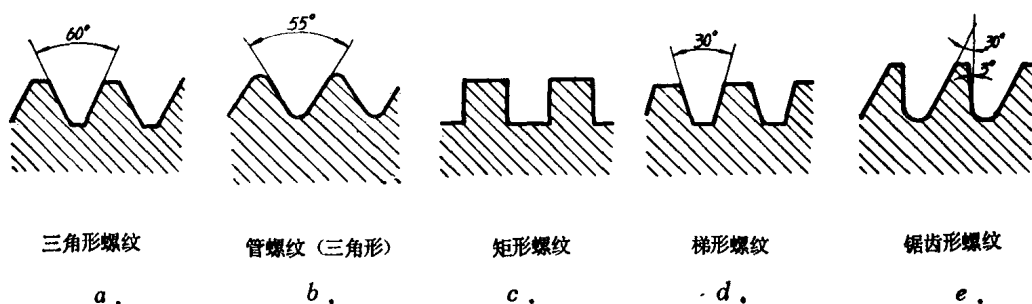


图 2—4 按剖面形状的螺纹分类

在圆柱体上若按右手定则绕行（右手姆指方向代表螺纹前进方向，另外四指弯曲指向代表螺纹旋转方向）的螺纹称为右旋螺纹，按左手定则绕行的螺纹称为左旋螺纹（图 2—5）。一般螺纹多为右旋，只有特殊要求才用左旋。

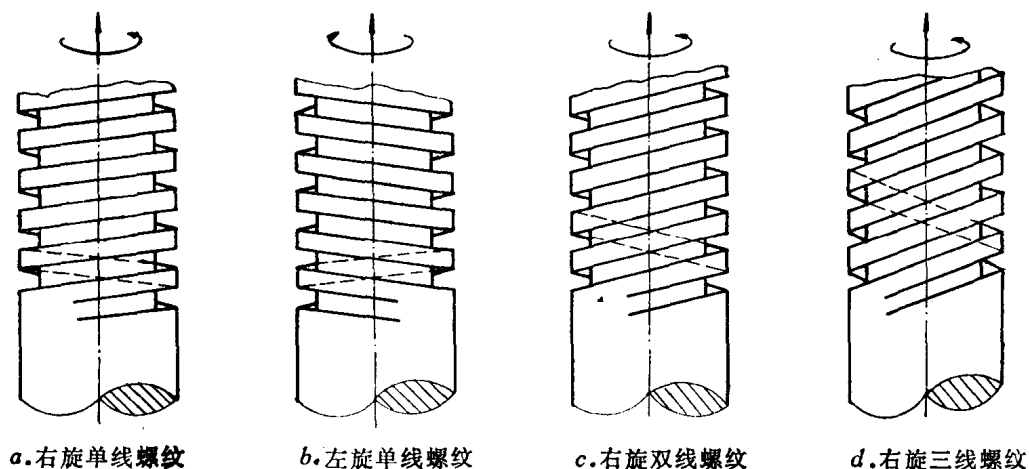


图 2—5 螺纹的旋向和线数

在圆柱体上只有一根螺纹时，称单线螺纹；有两根螺纹并行时（在端部互隔 180° ），称双线螺纹；有三根螺纹并行时（在端部互隔 120° ），称三线螺纹；余类推。单线、双线和三线螺纹，也称单头、双头和三头螺纹（图 2—5）。