

国防工业技术丛刊

65

钢珠式精密蜗轮副

方自达 朱民生 合編

(內部資料 注意保存)



國防工業出版社

T9

鋼珠式精密蝸輪副

方自達 朱民生 合編

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業執照出字第074號

國防工業出版社印刷廠印裝 內部發行

850×1168 $1/32$ 印張 $11/16$ 18 千字

1965年12月第一版 1965年12月第一次印刷 印數：0,001—3,000冊

統一書號：N15034(活)-65 定價：(科六) 0.14元



一、鋼珠式精密蝸輪副的特点与应用范围

1 特 点

鋼珠式蝸輪与蝸杆系傳动原件，蝸輪是由蝸輪盘和鋼珠（輪齿）等零件装配而成的。蝸杆在外形上与一般圓弧面蝸杆較相似，所不同的是在其法向截面上具有圓弧綫齿廓，故称为鋼珠圓弧面蝸杆。用它与鋼珠式蝸輪相嚙合进行运动的傳遞。

这种蝸輪副与一般蝸輪副相比較，具有如下优点：

1) 精度高 根据对已制成的鋼珠式蝸輪进行测量的結果：蝸輪直徑 D_0 在 200~320 毫米范圍內时，鋼珠（輪齿）直徑 $d = 12$ 毫米，其运动誤差为 15 秒，周期誤差为 5 秒。蝸輪直徑 D_0 在 120~200 毫米范圍內时，鋼珠直徑 $d = 10$ 毫米，其运动誤差为 14 秒，周期誤差为 4 秒。接近于 (JB) 162-60 所規定的 4 級~3 級精度。

2) 重迭系数大，工作平稳 蝸輪的直徑 D_0 在 120~400 毫米范圍內时，嚙合中同时参加工作的輪齿一般为 5~8 个齿，約占总齿数的 $\frac{1}{10}$ 左右。而普通蝸輪同时参加工作的輪齿約为 1~3 个齿。

由于重迭系数大，精度高，这就保证了蝸輪副工作时具有良好的平稳性。

3) 制造容易，生产周期短 蝸輪組合件的制造、装配与調校均比較簡單，不需要特殊的設備和复杂的工具。各个組合件所用的材料也是一般的鋼材，用作輪齿的鋼珠可以外购，所以生产周期短。一般制造一付鋼珠式精密蝸輪副所需的时间相当于制造一付中等复杂工具所需的时间。

鋼珠式精密蝸輪副的最大缺点是徑向推力大。当輸出功率大和蝸輪軸剛度不足时，会造成蝸輪主軸的弯曲变形，从而破坏了

原有的嚙合性能。

2 应用范围

鋼珠式精密蝸輪副与一般普通精密蝸輪副的功用相同，可以在傳动比和瞬时傳动比变化要求严格的情况下作为运动的傳遞。例如用于作为滾齿机、磨齿机、刻度机和座标鏜床等精密机床上的分度蝸輪副，亦可用作其他精密分度机构（如精密分度头、分度夹具上的傳动部分）。

如果将精密蝸輪副分为工作精密蝸輪副和母蝸輪副（不包括动力蝸輪副）两种，那么上述精密机床上的分度蝸輪副，則称它为工作精密蝸輪副。这种蝸輪是在滾齿机上或与滾齿原理完全相同的机构上滾切的。为使工作精密蝸輪具有一定的精度，制造这种蝸輪所用的滾齿机或滾齿机构的分度蝸輪，必須具有更高的精度，因为在普通的滾齿机上滾切的蝸輪，其精度一般要比該滾齿机本身分度蝸輪的精度低。

用来加工工作精密蝸輪的滾齿机或滾齿机构上的分度蝸輪副，称它为母蝸輪副，而鋼珠式精密蝸輪副即为最合适的母蝸輪副。

3 应用实例

图 1、图 2 为安装在普通滾齿机 Y-38A 机床上，利用原机床的动力驅動加工 450 和 472 座标鏜床分度蝸輪的一种机构。

图 3 为上述机构的主軸部件。套管 2 及軸套 3 装在主軸 1 上，并用螺母 4 压紧，与左侧的鋼珠式分度蝸輪 5 組成主軸部件的迴轉体。前后主軸軸承 6、7 鑲入支座 8 的配合孔中。支座 8 直接装在机床工作台上。主軸 1 的右端制成花盘式的台面結構，用于夹压蝸輪。

图 4 为上述机构的俯視傳动示意图。加工时，动力由傳动軸 I 經過原机床刀架中的一对圓錐齒輪副和一对圓柱齒輪副傳至齒

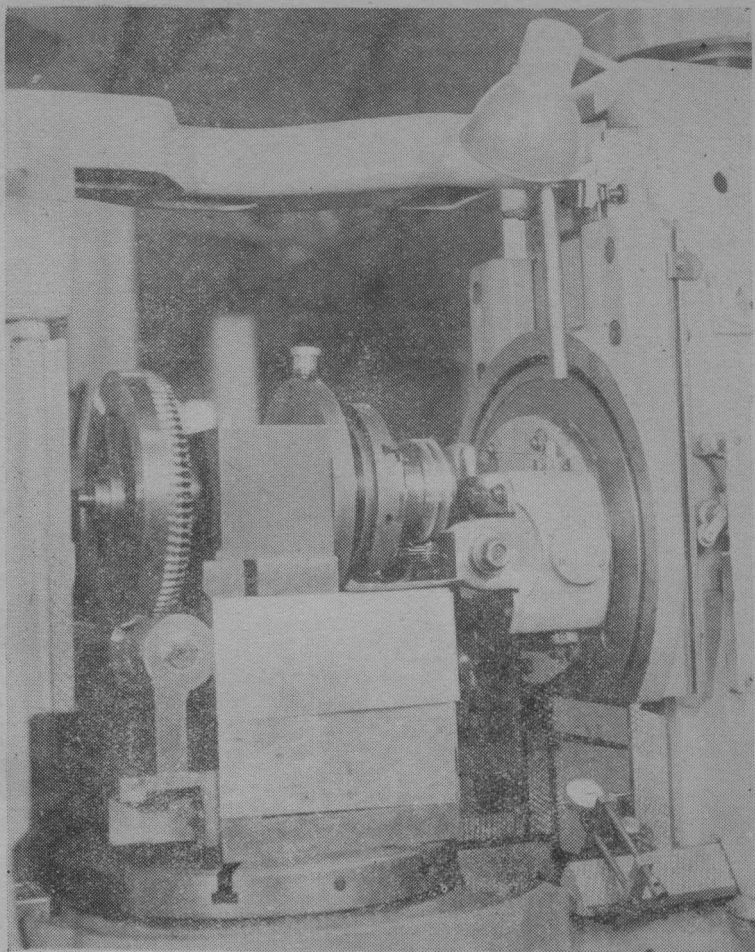


图1 正视图

輪 2、3、4，再經過双万向联轴节带动鋼珠式分度蝸輪副，即帶動主軸部件 10。齒輪 2 安裝在机床刀杆主軸 5 的端頭，它與中間齒輪 3 相嚙合，中間齒輪 3 與齒輪 4 相嚙合，它們的輪軸由直角支架 6 支撐，支角支架用螺釘固緊在原机床刀架壳体上。加工中借助於安裝在床身上的兩個千分表（見圖 1），控制裝在刀杆 7

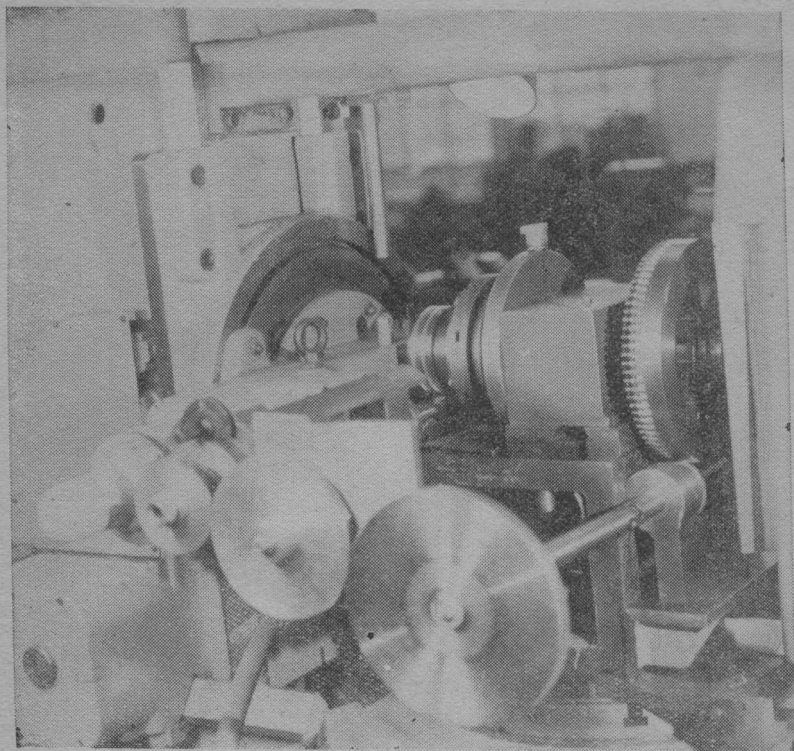


图2 后视图

上的滚刀9相对于轮坯8轴向与径向的进刀位置。

这种机构的优点：

- 1) 分度传动链很短，而又以钢珠式精密蜗轮副作为机构的分度蜗轮副，故具有较高的分度传动精度。
- 2) 蜗轮加工精度不受原机床精度的限制。
- 3) 结构简单，制造容易。
- 4) 齿轮2、4的传动比，可以对不同齿数与模数的蜗轮进行加工，即具有一定范围的通用性。

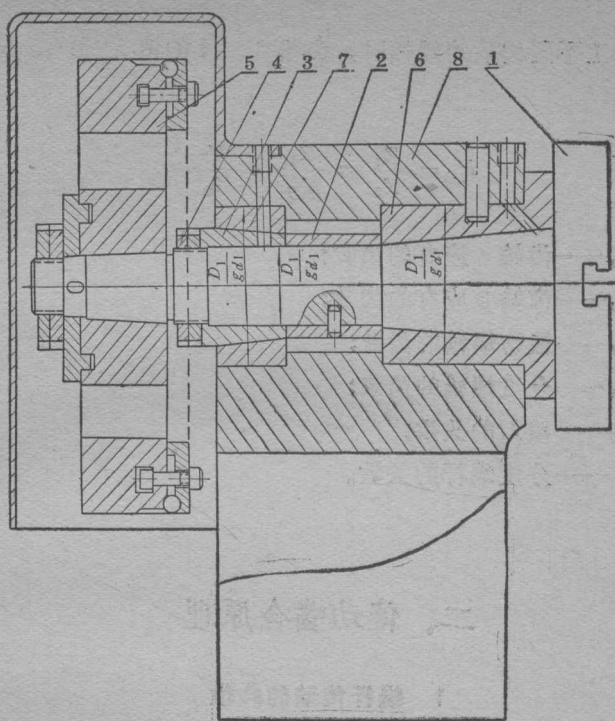


图 3

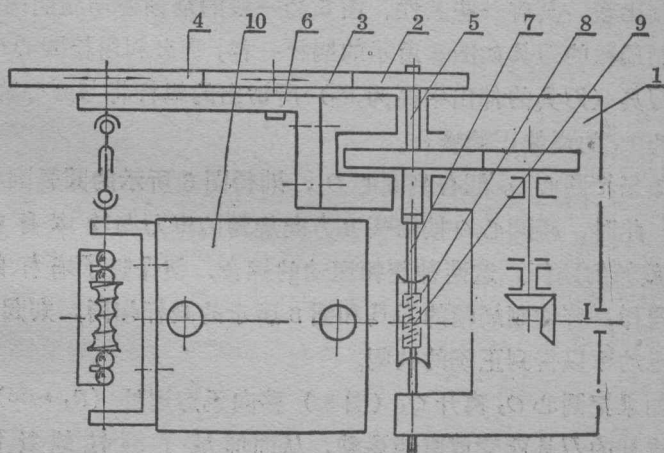


图 4

对加工不同齿数的蜗轮时，齿轮 2、4 的传动比 $i_{2,4}$ 应按下式计算：

$$i_{2,4} = \frac{Z_4}{Z_2} = \frac{Z_1}{K_{\text{刀}}} \cdot \frac{K}{Z_{\text{蜗}}}$$

式中 Z_4 ——齿轮 4 应有的齿数；

Z_2 ——齿轮 2 应有的齿数；

Z_1 ——被切蜗轮的齿数；

$Z_{\text{蜗}}$ ——分度蜗轮的齿数；

$K_{\text{刀}}$ ——滚刀的头数；

K ——分度蜗杆的头数。

二、传动啮合原理

1 蜗杆传动的共性

钢珠式精密蜗轮副是一种新型的传动装置，但与一般圆弧面蜗轮副比较，具有一些共性。图 5 为一般的蜗轮传动简图。如果切制蜗轮的刀具如图 5 所示的蜗杆一样，那么利用绕圆心 O_2 旋转的刀具（刀具的伸出半径为 R_2 ）所切出的蜗杆将与圆心为 O_1 、半径为 R_1 的蜗轮正确啮合。

如果把圆心 O_2 汇合到圆心 O_1 ，则得图 6 所示的圆弧面蜗杆传动。此时，绕圆心 O 按箭头 B 方向旋转的车刀与绕本身轴线 O_1O_1 旋转的蜗杆，这两种旋转运动的综合，便保证了蜗杆的切削。同样，若切制蜗轮的刀具和图 6 所示的蜗杆相同，则圆弧面蜗杆传动可以得到正确的共轭。

如果把圆心 O_2 离开 O_1 （图 5）移向无穷远处（ $R_2 \rightarrow \infty$ ），则切制蜗杆的刀具就变成直线运动，从而形成了圆柱蜗杆传动（图 7）。

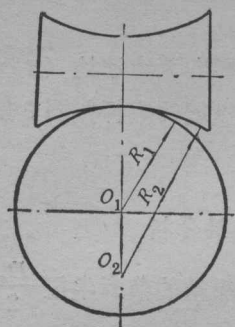


图 5

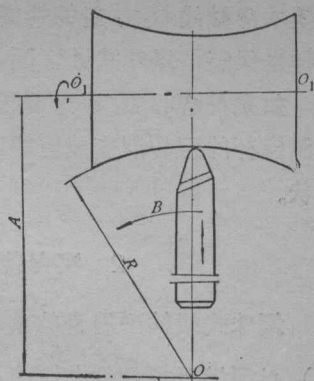


图 6

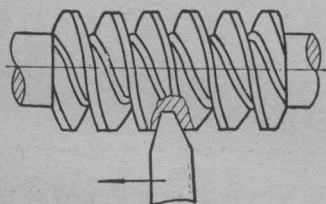


图 7

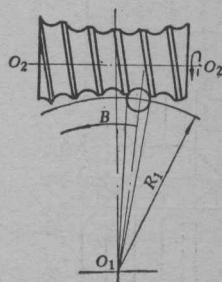


图 8

由此可見，圓弧面蝸杆與圓柱蝸杆傳動乃是蝸杆傳動的兩種特殊情況。

鋼珠圓弧面蝸杆在外形上與一般圓弧面蝸杆較相似，在製造方法上近乎一樣。所不同的是一般圓弧面蝸杆的法向截形為近似漸開綫形的，而鋼珠圓弧面蝸杆的法向截形為圓弧綫形的。

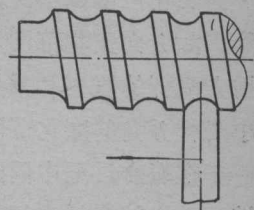


图 9

當伸出半徑為 R_1 繞圓心 O_1 按箭頭 B 方向旋轉的圓弧刀具(刀齒圓弧切削刃直徑 d 等於蝸輪齒的直徑)

与繞本身軸綫 O_2O_2 旋轉的蝸杆(图 8), 这两种旋轉运动的綜合, 同样也保證了鋼珠式圓弧面蝸杆的切削。

如果把圓心 O_1 离开蝸杆軸綫 O_2O_2 移向无穷远处 ($R_1 \rightarrow \infty$), 切制蝸杆的刀具則变成直綫运动, 被切制成的蝸杆如图 9 所示的形状。

2 嚙合传动与齿的接触分析

鋼珠式蝸輪副嚙合的基本条件是: 蝸輪的节圓半徑 $\frac{D_g}{2}$ (图 14) 必須等于蝸杆的节圓半徑 R_1 (图 18), 鋼珠半徑必須等于蝸杆法向截面上圓弧槽半徑 r , 分度圓上的齿距必須相等 ($t = t_1$) (图 14)。

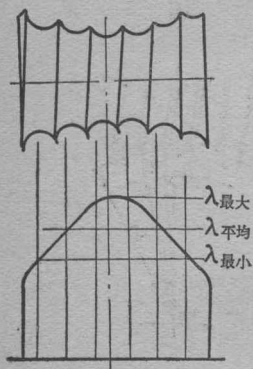


图 10

鋼珠圓弧面蝸杆的螺旋槽升角 λ 是随着直徑的改变而改变的, 蝸杆中間頸部 λ 值最大, 向两端随着直徑的增大, λ 值也逐漸减小 (图 10)。但在切制蝸杆螺旋圓弧槽形时, 切削刀具傾角 λ (图 19) 在加工过程中是固定不变的, 而 λ 值只能根据蝸杆螺旋槽升角的平均值来确定 (见图 10), 即 $\lambda_{\text{平均}} = \frac{\lambda_{\text{最大}} + \lambda_{\text{最小}}}{2}$ 。

因此蝸杆 λ 角的变化会引起螺旋圓弧槽在加工中的工艺誤差。当 λ 角变化范围很小时, 工艺上可以通过跑合或鋼珠挤压加工来消除。如 λ 角变化范围过大时, 設計上应設法减少蝸杆的头数, 或增大蝸杆的直徑和减少嚙合中同时参加工作的齿数, 这样可以縮小蝸杆 λ 角的变化范围。

在嚙合过程中同时参加工作的輪齿接触綫长度几乎接近相等, 每个輪齿都在蝸杆螺旋圓弧槽的法向截面內成綫性接触。由于 λ 角的存在, 輪齿上的接触綫与垂直蝸輪軸中央截面亦形成 λ 傾角。随着蝸杆 λ 角变化, 在輪齿表面上形成了一个扇形接触区

(图11 a)。经过跑合之后形成了图11 b 所示的接触弧面。

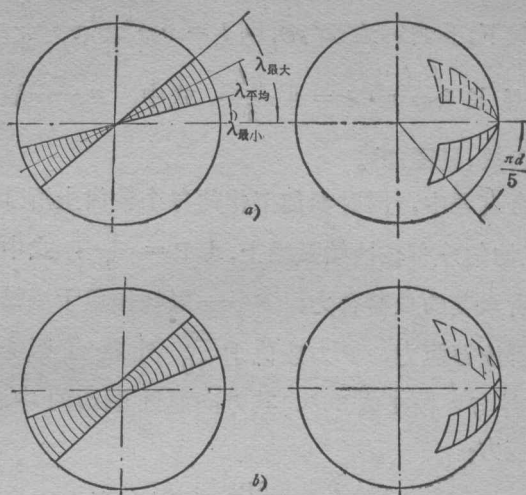


图 11

鋼珠式蝸輪副这种接触特性，将有利于接触表面間潤滑油膜的形成和改善傳动中两元件接触面的滑动摩擦性能。因此减少了嚙合中的能量損失，并提高了傳动承載能力。

3 受 力 分 析

由上面分析可知，蝸輪輪齒在嚙合过程中接触区始終是輪齒表面上一段圓弧綫，且随着 λ 角的变化，弧綫位置也在不断的变化。由于 λ 角一般变化范围很小，所以在受力分析时，可以将接触弧綫的位置看成是固定不变的。

每个輪齒的极限接触弧长应为 $\frac{\pi d}{4}$ (d ——鋼珠直徑)，这段弧对应角則为 90° 。实际上为了使蝸杆齒頂具有一定的强度，蝸杆齒頂应留有一定的寬度。当采用鋼珠直徑 $d = 8 \sim 22$ 毫米时，蝸杆齒頂寬 $B = 0.5 \sim 1$ 毫米。則每个輪齒接触弧长 l 所对应的角 β 为

$$\beta = 90^\circ - \cos^{-1} \frac{d - B}{d}$$

在正常情况下, β 角约为 72° , 所以 $l = \beta \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \frac{d}{2} = \frac{\pi d}{5}$ (图11)。

接触弧的总长 $L = n \cdot l = n \cdot \frac{\pi d}{5}$, 式中 n —— 啮合中同时参加工作的齿数 (见图13)。

在啮合过程中, 同时参加工作的每个轮齿上所承受的负荷是相等的, 且均匀分布在接触弧线上, 即 $P = \frac{F}{n}$, 式中 P —— 每个轮齿上所承受的负荷合力; F —— 蜗杆作用于蜗轮上的总合力。如不计摩擦阻力, P 力应位于 $\frac{\pi d}{10}$ 处接触弧线的中点 b (图12), 并与 x 轴交成 36° , 其方向通过轮齿的中心。此时轮齿上的接触应力:

$$\sigma = \frac{P}{l} = \frac{5P}{\pi d} \text{ (公斤/毫米}^2\text{)}。$$

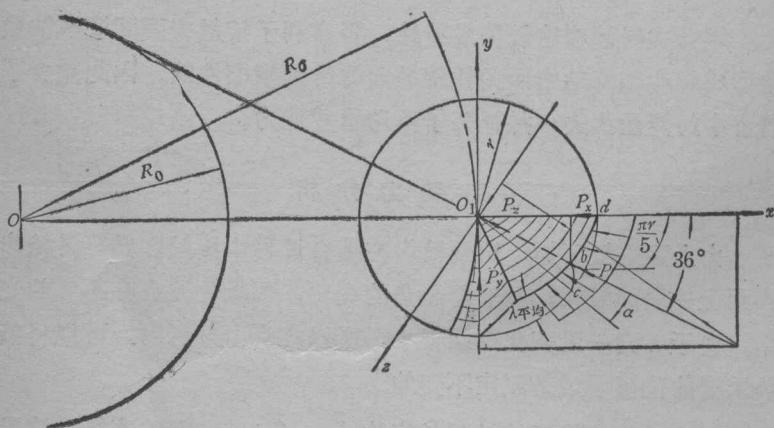


图 12

在图12中选择 O_1 (钢珠中心) 作座标的原点, x 、 y 、 z 分别为蜗轮径向、切向和轴向三个座标轴。并将 P 力平移到原点 O_1 , 则相应各个方向的总分力为

$$P_{nz} = \pm nP \sin \alpha$$

$$P_{nx} = nP \cos 36^\circ$$

$$P_{ny} = \pm nP \sin 36^\circ$$

(式中±号表示蜗杆正反转时，作用于蜗轮上的力，方向相反)。

$$\text{在 } \triangle dbc \text{ 中} \quad \widehat{bc} = \lambda_{\text{平均}} \cdot \widehat{cd} = \lambda_{\text{平均}} \cdot \frac{\pi d}{10}$$

$$\text{在 } \triangle O_1bc \text{ 中} \quad \widehat{bc} = \alpha \cdot \overline{O_1b} = \alpha \cdot \frac{d}{2}$$

所以

$$\alpha = \frac{\pi \lambda_{\text{平均}}}{5}$$

实际上 $\lambda_{\text{平均}}$ 角很小，故 α 和 P_{nz} 很小。这说明蜗轮在啮合中轴向推力较小，在一般情况下，可以忽略不计。

径向分力 P_{nx} 在工作过程中比切向分力 P_{ny} 大。它不仅不作功且要消耗大量的能量。

此外，在蜗轮主轴刚度不足时， P_{nx} 力会导致主轴弯曲变形，影响蜗轮副的啮合性能。所以在设计和改进钢珠式蜗轮副时，必须设法减去 P_{nx} 力所带来的不良影响。

P_{ny} 力是蜗杆作用在蜗轮上的圆周切向分力，它推动蜗轮作有效功，所以这个力愈大愈好。

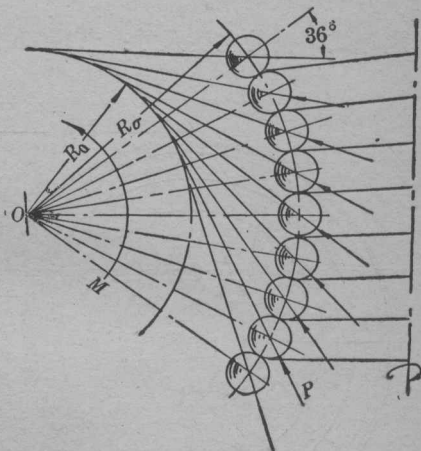


图 13

若蜗轮在工作时加于其上的切削阻力矩为 M (图13)，而外界输入力矩为 M_1 ，则

$$M_1 = n (P \cdot R_0 \sin 36^\circ) = n (P \cdot R_0) = F \cdot R_0$$

式中 R_0 ——蜗轮分度圆半径；

R_0 ——力臂;

$R_0 \text{——} R_0 \sin 36^\circ$ 。

只有当外界的輸入力矩 M_1 大于 M 时 ($M_1 > M$)，才能使蜗輪不断克服切削阻力而作功。

三、結構与制造方法

1 蜗輪副的結構

鋼珠式精密蜗輪副(图14)是由鋼珠式蜗輪与鋼珠圓弧面蜗杆相互嚙合而組成的傳动副。蜗輪是由蜗輪盘 1、輪齿 2 (鋼珠)、压板 3、压板螺釘 4 和螺母 5 等零件組成。将已选好的鋼珠放入蜗輪盘圓弧槽內，然后将每一个鋼珠用一块压板压紧，即形成了如图所示的鋼珠式蜗輪。

鋼珠式蜗輪的主要尺寸：节徑 D_0 。取决于蜗輪副所傳遞 功率

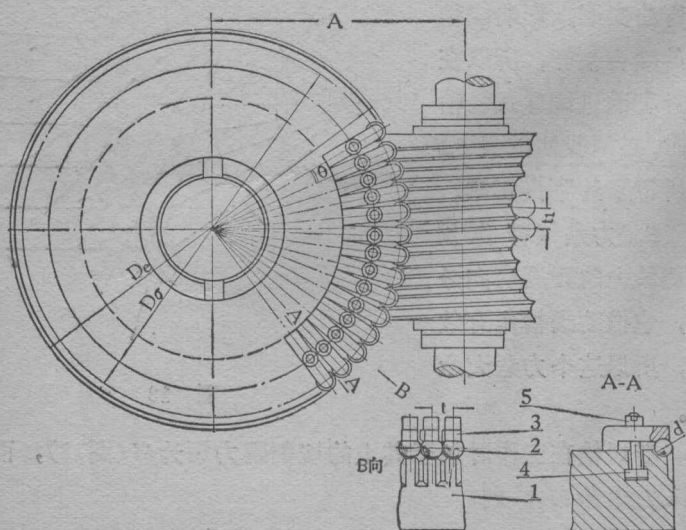


图 14

大小和已定中心距尺寸 A 。 D_σ 值确定之后，鋼珠直徑 d 可参考表 1 选取。如 D_σ 值和蝸輪齒數 Z 均已確定，則 d 值亦可按下式計算：

$$d = D_\sigma \sin \frac{\theta}{2}, \quad \theta = \frac{360^\circ}{Z},$$

式中 θ —— 輪齒（鋼珠）所对应的中心角。

表 1

D_σ (毫米)	d (毫米)	D_σ (毫米)	d (毫米)
100~150	8~10	400~600	16~22
150~250	10~12	600~1000	22~32
250~400	12~16		

鋼珠直徑 d 确定后，压板螺栓直徑可以相应确定，其直徑要小于鋼珠直徑 d ，但压板螺栓又应保証有足够的鎖紧力，而不致在嚙合受力过程中使每个鋼珠有位移的可能，所产生的摩擦阻力应滿足下式：

$$F \leq \frac{1}{2} n f v$$

式中 F —— 蝸杆作用于蝸輪上的总合力（由加工中的最大切削力所引起的）；

n —— 嚙合中同时参加工作的齿数；

i —— 接触面的数目；

f —— 摩擦系数；

v —— 每个螺栓的許用拉力。

而
$$v = [\sigma]_p \frac{\pi d_1^2}{4} \text{ (公斤)}$$

式中 $[\sigma]_p$ —— 許用拉应力 (公斤/毫米²)；

d_1 —— 螺紋的內徑 (毫米)。

2 蝸輪盘的結構与制造方法

蝸輪盘是蝸輪的基体，它是用尺寸变形很小的鋼材或經過良

好的时效处理的中碳优质钢制成的，其精度的高低对蜗轮精度有决定性的意义。因此，在加工中必须严格控制好各部分的几何形状、相对位置与尺寸精度。

图 15 为孔型蜗轮盘的结构图，其主要尺寸取决于已定的蜗轮副中心距 A 、蜗轮齿数 Z 和轮齿（钢珠）直径 d 。蜗轮盘的各部尺寸计算如下：

外径： $D_{e1} = D_o + 0.95 d$

厚度： $H \geq 50$ 毫米

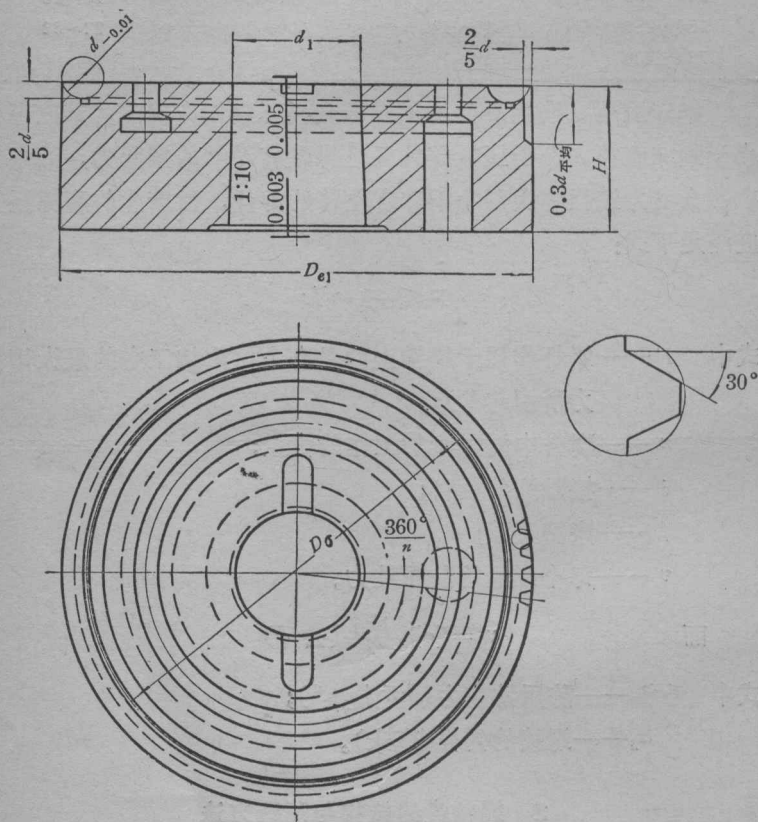


图 15

圓弧槽深度: $-\frac{2}{5}d$

外緣槽形齒高: $-\frac{2}{5}d$

外緣槽形齒長: $-\frac{3}{10}d_p$ (d_p ——蝸杆喉徑)(圖 18)

中心錐孔小端直徑 d_1 值愈大, 蝸輪軸的剛度愈好。所以, 在其他結構尺寸許可的條件下, d_1 應尽可能選得大些。蝸輪盤上圓弧槽形節徑 D_0 的精确度是決定所有鋼珠能否完全放入槽內的唯一尺寸。在加工時若將節徑 D_0 磨大了, 當所有的鋼珠放入槽內後會出現間隙 (圖 16 a); 當把節徑 D_0 磨得過小, 最後一個鋼珠就不能完全放入槽內 (圖 16 b)。因此, 在精磨蝸輪盤上的圓弧槽

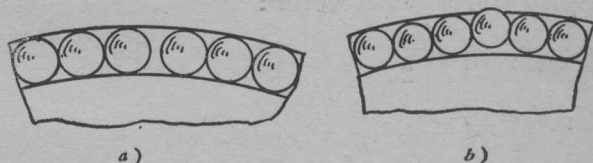


圖 16

形時, 要進行多次試磨, 不能直接磨到規定的槽形深度。為了便於鑒別鋼珠放入槽內後是否有間隙存在, 在磨削加工時, 蝸輪盤軸綫應通過工具使其與垂直方向傾斜一個微小的角度 (圖 17)。

槽形圓弧尺寸是靠修磨圓弧成形砂輪來保證的。砂輪的極限外徑 D_0 應小於計算所得的數值

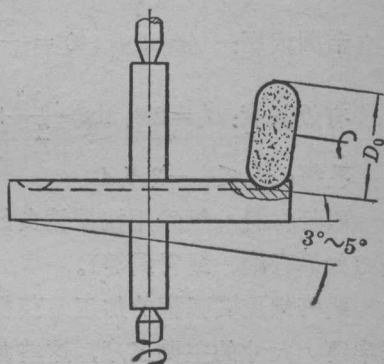


圖 17