

冲压自动化 与压力机改造

权修华

刘成刚



安徽科学技术出版社

76305

Q 95

353166

冲压自动化与压力机改造

权修华 刘成刚

安徽科学技术出版社

(皖)新登字 02 号

责任编辑: 王春阳

封面设计: 丁 明

冲压自动化与压力机改造

权修华 刘成刚

安徽科学技术出版社出版

(合肥市九州大厦八楼)

邮政编码: 230063

安徽省新华书店经销 安徽新华印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 13 字数: 328 000

1992年1月第1版 1992年1月第1次印刷

印数: 2 000

ISBN7—5337—0662—5/TH·5

定价: 7.95元

前 言

利用板料进行冲压加工，与机械切削加工方法相比，具有生产效率高、材料利用率高等优点。然而，在冲压生产中，送料、涂油、取出工件、输送制品等辅助劳动量相当大，用手工完成这些工序费时、费力，既降低了生产率，又很不安全，要减免上述繁重的劳动，其最佳方案无疑是实现冲压装置的机械化与自动化。本书就是着重论述冲压生产过程中各种类型的机械化自动化装置的结构与原理及其设计原则，以及压力机改造等方面的技术问题。本书可供从事冲压技术的工程技术人员、工人参考，亦可作为高等学校、中等专业学校中的锻压、模具、轻工机械等专业的教学参考书。

本书由权修华、刘成刚主编。书中的第一章、第六章由孙自恺编写，合肥工业大学蔡秉久教授、吴旦中副教授审阅了全书，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，缺乏经验，错误及欠妥之处在所难免，恳切希望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 冲压自动化装置常用机构	1
§1—1 平面连杆机构	1
§1—2 凸轮机构	6
§1—3 齿轮-齿条和不完全齿轮机构	18
§1—4 棘轮机构	19
§1—5 超越离合器	20
§1—6 槽轮机构	22
§1—7 复合式往复运动机构	24
第二章 原材料冲压自动化装置	27
§2—1 辊式自动送料装置	27
§2—2 辊轴送料装置的传动方式和设计计算	31
§2—3 夹滚式送料机构	36
§2—4 钩式送料装置	39
§2—5 排样自动送料装置	41
§2—6 自动冲模	45
第三章 小型零件冲压自动化机构	51
§3—1 概述	51
§3—2 装料机构	53
§3—3 储料器、定向机构、配出机构	66
§3—4 送料机构	69
§3—5 出(排)件机构	76
第四章 压力机改造与多工位送料装置	81
§4—1 多工位压力机参数的确定	81
§4—2 行星齿轮驱动的多工位送料装置	83
§4—3 齿轮与齿条驱动的多工位送料装置	89
§4—4 凸轮杠杆驱动的多工位送料装置	92
§4—5 曲柄摇杆机构驱动的多工位送料装置	92
§4—6 气动式多工位送料装置	96
§4—7 三向多工位送料装置	97
第五章 大型冲压件生产机械化与自动化	102
§5—1 大型冲压件生产过程机械化的特点	102
§5—2 大型板料的装料与送料机械化装置	102
§5—3 大型冲压件自动卸料装置	106

§5—4 大型冲压件的翻转与运输装置	109
第六章 冲压机械手	112
§6—1 机械手概述	112
§6—2 冲压机械手主要结构	117
§6—3 机械手的定位和缓冲	134
§6—4 冲压机械手的应用实例	140
第七章 自动保护、监测和检测装置	154
§7—1 送料装置安全保护	154
§7—2 自动监视和检测装置	157
§7—3 人身保护装置	166
第八章 冲压自动线	183
§8—1 概述	183
§8—2 冲压自动线的传送装置	185
§8—3 冲压自动线实例	188
§8—4 冲压柔性生产系统	194
主要参考文献	202

第一章 冲压自动化装置的常用机构

在冲压自动化生产和压力机改造中,除了主机的连续运行外,间歇性的送料和取件是必须的,这部分工作是由专门设计的自动送料装置和自动取排件装置来完成。由于毛坯形状、大小、工艺过程以及主机设备的差异,自动送料装置也不一样,但它们都是由各种传动零件(轴、齿轮等)、连接件(键、螺纹等)和各种机构组成。其驱动力可以是机械的,也可以是气动或液动的,作为技术基础知识,本章将几种常用机构作一概述。

§1—1 平面连杆机构

一、铰链四杆机构及其特性

平面连杆机构中,最常用的是四杆机构。而四杆机构中,只包含回转副的铰链四杆机构是最基本的形态,在它基础上可以发展和演化出其它各种形式的四杆机构。它在机械化自动化装置中得到十分广泛的应用。例如常见的双边辊轴送料装置,图1—1是其送料部分的简图。显而易见, $ABCD$ 和 $DMNE$ 都可看成铰链四杆机构。我们研究平面连杆机构,主要是研究铰链四杆机构。

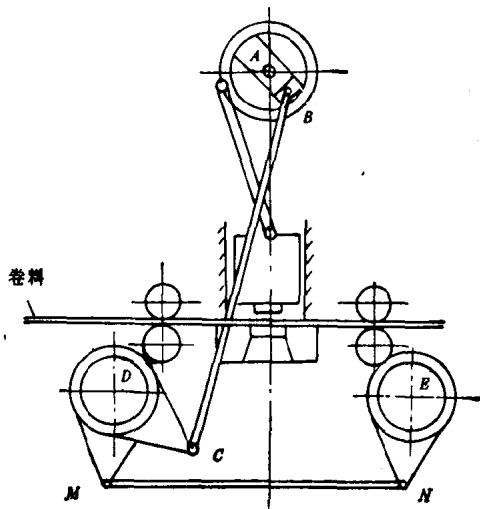


图1—1 辊轴送料机构

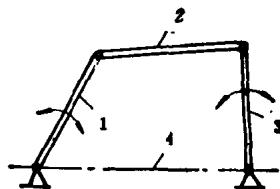


图1—2 铰链四杆机构

在图1—2所示的铰链四杆机构中,固定不动的4为机架。构件1和3以回转副与机架相连,统称为连架杆。能整周回转的杆件叫曲柄,作来回摆动的杆件叫摇杆。不与机架直接相连的杆件称为连杆,它一般作复杂的平面运动。在铰链四杆机构中,连杆和机架总是存在的,根据曲柄和摇杆的存在情况,铰链四杆机构有三类基本形式。

(一) 曲柄摇杆机构

两连架杆中，一者为曲柄，能整周回转，一者为摇杆，这类铰链四杆机构称为曲柄摇杆机构。这种机构常被用于送料机构上。如图1—1中 $ABCD$ 就属于此类。下面以它为例，着重分析铰链四杆机构的几个性质。

1. 压力角和传动角

图1—3中， AB 杆(a)是主动件，是作整周回转的曲柄， CD 杆(c)是从动件， AB 通过连杆推动 CD 来回摆动，忽略重力和惯性力的影响，连杆 BC (b)是二力杆，连杆 b 作用于摇杆 c 的力必和连杆共线，而摇杆 c 运动速度 V 的方向垂直于 CD 。 P 力与 V 之间的夹角叫压力角。可以将力 P 分解：

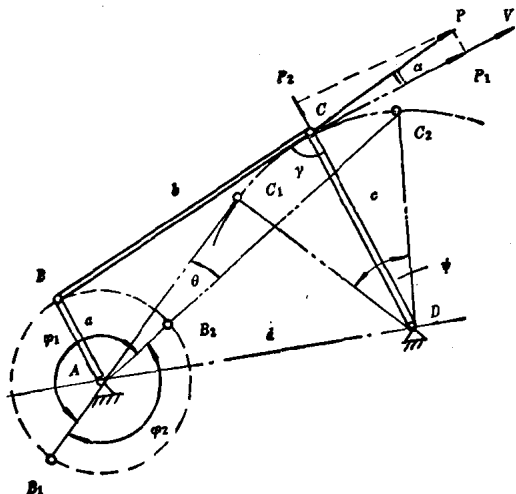


图1—3 曲柄摇杆机构

$$P_1 = P \cos \alpha$$

$$P_2 = P \sin \alpha$$

P_1 是推动 CD 运动的有效分力，而 P_2 的作用只能是增大支座反力和摩擦力，是不利的。若没有摩擦力，当 $\alpha = 90^\circ$ ，推动 CD 的有效分力 $P = 0$ ，机构就自锁了。当有摩擦力存在的情况下， α 不到 90° 机构就产生自锁。为避免自锁，一定要限制压力角 α ，按照实验的结果，推荐许用最大压力角 $[\alpha]$ 为 50° ，对于速度高功率大的传动，从提高效率方面着眼，取 $[\alpha] = 40^\circ$ 。对于新设计的四杆机构，应该校核压力角。即要求

$$\alpha_{\max} < [\alpha]$$

曲柄摇杆机构的最大压力角 $\alpha_{\max}$ 出现在 A 、 B 和 C 三点共线的时候。

杆 b 与杆 c 之间的夹角称作传动角 γ ，由图1—3可以看出：

$$\gamma + \alpha = 90^\circ$$

在运动过程中， γ 和 α 都是不断变化的。和 α 的情况相反， γ 增大，有效分力 P 就增大，希望传动角保持在 90° 附近。

2. 极限位置与行程速比系数

当曲柄回转一周，连杆与曲柄有两次共线，即 AB_1C_1D 和 AB_2C_2D 两个位置。在这两个位置上，摇杆运动要改变方向，这两个位置就是摇杆的极限位置，如果以摇杆为主动，极限位置就是死点。摇杆在两位置间夹角为 ψ ，而曲柄的夹角为 θ ，常称 θ 为极位夹角。

工作行程，曲柄由 AB_1 顺转到 AB_2 ，转角为 $\varphi_1 = 180^\circ + \theta$ ，使摇杆摆过 ψ 角；回程时，曲柄由 AB_2 顺转到 AB_1 ，转角为 $\varphi_2 = 180^\circ - \theta$ ，摇杆摆回 ψ 角。因曲柄是作等速圆周运动，同样转过 φ 角，两行程中需要曲柄回转的角度不一样，也就是需要的时间不一样。显然，工作行程需要的时间长，即摆动速度慢；反之，回程的速度快，这种特性叫做急回特性，在生产中，往往要求慢速工作(如送料)快速退回，就可利用这个特性。为了表示这个性质，令

$$K = \frac{V_2}{V_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta}$$

式中 K ——行程速度变化系数；

V_1 ——从动件工作行程平均速度;

V_2 ——从动件回程平均速度。

如果提出速度变化的要求,设计新的机构,则有:

$$\theta = 180^\circ \frac{K-1}{K+1}$$

3. 曲柄存在的条件

我们在分析曲柄摇杆机构时,事先指定 AB 是曲柄。那么,对一个已经设计好的机构来说,它是不是有曲柄(可作整周回转的机构)?如果要求机构中存在有曲柄,那么应该满足什么样的条件呢?解答这个问题,还是从分析曲柄摇杆机构着手。

摇杆处于极限位置上:

在 $\triangle AC_1D$ 中:

由 $(b-a)+d>c$, 得 $b+d>c+a$;

由 $(b-a)+c>d$, 得 $b+c>d+a$ 。

在 $\triangle AC_2D$ 中:

$$c+d>b+a$$

从而可整理出:

$$a<b, a<c, a<d。$$

如果将上述不等式改写成等式,两个极限位置构成的三角形重合为一条线,也就是 A_1B_1 和 A_2B_2 都与机架共线,仍有曲柄存在。因此,曲柄存在的条件是:

(1) 在曲柄摇杆机构中,曲柄应为最短的杆件。

(2) 最短杆件与最长杆件长度之和小于或等于其它两构件之和。反之,如在机构中,最短和最长两构件之和大于其它的构件之和,则无曲柄存在。

(二) 双曲柄机构

如果把前述图1—3所示的曲柄摇杆机构中最短杆改作为机架,则 AB 和 CD 都能作整周回转,也就是在机构中有两个曲柄,这种机构就叫做双曲柄机构。图1—4所示的惯性筛就是采用这种机构。其特点是:在曲柄 AB 等速回转一周时,曲柄 CD 变速回转一周。

我们经常应用的是一种特殊情况,即 $AB=CD$, $BC=AD$,四个杆件组成平行四边形,这时 AB 和 CD 转动速度是相同的,可以用它等速传递运动。在图1—1中, $DMNE$ 组成的四杆机构就属于这一类,它可以保证送料辊和拉料辊有相同的转速来送进条料和拉出废料。

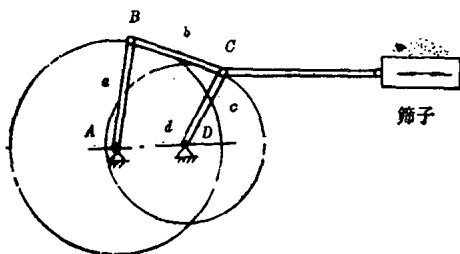


图1—4 双曲柄机构实例

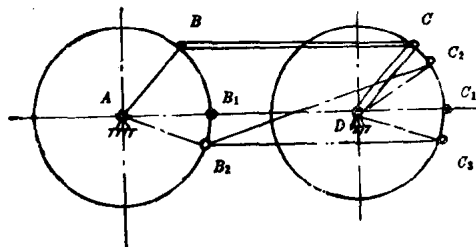


图1—5 双曲柄机构共线时情况

在设计这种机构要注意一种情况:如图1—5所示,当 AB 、 BC 和 CD 同机架共线时, AB 仍然顺转,而 DC_1 可顺转也可逆转,这是一种不定状态。

(三)双摇杆机构

当铰链四杆机构中，最短杆与最长杆之和大于其它两构件之和，这时就没有曲柄存在，两连架杆都是只能摆动的摇杆，这个机构叫做双摇杆机构，此机构的连杆一般都比较短。图1—6所示为炉门启闭机构，实际是一组双摇杆机构。

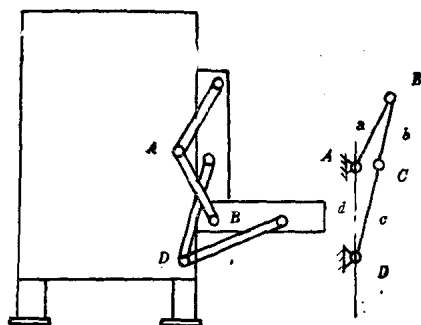


图1—6 双摇杆机构实例

二、铰链四杆机构的设计

四杆机构的设计问题，基本上可以归纳为以下两类：

- (1) 已知主动件和从动件的位置(或运动规律)设计机构(确定各构件的具体尺寸)。
- (2) 已知构件上某点的运动轨迹，设计机构。

在生产中碰到最多的是第一类问题，例如，使坯料通过摇杆的摆动从一个位置送到另一位置，辊轴送料中要求摇杆产生一定的摆角。下面举例介绍一种简单图解法来解决这类问题。

例如已知曲柄摇杆机构 $ABCD$ 中的行程速比系数 K 和摇杆长度 $CD=c$ ，摆角 ψ ，设计机构。设计步骤如下：

- (1) 计算极位夹角

$$\theta = 180^\circ \frac{K-1}{K+1}$$

- (2) 任选 D 点为摇杆与机架的铰接位置，按已知条件 $CD=c$ 和摆角 ψ ，画出两极限位置 DC_1 ， DC_2 ，使 $C_1DC_2=\psi$ ，(如图1—7)。

- (3) 连 C_1C_2 ，过 C_1C_2 两点作射线，使它们与 C_1C_2 的夹角为 $90^\circ - \theta$ ，这两射线相交于 O 点。

- (4) 以 O 点为圆心， OC_1 为半径画图。因为立于圆上的圆周角等于同弧圆周角的一半，又知圆心角 $\angle C_1OC_2=2\theta$ ，所以立于 C_1C_2 弧上的圆周角必为 θ ，即等于极位夹角。也就是说： A 点一定在圆周上。

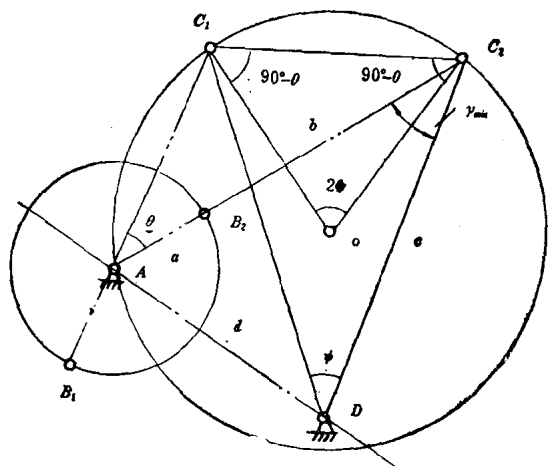


图1—7 曲柄摇杆机构的设计

(5) 如果另给辅助条件, 就可以确定A点的位置。若已知 $AD=d$, 则以D为圆心, 以 d 为半径画弧交圆周一点, 即为A点; 若规定了最小传动角 $\gamma_{\min}$, 因为行程终了的极限位置传动角为最小, 那么, 过 C_2 点并以 C_2D 为一边作角 $\gamma_{\min}$, 交圆周上一点, 这也是所求的A点。

(6) 因为在两极限位置上, 有:

$$AC_1 = b - a, \quad AC_2 = b + a,$$

则

$$a = \frac{AC_2 - AC_1}{2}.$$

故以A为圆心, 以 a 为半径画圆, 此圆就是曲柄上B点的运动轨迹。交 AC_1 的延长线于 B_1 点, 交 AC_2 于 B_2 点, B_1 和 B_2 两点是在两极限位置上B点所占据的位置。

三、其它形式的平面连杆机构

平面连杆机构很多, 上面介绍了铰链四杆机构三种基本形式, 它们当然是在实际中应用最广泛最普遍的, 此外, 我们还会碰到一些其它的类型, 如曲柄滑块机构、导杆机构, 也会碰到一些多杆机构。它们往往是从铰链四杆机构演化出来的, 或者是由四杆机构组合而成的, 下面对此作简要的介绍。

(一) 曲柄滑块机构

如图1—8所示。

$AB=r$ 是曲柄, 作整周回转, 而滑块C在导路上来回滑动。滑块总行程 $S=2r$ 。这种机构一般用来把转动转换成往复移动。压力机的工作机构基本上是采用这种类型, 在机械化装置常常采用这种机构推料。图1—8表示的是对心机构, 即C点运动轨迹和圆心在一条直线上, 它没有急回特性。如果采用的是不对心的偏置机构, 则有急回特性。这种机构可以图1—3的曲柄摇杆机构演变而成。若摇杆CD的长度为无限长, 与机架d铰接的D点在无限远处, 则C点轨迹为一直线, 摇杆CD的作用就与滑块作用相同了。也就是认为: 摇杆演化成滑块, 机架演化成导路。

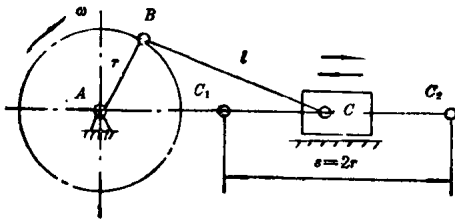


图1—8 曲柄滑块机构

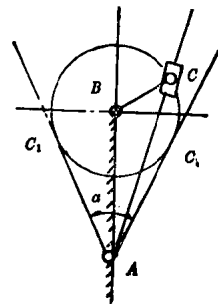


图1—9 导杆机构

(二) 导杆机构

如果把曲柄连杆机构中AB固定为机架, 原机架演化为可在滑块中滑动的导杆, 这就形成了导杆机构(如图1—9)。因为曲柄BC能整周回转, 而导杆AC只能在一定弧度内摆动, 故叫做摆动导杆机构; 若导杆AC也能整周回转, 则叫回转导杆机构。图1—10所示为下传动自动压力机的送料机构, 它就是属于摆动导杆机构。此机构具有急回特性。

由铰链四杆机构演化而成的机构, 种类繁多, 生产中也有应用, 不一一介绍, 需要时,

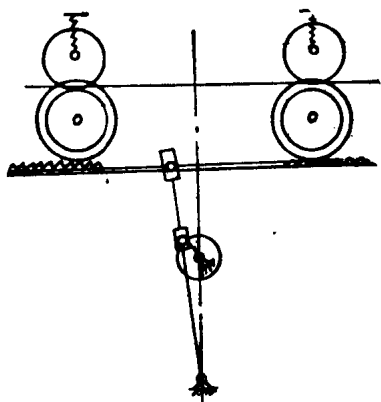


图1—10 摆动导杆送料机构

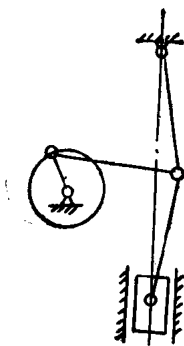


图1—11 曲柄肘杆机构

可参考其它有关机构设计的资料。此外，将基本形态的四杆机构进行组合，形成新的机构，其应用也是十分广泛的。如图1—11所示的是精压机上采用的曲柄肘杆机构，就可看成两个四杆机构的组合。这些组合机构在送料装置中也是广为采用的。图1—12所示，为一种机械手采用的杆机构，也是组合而成的机构，它从接收位置受料后，转动 90° ，把坯料送至机器的工作位置。

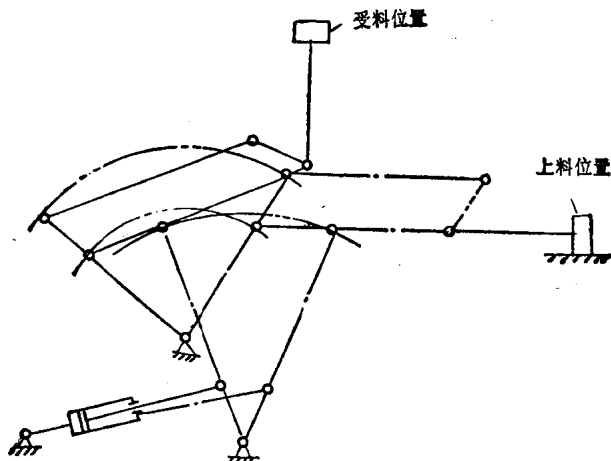


图1—12 机械手采用的杆机构

§1—2 凸轮机构

一、凸轮的应用及类别

冲压生产中的送料，顶出和卸料等工序，都是要求工作构件间歇动作或是按一定运动规律进行运动。在驱动构件连续运转(如作等速圆周运动)的情况下，采用什么机构才能完成这些动作呢？前面介绍的平面连杆机构能实现某些运动规律，可是，当要求的运动规律比较复杂时，它不仅难以精确地完成所要求的动作，而且采用的杆机构比较复杂，这时往往都采用凸轮机构。凸轮机构在机械化装置上的应用十分广泛。在各种冲压自动机上如冷镦机，多工位自动压力机等，更是离不开凸轮机构。图1—13所示为160KN开式压力机上改装的多工位送料装置简图。曲轴通过几对斜齿轮把圆周运动传给轴5和轴6，在这些轴上安装凸轮机构3、4、7、8，以实现顶出、送料的纵横方向的运动。

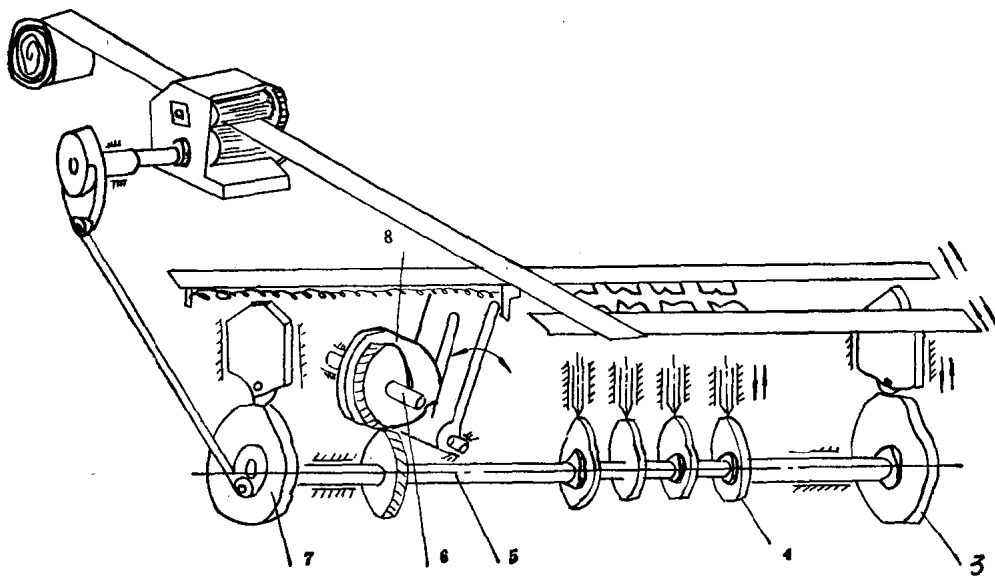


图1—13 160kN压力机上料装置简图

为什么凸轮机构会获得如此广泛的应用呢？这可以从它的结构和运动特点两方面来看：图1—14为凸轮机构简图，它主要由凸轮、凸轮从动杆和机架三个构件所组成。一般情况下，凸轮等速回转，推动从动杆沿机身导路作往复直线运动。从动杆的运动规律是受凸轮控制的，凸轮的 $\widehat{ADC}$ 上半径相等，从动杆和这一段弧接触时，保持不动，在曲线 $\widehat{ABC}$ 上，凸轮向径增大和减小，当凸轮等速回转时，从动杆被推着上升继而下降。如果曲线 $\widehat{AB}$ 段向径增大得很快或曲线很陡，则从动杆的上升的速度就快。因此，如果合理地设计好凸轮轮廓线，就能保证从动杆实现预定的运动规律。可见，凸轮机构和其它机构相比，可以更容易灵活地实现预定的运动规律，而且结构简单，紧凑，工作可靠。因此，它被广泛地用于机械、仪表和操纵装置中。凸轮机构也有其严重的缺点，主要是容易磨损。

凸轮机构在长期的使用中不断发展，种类繁多，为了便于讨论和叙述，常常根据它的各种特点来进行分类。

按凸轮形状来分，有以下几种：

(1) 盘状凸轮。凸轮为具有变化半径的圆盘(图1—14)，它绕固定轴旋转，从动杆作上下往复移动或摆动。此类是凸轮机构中的最基本的形式。

(2) 移动凸轮(图1—15)。如果盘式凸轮的半径无限增大，原来凸轮的圆周运动变成往复直线运动，这就演化出移动凸轮。

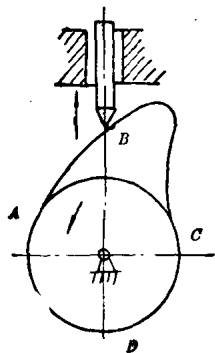


图1—14 凸轮机构简图

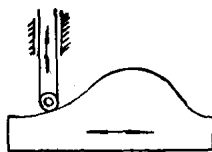
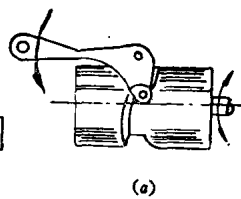
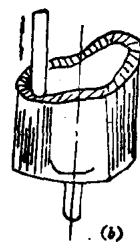


图1—15 移动凸轮



(a)



(b)

图1—16 圆柱凸轮

(3) 圆柱凸轮(图1—16)如果把移动凸轮绕在圆柱上，凸轮绕圆柱的轴心转动，这样，就演化成了圆柱凸轮。

按从动件的形状来分,有以下三种:

(1)尖顶从动杆。如图1—14所示,和凸轮接触处是一个尖顶,接触面积很小,而且与凸轮之间作相对滑动,故磨损很大,实践中很少采用。然而,因尖顶可以和凸轮轮廓线上所有点接触,接触点的运动能十分准确地实现预定运动规律。所以它是分析和设计凸轮时的最基本的形式,也是研究的基本对象。

(2)滚子从动件。针对尖顶从动件的缺点,用滚子来代替尖顶,就形成图1—17中(a)和(b)的形式。这样,不仅接触面增大,而且由滑动变成滚动。因此磨损小,效率高,可用来传送较大载荷。

(3)平底从动件。如图1—17(c)和(d)所示,和凸轮是平底接触,平底始终与凸轮表面相切,接触面有油楔存在,润滑条件好,耐磨,宜用在高速机构中。此外凸轮对从动杆的推动力都是垂直平底,比较容易推动。不过,它只能用于外凸的盘状凸轮机构中。

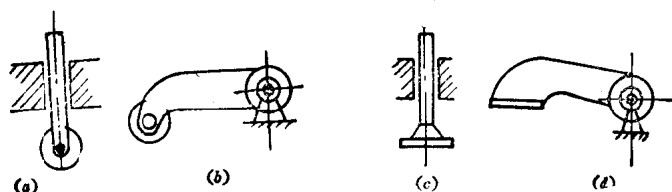


图1—17 从动件形状

此外,还可按从动杆的运动形状,分为直动(往复直线运动)和摆动两类。一般从动杆是借弹簧的力量紧紧压在凸轮表面,也有时只靠从动杆的自重保持和凸轮相接触。

二、从动杆的常用运动规律

从动杆按什么样的运动规律运动?这是生产中提出的要求,我们设计凸轮就是要按照这个要求来设计轮廓曲线。不同的规律就会有不同的轮廓曲线,因此设计凸轮,必先给出运动规律。

从动杆推向最远的运动过程叫做推程;回来的过程叫做回程。在推程中,从动杆在工作载荷下的运动过程叫做工作行程,不在载荷下的运动过程叫做空行程。我们下面介绍运动规律时,主要是针对推程(或工作行程)而言的。此外,我们一般都先假设凸轮作等速转动($\omega = \text{常数}$)来分析凸轮的运动规律。

(一)等速运动

每当凸轮转过一同样大小的角度时,从动杆就移动一个相等的距离。也就是说在相等的时间内,从动杆上升的高度都是相同的。设凸轮 t_0 在(或转角 φ_0)内,把从动杆推出的行程 h_0 ,等速运动的行程 S 、速度 V 、加速度 a 就可表示为:

$$S = \frac{h_0}{\varphi_0} \varphi$$

$$V = \frac{ds}{dt} = \frac{h_0}{\varphi_0} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{h_0}{\varphi_0} \omega = \text{常数}$$

$$a = \frac{dV}{dt} = 0$$

如果回程也按等速运动,在直角坐标中画出行程 S 、速度 V 和加速度 a 与时间关系的图象,

就如图1—18所示。在加速度 a 的图象中， a 、 b 、 c 三点处加速度发生了巨大的变化，产生严重的冲击，这种冲击为刚性冲击，这时，机械会发生振动和弹性变形，这个现象，对于高速重载下工作的凸轮是不允许产生的。因此，实际使用时，要对运动规律进行适当的修正，即在 a 、 b 、 c 三点附近采用其它运动规律，例如可采用等加速等减速运动规律，见图1—19，修正后，这三点加速度的变化将是一个有限值，冲击程度大大减轻，这个有限值的冲击为柔性冲击，它对整个机构的影响较小。所以，很多场合是采用这种修正等速运动规律的凸轮。

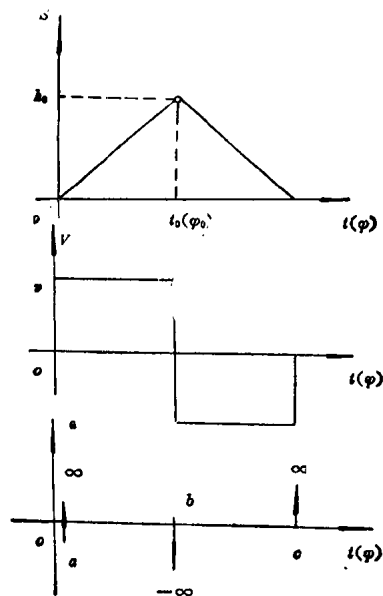


图1—18 等速运动图象

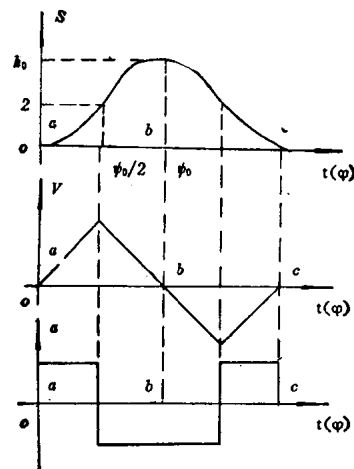


图1—19 修正的等速运动图象

(二)等加速等减速运动

从动件自静止状态开始按等加速或等减速运动，加速度 $a=\text{常数}$ ，经过 t 时间，其行程量 $S=1/2at^2$ 。可见，在 S 对 t 的直角坐标中位移图象是抛物线。在实际中，不能一直采用加速运动，因为速度增加得太大，导致最后产生很大的冲击，而是采取等加速等减速运动连用，达到行程终点时，速度 $V=0$ 。如果凸轮由静止转过 $\varphi_0/2$ ，把从动杆推到行程中点，即 $h_0/2$ 处，则从动杆行程、速度、加速度可以表示为：

$$S = \frac{2h_0}{\varphi_0^2} \varphi^2$$

$$V = \frac{dS}{dt} = \frac{4h_0\omega\varphi}{\varphi_0^2}$$

$$a = \frac{4h_0}{\varphi_0^2} \omega^2$$

它们的函数图象如图1—20所示。

$S=f(\varphi)$ 的图象是几段抛物线，设计凸轮时，常用下面两种作图方法。

(1) 因 $S = \frac{1}{2}at^2 = Kt^2$ ，可将推程所需的时间分成若干个时间间隔，例如取6个间隔，对应找出每个间隔中的位移

$$\begin{array}{llllll} \text{当 } t=1 & s_1=K & s_1-0=K & t=2 & s_2=4K & s_2-s_1=3K \\ t=3 & s_3=9K & s_3-s_2=5K & & & \end{array}$$

后半推程采用等减速运动,故第四、第五、第六时间间隔中的位移相应为 $5K$ 、 $3K$ 、 K 。作图时,在纵坐标上取 $OB=h_0$, 将 OB 分为6段, 每段长度之比 $OB_1:B_1B_2:B_2B_3:B_3B_4:B_4B_5:B_5B$ $=1:3:5:5:3:1$; 在横坐标上取 $Ob=\varphi_0$, 将 Ob 分为6段, 相应的分点为 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 ; 过 B_1 作 OB 的垂线, 过 b_1 作 Ob 的垂线, 它们相交一点1, 同法, 得到点2、点3、点4、点5、点6, 将0、1、2、3、4、5、6各点连成光滑曲线, 即为推程中位移的图象, 见图1—21。利用对称的关系, 可以得到回程的位移图象。

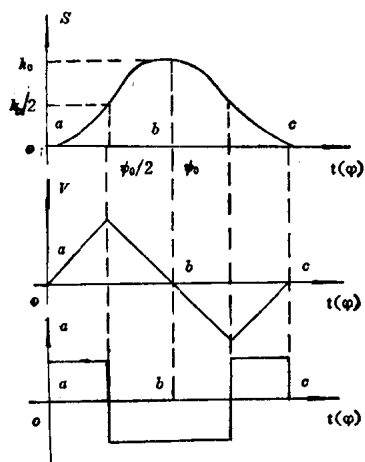


图1—20 等加速等减速运动图象

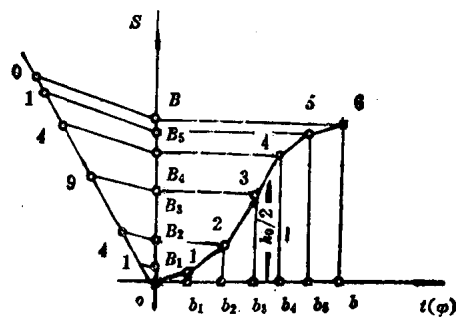


图1—21 等加速等减速运动图象画法1

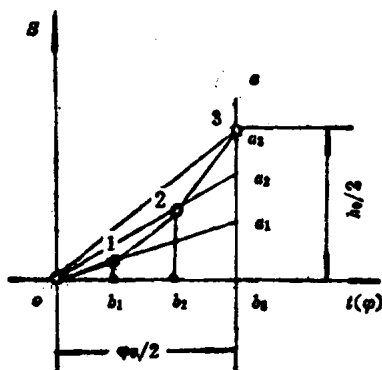


图1—22 等加速等减速运动图象画法2

(2) 选直角坐标系 toS , 在横轴上取 $Ob_3=\frac{\varphi_0}{2}$, 把 Ob_3 分成相等的三段, 即 $Ob_1=b_1b_2=b_2b_3$, 过 b_3 作横轴垂线, 并在其上取 $b_3a_3=\frac{h_0}{2}$, 把 b_3a_3 分成相等的三段, 即 $b_3a_1=a_1a_2=a_2a_3$, 连 oa_1 , 过 b_1 作横轴垂线交 oa_1 于点1, 同法得到点2, 点3; 顺序连0、1、2、3为光滑曲线, 这即为等加速运动的位移图象, 见图1—22。按此法, 可作出其它各段等减速等加速位移图象。

和等速运动相比, 这种运动规律的总的平均速度较大, 有利于提高生产率。虽然在起始点, 终了点和几个拐点上, 加速度也有突然变化, 但是变化的范围不大, 只产生点柔性冲击。因此得到广泛地应用。尤其是在传递动力或速度较高的场合, 用得较多。然而, 在速度很高的情况下, 起始点和拐点的冲击也会对整个机构产生较大的影响, 故这种运动规律在高速机构也不宜采用。

(三) 简谐运动规律

一点在圆周上作等速运动，则此点在圆周直径上的投影所反映的运动规律称为简谐运动。根据定义，如果要使从动件作简谐运动，只须用从动杆行程作直径画半圆，把半圆等分，如图1—23所示， a 、 b 、 c 、 d 、 e 将半圆6等分，各分点在直径上的投影为 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 和 A_6 ；再取 $A'(\varphi)$ 为横轴，截 $A6'=\varphi$ ，把 $A6'$ 分成6等分，即 $A1'=1'2'=2'3'=3'4'=4'5'=5'6'$ ；过 A_1 作直径垂线，过 $1'$ 作横轴垂线，它们相交于点1，同法可得点2、点3……，将这些点连成光滑曲线，即可得到从动杆作简谐运动的行程图。以数学式表示为：

$$S = \frac{h_0}{2} (1 - \cos \frac{\pi}{\varphi_0} \varphi)$$

$$V = \frac{dS}{dt} = \frac{\pi h_0}{2\varphi_0} \omega \sin \frac{\pi}{\varphi_0} \varphi$$

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi^2 h_0}{2\varphi_0^2} \omega \cos \frac{\pi}{\varphi_0} \varphi$$

可见，速度 V ，加速度 a 是按正弦、余弦规律变化，它们的函数图象由图1—23表示。按同样方法，可以对正弦运动规律进行分析。按这种运动规律，从动杆的行程 S 、速度 V 和加速度 a 都是连续变化的，运动比较平稳，动力性能好，可用在高速凸轮机构中。余弦运动规律在起始，终了地方仍有柔性冲击，但影响不严重。不过，这种凸轮的加工性能不好，通常采用描点法作图，误差亦较大，以致难以达到预想的动力性能指标。因此，在制造这种凸轮时，要求精确地作图，细心地加工。

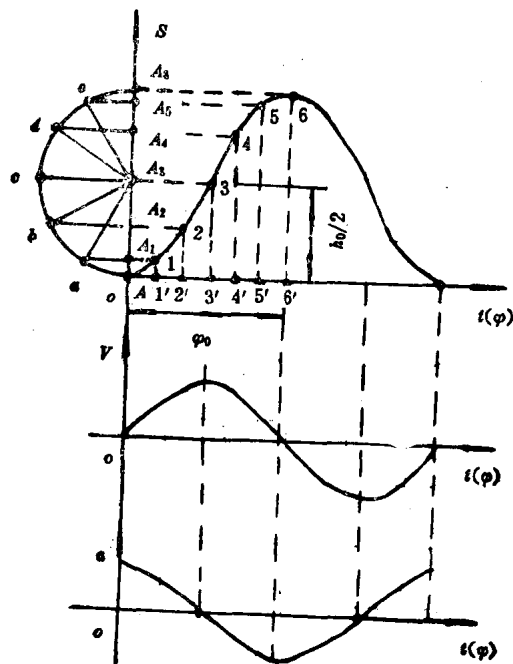


图1—23 简谐运动图象画法

三、盘状凸轮轮廓的设计

凸轮设计主要是求出凸轮的轮廓线。设计方法有三种：一种是解析法，找出从动件的位置与凸轮转角的函数关系，从而准确地找出凸轮轮廓线的极坐标位置。此法精度很高，但计算很繁。对于轮廓线精度要求高的高速凸轮采用此法。另一种是作图法，即用作图的方法求出轮廓线。此外，还有解析-作图法，是一种作图和计算的综合方法，作图所需的各个向径的数值是通过计算求得的，这种方法保持作图法简便易求的特点，而所求轮廓线的精度却高于作图法。

目前，用在机械化装置上的凸轮速度都不太高，用作图法设计出的凸轮就可满足要求，故下面主要介绍作图法。作图时，假想在凸轮机构中，加一个与凸轮角速度 ω 相等但方向相反的角速度 $-\omega$ ，则此运动系统中，凸轮固定不动，而从动杆不但保持原来的直动(或摆动)，同时还要按角速度 $-\omega$ 转动。这样，从动杆尖端的运动轨迹就是凸轮的轮廓线。这种作图方法又叫“反转法”。

(一)尖顶从动件凸轮的设计

已知一凸轮机构从动杆对心直动，当凸轮顺时针转过 180° ，从动杆等速上升的高度为