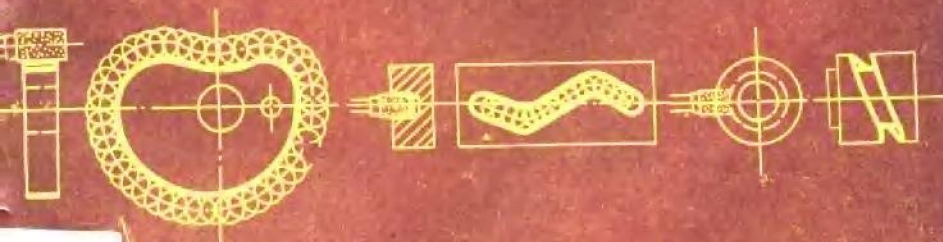


凸轮制造技术

陆金贵 编著



•47

机械工业出版社

内容简介

全书共分六章，第一章介绍凸轮的种类及基本概念；第二章主要介绍盘形凸轮、移动凸轮及圆柱凸轮型面的加工方法；第三章介绍盘形凸轮、移动凸轮及圆柱凸轮仿形靠模的设计；第四章介绍仿形靠模型面的加工方法；第五章分析了凸轮型面的制造误差；第六章介绍凸轮型面的各种检验方法。

凸轮制造技术

陆金贵 编著

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 767×1092 1/32·印张 9 1/2·字数 209 千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数 0,001—4,120·定价 2.00 元

统一书号：15033·6386

目 录

第一章 凸轮的种类及基本概念	1
一、凸轮的种类	1
二、凸轮术语及几何尺寸	3
三、凸轮型面曲线的表示方法	4
第二章 凸轮型面的加工方法	6
一、盘形凸轮型面的展成加工法	7
1. 概述	7
2. 挂轮展成铣削法	10
3. 斜面展成铣削法	23
4. 曲柄摇杆机构展成加工法	30
二、盘形凸轮型面的仿形加工法	36
1. 机械靠模装置仿形加工法	36
2. 随动靠模装置仿形加工法	47
三、盘形凸轮型面的数控机床加工法	51
1. 什么是数控机床	51
2. 数控机床的基本工作原理	52
3. 数控装置的控制和运算原理	54
4. 加工非圆弧曲线的计算	59
5. 盘形凸轮的数控铣床加工法	73
四、移动凸轮型面的加工方法	77
1. 手动进给仿形铣削法	77
2. 机动进给仿形铣削法	79
五、圆柱凸轮型面的加工方法	82
1. 展成加工法	82
2. 仿形加工法	93
3. 数控铣床加工法	99

第三章 仿形靠模的设计	101
一、设计仿形靠模时基本参数的确定	101
1. 滚子半径的确定.....	101
2. 仿形靠模型面压力角及基圆半径的确定.....	104
二、盘形凸轮仿形加工靠模的作图设计法	106
1. 仿形车削盘形凸轮的靠模作图设计.....	106
2. 仿形铣削盘形凸轮的靠模作图设计.....	109
3. 仿形磨削盘形凸轮的靠模作图设计.....	115
三、圆柱凸轮仿形加工靠模的作图设计法	118
1. 圆柱凸轮靠模结构型式的靠模作图设计.....	118
2. 盘形凸轮靠模结构型式的靠模作图设计.....	118
3. 移动凸轮靠模结构型式的靠模作图设计.....	120
四、盘形凸轮仿形加工靠模的计算设计法	122
1. 仿形铣削盘形凸轮靠模的计算设计.....	122
2. 仿形车削盘形凸轮靠模的计算设计.....	128
3. 仿形磨削盘形凸轮靠模的计算设计.....	129
4. 工件曲线参数的计算.....	134
五、圆柱凸轮仿形加工靠模的计算设计法	139
1. 工件有关尺寸的计算.....	140
2. 靠模有关尺寸的计算.....	142
六、凸轮的材料及公差	148
1. 凸轮材料的选择.....	148
2. 凸轮公差的选择.....	150
第四章 仿形靠模型面的加工方法	151
一、仿形靠模型面的划线加工法	151
1. 仿形靠模型面划线的基本方法.....	151
2. 盘形凸轮靠模型面的划线方法.....	156
3. 圆柱凸轮靠模型面的划线方法.....	163
4. 划线加工法的工艺过程.....	167

5. 划线加工法的注意事项.....	168
二、仿形靠模型面的包络加工法	169
1. 坐标镗床加工法.....	170
2. 平面磨床加工法.....	174
3. 圆柱凸轮靠模型面的坐标镗床加工法.....	180
4. 包络加工法的注意事项.....	181
三、仿形靠模型面的其它机械加工方法	182
1. 展成加工法.....	182
2. 数控机床加工法.....	183
3. 光电跟踪仿形铣床加工法.....	183
4. 反靠加工法.....	184
四、仿形靠模型面的电蚀加工法	185
1. 电蚀加工法的原理.....	186
2. 电火花成形加工.....	186
3. 电火花线切割加工.....	193
第五章 凸轮型面的制造误差	198
一、影响凸轮型面制造误差的因素	198
1. 机床传动系统的误差.....	198
2. 仿形系统的因素.....	199
3. 工件的因素.....	200
二、盘形凸轮型面的制造误差	201
1. 仿形铣削凸轮型面制造误差的分析	201
2. 仿形磨削凸轮型面制造误差的分析	210
3. 仿形车削凸轮型面制造误差的分析	214
三、圆柱凸轮型面的制造误差	217
1. 圆柱凸轮型面母线的制造误差	217
2. 圆柱凸轮槽宽的制造误差	221
四、如何提高凸轮型面的加工精度	224
1. 如何提高盘形凸轮型面的加工精度	224

2. 如何提高圆柱凸轮型面的加工精度	228
第六章 凸轮型面的检验	233
一、凸轮型面的绝对检验法	233
1. 游标卡尺检验法	233
2. 凸轮型面的包络检验法	234
3. 光学分度头检验法	235
4. 万能显微镜检验法	237
5. 卡规或样板检验法	239
二、凸轮型面的比较检验法	240
1. 在加工机床上的比较检验法	240
2. 直角尺比较检验法	241
3. 凸轮比较检验仪	242
三、新技术在凸轮型面检验上的应用	245
1. 光栅凸轮检验仪	246
2. 三坐标测量机	247
四、凸轮型面检验误差的分析	248
1. 检验误差的产生	248
2. 检验误差的计算	249
3. 检验误差的分析	250
附表一、速比、导程挂轮表	252
附表二、系数 $k (=2\sin \theta/2)$ 值表	265

第一章 凸轮的种类及基本概念

凸轮机构在机械上已得到广泛应用，尤其是在各种自动机械上，例如各种自动的或半自动的机床、自动电话设备、印刷机械、纺织机械、矿山机械及各种轻工机械（香烟机、面包机、制鞋机等）中均有应用。应用的场合不同，所用凸轮的种类也有所不同。

一、凸轮的种类

凸轮按其形状可以划分成三大类：

1. 平板凸轮

绕固定轴回转的平板凸轮是凸轮机构中的最基本型式。此种凸轮是一具有变化径线的圆盘，故又称为盘形凸轮。该种凸轮按其曲面的形状又可分成三种：如图1-1所示曲面为外表面的平板凸轮；图1-2所示曲面为内表面的平板凸轮；

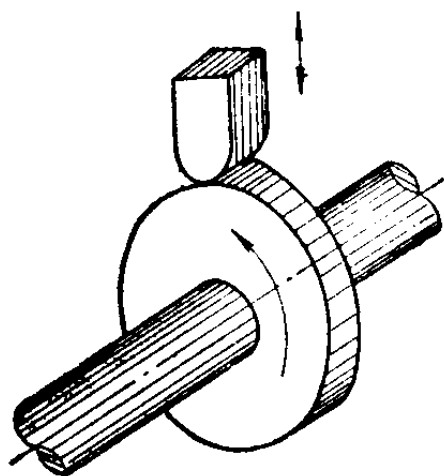


图1-1 外表面的平板凸轮

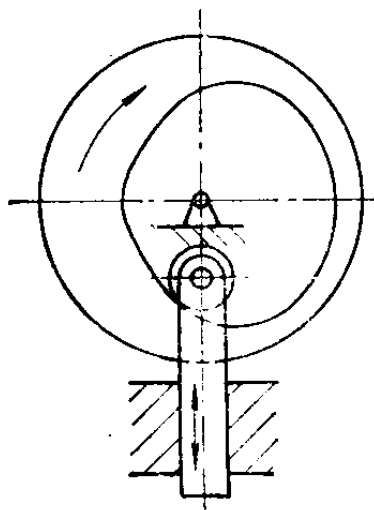


图1-2 内表面的平板凸轮

另一种如图1-3所示凸轮曲面为端面槽形，称为端面槽形平板凸轮。

2. 移动凸轮

前面所述的平板凸轮，其各点的主运动系沿圆周运动，若使这些圆周的半径增大到无穷大，那么这些圆将变成直线，这种凸轮即为移动凸轮。移动凸轮作直线往返移动。移动凸轮的曲面基本上有两种：一种如图1-4所示为单侧曲面的移动凸轮；另一种为双侧曲面（即槽形）的移动凸轮，如图1-5所示。

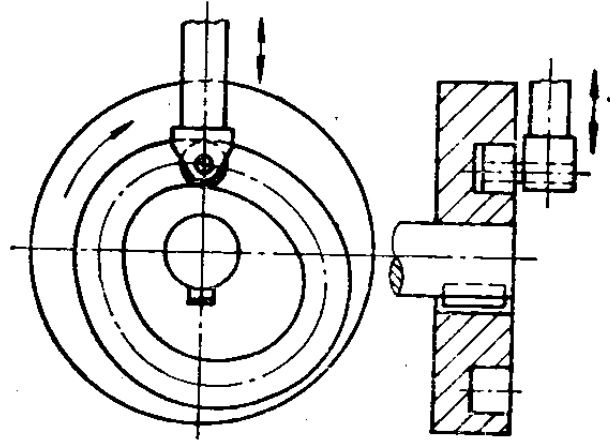


图1-3 端面槽形的平板凸轮

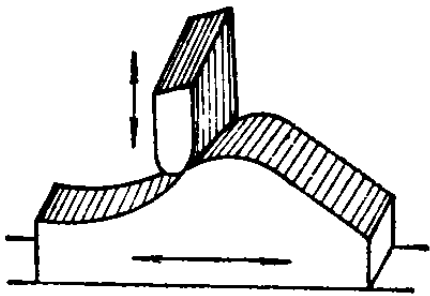


图1-4 单侧曲面移动凸轮

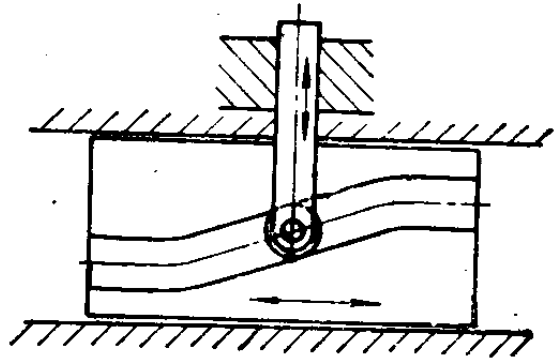


图1-5 槽形移动凸轮

3. 圆柱凸轮

将移动凸轮的曲面绕在一圆柱体上即成一圆柱凸轮。圆柱凸轮也是绕固定轴作回转运动，但其曲面不是在半径方向变化，而是在轴向方向变化。圆柱凸轮因其形状很似鼓形，故又称圆柱凸轮为鼓形凸轮。圆柱凸轮的曲面基本上也有两种：一种为单侧曲面的圆柱凸轮，如图1-6所示；另一

种为双侧曲面（即槽形）的圆柱凸轮，如图1-7所示。

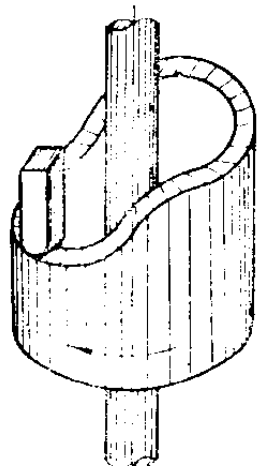


图1-6 单侧曲面圆柱凸轮

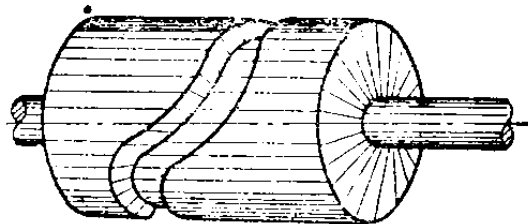


图1-7 槽形圆柱凸轮

二、凸轮术语及几何尺寸

图1-8所示为一尖顶向心推杆凸轮副的原理图。件1为尖顶推杆，件2为盘形凸轮。O点为凸轮的回转中心，半径OA称为在A点的向径，用 r_A 表示。

以凸轮曲线最小向径 r_1 所作的圆称为基圆。 r_1 称为基圆半径；凸轮曲线的最大半径用 r_{max} 表示。

很明显，推杆1的升程量 S （或叫作动程量），即凸轮旋转一圈后，从动件1从低点运动至高点的距离，其值为：

$$S = r_{max} - r_1$$

α_A 为凸轮曲线在A点的压力角，其值为凸轮轮廓在A点的切线t-t和向径OA的垂线

P—P两直线之间的夹角，压力角在凸轮轮廓各点的数值是不一样的，轮廓坡度越大则压力角 α 就越大。

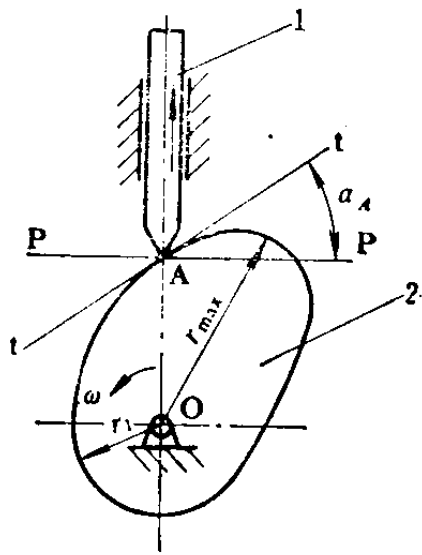


图1-8 尖顶推杆凸轮

图1-9所示为一滚子向心推杆凸轮副的原理图。其滚子轴心的轨迹曲线与凸轮轮廓相隔一距离，其值等于滚子的半径。滚子轴心的轨迹曲线称为滚子的轴心曲线，或称为理论曲线。当凸轮机构工作时，滚子在随从动件作往复移动的同时又绕自己的轴心回转，因此只有滚子轴心的运动轨迹才是从动件的真正运动轨迹。由滚子的圆弧而形成的包络线称为凸轮的实际曲线（或叫作构造曲线），所以实际曲线实质上是一与理论曲线相距滚子半径的等距曲线。由凸轮实际曲线形成的曲面称为凸轮的型面。

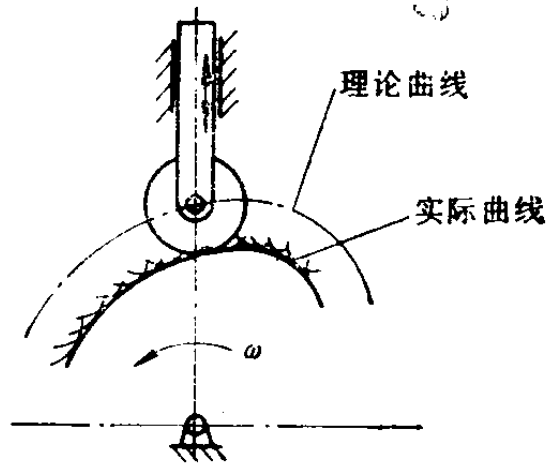


图1-9 滚子向心推杆凸轮

三、凸轮型面曲线的表示方法

凸轮型面曲线可以由直线、圆弧和非圆弧曲线组成。这些直线或曲线可用两个变量之间的函数关系来表示，而最常用的函数表示方法有三种：

1) 分析法。如果曲线的两个变量之间的函数关系可借助于公式或分析式直接指出；要对自变量施行那些数学运算（如加、减、乘、除、乘方、开方、对数、三角函数等），以及按照怎样的次序来进行这些运算，才能得出函数的对应值，这是用分析法或公式法来表示曲线的函数。用分析法表示曲线的函数，其优点是便于分析研究并可精确计算。

2) 图示法。如果曲线的两个变量之间的函数关系是借助于坐标平面上的曲线来表示的，这样表示曲线的函数叫作图示法，曲线函数图示法的优点是直观、明显。

3)表格法。在实际应用中,常将曲线函数的一系列的自变量值与对应的函数值列成表。自变量与对应的函数关系可以是笛卡儿坐标 (x,y) ,也可以是极坐标 (r,θ) 形式给出,该方法的优点是:可以用它来表示不能用分析法表示的曲线函数,同时该方法可以直接用于加工而不用经过烦琐的计算。

第二章 凸轮型面的加工方法

制造凸轮的关键在于凸轮型面的加工，型面的加工有多种方式，按照切削运动学的原理，凸轮型面的切削加工方式可以分成三大类：

1) 成形法——已加工型面的母线是由刀具切削刃形成的。一般用于电气开关上较小的凸轮型面的制造，例如用成形铣刀加工移动凸轮的型面。

2) 包络法——已加工表面的母线不是切削刃，而是切削刃上一小段的连续位置包络而成。这种方法包括凸轮型面的仿形加工法、数控机床加工法、“点描”加工法及手动操纵铣削法等。

3) 展成法——已加工表面是刀具与工件啮合而展成的。该方法又叫范成法。刀具安装在铰链多杆机构中的摇杆某点上，摇杆在运动的过程中，利用该点的运动轨迹来对工件型面进行加工，也是属于展成加工法。

除了以上机械切削加工方法外，金属的电蚀加工法（例如利用电火花成形加工及电火花线切割加工）在凸轮型面的加工上已得到普遍推广和应用，故本书也作了介绍。

凸轮型面的以上加工方法中，有些方法，例如展成法、仿形加工法、数控机床加工法等生产效率较高，是工厂用于凸轮型面成批生产的主要方法，也是本章重点介绍的内容。其它加工方法，例如“点描”加工法，电蚀加工法等，由于生产效率较低，主要用于单件小批生产。例如仿形靠模板的型

面加工，大多采用这些方法。这些加工方法将在本书的第四章进行介绍。

一、盘形凸轮型面的展成加工法

1. 概述

盘形凸轮型面的展成加工法，按其展成原理可分成：

- 1) 挂轮展成铣削法。
- 2) 斜面展成铣削法。
- 3) 铰链多杆机构展成加工法。

第一、二种加工法，常用于型面曲线是平面螺旋线或是渐开线的凸轮加工；第三种加工方法，一般用于摆动凸轮副凸轮型面曲线的加工。

(1) 平面螺旋线及渐开线的形成原理

常用的平面螺旋线有两种类型：一种如图2-1a所示，在圆盘作等速旋转的同时，A点沿圆盘的径向作等速直线运动，则A点在圆盘端面上留下的轨迹就是一条平面螺旋线，这种平面螺旋线一般称为阿基米德螺旋线；而另一种如图2-1b所示，A点的移动方向不在圆盘的径向，而是在沿半径为 e ，圆心和圆盘同心的圆的切线方向作等速直线移动，这样A点在圆盘端面上留下的轨迹也是一平面螺旋线。

图2-2所示为渐开线的形成过程。当圆盘作等速旋转的同时，A点沿半径为 r_0 的基圆的切线方向作等速直线移动，且圆盘转过一整圈后，A点的升程量正好是基圆的圆周长，即 $L=2\pi r_0$ ，此时，A点在圆盘端面上留下的轨迹就是一渐开线。所以渐开线实际上是直线I-I沿基圆作无滑动的滚动时，此直线上的一点A，所形成的轨迹。

图2-1 a 的平面螺旋线，经常用在三爪卡盘上的平面螺纹

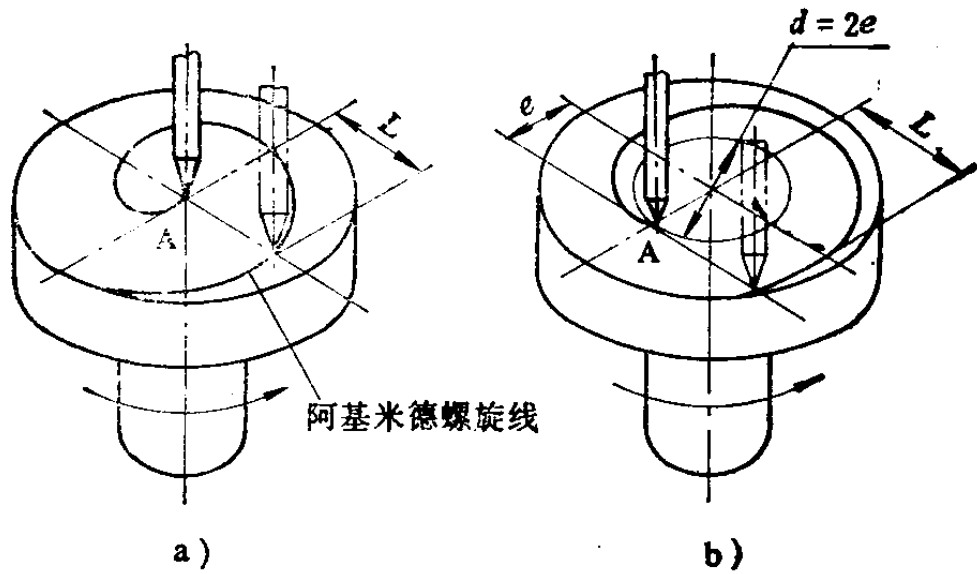


图2-1 平面螺旋线的形成
a—阿基米德螺旋线 b—偏心距为 e 的平面螺旋线

及从动件是对心直动的等速盘形凸轮上(见图2-3a); 而图2-1b的平面螺旋线及渐开线, 主要用在从动件是偏置(偏心

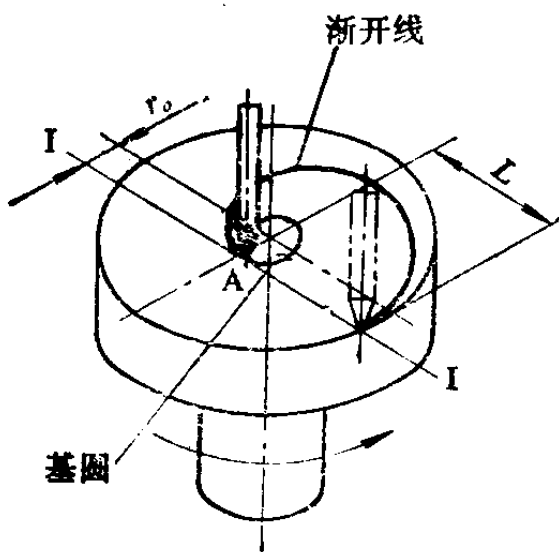


图2-2 渐开线的形成

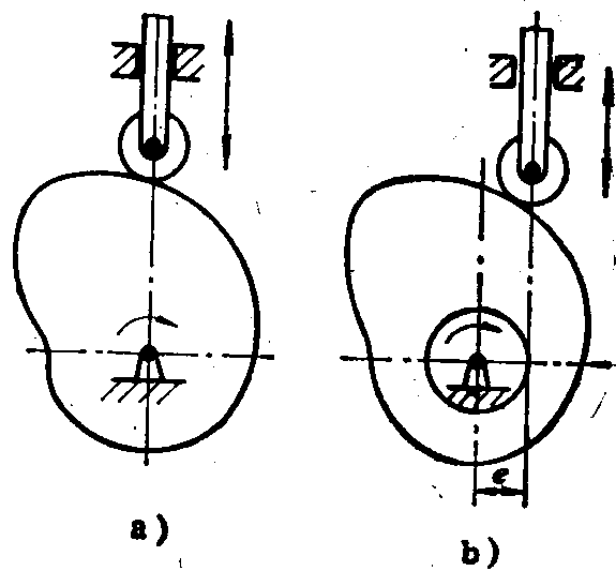


图2-3 等速盘形凸轮
a—对心直动等速盘形凸轮 b—偏
心距为 e 的偏置直动等速凸轮

距为 e 或为基圆半径 r_0)直动的等速盘形凸轮上,见图2-3b。

(2) 基本要素

图2-4所示为一对心直动从动件的等速盘形凸轮工作图。其从动件(推杆)滚子中心的运动轨迹是由两段阿基米德螺线组成。其特点是当曲线转过相等角度时,曲线沿半径方向移动相等的距离。这种性质可用三个要素来表示:

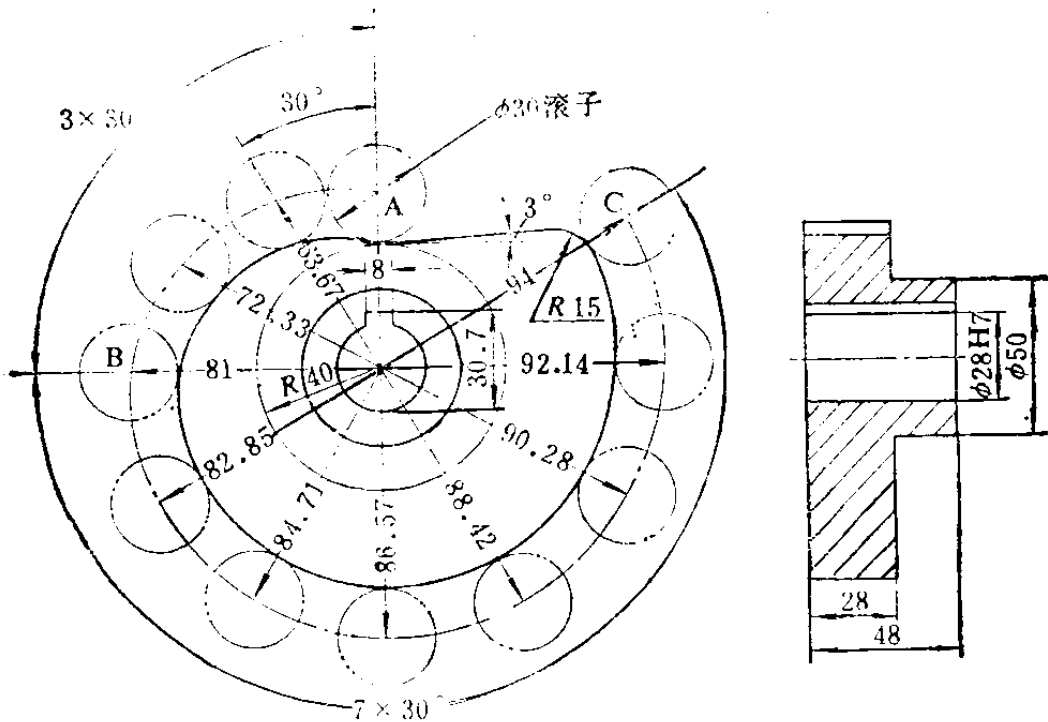


图2-4 等速盘形凸轮的工作图

1) 升高量 H : 曲线最高点半径与最低点半径之差。如图2-4所示的曲线, 第一段曲线AB的升高量为 $81 - \left(40 + \frac{30}{2}\right) = 26\text{mm}$; 第二段曲线BC的升高量为 $94 - 81 = 13\text{mm}$ 。

2) 升高率 h : 曲线经过单位角度时沿径向所移动的距离。

$$h = \frac{H}{\theta} \quad (2-1)$$

式中 H ——曲线的升高量(mm);

θ ——工作曲线在圆周上所占的角度。

3) 导程 L : 曲线按一定的升高率在转过一周时的升高量, 很明显, 导程 L 为:

$$L = \frac{360^\circ}{\theta} H \quad \text{mm} \quad (2-2)$$

根据平面螺旋线的形成原理, 在铣床上铣平面螺旋线, 除了铣刀作旋转运动外, 在工作台带动工件作纵向进给(沿铣床纵向工作台方向的进给运动)的同时, 还要使工件匀速转动, 它们之间的运动关系必须保证: 工作台每匀速移动一个等于工件导程 L 距离的期间, 工件必须同时匀速转动一整圈。

2. 挂轮展成铣削法

挂轮展成铣削法又有两种, 即垂直铣削法与倾斜铣削法, 现分别加以介绍。

(1) 垂直铣削法

1) 垂直铣削法的基本原理: 垂直铣削法就是加工时将工件和立铣刀的轴线装成与铣床工作台相垂直的位置。当工件每转过一转, 纵向工作台应移动一个等于凸轮导程 L 的距离。

在垂直铣削法中, 工件可以安装在主轴垂直放置的分度头上, 也可以安装在回转工作台上。图2-5是利用分度头以垂直铣削法加工等速盘形凸轮时的情形。

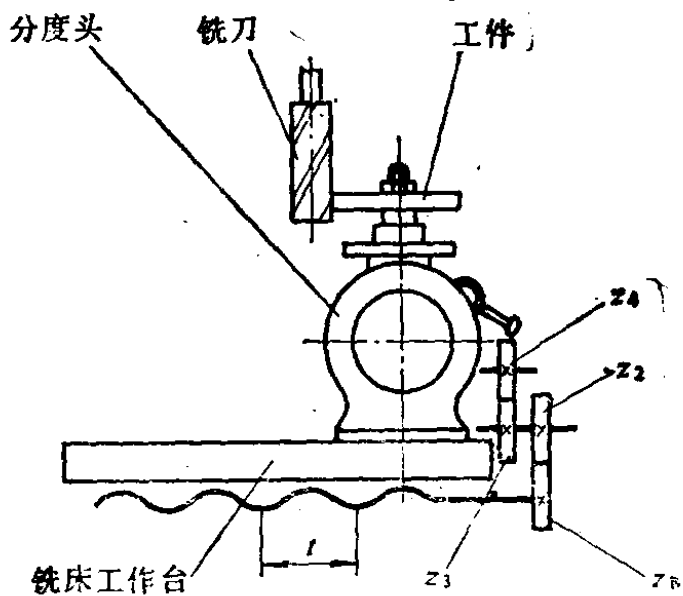


图2-5 垂直铣削法

此时，机床纵向工作台和分度头的传动系统应按图2-6a进行调整。机床纵向进给丝杠带动纵向工作台移动的同时，又经挂轮 z_1 、 z_2 、 z_3 和 z_4 带动分度头使工件作匀速旋转。图2-6b所示为挂轮的大体位置。

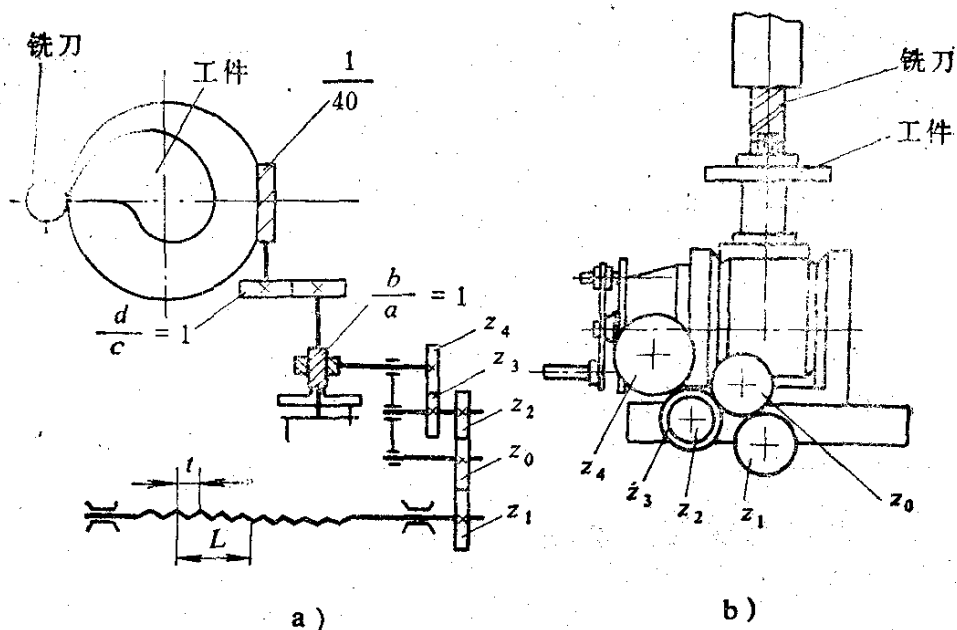


图2-6 垂直铣削法分度头的调整

a—传动系统 b—挂轮的位置

挂轮的选择应保证当工件纵向送进一个导程 L 时，工件刚好转过一圈。从图2-6a所示传动系统上可以看出需要满足以下关系：

$$\frac{L}{t} \times \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{40} = 1$$

将上式整理后可得挂轮传动比 i 为：

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40t}{L} \quad (2-3)$$

式中 z_1, z_3 ——从丝杠到分度头的主动齿轮的齿数；

z_2, z_4 ——从丝杠到分度头的从动齿轮的齿数；