

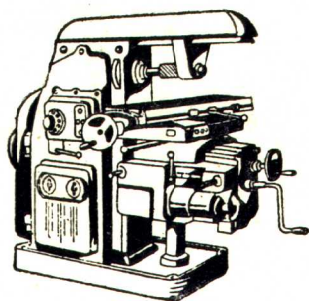
机械工人学习材料

JIXIE CONGREN XU'XI CAILIAO

怎样铣凸轮

赵国瑛 编著

铣工



机械工业出版社

内容提要 本书主要介绍常见的阿基米德曲线圆柱凸轮、正弦曲线鼓形凸轮、阿基米德圆盘凸轮、渐开线凸轮板、圆弧凸轮板的加工原理、方法，以及加工中出现的一些质量问题和解决方法。

本书可供三级以上铣工学习。

怎样铣凸轮

赵国瑛 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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 3 · 字数 73 千字

1981 年 6 月北京第一版·1981 年 7 月北京第一次印刷

印数 00,001--18,000 · 定价 0.23 元

*

科技新书目: 5-108

统一书号: 15033·5169

目 次

- 一 圆柱螺旋面凸轮的铣削 1
 - 1 阿基米德螺旋面的形成和特点(1)——2 导程的计算(2)——3 挂轮的计算与安装方法(8)——4 铣削方法(25)
- 二 正弦曲线鼓形凸轮的铣削 55
 - 1 正弦曲线的形成和特征(55)——2 铣削正弦曲线凸轮的机构(56)——3 机构的调整(59)——4 铣刀的位置及直径(60)——5 影响正弦曲线形状的因素(60)
- 三 阿基米德圆齿凸轮的铣削 60
 - 1 阿基米德曲线的形成原理和特征(60)——2 曲线的夹角(61)——3 导程的计算(66)——4 加工方法(67)——5 加工步骤(81)
- 四 渐开线凸轮板的铣削 83
 - 1 渐开线的形成与性质(84)——2 铣削方法(84)——3 影响渐开线形状的因素(91)
- 五 圆弧凸轮的铣削 93
 - 1 使用的工具(94)——2 工件的装夹和定位方法(94)——3 加工方法(95)

一 圆柱螺旋面凸轮的铣削

在自动车床或半自动车床，组合机床的机械动力头，齿轮机床以及电器控制的鼓轮等等都应用圆柱凸轮来控制各种运动。例如，在自动车床上，用阿基米德圆柱凸轮实现刀架的匀速直线运动，使刀具得到均匀切削。又如在一些夹紧机构上，配备有一对阿基米德螺旋面凸轮，利用凸轮螺旋面相对转动时所产生的轴向移动，使零件得到压紧或夹紧。由于圆柱凸轮加工制造简单，因此获得了广泛的应用。

1 阿基米德螺旋面的形成和特点 一条与轴线 $O-O$ 相交成 α 角的直线型母线 OA 作螺旋式运动而形成的表面，叫做阿基米德螺旋面。

阿基米德螺旋面在轴向剖面是一条与轴线成某一斜角的直线，在垂直于螺旋线切线的剖面得到的是—条曲线，而在垂直于轴线的剖面 $E-E$ 得到的是一条阿基米德螺旋线。

为了区别正弦曲线圆柱凸轮(也叫正弦曲线鼓形凸轮)，因此

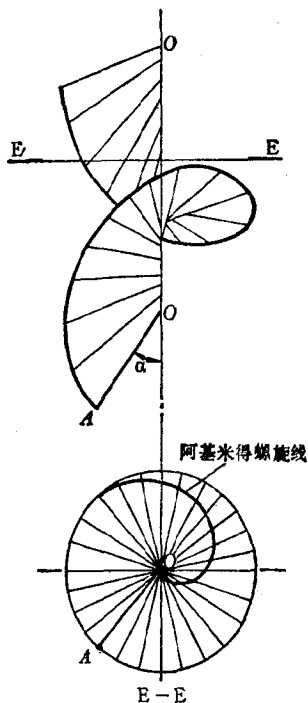


图1 螺旋面形成原理图

在这节中把这种圆柱螺旋面凸轮叫做阿基米德螺旋面凸轮。圆柱凸轮有两种：端面凸轮及螺旋槽凸轮，其螺旋面都属于阿基米德型凸轮。

当凸轮每转过一个单位角度时，凸轮曲面升高一个相等的高度。由于阿基米德螺旋面具有这样一个特点，因此应用这样圆柱凸轮可使从动件获得匀速直线运动。

2 导程的计算 铣削凸轮时，首先必须知道凸轮曲线的导程，再根据导程计算出分度头的挂轮，然后方可进行加工。因此不管所加工零件图纸所表示的凸轮曲线占圆周多大角度，是 30° ，还是半周，或整周乃至几周，都得计算曲线的导程。

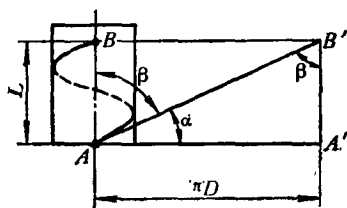


图2 导程和螺旋角

一、导程和螺旋角

圆柱螺旋面凸轮的导程是指在圆柱体母线上一点A（见图2）沿圆柱体螺旋式地上升，转过一周（即 360° ）到达B点所上升的高度AB，叫做圆柱螺旋面凸轮的导程。通常用L表示。

从A点所作的螺旋线的切线AB'与圆柱体中心线之间的夹角 β 叫螺旋角（见图2）。而螺旋线的切线AB'与圆周长展开边（ πD ）之间的夹角叫做螺旋升角，用 α 来表示。

二、导程的计算方法 计算圆柱凸轮导程的方法较多，如比例法和用螺旋角计算法。而用螺旋角计算导程的方法又可分为：一般计算法、速

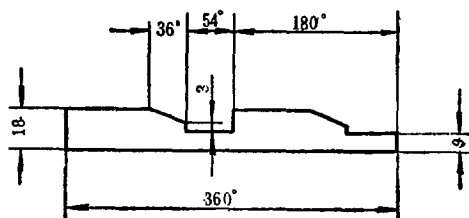


图3 固定凸爪上的螺旋面展开图

算法及作图法等。在生产实践中，究竟应用哪一种方法，可根据零件图纸给定的条件来确定。

(1) 端面凸轮导程的计算法 图3是一台半自动六角车床上的一个夹紧凸轮——“固定凸爪”上的螺旋面展开图。凸轮螺旋面在 36° 范围内升高量为 $H = 18 - (9 + 3) = 6$ ，而导程是指螺旋面在 360° 范围内总的升高量。因此可以用比例法列出下式：

$$\frac{36^\circ}{6} = \frac{360^\circ}{L}$$

$$\therefore L = \frac{360^\circ \times 6}{36^\circ} = 60 \text{毫米}$$

把上式写成一般通用的公式则为：

$$L = \frac{360^\circ H}{\theta^\circ}$$

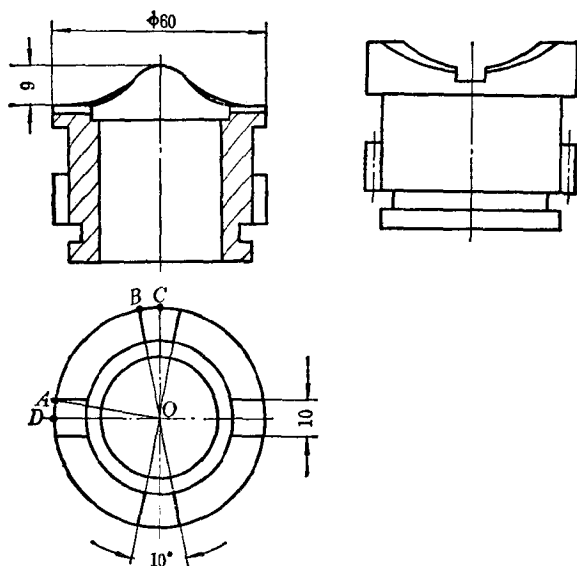


图4 接合器端面上的螺旋面

式中 θ° ——凸轮曲线占的角度；
 H ——凸轮曲线在 θ° 范围内的升高量；
 L ——凸轮的导程。

现在举例说明端面凸轮导程的具体计算方法。图4为一个车床走刀箱中的接合器。在端面上有四个螺旋面，两个右旋和两个左旋，其导程大小相等。

例 螺旋面升高量为9毫米，相邻螺旋面与端面交线之间的夹角为 10° ，求导程。

解 $\angle AOB = 90^\circ - (\angle BOC + \angle AOD)$

$\angle BOC = 5^\circ$

在 $\triangle AOD$ 中， $\sin \angle AOD = \frac{AD}{AO} = \frac{5}{30} = 0.1666$

$\therefore \angle AOD = 9^\circ 36'$

$\therefore \angle AOB = 90^\circ - (5^\circ + 9^\circ 36') = 75^\circ 24'$

$L = \frac{360^\circ H}{\theta^\circ} = \frac{360^\circ \times 9}{75^\circ 24'} = 42.7 \text{ 毫米}$

(2) 螺旋槽凸轮导程的计算法 计算螺旋槽凸轮导程时，大多数用螺旋角来计算。在实际工作中根据具体情况，可分别用

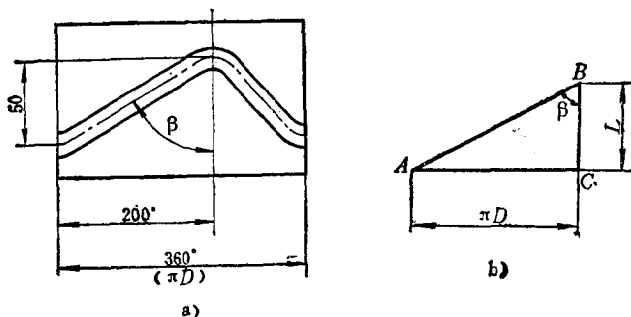


图5 展开原理图

“一般算法”、“速算法”及“作图法”等。

(一) 一般算法：当设计图纸直接给出螺旋槽的螺旋角 β 值时 (图5 a)，为了计算螺旋槽导程，可把凸轮展开成平面图。在图5 b 中：

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{BC}{\pi D} = \frac{L}{\pi D}$$

$$\therefore L = \pi D \operatorname{ctg} \beta$$

(二) 速算法：速算法计算导程是一种直接查螺旋导程计算表来计算导程的方法。速算法计算导程，不只对铣削螺旋面凸轮，而且对铣削钻头沟、螺旋齿铰刀、蜗轮滚刀等都很适用。

螺旋导程计算表 (见表1)。表上列出常用的螺旋角值： 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° 、 35° 、 40° 、 45° 。工件直径从 $D = 1$ 到 $D = 10$ 毫米。对于工件直径大于10毫米以上的螺旋导程，可用“错位加法”来计算。

例 凸轮直径为 $D = 50$ 毫米，螺旋角 $\beta = 15^\circ$ ，求导程大小？

解 表中只有 $D = 5$ ，可以在表1中按 $D = 5$ 查到的导程值扩大10倍。

$$\because D = 5 \quad \beta = 15^\circ \quad L_1 = 58.6225 \text{ 毫米}$$

$$\therefore D = 50 \quad \beta = 15^\circ \quad L_2 = 10L_1 = 586.225 \text{ 毫米}$$

例 凸轮直径 $D = 40.56$ 毫米， $\beta = 15^\circ$ ，求导程大小？

解 $D = 40.56$ ，可分别按表1查出 $D = 40$ 、 0.5 、 0.06 的导程值。然后用“错位加法”算出导程：

40	468.980
0.5	5.862
+ 0.06	0.703
<hr/>	
40.56	475.545

所以 $D = 40.56$ ， $\beta = 15^\circ$ ，导程 $L = 475.545$ 毫米。

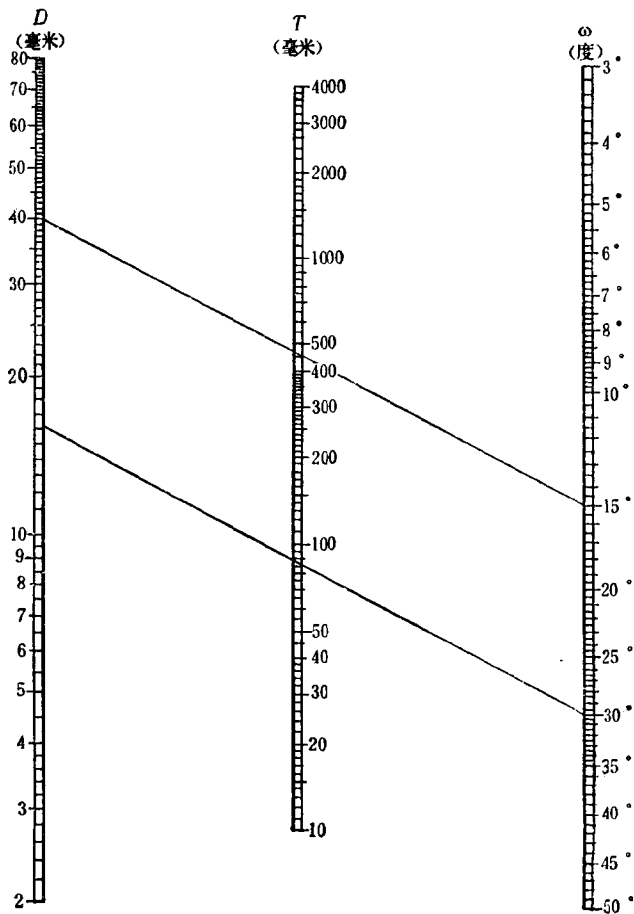
表1 螺旋导程计算表

D(毫米)	β(度)									
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	
1	35.9084	17.8168	11.7245	8.6315	6.7372	5.4414	4.4865	3.7440	3.1416	
2	71.8168	35.6336	23.4490	17.2629	13.4743	10.8828	8.9730	7.4880	6.2832	
3	107.7252	53.4504	35.1735	25.8944	20.2115	16.3242	13.4595	11.2320	9.4248	
4	143.6336	71.2672	46.8980	34.5258	26.9486	21.7856	17.9460	14.9760	12.5664	
5	179.5420	89.0840	58.6225	43.1573	33.6858	27.2070	22.4325	18.7200	15.7080	
6	215.4504	106.9008	70.3470	51.7887	40.4230	32.6484	26.9190	22.4640	18.8495	
7	251.3588	124.7176	82.0715	60.4202	47.1601	38.0898	31.4055	26.2080	21.9911	
8	287.2672	142.5344	93.7960	69.0516	53.8973	43.5312	35.8920	29.9520	25.1327	
9	323.1756	160.3512	105.5205	77.8831	60.6344	48.9726	40.3785	33.6960	28.2743	
10	359.0840	178.1684	117.2450	86.3145	67.3716	54.4140	44.8651	37.4493	31.4159	

对于一些凸轮导程值要求不严格的，可以按表 2 ——螺旋导程计算图表直接查出。表 2 还可以做为应用速算法后的校验之用。

(三) 作图法：在实际生产中，许多设计图纸不给螺旋槽的

表 2 螺旋导程计算图表



螺旋角大小，而是给的螺旋槽所占的圆周角及升高量，如图 6 所示那样。

对于螺旋槽凸轮，设计上考虑加工上的方便和凸轮工作时平稳，在螺旋槽的起、止两端设计成圆弧为过渡曲线。

以图 6 中“快退”部分曲线说明用“作图法”计算导程的方法。

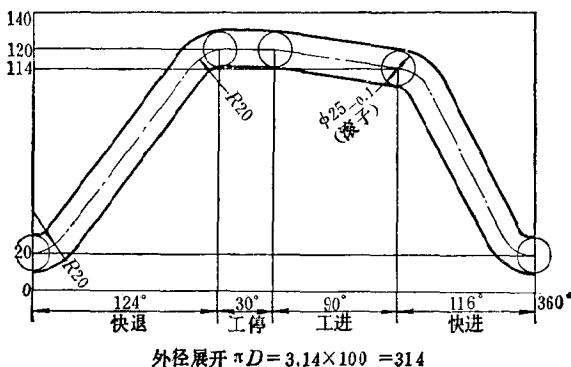


图 6 机械动力头走刀凸轮展开图

图 6 中“快退”部分的螺旋槽在圆周上占 124° ，升高量 $H = 120 - 20 = 100$ 毫米，由于曲线两端各有一个圆弧 $R20$ ，因此，实际上螺旋曲线升高量并不是占 124° ，其中包括两端的圆弧部分。因此在计算螺旋槽导程时，如用比例法计算将产生很大的误差。对于这类螺旋槽凸轮，计算导程时可用“作图法”，其方法如下：用放大比例 $3:1$ 或 $5:1$ 将凸轮展开成平面图，然后用量角器测量出螺旋线的螺旋角 β 值。知道了螺旋槽的实际螺旋角后，就可以根据公式： $L = \pi D \cdot \text{ctg} \beta$ 将导程计算出来。

3 挂轮的计算与安装方法 铣削螺旋面凸轮时，要求工件一面绕自身轴线转动，一面沿轴线做直线运动，这两个运动的复合

即可形成螺旋运动。

为了实现这个螺旋运动，可在机床纵向丝杠与分度头挂轮轴之间搭配两组挂轮。这样当丝杠转动时，工作作纵向移动，使工件获得直线运动。另一方面当丝杠转动经挂轮传动，使分度头转动，因此又使工件获得旋转运动，这两个运动的复合，使得铣刀在圆柱上铣出螺旋槽来。

一、挂轮的计算 铣削圆柱凸轮上的螺旋面，利用铣床分度头与铣床纵向丝杠挂轮来加工。从丝杠的转动经挂轮的传动，使分度头内的两对齿轮、一副蜗杆蜗轮得到转动，从而使分度头上的工件获得转动。在这套传动系统中，挂轮 a 、 b 、 c 、 d 各齿轮的齿数是根据凸轮曲线导程不同而选择不同的挂轮组，从而达到加工出设计图纸要求的螺旋面来。为了掌握挂轮计算方法，首先必须掌握齿轮、蜗轮传动的基本原理，以便计算各种齿轮、蜗轮传动系统的总传动比，从而计算出分度头挂轮组的齿数。

(1) 齿轮传动比的计算方法

(一) 单式轮系传动比的计算方法，在一个平面内互相啮合的齿轮传动叫单式轮系。在齿轮传动系统中，从主动轮把动力传到另一个被动轮，使这个部件实现要求的运动。最简单的齿轮传动链是由两个齿轮组成的。如图 7， Z_1 是主动轮， Z_2 是被动轮。如齿轮 1 的齿数 $Z_1 = 20$ ，齿轮 2 的齿数 $Z_2 = 40$ ，当主动轮 Z_1 转过一个牙齿时，推动被动轮 2 也转过一个牙齿。所以当主动轮转一圈，即 20 个牙时，被动轮也转过 20 个牙，即转过半圈。如以 n_1 、 n_2 分别

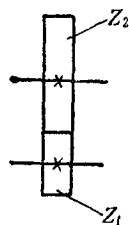


图 7 最简单的齿轮传动

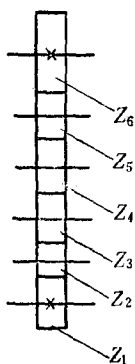


图 8 单式轮系传动图

表示齿轮 1 和齿轮 2 的转速，便得：

$$n_2 = \frac{1}{2} n_1$$

同理：如 $Z_1 = 20$ ， $Z_2 = 60$ ，则 $Z_2 = 3Z_1$ 。当齿轮 1 转过一圈时，齿轮 2 就只转过 $\frac{1}{3}$ 圈，也就是 $n_2 = \frac{1}{3} n_1$ 。

由此可见，设用 i 表示传动比，当两齿轮啮合传动时，齿轮的齿数比与转速比可用下式表示：

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

在单式轮系中，如有两对或两对以上的齿轮传动，如图 8 所示的三对齿轮传动，则传动比为：

$$i_{6-1} = \frac{n_6}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_2}{Z_3} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times \frac{Z_4}{Z_5} \times \frac{Z_5}{Z_6}$$

$$\therefore i_{6-1} = \frac{n_6}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_6}$$

从这个例子可以看出：在单式轮系中，齿轮传动比只由首尾两个齿轮的齿数来决定，而中间齿轮的齿数多少，对传动比大小无影响，它们只改变齿轮的转动方向。如果在中间加奇数个中间轮（又叫做介轮），那末被动轮跟主动轮转动的方向相同；如果加偶数个中间轮，那末被动轮跟主动轮转动的方向相反。

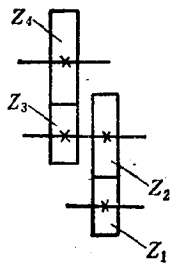


图 9 复式轮系传动图

(二) 复式轮系传动比的计算方法，如果有两对以上的齿轮传动，它们并不在同一个平面内互相啮合，这种传动叫做复式轮系传动。

铣床分度头利用挂轮传动来加工凸轮就属于这种轮系传动。

图 9 由两个单式轮系组成的复式轮系，它们的传动比分别为：

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2}, \quad \frac{n_4}{n_3} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

因为齿轮 1 的转动是通过齿轮 2 和 3 的转动而使齿轮 4 转动的，而齿轮 2 与 3 又都装在同一根轴上，因此 $n_2 = n_3$ ，所以：

$$i = \frac{n_4}{n_1} = \frac{n_4}{n_1} \times \frac{n_2}{n_3} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{n_4}{n_3} = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4}$$

从这个例子说明：在复式轮系中，各齿轮传动的总传动比等于各对齿轮传动比的连乘积。而它们的转动方向可根据啮合关系由传动系统图上判别。

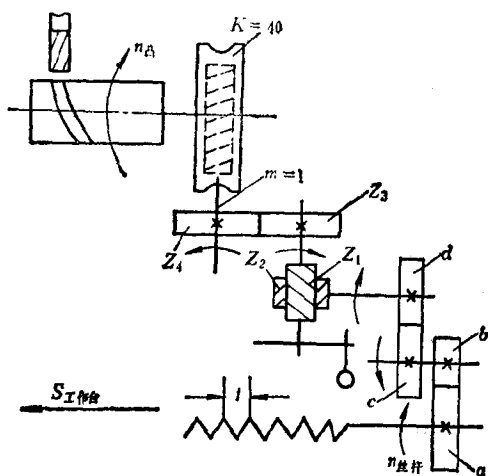


图10 分度头与工作台丝杠之间的传动系统图

保证产生下述运动：分度头转一圈（即工件转一圈），下面的纵向工作台必须移动一个规定的导程长度。

当工作台丝杠转动，使工作台移动一个导程长度时，工作台丝杠应转动 $\frac{L}{t}$ 圈，即分度头转 1 圈，工作台丝杠转 $\frac{L}{t}$ 圈。图10分度头与工作台丝杠之间的传动系统为复式轮系。根据传动原理，其传动比为：

$$i = \frac{\text{凸轮转的圈数}}{\text{丝杠转的圈数}} = \frac{1}{L/t} = \frac{a}{b} \times \frac{c}{d} \times \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} \times \frac{m}{K}$$

$$\therefore i = \frac{a \times c}{b \times d} = \frac{K \times t}{L \times m}$$

式中 t ——铣床工作台丝杠螺距，一般 $t = 6$ ；

K ——分度头内的蜗轮齿数，一般 $K = 40$ ；

m ——分度头内的蜗杆，一般为单头 $m = 1$ 。

$$\text{同时, } \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = 1$$

$$\therefore \frac{a \times c}{b \times d} = \frac{240}{L}$$

(3) 挂轮齿数的计算方法 一个凸轮如果导程为已知，根据挂轮计算公式 $\frac{a \times c}{b \times d} = \frac{240}{L}$ ，就可以把挂轮中 a 、 b 、 c 、 d 各齿轮

的齿数计算出来。在实际计算中可发现，根据公式 $\frac{a \times c}{b \times d} = \frac{240}{L}$ ，由于凸轮的导程有的为整数，有的可能是小数，有的可以同分子常数——240相约分，有的就不可约分。对于上述各种不同类型，可以根据实际情况分别采用“因式分解法”、“查表法”、“比例法”以及利用“对数计算法”等来计算挂轮的齿数。

因式分解法 如果挂轮的传动比是一个容易分解的分数，就可以把传动比的分子、分母分解成几个因子的乘积。并在数值上再做些适当的变换，使这些乘数值相当一套挂轮的标准齿数。

$$\text{例如: } \frac{a \times c}{b \times d} = \frac{240}{L} = \frac{40 \times 6}{120} = \frac{40 \times 6}{40 \times 3} = \frac{40 \times 60}{40 \times 30}$$

$$\therefore a = 40, b = 40, c = 60, d = 30$$

这种方法既准确又简单，是一种常用的计算方法。它是用一个合数可以分解成几个质因数的连乘积的原理。为了计算简便，可查 1—1000 因数表(见附表 1)。

在铣削凸轮时，选配的分度头挂轮经常用双列挂轮，因此需

要两个因数的连乘积。如何把这两个因数选择得适当呢？要掌握下面三个要点：

第一，两个因数的大小要尽量接近，不要大小悬殊，以免大的乘上倍数之后齿数过大。要小于或等于铣床常备挂轮齿数最大齿数 100。

例如：96 一般分解成 12×8 ，而不分解成 48×2 。否则：

$$\frac{a \times c}{b \times d} = \frac{240}{96} = \frac{20 \times 12}{48 \times 2} = \frac{20 \times 3 \times 12 \times 3}{48 \times 3 \times 2 \times 3} = \frac{60 \times 36}{144 \times 6}$$

这样 $b = 144$ 齿数太大，超过了 100 个齿，而 $d = 6$ 齿数又太少，这样不但没有齿轮，而且也无法安装到挂轮架上实现啮合。如果分解成 12×8 ，则

$$\frac{a \times c}{b \times d} = \frac{240}{96} = \frac{20 \times 12}{12 \times 8} = \frac{20 \times 5 \times 12 \times 5}{12 \times 5 \times 8 \times 5} = \frac{100 \times 60}{60 \times 40}$$

就很容易选配挂轮了。

第二，两个因子的大小要上下互相对应。如果上面分解成一大一小，下面的也要相应的分解成一大一小，以便大的与大的同乘一个倍数，小的与小的同乘一个倍数，计算起来就比较方便。

$$\text{例如：} \frac{a \times c}{b \times d} = \frac{240}{225} = \frac{40 \times 6}{45 \times 5} = \frac{40 \times 6 \times 10}{45 \times 5 \times 10} = \frac{40 \times 60}{45 \times 50}$$

第三，要结合机床现有的挂轮齿数来分解，使因数直接等于挂轮现有的齿数。或扩大一定整数倍后，可得到机床常备挂轮齿数。

$$\text{例如：} \frac{a \times c}{b \times d} = \frac{240}{128} = \frac{80 \times 3}{16 \times 8} = \frac{80 \times 3 \times 25}{16 \times 5 \times 8 \times 5} = \frac{80 \times 75}{80 \times 40}$$

其中 $c = 75$ 不是机床常备挂轮齿数，如应用得现制造。如果 $\frac{a \times c}{b \times d}$

$$= \frac{240}{128} = \frac{20 \times 12}{16 \times 8} = \frac{20 \times 5 \times 12 \times 5}{16 \times 5 \times 8 \times 5} = \frac{100 \times 60}{80 \times 40}$$

这样就可以直接选用现有常备的挂轮齿数，而不需要现制造了。

国产铣床分度头常备挂轮齿数为：25、30、35、40、50、55、60、70、80、90、100。

查表法：根据凸轮的导程，直接查《导程——挂轮表》查出一组挂轮数值。这是一种最简单又简便的方法。

比值法：根据传动比 $i = \frac{K \times t}{L}$ 计算出比值。然后可查《通用比值挂轮表》(国防工业出版社1973年版)

利用对数算法：对于挂轮传动比中各因子位数多，或计算出的导程带小数值，计算起来很繁琐。如果利用对数计算，可把繁复的乘除法简化成加减法来运算，从而可以大大简化运算过程。

取 i 的对数，根据对数性质：

$$\lg i = \lg \frac{K \times t}{L} = \lg Kt - \lg L$$

例 $i = \frac{K \times t}{L} = \frac{40 \times 6}{125.7}$ ，求挂轮的齿数。

解 取对数 $\lg i = \lg \frac{40 \times 6}{125.7} = \lg 240 - \lg 125.7$

查《七位对数表》得到：

$$\lg 240 = 2.3802112$$

$$\lg 125.7 = 2.0993669$$

$$\lg i = 2.3802112 - 2.0993669 = 0.2808443$$

查《齿数比七位对数表》得到：

$$i = \frac{126}{66} = \frac{3 \times 42}{3 \times 22} = \frac{2 \times 3 \times 12 \times 42}{2 \times 3 \times 12 \times 22} = \frac{72 \times 42}{36 \times 44}$$

即各挂轮齿数， $a = 72$ ， $b = 36$ ， $c = 42$ ， $d = 44$

(4) 挂轮啮合可能性的检验 在挂轮齿数计算出之后，为注：《七位对数表》《齿数比七位对数表》可查《利用对数计算机床交换齿轮》一书(上海人民出版社1970年12月版)