

875479

575

3431

T-2

沈美珍 主编

应用力学及机械设计基础

下册

(机械设计基础)



5

31

2

北京科学技术出版社

应用力学及机械设计基础

下 册

(机械设计基础)

沈美珍 主编

北京科学技术出版社

应用力学及机械设计基础

下 册

(机械设计基础)

沈美珍 主编

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

新华书店首都发行所发行 各地新华书店经售

北京顺义小店印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 8.5印张 200千字

1988年12月第一版 1988年12月第一次印刷

印数1—1,300册

ISBN7-5304-0202-1/T·31 定价: 2.60元

内 容 简 介

本书分为上、下两册，上册为应用力学部分，下册为机械设计基础部分。本书可作为高等工业学校非机械类专业的试用教材，也可作为电视大学、业余大学工科非机械类专业及中等专业学校工科机械类专业的试用教材，并可供从事机械设计工作的工程技术人员参考。

下册主要介绍机械中常用机构的基本工作原理和运动特性，以及各种通用零件的基本设计理论和方法，并扼要介绍有关的规范和国家标准。本书着重讲述基本知识、基本理论及基本方法，并在加强“三基”的前提下，尽量使设计方法及步骤简单化，故实用性较强。

下册第一章至第十一章由沈美珍同志编写，第十二章及第十三章由葛喜山同志编写。

《机械设计基础》简介

一、机器的组成

在日常生活和生产中，我们看到过很多机器，例如电动机、内燃机、起重机、汽车、拖拉机、各种机床等等。机器类型很多，其构造、用途和性能各不相同，但它们具有一些共同的特征。如图0-1所示的牛头刨床是由床身1、电动机3、齿轮4和5、滑块6和2、导杆7、刨头8、工作台9、丝杠10以及其它一些辅助部分（图中未画出）所组成。当电动机3转动时，经带传动及齿轮4带动齿轮5转动，再经滑块6（与齿轮5活动联接）带动导杆7左右摆动，从而使刨头8带着刨刀作往复直线运动，完成刨削工作。又如电动机是由一个转子和一个定子所组成，当定子输入电流后，转子便能作回转运动，从而使电能转换为机械能。

从以上两个例子可以看出，机器具有下列特征：（1）它们都是许多实物经人工组合而成的；（2）这些实物之间具有确定的相对运动；（3）在生产过程中，它们能代替人类的劳动来完成有用的机械功或转换机械能。

只具有机器前两个特征的称为机构。从结构和运动的观点来看，机构和机器之间是没有区别的。因此，为了简化叙述，常用“机械”一词作为机构和机器的总称。机器是由一个或多个机构组成的，例如电动机是由一个两杆机构组成，而图0-1所示的牛头刨床是由齿轮机构、连杆机构等所组成。

上述组成机器或机构的实物是一个具有确定运动的整体，称为构件。一个构件可能就是一个零件，如图0-1中的导杆、滑块；也可能是几个零件的刚性组合，如图0-1中的齿轮是用键与轴面联在一起，而成为一个运动的整体，也就是一个构件。构件与零件的区别在于：构件是运动的单元，而零件是制造的单元。

任何一部完整的机器都是由三个主要部分组成：

（1）原动部分：它是机械动力的来源，最常用的是电动机。此外，还有内燃机、蒸汽机等。

（2）工作部分：它是执行工作的部分，其结构和运动形式是多种多样的，取决于机器本身的用途。例如牛头刨床的刨头和工作台，运输机的输送带等。

（3）传动部分：它是将原动部分的动力传递到工作部分的中间装置。例如牛头刨床中的带传动、齿轮传动、连杆机构等。

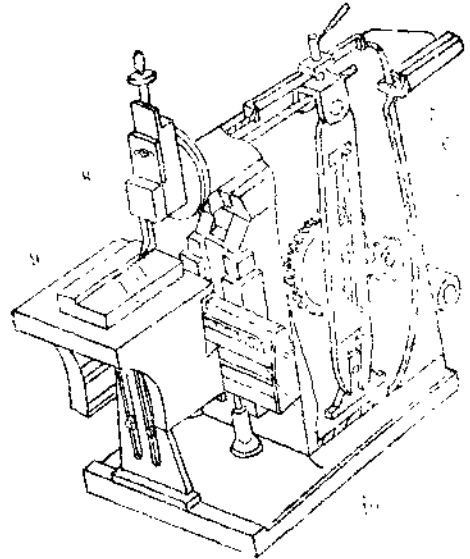


图 0-1

二、本课程的内容、性质与任务

机械中的零件可分为两类。一类称为**专用零件**，它只能用在某种特定型式的机械上，如内燃机的曲轴与活塞、汽轮机的叶片等。另一类称为**通用零件**，它在各种机械中都经常使用，按其用途不同可分为**联接零件**（如螺纹联接、键联接、铆钉联接、焊联接等）、**传动零件**（如带传动、齿轮传动、蜗杆传动、链传动等）和**轴系零件**（如轴、轴承、联轴器、离合器等）。

本课程主要介绍机械中常用机构（连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构）的基本工作原理和运动特性，以及各种通用零件的基本设计理论和方法，并扼要介绍有关的规范和国家标准，为机械设计提供最基本的知识，为使用《机械设计手册》提供必要的理论依据。

《机械设计基础》是介于基础课和专业课之间的一门技术基础课，它是设计性的课程，在教学中起着承上启下的作用。本课程是以某些学科知识为基础的，其教学应在学习了高等数学、机械制图、理论力学、材料力学、金属工艺学等课程之后才能进行。

本课程的任务是培养学生树立正确的设计思想，使学生初步具备运用手册设计简单传动装置的能力，并为学习专业机械设备课程提供必要的基础知识。

对于工科院校非机械类专业的学生来说，在未来的工作中也会遇到许多有关机械方面的问题，如了解机器的功用、性能和传动原理，了解机器的正确使用、维护和保养方法，分析设备事故的原因，设计简单的零部件等，因而也有必要学习这门课程。

目 录

《机械设计基础》简介	(1)
第一章 平面连杆机构	(1)
§1-1 基本知识	(1)
§1-2 平面四杆机构的基本型式及应用	(2)
§1-3 铰链四杆机构的演化	(5)
第二章 凸轮机构	(7)
§2-1 凸轮机构的应用和分类	(7)
§2-2 从动件常用运动规律	(8)
§2-3 按给定运动规律绘制盘形凸轮轮廓	(10)
§2-4 设计凸轮机构应注意的问题	(11)
第三章 间歇运动机构	(13)
§3-1 棘轮机构	(13)
§3-2 槽轮机构	(14)
第四章 联接	(17)
§4-1 螺纹联接	(17)
§4-2 键联接和花键联接	(26)
第五章 带传动	(30)
§5-1 概述	(30)
§5-2 带传动的理论基础	(31)
§5-3 三角胶带和带轮	(34)
§5-4 三角带传动的设计计算	(37)
§5-5 三角带传动的张紧装置	(42)
第六章 齿轮传动	(45)
§6-1 概述	(45)
§6-2 渐开线齿廓	(46)
§6-3 渐开线标准齿轮各部分的名称及尺寸	(48)
§6-4 渐开线齿轮的啮合传动	(50)
§6-5 根切现象及变位齿轮简介	(52)
§6-6 齿轮传动的失效形式及齿轮材料	(53)
§6-7 直齿圆柱齿轮传动的强度计算	(55)
§6-8 斜齿圆柱齿轮传动	(59)
§6-9 圆锥齿轮传动	(64)
§6-10 齿轮的结构	(67)

第七章 蜗杆传动	(70)
§7-1 概述	(70)
§7-2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	(71)
§7-3 蜗杆传动的失效形式	(74)
§7-4 蜗杆和蜗轮的材料及结构	(74)
§7-5 蜗杆传动的强度计算	(75)
§7-6 蜗杆传动的效率及热平衡计算.....	(78)
第八章 链传动	(81)
§8-1 概述	(81)
§8-2 套筒滚子链和链轮	(82)
§8-3 链传动的设计计算	(84)
第九章 轮系与减速器	(90)
§9-1 定轴轮系	(90)
§9-2 减速器	(92)
第十章 轴	(95)
§10-1 概述	(95)
§10-2 轴的结构设计.....	(97)
§10-3 轴的强度计算.....	(99)
第十一章 滚动轴承	(101)
§11-1 概述	(101)
§11-2 滚动轴承的类型、代号及选择.....	(101)
§11-3 滚动轴承的尺寸选择计算	(104)
§11-4 滚动轴承的组合设计	(108)
第十二章 滑动轴承	(116)
§12-1 概述	(116)
§12-2 滑动轴承的结构和材料	(116)
§12-3 滑动轴承的润滑	(119)
§12-4 非液体摩擦滑动轴承的计算	(120)
第十三章 联轴器与离合器	(123)
§13-1 概述	(123)
§13-2 联轴器	(123)
§13-3 离合器	(126)

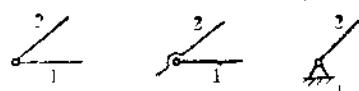
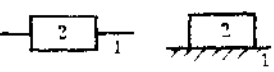
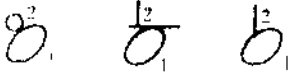
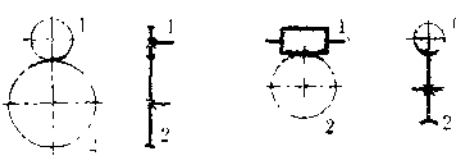


第一章 平面连杆机构

§ 1-1 基本知识

一、运动副及其分类

在“简介”中已讲过，任何机构都是由许多构件组合而成的。在机构中，每个构件都以一定的方式与其他构件相互联接。这种联接不是刚性联接，它能使相互联接的二构件间存在着一定的相对运动。这种使两构件直接接触而又能产生一定相对运动的联接称为运动副。例如轴与滑动轴承的联接、滑块与导路的联接、螺栓与螺母的联接等等，都构成了运动副。运动副可分类如下：

表 1-1 常用运动副和构件的代表符号

名称	符 号
低副	
	
高副	
	
螺旋副	
构件	
	机架

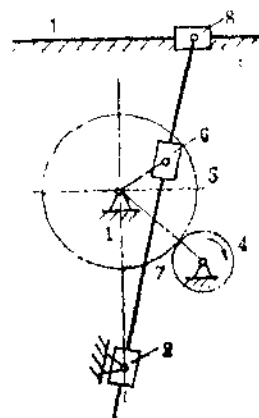


图 1-1

(一) 低副

两构件之间通过面接触面构成的运动副称为低副。根据其构件间相对运动的不同，又可分为：

1. 回转副 若组成运动副的两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，也可称为转动副或铰链。例如轴与滑动轴承之间的联接就是回转副。

2. 移动副 若组成运动副的两构件只能沿某一轴线相对移动，这种运动副称为移动副。例如滑块与导路之间的联接就是移动副。

(二) 高副

两构件之间通过点或线接触而构成的运动副称为高副，其构件间的相对运动是转动和移动。例如火车车轮与钢轨之间的联接就是高副，齿轮机构中轮齿与轮齿的联接也是高副。

二、机构运动简图

在研究机构运动时，为了使问题简化，可撇开那些与运动无关的因素（如构件的外形、结构等），而用简单的线条和符号来表示构件和运动副，并按一定比例表示各运动副的相对位置。这种表达机构各构件间运动关系的简单图形称为机构运动简图。常用运动副和构件的代表符号见表 1-1。

图 1-1 便是图 0-1 所示牛头刨床主机构的机构运动简图。图中标注箭头的构件 4（小齿轮）为机构的原动件，它的运动规律是已知的；构件 1（床身）为机架，它是用来支承活动构件的固定构件；其余活动构件均为从动件。当原动件按照给定的运动规律运动时，各从动件的运动都是完全确定的。

三、平面连杆机构的组成

如果组成机构的所有构件都在同一平面内运动，或在几个相互平行的平面内运动，则这种机构称为平面机构。工程上大量应用着平面机构。

平面连杆机构是由一些刚性构件（多数呈杆状）用低副联接而成的平面机构。最简单的平面连杆机构是两杆机构，例如操纵手把 2 在机架 1 上的摆动（图 1-2）。三杆机构是不存在的，如图 1-3 所示，三杆之间虽用运动副联接起来，却不能作相对运动，形成了一个刚性构件。

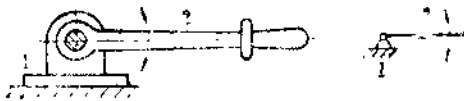


图 1-2

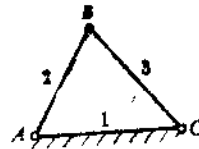


图 1-3

最常用的是由四根杆组成的平面四杆机构，简称四杆机构。由于它的结构简单，制造方便，且能够实现比较复杂的运动，因而应用很广。四杆机构是多杆机构的基础。

本章主要介绍平面四杆机构的主要类型、特点及应用。

§ 1-2 平面四杆机构的基本型式及应用

若平面四杆机构中的运动副都是回转副，则称为铰链四杆机构，如图 1-4 所示。在该

机构中，固定不动的杆4为机架；与机架以回转副相联接的杆1和杆3称为连架杆；不与机架直接联接的杆2称为连杆。能作整周回转的连架杆称为曲柄；仅能在某一角度内摆动的连架杆称为摇杆。铰链四杆机构是平面四杆机构中最基本的型式。

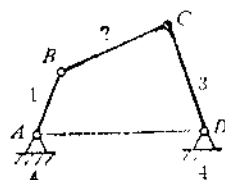


图 1-4

对于铰链四杆机构来说，根据其曲柄与摇杆数目的不同，可分为三种型式：

一、曲柄摇杆机构

若在铰链四杆机构的两连架杆中，一为曲柄，另一为摇杆，则此四杆机构称为曲柄摇杆机构。

在曲柄摇杆机构中，当曲柄为原动件时，可将曲柄的转动变换成摇杆的往复摆动。以图 1-5 (a) 所示的牛头刨床横向进给机构为例，当齿轮 1 转动时，带动齿轮 2 (相当于曲柄) 转动，再通过连杆 3 使摇杆 4 往复摆动。在摇杆上装有棘爪 7，棘爪拨动棘轮 5，使送进丝杠 6 作单向间歇转动，图 1-5 (b) 是其中曲柄摇杆机构的运动简图。

在曲柄摇杆机构中，当摇杆为原动件时，可将摇杆的往复摆动变换成曲柄的转动。以图 1-6 (a) 所示的缝纫机踏板机构为例，当踏板 1 作往复摆动时，通过连杆 2 使曲柄 3 转动。图 1-6 (b) 是它的机构运动简图。

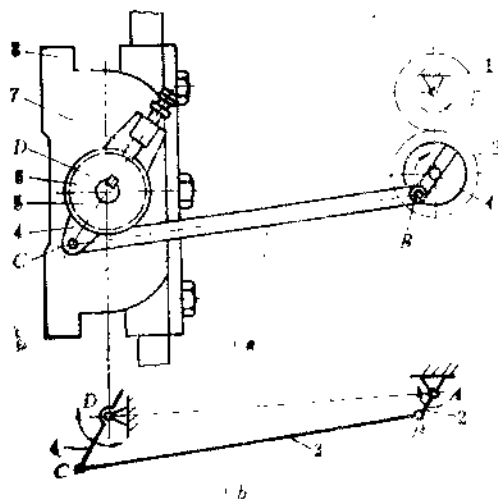


图 1-5

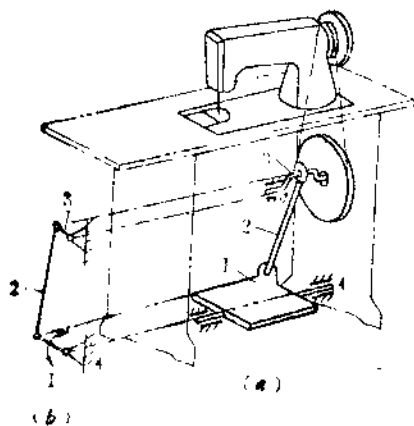


图 1-6

下面介绍曲柄摇杆机构的主要特性。

(一) 极限位置和摆角

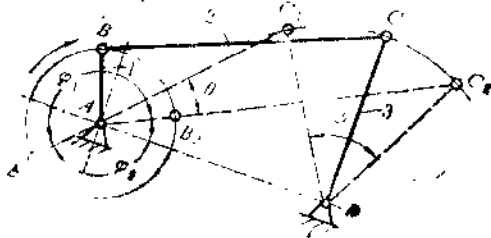


图 1-7

由图 1-7 所示的曲柄摇杆机构可知，曲柄 AB 在转动一周的过程中，有两次与连杆 BC 共线。在这两个位置时，铰链中心 A 与 C 之间的距离 AC_1 和 AC_2 分别为最短和最长， C_1D 和 C_2D 即为摇杆 CD 的两个极限位置，其夹角 ψ 称为摇杆的摆角。

(二) 急回运动

在图 1-7 中, 设曲柄 AB 为原动件并作等速回转, 当曲柄从位置 AB_1 顺时针转过 ψ_1 角时, 摇杆由极限位置 C_1D 摆至 C_2D , 其所用的时间为 t_1 , C 点的平均速度为 v_1 , 当曲柄顺时针再转过 ψ_2 时, 摇杆又摆回 C_1D , 其所用的时间为 t_2 , C 点的平均速度为 v_2 . 因为 $\psi_1 (=180^\circ + \theta) > \psi_2 (=180^\circ - \theta)$, 所以 $t_1 > t_2$, $v_2 > v_1$. 由此可知, 当曲柄等速回转时, 摇杆来回摆动的速度不同, 因而具有急回运动的特性. 在生产实际中, 常利用这个特性来缩短空回行程的时间, 以提高生产率.

(三) 死点

在图 1-7 所示的曲柄摇杆机构中, 若取摇杆 CD 为原动件, 则摇杆摆到两极限位置 C_1D 和 C_2D 时, 连杆 BC 与曲柄 AB 共线, 这时通过连杆传给曲柄的力将通过铰链中心 A . 此力对 A 点不产生力矩, 因此不能使曲柄转动, 而使机构处于静止状态. 这种位置称为死点. 为了使机构连续运动, 必须对曲柄施加外力或利用构件的惯性来通过死点.

缝纫机在使用中有时会出现踏不动或倒车现象. 就是因机构处于死点所致. 在正常运转时, 借助于皮带轮的惯性可顺利通过死点.

二、双曲柄机构

若铰链四杆机构的两连架杆均为曲柄, 则此四杆机构称为双曲柄机构.

图 1-8 所示惯性筛的铰链四杆机构 $ABCD$ 就是双曲柄机构. 当主动曲柄 AB 等速回转一周时, 从动曲柄 CD 以变速回转一周, 并通过另一连杆 CE 使筛子 6 作往复运动, 从而使筛子具有所需的加速度, 材料块因惯性而被筛分.

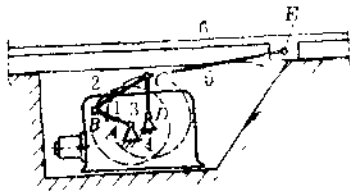


图 1-8

在双曲柄机构中, 如两曲柄的长度相等, 连杆与机架的长度也相等且彼此平行, 如图 1-9 所示, 则称为平行四边形机构. 这种机构在机器中应用很广, 如图 1-10 所示的机车车轮联动机构就是平行四边形机构. 当主动轮 1 等速转动时, 通过连杆 2 使各从动轮得到与主动轮完全相同的运动.

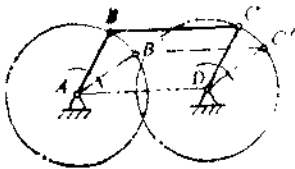


图 1-9

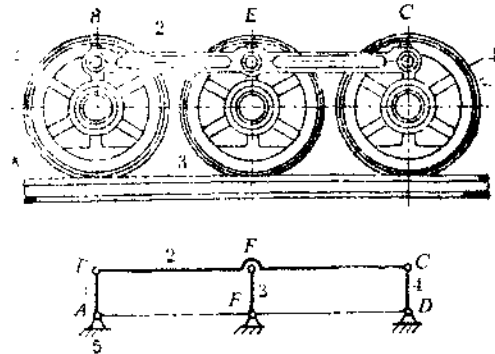


图 1-10

图 1-11 所示为天平中使用的平行四边形机构, 它能使天平盘 1、2 始终处于水平位置. 对于平行双曲柄机构, 曲柄每转一周中, 将与连杆两次共线, 此时, 从动曲柄 CD 可能正、

反两个方向转动 (图 1-12), 为了消除这种运动不确定的现象, 可采用增加辅助构件的方

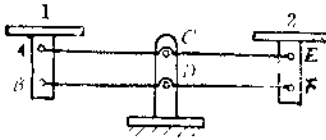


图 1-11

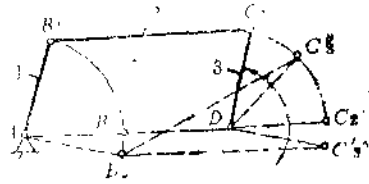


图 1-12

法 (如图 1-10 中的 EF), 或利用构件的柔性来导向。

三、双摇杆机构

若铰链四杆机构的两连架杆均为摇杆, 则此四杆机构称为双摇杆机构。

图 1-13 所示起重机中的铰链四杆机构 $ABCD$ 就是双摇杆机构, 当主动摇杆 AB 摆动时, 从动摇杆 CD 也跟着摆动, 连杆 2 上悬挂重物的 E 点便在近似水平的直线上移动, 从而可避免不必要的升降。

在双摇杆机构中, 若两摇杆长度相等, 则称为等腰梯形机构。在汽车和拖拉机中, 常用这种机构操纵前轮的转向 (图 1-14)。

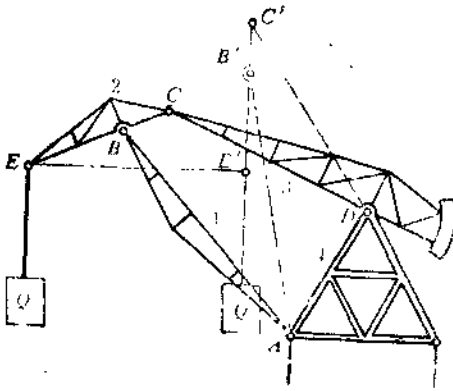


图 1-13

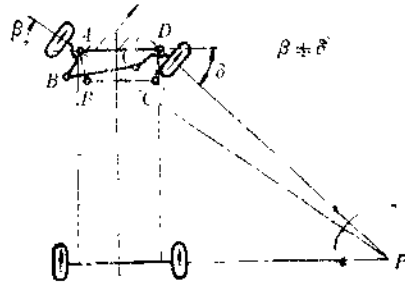


图 1-14

双摇杆机构也有死点位置, 在实际使用中如需避免死点位置, 应限制摇杆的摆动范围。

§ 1-3 铰链四杆机构的演化

除上述三种型式的铰链四杆机构之外, 在实际机械中, 还广泛地采用着其他多种型式的四杆机构。但这些型式的四杆机构, 都可看成是在铰链四杆机构的基础上演化而成的。下面仅介绍曲柄滑块机构、摆动导杆机构及偏心轮机构。

一、曲柄滑块机构

图 1-15(a) 所示的曲柄摇杆机构中, 当摇杆 3 的长度增至无穷大时 (图 1-15 b), C 点的运动轨迹就成为直线。如将摇杆 3 做成滑块 (图 1-15 c), 则原来的回转副 D 就变成了移动副, 即形成了曲柄滑块机构。如铰链 C 的运动轨迹 $m-m$ 通过曲柄回转中心 A , 则称为对

心曲柄滑块机构(图 1-15 c); 如 $m-m$ 不通过 A 点(有偏距 e), 则称为偏置曲柄滑块机构(图 1-16)。

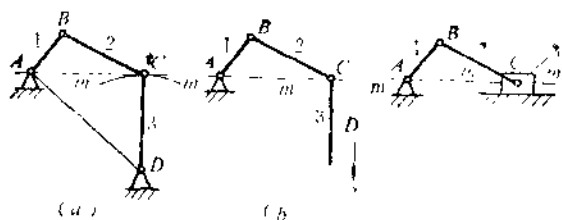


图 1-15

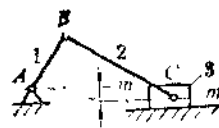


图 1-16

曲柄滑块机构在各种机械中得到广泛的应用。当以曲柄为原动件时, 可将曲柄的转动变为滑块的往复直线运动, 如空气压缩机、冲床及往复泵等, 当以滑块为原动件时, 可将滑块的往复直线运动变为曲柄的转动, 如内燃机、蒸汽机等。图 1-17 所示的自动送料器也是曲柄滑块机构的具体应用, 曲柄 1 每回转一周, 滑块 3 即从料槽中推出一个圆柱形毛坯。

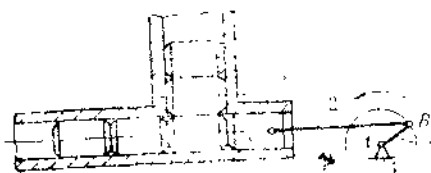


图 1-17

二、摆动导杆机构

图 1-18(a) 所示为曲柄滑块机构, 若改取杆 1 为固定件, 即得图 1-18(b) 所示的导杆机构, 杆 4 称为导杆。通常杆 2 为原动件, 并作整周回转, 滑块 3 随杆 2 一点绕 B 点转动并在导杆 4 上滑动。当杆 1 的长度大于杆 2 的长度时, 导杆 4 只能往复摆动, 称为摆动导杆机构(图 1-18 c)。

摆动导杆机构具有急回运动特性, 常用于牛头刨床(参看图 1-1)、插床等机械中。

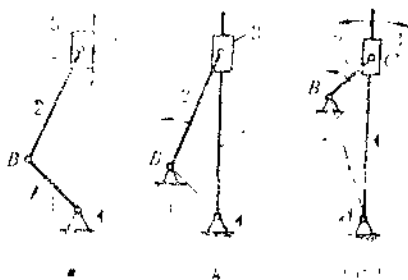


图 1-18

三、偏心轮机构

当曲柄摇杆机构(或曲柄滑块机构)中的曲柄 1 较短时, 由于结构的需要, 常将回转副 B 扩大(图 1-19), 使之包含回转副 A , 此时曲柄 1 演变为一个几何中心与回转中心不重合的圆盘, 称为偏心轮。其回转中心与几何中心间的距离 AB 称为偏心距(它等于曲柄长)。这种机构称为偏心轮机构, 其运动特性与原机构完全相同。

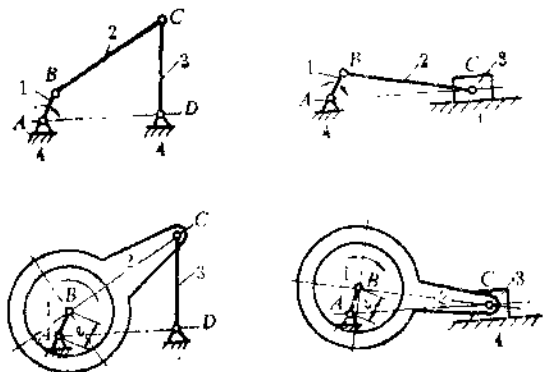


图 1-19

偏心轮机构广泛用于冲床、剪床、顎式破碎机机械中。

第二章 凸轮机构

低副机构一般只能近似地实现给定运动规律，而且设计较为麻烦。当要求从动件的位移、速度和加速度必须严格地按预定规律变化时，尤其当原动件作连续运动而从动件必须作间歇运动时，则采用凸轮机构最为简便。

§ 2-1 凸轮机构的应用和分类

一、凸轮机构的应用

图 2-1 所示为内燃机配气机构，当凸轮 1 连续转动时，其轮廓将迫使气阀 2 作往复运动，从而实现气阀有规律地开启或关闭。至于气阀的运动规律则完全取决于凸轮轮廓曲线的形状。

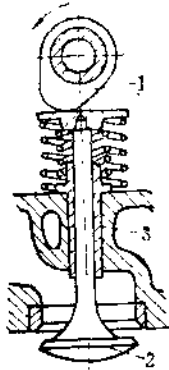


图 2-1

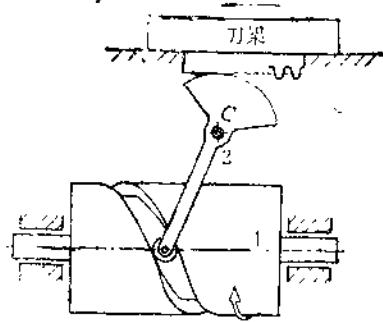


图 2-2

图 2-2 所示为一自动机床的进刀机构，当具有凹槽的圆柱凸轮 1 回转时，凹槽的侧面迫使杆 2 绕 C 点往复摆动，从而控制刀架的进刀和退刀运动。至于刀架的运动规律则完全取决于凹槽曲线的形状。

由以上两例可知，凸轮是一种具有曲线轮廓或凹槽的构件，当它运动时，通过高副接触可使从动件得到预期的运动。凸轮机构是由凸轮、从动件和机架三个基本构件组成的高副机构。凸轮通常作连续等速转动，而从动件的运动可以是连续或间断的往复移动或摆动。

凸轮机构的主要优点是结构简单、紧凑，并易于设计，只须给出适当的凸轮轮廓，就可使从动件得到各种预期的运动，所以在各种自动化机械中广泛地应用着凸轮机构。它的缺点是凸轮轮廓与从动件间为点或线接触，易磨损，故多用于传力不大的控制机构中。

二、凸轮机构的分类

凸轮机构的类型很多，常用的分类方法如下：

（一）按凸轮的形状分

1. 盘形凸轮（图 2-1） 这种凸轮是一个绕固定轴转动并具有变化半径的盘形零件，其从动件在垂直于凸轮轴的平面内运动。它是凸轮最基本的型式。

2. **移动凸轮** (图2-3) 当盘型凸轮的回转中心趋于无穷远时, 则凸轮相对机架作直线运动, 这种凸轮称为移动凸轮。

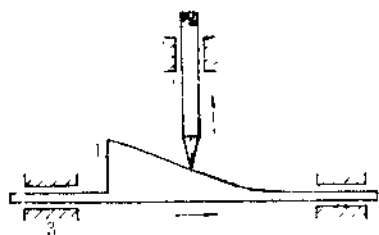


图 2-3

3. **圆柱凸轮** (图2-2) 将移动凸轮卷成圆柱体即成为圆柱凸轮。

盘形凸轮和移动凸轮与从动件之间的相对运动为平面运动, 故属于平面凸轮机构; 圆柱凸轮与从动件之间的相对运动为空间运动, 故属于空间凸轮机构。

(二) 按从动件的型式分

1. **尖顶从动件** (图2-3) 尖顶能与任意形状的凸轮轮廓保持接触, 从而使从动件能实现任意的运动规律。但尖顶易磨损, 故只适用于传力不大的低速凸轮机构中。

2. **滚子从动件** (图2-2) 由于滚子与凸轮轮廓之间为滚动摩擦, 磨损较小, 故可承受较大的载荷。这种从动件应用很广。

3. **平底从动件** (图2-1) 由于凸轮对从动件的作用力始终垂直于平底 (不计摩擦时), 故受力较平稳。并且凸轮与平底的接触面间易形成油膜, 润滑较好, 所以常用于高速传动中。但这种从动件不能与具有内凹轮廓的凸轮保持良好的接触。

§ 2-2 从动件常用运动规律

图 2-4 所示为一尖顶对心直动从动件盘形凸轮机构。其中以凸轮轮廓的最小半径 r_0 为半径所作的圆称为凸轮的基圆。图示位置凸轮与从动件在 A 点接触, 此时从动件处于开始上升的位置。当凸轮以角速度 ω 逆时针转过一个角度 δ_0 时, 从动件被推到最高位置 (离凸轮回转中心最远的位置), 从动件的这一行程称为推程, 凸轮的转角 δ_0 称为推程运动角。当凸轮继续回转 δ_h 角时, 从动件又回到最低位置 (离凸轮回转中心最近的位置), 这一行程称为回程, δ_h 称为回程运动角。凸轮再转过其余 δ_s 角时, 从动件停止不动, δ_s 称为停止运动角。从动件在推程或回程中移动的距离用 h 表示。

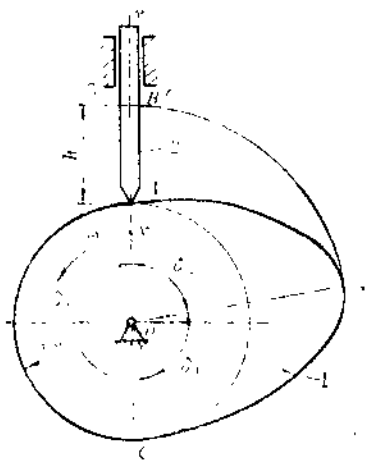


图 2-4

所谓从动件的运动规律, 是指从动件在推程或回程时, 其位移 s 、速度 v 和加速度 a 随时间 t 变化的规律。下面介绍从动件最常用的两种运动规律。

(一) 等速运动

从动件作等速运动时, 其位移 s 、速度 v 和加速度 a 随时间 t 变化的规律如图 2-5 所示。其中 $v = v_0 = \text{常数}$, 故速度线图为一水平直线; $s = v_0 t$, 故位移线图为一斜直线; 加速度

$= 0$ 。但从动件在运动开始或终止的瞬时，由于速度突变，其瞬时加速度理论上为无穷大，因而产生无穷大的惯性力（实际上由于材料的弹性变形，不可能达到无穷大），以致发生刚性冲击。所以等速运动规律只适用于低速。在实际应用时，为避免刚性冲击，可将位移线图的始末两小段直线改为圆弧或抛物线（图 2-6）。

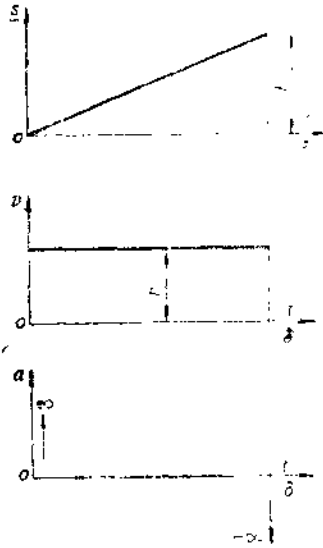


图 2-5

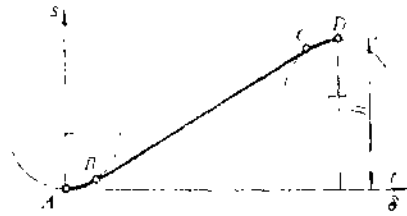


图 2-6

因为凸轮一般是等速回转的，其转角 δ 与时间 t 成正比，故图 2-5 各线图的横坐标也可用 δ 来表示。

(二) 等加速等减速运动

这种运动规律的特点是：从动件在一个行程 h 中，先作等加速运动，后作等减速运动。如加速段与减速段的时间相等，则其运动线图如图 2-7 所示。当从动件开始作等加速运动时，其加速度 $a = a_0 = \text{常数}$ ，故加速度线图为一水平直线；速度 $v = a_0 t$ ，故速度线图为一斜

直线；位移 $s = \frac{1}{2} a_0 t^2$ ，故位移线图为一抛

物线。当时间 t 为 $1 : 2 : 3 : \dots$ 时，其对应的位移之比为 $1 : 4 : 9 : \dots$ ，该位移线图可用作图法画出（参看图 2-7），从动件作等减速运动时，其运动线图可利用对称原理画出。

由运动线图可见，在 A、B、C 三处从动件的加速度有突变，因而其惯性力也将有突变，不过这一突变为有限值，由此而产生的冲击叫作柔性冲击。

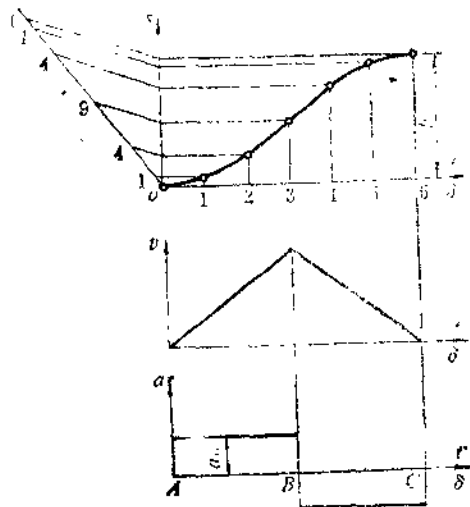


图 2-7