

第13章 蜗 杆 传 动

周 远 济

第1节 圆柱蜗杆传动的常用术语及代号

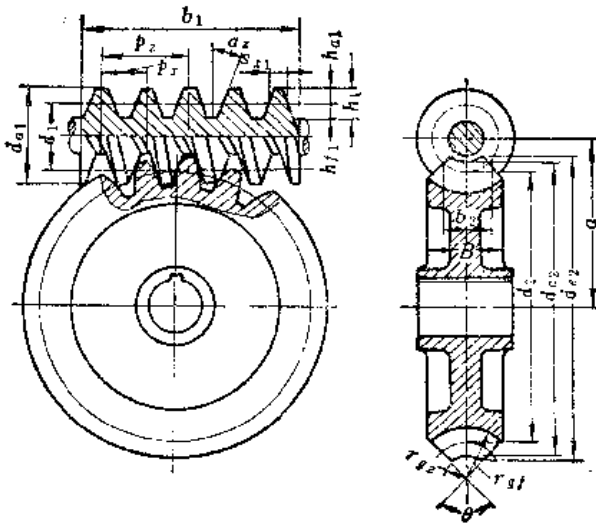


图13-1-1 圆柱蜗杆传动示意

- a —— 标准中心距 (非变位啮合中心距)
- a' —— 变位啮合中心距, (设计中心距)
- a'' —— 测绘中心距
- b_1 —— 蜗杆齿宽
- b_2 —— 蜗轮齿宽
- B —— 蜗轮缘宽
- c —— 顶隙
- c^* —— 顶隙系数
- d_1 —— 蜗杆分度圆直径
- d_1' —— 蜗杆节圆直径
- d_2 —— 蜗轮分度圆直径
- d_2' —— 蜗轮节圆直径
- d_{a1} —— 蜗杆齿顶圆直径

- d_{a2} —— 蜗轮喉圆直径
- d_{b1} —— 渐开线蜗杆基圆直径
- d_{b2} —— 蜗轮基圆直径
- d_{e2} —— 蜗轮顶圆直径
- d_{f1} —— 蜗杆齿根圆直径
- d_{f2} —— 蜗轮齿根圆直径
- h_1 —— 蜗杆齿高
- h_2 —— 蜗轮齿高
- h_{a1} —— 蜗杆齿顶高
- h_{a2} —— 蜗轮齿顶高
- h_{f1} —— 蜗杆齿根高
- h_{f2} —— 蜗轮齿根高
- \bar{h}_{a1} —— 蜗杆测量 \bar{s}_{a1} 用齿高
- \bar{h}_{a2} —— 蜗轮测量 \bar{s}_{a2} 用齿高
- h_a^* —— 齿顶高系数
- m —— 模数、蜗杆轴向模数、蜗轮端面模数
- m_n —— 蜗杆 (或蜗轮) 法向模数
- p_n —— 蜗杆法向齿距
- p_t —— 蜗杆分度圆齿距
- p_x —— 蜗杆轴向齿距
- p_z —— 蜗杆导程
- q —— 蜗杆直径系数
- r_{g2} —— 蜗轮咽喉母圆半径
- r_{gf} —— 蜗轮齿根圆环面的母圆半径
- s_{n1} —— 蜗杆分度圆柱法向齿厚
- \bar{s}_{n1} —— 蜗杆分度圆法向弦齿厚
- \bar{s}_{n2} —— 蜗轮分度圆法向弦齿厚
- s_t —— 蜗轮分度圆中间平面上的弧齿厚
- \bar{s}_t —— 蜗轮分度圆中间平面上的弦齿厚
- s_x —— 蜗杆分度圆柱轴向齿厚
- x_2 —— 蜗轮径向变位系数
- x_{t1} —— 蜗杆切向变位系数

- x_{12} ——蜗轮切向变位系数
- z_1 ——蜗杆头数 (齿数)
- z_2 ——蜗轮齿数
- α ——蜗杆齿形角
- α_0 ——刀具产形角
- α_n ——蜗杆法向齿形角
- α_s ——蜗杆轴向齿形角
- β ——蜗轮分度圆螺旋角
- γ ——蜗杆分度圆导程角
- γ_0 ——蜗杆基圆柱导程角
- e ——重合度
- θ ——蜗轮齿宽角
- Σ ——轴交角

第2节 蜗杆传动基本知识

蜗杆传动是交错轴齿轮传动的一种,用于既不平行又不相交的两轴间传动。蜗杆副是由蜗杆及其配对的蜗轮所组成,其轴交角一般为 90° 。就普通圆柱蜗杆传动而言,蜗杆就是斜齿轮的一种特殊形态,其齿数甚少,只有一个或几个螺旋齿,与其相啮合的蜗轮可以看成是一个斜齿轮,但又有所区别,斜齿轮分度曲面是圆柱面,可用标准齿轮滚刀加工,而蜗轮的分度曲面一般不是圆柱面,多为圆环面,需用与蜗杆参数相同的蜗轮滚刀(或飞刀)加工。在啮合传动时,蜗杆转一周,带动蜗轮转过一个齿或几个齿,因而可实现较大的传动比(减速)。当蜗

杆副的轴交角为 90° 时,蜗轮的螺旋角 β 与蜗杆的导程角 γ 大小相等、两者螺旋方向相同。

在蜗杆副的中间平面上看(见图13-1-1),蜗杆传动又可以看成是齿轮与齿条的啮合,所以蜗杆传动的设计计算一般是以蜗轮中间平面的参数和尺寸为基准的。

(一) 蜗杆副的分类

蜗杆副通常是以蜗杆分度曲面的形状及其齿面成形的工艺特点来进行分类。一般可分为圆柱蜗杆、环面蜗杆及锥蜗杆三大类,详见表13-2-1。

1. 圆柱蜗杆

分度曲面为圆柱面的蜗杆称为圆柱蜗杆。蜗杆分度曲面是蜗杆上一个约定的假想曲面,蜗杆的轮齿尺寸均以此曲面为基准来确定。

(1) 阿基米德蜗杆(ZA蜗杆) 齿面为阿基米德螺旋面的圆柱蜗杆。其端平面内的齿廓是阿基米德螺旋线,轴平面上的齿廓为直线(图13-2-1)。这种蜗杆的齿形代号为“ZA”。根据这一特点,这种蜗杆可在车床上加工,不需要特殊设备和特殊装置,因此应用最为广泛。ZA蜗杆的缺点是传动效率较低,通常为 $50\sim 80\%$,蜗杆副的齿部磨损较快,因此一般用于低速、轻载和不重要的传动中。

(2) 渐开线蜗杆(ZI蜗杆) 齿面为渐开螺旋面的圆柱蜗杆。其端面齿廓是渐开线,这种蜗杆的齿形代号为“ZI”。在其与基圆柱相切的平面上,ZI蜗杆的成形线是直线,如图13-2-2a所示。渐开线蜗杆可由滚切、滚压、车削等工艺手段加工,还可

表13-2-1 蜗杆的分类

蜗 杆	圆 柱 蜗 杆	(1) 阿基米德蜗杆(图13-2-1) (轴向直廓,ZA蜗杆) (2) 渐开线蜗杆(ZI蜗杆)(图13-2-2) (3) 法向直廓蜗杆(ZN蜗杆)(表13-2-2)	} 普通 圆柱 蜗杆 (直 线 齿 廓 蜗 杆)	(6) 双导程蜗杆(图13-2-4) 双导程ZA蜗杆 双导程ZI蜗杆 双导程ZN蜗杆
		(4) 锥面包络圆柱蜗杆(ZK蜗杆)(表13-2-3) (5) 圆弧圆柱蜗杆(ZC蜗杆)(图13-2-3)		
蜗 杆	环 面 蜗 杆	(1) 直廓环面蜗杆(TA蜗杆)(图13-2-6) (2) 平面包络环面蜗杆(TP蜗杆)(图13-2-7) (3) 锥面包络环面蜗杆(TK蜗杆)(图13-2-8) (4) 渐开面包络环面蜗杆(TI蜗杆)(图13-2-9)		
	锥 蜗 杆	(1) 直线齿锥蜗杆 (图13-2-10) (2) 曲线齿锥蜗杆		

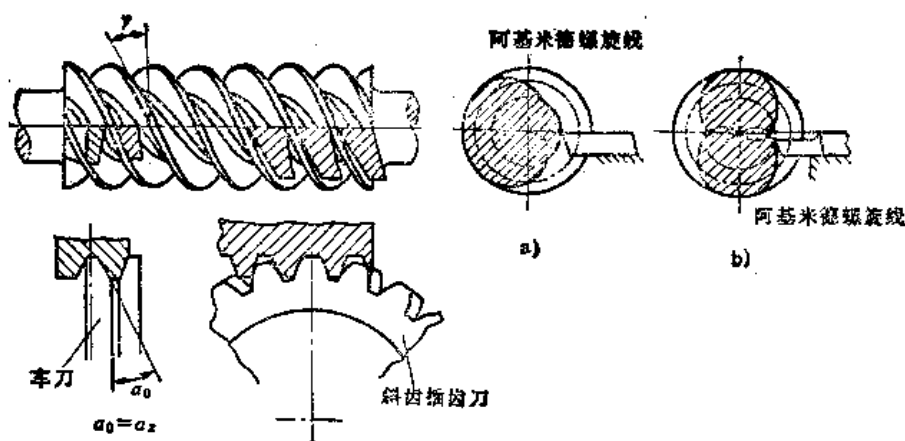


图13-2-1 阿基米德蜗杆

a) 当 $\gamma \leq 3^\circ$ 时, 采用单刀切削 b) 当 $\gamma > 3^\circ$ 时, 采用双刀切削

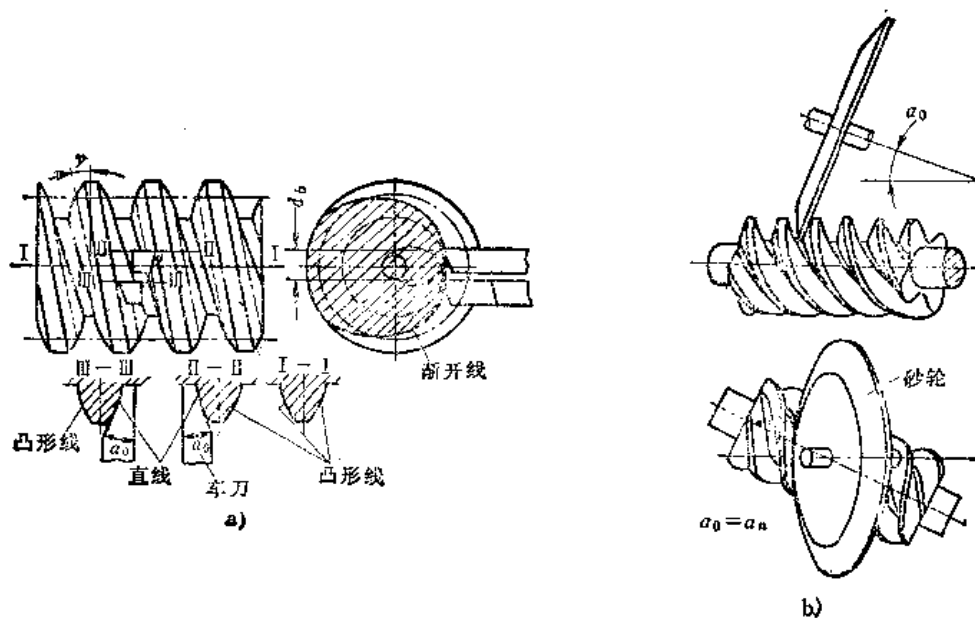


图13-2-2 渐开线蜗杆

用碟形砂轮的端面进行磨削加工, 如图13-2-2 b 所示, 但为此必须使用专用磨床。这种蜗杆的传动效率可高达90%。

(3) 法向直廓蜗杆 (ZN蜗杆) 法平面上的齿廓为直线的圆柱蜗杆。这种蜗杆的齿形代号为“ZN”, 按其直线齿廓所在的法平面的位置不同又可分为三种齿形, 见表13-2-2。

法向直廓蜗杆在端面内的齿廓与延伸渐开线近似, 但并不完全相同。这种蜗杆的加工工艺较之阿基米德蜗杆有一定的优点, 即在用一把车刀的两侧刀刃车削蜗杆或用飞刀切削蜗杆时, 其两侧刀刃的切削角相同, 因而不像ZA蜗杆那样受 $\gamma \leq 3^\circ$ 时

才能采用单刀切削的条件限制。法向直廓蜗杆也可用砂轮端面进行磨削加工, 因而能制造更精密、更耐磨的蜗杆副, 而其加工过程比渐开线蜗杆简单, 可在普通蜗纹磨床上磨削。这种蜗杆传动的效率也较高。

(4) 锥面包络圆柱蜗杆 (ZK蜗杆) 齿面是圆锥面包络曲面的圆柱蜗杆。按其加工工艺的不同可分为三种齿形, 见表13-2-3。

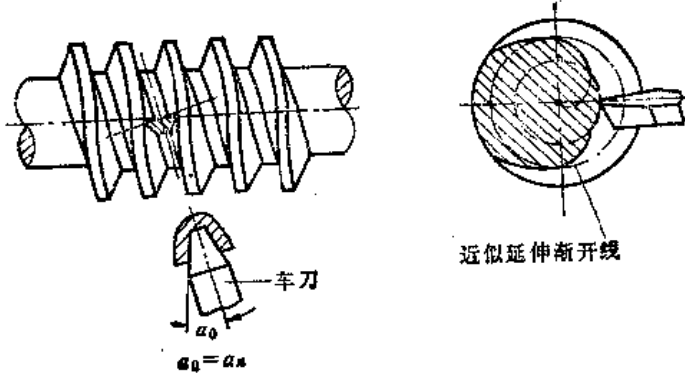
ZK蜗杆的齿槽法截面上的齿廓是轻度凸形曲线, 端面内的齿廓是近似阿基米德螺旋线。这种齿形一般用于热处理后必须磨削的精密蜗杆。

(5) 圆弧圆柱蜗杆 (ZC蜗杆) 蜗杆齿面一

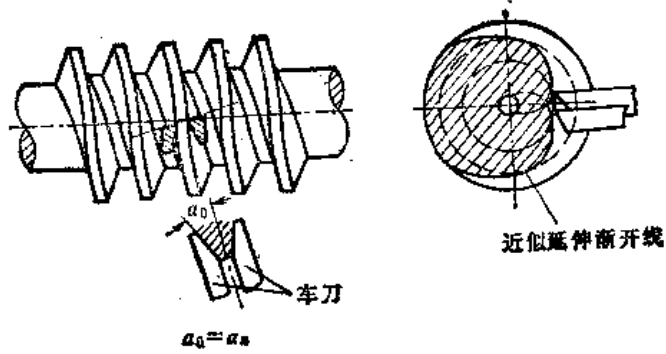
表13-2-2 法向直廓蜗杆的分类

法
向
直
廓
蜗
杆
(
Z
N
蜗
杆
)

齿槽法向直廓蜗杆 (ZN₁蜗杆)。在垂直于齿槽中点螺旋线的法平面上
的齿廓为直线



齿体法向直廓蜗杆 (ZN₂蜗杆)。在垂直于齿厚中点螺旋线的法平面上
的齿廓是直线



齿面法向直廓蜗杆 (ZN₃蜗杆)。在垂直于分度圆柱螺旋线的法平面上
的齿廓是直线

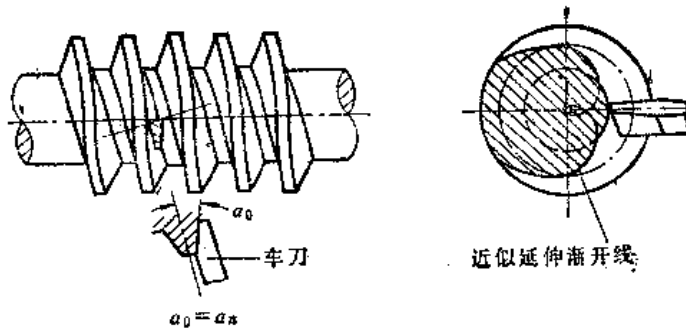
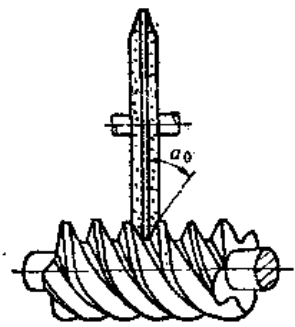
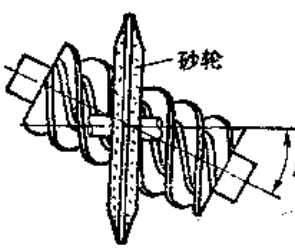
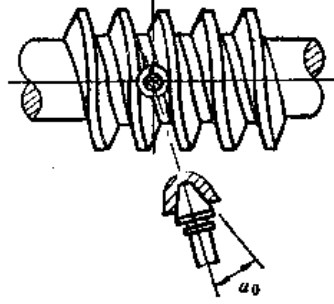
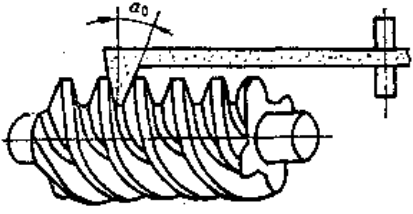


表13-2-3 锥面包络圆柱蜗杆的分类

<p>盘状锥面包络圆柱蜗杆(ZK₁蜗杆), 蜗杆轴线与刀具轴线之间的交错角等于分度圆柱导程角γ</p>  <p>锥面包络圆柱蜗杆 (ZK蜗杆)</p> 	<p>指状锥面包络圆柱蜗杆 (ZK₂蜗杆), 蜗杆轴线与指状刀具轴线交角为90°</p>  <p>锥面包络圆柱蜗杆 (ZK蜗杆)</p> <p>端锥面包络圆柱蜗杆 (ZK₃蜗杆), 蜗杆轴线与碟状锥形砂轮刀具轴线垂直相交</p> 
--	--

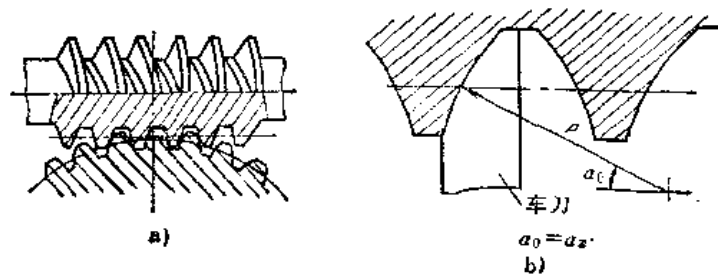


图13-2-3 圆弧圆柱蜗杆
a) ZC蜗杆副 b) ZC₃蜗杆齿形
 ρ —蜗杆齿形曲率半径

一般为凹形曲线的螺旋面, 用凸形圆弧刃刀具加工而成。圆弧圆柱蜗杆按齿形又可分为ZC₁, ZC₂, ZC₃三种齿形, 详见本章第九节。

圆弧圆柱蜗杆比其它圆柱蜗杆的承载能力可提高50~100%, 传动效率可提高10~15%, 因此常用在冶金、矿山、起重、运输、化工、建筑等部门的机械设备中。

(5) 双导程蜗杆 蜗杆螺旋齿两侧齿面的导程不等, 左齿面导程与右齿面导程之间有一个差值, 它沿轴向累积变化, 形成了渐变的齿厚, 故有渐厚蜗杆之称。

双导程蜗杆传动与单导程蜗杆传动相比, 其主要优点是在不改变中心距的情况下, 可通过调整蜗杆的轴向位置来调整蜗杆副的侧隙, 因此当蜗杆副磨损后, 可将蜗杆沿轴向调整, 以重新获得其适当的侧隙, 从而保证传动精度。由于这个优点, 双导程蜗杆传动常用在运动精度要求较高的机构中, 如机床分度机构、读数机构等。详见本章第八节。

2. 环面蜗杆[⊖]

环面蜗杆的分度曲面是圆环面, 这种蜗杆传动

[⊖] 旧称“球面蜗杆”和“弧面蜗杆”现均停止使用。

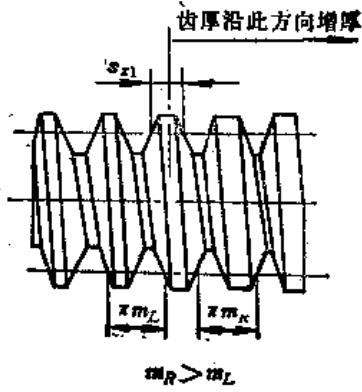


图13-2-4 双导程蜗杆

同时啮合齿数多，故齿面接触应力低，其承载能力约为圆柱蜗杆传动的1.4~4倍，传动效率也高，但制造和安装精度都要求较高，一般多用于大功率传动中，如矿山冶金机械的减速装置。

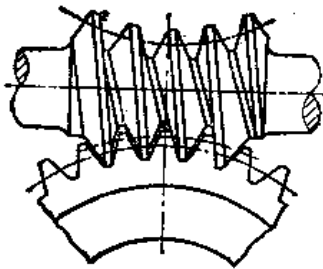


图13-2-5 环面蜗杆副

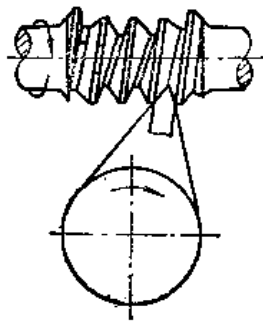


图13-2-6 直廓环面蜗杆

(1) 直廓环面蜗杆 (TA蜗杆) 轴向齿廓为直线的环面蜗杆称为直廓环面蜗杆。

(2) 平面包络环面蜗杆 (TP蜗杆) 一个齿面形状为平面的齿轮，当它与环面蜗杆啮合而组成交错轴齿轮副时称为平面蜗轮，又称P蜗轮，见图13-2-7。

以直齿或斜齿的平面蜗轮为产形轮而展成的环

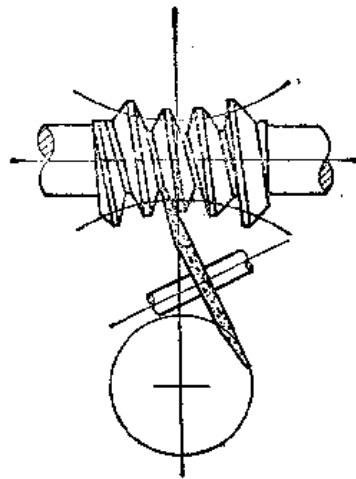


图13-2-7 平面包络环面蜗杆

面蜗杆称为平面包络环面蜗杆。

(3) 锥面包络环面蜗杆 (TK蜗杆) 以齿面呈圆锥面形状的产形轮所展成的环面蜗杆称为锥面包络环面蜗杆。

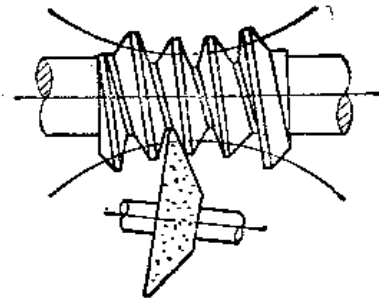


图13-2-8 锥面包络环面蜗杆

(4) 渐开面包络环面蜗杆 (TI蜗杆) 以渐开线圆柱齿轮为产形轮所展成的环面蜗杆称为渐开面包络环面蜗杆。

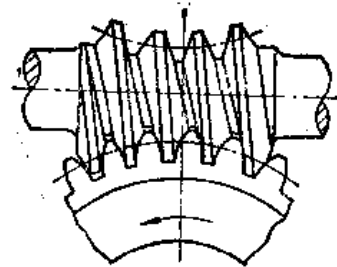


图13-2-9 渐开面包络环面蜗杆

3. 锥蜗杆

分度曲面为圆锥面的蜗杆。它具有一条或几条等导程锥螺旋线。这种蜗杆传动的蜗轮外形类似弧齿锥齿轮，由于锥蜗杆的轴线位置偏置于锥蜗轮的一侧，与锥蜗轮轴线有一个轴线偏置距，故有偏置蜗杆之称，见图13-2-10。

锥蜗杆传动的瞬时啮合齿数多，啮合齿面油膜形成条件好，对齿面润滑有利，因而，具有传动平稳、效率高、承载能力大等优点，而且齿侧间隙容易调整，对安装精度要求不高。但这种蜗杆的结构和啮合特性不对称，计算较复杂，实际应用还很少见。

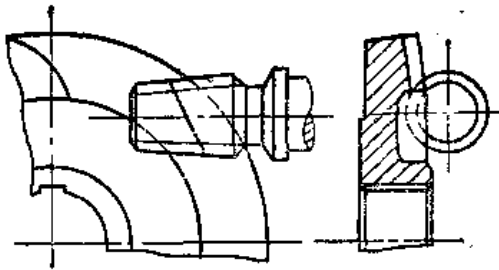


图13-2-10 锥蜗杆

蜗杆副还有以蜗轮蜗杆的外形特点来进行分类的，如图13-2-11中：a为蜗轮单包围蜗杆副；b为

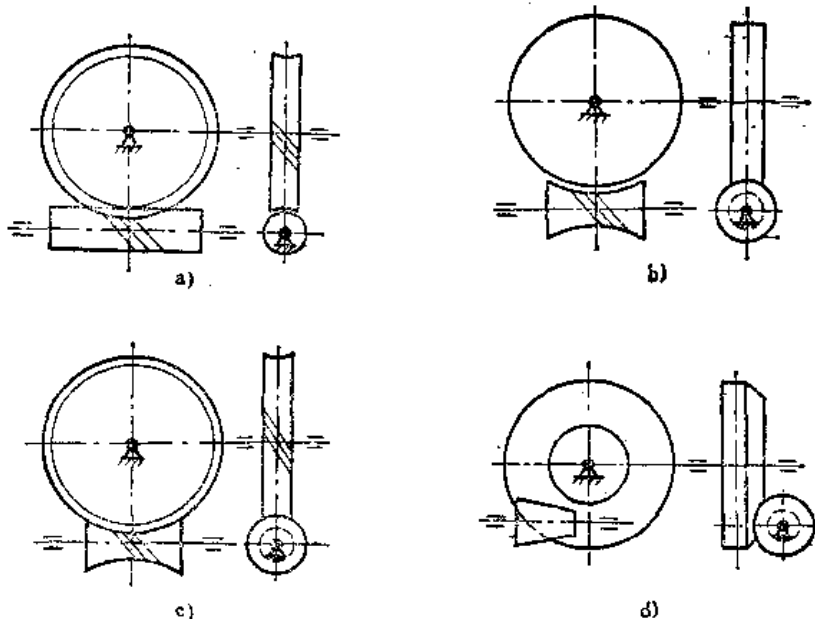


图13-2-11 蜗杆副以外形特点分类

蜗杆单包围蜗杆副，c为双包围蜗杆副，即蜗杆包围蜗轮，蜗轮也包围蜗杆；d非包围蜗杆副，蜗轮蜗杆外形互不包围。

(二) 蜗杆传动的特性及优缺点

蜗轮与蜗杆的啮合传动是一种特殊的交错轴齿轮传动，通常将蜗杆视为齿数很少、直径很小（相对于蜗轮）的斜齿轮，一般蜗杆头数 $z_1 < 10$ ，多数为1~6。蜗杆分度曲面既可是圆柱面，也可是圆锥面、圆环面。蜗轮蜗杆两个传动元件的轴线既不相交也不平行。蜗杆传动的特性和优缺点分析如下。

在对蜗杆传动作分析评价和设计计算时，常以其中间平面为基准，中间平面为垂直于蜗轮轴线并包含蜗杆副连心线的平面，在此平面上，蜗杆传动看作是齿轮与齿条的啮合传动。

1. 蜗杆传动特性

(1) 蜗杆传动的重合度 重合度 ϵ 是啮合传动中一项重要的评价指标，蜗杆传动的重合度比外齿轮传动的大，尤其是环面蜗杆传动，其重合度更大。以普通圆柱蜗杆为例，其重合度 ϵ 要求在2~3之间，即传动中同时啮合齿数至少有两对，可能达到三对。圆柱蜗杆传动的重合度 ϵ 按下式计算：

$$\epsilon \approx \frac{\sqrt{d_{a2}^2 - d_2^2 \cos^2 \alpha_x} - d_2 \sin \alpha_x + 2h_{a1} / \sin \alpha_x}{2 \cos \alpha_x \cos^2 \gamma p_x}$$

⊙ 参看 A. K 托马斯著，《齿轮承载能力》，冶金工业出版社，1973。

当蜗轮齿数较多时, e 可近似简化计算:

$$e = \frac{4h_{a1}}{\pi m \sin 2\alpha} = \frac{4h_a^*}{\pi \sin 2\alpha}$$

从上式可见, 影响重合度的因素有齿顶高系数 h_a^* 、齿形角 α 。当 $\alpha = 20^\circ$ 时, 普通圆柱蜗杆 h_a^* 常取 1。而某些分度蜗杆重合度要求加大到 6~12, 则要重新选配 α 和 h_a^* 两个参数值。如取 $\alpha = 8^\circ \sim 12^\circ$ 时, 须取 $h_a^* = 1.5 \sim 2.0$, 有的单头精密蜗杆全齿高为 $0.88p_x$, 即齿高系数 h_a^* 取为 1.28, 其轴向齿形角 α_x 可选择 $10^\circ \sim 15^\circ$, 以保证其重合度要求。

(2) 蜗轮的根切和顶切 当蜗轮齿数太小时, 蜗轮滚刀(蜗杆形滚刀)的齿顶有可能使蜗轮齿产生根切, 从而使蜗轮齿根变弱, 同时使蜗杆传动重合度减小。因此, 为避免根切, 对蜗轮的最少齿数 z_{2min} 必须有一定的限制, 推荐按下式计算:

$$\frac{CN}{CN} = \frac{h_{a0}}{\sin \alpha} = \frac{z_{2min} m \sin \alpha}{2}$$

$$z_{2min} = \frac{2h_{a0}}{m \sin^2 \alpha}$$

国标推荐 $z_2 \geq \frac{\pi \sin 2\alpha}{1 - \cos \alpha}$, 避免根切的蜗轮最少齿数为 z_{2min} , 当蜗杆轴向齿形角 $\alpha_x = 20^\circ$ 时 $z_{2min} \geq 34$, 如果只要求保证蜗轮工作齿高有 80% 参加啮合, 则 $\alpha_x = 20^\circ$ 时 $z_{2min} \geq 27$ 。

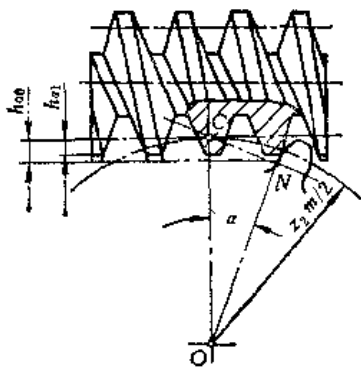


图13-2-12 圆柱蜗杆或滚刀与蜗轮的啮合(中间平面)
 h_{a0} —蜗轮滚刀的齿顶高

蜗轮避免齿顶变尖即顶切, 要求齿顶厚 $s_a \geq 0.2m$, 由于蜗轮齿厚最小处是在齿宽角 θ 截面上, 所以为避免齿顶变尖的最小齿数 z_2 与齿宽角 θ 、直径

系数 γ 的关系如表13-2-4所示。

表13-2-4 避免齿顶变尖的 z_2

γ		10	11.2	14	17
$\theta = 60^\circ$	$z_2 \geq$	23	31	50	69
$\theta = 75^\circ$	$z_2 \geq$	15	23	40	58
$\theta = 70^\circ$	$z_2 \geq$	8	15	31	47

(3) 啮合中的不利齿形 蜗轮产生根切最严重的部位并不在中间平面上, 而是在与中间平面平行的离开中间平面较远的部位上。因为蜗杆齿面是螺旋面, 在各个不同的轴向剖面上蜗杆的齿形是不同的, 图13-2-13是阿基米德蜗杆的齿形情况。中间平面的剖面齿廓是直线形的, 而在与中间平面相平行的其它剖面齿廓则从一边的凸形变化成另一边的凹形。蜗杆导程角越大, 这种变化就越大, 从图13-2-13可见, $\alpha_0 = 14\frac{1}{2}^\circ$ 时剖面 G 的齿廓就像一把刀具。这样, 在啮合时有如一把刀在啮合中切削蜗轮的齿面, 因其齿形角过大, 虽齿根强度增大, 但蜗杆传动时径向分力增大, 从而降低传动效率。因此, 为获得有利的蜗杆齿形, 其齿形角 α 与导程角 γ 有一定的关系, 见表13-2-6推荐的按导程角 γ 来选择齿形角 α 。表13-3-6是我国常见的齿形角。另外, 为避开最不利齿形的啮合部位, 对蜗轮的齿宽 b_2 也要有一定的限制。

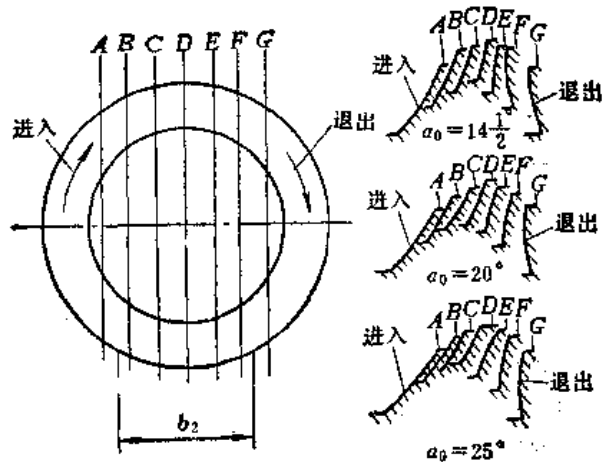


图13-2-13 不同剖面上的蜗杆齿形

表13-2-5 齿形角 α 与蜗杆导程角 γ 的关系

γ	$<15^\circ$	$15^\circ\sim 25^\circ$	$25^\circ\sim 35^\circ$	$>35^\circ$	备注
	20°	$22\frac{1}{2}^\circ$	25°	30°	引自〔8〕
	$14\frac{1}{2}^\circ$ 20°	20° 20°	25° 25°	30° 25°	引自〔14〕

表13-2-6 国标推荐使用的
齿形角 (GB10087-88)

动力蜗杆		分度蜗杆	
$\gamma < 30^\circ$	$\gamma > 30^\circ$	一般精度	高精度
$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 25^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 15^\circ$ 或 12°

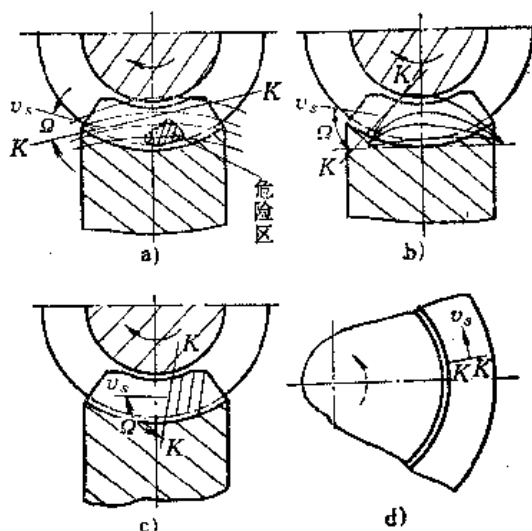
(4) 啮合接触线 蜗杆传动中工作齿面呈线接触状态, 而其它交错轴齿轮传动是呈点接触状态, 这是蜗杆传动的一个重要特点。蜗杆传动接触线的形状、长度、分布状况以及接触线 KK 与相对滑动速度 v_s 之间的夹角 Ω 等都是影响蜗杆传动的承载能力和传动效率的重要因素。 $\Omega = 90^\circ$ 时的蜗杆副承载能力是 $\Omega = 0^\circ$ 时的16倍, 根据润滑理论分析, 夹角 Ω 的大小影响动压油膜的形成, Ω 角越接近 90° , 则啮合处两齿面的相对滑动速度方向与接触线的切线越接近垂直, 啮合齿面间动压油膜就越容易形成, 齿面就不容易产生粘着性磨损, 从而可提高蜗杆传动的承载能力和传动效率。各种类型的蜗杆传动的接触线的形状、长度以及分布状况很不相同, 见图12-2-14。

从图13-2-14可见, 普通圆柱蜗杆传动中 Ω 角最小(图a), 甚至在工作啮合区域内还有 $\Omega = 0$ 点的集合线, 使其附近的接触区成为啮合“危险区”。圆弧圆柱蜗杆(图13-2-14b)和环面蜗杆(图13-2-14c)的 Ω 角都比普通圆柱蜗杆的 Ω 角大, 这是圆弧圆柱蜗杆、环面蜗杆和偏置蜗杆传动承载能力比普通圆柱蜗杆大的主要理由之一。

(5) 蜗杆传动的自锁 当蜗杆导程角 γ 小于一个规定值($\approx 3^\circ 30'$)时, 蜗杆传动具有自锁性, 即蜗杆为主动件时, 只能由蜗杆带动蜗轮, 蜗轮不能带动蜗杆。一般来说, 当导程角 γ 小于自锁角时, 在静止状态无振动的情况下, 蜗杆传动能保证自锁, 如果需要在传动中也能保证自锁, 就必须进行计算。圆柱蜗杆按下式计算, 满足不等式, 则可自锁。

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{m z_1}{d_1} = \frac{z_1}{q} < \mu$$

式中 μ ——蜗杆传动摩擦系数。

图13-2-14 各类蜗杆传动的 Ω 角

- a) 普通圆柱蜗杆传动 b) 圆弧圆柱蜗杆传动
c) 环面蜗杆传动 d) 锥蜗杆传动

2. 蜗杆传动的优点

(1) 可实现单级大传动比 一级蜗杆传动即可达到传动比10~80, 某些分度蜗杆传动中的传动比 i 甚至可达1000。其中心距可达2 m, 用得较多的是 $a = 50\sim 500$ mm。与其它齿轮传动减速器相比, 蜗杆传动具有结构紧凑、体积小的优点。同样速比的减速器采用斜齿轮传动结构的外形尺寸与采用蜗杆传动结构的外形尺寸可相差很大, 如在速比为150时, 蜗杆减速器的重量不足斜齿轮减速器的一半。

由于这一优点, 蜗杆传动广泛用于传递动力和运动的减速机构中。

(2) 工作平稳、噪声低 蜗杆蜗轮啮合传动的运动特性是相对滑动而不是相对滚动, 因而传动中产生噪声和振动的因素少, 同时, 其共轭齿面的任意一个接触点的相对滑动速度都不等于零, 所以工作平稳、噪声低。

(3) 可防止逆转 当蜗杆导程角 γ 小于摩擦角 φ 时, 蜗杆传动有反向自锁作用, 利用此特点设计可防止逆转的机构。

3. 蜗杆传动的缺点

(1) 效率低 蜗杆传动比其它形式的齿轮传动摩擦损失大、发热大, 因而传动效率低, 尤其是在大传动比和低转速的情况下更是如此。例如有的蜗杆传动在传动比 $i = 5$, 蜗杆转速 $n_1 = 1800$ r/min

时,传动效率98%,而相同的中心距,传动比为70、蜗杆转速 $n_1 = 200 \text{ r/min}$ 时,传动效率仅有60%左右。

齿轮传动在正转和反转时的传动效率是相等的。而在可逆转的蜗杆传动中,蜗杆作主动件时的传动效率 η_{12} 与蜗轮作主动件时的传动效率 η_{21} 是不相等的, η_{21} 大大低于 η_{12} 。

(2) 齿面易产生磨损和胶合 蜗杆传动工作时,其齿面的相对滑动比普通齿轮传动的齿面相对滑动速度大。就其本身而言,蜗杆传动中蜗杆齿面对蜗轮的滑动速度 v_s 比蜗杆的圆周速度 v_1 还大,而且其滑动速度的方向与瞬时接触线的夹角 θ 一般都较小(尤其是普通圆柱蜗杆传动),因而润滑条件和油膜形成条件不好,使得容易产生齿面磨损和胶合。另外,渐开线圆柱齿轮在齿面承受载荷时引起的变形使轮齿接触状态向好的趋势变化,而蜗杆传动却相反,是向坏的趋势变化,从而产生齿面粘着。

这个缺点使蜗杆副的寿命受到很大限制。

(3) 加工工艺较复杂,成本高 蜗杆传动是交错轴传动,为了实现其啮合齿面呈线接触状态,就必须采用对偶范成的方法来加工蜗轮或蜗杆,即在加工蜗轮或蜗杆时,刀具与工件的啮合是蜗杆副工作时传动啮合的再现。刀具的几何参数及加工中心距均要与蜗杆副实际工作时一致,因而蜗杆传动加工成本较高。同时,这种工艺特性使蜗杆副的使用具有不可分离性,其传动精度对装配误差极为敏感。

第3节 普通圆柱蜗杆传动的几何计算

(一) 标准普通圆柱蜗杆传动的几何计算

表13-3-1 普通圆柱蜗杆基准齿形参数①

参数名称	代号	数值	说明
齿形角	α	对阿基米德蜗杆为轴向齿形角 $\alpha_x = 20^\circ$ 对渐开线蜗杆和法向直廓蜗杆为法向齿形角 $\alpha_n = 20^\circ$ 对锥面包络蜗杆,其锥形刀具的产形角 $\alpha_n = 20^\circ$	在动力传动中,当导程角 $\gamma > 30^\circ$ 时 $\alpha = 25^\circ$ 在分度传动中 $\alpha = 12^\circ$ 或 15°
齿顶高系数②	h_a^*	$h_a^* = 1$	采用短齿时 $h_a^* = 0.8$
顶隙系数②	c^*	$c^* = 0.2$	必要时 $c^* = 0.15$ 或 0.35
工作齿高	h'	$h' = 2h_a^* m$	
齿根圆角半径	ρ_f	$\rho_f = 0.3m$	必要时 $\rho_f = 0.2m$ 或 $0.4m$

① 表中数值适用于阿基米德蜗杆、渐开线蜗杆、法向直廓蜗杆和锥面包络圆柱蜗杆。

② 有的文献,对渐开线蜗杆和法向直廓蜗杆的齿顶高系数 h_a^* 和顶隙系数 c^* 的计算如表13-3-2所示。

表13-3-2 有关渐开线蜗杆和法向直廓蜗杆的参数①

参数名称	代号	渐开线蜗杆	法向直廓蜗杆
齿顶高系数	h_a^*	$h_{a1}^* = 1$ $h_{a2}^* = 2\cos\gamma - 1$	$z_1 = 1 \sim 3$: $h_{a1}^* = h_{a2}^* = 1$ $z_1 \geq 4$: 同渐开线蜗杆
顶隙系数	c^*	$c^* = 0.2\cos\gamma$ ②	

(续)

参数名称	代号	渐开线蜗杆	法向直廓蜗杆
齿根高	h_f	$h_{f1} = (h_{a2}^* + c^*) m$ $= (2.2 \cos \gamma - 1) m$ $h_{f2} = (h_{a1}^* + c^*) m$ $= (1 + 0.2 \cos \gamma) m$	$z_1 = 1 \sim 3_2$ $h_{f1} = h_{f2} = (1 + 0.2 \cos \gamma) m$ $z_1 \geq 4_2$ 同渐开线蜗杆
齿高	h	$h_1 = h_2 = 2.2 m \cos \gamma$	$z_1 = 1 \sim 3_1$ $h_1 = h_2 = (2 + 0.2 \cos \gamma) m$ $z_1 \geq 4_1$ 同渐开线蜗杆

① 见吴鸿业等编著的《蜗杆传动设计》上册，机械工业出版社，1986。

② γ —蜗杆导程角，见表13-3-3。

表13-3-3 标准普通圆柱蜗杆传动几何计算① (参见图13-1-1)

序号	参数名称	代号	计算公式	举例计算
1	蜗杆头数	z_1	按设计确定	$z_1 = 1$
2	蜗轮齿数	z_2	按设计确定	$z_2 = 62$
3	蜗杆轴向 (蜗轮端面)模数	m	按表13-4-3选用	$m = 2.5 \text{ mm}$
4	蜗杆分度(节)圆 直径	$d_1(d_1)$	按表13-3-16, 表13-4-7选用	$d_1(d_1) = 45 \text{ mm}$
5	蜗杆直径系数	q	$q = \frac{d_1}{m}$	$q = 18$
6	蜗杆导程角	γ	$\gamma = \arctg \frac{m z_1}{d_1} = \arctg \frac{z_1}{q}$, 参见表13-3-19	$\gamma = 3.1798^\circ (3^\circ 10' 47'')$
7	法向模数	m_n	$m_n = m \cos \gamma$	$m_n = 2.496 \text{ mm}$
8	中心距	a	$a = \frac{m(z_2 + q)}{2}$	$a = 100 \text{ mm}$
9	蜗杆轴向齿形角	α_x	按蜗杆齿形确定, 表13-3-1, $\text{tg} \alpha_x = \frac{\text{tg} \alpha_n}{\cos \gamma}$	阿基米德蜗杆(ZA) $\alpha_x = 20^\circ$
10	蜗杆法向齿形角	α_n	按蜗杆齿形确定, 表13-3-1, $\text{tg} \alpha_n = \text{tg} \alpha_x \cos \gamma$	$\alpha_n = 19.9692^\circ (19^\circ 58' 09'')$
11	传动比	i	$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}$ (蜗杆为主动时)	$i = 62$
12	齿数比	u	$u = \frac{z_2}{z_1} > 1$	$u = 62$
13	齿顶高系数	h_a^*	见表13-3-1	$h_a^* = 1 \text{ mm}$
14	顶隙系数	c^*	见表13-3-1	$c^* = 0.2 \text{ mm}$
15	齿顶高	h_a	$h_a = h_a^* m$	$h_{a1} = h_{a2} = 2.5 \text{ mm}$
16	齿根高	h_f	$h_f = (h_a^* + c^*) m$	$h_{f1} = h_{f2} = 3 \text{ mm}$
17	齿高	h	$h = h_a + h_f$	$h_1 = h_2 = 5.5 \text{ mm}$
18	蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_a$	$d_{a1} = 50 \text{ mm}$
19	蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_f$	$d_{f1} = 39 \text{ mm}$
20	蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = \pi m$	$p_x = 7.854 \text{ mm}$

序号	参数名称	代号	计算公式	举例计算
21	蜗杆法向齿距	p_n	$p_n = p_x \cos \gamma$	$p_n = 7.842 \text{ mm}$
22	蜗杆导程	p_x	$p_x = z_1 p_s$	$p_x = 7.854 \text{ mm}$
23	蜗杆齿宽	b_1	按设计确定③	$b_1 = 37 \text{ mm}$ (按表13-3-4)
24	蜗杆轴向齿厚	s_{x1}	$s_{x1} = \frac{\pi m}{2}$ ②	$s_{x1} = 3.927 \text{ mm}$
25	蜗杆法向齿厚	s_{n1}	$s_{n1} = s_{x1} \cos \gamma$, 表13-3-19	$s_{n1} = 3.921 \text{ mm}$
26	蜗杆法向弦齿厚	\bar{s}_{n1}	$\bar{s}_{n1} \approx s_{n1} \left(1 - \frac{s_{n1}^2 \sin^2 \gamma}{6 d_1^2} \right) \approx s_{n1}$, 表13-3-19	$\bar{s}_{n1} \approx 3.921 \text{ mm}$
27	蜗杆测量 \bar{s}_{n1} 用齿高	\bar{h}_{n1}	$\bar{h}_{n1} \approx h_a^* m + \frac{s_{n1}^2 \sin^2 \gamma}{4 d_1} \approx h_a^* m$	$\bar{h}_{n1} \approx 2.5 \text{ mm}$
28	蜗轮分度(节)圆直径	$d_2(d_2')$	$d_2 = (d_2') = z_2 m = 2 a - d_1$	$d_2 = d_2' = 155 \text{ mm}$
29	蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2 h_{a2}$	$d_{a2} = 160 \text{ mm}$
30	蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2 h_{f2}$	$d_{f2} = 149 \text{ mm}$
31	蜗轮咽喉母圆半径	r_{K2}	$r_{K2} = a - \frac{1}{2} d_{a2} = \frac{1}{2} d_{f1} + c^* m$	$r_{K2} = 20 \text{ mm}$
32	蜗轮齿根圆环面半径	r_{Kf}	$r_{Kf} = a - \frac{1}{2} d_{f2} = \frac{1}{2} d_{a1} + c^* m = r_{K2} + h_2$	$r_{Kf} = 25.5 \text{ mm}$
33	蜗轮齿宽	b_2	按设计确定③	$b_2 = 37.5 \text{ mm}$ (按表13-3-4)
34	蜗轮齿宽角	θ	$\theta = 2 \arcsin \frac{b_2}{d_1}$	$\theta = 112^\circ$
35	蜗轮顶圆直径	d_{e2}	$d_{e2} \approx d_{a2} + 2 \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) r_{K2}$	$d_{e2} \approx 177 \text{ mm}$
36	蜗轮螺旋角	β	$\beta = \gamma$	$\beta = 3.1798^\circ (3^\circ 10' 47'')$
37	蜗轮分度圆齿厚	s_{f2}	$s_{f2} = \frac{\pi m}{2}$ ②	$s_{f2} = 3.927 \text{ mm}$
38	蜗轮分度圆弦齿厚	\bar{s}_{f2}	$\bar{s}_{f2} = d_2 \sin \delta \approx s_{f2} \left(1 - \frac{s_{f2}^2}{6 d_2^2} \right)$, $\delta = \frac{s_{f2}}{d_2}$	$\bar{s}_{f2} \approx 3.9266 \text{ mm}$
39	蜗轮分度圆法向弦齿厚	\bar{s}_{n2}	$\bar{s}_{n2} = \bar{s}_{f2} \cos \beta$	$\bar{s}_{n2} = 3.9215 \text{ mm}$
40	蜗轮分度圆弦齿高	\bar{h}_{n2}	$\bar{h}_{n2} = h_{a2} + \frac{s_{f2}^2}{4 d_2}$	$\bar{h}_{n2} = 2.525 \text{ mm}$
41	蜗轮测量 \bar{s}_{n2} 用齿高	\bar{h}_{n2}	$\bar{h}_{n2} = h_{a2} + \frac{s_{f2}^2 \cos^4 \beta}{4 d_2}$	$\bar{h}_{n2} = 2.517 \text{ mm}$

① 表中公式适用于ZA、ZI、ZN蜗杆，而ZI蜗杆的补充公式见表13-3-5。

② 必要时 s_{x1} 和 s_{f2} 可按下式计算： $s_{x1} = \frac{\pi m}{2} - 0.2 m \operatorname{tg} \alpha$, $s_{f2} = \frac{\pi m}{2} + 0.2 m \operatorname{tg} \alpha$ 。

③ b_1 、 b_2 和 d_{e2} 也可参考表13-3-4选取。

表13-3-4 b_1 、 b_2 和 d_{e2} 的计算式

(mm)

蜗杆头数 z_1	1	2	3	4
b_1	$(11 + 0.06 z_2) m$		$(12.5 + 0.09 z_2) m$	
b_2	$0.75 d_{a1}$			$0.67 d_{a1}$
d_{e2}	$d_{a2} + 2 m$	$d_{a2} + 1.5 m$		$d_{a2} + m$

表13-3-5 渐开线蜗杆补充计算公式

序号	参数名称	代号	计算公式
1	蜗杆法向齿形角	α_n	取标准值
2	蜗杆轴向齿形角	α_x	$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_n / \cos \gamma$
3	蜗杆端面齿形角	α_t	$\operatorname{tg} \alpha_t = \operatorname{tg} \alpha_n / \sin \gamma$
4	蜗杆基圆导程角	γ_b	$\cos \gamma_b = \cos \gamma \cos \alpha_n$
5	蜗杆基圆直径	d_{b1}	$d_{b1} = d_1 \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma_{b1}} = \frac{m z_1}{\operatorname{tg} \gamma_{b1}} = d_1 \cos \alpha_n$ <p>当 $\alpha_n = 20^\circ$, 若 $d_{b1} > d_{f1}$, 必须减小 d_{b1}。这时, 如采用 $d_{b1} = d_{f1}$, 则必须相应改变 α_t 和 α_n, 即</p> $\cos \alpha_t = \frac{d_{f1}}{d_1}, \operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_t \sin \gamma$
6	蜗杆中圆直径	d_{p1}	$d_{p1} = \frac{d_{a1} + d_{f1}}{2}$
7	蜗杆中圆导程角	γ_p	$\operatorname{tg} \gamma_p = \frac{m z_1}{d_{p1}}$
8	蜗杆中圆法向齿形角	α_{pn}	$\cos \alpha_{pn} = \frac{\cos \gamma}{\cos \gamma_p} \cos \alpha_n$
9	蜗杆固定弦齿厚	\bar{s}_{en1}	$\bar{s}_{en1} = \frac{\pi m \cos^2 \alpha_{pn} \cos \gamma_p}{2}$
10	蜗杆固定弦齿高	\bar{h}_{en1}	$\bar{h}_{en1} = \frac{1}{2} (h_1 - \bar{s}_{en1} \operatorname{tg} \alpha_{pn})$

表13-3-6 英BS制模数圆柱蜗杆传动几何计算

序号	所求参数	代号	计算公式
1	中心距①	a	$a_{\max} = 0.5 m (z_2 + q + 2x_{2\max})$ $a_{\min} = 0.5 m (z_2 + q - 2x_{2\min})$
2	蜗杆轴向模数①	m	$m_{\max} = \frac{2a}{z_2 + q - 2x_{2\min}}$ $m_{\min} = \frac{2a}{z_2 + q + 2x_{2\max}}$
3	蜗杆导程角	γ	$\operatorname{tg} \gamma = \frac{z_1}{q}$
4	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = qm$
5	蜗杆齿顶高系数	h_{a1}	$h_{a1} = m$
6	齿顶间隙②	c	最小值 $c_{\min} = 0.2m \cos \gamma$ 最大值 $c_{\max} = 0.25m \cos \gamma$
7	蜗杆齿根高	h_{f1}	最小值 $h_{f1\min} = m(2.2 \cos \gamma - 1)$ 最大值 $h_{f1\max} = m(2.25 \cos \gamma - 1)$
8	蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} = m(q + 2)$

(续)

序号	所求参数	代号	计 算 公 式
9	蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_t - 2h_{f1}$
10	蜗杆导程	p_x	$p_x = \pi z_1 m$
11	蜗杆法向齿形角	α_n	$\alpha_n = 20^\circ$
12	蜗杆基圆导程角	γ_b	$\cos \gamma_b = \cos \gamma \cdot \cos \alpha_n$
13	蜗杆基圆直径	d_{b1}	$d_{b1} = \frac{p_x}{\pi \operatorname{tg} \gamma_b} = \frac{z_1 m}{\operatorname{tg} \gamma_b}$
14	蜗杆齿宽	b_1	$b_1 = 14 m \cos \gamma$
15	蜗杆固定弦齿厚③	\bar{s}_{c1}	$\bar{s}_{c1} = m (0.7444 \cos \gamma + 0.6428)$
16	蜗杆固定弦齿高	\bar{h}_{c1}	$\bar{h}_{c1} = m - \frac{\bar{s}_{c1}}{2} \operatorname{tg} \alpha_n$
17	蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = 2 a - d_1$
18	蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = 2 a - (d_{f1} + 2c)$
19	蜗轮根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = 2 a - (d_{a1} + 2c)$
20	蜗轮顶圆直径	d_{e2}	$d_{e2 \min} = d_{a2} + 0.4 m$ $d_{e2 \max} = d_{a2} + m$
21	蜗轮咽喉母圆半径	r_{g2}	$r_{g2} = 0.5(d_{f1} + 2c)$
22	蜗轮齿宽	b_2	$b_2 = 2 m \sqrt{q + 1}$
23	蜗轮模数 (端面)	m	$m = \frac{p_x}{\pi}$
24	蜗轮法向模数	m_n	$m_n = m \cos \gamma$
25	蜗杆轴向节距	p_x	$p_x = \pi m$
26	蜗杆法向节距	p_n	$p_n = p_x \cos \gamma$
27	蜗轮齿根弧长	\widehat{s}_{f2}	$\widehat{s}_{f2} = (d_{a1} + 2c) \arcsin \left(\frac{b_2}{d_{a1} + 2c} \right)$

① 当标准传动时, $x_2 = 0$, 所以 $a = 0.5 m (z_2 + q)$, $m = \frac{2a}{z_2 + q}$

② 建议新设计时取 $c = c_{\min} = 0.2 \cos \gamma$ 值。

③ 当按下列参数:

$z_1 =$	3	4	5	6	7
$q \leq$	6.5	7	7.5	8	8

设计蜗杆时, 可能产生蜗杆的工作高度位于蜗杆基圆以内即 $(d_{c1} - 4m \cos \gamma) < d_{b1}$ 的情况, 这时必须减低蜗杆齿的高度, 使:

$$h_{f1} = 0.5(d_1 - d_{b1}) + c$$

$$s_c = m \cos \gamma \left(\frac{\pi}{2} \cos^2 \alpha_n + \sin 2\alpha_n \right) - \frac{1}{2}(d_1 - d_{b1}) \sin 2\alpha_n$$

当 $\alpha_n = 20^\circ$, $s_c = 2.0298 m \cos \gamma - 0.3214(d_1 - d_{b1})$

表13-3-7 英制圆柱蜗杆传动几何计算 (一)
(蜗杆按螺纹制造、轴向直廓)

序号	所求参数	计算公式	例: $z_1 = 1, z_2 = 50,$ $DP = 12$ 阿基米德蜗杆
1	蜗杆轴向齿距 p_x	$p_x = \frac{\pi}{DP}$	$p_x = 6.650$
2	蜗杆法向齿距 p_n	$p_n = p_x \cos \gamma$	
3	蜗杆导程 p_z	$p_z = z_1 p_x$	$p_z = 6.650$
4	中心距 a	$a = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$	$a = 60.763$
5	齿顶高 h_a	$h_a = \frac{p_x}{\pi} = 0.3183 p_x$	$h_a = 2.117$
6	齿根高 (min) h_f	$h_f = \frac{1.157 p_x}{\pi} = 0.3683 p_x$	$h_f = 2.449$
7	齿高 (min) h	$h = \frac{2.157 p_x}{\pi} = 0.6866 p_x$	$h = 4.566$
8	传动比 i	$i = \frac{z_2}{z_1}$	$i = 50$
9	蜗杆分度圆直径 d_1	$d_1 = \begin{cases} \text{套筒型 } 2.4 p_x + 1.1 \\ \text{实体型 } 2.3 p_x + 0.4 \end{cases}$	$d_1 = 15.695$
10	蜗杆齿顶圆直径 d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_a$	$d_{a1} = 19.929$
11	蜗杆齿根圆直径 d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_f$	$d_{f1} = 10.797$
12	蜗杆齿宽 b_1	$b_1 = \sqrt{d_2^2 - d_1^2} + h_a$	$b_1 = 32.35$
13	蜗轮分度圆直径 d_2	$d_2 = \frac{z_2 p_x}{\pi} = 0.3183 z_2 p_x$	$d_2 = 105.83$
14	蜗轮喉圆直径 d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_a$	$d_{a2} = 110.064$
15	蜗轮齿根圆直径 d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_f$	$d_{f2} = 100.932$
16	蜗轮齿顶圆直径 d_{e2}	$d_{e2} = \begin{cases} \text{带尖角时 } d_{a2} + 2 \left(r_{g2} - r_{g2} \cos \frac{\theta}{2} \right) \textcircled{1} \\ \text{带平顶时 } d_2 + 3h_a \end{cases}$	$d_{e2} = 112.184$
17	蜗杆导程角 γ	$\tan \gamma = \frac{z_1}{DP d_1} = \frac{z_1 p_x}{\pi d_1}$	$\gamma = 7^\circ 40' 52''$
18	蜗轮螺旋角 β	$\beta = \gamma$ 为避免齿形削弱 $\gamma < 12^\circ$	$\beta = 7^\circ 40' 52''$
19	蜗轮齿宽 (min) b_2	$b_2 = d_1 + h_a$	$b_2 = 17.8$
20	蜗轮咽喉半径 r_{g2}	$r_{g2} = a - \frac{d_{a2}}{2} = \frac{d_{f1}}{2} + 0.157 \frac{1}{DP}$	$r_{g2} = 5.731$

注: 1. 表例中的长度单位已换算为mm。

① θ 为齿宽角, 见图13-1-1。

表13-3-8 英制圆柱蜗杆几何计算 (二)
(蜗杆按斜齿轮制造)

序号	所求参数	计算公式
1	蜗杆法向齿距 p_n	$p_n = \frac{\pi}{DP}$
2	蜗杆轴向齿距 p_x	$p_x = p_n \csc \beta = \frac{\pi}{DP} \sec \gamma$
3	蜗杆导程 p_z	$p_z = z_1 p_x$
4	中心距 a	$a = \frac{1}{2}(d_1 + d_2)$
5	齿顶高 h_a	$h_a = \frac{p_n}{\pi} = 0.3183 p_n$
6	齿根高 (min) h_f	$h_f = \frac{1.157 p_n}{\pi} = 0.3683 p_n$
7	齿高 (min) h	$h = \frac{2.157 p_n}{\pi} = 0.6866 p_n$
8	蜗杆头数 z_1	$z_1 = \frac{z_2}{i}$
9	传动比 i	$i = \frac{z_2}{z_1}$
10	蜗轮齿数 z_2	$z_2 = i z_1$
11	蜗杆分度圆直径 d_1	$d_1 = \begin{cases} \text{套筒型 } 2.4 p_x + 1.1 \\ \text{实体型 } 2.3 p_x + 0.4 \end{cases}$
12	蜗杆齿顶圆直径 d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_a$
13	蜗杆齿根圆直径 d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_f$
14	蜗杆齿宽 b_1	$b_1 = \sqrt{d_{a2}^2 - d_1^2} + h_a$
15	蜗轮分度圆直径 d_2	$d_2 = \frac{z_2 \sec \beta}{DP} = 0.3183 z_2 \sec \beta \cdot p_n$
16	蜗轮喉圆直径 d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_a$
17	蜗轮齿根圆直径 d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_f$
18	蜗轮齿顶圆直径 d_{e2}	$d_{e2} = \begin{cases} \text{带尖角时 } d_{a2} + 2 \left(r_{g2} - r_{g2} \cos \frac{\beta}{2} \right) \\ \text{带平顶时 } d_2 + 3h_a \end{cases}$
19	蜗杆导程角 γ	$\sin \gamma = \frac{z_1 p_n}{\pi d_1}$
20	蜗轮螺旋角 β	$\beta = \gamma$
21	蜗轮齿宽 (min) b_2	$b_2 = d_1 + h_a$
22	蜗轮咽喉半径 r_{g2}	$r_{g2} = a - \frac{d_{a2}}{2}$
23	蜗轮齿宽角 θ	$\theta = 2 \arcsin \left(\frac{b_2}{d_1} \right)$

注：表中计算均以英寸计，若化成毫米，均乘以25.4。

表13-3-9 AGMA圆柱蜗杆传动几何计算(一)

序号	参数名称	代号	计算公式
1	蜗杆导程	p_z	$p_z = z_1 p_x$
2	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = 2a - d_2$
3	蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_a$
4	蜗杆齿宽	b_1	$b_1 = 2\sqrt{\left(\frac{d_{a2}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_2}{2} - h_a\right)^2}$
5	蜗杆导程角	γ	$\tan \gamma = \frac{p_x}{\pi d_1}$
6	蜗杆轴向齿距	p_x	标准值
7	蜗杆法向齿距	p_n	$p_n = p_x \cos \gamma$
8	蜗杆法向齿形角	α_n	表13-3-10
9	蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = \frac{z_2 p_x}{x}$
10	蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_a$
11	蜗轮缘宽	B	$B = \sqrt{(d_1 + h')^2 - d_1^2}$
12	齿顶高	h_a	$h_a = 0.3183 p_x = \frac{p_x}{x}$
13	齿高	h	$h = 0.6866 p_x = \frac{2.157 p_x}{x}$
14	工作齿高	h'	$h' = 0.6366 p_x = \frac{2 p_x}{x}$
15	中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$

适用于导程角 $\gamma < 30^\circ$, 当 $\gamma > 30^\circ$ 采用短齿制, 见表13-3-12

注: 1. 此表用于蜗杆齿顶高、齿根高分别等于蜗轮的齿顶高、齿根高时的计算。

2. 齿形角 α_n 值按表13-3-10选择。

3. 此表中长度单位为英寸 (in)。

表13-3-10 齿形角 α_n 推荐值

齿形角 α_n	导程角 γ
20°	$< 30^\circ$
25°	$30^\circ \sim 45^\circ$

注: $\gamma < 17^\circ$ 时可用 $\alpha_n = 14.5^\circ$

蜗轮允许的最小齿数在很大程度上受中心距的影响,按不同中心距推荐的最小齿数列于表13-3-11。

表13-3-11 蜗轮最小齿数推荐值 z_{2min}

中心距 a (mm)	最小齿数
2	20
3	25
5	25
10	29
15	35
20	40
24	45

表13-3-12 短齿制齿高

齿高占正常齿高的%	导程角 γ
90	$30^\circ \sim 34^\circ 59'$
80	$35^\circ \sim 39^\circ 59'$
70	$40^\circ \sim 45^\circ$

注:另有一种流行的短齿制是当 $\gamma > 30^\circ$ 时,每增大 1° ,齿高减少2%。

表13-3-13 AGMA圆柱蜗杆传动的几何计算(二)

序号	参数名称	代号	计算公式	举例计算
1	蜗杆头数	z_1		$z_1 = 1$
2	蜗轮齿数	z_2		$z_2 = 50$
3	中心距	a		$a = 8''$
4	蜗杆齿型			阿基米德螺旋线
5	传动比	i	$i = \frac{z_2}{z_1}$	$i = 50$
6	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = \frac{a^{0.875}}{2.2}$	$d_1 = 2.8''$
7	蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = 2a - d_1$	$d_2 = 13.2''$
8	蜗轮周节	CP	$CP = \frac{\pi d_2}{z_2}$	$CP = 0.8294''$
9	蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = CP$	$p_x = 0.8294''$
10	蜗杆导程角	γ	$\gamma = \arctan \frac{z_1 p_x}{\pi d_1}$	$\gamma = 5.3864^\circ$ ($5^\circ 23' 11''$)
11	蜗杆导程	p_z	$p_z = z_1 p_x$	$p_z = 0.8294''$
12	蜗杆法向齿距	p_n	$p_n = p_x \cos \gamma$	$p_n = 0.8257''$
13	齿顶高	h_a	$h_{a1} = h_{a2} = 0.3183 p_x$	$h_{a1} = h_{a2} = 0.264''$
14	齿高	h	$h_1 = h_2 = 0.6866 p_x$	$h_1 = h_2 = 0.5695''$
15	齿根高	h_f	$h_{f1} = h_{f2} = h - h_a$	$h_{f1} = h_{f2} = 0.3055''$
16	工作齿高	h'	$h' = 0.6366 p_x$	$h' = 0.528''$
17	蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$	$d_{a1} = 3.328''$
18	蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$	$d_{a2} = 13.728''$

(续)

序号	参数名称	代号	计算公式	举例计算
19	蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$	$d_{f1} = 2.189^*$
20	蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$	$d_{f2} = 12.589^*$
21	蜗轮宽度	B	$B = 1.05\sqrt{d_{a2}^2 - d_1^2}$	$B = 1.889^*$
22	蜗轮外径计算系数	K	$K = (d_1 + 2h_{a1}) - \sqrt{(d_1 - 2h_{a1})^2 - (0.8B)^2}$	$K = 0.848$
23	蜗轮齿顶圆外径	d_{e2}	$d_{e2} = d_{a2} + K$	$d_{e2} = 14.576$
24	蜗轮螺旋角	β	$\beta = \gamma$	$\beta = 5^\circ 23' 11''$
25	蜗杆轴向弦齿厚	s_{x1}	$s_{x1} = \frac{p_x}{2}$	$s_{x1} = 0.4147^*$

表13-3-14 联邦德国轴交角 $\Sigma = 90^\circ$ 的圆柱蜗杆传动几何计算 (DIN3975—1976)

序号	所用参数	代号	计算公式
1	中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} + x_2 m = \frac{m}{2}(q + z_2 + 2x_2)$
2	传动比	i	$i = \frac{z_2}{z_1}$ 蜗杆为主动轮时
3	齿数比	u	$u = \frac{z_2}{z_1} \quad u \geq 1$
4	特性系数	q	$q = \frac{d_1}{m}$
5	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = mq$
6	蜗杆导程	p_x	$p_x = z_1 p_x$
7	蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = \frac{p_x}{z_1} = m\pi$
8	模数	m m_x	$m = \frac{p_x}{\pi}$ $m_x = m_x \cos \gamma$ (当 $\Sigma = 90^\circ$ 时 $m = m_x = m_f$) m_x —蜗杆轴向模数 m_f —蜗轮端面模数
9	蜗杆导程角	γ	$\tan \gamma = \frac{m z_1}{d_1} = \frac{z_1}{q}$
10	蜗杆齿高	h_f	$h_f = h_{a1} + h_{f1} = \frac{1}{2}(d_{a1} - d_{f1})$
11	蜗杆齿顶高	h_{a1}	$h_{a1} = h_a^* m$ (一般 $h_a^* = 1$ 特殊情况下, 系数 h_a^* 可变)
12	蜗杆顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$
13	蜗杆齿根高	h_{f1}	$h_{f1} = m(1 + c_1^*)$ (一般 $c_1^* = 0.167 \sim 0.3$ 最好 $c_1^* = 0.2$)

序号	所用参数	代号	计算公式
14	蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$
15	蜗杆法向齿厚	s_{n1}	$s_{n1} = \frac{\pi m}{2} \cos \gamma$
16	蜗杆法向齿槽宽	e_{n1}	$e_{n1} = \frac{\pi m}{2} \cos \gamma$
17	蜗杆轴向齿厚	s_{x1}	$s_{x1} = \frac{s_{n1}}{\cos \gamma} = \frac{\pi m}{2}$
18	蜗杆轴向齿槽宽	e_{x1}	$e_{x1} = \frac{e_{n1}}{\cos \gamma} = \frac{\pi m}{2}$
19	蜗杆基圆直径	d_{b1}	$d_{b1} = d_1 \frac{\tan \gamma}{\tan \gamma_{b1}} = \frac{m z_1}{\tan \gamma_{b1}}$
20	蜗杆基圆导程角	γ_{b1}	$\cos \gamma_{b1} = \cos \gamma \cos \alpha_{n1}$
21	蜗杆基圆齿距	p_b	$p_b = \pi m \cos \gamma_{b1}$
22	蜗杆齿宽	b_1	$b_1 \geq \sqrt{d_{a2}^2 - d_1^2}$ 对非变位蜗杆传动, 也可按下式计算 $b_1 \geq 2m\sqrt{z_2 + 1}$
23	蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = m z_2$
24	蜗轮周节	p_2	$p_2 = \pi m = \frac{\pi d_2}{z_2}$
25	蜗轮齿厚	s_2	$s_2 = \frac{\pi m}{2}$
26	蜗轮齿槽宽	e_2	$e_2 = \frac{\pi m}{2}$
27	蜗轮全齿高	h_2	$h_2 = h_{a2} + h_{f2}$
28	蜗轮齿顶高	h_{a2}	$h_{a2} = m(1 + x_2)$ 特殊情况系数 1 可增减
29	蜗轮齿根高	h_{f2}	$h_{f2} = m(1 - x_2 + c_2^*)$ (特殊情况系数 1 可增减 $c_2^* = 0.167 \sim 0.3$, 最好取 $c_2^* = 0.2$)
30	蜗轮齿顶圆环面半径	r_{a2}	$r_{a2} = a - \frac{d_{a2}}{2}$
31	蜗轮喉圆直径	d_{o2}	$d_{o2} = d_2 + 2m(1 + x)$
32	蜗轮齿顶圆直径	d_{e2}	$d_{e2} \approx d_{a2} + m$
33	蜗轮根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_{o2} - 2m(1 + c_2^*)$
34	径向变位系数	x	$x = \frac{a}{m} - \frac{1}{2m}(d_1 + d_2) = \frac{a}{m} - \frac{z_1 + z_2}{2}$

表13-3-15 日本圆柱蜗杆传动几何计算 (JISB1723—1977)

序号	参数名称	代号	计算公式
1	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = m q$ q ——直径系数
2	蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2m$
3	蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2(1 + 0.2)m$, 对1、2、3型蜗杆 $d_{f1} = d_1 - 2(2.2\cos\gamma - 1)m$, 对4型蜗杆
4	蜗杆轴向齿厚	s_{x1}	$s_{x1} = 0.5\pi m$, 对1、2、3型蜗杆 $s_{x1} = 0.5\pi m + 2m \operatorname{tg}20^\circ \frac{1 - \cos\gamma}{\cos\gamma}$, 对4型蜗杆
5	蜗杆导程角	γ	$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{z_1}{q} = \operatorname{arctg} \frac{z_1 m}{d_1}$ z_1 ——蜗杆头数
6	蜗杆齿宽	b_1	$b_1 = 4.5\pi m$
7	蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = m z_2$
8	蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = m(z_2 + 2x_2) + 2h_{a2}$
9	蜗轮齿顶高	h_{a2}	$h_{a2} = m$, 对1、2、3型 $h_{a2} = m(2\cos\gamma - 1)$, 对4型
10	蜗轮顶圆直径	d_{e2}	$d_{e2} = m(z_2 + 2x_2) + 3.5h_{a2}$
11	蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = m z_2 - 2(1.2 - x_2)m$
12	蜗轮缘宽	B	$B = m\sqrt{7q - 12.25}$
13	蜗轮齿顶倒角半径	ρ_a	$\rho_a = 0.75m$
14	蜗轮齿圈最小厚度	T	$T = 2m + 1.5$
15	变位系数	x_2	$x_2 = \frac{a - 0.5(d_1 + d_2)}{m} = \frac{a}{m} - \frac{q + z_2}{2}$, a ——中心距 $x_2 = -0.3 \sim 0.25$

对一般动力传动用蜗杆的基本尺寸参数, 我国国家标准(GB10085—88)规定如表13-3-16 (适用于 $m \geq 1\text{mm}$, $\Sigma = 90^\circ$ 的圆柱动力传动蜗杆, 其它蜗杆也应参照执行)。

表13-3-16 蜗杆的基本尺寸和参数

模数 m (mm)	轴向齿距 p_x (mm)	分度圆直径 d_1 (mm)		头数 z_1	直径系数 q	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱 导程角 γ	说明
		第一系列	第二系列						
1	3.141	18	—	1	18.000	20	15.6	$3^\circ 10' 47''$	自锁
1.25	3.927	20	—	1	16.000	22.5	17	$3^\circ 34' 35''$	
		22.4	—	1	17.920	24.0	19.4	$3^\circ 11' 38''$	自锁
1.6	5.027	20	—	1	12.500	23.2	16.16	$4^\circ 34' 26''$	
				2				$9^\circ 05' 25''$	
				4				$17^\circ 44' 41''$	
		28	—	1	17.500	31.2	24.16	$3^\circ 16' 14''$	自锁

(续)

模数 m (mm)	轴向齿距 p_x (mm)	分度圆直径 d_1 (mm)		头数 z_1	直径系数 q	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱 导程角 γ	说明
		第一系列	第二系列						
2	6.283	—	18	1	9.000	22	13.2	6°20'25"	
				2				12°31'44"	
				4				23°57'45"	
		22.4	—	1	11.200	26.4	17.6	5°06'08"	
				2				10°07'29"	
				4				19°39'14"	
				6				28°10'43"	
		—	28	1	14.000	32	23.2	4°05'08"	
				2				8°07'48"	
				4				15°56'43"	
		35.5	—	1	17.750	39.5	30.7	3°13'28"	自锁
		2.5	7.854	—	22.4	1	8.960	27.4	16.4
2	12°34'59"								
4	24°03'26"								
28	—			1	11.200	33	22	5°06'08"	
				2				10°07'29"	
				4				19°39'14"	
				6				28°10'43"	
—	35.5			1	14.200	40.5	29.5	4°01'42"	
				2				8°01'02"	
				4				15°43'55"	
45	—			1	18.000	60	39	3°10'47"	自锁
3.15	9.896			—	28	1	8.889	34.3	20.4
		2	12°40'49"						
		4	24°13'40"						
		35.5	—	1	11.270	41.8	27.9	5°04'15"	
				2				10°03'48"	
				4				19°32'29"	
				6				28°01'50"	
		—	45	1	14.286	51.3	37.4	4°00'15"	
				2				7°58'11"	
				4				15°38'32"	

(续)

模数 m (mm)	轴向齿距 p_x (mm)	分度圆直径 d_1 (mm)		头数 z_1	直径系数 q	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱 导程角 γ	说明			
		第一系列	第二系列									
3.15	9.896	56	—	1	17.778	62.3	48.4	3°13'10"	自锁			
4	12.566	—	31.5	1	7.875	39.5	21.9	7°14'13"				
				2				14°15'09"				
				4				26°55'40"				
		40	—	—	—	1	10.000	48		30.4	5°42'38"	
						2					11°18'36"	
						4					21°48'05"	
						6					30°57'50"	
		—	50	—	—	1	12.500	58		40.4	4°34'26"	
						2					9°03'25"	
						4					17°44'41"	
		71	—	—	—	1	17.750	79		61.4	3°13'28"	自锁
		5	15.708	—	40	1	8.000	50		28	7°07'30"	
2	14°02'10"											
4	26°33'54"											
50	—			—	—	1	10.000	60	38	5°42'38"		
						2				11°18'36"		
						4				21°48'05"		
						6				30°57'50"		
—	63			—	—	1	12.600	73	51	4°32'16"		
						2				9°01'10"		
						4				17°36'45"		
90	—			—	—	1	18.000	100	78	3°16'47"	自锁	
6.3	19.792			—	50	1	7.936	62.6	34.9	7°10'53"		
		2	14°08'39"									
		4	26°44'53"									
		63	—	—	—	1	10.000	75.6	47.9	5°42'38"		
						2				11°18'36"		
						4				21°48'05"		
						6				30°57'50"		
		—	80	—	—	1	12.698	92.6	64.8	4°30'10"		
						2				8°57'02"		

(续)

模数 m (mm)	轴向齿距 P_x (mm)	分度圆直径 d_f (mm)		头数 z_1	直径系数 φ	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱 导程角 γ	说明		
		第一系列	第二系列								
6.3	19.732	—	80	4	12.698	92.6	64.8	17°29'04"			
		112	—	1	17.778	124.6	96.9	3°13'10"	自锁		
8	25.133	—	63	1	7.875	79	43.8	7°14'13"			
				2				14°15'00"			
				4				26°53'40"			
		80	—	—	—	1	10.000	96	60.8	5°42'38"	
						2				11°18'35"	
						4				21°48'05"	
						6				30°57'50"	
		—	100	—	—	1	12.500	116	80.8	4°34'26"	
						2				9°05'25"	
						4				17°44'41"	
		140	—	—	—	1	17.500	156	120.8	3°16'14"	自锁
		10	31.416	—	71	1	7.100	91	47	8°01'02"	
2	15°43'55"										
4	29°23'46"										
90	—			—	—	1	9.000	110	66	6°20'25"	
						2				12°31'44"	
						4				23°57'45"	
						6				33°41'24"	
—	112			—	—	1	11.200	132	88	5°06'08"	
						2				10°07'29"	
						4				19°39'14"	
160	—			—	—	1	16.000	180	136	3°34'35"	
12.5	39.270			—	90	1	7.200	115	60	7°50'26"	
		2	15°31'27"								
		4	29°03'17"								
		112	—	—	—	1	8.960	137	82	6°22'06"	
						2				12°34'59"	
						4				24°03'26"	
		—	140	—	—	1	11.200	165	110	5°06'08"	
						2				10°07'29"	

(续)

模数 m (mm)	轴向齿距 p_x (mm)	分度圆直径 d_t (mm)		头数 z_1	直径系数 q	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱 导程角 γ	说明		
		第一系列	第二系列								
12.5	39.270	—	140	4	11.200	165	110	19°39'14"			
		200	—	1	16.000	225	170	3°34'35"			
16	50.265	—	112	1	7.000	144	73.6	8°07'48"			
				2				15°56'43"			
				4				29°44'42"			
		140	—	1	8.750	172	191.6	6°31'11"			
				2				12°52'30"			
				4				24°34'02"			
		—	180	1	11.250	212	141.6	5°04'47"			
				2				10°04'50"			
				4				19°34'23"			
		250	—	1	15.625	282	211.6	3°39'43"			
		20	62.832	—	140	1	7.000	180	92	8°07'48"	
						2				15°56'43"	
4	29°44'42"										
160	—			1	8.000	200	112	7°07'30"			
				2				14°02'10"			
				4				26°33'54"			
—	224			1	11.200	264	176	5°06'08"			
				2				10°07'29"			
				4				19°39'14"			
315	—			1	15.750	355	267	3°37'59"			
25	78.540			—	180	1	7.200	230	120	7°54'26"	
						2				15°31'27"	
		4	27°03'17"								
		200	—	1	8.000	250	140	7°07'30"			
				2				14°02'10"			
				4				26°33'54"			
		—	280	1	11.200	330	220	5°06'08"			
				2				10°07'29"			
				4				19°39'14"			
		400	—	1	16.000	450	340	3°34'35"			

注: 1. 对ZC蜗杆, d_{a1} 、 d_{f1} 按相应的基准齿形标准确定。
2. 本表中所指的自锁是导程角 γ 小于3°30'的圆柱蜗杆。

表13-3-17 蜗杆、蜗轮参数的匹配

中心距 a (mm)	传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	说明
40	4.83	2	22.4	6	29	-0.100	
	7.25	2	22.4	4	29	-0.100	
	9.5*	1.6	20	4	38	-0.250	
	—	—	—	—	—	—	
	14.5	2	22.4	2	29	-0.100	
	19*	1.6	20	2	38	-0.250	
	29	2	22.4	1	29	-0.100	
	38*	1.6	20	1	38	-0.250	
	49	1.25	20	1	49	-0.500	
	62	1	18	1	62	0.000	自锁
50	4.83	2.5	28	6	29	-0.100	
	7.25	2.5	28	4	29	-0.100	
	9.75*	2	22.4	4	39	-0.100	
	12.75	1.6	20	4	51	-0.500	
	14.5	2.5	28	2	29	-0.100	
	19.5*	2	22.4	2	39	-0.100	
	26.5	1.6	20	2	51	-0.500	
	29	2.5	28	1	29	-0.100	
	39*	2	22.4	1	39	-0.100	
	51	1.6	20	1	51	-0.500	
	62	1.25	22.4	1	62	+0.040	自锁
	—	—	—	—	—	—	
82*	1	18	1	82	0.000	自锁	
63	4.83	3.15	35.5	6	29	-0.1349	
	7.25	3.15	35.5	4	29	-0.1349	
	9.75*	2.5	28	4	39	+0.100	
	12.75	2	22.4	4	51	+0.400	
	14.5	3.15	35.5	2	29	-0.1349	
	19.5*	2.5	28	2	39	+0.100	
	25.5	2	22.4	2	51	+0.400	
	29	3.15	35.5	1	29	-0.1349	

(续)

中心距 a (mm)	传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	说明
63	39*	2.5	28	1	39	+0.100	
	51	2	22.4	1	51	+0.400	
	61	1.6	28	1	61	+0.125	自锁
	67	1.6	20	1	67	-0.375	
	82*	1.25	22.4	1	82	+0.440	自锁
80	5.17	4	40	6	31	-0.500	
	7.75	4	40	4	31	-0.500	
	9.75*	3.15	35.5	4	39	+0.2619	
	13.25	2.5	28	4	53	-0.100	
	15.5	4	40	2	31	-0.500	
	19.5*	3.15	35.5	2	39	+0.2619	
	26.5	2.5	28	2	53	-0.100	
	31	4	40	1	31	-0.500	
	39*	3.15	35.5	1	39	+0.2619	
	53	2.5	28	1	53	-0.100	
	62	2	35.5	1	62	+0.125	自锁
	69	2	22.4	1	69	-0.100	
82*	1.6	28	1	82	+0.250	自锁	
100	5.17	5	50	6	31	-0.500	
	7.75	5	50	4	31	-0.500	
	10.25*	4	40	4	41	-0.500	
	13.25	3.15	35.5	4	53	-0.3889	
	15.5	5	50	2	31	-0.500	
	20.5*	4	40	2	41	-0.500	
	26.5	3.15	35.5	2	53	-0.3889	
	31	5	50	1	31	-0.500	
	41*	4	40	1	41	-0.500	
	53	3.15	35.5	1	53	-0.3889	
	62	2.5	45	1	62	0.000	自锁
	70	2.5	28	1	70	-0.690	
82*	2	35.5	1	82	+0.125	自锁	

(续)

中心距 a (mm)	传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	说明
125	5.17	6.3	63	6	31	-0.6587	
	7.75	6.3	63	4	31	-0.6587	
	10.25*	5	50	4	41	+0.500	
	12.75	4	40	4	51	+0.750	
	15.5	6.3	63	2	31	-0.6587	
	20.5*	5	50	2	41	-0.500	
	25.5	4	40	2	51	+0.750	
	31	6.3	63	1	31	-0.6587	
	41*	5	50	1	41	-0.500	
	51	4	40	1	51	+0.750	
	62	3.15	56	1	62	-0.2063	自锁
	69	3.15	35.5	1	69	-0.4524	
	82*	2.5	45	1	82	0.000	自锁
160	5.17	8	80	6	31	-0.500	
	7.75	8	80	4	31	-0.500	
	10.25*	6.3	63	4	41	-0.1032	
	13.25	5	50	4	53	+0.500	
	15.5	8	80	2	31	-0.500	
	20.5*	6.3	63	2	41	-0.1032	
	26.5	5	50	2	53	+0.500	
	31	8	80	1	31	-0.500	
	41*	6.3	63	1	41	-0.1032	
	53	5	50	1	53	+0.500	
	62	4	71	1	62	+0.125	自锁
	70	4	40	1	70	0.000	
	83*	3.15	56	1	83	+0.4048	自锁
180	—	—	—	—	—	—	
	7.25	10	71	4	29	-0.050	
	9.5*	8	63	4	38	-0.4375	
	12	6.3	63	4	48	-0.4286	
	15.25	5	50	4	61	+0.500	

(续)

中心距 a (mm)	传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	说明
180	18*	8	63	2	38	-0.4375	
	24	6.3	63	2	48	-0.4286	
	30.5	5	50	2	61	+0.500	
	38*	8	63	1	38	-0.4375	
	48	6.3	63	1	48	-0.4286	
	61	5	50	1	61	+0.500	
	71	4	71	1	71	+0.625	自锁
	80*	4	40	1	80	0.000	
200	5.17	10	90	6	31	0.000	
	7.75	10	90	4	31	0.000	
	10.23*	8	80	4	41	-0.500	
	13.25	6.3	63	4	53	+0.246	
	15.5	10	90	2	31	0.000	
	20.5*	8	80	2	41	-0.500	
	26.5	6.3	63	2	53	+0.246	
	31	10	90	1	31	0.000	
	41*	8	80	1	41	-0.500	
	53	6.3	63	1	53	+0.246	
	62	5	90	1	62	0.000	自锁
	70	5	50	1	70	0.000	
82*	4	71	1	82	+0.125	自锁	
225	7.25	12.5	90	4	29	-0.100	
	9.5*	10	71	4	38	-0.050	
	11.75	8	80	4	47	-0.375	
	15.25	6.3	63	4	61	+0.2143	
	19.5*	10	71	2	38	-0.050	
	23.5	8	80	2	47	-0.375	
	30.5	6.3	63	2	61	+0.2143	
	38*	10	71	1	38	-0.050	
	47	8	80	1	47	-0.375	
	61	6.3	63	1	61	+0.2143	

(续)

中心距 a (mm)	传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	说明
225	71	5	90	1	71	+0.500	自锁
	80*	5	50	1	80	0.000	
250	7.75	12.5	112	4	31	+0.020	
	10.25*	10	90	4	41	0.000	
	13	8	80	4	52	+0.250	
	15.5	12.5	112	2	31	+0.020	
	20.5*	10	90	2	41	0.000	
	26	8	80	2	52	+0.250	
	31	12.5	112	1	31	+0.020	
	41*	10	90	1	41	0.000	
	52	8	80	1	52	+0.250	
	61	6.3	112	1	61	+0.2937	
	70	6.3	63	1	70	-0.3175	
	81*	5	90	1	81	+0.500	自锁
	280	7.25	16	112	4	29	-0.500
9.5*		12.5	90	4	38	-0.200	
12		10	90	4	48	-0.500	
15.25		8	80	4	61	-0.500	
19*		12.5	90	2	38	-0.200	
24		10	90	2	48	-0.500	
30.5		8	80	2	61	-0.500	
38*		12.5	90	1	38	-0.200	
48		10	90	1	48	-0.500	
61		8	80	1	61	-0.500	
71		6.3	112	1	71	+0.0556	自锁
80*		6.3	63	1	80	-0.5556	
315	7.75	16	140	4	31	-0.1875	
	10.25*	12.5	112	4	41	+0.220	
	13.25	10	90	4	53	+0.500	
	15.5	16	140	2	31	-0.1875	
	20.5*	12.5	112	2	41	+0.220	

(续)

中心距 a (mm)	传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	说明
315	26.5	10	90	2	53	+0.500	
	31	16	140	1	31	-0.1875	
	41*	12.5	112	1	41	+0.220	
	53	10	90	1	53	+0.500	
	61	8	140	1	61	+0.125	
	69	8	80	1	69	-0.125	
	82*	6.3	112	1	82	+0.1111	自锁
355	7.25	20	140	4	29	-0.250	
	9.5*	16	112	4	38	-0.3125	
	12.25	12.5	112	4	49	-0.580	
	15.25	10	90	4	61	+0.500	
	19*	16	112	2	38	-0.3125	
	24.5	12.5	112	2	49	-0.580	
	30.5	10	90	2	61	+0.500	
	38*	16	112	1	38	-0.3125	
	49	12.5	112	1	49	-0.580	
	61	10	90	1	61	+0.500	
	71	8	140	1	71	+0.125	自锁
	79*	8	80	1	79	-0.125	
400	7.75	20	160	4	31	+0.500	
	10.25*	16	140	4	41	+0.125	
	13.5	12.5	112	4	54	+0.520	
	15.5	20	160	2	31	+0.500	
	20.5*	16	140	2	41	+0.125	
	27	12.5	112	2	54	+0.520	
	31	20	160	1	31	+0.050	
	41*	16	140	1	41	+0.125	
	54	12.5	112	1	54	+0.520	
63	10	160	1	63	+0.500		

(续)

中心距 a (mm)	传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	说明
400	71	10	90	1	71	0.000	
	82*	8	140	1	82	+0.250	自锁
450	7.25	25	180	4	29	-0.100	
	9.75*	20	140	4	39	-0.500	
	12.25	16	112	4	49	+0.125	
	15.75	12.5	112	4	63	+0.020	
	19.5*	20	140	2	39	-0.500	
	24.5	16	112	2	49	+0.125	
	31.5	12.5	112	2	63	+0.020	
	39*	20	140	1	39	-0.500	
	49	16	112	1	49	+0.125	
	63	12.5	112	1	63	+0.020	
	73	10	160	1	73	+0.500	
	81*	10	90	1	81	0.000	
500	7.75	25	200	4	31	+0.500	
	10.25*	20	160	4	41	+0.500	
	13.25	16	140	4	53	+0.375	
	15.5	25	200	2	31	+0.500	
	20.5*	20	160	2	41	+0.500	
	26.5	16	140	2	53	+0.375	
	31	25	200	1	31	+0.500	
	41*	20	160	1	41	+0.500	
	53	16	140	1	53	+0.375	
	63	12.5	200	1	63	+0.500	
	71	12.5	112	1	71	+0.020	
	83*	10	160	1	83	+0.500	

注：1. 有“*”者为基本传动比。

2. 本表中所指的自锁，只有在静止状态和无振动时才能保证。

圆柱蜗杆、蜗轮参数的标记方法示例，

例1 齿形为 ZN_1 ，齿形角 α_{n1} 为 20° ，模数为10mm，分度圆直径为90mm，头数为2的右旋圆柱蜗杆；齿数为80的蜗轮，以及由它们组成的圆柱蜗杆传动。则

蜗杆标记为：蜗杆 $ZN_1 10 \times 90R2$ ；

蜗轮标记为：蜗轮 $ZN_1 10 \times 80$ ；

蜗杆传动标记为： $\frac{ZN_1 10 \times 90R2}{80}$

或 蜗杆传动 $ZN_1 10 \times 90R2/80$ 。

例2 对ZK蜗杆，除按例1规定的标记内容外，还应注明刀具直径 d_0 。若用直径为500mm砂轮磨削的ZK₁蜗杆，则

蜗杆标记为：蜗杆 $ZK_1 10 \times 90R2-500$ ；

蜗轮标记为：蜗轮 $ZK_1 10 \times 80$ ；

蜗杆传动标记为： $\frac{ZK_1 10 \times 90R2 - 500}{80}$

或 蜗杆传动 $ZK_1 10 \times 90R2 - 500/80$ 。

例3 当齿形角不是 20° ，若为 15° 时，则

蜗杆标记为：蜗杆 $ZN_1 10 \times 90R2 \times 15^\circ$

或 蜗杆 $ZK_1 10 \times 90R2 \times 15^\circ - 500$ ；

蜗轮标记为：蜗轮 $ZN_1 10 \times 80 \times 15^\circ$

或 蜗轮 $ZK_1 10 \times 80 \times 15^\circ$ ；

蜗杆传动标记为： $\frac{ZN_1 10 \times 90R2 \times 15^\circ}{80}$

或 蜗杆传动 $ZN_1 10 \times 90R2 \times 15^\circ/80$ ；

$\frac{ZK_1 10 \times 90R2 \times 15^\circ - 500}{80}$

或 蜗杆传动 $ZK_1 10 \times 90R2 \times 15^\circ - 500/80$ 。

表13-3-18 蜗杆法向弦齿厚 \bar{s}_{n1} 及测量用齿高 \bar{h}_{n1}

m (mm)	$q = \frac{d_1}{m}$	d_1 (mm)	蜗 杆 头 数				\bar{h}_{n1} (mm)
			1	2	3	4	
			\bar{s}_{n1} (mm)				
1	28	28	1.57	1.57	1.56	1.55	1.0
	20	20	1.57	1.56	1.55	1.54	
	14	14	1.57	1.55	1.54	1.51	
	9	9	1.56	1.53	1.49	1.44	
1.5	28	42	2.35	2.35	2.34	2.33	1.5
	20	30	2.35	2.34	2.33	2.31	
	14	21	2.35	2.33	2.30	2.28	
	9	13.5	2.34	2.30	2.24	2.15	
2	28	52	3.14	3.13	3.12	3.10	2.0
	19	38	3.14	3.12	3.10	3.07	
	13	26	3.13	3.10	3.06	3.02	
	9	18	3.12	3.07	2.98	2.87	
2.5	24	60	3.92	3.91	3.90	3.88	2.5
	18	45	3.92	3.90	3.88	3.83	
	12	30	3.91	3.88	3.81	3.72	
	8	20	3.90	3.81	3.68	3.51	
3	22	66	4.71	4.69	4.67	4.64	3.0
	17	51	4.70	4.68	4.64	4.56	
	12	36	4.70	4.66	4.57	4.47	
	8	24	4.68	4.57	4.41	4.21	
4	19	76	6.27	6.25	6.21	6.15	4.0
	15	60	6.27	6.23	6.16	6.07	
	11	44	6.26	6.18	6.06	5.90	
	7	28	6.22	6.09	5.78	—	
5	18	90	7.84	7.80	7.77	7.67	5.0
	14	70	7.83	7.77	7.68	7.55	
	10	50	7.82	7.70	7.52	7.29	
	7	35	7.77	7.55	7.22	—	
6	17	102	9.41	9.36	9.28	9.17	6.0
	13	78	9.40	9.32	9.18	9.01	
	9	54	9.37	9.20	8.94	8.61	
	7	42	9.33	9.06	8.65	—	

(续)

m (mm)	$q = \frac{d_1}{m}$	d ₁ (mm)	蜗 杆 头 数				\bar{h}_{n1} (mm)
			1	2	3	4	
			\bar{s}_{n1} (mm)				
8	15	115	12.54	12.46	12.32	12.14	8.0
	11	88	12.51	12.36	12.12	11.81	
	8	64	12.47	12.19	11.77	11.24	
	6	48	12.40	11.92	11.24	—	
10	15	150	15.67	15.57	15.40	15.18	10.0
	11	110	15.64	15.45	15.15	14.76	
	8	80	15.59	15.24	14.71	14.05	
	6	60	15.49	14.90	14.05	—	

注: $\bar{s}_{n1} \approx \frac{\pi m}{2} \cos \gamma$, $\bar{h}_{n1} \approx h^* m$.

表13-3-19 γ 和 \bar{s}_{n1} 值

(mm)

m	d ₁	q	$\gamma = \arctg \frac{z_1 m}{d_1}$				$\bar{s}_{n1} = \frac{\pi m}{2} \cos \gamma$			
			z_1				z_1			
			1	2	4	6	1	2	4	6
1	18	18	3.1798° (3°10'47")				1.568			
2.5	45						3.921			
5	90						7.842			
1.25	22.4	17.92	3.1940° (3°11'38")				1.960			
3.15	56	17.778	3.2195° (3°13'10")				4.940			
6.3	112						9.880			
2	35.5	17.75	3.2245° (3°13'28")				3.137			
4	71						6.273			
1.6	28	17.5	3.2705° (3°16'14")				2.509			
8	140						12.546			
1.25	20	16	3.5763° (3°34'35")				1.960			
10	160						15.677			
12.5	200						19.597			
25	400						39.193			
20	315	15.75	3.6330° (3°37'59")				31.353			
16	250	15.625	3.6619° (3°39'43")				25.081			
3.15	45	14.286	4.0042° (4°00'15")	7.9696° (7°58'11")	15°6422° (15°38'32")		4.926	4.900	4.765	
2.5	35.5	14.20	4.0283° (4°01'42")	8.0171° (8°01'02")	15.7320° (15°43'55")		3.917	3.889	3.780	
2	28	14	4.0856° (4°05'08")	8.1301° (8°07'48")	15.9454° (15°56'43")		3.134	3.110	3.021	
6.3	80	12.698	4.5027° (4°30'10")	8.9506° (8°57'02")	17.4844° (17°29'64")		9.865	9.776	9.439	
5	63	12.6	4.5378° (4°32'16")	9.0193° (9°01'10")	17.6126° (17°36'45")		7.830	7.757	7.486	

(续)

m	d ₁	q	$\gamma = \arctg \frac{\pi m}{d_1}$				$s_{n1} = \frac{\pi m}{2} \cos \gamma$			
			z ₁				z ₁			
			1	2	4	6	1	2	4	6
1.6 4 8	20 50 100	12.6	4.5739° (4°34'28")	9.0903° (9°05'25")	17.7447° (17°44'41")		2.505 6.263 12.526	2.482 6.204 12.409	2.394 5.984 11.969	
31.5	35.5	11.27	5.0707° (5°04'15")	10.0632° (10°03'48")	19.5413° (19°32'29")	28.0366° (28°01'50")	4.929	4.872	4.663	4.368
16	180	11.25	5.0796° (5°04'47")	10.0806° (10°04'50")	19.5731° (19°34'23")		25.034	24.745	23.680	
2 2.5 10 12.5 20 25	22.4 28 112 140 224 280	11.2	5.1022° (5°06'08")	10.1247° (10°07'29")	19.6538° (19°39'14")	28.1786° (28°10'42")	3.129 3.911 15.646 19.557 31.291 33.114	3.093 3.866 15.463 19.329 30.927 38.658	2.959 3.698 14.793 18.490 29.586 36.983	2.769 3.462 13.846 17.308 27.693 34.616
4 5 6.3 8	40 50 63 80	10	5.7106° (5°42'38")	11.3099° (11°18'36")	21.8014° (21°48'05")	30.9638° (30°57'50")	6.252 7.815 9.847 12.504	6.161 7.701 9.704 12.322	5.834 7.292 9.688 11.168	5.388 6.735 8.486 10.776
2 10	18 90	9	6.3402° (6°20'25")	12.5288° (12°31'44")	23.9625° (23°57'45")	33.690° (33°41'34")	3.122 15.612	3.067 15.334	2.871 14.354	2.614 13.070
2.5 12.5	22.4 112	8.96	6.3683° (6°22'06")	12.5830° (12°34'59")	24.0574° (24°03'26")		3.903 19.514	3.833 19.163	3.586 17.929	
3.15	28	8.889	6.4188° (6°25'08")	12.6804° (12°40'49")	24.2277° (24°13'40")		4.917	4.827	4.512	
16	140	8.75	6.5198° (6°31'11")	12.8750° (12°52'30")	24.5672° (24°34'02")		24.970	24.501	22.858	
5 20 25	40 160 200	8	7.1250° (7°07'30")	14.0382° (14°02'10")	26.5651° (26°33'54")		7.793 31.173 39.967	7.619 30.478 38.097	7.025 28.099 35.124	
6.3	50	7.936	7.1814° (7°10'53")	14.1440° (14°08'39")	26.7481° (26°44'53")		9.818	9.596	8.837	
4 8	31.5 63	7.875	7.2369° (7°14'13")	14.2500° (14°15'00")	26.9277° (26°55'40")		6.233 12.466	6.090 12.180	5.602 11.204	
12.5 25	90 180	7.2	7.9072° (7°54'26")	15.5241° (15°31'27")	29.0546° (29°03'17")		19.448 38.896	18.919 37.838	17.164 34.328	
10	71	7.1	8.0171° (8°01'02")	15.7320° (15°43'55")	29.3960° (29°23'46")		15.554	15.120	13.686	
16 20	112 140	7	8.1301° (8°07'48")	15.9454° (15°56'43")	29.7449° (29°44'42")		24.880 31.100	24.166 30.207	21.821 27.277	

注：表中 s_{n1} 是编者根据表13-3-18进行计算的。

(二) 变位普通圆柱蜗杆传动的几何计算

为了凑配中心距、改变传动比、避免蜗轮根切、提高蜗杆承载能力以及改善啮合性能等目的，常采用变位的蜗杆传动。

若按切削变位蜗杆蜗轮时刀具的切削位置改变的方式来分类，可以分为径向变位和切向变位两种。

1. 径向变位

切削蜗轮时，若将蜗轮滚刀（或飞刀）轴线的位位置相对切削标准蜗轮的位置，沿蜗轮毛坯径向向外移或内移一个距离（ x_2m ），见图13-3-1，这样切削出来的蜗轮称为径向变位蜗轮，这种变位方式称为径向变位。

现以阿基米德蜗杆的啮合为例来分析蜗杆传动的变位。在蜗轮中间平面上，将蜗杆副看作渐开线

齿轮与齿条的啮合。因此，变位时可以按齿轮齿条传动的变位，即高度变位啮合来计算。由于蜗杆相当于齿条，所以径向变位时只对其蜗轮进行变位，蜗杆的所有几何尺寸均不改变，只改变其节圆直径，蜗杆分度圆与节圆不再重合： $d_1 \neq d_1'$ 。而蜗轮的齿顶高 h_{a2} 、齿根高 h_{f2} 及喉圆直径 d_{a2} 、齿根圆直径 d_{f2} 均要改变，但齿高 h_2 不改变；当齿数 z_2 不变时，蜗轮节圆直径 d_2' 也不改变。因为是高度变位啮合，其分度圆与节圆是重合的： $d_2 = d_2'$ ，但蜗轮与蜗杆的分度圆不再相切。

如图13-3-1所示，当蜗杆尺寸已定时，可以通过蜗轮变位来达到一定的目的。

(1) 凑配中心距 在设备维修中，传动零件更换时，常常碰到凑配中心距的问题。比如，受刀具的限制，将英制蜗杆副改为模数蜗杆副时，就需要凑配中心距。

在变位前后蜗轮齿数不变（ $z_2' = z_2$ ），只改变中

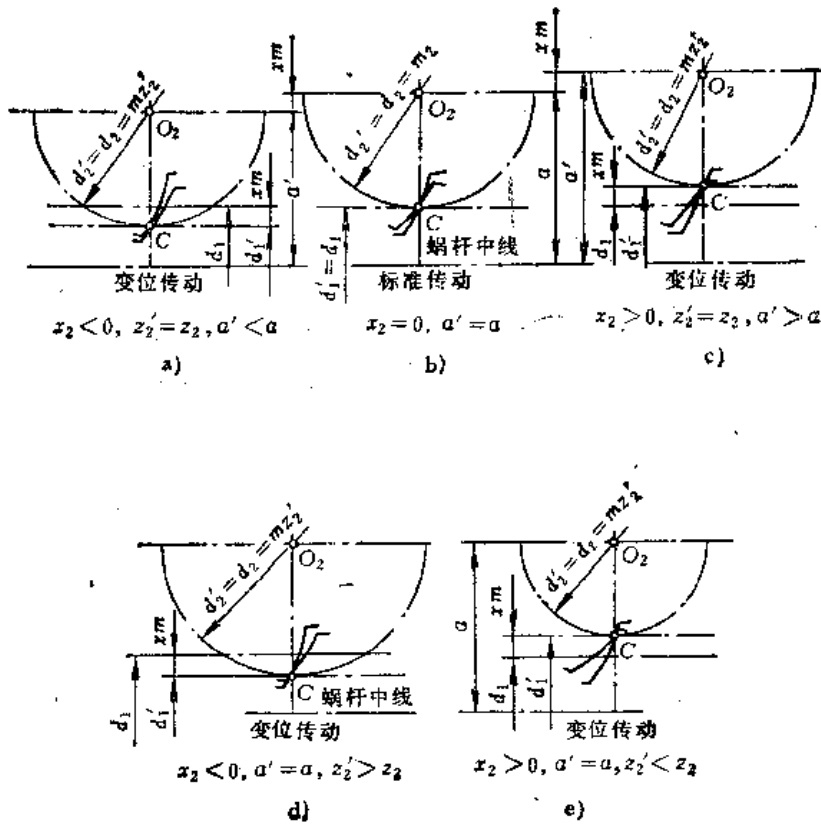


图13-3-1 蜗杆传动的径向变位

心距 ($a' \neq a$) 时 (如图13-3-1a和c),

$$\therefore a = \frac{m}{2}(z_1 + z_2)$$

$$a' = \frac{m}{2}(z_1 + z_2 + 2x_2) = a + x_2 m$$

$$\therefore x_2 = \frac{a' - a}{m}$$

当 $a' - a > 0$ 时, 变位系数 x_2 为正值, 切削蜗轮的刀具轴线移离蜗轮中心, 见图c。当 $a' - a < 0$ 时, 变位系数 x_2 为负值, 切削蜗轮的刀具轴线移近蜗轮中心。

(2) 改变传动比 变位前后, 当中心距不变 ($a' = a$) 时, 可改变蜗轮的齿数 ($z_2' > z_2$ 或 $z_2' < z_2$), 以得到不同的速比。齿数的变化关系如下:

$$z_2' = z_2 - 2x$$

当 $z_2' > z_2$ 时, $x_2 < 0$, 蜗轮负变位 (图13-3-2a)。

当 $z_2' < z_2$ 时, $x_2 > 0$, 蜗轮正变位 (图13-3-2e)。

采用这种变位时, 齿数 z_2' 的选择是有一定限制的, z_2' 增大可能引起蜗轮齿顶变尖, z_2' 减少可能引起蜗轮根切, 所以蜗轮齿数的增减量一般限制在 ± 1 , 个别情况允许 ± 2 。

(3) 避免蜗轮根切或提高蜗轮承载能力 当蜗轮齿数 z_2 过少, 即 $z_2 < z_{2\min}$ 时, 蜗轮产生轮齿根切现象, 详见本章第二节 (二) 1, 如切削蜗轮时采用适当正变位, 就可避免轮齿根切, 其变位系数 x_2 的最小值为

$$x_{2\min} = \frac{h_{a0}}{m} - \frac{z_2 \sin^2 \alpha}{2}$$

式中 h_{a0} ——刀具的齿顶高。

采用蜗轮正变位, 还可使其齿形曲率半径增大, 从而达到加强蜗轮轮齿接触强度, 提高蜗轮承载能力的目的。

综合起来, 考虑到蜗轮齿顶变尖、根切和蜗轮滚刀的有效长度等因素的限制, 蜗轮的变位系数 x_2 一般取在 ± 0.5 的范围内, 个别情况取在 ± 1 范围内。

2. 切向变位

将蜗杆分度圆轴向齿厚相对标准传动蜗杆的分

度圆轴向齿厚增大或减小, 同时将蜗轮的分度圆端面齿厚相对标准传动的蜗轮端面齿厚减小或增大相应的数量, 以保证正常啮合侧隙, 这种变位方法就是切向变位。

如图13-3-2所示, 虚线表示切向变位后的齿廓。切向变位的蜗轮、蜗杆仅齿厚有所改变, 其它几何尺寸均不作相应改变。

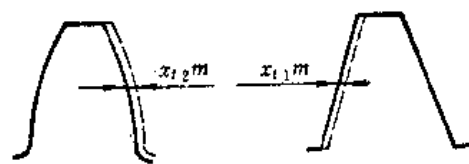


图13-3-2 蜗杆传动的切向变位

x_{t1} —蜗杆切向变位系数

x_{t2} —蜗轮切向变位系数

应用这种方法, 能够调整轮齿强度。一般推荐蜗杆的切向变位系数取 $x_{t1} = -0.2 \text{tg} \alpha_x$, 而蜗轮的切向变位系数取 $x_{t2} = +0.2 \text{tg} \alpha_x$, 这样减小蜗杆齿厚来增大蜗轮齿厚, 以使蜗轮与蜗杆的使用寿命更接近。切向变位后, 蜗杆在分度圆柱上的轴向齿厚

$$s_{x1} = \frac{\pi m}{2} - 0.2 m \text{tg} \alpha_x$$

$$\text{齿厚 } s_{x2} = \frac{\pi m}{2} + 0.2 \text{tg} \alpha_x$$

切向变位法也可以用来对已磨损的蜗杆副进行修复。在蜗杆磨损不太严重的情况下, 可用切向变位法将蜗杆齿厚修薄, 再重新配制一个加大齿厚的蜗轮, 来恢复蜗杆副的精度; 同样, 也可用负切向变位法修薄磨损了的蜗轮, 并重新配制加大齿厚的蜗杆。但后者在轮齿强度分配方面往往是不合理的。

因此, 如何采用切向变位法, 要根据具体情况分析。一般说来, 在受到加工条件或材料的限制, 不便更换蜗轮时, 才考虑对蜗轮采用负的切向变位法进行蜗杆副的修复。

设计变位蜗杆传动时, 可以同时采用径向变位法和切向变位法。

3. 变位普通圆柱蜗杆传动的几何计算

表13-3-20 变位普通圆柱蜗杆传动的几何计算

序号	参数名称	代号	计算公式	举例计算
1	蜗杆头数	z_1	按设计确定	$z_1 = 2$
2	蜗轮齿数	z_2	按设计确定 (参照表13-3-17)	$z_2 = 51$
3	蜗杆轴向 (蜗轮端面) 模数	m	按表13-4-3选用	$m = 4 \text{ mm}$
4	蜗杆分度圆直径	d_1	按表13-3-16或13-4-7选用	$d_1 = 40 \text{ mm}$
5	蜗杆直径系数	q	$q = \frac{d_1}{m} = \frac{2a'}{m} - z_2 - 2x_2$	$q = 10$
6	蜗杆导程角	γ	$\gamma = \arctg \frac{z_1 m}{d_1} = \arctg \frac{z_1}{q}$, 查表13-3-15	$\gamma = 11.3099^\circ (11^\circ 18' 36'')$
7	法向模数	m_n	$m_n = m \cos \gamma$	$m_n = 3.922 \text{ mm}$
8	传动比	i	$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}$ (蜗杆为主动时)	$i = 25.5$
9	齿数比	u	$u = \frac{z_2}{z_1} > 1$	$u = 25.5$
10	蜗杆齿形角			ZN型法向直廓
11	蜗杆法向齿形角	α_n	表13-3-1, 13-2-6	$\alpha_n = 15^\circ$
12	蜗杆轴向齿形角	α_x	表13-3-1, 13-2-6	$\alpha_x = 15.2833^\circ (15^\circ 17' 00'')$
13	设计中心距	a'	按设计确定或 $a' = \frac{m(z_2 + q + 2x_2)}{2}$	$a' = 125 \text{ mm}$
14	非变位中心距	a	$a = \frac{m(z_2 + q)}{2}$	$a = 122 \text{ mm}$
15	蜗轮变位系数	x_2	$x_2 = \frac{a' - a}{m} = \frac{a' - z_2 + q}{2}$	$x_2 = 0.75$
16	齿顶高系数	h_a^*	表13-3-1, 或表13-3-2	$h_{a1}^* = h_{a2}^* = 1$
17	顶隙系数	c^*	表13-3-1或13-3-2	$c^* = 0.196$
18	蜗杆齿顶高	h_{a1}	$h_{a1} = h_a^* m$	$h_{a1} = 4 \text{ mm}$
19	蜗杆齿根高	h_{f1}	$h_{f1} = (h_a^* + c^*) m$	$h_{f1} = 4.784 \text{ mm}$
20	蜗杆齿高	h_1	$h_1 = h_{a1} + h_{f1}$	$h_1 = 8.784 \text{ mm}$
21	蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$	$d_{a1} = 48 \text{ mm}$
22	蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}$	$d_{f1} = 30.432 \text{ mm}$
23	蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = \pi m$	$p_x = 12.566 \text{ mm}$
24	蜗杆法向齿距	p_n	$p_n = p_x \cos \gamma$	$p_n = 12.322 \text{ mm}$
25	蜗杆导程	p_z	$p_z = z_1 p_x$	$p_z = 25.133 \text{ mm}$
26	蜗杆齿宽	b_1	表13-3-21	$b_1 = 66 \text{ mm}$
27	蜗杆轴向齿厚	s_{x1}	$s_{x1} = \frac{\pi m}{2}$ ①	$s_{x1} = 6.283 \text{ mm}$
28	蜗杆法向齿厚	s_{n1}	$s_{n1} = s_x \cos \gamma$	$s_{n1} = 6.161 \text{ mm}$
29	蜗杆法向弦齿厚	\bar{s}_{n1}	$\bar{s}_{n1} \approx s_{n1}$, 查表13-3-19	$\bar{s}_{n1} \approx 6.16 \text{ mm}$
30	蜗杆测量 \bar{s}_{n1} 用齿高	\bar{h}_{n1}	$\bar{h}_{n1} \approx h_{a1}$	$\bar{h}_{n1} \approx 4 \text{ mm}$
31	蜗杆节圆直径	d_1'	$d_1' = d_1 + 2x_2 m = 2a' - d_2'$	$d_1' = 46 \text{ mm}$
32	蜗轮分度 (节) 圆直径	$d_2(d_2')$	$d_2 = d_2' = z_2 m$	$d_2 = d_2' \approx 204 \text{ mm}$
33	蜗杆节圆柱导程角	γ'	$\gamma' = \arctg \frac{z_1 m}{d_1'}$	$\gamma' = 9.8658^\circ (9^\circ 51' 57'')$

(续)

序号	参数名称	代号	计算公式	举例计算
34	蜗轮齿顶高	h_{a2}	$h_{a2} = m (h_a^* + x_2)$	$h_{a2} = 7 \text{ mm}$
35	蜗轮齿根高	h_{f2}	$h_{f2} = m (h_a^* + c^* - x_2)$	$h_{f2} = 1.784 \text{ mm}$
36	蜗轮齿高	h_2	$h_2 = h_{a2} + h_{f2}$	$h_2 = 8.784 \text{ mm}$
37	蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$	$d_{a2} = 218 \text{ mm}$
38	蜗轮顶圆直径	d_{e2}	表13-3-4	$d_{e2} = 224 \text{ mm}$
39	蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$	$d_{f2} = 200.5 \text{ mm}$
40	蜗轮咽喉母圆半径	r_{g2}	$r_{g2} = a' - \frac{1}{2} d_{a2} = \frac{1}{2} d_{f1} + c^* m$	$r_{g2} = 16 \text{ mm}$
41	蜗轮齿根圆环面半径	r_{gf}	$r_{gf} = a' - \frac{1}{2} d_{f2} = r_{g2} + h_{f2}$	$r_{gf} = 24.75 \text{ mm}$
42	蜗轮齿宽	b_2	由设计前定或查表13-3-4	$b_2 = 36 \text{ mm}$
43	蜗轮齿宽角	θ	$\theta = 2 \arcsin \frac{b_2}{d_1}$	$\theta = 128^\circ$
44	蜗轮螺旋角	β	$\beta = \gamma'$	$\beta = 9.8658^\circ$
45	蜗轮分度圆齿厚	s_{f2}	$s_{f2} = \frac{\pi m}{2} + 2x_2 m \operatorname{tg} \alpha_x$ ①	$s_{f2} = 7.92 \text{ mm}$
46	蜗轮分度圆弦齿厚	\bar{s}_{f2}	$\bar{s}_{f2} \approx s_{f2} \left(1 - \frac{s_{f2}^2}{6 d_2^2} \right)$	$\bar{s}_{f2} \approx 7.92 \text{ mm}$
47	蜗轮分度圆法向弦齿厚	\bar{s}_{n2}	$\bar{s}_{n2} \approx \bar{s}_{f2} \cos \beta$	$\bar{s}_{n2} \approx 7.80 \text{ mm}$
48	蜗轮分度圆弦齿高	\bar{h}_{a2}	$\bar{h}_{a2} = h_{a2} + \frac{s_{f2}^2}{4d_2}$	$\bar{h}_{a2} = 7.08 \text{ mm}$
49	蜗轮测量 \bar{s}_{n2} 用齿高	\bar{h}_{n2}	$\bar{h}_{n2} = h_{a2} + \frac{s_{f2}^2 \cos^4 \beta}{4d_2}$	$\bar{h}_{n2} = 7.07 \text{ mm}$

注：表中公式适用于ZA, ZI, ZN各种蜗杆。

① 同时采用径向变位和切向变位时， s_{x1} 可采用公式： $s_{x1} = \frac{\pi m}{2} - 0.2 m \operatorname{tg} \alpha_{x1}$ ，这时 s_{f2} 相应的采用公式：

$$s_{f2} = \frac{\pi m}{2} + 0.2 m \operatorname{tg} \alpha_{x1} + 2x_2 m \operatorname{tg} \alpha_{x1}$$

表13-3-21 蜗杆齿宽 b 推荐表

x_2	z_1	1和2	3和4
-1		$b_1 \geq (10.5 + z_1) m$	$b_1 \geq (10.5 + z_1) m$
-0.5		$b_1 \geq (8 + 0.06z_2) m$	$b_1 \geq (9.5 + 0.09z_2) m$
0		$b_1 \geq (11 + 0.06z_2) m$	$b_1 \geq (12.5 + 0.09z_2) m$
0.5		$b_1 \geq (11 + 0.1z_2) m$	$b_1 \geq (12.5 + 0.1z_2) m$
1		$b_1 \geq (12 + 0.1z_2) m$	$b_1 \geq (13 + 0.1z_2) m$

(三) 蜗杆斜齿轮传动的几何计算

在机械设备中，有一些传动精度要求不高，受力不大，速度较低的地方及一些手调整机构中，有时采用蜗杆斜齿轮传动，因为斜齿轮的加工不需要专用的蜗轮滚刀，蜗杆斜齿轮传动的装卸也较蜗轮蜗杆传动更容易。但蜗轮的分度曲面是圆环面，而斜齿轮的分度曲面是圆柱面，蜗轮蜗杆啮合时，齿面呈线接触状态，而斜齿轮与蜗杆啮合时，齿面呈点接触状态，因而接触应力大，磨损严重，所以不适合动力传动和精密传动机构。某些机床的进给机构、滚齿机刀架回转机构中，有这种应用实例。

设备维修中，有时遇到如下的情况：蜗杆的导

程角 γ 不大，传动精度要求不高，受力不大，速度不高，而又急需更换蜗轮时，也可采用斜齿轮代替蜗轮的方法。

蜗杆斜齿轮传动的法向模数 m_n 取标准值，则轴向模数 m 的值不标准，使得蜗杆的轴向齿距 $p_x = \pi m$ 数值也不标准，这给蜗杆车削时挂轮的搭配带来困难，所以在蜗杆导程角 γ 不大、传动精度要求不高时，仍按标准螺距搭配挂轮。如果精度要求很高，就要在螺纹磨床上用螺距校正装置磨削蜗杆。

蜗杆斜齿轮传动的几何计算与普通圆柱蜗杆传动的区别在于蜗杆斜齿轮传动取法向参数为标准值，而普通圆柱蜗杆传动取轴向参数为标准值，详见表13-3-22。

表13-3-22 蜗杆斜齿轮传动的几何计算

序号	所求参数	代号	计算公式	例: $m_n = 3, \gamma = 12,$ $z_1 = 1, z_2 = 42, h_a^* = 1$ $c^* = 0.25, \alpha_{n1} = 20^\circ$ 法向 直廓
1	蜗杆分度圆导程角	γ	$\gamma = \arctg \frac{z_1}{q}$	$\gamma = 4^\circ 45' 49''$
2	蜗杆轴向模数 (斜齿轮端面模数)	m	$m = \frac{m_n}{\cos \gamma}$	$m = 3.01$
3	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = wq = \frac{m_n z_1}{\sin \gamma}$	$d_1 = 36.12$
4	蜗杆顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_a^* m_n$	$d_{a1} = 42.12$
5	蜗杆根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2(h_a^* + c^*) m_n$	$d_{f1} = 28.62$
6	螺纹部分长度	b_1	$b_1 = 2(1 + \sqrt{z_2}) m$ $b_{1min} \geq 10m$	$b_1 = 45.03$ 取 $b_1 = 45$
7	蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = \pi m$	$p_x = 9.456$
8	蜗杆导程	p_z	$p_z = p_x z_1$	$p_z = 9.456$
9	蜗杆分度圆法向弦齿厚	\bar{s}_{n1}	$\bar{s}_{n1} \approx \frac{1}{2} \pi m_n$	$\bar{s}_{n1} \approx 4.71$
10	蜗杆分度圆法向弦齿高	\bar{h}_{n1}	$\bar{h}_{n1} \approx h_a^* m_n$	$\bar{h}_{n1} \approx 3$
11	斜齿轮分度圆直径	d_2	$d_2 = m z_2$	$d_2 = 126.42$
12	斜齿轮顶圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_a^* m_n$	$d_{a2} = 132.42$
13	斜齿轮齿高	h_2	$h_2 = (2h_a^* + c^*) m_n$	$h_2 = 6.75$
14	斜齿轮宽	B	B 取 $(6 \sim 10) m$	取 $B = 25$
15	斜齿轮螺旋角	β	$\beta = \gamma$	$\beta = 4^\circ 45' 49''$
16	斜齿轮公法线长度	W_k	W_k 查第十二章	$W_k = 41.6376$ $n = 5$
17	中心距	a	$a = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) = \frac{m_n}{2 \cos \gamma} (z_1 + z_2)$	$a = 81.27$

注：表中长度单位均为 mm。

(四) 参考表格

表13-3-23 蜗杆分度圆直径 d_1 和齿顶圆直径 d_{a1} (mm)

m	1	1.5	2	2.5	3	(3.5)	4	(4.5)	5	6	(7)			
q	14	14	13	12	12	12	11	11	10	(12)	9	(11)	9	(11)
$d_1 = qm$	14	21	26	30	36	42	44	49.5	50	(60)	54	(66)	63	(77)
d_{a1}	16	24	30	35	42	49	52	58.5	60	(70)	66	(78)	(77)	(81)
m	8	(9)	10	12	14	16	18	20	25	(30)				
q	8	(11)	8	(11)	8	(11)	8	(11)	9	9	8	8	8	8
$d_1 = qm$	64	(88)	72	(99)	80	(110)	96	(132)	126	144	144	160	200	240
d_{a1}	80	(104)	90	(117)	100	(130)	120	(156)	154	176	180	200	250	300

注：括号中的数值尽可能不采用。

表13-3-24 蜗杆在分度圆上的导程角 γ

$q \backslash z_1$	1	2	3	4
6	9°27'44"	18°26'06"	26°33'54"	—
7	8°07'48"	15°55'43"	23°11'55"	—
8	7°07'30"	14°02'10"	20°33'22"	26°33'54"
9	6°20'25"	12°31'44"	18°26'06"	23°57'45"
10	5°42'38"	11°18'36"	16°41'57"	21°48'05"
11	5°11'40"	10°18'17"	15°15'18"	19°58'59"
12	4°45'49"	9°27'44"	14°02'10"	18°26'06"
13	4°23'55"	8°44'46"	12°59'41"	17°06'10"
14	4°05'08"	8°07'48"	12°05'41"	15°56'43"
15	3°48'51"	7°35'41"	11°18'36"	14°55'53"
16	3°34'36"	7°07'30"	10°37'11"	14°02'10"
17	3°21'59"	6°42'35"	10°00'29"	13°14'26"
18	3°10'47"	6°20'25"	9°27'44"	12°31'44"
19	3°00'46"	6°00'32"	8°58'21"	11°53'19"
20	2°51'46"	5°42'38"	8°31'51"	11°18'36"
22	2°36'09"	5°11'40"	7°45'55"	10°18'17"
24	2°23'09"	4°45'49"	7°07'30"	9°27'44"
26	2°12'09"	4°23'55"	6°34'55"	8°44'46"
28	2°02'44"	4°05'08"	5°06'56"	8°07'48"

表13-3-25 DIN (3976-1980) 蜗杆传动的中心距和传动比系列 (推荐值)

(符号的含义, d_1 为蜗杆分度圆直径; z_1 为蜗杆的齿数; γ 为蜗杆的导程角; z_2 为蜗轮齿数; x_2 为蜗轮齿廓的变位系数)

中心距 a	传动比 i	模数 m	d_1	z_1	γ	z_2	x_2	备注
50	4.83	2.5	26.5	6	29.5115°	29	+0.200	
	7.25	2.5	26.5	4	20.6742°	29	+0.200	
	9.5*	2	22.4	4	19.6536°	38	+0.400	
	—	—	—	—	—	—	—	
	14.5	2.5	26.5	2	10.6847°	29	+0.200	
	19*	2	22.4	2	10.1248°	38	+0.400	
	—	—	—	—	—	—	—	
	29	2.5	26.5	1	5.3891°	29	+0.200	
	38*	2	22.4	1	5.1022°	38	+0.400	
	—	—	—	—	—	—	—	
	62	1.25	22.4	1	3.1939°	62	+0.400	自锁①
	83*	1	17	1	3.3664°	83	+0.000	自锁
—	—	—	—	—	—	—		
63	4.83	3.15	33.5	6	29.4308°	29	+0.1825	
	7.25	3.15	33.5	4	20.6119°	29	+0.1825	
	9.75*	2.5	26.5	4	20.6742°	39	+0.400	
	12.75	2	22.4	4	19.6536°	51	+0.400	
	14.5	3.15	33.5	2	10.6506°	29	+0.1825	
	19.5*	2.5	26.5	2	10.6847°	39	+0.400	
	25.5	2	22.4	2	10.1248°	51	+0.400	
	29	3.15	33.5	1	5.3717°	29	+0.1825	
	39	2.5	26.5	1	5.3891°	39	+0.400	
	51	2	22.4	1	5.1022°	51	+0.400	
	61	1.6	28	1	3.2705°	61	+0.125	自锁
	82*	1.25	22.4	1	3.1939°	82	+0.440	自锁
109	1	17	1	3.3664°	109	0.000	自锁	
80	5	4	40	6	30.9638°	30	0.000	
	7.5	4	40	4	21.8014°	30	0.000	
	10*	3.15	33.5	4	20.6119°	40	+0.0794	
	13.25	2.5	26.5	4	20.6742°	53	+0.200	

(续)

中心距 a	传动比 i	模数 m	d_1	z_1	γ	z_2	x_2	备注
80	15	4	40	2	11.3100°	30	0.000	
	20*	3.15	33.5	2	10.6506°	40	+0.0794	
	26.5	2.5	26.5	2	10.6847°	53	+0.200	
	30	4	40	1	5.7106°	30	0.000	
	40*	3.15	33.5	1	5.3717°	40	+0.0794	
	53	2.5	26.5	1	5.3891°	53	+0.200	
	62	2	35.5	1	3.2245°	62	+0.125	自锁
	82*	1.6	28	1	3.2705°	82	+0.250	自锁
	110	1.25	22.4	1	3.1939°	110	+0.040	自锁
100	5	5	50	6	30.9638°	30	0.000	
	7.5	5	50	4	21.8014°	30	0.000	
	10*	4	40	4	21.8014°	40	0.000	
	13	3.15	33.5	4	20.6119°	52	+0.4286	
	15	5	50	2	11.3100°	30	0.000	
	20*	4	40	2	11.3100°	40	0.000	
	26	3.15	33.5	2	10.6506°	52	+0.4286	
	30	5	50	1	5.7106°	30	0.000	
	40*	4	40	1	5.7106°	40	0.000	
125	52	3.15	33.5	1	5.3717°	52	+0.4286	
	63	2.5	42.5	1	3.3665°	63	0.000	自锁
	82*	2	35.5	1	3.2245°	82	+0.125	自锁
	107	1.6	28	1	3.2705°	107	+0.250	自锁
	4.83	6.3	63	6	30.9638°	29	+0.3413	
	7.25	6.3	63	4	20.8014°	29	+0.3413	
	10*	5	50	4	21.8014°	40	0.000	
	13	4	40	4	21.8014°	52	+0.250	
	14.5	6.3	63	2	11.3100°	29	+0.3413	
	20*	5	50	2	11.3100°	40	0.000	
	26	4	40	2	11.3100°	52	+0.250	
	29	6.3	63	1	5.7106°	29	+0.3413	
	40*	5	50	1	5.7106°	40	0.000	
52	4	40	1	5.7106°	52	+0.250		

(续)

中心距 a	传动比 i	模数 m	d_1	z_1	γ	z_2	x_2	备注
125	62	3.15	53	1	3.4011°	62	+0.1111	自锁
	83*	2.5	42.5	1	3.3665°	83	0.000	自锁
	107	2	35.5	1	3.2245°	107	+0.125	自锁
160	5	8	80	6	30.9638°	30	0.000	
	7.5	8	80	4	21.8014°	30	0.000	
	10*	6.3	63	4	21.8014°	40	+0.3968	
	13.5	5	50	4	21.8014°	54	0.000	
	15	8	80	2	11.3190°	30	0.000	
	20*	6.3	63	2	11.3190°	40	+0.3968	
	27	5	50	2	11.3190°	54	0.000	
	30	8	80	1	5.7106°	30	0.000	
	40*	6.3	63	1	5.7106°	40	+0.3968	
	54	5	50	1	5.7106°	54	0.000	
	63	4	67	1	3.4167°	63	+0.125	自锁
	84*	3.15	53	1	3.4011°	84	+0.381	自锁
	111	2.5	42.5	1	3.3665°	111	0.000	自锁
200	5	10	95	6	32.2756°	30	+0.250	
	7.5	10	95	4	22.8336°	30	+0.250	
	10*	8	80	4	21.8014°	40	0.000	
	13.25	6.3	63	4	21.8014°	53	+0.246	
	15	10	95	2	11.8886°	30	+0.250	
	20*	8	80	2	11.3190°	40	0.000	
	26.6	6.3	63	2	11.3190°	53	+0.246	
	30	10	95	1	6.0089°	30	+0.250	
	40*	8	80	1	5.7106°	40	0.000	
	53	6.3	63	1	5.7106°	53	+0.246	
	63	5	85	1	3.3665°	63	0.000	自锁
	83*	4	67	1	3.4167°	83	+0.125	自锁
	110	3.15	53	1	3.4011°	110	+0.0794	自锁
250	7.75	12.5	112	4	24.0572°	31	0.020	
	10*	10	95	4	22.8336°	40	+0.250	
	13	8	80	4	21.8014°	52	+0.250	

(续)

中心距 a	传动比 i	模数 m	d_1	z_1	γ	z_2	x_2	备注
250	15.5	12.5	112	2	12.5831°	31	0.020	
	20*	10	95	2	11.8886°	40	+0.250	
	26	8	80	2	11.3100°	52	+0.250	
	31	12.5	112	1	6.3684°	31	+0.020	
	40*	10	95	1	6.0089°	40	+0.250	
	52	8	80	1	5.7106°	52	+0.250	
	61	6.3	1.12	1	3.2195°	61	+0.2937	自锁
	83*	5	85	1	3.3665°	83	0.000	自锁
108	4	67	1	3.4167°	108	+0.125	自锁	
315	7.5	16	140	4	24.5670°	30	+0.3125	
	10.25*	12.5	112	4	24.0572°	41	+0.220	
	13.25	10	95	4	22.8336°	53	+0.250	
	15	16	140	2	12.8753°	30	+0.3125	
	20.5*	12.5	112	2	12.5831°	41	+0.220	
	26.5	10	95	2	11.8886°	53	+0.250	
	30	16	140	1	6.5198°	30	+0.3125	
	41*	12.5	112	1	6.3684°	41	+0.220	
	53	10	95	1	6.0089°	53	+0.250	
	61	8	140	1	3.2705°	61	+0.125	自锁
	82*	6.3	112	1	3.2195°	82	+0.1111	自锁
109	5	85	1	3.3665°	109	0.000	自锁	
400	7.75	20	170	4	25.2011°	31	+0.250	
	10.25*	16	140	4	24.5670°	41	+0.125	
	13.75	12.5	112	4	24.0572°	55	+0.020	
	15.5	20	170	2	13.2405°	31	+0.250	
	20.5*	16	140	2	12.8753°	41	+0.125	
	27.5	12.5	112	2	12.5831°	55	+0.020	
	31	20	170	1	6.7097°	31	+0.250	
	41*	16	140	1	6.5198°	41	+0.125	
	55	12.5	112	1	6.3684°	55	+0.020	
	63	10	170	1	3.3665°	63	0.000	自锁
	82*	8	140	1	3.2705°	82	+0.250	自锁

(续)

中心距 a	传动比 i	模数 m	d_1	z_1	γ	z_2	x_2	备注
400	109	6.3	112	1	3.2195°	109	+0.1032	自锁
500	10.25*	20	170	4	25.2011°	41	+0.250	
	13.25	16	140	4	24.5670°	53	+0.375	
	20.5*	20	170	2	13.2405°	41	+0.250	
	26.5	16	140	2	12.8753°	53	+0.375	
	41*	20	170	1	6.7097°	41	+0.250	
	53	16	140	1	6.5193°	53	+0.375	
	63	12.5	212	1	3.3744°	63	+0.200	自锁
	83*	10	170	1	3.3665°	83	0.000	自锁
107	8	140	1	3.2705°	107	+0.250	自锁	

注：有*为基本传动比。表中长度单位为mm。

① 自锁条件为静止状态或无振动状态。

表13-3-26 日本JISB圆柱蜗轮副的尺寸

中心距 a	齿数比 i	轴向模数 m	蜗杆头数 z_1'	蜗轮齿数 z_2	蜗杆节圆直径 d_1	蜗轮节圆直径 d_2	蜗杆特性系数 q	变位系数 x_2	导程角 γ	
40	7	2.00	4	28	25.00	66.00	12.50	-0.250	17°44'41"	
	9	1.60	4	36	22.40	57.60	14.00	0	15°56'43"	
	12.5	1.25	4	50	18.00	62.50	14.40	-0.200	15°31'27"	
	14	2.00	2	28	25.00	56.00	12.50	-0.250	9°5'25"	
	18*	1.60	2	36	22.40	57.60	14.00	0	8°7'48"	
	25	1.25	2	50	18.00	62.50	14.40	-0.200	7°54'26"	
	28*	2.00	1	28	25.00	56.00	12.50	-0.250	4°34'26"	
	36*	1.60	1	36	22.40	57.60	14.00	0	4°5'8"	
	50	1.25	1	50	18.00	62.50	14.40	-0.200	3°58'21"	
	64	1.00	1	64	16.00	64.00	16.00	0	3°34'35"	
	50	7	2.50	4	28	31.50	70.00	12.60	-0.300	17°36'45"
		9.5*	2.00	4	38	25.00	76.00	12.50	-0.250	17°44'41"
12		1.60	4	48	22.40	76.80	14.00	0.250	15°56'43"	
14		2.50	2	28	31.50	70.00	12.60	-0.300	9°1'10"	
19*		2.00	2	38	25.00	76.00	12.50	-0.250	9°5'25"	
24		1.60	2	48	22.40	76.80	14.00	0.250	8°7'48"	
28*		2.50	1	28	31.50	70.00	12.60	-0.300	4°32'16"	
38*		2.00	1	38	25.00	76.00	12.50	-0.250	4°34'26"	
48		1.30	1	48	22.40	76.80	14.00	0.250	4°5'8"	
66		1.25	1	66	18.00	82.50	14.40	-0.200	3°58'21"	

(续)

中心距 a	齿数比 i	轴向模数 m	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗杆节圆直径 d_1	蜗轮节圆直径 d_2	蜗杆特性系数 γ	变位系数 x_2	导程角 γ
63	7.25	3.15	4	29	35.50	91.35	11.27	-0.135	19°32'28"
	9.5	2.50	4	38	31.50	95.00	12.60	-0.100	17°36'45"
	12.5	2.00	4	50	25.00	100.00	12.50	0.250	17°44'41"
	14.5	3.15	2	29	35.50	91.35	11.27	-0.135	10°3'47"
	19*	2.50	2	38	31.50	95.00	12.60	-0.100	9°1'10"
	25	2.00	2	50	25.00	100.00	12.50	0.250	9°5'25"
	29*	3.15	1	29	35.50	91.25	11.27	-0.135	5°4'14"
	38*	2.50	1	38	31.50	95.00	12.60	-0.100	4°32'16"
	50	2.00	1	50	25.00	100.00	12.50	0.250	4°34'26"
	65	1.60	1	65	22.40	104.00	14.00	-0.125	4°5'8"
80	7.25	4.00	4	29	45.00	116.00	11.25	-0.125	19°34'23"
	10*	3.15	4	40	35.50	126.00	11.27	-0.238	19°32'28"
	12.75	2.50	4	51	31.50	127.50	12.60	0.200	17°36'45"
	14.5	4.00	2	29	45.00	116.00	11.25	-0.125	12°4'50"
	20*	3.15	2	40	35.50	126.00	11.27	-0.238	10°3'47"
	25.5	2.50	2	51	31.50	127.50	12.60	0.200	9°1'10"
	29*	4.00	1	29	45.00	116.00	11.25	-0.125	5°4'47"
	40*	3.15	1	40	35.50	126.00	11.27	-0.238	5°4'14"
	51	2.50	1	51	31.50	127.50	12.60	0.200	4°32'16"
	68	2.00	1	68	25.00	136.00	12.50	-0.250	4°34'26"
100	7.25	5.00	4	29	56.00	145.00	11.20	-0.100	19°39'14"
	9.75*	4.00	4	39	45.00	156.00	11.25	-0.125	19°34'23"
	13	3.15	4	52	35.50	163.80	11.27	0.111	19°32'28"
	14.5	5.00	2	29	56.00	145.00	11.20	-0.100	10°7'29"
	19.5*	4.00	2	39	45.00	156.00	11.25	-0.125	10°4'50"
	26	3.15	2	52	35.50	163.80	11.27	0.111	10°3'47"
	29*	5.00	1	29	56.00	145.00	11.20	-0.100	5°6'8"
	39*	4.00	1	39	45.00	156.00	11.25	-0.125	5°4'47"
	52	3.15	1	52	35.50	163.80	11.27	0.111	5°4'14"
	67	2.50	1	67	31.50	167.50	12.60	0.200	5°32'16"
125	7.5	6.30	4	30	63.00	189.00	10.00	-0.159	21°48'5"
	9.75	5.00	4	39	56.00	195.00	11.20	-0.100	19°39'14"
	12.75	4.00	4	51	45.00	204.00	11.25	0.125	19°34'23"
	15	6.30	2	30	63.00	189.00	10.00	-0.159	11°18'36"
	19.5*	5.00	2	39	56.00	195.00	11.20	-0.100	10°7'29"
	25.5	4.00	2	51	45.00	204.00	11.25	0.125	10°4'50"
	30*	6.30	1	30	63.00	189.00	10.00	-0.159	5°42'38"
	39*	5.00	1	39	56.00	195.00	11.20	-0.100	5°6'8"
	51	4.00	1	51	45.00	204.00	11.25	0.125	5°4'47"
	68	3.15	1	68	35.50	214.20	11.27	0.048	5°4'14"
160	7.5	8.00	4	30	80.00	240.00	10.00	0	21°48'5"
	10.25	6.30	4	41	63.00	258.30	10.00	-0.103	21°48'5"
	13.25	5.00	4	53	56.00	265.00	11.20	-0.100	19°39'14"
	15	8.00	2	30	80.00	240.00	10.00	0	11°18'36"
	20.5*	6.30	2	41	63.00	258.30	10.00	-0.103	11°18'36"
	26.5	5.00	2	53	56.00	265.00	11.20	-0.100	10°7'29"
	30*	8.00	1	30	80.00	240.00	10.00	0	5°42'38"
	41*	6.30	1	41	63.00	258.30	10.00	-0.103	5°42'38"
	53	5.00	1	53	56.00	265.00	11.20	-0.100	5°6'8"
	69	4.00	1	69	45.00	276.00	11.25	-0.125	5°4'47"

(续)

中心距 a	齿数比 i	轴向模数 m	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗杆节圆直径 d_1	蜗轮节圆直径 d_2	蜗杆特性系数 q	变位系数 x_2	导程角 γ
200	7.75	10.00	4	31	90.00	310.00	9.00	0	23°57'45"
	10*	8.00	4	40	80.00	320.00	10.00	0	21°48'5"
	13.25	6.30	4	63	63.00	333.90	10.00	0.246	21°48'5"
	15.5	10.00	2	31	90.00	310.00	9.00	0	12°31'44"
	20*	8.00	2	40	80.00	320.00	10.00	0	11°18'36"
	26.5	6.30	2	53	63.00	333.90	10.00	0.246	11°18'36"
	31*	10.00	1	31	90.00	310.00	9.00	0	6°20'25"
	40*	8.00	1	40	80.00	320.00	10.00	0	5°42'38"
	53	6.30	1	53	63.00	333.90	10.00	0.246	5°42'38"
	69	5.00	1	69	56.00	345.00	11.20	-0.100	5°6'8"
250	7.75	12.50	4	31	112.00	387.50	8.96	0.020	24°3'26"
	10.25*	10.00	4	41	90.00	410.00	9.00	0	23°57'45"
	13.25	8.00	4	53	80.00	425.00	10.00	-0.250	21°48'5"
	15.5	12.50	2	31	112.00	387.50	8.96	0.020	12°34'59"
	20.5*	10.00	2	41	90.00	410.00	9.00	0	12°31'44"
	26.5	8.00	2	53	80.00	425.00	10.00	-0.250	11°18'36"
	31*	12.50	1	31	112.00	387.50	8.96	0.020	6°22'6"
	41*	10.00	1	41	90.00	410.00	9.00	0	6°20'25"
	53	8.00	1	53	80.00	425.00	10.00	-0.250	5°42'38"
	69	6.30	1	69	93.00	434.70	10.00	0.183	5°42'38"
315	7.75	16.00	4	31	140.00	496.00	8.75	-0.188	24°34'2"
	10.25*	12.50	4	41	112.00	512.50	8.96	0.220	24°3'26"
	13.5	10.00	4	54	90.00	540.00	9.00	0	23°57'45"
	15.5	16.00	2	31	140.00	496.00	8.75	-0.188	12°52'30"
	20.5*	12.50	2	41	112.00	512.50	8.96	0.220	12°34'59"
	27	10.00	2	54	90.00	540.00	9.00	0	12°31'44"
	31*	16.00	1	31	140.00	496.00	8.75	-0.188	6°31'11"
	41*	12.50	1	41	112.00	512.00	8.96	0.220	6°22'6"
	54	10.00	1	54	90.00	540.00	9.00	0	6°20'25"
	69	8.00	1	69	86.00	552.00	10.00	-0.125	5°42'38"
400	8	20.00	4	32	160.00	640.00	8.00	0	26°33'54"
	10.25*	16.00	4	41	140.00	656.00	8.75	0.125	24°34'2"
	13.75	12.50	4	55	112.00	687.50	8.96	0.020	24°3'26"
	16	20.00	2	32	160.00	640.00	8.00	0	14°2'10"
	20.5*	16.00	2	41	140.00	656.00	8.75	0.125	12°52'30"
	27.5	12.50	2	55	112.00	687.50	8.96	0.020	12°34'59"
	32*	20.00	1	32	160.00	640.00	8.00	0	7°7'30"
	41*	16.00	1	41	140.00	656.00	8.75	0.125	6°31'11"
	55	12.50	1	55	112.00	687.50	8.96	0.020	6°22'6"
	71	10.00	1	71	90.00	710.00	9.00	0	6°20'25"
500	8	25.00	4	32	200.00	800.00	8.00	0	26°33'54"
	10.5*	20.00	4	42	160.00	840.00	8.00	0	26°33'54"
	13.5	16.00	4	54	140.00	864.00	8.75	-0.125	24°34'2"
	16	25.00	2	32	200.00	800.00	8.00	0	14°2'10"
	21*	20.00	2	42	160.00	840.00	8.00	0	14°2'10"
	27	16.00	2	54	140.00	864.00	8.75	-0.125	12°52'30"
	32*	25.00	1	32	200.00	800.00	8.00	0	7°7'30"
	42*	20.00	1	42	160.00	840.00	8.00	0	7°7'30"
	54	16.00	1	54	140.00	864.00	8.75	-0.125	6°31'11"
	71	12.50	1	71	112.00	887.50	8.96	0.020	6°22'6"

注：有*为基本齿数比。表中长度单位为mm。

表13-3-27 英BS制蜗杆副优选标准中心距、传动比和齿数、模数搭配 ($z_1/z_2/m$)

适用于所有蜗杆速度						
传动比 i	中 心 距 a (in)					
	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	3	4
5/1	4/19/8/0.084	4/19/7 $\frac{1}{2}$ /0.1	5/26/8/0.1	5/26/8/0.14	6/29/8/0.16	6/29/7 $\frac{1}{2}$ /0.22
7 $\frac{1}{2}$ /1	3/22/8/0.076	3/22/8/0.088	3/22/7 $\frac{1}{2}$ /0.12	3/22/7 $\frac{1}{2}$ /0.15	4/29/8/0.16	4/29/7 $\frac{1}{2}$ /0.22
10/1	2/19/8/0.084	2/19/7 $\frac{1}{2}$ /0.1	2/21/7 $\frac{1}{2}$ /0.12	2/21/7/0.16	3/29/8/0.16	3/29/7 $\frac{1}{2}$ /0.22
12 $\frac{1}{2}$ /1	2/24/9/0.068	2/25/8 $\frac{1}{2}$ /0.08	2/26/8/0.1	2/24/8/0.14	2/26/7 $\frac{1}{2}$ /0.18	2/24/7/0.26
15/1	2/29/9 $\frac{1}{2}$ /0.058	2/29/9 $\frac{1}{2}$ /0.068	2/29/9/0.092	2/29/8 $\frac{1}{2}$ /0.12	2/29/8/0.16	2/29/7 $\frac{1}{2}$ /0.22
20/1	1/20/8/0.03	1/20/8/0.036	1/21/7 $\frac{1}{2}$ /0.12	1/21/7/0.16	1/20/7/0.22	2/41/9/0.16
25/1	1/25/8 $\frac{1}{2}$ /0.068	1/25/8 $\frac{1}{2}$ /0.08	1/26/8/0.1	1/24/8/0.14	1/25/7 $\frac{1}{2}$ /0.18	1/24/7/0.26
30/1	1/31/9 $\frac{1}{2}$ /0.056	1/30/9/0.068	1/29/9/0.092	1/29/8 $\frac{1}{2}$ /0.12	1/30/8/0.16	1/29/7 $\frac{1}{2}$ /0.22
35/1	1/34/10/0.052	1/35/9 $\frac{1}{2}$ /0.06	1/35/10/0.076	1/35/9 $\frac{1}{2}$ /0.1	1/35/8 $\frac{1}{2}$ /0.14	1/35/8 $\frac{1}{2}$ /0.18
40/1		1/40/11/0.052	1/40/11/0.068	1/39/10/0.092	1/40/9 $\frac{1}{2}$ /0.12	1/40/9/0.16
45/1			1/46/12/0.06	1/45/11/0.08	1/45/10/0.11	1/45/9 $\frac{1}{2}$ /0.15
50/1			1/50/12/0.056	1/50/11/0.074	1/49/11/0.1	1/49/10/0.13
60/1				1/61/13/0.06	1/61/12/0.084	1/60/10/0.11
70/1				1/70/13/0.054	1/71/13/0.072	1/69/13/0.100

传动比 i	中 心 距 a (in)					
	5	6	7	8	9	10 $\frac{1}{2}$
5/1	7/34/8/0.24	7/34/8/0.28	8/39/8/0.3	8/39/8/0.34	9/44/9/0.34	9/44/9/0.4
7 $\frac{1}{2}$ /1	5/37/8/0.22	5/38/8/0.26	5/38/8/0.3	5/37/7 $\frac{1}{2}$ /0.36	6/44/3/0.34	6/44/8/0.4
10/1	3/31/7 $\frac{1}{2}$ /0.260	4/39/8/0.26	4/39/8/0.3	4/39/8/0.34	4/39/7 $\frac{1}{2}$ /0.38	5/49/8 $\frac{1}{2}$ /0.39
12 $\frac{1}{2}$ /1	3/37/8/0.22	3/38/8/0.26	3/38/8/0.3	3/37/7 $\frac{1}{2}$ /0.36	3/37/7 $\frac{1}{2}$ /0.40	4/49/8 $\frac{1}{2}$ /0.36
15/1	2/31/7 $\frac{1}{2}$ /0.260	2/29/7/0.34	3/46/8/0.26	3/44/8 $\frac{1}{2}$ /0.34	3/44/8/0.34	3/44/8/0.4
20/1	2/41/8 $\frac{1}{2}$ /0.20	2/38/8/0.26	2/39/8/0.3	2/39/8/0.30	2/39/7 $\frac{1}{2}$ /0.36	2/39/7/0.46
25/1	1/25/6 $\frac{1}{2}$ /0.32	1/25/6 $\frac{1}{2}$ /0.38	2/49/9/0.24	2/49/8 $\frac{1}{2}$ /0.28	2/51/8 $\frac{1}{2}$ /0.3	2/49/8 $\frac{1}{2}$ /0.36

适用于所有蜗杆速度						
传动比 <i>i</i>	中 心 距 <i>a</i> (in)					
	5	6	7	8	9	$10\frac{1}{2}$
30/1	1/31/7 $\frac{1}{2}$ /0.26	1/29/7/0.34	1/30/7/0.38	1/30/6 $\frac{1}{2}$ /0.44	1/30/6 $\frac{1}{2}$ /0.5	2/61/9/0.3
35/1	1/34/8/0.24	1/35/8/0.28	1/34/7 $\frac{1}{2}$ /0.34	1/35/7 $\frac{1}{2}$ /0.38	1/35/7/0.42	1/35/7/0.3
40/1	1/41/9 $\frac{1}{2}$ /0.20	1/39/8/0.26	1/39/8/0.3	1/40/7 $\frac{1}{2}$ /0.34	1/40/7 $\frac{1}{2}$ /0.37	1/40/7 $\frac{1}{2}$ /0.44
45/1	1/46/9/0.18	1/45/9/0.22	1/45/8 $\frac{1}{2}$ /0.26	1/45/8/0.3	1/45/6/0.34	1/45/8/0.4
50/1	1/49/10 $\frac{1}{2}$ /0.17	1/50/9/0.20	1/50/9/0.24	1/50/9/0.27	1/51/6 $\frac{1}{2}$ /0.3	1/50/8 $\frac{1}{2}$ /0.38
60/1	1/60/11/0.14	1/60/10/0.17	1/60/10/0.20	1/60/9 $\frac{1}{2}$ /0.23	1/60/9/0.26	1/60/9/0.36
70/1	1/71/12/0.12	1/70/11/0.15	1/71/11/0.17	1/70/10/0.2	1/71/10/0.22	1/70/10/0.2

传动比 <i>i</i>	中 心 距 <i>a</i> (in)					
	12	14	17	20	24	28
5/1	10/49/10/0.4	10/51/10/0.46	11/56/11/0.5	12/61/12/0.54	13/64/14/0.62	14/69/14/0.68
7 $\frac{1}{2}$ /1	7/52/8/0.4	7/53/8/0.46	3/59/8/0.5	8/61/8/0.58	9/68/9/0.62	9/68/9/0.72
10/1	5/49/8/0.42	5/49/7 $\frac{1}{2}$ /0.5	6/59/8/0.5	6/61/8/0.58	7/69/8 $\frac{1}{2}$ /0.62	7/69/8/0.72
12 $\frac{1}{2}$ /1	4/49/8/0.42	4/49/7 $\frac{1}{2}$ /0.5	5/62/8 $\frac{1}{2}$ /0.48	5/62/8/0.58	5/62/8/0.68	6/74/8/0.68
15/1	3/44/8/0.46	3/44/7 $\frac{1}{2}$ /0.54	4/59/8/0.5	4/61/8/0.58	4/59/7 $\frac{1}{2}$ /0.72	5/74/8/0.68
20/1	2/41/7/0.5	3/61/8 $\frac{1}{2}$ /0.40	3/59/8/0.5	3/61/8/0.58	3/59/7 $\frac{1}{2}$ /0.72	4/81/8 $\frac{1}{2}$ /0.62
25/1	2/49/8/0.42	2/49/7 $\frac{1}{2}$ /0.50	2/51/7 $\frac{1}{2}$ /0.58	2/49/7/0.72	3/74/8 $\frac{1}{2}$ /0.58	3/74/8/0.68
30/1	2/61/5/0.34	2/61/8 $\frac{1}{2}$ /0.40	2/59/8/0.5	2/61/8/0.58	2/59/7 $\frac{1}{2}$ /0.72	2/59/7 $\frac{1}{2}$ /0.84
35/1	1/35/6 $\frac{1}{2}$ /0.56	1/35/6 $\frac{1}{2}$ /0.68	2/71/9/0.42	2/71/8/0.5	2/69/8 $\frac{1}{2}$ /0.62	2/69/8/0.74
40/1	1/40/7/0.5	1/39/7/0.62	1/40/6 $\frac{1}{2}$ /0.72	2/79/9/0.46	2/79/9/0.54	2/81/8 $\frac{1}{2}$ /0.62
45/1	1/45/8/0.46	1/45/7 $\frac{1}{2}$ /0.54	1/44/7/0.68	1/45/7/0.76	1/45/7/0.92	2/91/9/0.56
50/1	1/56/8/0.42	1/45/7 $\frac{1}{2}$ /0.5	1/49/7 $\frac{1}{2}$ /0.6	1/49/7/0.72	1/50/7/0.84	1/49/6 $\frac{1}{2}$ /0.68
60/1	1/61/9/0.34	1/61/8 $\frac{1}{2}$ /0.46	1/60/8/0.5	1/60/8/0.58	1/59/7 $\frac{1}{2}$ /0.72	1/59/7 $\frac{1}{2}$ /0.84
70/1	1/70/9 $\frac{1}{2}$ /0.30	1/63/9/0.3	1/71/9/0.42	1/71/8 $\frac{1}{2}$ /0.5	1/69/8 $\frac{1}{2}$ /0.62	1/70/8/0.72

适用于蜗杆速度至300 r/min

传动比 <i>i</i>	中 心 距 a (in)					
	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	3	4
5	4/19/9/0.08	4/19/9/0.096	5/24/9 $\frac{1}{2}$ /0.1	5/26/9/0.13	6/31/9 $\frac{1}{2}$ /0.15	6/31/9/0.2
7 $\frac{1}{2}$	3/22/9 $\frac{1}{2}$ /0.072	3/22/9 $\frac{1}{2}$ /0.084	3/22/9 $\frac{1}{2}$ /0.11	3/23/9/0.14	4/31/9 $\frac{1}{2}$ /0.15	4/31/9/0.20
10	2/19/9/0.08	2/19/9/0.096	2/21/8 $\frac{1}{2}$ /0.12	2/19/8 $\frac{1}{2}$ /0.16	3/31/9 $\frac{1}{2}$ /0.15	3/31/9/0.20
12 $\frac{1}{2}$	2/25/10/0.64	2/25/10/0.076	2/25/9 $\frac{1}{2}$ /0.1	2/25/9/0.13	2/25/8 $\frac{1}{2}$ /0.18	2/25/8 $\frac{1}{2}$ /0.24
15	2/29/11/0.56	2/29/11/0.064	2/29/11/0.088	2/31/10/0.11	2/31/9 $\frac{1}{2}$ /0.15	2/31/9/0.20
20	1/20/9 $\frac{1}{2}$ /0.76	1/20/9/0.092	1/20/8 $\frac{1}{2}$ /0.12	1/20/8/0.16	1/20/8/0.21	2/39/11/0.16
25	1/25/10/0.064	1/25/10/0.076	1/25/9 $\frac{1}{2}$ /0.1	1/25/9/0.13	1/25/8 $\frac{1}{2}$ /0.18	1/25/8 $\frac{1}{2}$ /0.24
30	1/30/11/0.056	1/30/11/0.064	1/30/10/0.088	1/30/10/0.11	1/30/9 $\frac{1}{2}$ /0.15	1/31/9/0.2
35		1/35/12/0.056	1/35/11/0.076	1/35/11/0.096	1/35/11/0.13	1/35/9 $\frac{1}{2}$ /0.18
40		1/40/11/0.052	1/40/12/0.058	1/40/11/0.088	1/39/11/0.12	1/40/10/0.16
45			1/45/13/0.06	1/45/12/0.08	1/44/11/0.11	1/46/11/0.14
50			1/50/13/0.056	1/50/13/0.062	1/50/12/0.096	1/50/12/0.13
60				1/60/14/0.06	1/61/14/0.08	1/60/13/0.11
70				1/71/14/0.062	1/70/14/0.072	1/70/13/0.096

传动比 <i>i</i>	中 心 距 a (in)					
	5	6	7	8	9	10 $\frac{1}{2}$
5	7/36/9 $\frac{1}{2}$ /0.22	7/34/9/0.28	8/41/9/0.28	8/39/9/0.34	9/44/9/0.34	9/46/9/0.38
7 $\frac{1}{2}$	5/38/9 $\frac{1}{2}$ /0.21	5/37/9/0.26	5/37/9/0.30	5/38/9/0.34	6/44/9/0.34	6/46/9/0.38
10	3/29/9/0.26	4/41/9 $\frac{1}{2}$ /0.24	4/41/9/0.28	4/39/9/0.34	4/39/9/0.38	5/49/9 $\frac{1}{2}$ /0.36
13 $\frac{1}{2}$	3/38/9 $\frac{1}{2}$ /0.21	3/37/9/0.26	3/37/9/0.30	3/38/9/0.34	3/38/8 $\frac{1}{2}$ /0.38	4/49/9 $\frac{1}{2}$ /0.36
15	2/29/9/0.26	2/29/8 $\frac{1}{2}$ /0.32	4/44/9 $\frac{1}{2}$ /0.26	3/44/9 $\frac{1}{2}$ /0.30	3/44/9/0.34	3/46/9/0.38
20	2/39/10/0.2	2/41/9 $\frac{1}{2}$ /0.24	2/41/9/0.28	2/39/9/0.34	2/39/8 $\frac{1}{2}$ /0.38	2/41/8 $\frac{1}{2}$ /0.42
25	1/25/8/0.30	1/24/7 $\frac{1}{2}$ /0.38	2/49/10/0.24	2/51/10/0.26	2/51/9 $\frac{1}{2}$ /0.3	2/49/9 $\frac{1}{2}$ /0.36

适用于蜗杆速度至300r/min						
传动比 <i>i</i>	中 心 距 <i>a</i> (in)					
	5	6	7	8	9	$10\frac{1}{2}$
30	$1/30/8\frac{1}{2}/0.26$	$1/30/8\frac{1}{2}/0.32$	$1/30/8\frac{1}{2}/0.36$	$1/30/8/0.42$	$1/31/3/0.46$	$2/59/10/0.30$
35	$1/36/9\frac{1}{2}/0.22$	$1/34/9/0.28$	$1/35/8\frac{1}{2}/0.32$	$1/34/8\frac{1}{2}/0.39$	$1/35/8\frac{1}{2}/0.42$	$1/54/8/0.5$
40	$1/40/10/0.2$	$1/40/9\frac{1}{2}/0.24$	$1/40/9\frac{1}{2}/0.28$	$1/39/9/0.34$	$1/39/9/0.38$	$1/41/8\frac{1}{2}/0.42$
45	$1/45/11/0.18$	$1/45/10/0.22$	$1/44/10/0.26$	$1/44/9\frac{1}{2}/0.30$	$1/44/9/0.34$	$1/46/9/0.38$
50	$1/50/12/0.16$	$1/49/11/0.2$	$1/46/10/0.24$	$1/51/10/0.26$	$1/50/9\frac{1}{2}/0.3$	$1/46/9\frac{1}{2}/0.36$
60	$1/60/12/0.14$	$1/59/12/0.17$	$1/59/12/0.20$	$1/60/12/0.22$	$1/59/10/0.26$	$1/60/10/0.2$
70	$1/70/13/0.12$	$1/71/14/0.14$	$1/70/12/0.17$	$1/69/12/0.20$	$1/70/12/0.22$	$1/70/11/0.36$
传动比 <i>i</i>	中 心 距 <i>a</i> (in)					
	12	13	17	20	24	28
5	$10/49/10/0.4$	$10/51/10/0.46$	$11/56/11/0.5$	$12/59/12/0.56$	$13/89/13/0.62$	$14/69/14/0.68$
$7\frac{1}{2}$	$9/45/9/0.44$	$7/52/9/0.46$	$8/61/9\frac{1}{2}/0.48$	$8/59/9\frac{1}{2}/0.58$	$9/88/9\frac{1}{2}/0.62$	$9/68/9\frac{1}{2}/0.72$
10	$5/51/9/0.4$	$5/51/9/0.46$	$6/61/9\frac{1}{2}/0.48$	$9/59/9\frac{1}{2}/0.58$	$7/89/9/0.68$	$7/69/9/0.72$
$12\frac{1}{2}$	$4/51/9/0.4$	$4/51/9/0.46$	$5/63/10/0.46$	$5/62/9\frac{1}{2}/0.56$	$5/62/8\frac{1}{2}/0.68$	$6/76/9\frac{1}{2}/0.65$
15	$3/44/8\frac{1}{2}/0.46$	$3/44/8\frac{1}{2}/0.54$	$4/61/9\frac{1}{2}/0.48$	$4/59/9\frac{1}{2}/0.58$	$4/61/9/0.68$	$5/76/9\frac{1}{2}/0.65$
20	$2/39/8\frac{1}{2}/0.5$	$3/61/9\frac{1}{2}/0.4$	$3/61/9\frac{1}{2}/0.48$	$3/59/9\frac{1}{2}/0.58$	$3/61/9/0.68$	$4/31/10/0.62$
25	$2/51/9/0.4$	$2/49/9/0.48$	$2/49/9/0.58$	$2/51/8/0.68$	$3/76/9\frac{1}{2}/0.56$	$3/76/9\frac{1}{2}/0.65$
30	$2/61/10/0.24$	$2/61/9\frac{1}{2}/0.4$	$2/61/9\frac{1}{2}/0.48$	$2/59/9\frac{1}{2}/0.58$	$2/61/9/0.68$	$2/61/9/0.8$
35	$1/35/8/0.59$	$1/35/8/0.65$	$2/71/10/0.42$	$2/69/10/0.5$	$2/69/9\frac{1}{2}/0.62$	$2/69/9/0.72$
40	$1/40/8/0.5$	$1/40/8/0.58$	$1/39/8/0.72$	$1/40/7\frac{1}{2}/0.84$	$2/79/10/0.54$	$2/81/10/0.62$
45	$1/45/9/0.44$	$1/44/8\frac{1}{2}/0.54$	$1/49/8\frac{1}{2}/0.92$	$1/45/8/0.76$	$1/44/8/0.92$	$2/89/10/0.56$
50	$1/50/9\frac{1}{2}/0.4$	$1/51/9/0.49$	$1/50/8\frac{1}{2}/0.58$	$1/50/8\frac{1}{2}/0.69$	$1/49/8/0.84$	$1/49/8/1.0$
60	$1/60/10/0.4$	$1/90/9\frac{1}{2}/0.4$	$1/59/9/0.5$	$1/60/9/0.58$	$1/61/9/0.68$	$1/61/9/0.8$
70	$1/69/11/0.36$	$1/77/11/0.24$	$1/71/10/0.42$	$1/70/9\frac{1}{2}/0.5$	$1/70/9\frac{1}{2}/0.60$	$1/69/9/0.72$

表13-3-29 BS制蜗杆尺寸参数 (m = 1)
(单位轴面模数标准蜗杆)

$z_1/q/m$	d_{a1}	d_{f1}	d_b	\bar{r}_c	\bar{h}_c	γ	γ_0	a_{min}	ρ_n
1/6/1	8	3.6599	2.4689	1.3771	0.7494	9°28'	22°03'	0.1973	3.0988
1/6.5/1	8.5	4.1512	2.5065	1.3785	0.7491	8°45'	21°45'	0.1977	3.1050
1/7/1	9	4.6443	2.5343	1.3797	0.7489	8°08'	21°22'	0.1980	3.1100
1/7.5/1	9.5	5.1387	2.5605	1.3807	0.7487	7°36'	21°20'	0.1982	3.1140
1/8/1	10	5.6341	2.5804	1.3114	0.7486	7°08'	21°11'	0.1985	3.1173
1/8.5/1	10.5	6.1302	2.5983	1.3821	0.7485	6°43'	21°03'	0.1686	3.1200
1/9/1	11	6.6299	2.6142	1.3827	0.7484	6°20'	20°56'	0.1988	3.1224
1/9.5/1	11.5	7.1242	2.6256	1.3831	0.7483	6°01'	20°51'	0.1989	3.1243
1/10/1	12	7.6219	2.6371	1.3835	0.7482	5°43'	20°46'	0.1990	3.1260
1/11/1	13	8.1181	2.6558	1.3841	0.7481	5°12'	20°38'	0.1992	3.1287
1/12/1	14	9.152	2.6699	1.3846	0.7489	4°46'	20°32'	0.1993	3.1307
1/13/1	15	10.130	2.6794	1.3850	0.7479	4°24'	20°28'	0.1994	3.1323
1/14/1	16	11.112	2.6889	1.3853	0.7479	4°05'	20°24'	0.1995	3.1336
1/17/1	19	14.076	2.7082	1.3859	0.7478	3°22'	20°16'	0.1997	3.1362
1/10/1	22	17.055	2.7179	1.3863	0.7477	2°52'	20°12'	0.1997	3.1377
2/6/1	8	3.8258	3.9365	1.3490	0.7545	18°26'	26°56'	0.1897	3.9804
2/6.5/1	8.5	4.2945	4.0855	1.3543	0.7535	17°06'	26°45'	0.1912	3.0027
2/7/1	9	4.7694	4.2152	1.3585	0.7528	15°57'	26°23'	0.1923	3.0206
2/7.5/1	9.5	5.2486	4.3327	1.3621	0.7521	14°56'	24°47'	0.1932	3.0355
2/8/1	10	5.7313	4.4364	1.3650	0.7516	14°02'	24°16'	0.1940	3.0488
2/8.5/1	10.5	6.2168	4.5275	1.3674	0.7511	13°14'	23°50'	0.1947	3.0582
2/9/1	11	6.7049	4.6070	1.3695	0.7508	12°32'	23°28'	0.1952	3.0667
2/9.5/1	11.5	7.1943	4.6814	1.3712	0.7505	11°53'	23°08'	0.1957	3.0743
2/10/1	12	7.6855	4.7424	1.3727	0.7502	11°19'	22°52'	0.1961	3.0805
2/11/1	13	8.6709	4.8524	1.3752	0.7497	10°18'	22°24'	0.1968	3.0910
2/12/1	14	9.6509	4.9378	1.3771	0.7494	9°28'	22°08'	0.1973	3.0988
2/13/1	15	10.6512	5.0130	1.3785	0.7491	8°45'	21°45'	0.1977	3.1050
2/14/1	16	11.6443	5.0686	1.3797	0.7489	8°08'	21°32'	0.1980	3.1100
2/17/1	19	14.6302	5.1966	1.3821	0.7485	6°43'	21°03'	0.1986	3.1200
2/20/1	22	17.6219	5.2743	1.3835	0.7482	5°43'	20°46'	0.1990	3.1260
*3/6/1	8	4.2943	4.6521	1.3823	0.7484	26°34'	32°49'	0.1789	2.8096
*3/6.5/1	8.5	4.5420	4.9052	1.3303	0.7579	24°47'	31°27'	0.1816	2.8572
3/7/1	9	4.9558	5.1407	1.3270	0.7585	23°12'	30°16'	0.1838	2.8825
3/7.5/1	9.5	5.4140	5.3569	1.3340	0.7572	21°48'	29°15'	0.1857	2.9169
3/8/1	10	5.8870	5.5511	1.3398	0.7562	20°33'	28°22'	0.1873	2.9417
3/8.5/1	10.5	6.3507	5.7385	1.3448	0.7553	19°26'	27°36'	0.1886	2.9626
3/9/1	11	6.8253	5.9048	1.3490	0.7545	18°26'	26°56'	0.1897	2.9804
3/9.5/1	11.5	7.3044	6.0587	1.3526	0.7538	15°32'	26°21'	0.1907	3.9956
3/10/1	12	7.7856	6.1966	1.3568	0.7533	16°42'	25°50'	0.1916	3.0091
3/11/1	13	8.7549	6.4433	1.3610	0.7523	15°15'	24°58'	0.1930	3.0310
3/12/1	14	9.7313	6.6546	1.3650	0.7516	14°02'	24°16'	0.1940	3.0478
3/13/1	15	10.7128	6.8342	1.3681	0.7510	13°00'	23°42'	0.1949	3.0611
3/14/1	16	11.6978	6.9827	1.3707	0.7506	12°09'	23°25'	0.1956	3.0718
3/17/1	19	14.6668	7.3269	1.3759	0.7496	10°00'	22°26'	0.1970	3.0939
3/20/1	22	17.6487	7.5451	1.3790	0.7490	8°32'	21°41'	0.1978	3.1068
*4/6/1	8	4.6839	5.0167	1.3730	0.7501	33°41'	38°34'	0.1664	2.8142

(续)

$z_1 / r / m$	d_{a1}	d_{f1}	d_b	$\bar{\kappa}_c$	\bar{h}_c	γ	γ_0	σ_{\min}	ρ_n
4/8.5/1	10.5	6.5188	6.4597	1.3164	0.7604	25°12'	31°46'	0.1810	2.8126
4/9/1	11	6.9794	6.7012	1.3230	0.7592	23°58'	30°30'	0.1828	2.8707
4/9.5/1	11.5	7.4448	6.9282	1.3289	0.7582	22°50'	30°00'	0.1843	2.8944
4/10/1	12	7.9147	7.1425	1.3340	0.7572	21°48'	29°15'	0.1857	2.9169
4/11/1	13	8.8649	7.5282	1.3424	0.7557	19°53'	27°59'	0.1880	2.9524
4/12/1	14	9.8258	7.8731	1.3490	0.7545	18°25'	26°56'	0.1817	2.9804
4/13/1	15	10.7945	8.1710	1.3543	0.7535	17°06'	26°05'	0.1939	3.0627
4/14/1	16	11.7694	8.4303	1.3585	0.7528	15°57'	25°23'	0.1922	3.0206
4/17/1	19	14.7168	9.0519	1.3674	0.7511	13°14'	23°50'	0.1947	3.0582
4/20/1	12	17.6855	9.4847	1.3727	0.7502	11°19'	22°52'	0.1961	3.0805
*5/6/1	8	4.907	5.2170	1.3078	0.7620	39°49'	43°47'	0.1537	2.4136
*5/6.5/1	8.5	5.263	5.5824	1.3140	0.7609	37°34'	41°51'	0.1585	2.4902
*5/7/1	9	5.606	5.9342	1.3093	0.7617	35°32'	40°07'	0.1628	2.5566
*5/7.5/1	9.5	5.931	6.2709	1.2940	0.7645	33°41'	38°34'	0.1664	2.6142
5/8/1	10	6.266	6.5952	1.2741	0.7681	32°00'	37°10'	0.1696	2.6642
5/8.5/1	10.5	6.7075	6.9030	1.2844	0.7663	30°28'	35°55'	0.1724	2.7078
5/9/1	11	7.1535	7.2630	1.2936	0.7646	29°03'	34°46'	0.1748	2.7464
5/9.5/1	11.5	7.6067	7.4830	1.3015	0.7631	27°46'	33°45'	0.1770	2.7798
5/10/1	12	8.0646	7.7535	1.3086	0.7619	26°34'	32°49'	0.1789	2.8099
5/11/1	13	8.9946	8.2560	1.3204	0.7597	24°27'	31°12'	0.1821	2.8599
5/12/1	14	9.9384	8.7187	1.3300	0.7580	22°37'	29°50'	0.1846	2.9004
5/13/1	15	10.8932	9.1327	1.3376	0.7566	21°02'	28°42'	0.1867	2.9323
5/14/1	16	11.8562	9.5034	1.3438	0.7554	19°39'	27°45'	0.1884	2.9586
5/17/1	19	14.7787	10.4202	1.3570	0.7530	16°23'	25°38'	0.1919	3.0140
5/20/1	22	17.7313	11.0915	1.3650	0.7513	14°02'	24°16'	0.1940	3.0478
*6/6/1	8	5.0505	5.3333	1.2210	0.7778	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214
*6/6.5/1	8.5	5.4332	5.7275	1.2429	0.7738	42°43'	46°20'	0.1469	2.3082
*6/7/1	9	5.8055	6.1592	1.2549	0.7716	40°36'	44°29'	0.1519	2.3853
*6/7.5/1	9.5	6.1671	6.4794	1.2562	0.7713	38°40'	42°48'	0.1562	2.4529
*6/9/1	10	6.5217	6.8417	1.2516	0.7722	36°52'	41°15'	0.1600	2.5134
6/8.5/1	10.5	6.9053	7.1887	1.2510	0.7723	35°13'	39°51'	0.1634	2.0666
6/9/1	11	7.3387	7.5250	1.2622	0.7703	33°41'	38°34'	0.1664	2.6142
6/9.5/1	11.5	7.7802	7.8477	1.2721	0.7689	32°7'	37°24'	0.1691	2.6560
6/10/1	12	8.2271	8.1630	1.2811	0.7669	30°58'	36°19'	0.1715	2.6938
6/11/1	13	9.3375	8.7573	1.2963	0.7641	38°37'	34°25'	0.1756	2.7578
6/12/1	14	10.0646	9.3042	1.3086	0.7619	26°34'	32°49'	0.1789	2.8099
6/13/1	15	11.0052	9.8103	1.3186	0.7600	24°47'	31°27'	0.1816	2.8522
6/14/1	16	11.9558	10.2815	1.3270	0.7580	23°12'	30°16'	0.1838	2.8875
6/17/1	19	14.8507	11.4769	1.3448	0.7553	19°26'	27°36'	0.1886	2.9626
6/20/1	22	17.7856	12.3922	1.3556	0.7533	16°42'	25°50'	0.1916	3.0091
*7/7/1	9.5	5.9393	6.2223	1.1853	0.7843	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214
*7/7.5/1	9	6.3233	6.6157	1.1935	0.7817	43°02'	46°37'	0.1462	2.2964
*7/8/1	10.5	6.7030	7.5541	1.2076	0.7802	41°11'	44°59'	0.1505	2.3644
7/8.5/1	10	7.1032	7.3765	1.2175	0.7784	39°28'	43°30'	0.1544	2.4253
7/9/1	11	7.5272	7.7385	1.2303	0.7761	37°53'	42°08'	0.1569	2.4795
7/9.5/1	11.5	7.9577	8.0963	1.2421	0.7740	36°23'	40°51'	0.1610	2.5262
7/10/1	12	8.3967	8.4415	1.2526	0.7720	35°00'	39°40'	0.1638	2.5734
7/11/1	13	9.2877	9.1061	1.2759	0.7687	32°28'	37°33'	0.1687	2.6506
7/12/1	14	10.1901	9.7296	1.2858	0.7660	30°15'	35°44'	0.1728	2.7138
7/13/1	15	11.1259	10.3131	1.2982	0.7637	29°18'	34°10'	0.1761	2.7661

(续)

$z_i/q/m$	d_{s1}	d_{f1}	d_c	s_c	\bar{h}_c	γ	γ_b	σ_{mia}	P_u
7/14/1	16	12.0646	10.8549	1.3086	0.7619	26°34'	32°49'	0.1789	2.8099
7/17/1	19	14.4315	12.2889	1.3311	0.7578	22°23'	29°40'	0.1849	2.9046
7/20/1	22	17.8469	13.4469	1.3454	0.7552	13°17'	27°30'	0.1888	2.9653
8/8/1	10	6.8887	7.1111	1.1690	0.7872	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214
8/8.5/1	10.5	7.2960	7.5081	1.1849	0.7844	43°16'	46°49'	0.1456	2.2876
8/9/1	11	7.7114	7.8937	1.2990	0.7818	41°38'	45°23'	0.1495	2.3478
8/9.5/1	11.5	8.1343	8.2698	1.2102	0.7794	40°06'	44°03'	0.1530	2.4031
8/10/1	12	8.5645	8.6392	1.2240	0.7773	38°40'	42°38'	0.1562	2.4529
8/11/1	13	9.4418	9.3503	1.2008	0.7735	36°02'	40°33'	0.1617	2.5405
8/12/1	14	10.3387	10.0334	1.2622	0.7703	33°41'	38°34'	0.1604	2.6142
8/13/1	15	11.2524	10.6809	12.768	0.7676	31°36'	36°50'	0.1703	2.6758
8/14/1	16	12.1799	11.2849	12.891	0.7654	29°45'	35°20'	0.1736	2.7275
8/17/1	19	15.0188	12.9195	13.164	0.7604	25°12'	31°46'	0.1810	2.8426
8/20/1	22	17.9147	14.2850	13.340	0.7572	21°48'	29°15'	0.1857	2.9169
9/9/1	11	7.8887	7.9999	1.1692	0.7872	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214
9/9.5/1	11.5	8.3057	8.3975	1.1832	0.7847	43°27'	46°59'	0.1452	2.2807
9/10/1	12	8.7293	8.7827	1.1961	0.7823	41°59'	45°42'	0.1487	2.3353
9/11/1	13	9.5943	9.5394	1.2190	0.7762	39°17'	43°20'	0.1548	2.4317
9/12/1	14	10.4799	10.2625	1.2383	0.7746	36°52'	41°15'	0.1500	2.5134
9/13/1	15	11.3826	10.9503	1.2548	0.7716	34°42'	39°45'	0.1544	2.5828
9/14/1	16	12.2987	11.6167	1.2690	0.7691	32°44'	37°46'	0.1682	2.6427
9/17/1	18	15.1114	13.4187	1.3007	0.7633	27°54'	33°51'	0.1768	2.7764
9/20/1	22	17.9877	14.9588	1.3216	0.7595	24°14'	31°02'	0.1824	2.8648
10/10/1	12	8.8887	8.8888	1.1692	0.7872	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214
10/11/1	13	9.7439	9.6794	1.1937	0.7828	42°16'	45°56'	0.1480	2.3248
10/12/1	14	10.6196	10.4340	1.2147	0.7789	39°48'	43°47'	0.1537	2.4116
10/13/1	15	11.5124	11.1648	1.2328	0.7756	37°34'	41°51'	0.1585	2.4902
10/14/1	16	12.4194	11.8684	1.2486	0.7728	35°32'	40°07'	0.1628	2.5566
10/17/1	19	15.2075	13.8060	1.2844	0.7663	30°28'	35°55'	0.1724	2.7078
10/20/1	22	18.0646	15.5071	1.3086	0.7619	26°34'	32°49'	0.1789	2.8099
11/11/1	13	9.8887	9.7777	1.1692	0.7872	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214
11/12/1	14	10.7568	10.5669	1.1915	0.7832	42°31'	46°10'	0.1474	2.3156
11/13/1	15	11.6410	11.3247	1.2111	0.7796	40°14'	44°13'	0.1527	2.3984
11/14/1	16	12.5399	12.0677	1.2282	0.7765	38°09'	42°21'	0.1573	2.4705
11/17/1	19	15.3057	14.1216	1.2678	0.7693	32°54'	37°55'	0.1679	2.6377
11/20/1	22	18.1449	15.9553	1.2950	0.7643	28°49'	34°35'	0.1752	2.7526
12/12/1	14	10.8887	10.6666	1.1692	0.7872	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214
12/13/1	15	11.7672	11.4541	1.1897	0.7835	42°43'	46°20'	0.1469	2.3082
12/14/1	16	12.6592	12.2184	1.2080	0.7802	40°36'	44°29'	0.1516	2.3853
12/17/1	19	15.4053	14.3773	1.2510	0.7723	35°13'	39°51'	0.1634	2.5666
12/20/1	22	18.2271	16.3061	1.2811	0.7669	30°58'	36°19'	0.1715	2.6938
13/13/1	15	11.8887	11.5555	1.1692	0.7872	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214
13/17/1	19	15.5046	14.5803	1.2342	0.7754	47°24'	41°43'	0.1589	2.4957
13/20/1	22	18.3105	16.6399	1.2670	0.7694	33°01'	38°00'	0.1677	2.6343
14/14/1	16	12.8887	12.4444	1.1692	0.7872	45°00'	48°22'	0.1414	2.2214

注:有*为高度变位。

第4节 普通圆柱蜗杆副的测绘

(一) 几何参数的测量

1. 蜗杆头数(齿数) z_1 和蜗轮齿数 z_2
2. 蜗杆齿顶圆及蜗轮喉圆直径 d_{a1} , d_{a2}

蜗杆齿顶圆及蜗轮喉圆直径可用精密游标卡尺或千分尺直接测量(图13-4-1)。测量时,可在三、四个不同的直径位置上进行,取其中的最大值。当蜗轮的齿数为奇数时,可按本篇第十二章“圆柱齿轮测绘”一节所介绍的方法进行修正。

通常齿顶圆制造精度要求不太高,因而测量精度也相应要求不高,一般用游标卡尺测量便可满足要求。

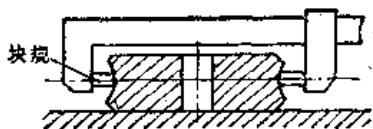


图13-4-1 测量蜗轮喉圆直径

3. 蜗杆齿高 h_1

蜗杆齿高可用下列方法测量:

- 1) 用精密游标卡尺测量蜗杆的齿顶圆直径 d_{a1}'' 和齿根圆直径 d_{f1}'' , 并按下式计算:

$$h_1'' = \frac{d_{a1}'' - d_{f1}''}{2} \quad (13-4-1)$$

- 2) 用精密深度尺直接测量蜗杆齿高 h_1'' , 见图13-4-2。

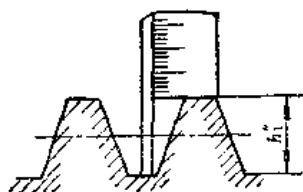


图13-4-2 测量蜗杆齿高

4. 蜗杆轴向齿距 p_x

用钢板尺或精密游标卡尺测量, 见图13-4-3,

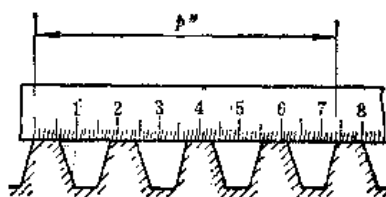


图13-4-3 测量蜗杆轴向齿距

为了精确起见,最好跨测3~5个齿的同名齿侧间的距离 p''

$$p_x = \frac{p''}{n} \quad (13-4-2)$$

式中 n ——跨测齿数。

在车床上测量 p_x 值的方法也是可行的,将蜗杆在卡盘上夹正,用百分表测头可测出蜗杆转动一转时所移动的距离。

5. 蜗杆齿形角 α

可用角度尺或齿形样板测量,测量时要在轴向截面和法向截面两个方向上进行,将两个截面的数值都记录下来,作参数确定时的参考。还可用齿轮滚刀插入齿部作比较来判断。

6. 中心距 a

中心距 a 的测绘对蜗杆传动的啮合参数的确定以及对校核所定参数的正确性都是很重要的,对于变位的蜗杆传动,其测绘中心距 a'' 是确定蜗轮径向变位系数 x_2 的依据。所以测绘时,必须仔细测量,力求准确。必须强调,只有当根据测绘设计的几何参数所计算出来的中心距 a 与实测中心距 a'' 相一致时,才能保证蜗杆传动的正确啮合。

测量中心距时,可利用设备原有的蜗杆和蜗轮轴,清洗后,重新装配进行测量。测量时,首先要测量这些轴的本身尺寸 (D_1' , D_2') 与形位公差,以便作为修正测量结果的参考。

常用的测量方法有:

- 1) 用精密游标卡尺或千分尺,测出两轴外侧间的距离 L'' (图13-4-4a), 并按下式计算:

$$a'' = L'' - \frac{D_1' + D_2'}{2} \quad (13-4-3)$$

- 2) 用内径千分尺,测出两轴内侧间的距离 L'' (图13-4-4b), 并按下式计算:

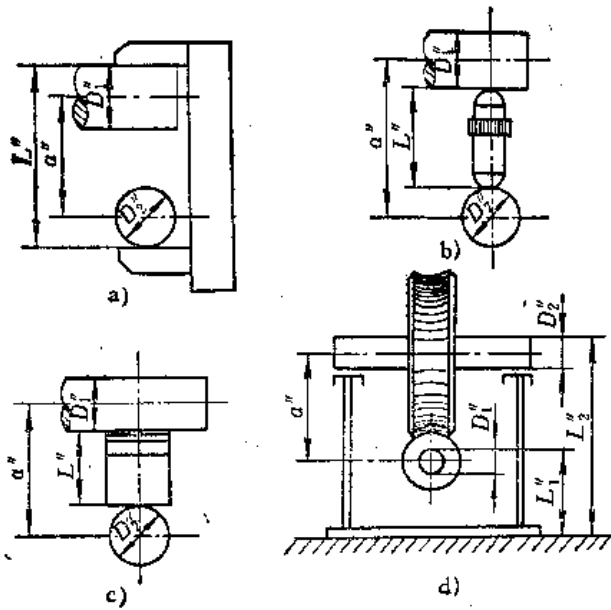


图13-4-4 测量中心距

$$a'' = L'' + \frac{D_1'' + D_2''}{2} \quad (13-4-4)$$

3) 当中心距不大, 用上述方法测量有困难时, 可用块规测量两轴内侧间的距离(图13-4-4 c), 并按下式计算:

$$a'' = L'' + \frac{D_1'' + D_2''}{2} \quad (13-4-5)$$

4) 在划线平台上进行, 测出 L_1'' 及 L_2'' (图13-4-4 d), 再分别测出蜗杆、蜗轮轴径 D_1'' , D_2'' , 并按下式计算:

$$a'' = L_2'' - L_1'' - \frac{D_2''}{2} + \frac{D_1''}{2} \quad (13-4-6)$$

应当指出, 用卡尺或千分尺测量两轴距离时, 必须是两轴线公垂线长度, 卡尺、千分尺必须与轴线垂直。

(二) 基本参数的确定

1. 蜗杆齿形

在判断蜗杆齿形时, 首先从蜗杆外廓是圆柱面、圆环面, 还是圆锥面来判断蜗杆是圆柱蜗杆、环面蜗杆还是锥蜗杆。

第二步再从蜗杆轮齿的成形线形状及位置来判断蜗杆齿形的类型。

如果是圆柱蜗杆, 则有六种不同类型的齿形(详见本章第二节), 在测绘时要注意判断:

1) 蜗杆轮齿轴向截面上的齿形为直线的是阿基米德蜗杆, 称为ZA蜗杆(图13-2-1)。

2) 蜗杆轮齿法向截面上的齿形为直线的是法向直廓蜗杆, 称为ZN蜗杆(表13-2-2)。

3) 蜗杆轮齿切向截面(与基圆柱相切)上的齿形为直线的是渐开线蜗杆, 称为ZI蜗杆(图13-2-2)。

4) 锥面包络圆柱蜗杆的轴截面呈凸形, 这种蜗杆称为ZK蜗杆(表13-2-3)。

测绘时, 要从各个规定的截面上来看齿形是比较困难的, 其中轴向截面较易观察。

在轴向截面上, 以上四种齿形的比较如图13-4-5。

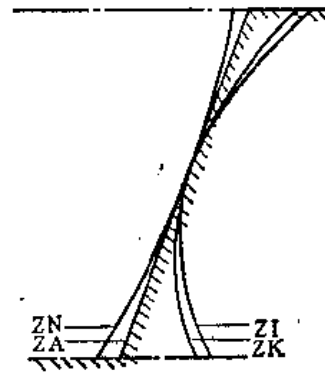


图13-4-5 蜗杆轴向截面齿形比较

测绘时, 要准确的鉴别蜗杆齿形是渐开线齿形(ZI)还是锥面包络圆柱齿形(ZK)比较困难, 因为这两种齿形的轴向截面都是轻度凸形, 如图13-4-5所示, 此时可在基圆柱相切的截面上用角度量尺靠轮齿侧面, 如是直线, 则可确定是渐开线齿形(ZI)。其基圆柱直径计算见表13-3-5。

5) 圆弧圆柱蜗杆轴向截面的齿形是凹形, 与蜗轮轮齿的凸形齿面共轭, 见图13-2-3。这种齿形参照蜗轮齿形是易于确定的。

6) 双导程蜗杆有渐变的齿厚, 见图13-2-4。按齿形再分类的方法与普通圆柱蜗杆相同。

综上所述, 要在测绘时准确判断蜗杆齿形有时是困难的, 所以对要求保证传动精度的蜗杆副的更换, 建议采用成对更换的方法。

各国圆柱蜗杆的齿形制有所不同, 见表13-4-1。

2. 模数制、径节制或周节制

首先要了解所测绘设备的生产国和制造厂家及所采用的齿形制度，从而基本上可确定所测绘蜗杆副是模数制、径节制还是周节制。同时，可根据测量的蜗杆轴向齿距 p_x'' 查表13-4-1来确定，也可根据测绘的蜗轮喉圆直径 d_{a2}'' 按下面几个公式进行初算：

$$\text{模数} \quad m'' = \frac{d_{a2}''}{z_2 + 2} \quad (13-4-7)$$

$$\text{径节} \quad P'' = \frac{z_2 + 2}{d_{a2}''} \times 25.4 \quad (13-4-8)$$

$$\text{周节} \quad CP'' = \frac{\pi d_{a2}''}{(z_2 + 2) \times 25.4} \quad (13-4-9)$$

根据计算结果查表13-4-2，看其数值与哪一种制度的数值相符，即可判断蜗杆副的制度，确定出相应的 m 、 P 、 CP 。如果计算结果与标准的模数、径节或周节均不相符，那么这个蜗轮可能是变位的蜗轮，则按测绘程序反复试算核定，详见本章第三节。

表13-4-1 各国的圆柱蜗杆齿形对照表

联邦德国DIN3975—1976	日本JISB1723—1977	苏联ГОСТ18498—73	中国GB10086—88
ZA	1型	ZA	ZA(阿基米德蜗杆)
ZI	4型	ZI	ZI(渐开线蜗杆)
ZN	2型	ZN ₂	ZN ₁ (齿槽法向直廓蜗杆)
		ZN ₃	ZN ₂ (齿体法向直廓蜗杆)
		ZN ₁	ZN ₃ (齿面法向直廓蜗杆)
ZK	3型	ZK ₁	ZK ₁ (盘状锥面包络蜗杆)
		ZK ₂	ZK ₂ (指状锥面包络蜗杆)
		ZK ₃	ZK ₃ (端锥面包络蜗杆)
		ZT ₁	ZC ₁ (圆环面包络蜗杆)
		ZT ₂	ZC ₂ (圆环面蜗杆)
			ZC ₃ (轴向圆弧齿蜗杆)

表13-4-2 轴向齿距 p_x 对照表

p_x (mm)	m (mm)	m (in)	CP (in)	P (in ⁻¹)
3.142	1		1/8	24
3.175	(1.011)			
3.325	(1.058)			
3.534	1.125			
3.627	(1.155)			
3.927	1.25			
3.990	(1.27)		3/16	20
4.149	(1.3208)	0.052		
4.320	1.375			
4.433	(1.411)			
4.468	(1.4224)	0.056		
4.712	1.5			
4.763	(1.516)		0.06	
4.788	(1.524)			

(续)

P_v (mm)	m (mm)	m (in)	CP (in)	P (in ⁻¹)
4.987	(1.588)			16
5.026	1.6			
5.107	(1.6256)	0.064		
5.426	(1.7272)	0.068		
5.498	1.75			
5.700	(1.814)			14
5.745	(1.8288)	0.072		
6.065	(1.9304)	0.076		
6.283	2			
6.350	(2.0213)		1/4	
6.384	(2.032)	0.08		
6.650	(2.1167)			12
6.703	(2.1336)	0.084		
7.022	(2.2352)	0.088		
7.068	2.25			
7.254	(2.309)			11
7.341	(2.3368)	0.092		
7.660	(2.4384)	0.096		
7.854	2.5			
7.938	(2.5266)		5/16	
7.980	(2.54)	0.10		10
8.639	2.75			
8.778	(2.794)	0.11		
8.866	(2.822)			9
9.425	3			
9.525	(3.0319)		3/8	
9.576	(3.048)	0.12		
9.896	3.15			
9.975	(3.175)			8
10.210	3.25			
10.373	(3.302)	0.13		
10.996	3.5			
11.113	(3.537)		7/16	
11.171	(3.556)	0.14		
11.398	(3.628)			7
11.969	(3.81)	0.15		
12.566	4			
12.700	(4.0425)		1/2	
12.767	(4.064)	0.16		
13.298	(4.233)			6
13.565	(4.318)	0.17		
14.137	4.5			
14.288	(4.548)		9/16	
14.363	(4.572)	0.18		
15.161	(4.826)	0.19		
15.708	5		5/8	
15.8715	(5.053)			
15.959	(5.08)	0.20		5

(续)

P_x (mm)	m (mm)	m (in)	CP (in)	P (in ⁻¹)
16.757	(5.334)	0.21		
17.279	5.5		11/16	
17.463	(5.559)			
17.555	(5.588)	0.22		
18.353	(5.842)	0.23		
18.849	6			
19.050	(6.0638)		3/4	
19.151	(6.096)	0.24		
19.792	6.3			
19.949	(6.35)	0.25		4
20.420	6.5			
20.638	(6.569)	0.26		
20.747	(6.604)		13/16	
21.545	(6.858)	0.27		
21.991	7			
22.2245	(7.074)		7/8	
22.343	(7.112)	0.28		
22.798	(7.257)			3 1/2
23.141	(7.366)	0.29		
23.813	(7.58)		15/16	
25.133	8			
25.400	(8.0851)		1	
25.535	(8.128)	0.32		3
26.600	(8.467)			
26.988	(8.59)		1 1/16	
27.131	(8.636)	0.34		
28.274	9			
28.575	(9.096)		1 1/8	
28.727	(9.144)	0.36		
29.016	(9.236)			2 3/4
30.163	(9.601)		1 3/16	
30.323	(9.652)	0.38		
34.416	10			
31.750	(10.1063)		1 1/4	
31.918	(10.160)	0.40		2 1/2
33.338	(10.612)		1 5/16	
33.514	(10.668)	0.42		
34.557	11			
34.925	(11.117)		1 3/8	
35.110	(11.176)	0.44		
36.513	(11.622)		1 7/16	
36.706	(11.684)	0.46		
37.699	12			
38.100	(12.1276)		1 1/2	
38.302	(12.192)	0.48		
39.299	12.5			
39.898	(12.7)	0.50		2

(续)

P_x (mm)	m (mm)	m (in)	CP (in)	P (in ⁻¹)
41.275	(13.133)		$1^{5/8}$	
41.494	(13.208)	0.52		
43.090	(13.716)	0.54		
43.982	14			
44.450	(14.1489)		$1^{3/4}$	
44.686	(14.224)	0.56		
45.597	(14.514)			$1^{3/4}$
46.282	(14.732)	0.58		
47.625	(15.160)		$1^{7/8}$	
47.878	(15.24)	0.60		
49.474	(15.748)	0.62		
50.265	16			
50.800	(16.170)		2	
51.868	(16.51)	0.65		
53.196	(16.933)			$1^{1/2}$
54.261	(17.272)	0.68		
56.549	18			
57.453	(18.288)	0.72		
60.045	(19.304)	0.76		
62.832	20			
63.837	(20.32)	0.80		
67.029	(21.336)	0.84		
70.221	(22.352)	0.88		
73.413	(23.368)	0.92		
76.604	(24.384)	0.96		
78.540	25			
79.796	(25.4)	1		1
94.248	30			

表13-4-3 蜗杆模数 m 值 (GB10088-88)(蜗杆模数 m 系指蜗杆的轴向模数)

(mm)

第一系列	第二系列	第一系列	第二系列	第一系列	第二系列
0.1	—	0.3	—	1	—
—	—	—	—	—	—
0.12	—	0.4	—	1.25	—
—	—	—	—	—	1.5
0.16	—	0.5	—	1.6	—
—	—	—	—	—	—
0.2	—	0.6	—	2	—
—	—	—	0.7	—	—
0.25	—	0.8	—	2.5	—
—	—	—	0.9	—	3

(续)

第一系列	第二系列	第一系列	第二系列	第一系列	第二系列
3.15	—	10	—	31.5	—
—	3.5	—	12	—	—
4	—	12.5	—	40	—
—	4.5	—	14	—	—
5	—	16	—	—	—
—	5.5	—	—	—	—
—	6	20	—	—	—
6.3	—	—	—	—	—
—	7	25	—	—	—
8	—	—	—	—	—

注：1. 0.1~0.9mm属于小模数范围，用于仪器制造行业。
1~40mm属于中模数范围，用于一般机械制造行业。
2. 第二系列模数值只在特殊情况下作限制性使用或作老产品过渡。

表13-4-4 各国模数系列一览表

标准号	模 数 系 列
中国 GB10088-88	0.1; 0.12; 0.16; 0.2; 0.25; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.8 (0.7); (0.9)
	1; 1.25; 1.6; 2; 2.5; 3.15; 4; 5; 6.3; 8 (1.5); (3); (3.5); (4.5); (5.5); (6); (7)
	10; 12.5; 16; 20; 25; 31.5; 40 (12); (14)
JB111-60 机标	0.1; 0.15; 0.2; 0.25; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.8 (0.7)
	1; 1.25; 1.5; 2; 2.5; 3; 4; 5; 6; 8; (1.75); (2.25); (2.75); (3.25); (4.5); (5.5); (6.5); (7); (9)
	10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 30; 36; 40; 45; 50 (11); (13); (15); (28); (33)
联邦德国 DIN780-77	0.1; 0.12; 0.16; 0.2; 0.25; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9
	1; 1.25; 1.6; 2; 2.5; 3.15; 4; 5; 6.3; 8; 10; 12.5; 16; 20
经互会 CTC9B267-76	0.1; 0.125; 0.16; 0.2; 0.25; 0.315; 0.4; 0.5; 0.63; 0.8 (0.12); (0.15); (0.3); (0.6)
	1; 1.25; 1.6; 2; 2.5; 3.15; 4; 5; 6.3; 8; 10 (1.5); (3); (3.5); (6); (7); (12)
	12.5; 16; 20; 25
日本 JIS. B1723-77	1; 1.25; 1.6; 2; 2.5; 3.15; 4; 5; 6.3; 8; 10
	12.5; 16; 20; 25
苏联 ГОСТ2144-76	1; 1.25; 1.6; 2; 2.5; 3.15; 4; 5; 6.3; 8 (1.5); (3); (3.5)
	10; 12.5; 16; 20

注：1. BS721的模数系列计量单位为英寸，见表13-4-2中的第3列。
2. 表中括号内的数值为第二系列。

表13-4-5 径节制的径节P系列

(in⁻¹)

1	1 ¹ / ₄	1 ¹ / ₂	1 ³ / ₄	2	2 ¹ / ₄	2 ¹ / ₂	2 ³ / ₄	3
3 ¹ / ₂	4	5	6	7	8	9	10	11
12	14	16	18	20	22	24	26	28

表13-4-6 周节制的周节CP系列

(in)

0.125(1/8)	0.1875(3/16)	0.250(1/4)	0.3125(5/16)	0.375(3/8)
0.4375(7/16)	0.500(1/2)	0.5625(9/16)	0.625(5/8)	0.6875(11/16)
0.750(3/4)	0.8125(13/16)	0.875(7/8)	0.9375(15/16)	1.000(1)
1.0625(1 ¹ / ₁₆)	1.125(1 ¹ / ₈)	1.1875(1 ³ / ₁₆)	1.250(1 ¹ / ₄)	1.3125(1 ⁵ / ₁₆)
1.375(1 ³ / ₈)	1.4375(1 ⁷ / ₁₆)	1.500(1 ¹ / ₂)	1.625(1 ⁵ / ₈)	1.750(1 ³ / ₄)
1.875(1 ⁷ / ₈)	2.000(2)			

3. 齿形角 α

国标对基准蜗杆的齿形角的规定如下：阿基米德蜗杆轴向齿形角 $\alpha_x = 20^\circ$

法向直廓蜗杆法向齿形角 $\alpha_n = 20^\circ$

渐开线蜗杆的法向齿形角 $\alpha_n = 20^\circ$

锥面包络圆柱蜗杆齿面的锥形刀具产形角 $\alpha_0 = 20^\circ$ 。

对于动力蜗杆，当导程角 $\gamma > 30^\circ$ 时，允许增大齿形角，推荐采用 25° ；对于分度蜗杆副，允许减小齿形角，推荐采用 15° 或 12° 。

目前世界上大多数国家都规定模数制蜗杆轮齿的齿形角 $\alpha = 20^\circ$ 。在一些旧设备中有时可能遇到齿形角为 $22\frac{1}{2}^\circ$ ， 25° ， 30° 的蜗杆，测绘时应尽量改为现在规定的数值。

径节制蜗杆传动的齿形角常见的有 $14\frac{1}{2}^\circ$ 、 20° 及 25° ，有时还可能遇到 $17\frac{1}{2}^\circ$ 及 30° 。

4. 蜗杆分度圆直径 d_1

为使蜗轮滚刀标准化，蜗杆直径 d_1 值必须标准化。测绘及设备改装设计时应该考虑这一点。表13-

4-7是国家标准GB10088-88的 d_1 值。

各国蜗杆直径尺寸系列见表13-4-8。

5. 齿顶高系数 h_a^* 、顶隙系数 c^* 的确定

在测得齿全高 h'' 和模数 m'' 后，一般可先试取齿顶高系数 $h_a^* = 1$ ，顶隙系数 $c^* = 0.2$ ，按下式来核算所得数值： $h = 2h_a^* m + c^* m$

如果 $h \neq h''$ ，说明齿顶高系数 h_a^* 和顶隙系数 c^* 的取值不正确，应当重新确定。

我国、联邦德国和经互会的标准一般规定 $h_a^* = 1$ ，但在导程角 $\gamma > 30^\circ$ 时，为满足高速重载传动的需要，可采用短齿制，取 $h_a^* = 0.8$ 。

对渐开线蜗杆、蜗轮可分别取为 $h_{a1}^* = 1$ ， $h_{a2}^* = 2\cos\gamma - 1$ 。

顶隙系数 c^* 的取值参照表13-3-1。为保证蜗轮刀具的寿命， c^* 值可能大于0.2，某些特殊传动要求顶隙 c^* 小于0.2，因此国标规定 c^* 值还可在0.15~0.35之间取值。联邦德国标准DIN3975~1976规定一般取 $c^* = 0.167 \sim 0.3$ ，最好取 $c^* = 0.2$ 。英国BS制规定 $c^* = 0.2 \sim 0.25$ ，而DP制蜗轮 $c^* = 0.157$ 。

重新选取 h_a^* 和 c^* 后，再用 h 算式核算，直到测得值 h'' 与计算值 h 相符，即可最后确定 h_a^* 和 c^* 。

表13-4-7 蜗杆分度圆直径 d 值

mm

第一系列	第二系列	第一系列	第二系列	第一系列	第二系列
4	—	20	—	100	—
—	—	—	—	—	106
4.5	—	22.4	—	112	—
—	—	—	—	—	118
5	—	25	—	125	—
—	—	—	—	—	132
5.6	—	28	—	140	—
—	6	—	30	—	144
6.3	—	31.5	—	160	—
—	—	—	—	—	170
7.1	—	35.5	—	180	—
—	7.5	—	38	—	190
8	—	40	—	200	—
—	8.5	—	—	—	—
9	—	45	—	224	—
—	—	—	48	—	—
10	—	50	—	250	—
—	—	—	53	—	—
11.2	—	55	—	280	—
—	—	—	60	—	300
12.5	—	63	—	315	—
—	—	—	67	—	—
14	—	71	—	355	—
—	15	—	75	—	—
16	—	80	—	400	—
—	—	—	85	—	—
18	—	90	—	—	—
—	—	—	95	—	—

表13-4-8 各国蜗杆直径系列一览表

标准代号	蜗 杆 直 径 系 列
中国 GB10088—88	4, 4.5, 5, 5.6, (6), 6.3, 7.1, (7.5), 8, (8.5), 9, 10, 11.2, 12.5
	14, (15), 16, 18, 20, 22.4, 25, 28, (30), 31.5, 35.5, (38), 40
	45, (48), 50, (53)

(续)

标准代号	蜗 杆 直 径 系 列
中国 GB10088—88	56, (60), 63, (67), 71, (75), 80, (85), 90, (95), 100, (106), 112
	(118), 125, (132), 140, (144), 160, (170), 180, (190), 200
	224, 250, 280, (300), 315, 355, 400
联邦德国 DIN3976—80	17, (18), (21.2), 22.4, 26.5, 28, (31.5), 33.5, 35.5, 40
	42.5, 50, 53, 63, 67, (75), 80, 85, (90), 95, (100), 112
	(118), (132), 140, 170, (180), 212, 280, 340
日本 JIS. B1723—77	16, 18, 22.4, 25, 31.5, 35.5, 45, 56, 63
	80, 90, 112, 140, 150, 200
经互会 CTC9B267—76	2.0, (2.24), 2.5, (2.8), (3.0), 3.15, (3.5), 4.0, (4.5), 5.0, (5.6), 6.3
	6.4, (7.1), 7.9, 8.0, (9), 10, (11.2)
	12.5, 12.6, 12.8, (14), 15.6, 15.8, 16, (18), 19.8, 20, (22.4)
	25, 25.2, 25.6, (28)
	(30), 31.5, 32, (35), (36), 39.4, 39.7, 40, (45), 50, 50.4
	(56), 62.5, 63, 64, (71)
	78.8, 80, (90), 100, (112), 125, 128, (144), 158, 160, (180)
	200, (224), 250
	252, 256, (280), 315, 320, (350), 394, 397, 400, ...
苏联 ГОСТ2144—76	10, 12.5, 15.6, 16, 19.5, 20, (21), (24), 25, 25.6, (30), 31.25, 31.5, 32
	(35), (36), 39.4, 40, (42), (48), (49), 50, 50.4, (54), (60), 62.5
	63, 64, 78.8, 80, (84)
	100, 100.8, (112), (120), 125, 126, 128, 156.3, 157.5, 160, 200
	250, 256, 312.5, 320, 400, 500

注：括号内数值为第二系列。

(三) 变位蜗轮的识别

在测绘蜗杆副时，需要分析确定是否为变位蜗杆副。在模数 m 确定后，应按下述步骤来进一步计算分析：

1) 核算蜗轮喉圆直径 d_{a2}

实测喉圆直径 d_{a2}'' ，核算是否等于计算值 d_{a2} ，

$$d_{a2} = mz_2 + 2h_a$$

若 $d_{a2}'' \neq d_{a2}$ ，就要考虑到该蜗轮可能是变位蜗轮，应通过中心距的测算来进一步分析。

2) 核算蜗杆传动的啮合中心距

$$a = \frac{(d_{a1}'' - 2h_a^* m) + mz_2}{2}$$

式中 m 是按照蜗杆轴向齿距 p_x 查表 13-4-2 判定的标

准模数。比较 a 值和实测值 a'' 若计算的 a 与实测的中心距 a'' 不一致，就说明这对蜗杆副是变位啮合，这个蜗轮是变位蜗轮。

3) 变位系数 x_2 按下式计算

$$x_2 = \frac{a'' - a}{m} = \frac{d_{a2}''}{2m} - \frac{z_2}{2} - h_a^*$$

再将计算所得数值参照制造国的变位制度来最后确定被测蜗杆副的变位系数值。

蜗轮变位系数 x_2 取值主要受到轮齿根切和齿顶变尖的限制。各国变位系数取值情况见表 13-4-9。

表 13-4-10 及表 13-4-11 介绍英国对蜗轮的最大变位系数 x_{2max} 和最小变位系数 x_{2min} 推荐值。

表 13-4-12 所列为苏联推荐的 x_{2min} 值。

表13-4-9 各国变位系数概况

中国GB10085--88	$-0.5 \leq x_2 \leq +0.5$ (建议 $x_2 \geq 0$)
联邦德国DIN3976--80	$x_2 = 0 \sim +0.5$
苏联ГОСТ2144--76	$-0.75 \leq x_2 \leq +1.0$
日本JISB1723	$-0.3 \leq x_2 \leq +0.25$

表13-4-10 最大变位系数 x_{2max}

蜗轮齿数 z_2	导程角 γ																				
	0°	5°	6°	8°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°
17										0.3	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.4	0.42	0.44	0.46	0.48	0.5
18						0.3	0.31	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.39	0.4	0.42	0.44	0.46	0.48	0.5		
19			0.3	0.31	0.32	0.34	0.35	0.36	0.37	0.39	0.4	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.5				
20								0.4	0.41	0.42	0.44	0.45	0.47	0.49	0.5						
21				0.4	0.41	0.42	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49	0.5									
22	0.4	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.47	0.48	0.49	0.5											
23						0.5															
24			0.5																		
25																					
以上	最大取0.5																				

表13-4-11 最小变位系数 x_{2min}

蜗轮齿数 z_2	γ/x_{2min}																				
17	28°/0.05	30°/0.1	32°/0.15	33°/0.2	34°/0.25	36°/0.3	39°/0.3	45°/0.25													
18	25°/0.05	27°/0.1	29°/0.15	31°/0.2	33°/0.25	34°/0.3	35°/0.34	39°/0.3	40°/0.29	45°/0.25											
19	22°/0.05	25°/0.1	27°/0.15	28°/0.2	30°/0.25	32°/0.3	33°/0.35	35°/0.24	39°/0.3	45°/0.25											
20	17°/0.05	21°/0.1	23°/0.15	25°/0.2	27°/0.25	29°/0.3	30°/0.35	33°/0.25	35°/0.34	39°/0.3	45°/0.25										
21	13°/0.05	16°/0.1	19°/0.15	21°/0.2	23°/0.25	26°/0.3	27°/0.35	30°/0.27	35°/0.3	39°/0.3	45°/0.25										
22	5°/0.05	12°/0.1	16°/0.15	19°/0.2	21°/0.25	23°/0.3	25°/0.35	30°/0.37	33°/0.35	35°/0.33	39°/0.3	45°/0.25									
23	10°/0.15	13°/0.2	17°/0.25	20°/0.3	22°/0.35	25°/0.41	30°/0.37	33°/0.35	35°/0.34	39°/0.3	45°/0.25										
24	9°/0.2	13°/0.25	15°/0.3	20°/0.35	22°/0.4	25°/0.41	30°/0.37	33°/0.35	35°/0.34	39°/0.3	45°/0.25										
25	8°/0.25	12°/0.3	16°/0.35	19°/0.4	20°/0.44	25°/0.41	30°/0.37	33°/0.35	35°/0.34	39°/0.3	45°/0.25										
26	5°/0.3	12°/0.45	15°/0.4	18°/0.45	20°/0.44	25°/0.41	26°/0.4	30°/0.37	33°/0.35	35°/0.34	34°/0.3	45°/0.25									
27	5°/0.35	10°/0.4	15°/0.47	18°/0.45	20°/0.44	25°/0.41	26°/0.4	30°/0.37	33°/0.35	39°/0.3	45°/0.25										
28	4°/0.4	11°/0.45	17°/0.45	20°/0.44	25°/0.41	26°/0.4	30°/0.37	33°/0.35	39°/0.3	45°/0.25											
29	5°/0.45	10°/0.475	13°/0.475	15°/0.465	18°/0.46	20°/0.44	25°/0.41	26°/0.4	30°/0.37	33°/0.35	39°/0.3	45°/0.25									
30以上	7°/0.475	10°/0.48	13°/0.475	15°/0.465	18°/0.45	20°/0.44	25°/0.41	30°/0.37	33°/0.35	35°/0.34	39°/0.3	45°/0.25									

表13-4-12 $\alpha = 20^\circ$ $h = 1.2m$ 时的 x_{2min}

z_2	28	29	30	31	38	41
x_{2min}	-0.438	-0.496	-0.535	-0.613	-1.02	-1.198

(四) 蜗杆副的测绘程序

圆弧圆柱蜗杆和双导程蜗杆的测绘程序分别在第九节和第十节中叙述。

普通圆柱蜗杆传动的测绘程序见图13-4-6。

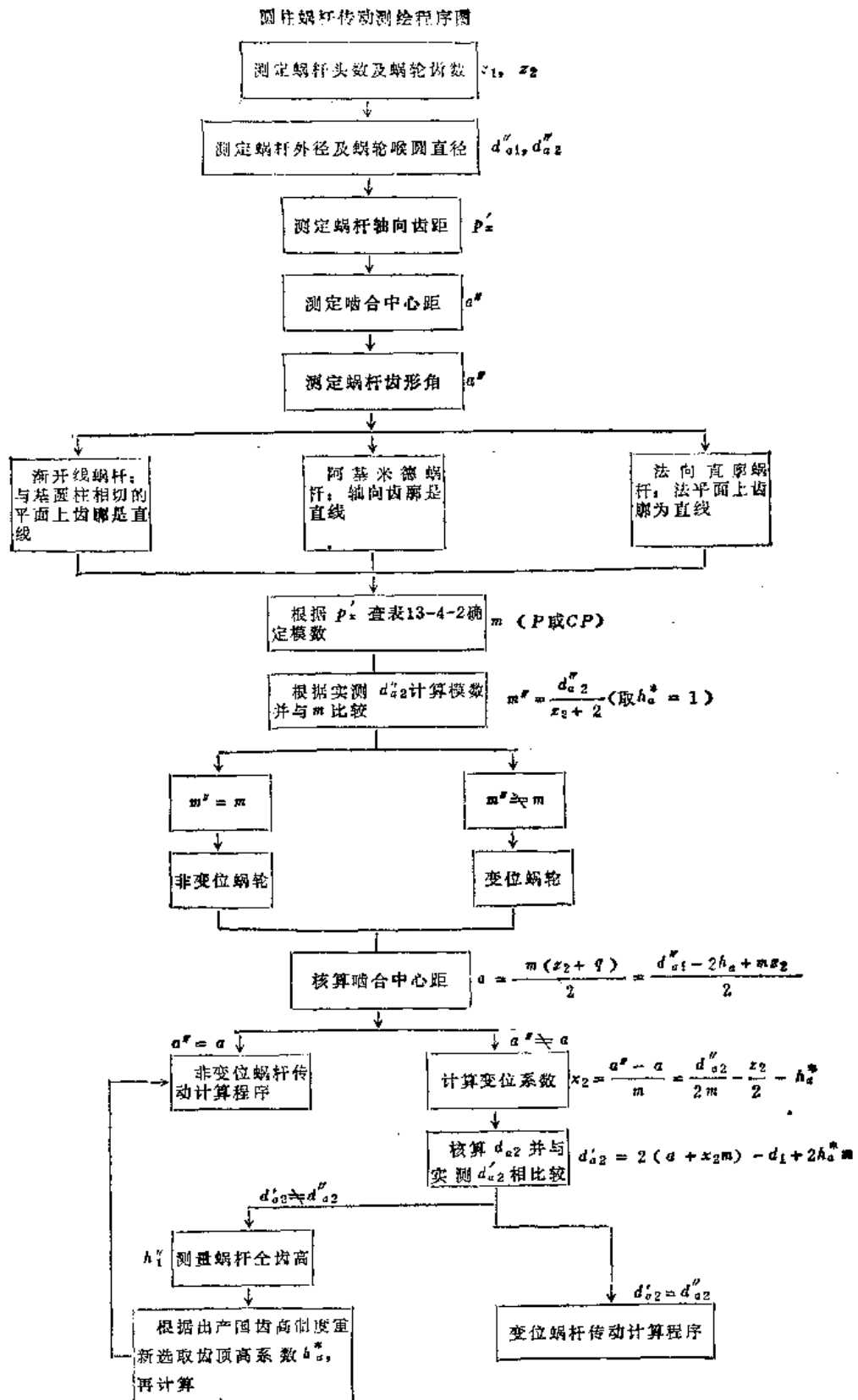


图 13-4-6

(五) 蜗杆蜗轮工作图

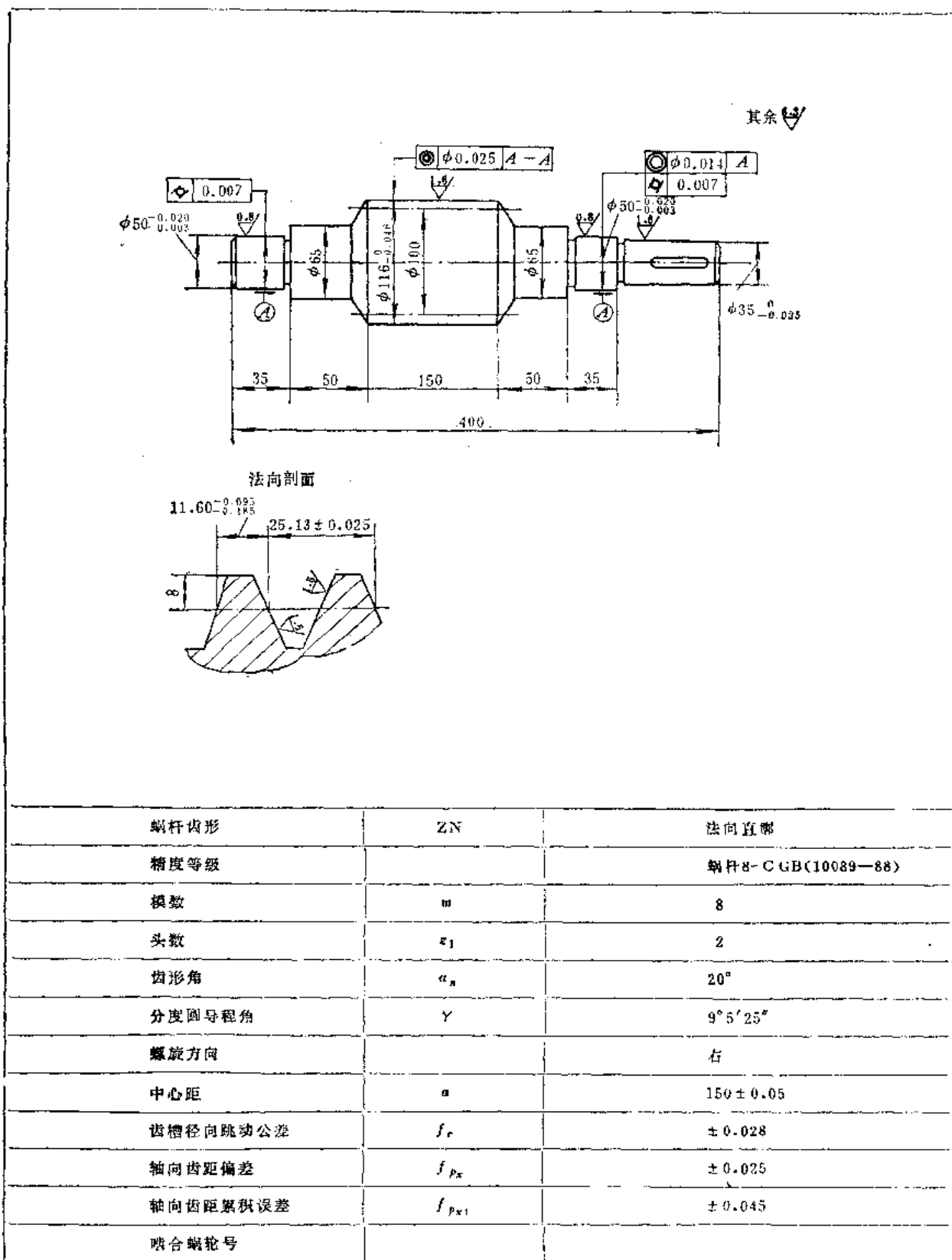
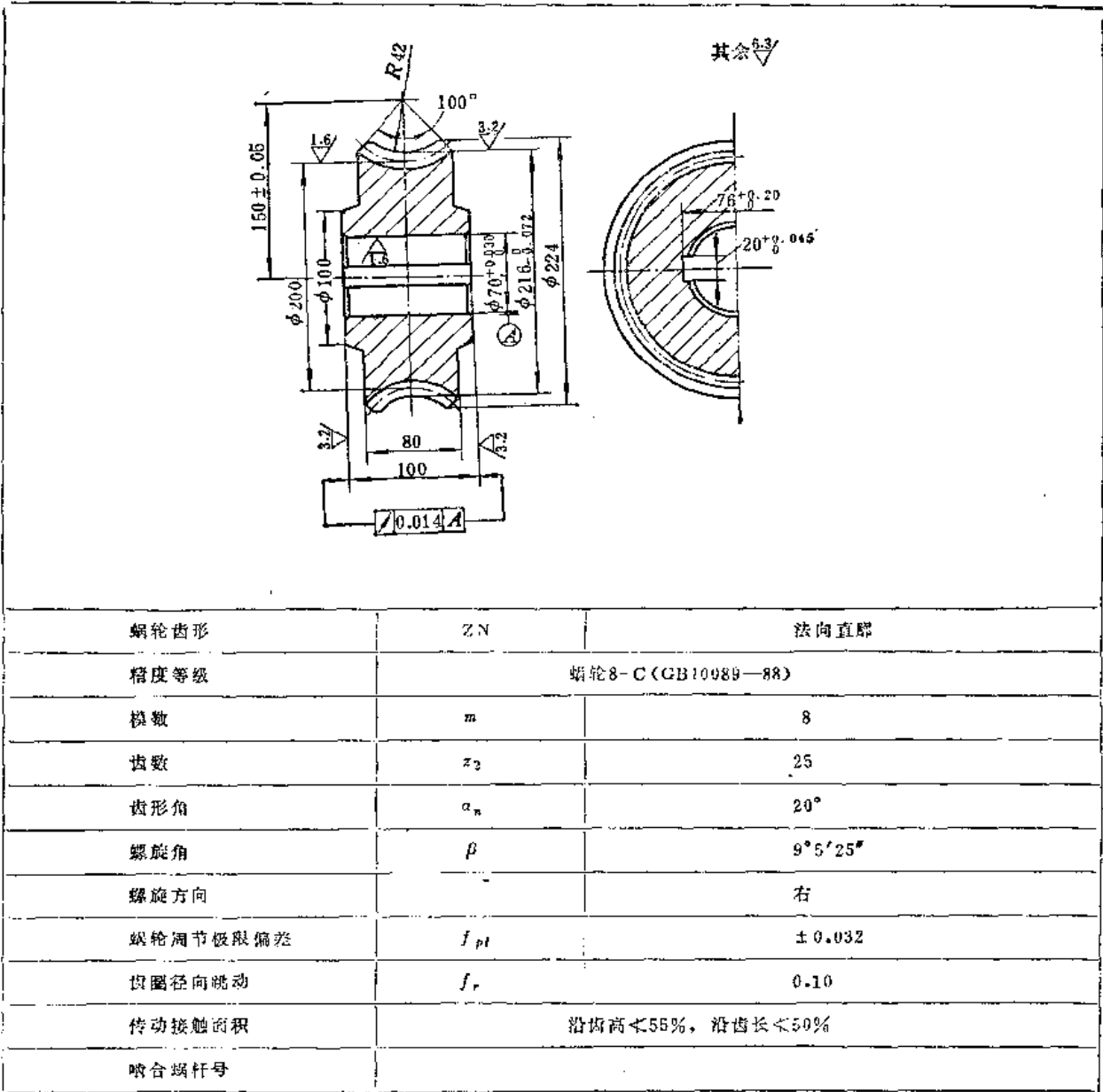


图13-4-7 蜗杆工作图



注：与设计计算无直接关系的尺寸及要求未在此标注

图13-4-8 蜗轮工作图

第5节 普通圆柱蜗杆传动的强度计算

(一) 普通圆柱蜗杆传动的受力分析

普通圆柱蜗杆传动的受力情况如图13-5-1。

进行受力分析时要特别注意力的方向。它取决于蜗杆的旋向；蜗杆是主动件还是被动件以及传动

时的旋转方向等。图13-5-1是右旋蜗杆为主动件，按 n_1 方向旋转时的受力分析。蜗杆传动结构设计的合理性要求提供正确的受力分析，为便于判断，图13-5-2中列举了八种情况。

图13-5-3介绍一种简易判断蜗杆蜗轮旋向、回转方向及蜗杆所受轴向力方向的方法。右旋蜗杆为主动件时用右手定则，见图13-5-3a。左旋蜗杆为主动件时用左手定则，见图13-5-3b。

蜗杆传动各力的计算列于表13-5-1。

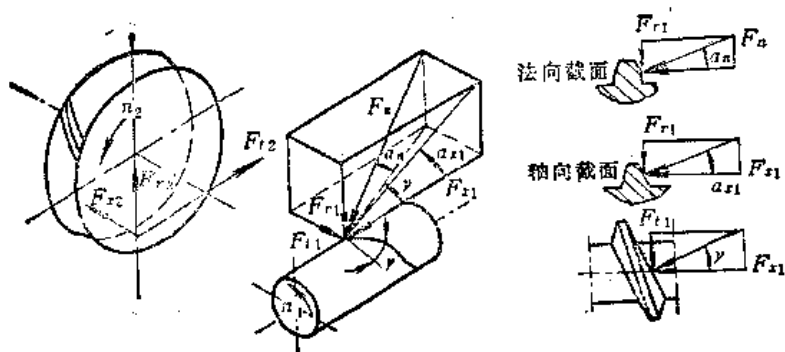


图13-5-1 蜗杆传动的受力分析

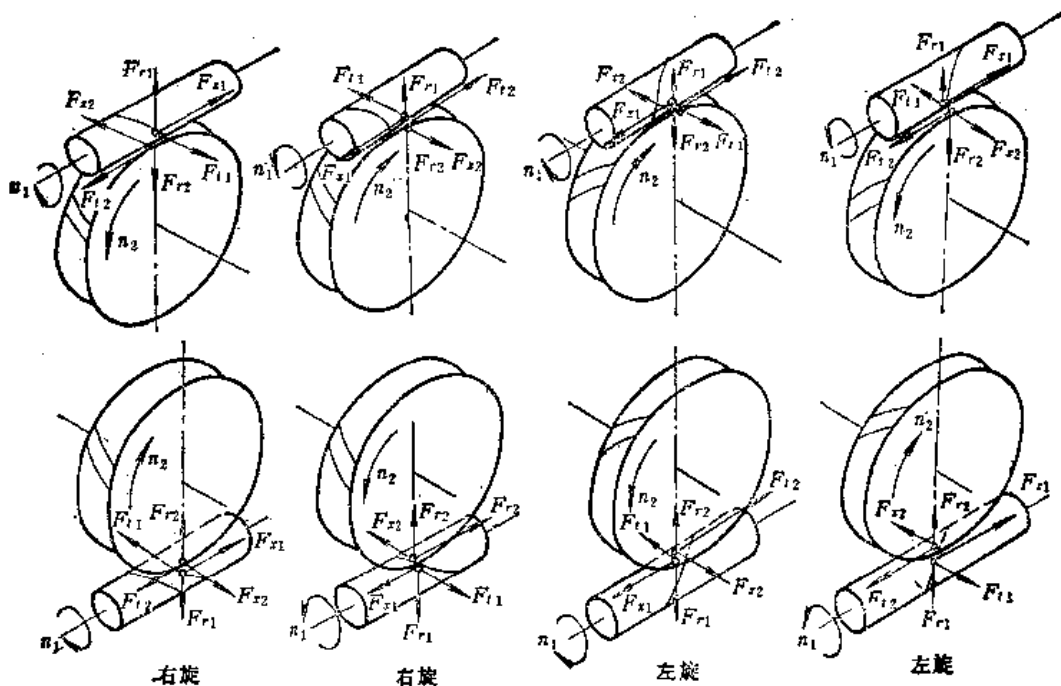


图13-5-2 蜗杆传动受力分析八例（蜗杆为主动件）

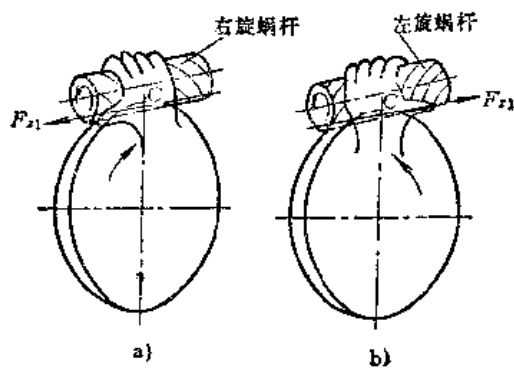


图13-5-3 蜗杆轴向受力方向判断
a) 右手判断法 b) 左手判断法

表13-5-1 蜗杆传动力的计算

项目	代号	计 算 公 式	备 注
蜗杆圆周力 蜗轮轴向力	F_{t1} F_{x2}	$F_{t1} = -F_{x2} = \frac{2T_1}{d_1} = F_n(\cos\alpha_n \sin\gamma + \mu \cos\gamma)$ (N)	T_1 ——转矩 N·mm d_1 ——直径 mm μ ——摩擦系数
蜗杆轴向力 蜗轮圆周力	F_{x1} F_{t2}	$F_{x1} = -F_{t2} = \frac{2T_2}{d_2} = F_n(\cos\alpha_n \cos\gamma - \mu \sin\gamma)$ (N)	T_2 ——转矩 N·mm d_2 ——直径 mm
蜗杆径向力 蜗轮径向力	F_{r1} F_{r2}	$F_{r1} = -F_{r2} = F_n \sin\alpha_n \approx F_{t2} \operatorname{tg}\alpha_x$ (N)	
法向力	F_n	$F_n = \frac{F_{x1}}{\cos\gamma \cdot \cos\alpha_n} \approx \frac{-F_{t2}}{\cos\gamma \cdot \cos\alpha_x}$ (N)	
蜗轮的工作转矩	T_2	$T_2 = 9550 \times 10^3 \frac{P_2}{n_2} = T_1 i \eta$ (N·mm)	P_1 ——功率 kW
蜗杆的工作转矩	T_1	$T_1 = 9550 \times 10^3 \frac{P_1}{n_1}$ (N·mm)	P_2 ——功率 kW
传动效率	η	$\eta = \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho')} = \frac{P_2}{P_1}$ 蜗杆主动时 $\eta = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \rho')}{\operatorname{tg}\gamma} = \frac{P_1}{P_2}$ 蜗轮主动时	ρ' ——当量摩擦角, 表13-5-2

(二) 几种强度计算方法

蜗杆传动的强度计算方法多种多样、计算项目也很不统一，目前我国尚无蜗杆强度计算的 GB 标准，下面仅介绍一种简易计算法和三种国际上最有影响的蜗杆副强度计算标准。

1. 简易计算法

蜗杆相对滑动速度 (m/s)

$$v_s = \frac{\pi d_2 n_1}{60 \times 1000 \cos\gamma} \quad (13-5-1)$$

式中 d_1 ——蜗杆分度圆直径 (mm);

n_1 ——蜗杆转速 (r/min)。

蜗轮弯曲应力 (MPa)

$$\sigma_F = \frac{5886 T_2}{z_2 m^3 q Y_F \theta} \leq \sigma_{FP} \quad (13-5-2)$$

蜗轮接触应力 (MPa)

$$\sigma_H = \frac{4905}{m z_2} \sqrt{\frac{T_2}{2 d_1 \theta}} \leq \sigma_{HP} \quad (13-5-3)$$

式中 T_2 ——蜗轮传递的转矩 (N·mm)，见表13-5-1;

z_2, m, q, θ ——蜗杆传动几何参数见表13-3-3;

Y_F ——蜗轮齿形系数，表13-5-3;

σ_{FP}, σ_{HP} ——许用弯曲应力和许用接触应力，表13-5-4, 13-5-5。

2. 英国BS制圆柱蜗杆副强度计算

(1) 齿面强度计算 (点蚀的许用转矩)

$$T_{HP1} = 0.00191 Z_{vH1} Z_{E1} \epsilon d_2^{1.8} m \quad (13-5-4)$$

$$T_{HP2} = 0.00191 Z_{vH2} Z_{E2} \epsilon d_2^{1.8} m \quad (13-5-5)$$

式中 T_{HP1}, T_{HP2} ——蜗杆、蜗轮受磨损限定的许用转矩 (N·m);

d_2 ——蜗轮分度圆直径 (mm);

m ——轴向模数 (mm);

ϵ ——重合度，查表13-5-7;

Z_{E1}, Z_{E2} ——蜗杆、蜗轮与使用材料有关的表面应力系数，表13-5-6;

Z_{vH1}, Z_{vH2} ——蜗杆、蜗轮速度系数(图13-5-4)。

(2) 齿根强度计算 (强度的许用转矩)

$$T_{FP1} = 0.0018 Z_{vF1} Z_{F1} \widehat{s}_{f2} d_2 m \cos\gamma \quad (13-5-6)$$

$$T_{FP2} = 0.0018 Z_{vF2} Z_{F2} \widehat{s}_{f2} d_2 m \cos\gamma \quad (13-5-7)$$

式中 T_{FP1}, T_{FP2} ——蜗杆、蜗轮受强度限定的许用转矩 (N·m);

Z_{vF1}, Z_{vF2} ——蜗杆、蜗轮速度系数 (对强度而言的)，见图13-5-5;

Z_{F1}, Z_{F2} ——蜗杆、蜗轮弯曲应力系数，查表13-5-6;

\widehat{s}_{f2} ——蜗轮齿根弧长 (mm)，计算式见表13-3-6。

表13-5-2 钢蜗杆和不同材料的蜗轮间的当量摩擦系数 μ' 及当量摩擦角 ρ'

蜗轮齿圈材料	锡青铜				无锡青铜		灰铸铁			
	\geq HRC45		$<$ HRC45		\geq HRC45		\geq HRC45		$<$ HRC45	
	μ'	ρ'	μ'	ρ'	μ'	ρ'	μ'	ρ'	μ'	ρ'
滑动速度 v_s (m/s)										
0.01	0.110	6°17'	0.120	6°51'	0.180	10°12'	0.180	10°12'	0.190	10°45'
0.05	0.090	5°09'	0.100	5°43'	0.140	7°58'	0.140	7°58'	0.160	9°05'
0.10	0.080	4°34'	0.090	5°09'	0.130	7°24'	0.130	7°24'	0.140	7°58'
0.25	0.065	3°43'	0.075	4°17'	0.100	5°43'	0.100	5°43'	0.120	6°51'
0.50	0.055	3°09'	0.065	3°43'	0.090	5°09'	0.090	5°09'	0.100	5°43'
1.0	0.045	2°35'	0.055	3°09'	0.070	4°00'	0.070	4°00'	0.090	5°09'
1.5	0.040	2°17'	0.050	2°52'	0.065	3°43'	0.065	3°43'	0.080	4°34'
2.0	0.035	2°00'	0.045	2°35'	0.055	3°09'	0.055	3°09'	0.070	4°06'
2.5	0.030	1°43'	0.040	2°17'	0.050	2°52'				
3.0	0.023	1°36'	0.035	2°00'	0.045	2°35'				
4	0.024	1°22'	0.031	1°47'	0.040	2°17'				
5	0.022	1°16'	0.029	1°40'	0.035	2°00'				
8	0.018	1°02'	0.026	1°29'	0.030	1°43'				
10	0.016	0°55'	0.024	1°22'						
15	0.014	0°48'	0.020	1°09'						
24	0.013	0°45'								

注: $\mu' = \frac{\mu}{\cos\alpha_n} = \text{tg}\rho'$, μ 为摩擦系数。

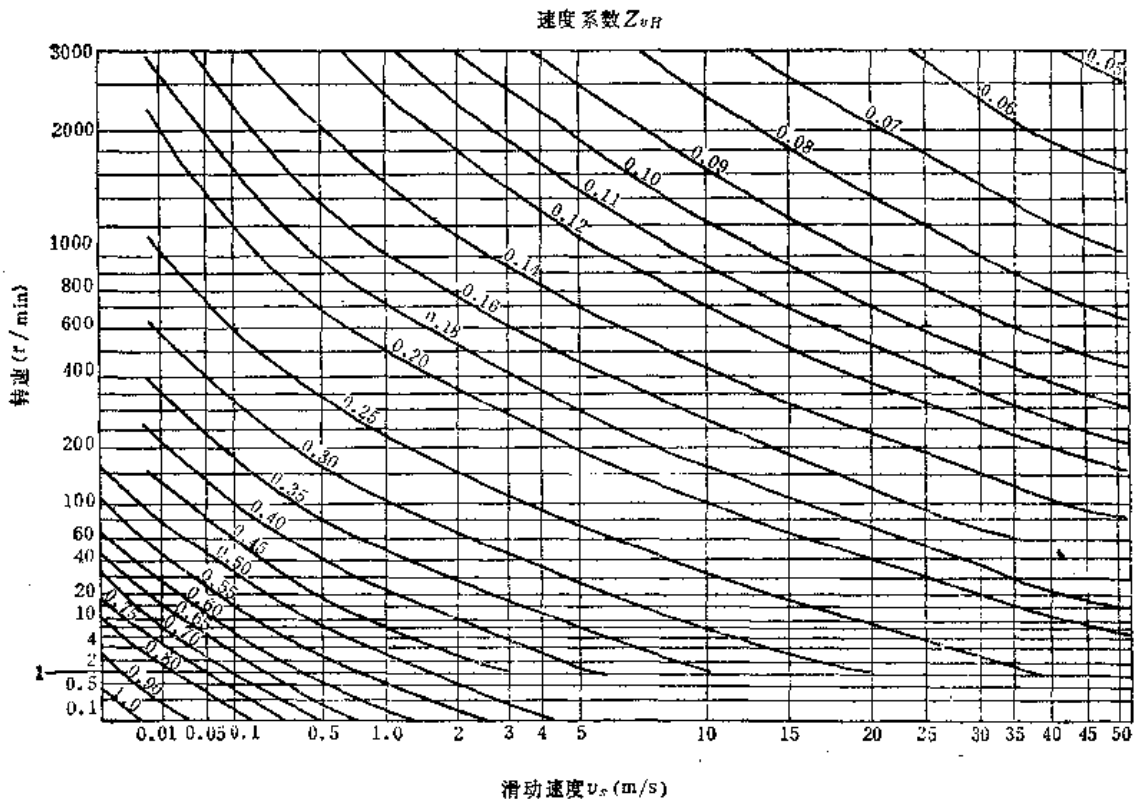


图13-5-4 速度系数 Z_{vH} (对齿面点蚀的)

表13-5-3 齿形系数 Y_F

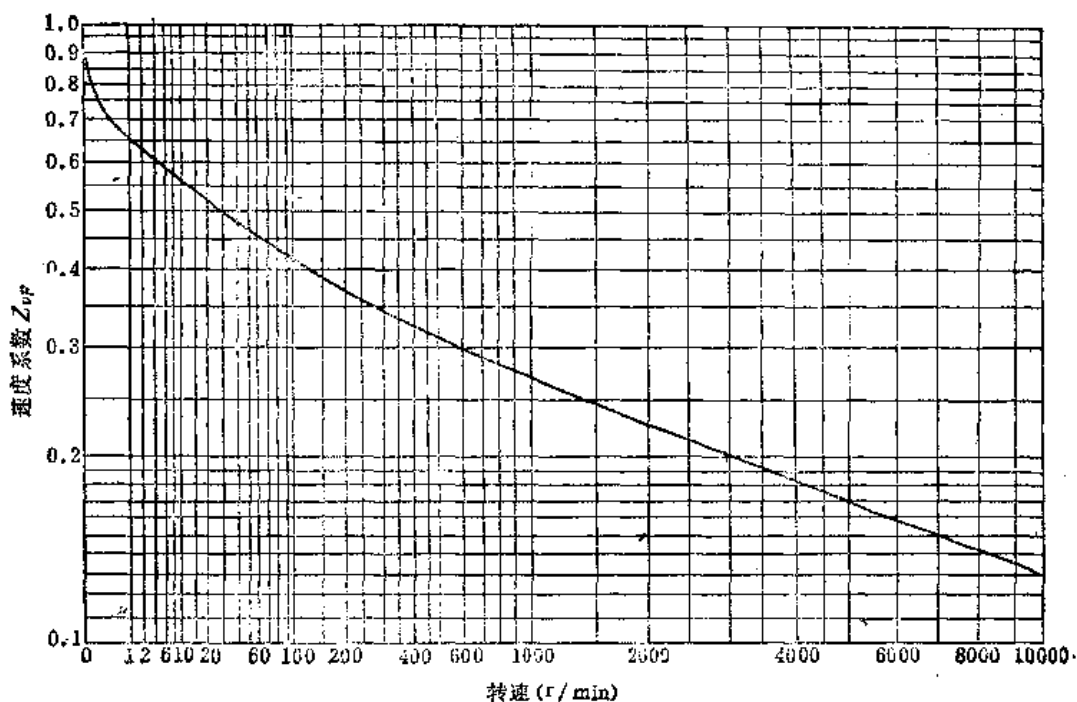
z_2	16	17	18	19	20	21	22	24
Y_F	0.095	0.096	0.098	0.099	0.100	0.101	0.103	0.105
z_2	26	28	30	32	35	37	40	45
Y_F	0.107	0.110	0.113	0.116	0.120	0.123	0.128	0.133
z_2	50	60	80	100	150	300	齿条	
Y_F	0.136	0.141	0.148	0.152	0.156	0.160	0.164	

表13-5-4 蜗轮的许用应力 (MPa)

蜗轮 材料牌号	浇注方法	许 用 应 力		
		弯曲应力 $[\sigma_{FP}]$	接触应力 $[\sigma_{HP}]$	
			蜗杆硬度 HRC \leq 45	蜗杆硬度 HRC \geq 45
QSn10-1	砂型浇注 硬模浇注	60 80	170 250	200 300
QSn6-6-3	砂型浇注 硬模浇注 离心浇注	55 60 70	150 170 210	190 200 260
QSn5-7-12	砂型浇注	55	150	190
QA19-4	砂型浇注 硬模浇注	100 110	随蜗杆的材料和滑动速度而定， 见表13-5-5	
HT100	—	40		
HT150	—	45		
HT200	—	50		
HT250	—	60		

表13-5-5 许用接触应力 $[\sigma_{HP}]$ (MPa)

材料牌号		滑 动 速 度 v_s (m/s)					
蜗杆	蜗轮	0	0.25	0.5	1	2	3
HT150 HT200	HT100 HT150	220	200	190	170	140	100
20号钢渗碳	HT100 HT150 QA19-4	190	160	130	110	90	—
A6号钢 45号钢	HT100 HT150	170	140	120	100	70	—

图13-5-5 速度系数 Z_{vF} (对强度而言)表13-5-6 应力系数 Z_P 、 Z_E

分组号	蜗杆材料		英国标准牌号	弯曲应力系数 Z_P	表面应力系数 Z_E (配对材料)				
					A	B	C	D	E
A	磷青铜	离心浇铸	BS1430—PB2	69	—	8.3①	8.3	9.0	15.2
		冷模铸造	BS1400—PB2	63	—	6.2①	6.2	6.9	12.4
		砂型铸造	BS1400—PB2	49	—	4.6①	4.6	5.3	10.3
B	灰铸铁		BS1452 grade 180	40.0	6.2①	4.1①	4.1②	4.1②	5.2②
C	0.40%碳钢, 正火		BS970, Part 1 Section 2.1 080M40	138	10.7	6.9	—	—	—
D	0.55%碳钢, 正火		BS970, Part 1 Section 2.1 070M55	173	15.2	8.3②	—	—	—
E	渗碳钢		BS970, Part 1 Section 4 080A15③	276	48.3	30.3②	—	—	15.2②
	Ni和NiMo表面淬火钢		BS970, Part 1 Section 4 665M17④ 805M20	325	53.1	30.3②	—	—	15.2②
	NiCr和NiCrMo表面淬火钢		BS970, Part 1 Section 4 655M13 835M15	345	66.7	30.3②	—	—	15.2②

① 最大允许滑动速度2.54 m/s。

② 只适用于手动蜗杆副。

③ 与EN32基本相当。

④ 允许相当级别的钢种。

表13-5-7 蜗杆副重合度 ϵ

q	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	11	12	13	14	17	20
1	1.045	1.048	1.052	1.065	1.084	1.107	1.128	1.137	1.143	1.160	1.202	1.260	1.318	1.402	1.508
2	0.991	1.028	1.055	1.099	1.144	1.183	1.214	1.223	1.231	1.250	1.280	1.320	1.360	1.447	1.575
3	0.822	0.890	0.989	1.109	1.209	1.260	1.305	1.333	1.350	1.365	1.393	1.422	1.442	1.532	1.674
4	0.826	0.883	0.981	1.098	1.204	1.301	1.380	1.428	1.460	1.490	1.515	1.545	1.570	1.666	1.798
5	0.947	0.991	1.050	1.122	1.216	1.315	1.417	1.490	1.550	1.610	1.632	1.652	1.675	1.765	1.886
6	1.132	1.145	1.172	1.220	1.287	1.350	1.438	1.521	1.588	1.675	1.694	1.714	1.733	1.818	1.928
7			1.316	1.340	1.370	1.405	1.452	1.540	1.614	1.704	1.725	1.740	1.760	1.846	1.950
8					1.437	1.462	1.500	1.557	1.623	1.715	1.738	1.753	1.778	1.868	1.960
9							1.573	1.604	1.648	1.720	1.743	1.767	1.790	1.880	1.970
10									1.680	1.728	1.748	1.773	1.798	1.888	1.980
11										1.732	1.753	1.777	1.802	1.892	1.987
12											1.760	1.780	1.806	1.895	1.992
13												1.784	1.806	1.898	1.998
14													1.811	1.900	2.000

注：1.表中数值以蜗轮中间平面对称，以有效齿宽 $b_2 = 2m\sqrt{(q+1)}$ 为依据。

2.当 b_2 小于式 $b_2 = 2m\sqrt{(q+1)}$ 求得值时， ϵ 值必须按比例减小。

3.当承载能力必须加大时， b_2 可以增大到 $2.3m\sqrt{(q+1)}$ 的最大值， ϵ 按比例增加，表值乘以1.15。

4.本表蜗轮齿数 $z_2 = 30$ ，齿数变化对 ϵ 值的影响忽略不计。

要提到一点，在工作油的温升超过95℃时，蜗轮的许用转矩应低于式(13-5-4)，(13-5-5)，(13-5-6)，(13-5-7)所计算的数值。

(3) 以上两项求得的许用转矩的安全运转时间为26000h，对其它时间 t_N 要分别乘以系数 Z_N ，

$$\left. \begin{aligned} \text{齿面强度: } Z_{NH} &= \left(\frac{27000}{1000 + t_{NH}} \right)^{1/3} \\ \text{齿根强度: } Z_{NF} &= \left(\frac{26200}{200 + t_{NF}} \right)^{1/7} \end{aligned} \right\} \quad (13-5-8)$$

式中 t_N ——当量运转时间 \ominus ；

Z_N ——寿命系数。

(4) 功率 (kW)

$$\text{蜗轮许用功率 } P = \frac{T_P n_2}{9550} \quad (13-5-9)$$

式中 T_P ——用公式13-5-4，5，6，7中四个值中的最小值；

n_2 ——蜗轮转速。

3. 美国AGMA圆柱蜗杆副强度计算

适用条件：蜗杆最高转速为3600 r/min，最大滑动速度30m/s，减速比3~100，一级蜗杆副减速器和二级蜗杆副减速器。

蜗轮许用圆周力 F_{tP} (lb)：

$$F_{tP} = K_B d_{i2}^3 \epsilon^3 b_2 K_i K_v K_A \quad (13-5-10)$$

式中 K_B ——材料系数，查图13-5-7或图13-5-8；

d_{i2} ——蜗轮基圆直径 (in)；

b_2 ——蜗轮有效齿宽 $\leq \frac{2}{3}d_1$ (d_1 ——蜗杆分

度圆直径，in)；

K_i ——减速比修正系数，查表13-5-8；

K_v ——速度系数，查图13-5-9；

K_A ——使用系数，查表13-5-9。

\ominus 对稳定载荷， t_N 等于运转时间。对变化载荷，应按标准计算。

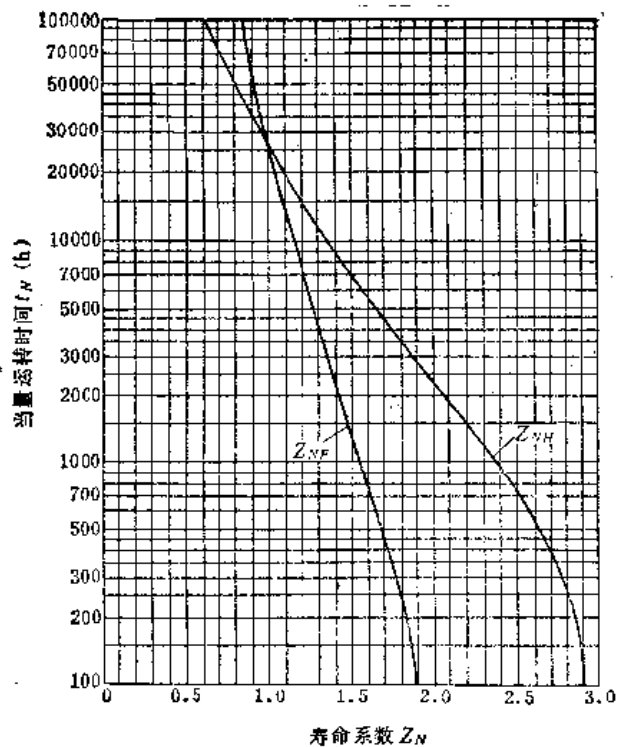


图13-5-6 寿命系数 Z_N

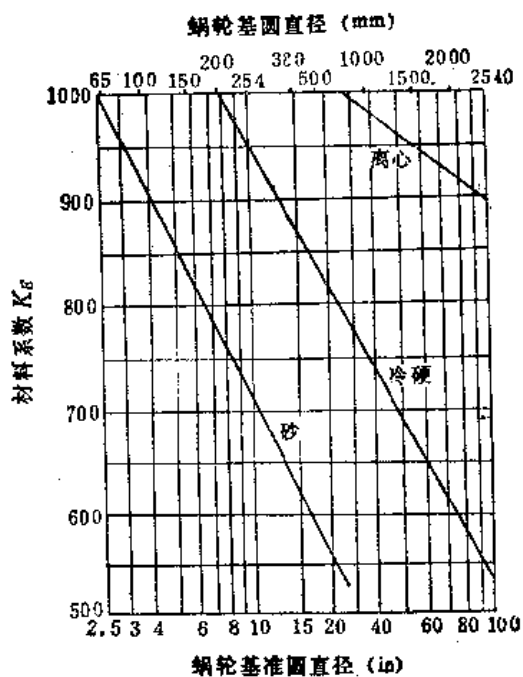
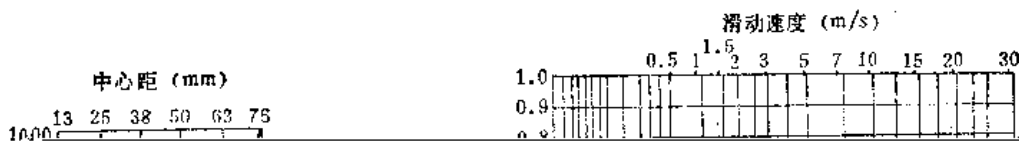


图13-5-7 材料系数 K_F



中心距 (mm)

滑动速度 (m/s)

输入功率 $P = P_1 + P_2$

$$= \frac{F_f d_b n_1}{126000 i} + \frac{v_s F_f}{33000} \quad (13-5-11)$$

- 式中 P_1 ——输出功率 (hp);
 P_2 ——轮齿啮合的功率损失 (hp);
 n_1 ——蜗杆转速 (r/min);
 i ——减速比;
 v_s ——蜗杆滑动速度 (ft/min);
 F_f ——齿面摩擦力 (lb).

$$F_f = \frac{\mu P_{tP}}{\cos \gamma \cos \alpha_n}$$

式中 μ ——摩擦系数, 查图13-5-10.

当油温不超过环境温度 100°F (38°C) 时, 减速器所需输入功率 P_r (hp);

$$P_r = P + P_t \quad (13-5-12)$$

式中 P_t ——搅油、轴承和密封损失之和, 由试验确定, 试验时使用推荐的润滑油, 正确加油, 空载, 在预计温度、额定转速下测定。

4. 德国TGL圆柱蜗杆副的强度计算

该标准适用于轴交角 $\Sigma = 90^\circ$, 中心距 $a = 50 \sim$

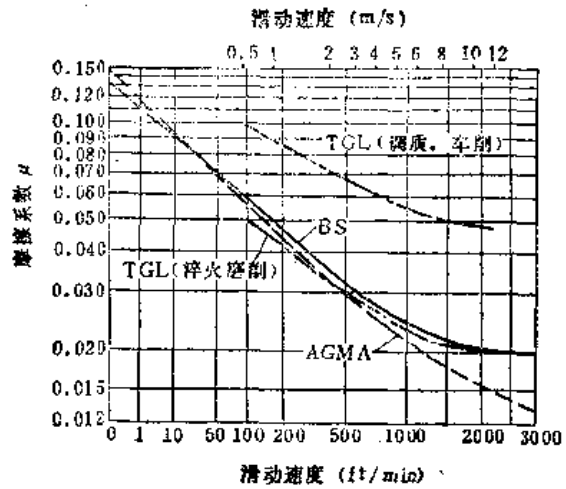


图13-5-10 摩擦系数比较

500mm 的圆柱蜗杆副, 其强度计算分为已知尺寸的校核计算和确定所需尺寸的设计计算两个部分。

根据强度要求按表13-5-13设计计算定出中心距 a 、蜗杆分度圆直径 d 等主要参数, 再以此为依据设计其它尺寸。

表13-5-9 使用系数 K_A

原动机	每天使用时间	从动机的载荷		
		均匀	中等冲击	强烈冲击
电动机	偶尔使用0.5小时	0.80	0.90	1.00
	间歇使用2小时	0.90	1.00	1.25
	10小时	1.00	1.25	1.50
	24小时	1.25	1.50	1.75
多缸内燃机	偶尔使用0.5小时	0.90	1.00	1.25
	间歇使用2小时	1.00	1.25	1.50
	10小时	1.25	1.50	1.75
	24小时	1.50	1.75	2.00
单缸内燃机	偶尔使用0.5小时	1.00	1.25	1.50
	间歇使用2小时	1.25	1.50	1.75
	10小时	1.50	1.75	2.00
	24小时	1.75	2.00	2.25
频繁起动停止的情况				
电动机	偶尔使用0.5小时	0.90	1.00	1.25
	间歇使用2小时	1.00	1.25	1.50
	10小时	1.25	1.50	1.75
	24小时	1.50	1.75	2.00

注: 1. “偶尔使用”或“间歇使用”的时间是指一天中的全部运转时间。

2. “频繁起动停止”是指每小时起动10次以上。

表13-5-10 德国TGL圆柱蜗杆副强度校核计算

序号	计算项目	代号	计算公式						
1. 蜗轮齿根强度校核									
(1)	抗弯强度校核	$\sigma_F \leq \sigma_{FFP}$							
	1) 弯曲应力	σ_F (N/mm ²)	$\sigma_F = Y_F Z_\epsilon \frac{K_A F_{t2}}{b_2 m_n}$ 式中 K_A ——使用系数, 查表13-5-9 Z_ϵ ——重合度系数: $Z_\epsilon = \frac{1}{1 + \epsilon_\alpha}$ (ϵ_α ——查图13-5-13, 若齿根强度不重要时取 $\epsilon_\alpha = 0.8 \sim 1$) F_{t2} ——按表13-5-1计算 Y_F ——齿形系数 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>α_n</td> <td>Y_F</td> </tr> <tr> <td>20°</td> <td>0.74</td> </tr> <tr> <td>25°</td> <td>0.89</td> </tr> </table>	α_n	Y_F	20°	0.74	25°	0.89
α_n	Y_F								
20°	0.74								
25°	0.89								
	2) 许用弯曲应力	σ_{FFP} (N/mm ²)	$\sigma_{FFP} = \frac{\sigma_{-1}}{S_F}$ 式中 σ_{-1} ——对称循环弯曲强度, 查表13-5-11 S_F ——安全系数, 一般取 3						
(2)	破坏强度校核	$\sigma_F \leq \sigma_{BP}$							
	许用破坏强度	σ_{BP} (N/mm ²)	$\sigma_{BP} = \frac{\sigma_B}{S_B}$ 式中 σ_B ——破坏强度(N/mm ²)查表13-5-11 S_B ——安全系数, 一般取为 3						
(3)	齿面强度校核	$\sigma_H = Y_H Y_q \frac{F_{t2}}{b_2 d_2} \leq \sigma_{HP}$							
	1) 接触应力	σ_H (N/mm ²)	$\sigma_H = Y_H Y_q \frac{F_{t2}}{b_2 d_2}$ 式中 Y_H ——齿形系数(图13-5-14) Y_q ——与直径系数有关的系数 $Y_q = \sqrt{0.1 q}$ F_{t2} ——按表13-5-1计算(N) b_2 ——蜗轮齿宽(mm) d_2 ——蜗轮分度圆直径(mm)						
	2) 许用接触应力	σ_{HP} (N/mm ²)	$\sigma_{HP} = K_F K_v K_N$ 式中 K_F ——材料系数(查表13-5-12) K_v ——速度系数 $K_v = \frac{2}{2 + v^{0.85}}$ (查图13-5-11) (当 $v_n < 1$ m/s 时取 $v_n = 1$ m/s) K_N ——寿命系数 $K_N = \left(\frac{1000}{L_n} \right)^{1/3}$ (查图13-5-12)						

序号	计算项目	代号	计 算 公 式
2. 蜗杆轴的变形 $f_1 \leq f_{1p}$			
(1)	蜗杆轴的变形量	f_1 (mm)	$f_1 = \frac{F_1 L_1^3}{48EI}$ <p>式中 F_1——蜗杆受力，</p> $F_1 = \sqrt{F_{r1}^2 + F_{t1}^2}$ <p>式中 F_{r1}——蜗杆径向力，计算式见表13-5-1 F_{t1}——蜗杆圆周力，计算式见表13-5-1 l_1——蜗杆轴支承距 (mm) $l_1 \approx 1.5 a$</p> <p>式中 E——弹性模量 (N/mm²) I——惯性矩 (mm⁴)</p> $I = \frac{\pi d^4}{64}$
(2)	蜗杆轴变形许用值	f_{1p} (mm)	$f_{1p} = \frac{d_1}{500}$
3. 传动效率 $\eta = \eta_s \eta_L \eta_{L2} \eta_{L3}$			
			<p>减速时 $\eta_s = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)} = \frac{1 - \mu_x \operatorname{tg} \gamma}{1 + \mu_x \operatorname{tg} \gamma}$</p> <p>式中 $\mu_x = \operatorname{tg} \rho$ (查图13-5-10)</p> <p>增速时 $\eta_s = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \rho)}{\operatorname{tg} \gamma} = \frac{1 - \mu_x \operatorname{tg} \gamma}{1 + \mu_x \operatorname{tg} \gamma}$</p> <p>$\eta_L \eta_{L2} \eta_{L3} \approx 0.97 \sim 0.98$</p>
4. 最大温升功率 $P_{T2} = (t_s - t_R) A_R K \frac{\eta}{1 - \eta}$ (kW)			
			<p>式中 t_s——润滑油温 (°C) (制造者指定的温度极限)① t_R——环境温度 (°C) $K A_R$——传热系数 × 冷却面积 (查图13-5-15、13-5-16)</p>

① 一般推荐：蜗杆位于蜗轮上面时 t_s 取 60~70°C；蜗杆位于蜗轮下面时 t_s 取 80~90°C。

表13-5-11 蜗轮弯曲强度和破坏强度

蜗轮材料	铸造方法	对称循环弯曲强度 σ_{-1} (N/mm ²)	破坏强度 σ_B (N/mm ²)
锡青铜	冷硬铸造 砂型铸造	120	250 260
铝青铜	离心铸造 冷硬铸造 砂型铸造	180	500
铸 铁	—	120	250

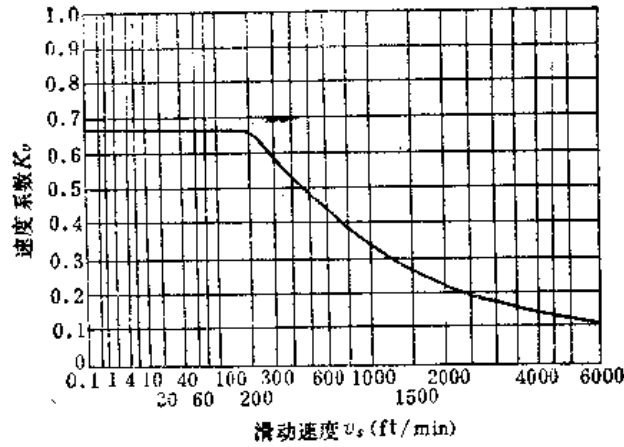


图13-5-11 速度系数 K_v

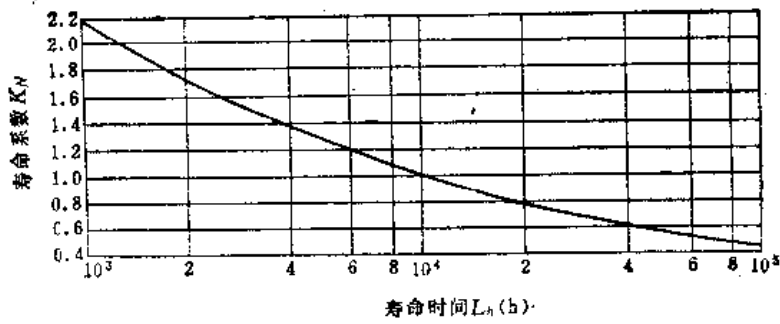


图13-5-12 寿命系数 K_N

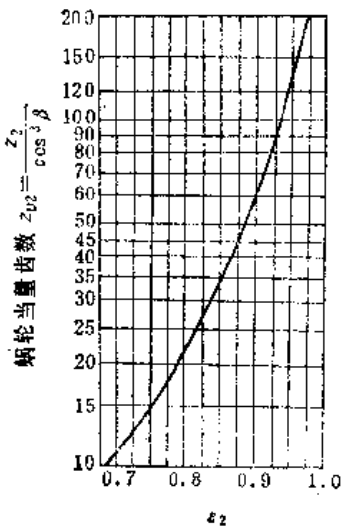


图13-5-13 重合度 ϵ_2

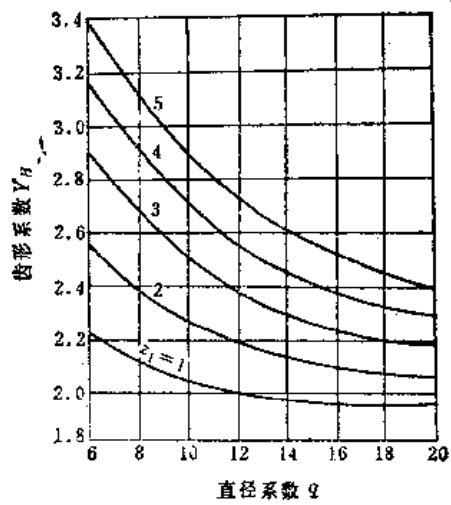


图13-5-14 齿形系数 Y_H

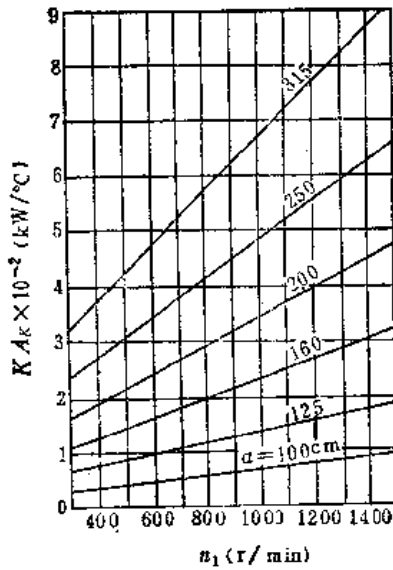


图13-5-15 有风扇时KAκ值

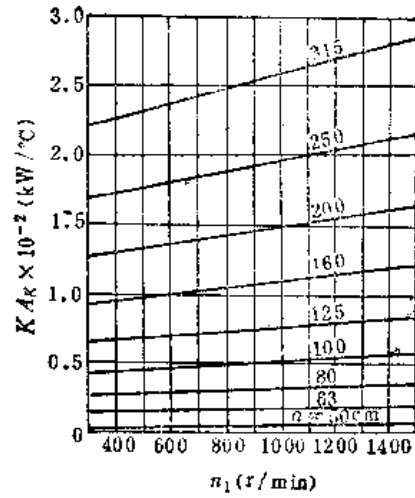


图13-5-16 无风扇时KAκ值⊖

表13-5-12 材料系数表

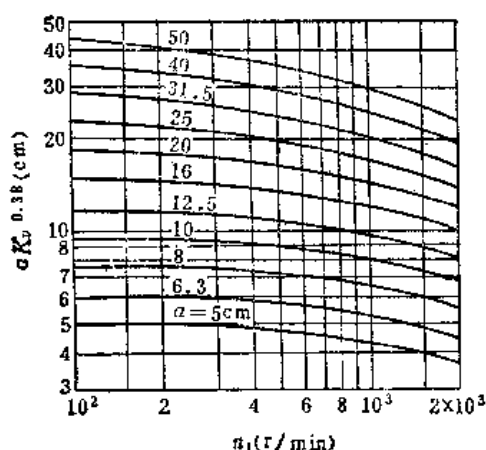
蜗杆材料	蜗轮材料	K_F (N/mm ²)
钢, 淬火, $R_s = 1.6 \sim 3.2 \mu m$	镍青铜	8.5
	铝青铜	6.5
铝, 调质, $R_s = 3.2 \sim 10 \mu m$	镍青铜	5.0

注: R_s 是蜗杆的10点平均粗糙度。

表13-5-13 德国TGL圆柱蜗杆副强度设计计算

序号	参数名称	代号	计算公式
1	所需中心距	a (cm)	a 按 $aK_0^{0.38}$ 及 n_1 查图13-5-17 $aK_0^{0.38} = \left(\frac{1.81 \times 10^6 F_2 Y_H}{K_B K_N n_1 z_1^2} \right)^{0.38}$
2	分度圆直径	d_1 (cm)	$d_1 = \frac{a^{0.875}}{1.52} \sim \frac{a^{0.875}}{2.76}$ 建议 $d_1 = \frac{a^{0.875}}{1.96}$
3	直径系数	q	$q = 6 \sim 17$ 优先选用 $q = 10$
4	蜗杆头数	z_1	$z_1 \leq 4$, 可按表13-5-14选取
5	齿形系数	Y_H	按图13-5-14选取
6	压力角		对ZN1, ZK1, Z1型齿廓 $\alpha_n = 20^\circ$ 或 25° (优先 $\alpha_n = 20^\circ$) 对ZA型齿廓 $\alpha_n = 20^\circ$ 或 25°
7	蜗轮齿宽	b_2 (cm)	$z_1 = 10$ 时取 $b_2 \approx 0.8d_1$
8	蜗杆轴支承距	l_1 (cm)	$l_1 \approx 1.5a$

⊖ 当蜗杆在上侧或垂直配置、散热片水平布置的大功率蜗杆副装置, 应将查出的数值乘以系数0.8。

图13-5-17 $\alpha K_v^{0.83}$ 值表13-5-14 蜗杆头数 z_1 选择表

速比 i	10~13.2	15~26.5	30~106
头数 z_1	4	2	1

(三) 蜗杆副强度计算综述

一般认为蜗杆副强度计算比圆柱齿轮和圆锥齿轮的强度计算更为困难，因为蜗杆传动是特殊的交错轴齿轮传动，传动时齿面接触线在啮合的每个瞬间的位置不容易计算出来，啮合传动时的载荷同时分布在几条接触线上，其承载情况和应力分布也比圆柱和圆锥齿轮传动更复杂；在蜗轮齿宽上，每个横截面蜗轮蜗杆齿廓、齿高、齿厚、压力角等都是变化的；同时，蜗杆副的材料组合方式也较多，因此诸多因素使得强度计算所涉及到的各项参数的确定很困难。

蜗杆传动的强度计算是针对它的主要损伤形式和缺陷来进行的。蜗杆传动效率低、发热大、齿面间相对滑动速度大容易产生胶合和点蚀，有时还产生蜗轮齿断裂，因此一般对蜗杆副进行抗磨强度、抗弯强度、发热极限（或最大温升功率）等项计算。

蜗杆副的抗磨强度是指齿面强度和胶合强度。其齿面强度是受齿面许用接触应力所限制的强度，当蜗杆传动中的齿面实际接触应力超过了许用接触应力时，轮齿表面将出现明显磨损，产生剥脱或点蚀现象。胶合磨损是蜗杆传动中最常见的一种损伤形式，是在油膜破坏情况下摩擦产生高热或局部

高压且低速时齿面产生粘着而又接着被运转拉开，使齿面出现伤痕。尽管胶合是蜗杆传动最常见的损伤，但抗胶合强度极限至今各国还没有研究制定计算出计算标准，所以，对抗磨强度一般只进行齿面强度计算。

蜗杆副的抗弯强度计算是由蜗轮齿根许用弯曲应力所决定的强度，当传动中轮齿的弯曲应力超过许用弯曲应力时，蜗轮齿可能从齿根处断裂甚至折断。但是，由于蜗杆传动的重合度较大，蜗轮齿抗弯强度所限定的载荷极限常大于磨损极限和发热极限，所以，只有对承受冲击载荷、循环载荷或蜗轮为脆性材料时进行抗弯强度计算才有意义。

蜗杆副的发热烧伤常限制了许用功率的增大，这一点比圆柱齿轮副和圆锥齿轮副更为突出，但蜗杆传动装置的发热温升影响因素太多，太复杂，如机壳的散热方式、散热面积、蜗杆传动的冷却方式、润滑方式等，因此至今各国标准中还没有很可靠的发热极限计算公式。英国BS制蜗杆传动强度计算中没有这项计算，美国AGMA圆柱蜗杆强度计算方法中只说明：“油温超过环境温度 100°F 以上时，必须使用极限热功率”。只有德国TGL圆柱蜗杆副的强度计算标准规定了最大温升功率的计算。最大温升功率是蜗杆副润滑油温不超过许用最高温度时连续工作所允许的最大功率。如超过此值，润滑油温过高，其性能下降，造成蜗杆副磨损和烧伤。一般要求运转温升稳定时，允许机壳或润滑油温度高于周围环境温度 55°C ，最多不超过 80°C 。因此对小体积、大功率的蜗杆传动应当计算最大温升功率。

对英国BS、美国AGMA、德国TGL三种蜗杆强度计算结果进行比较，可发现几点差别：

① 蜗杆转速对齿面强度的影响：用三个标准对同一蜗杆副的计算表明，在小中心距低转速（ $a < 50\text{mm}$ 、 $n_1 < 500\text{ r/min}$ ）时三个标准的许用载荷计算值中以BS制最为保守，即齿面强度的许用载荷以BS制的计算数值最低，AGMA制许用载荷计算值最大。而在大中心距高转速（ $a > 400\text{mm}$ 、 $n_1 > 500\text{ r/min}$ ）的蜗杆传动中TGL计算结果最保守，其许用载荷计算值较低，见图13-5-18。由此可见，在小中心距低转速的蜗杆副齿面强度计算时采用BS制算法较为保险，而在大中心距高转速的蜗杆传动强度计算时采用TGL制更安全。

② 蜗杆头数对齿面强度许用载荷的影响：三个标准的齿面强度许用载荷都受到蜗杆头数的影

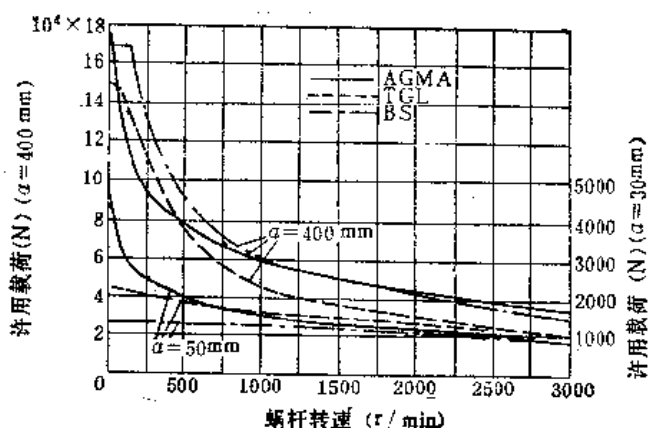


图13-5-18 许用载荷的比较

表13-5-15 蜗杆头数对齿面许用载荷的影响比较

蜗 杆 头 数		1	2	3	4
BS制	εZ_n	0.327	0.301	0.302	0.299
	比较	1.00	0.94	0.94	0.93
AGMA标准	$K_v K_o$	0.228	0.220	0.206	0.192
	比较	1.00	0.96	0.90	0.84
TGL制	K_v / Y_P	0.180	0.164	0.148	0.136
	比较	1.00	0.91	0.82	0.76

响，头数增多，齿面许用载荷有下降趋势，尤以TGL制影响最为明显，因此在多头蜗杆的齿面强度计算时采用TGL制算法较为保险。见表13-5-15。

③ 摩擦系数值，从三个标准的摩擦系数与滑动速度的关系曲线来比较，滑动速度在低于500时，三个标准摩擦系数相差不大，但当滑动速度等于3000英尺/分时，BS制的摩擦系数是AGMA制的摩擦系数的1.5倍。然而摩擦系数的影响因素很多，如载荷、齿面粗糙度、润滑油粘度等，很难确定哪一个标准更合理。见图13-5-10，TGL标准明确地将蜗杆齿面加工方法按车削和磨削的分别作出曲线，表明了齿面粗糙度细的蜗杆副摩擦系数较小。从图可见BS、AGMA的曲线都接近TGL的磨削蜗杆曲线，因此，对表面粗糙度较粗的蜗杆副采用TGL制摩擦系数进行强度计算更为安全可靠。

综上所述，对同一组蜗杆传动采用不同的强度计算方法所得到的计算结果可能差别很大，因为各种计算方法的公式其原始条件不同、对各影响因素的取值不同、考虑问题的侧重点不同，所以，在机修测绘或改装设计计算中，对蜗杆副强度计算方法的选择也应根据具体情况从以下几个方面考虑确定：

① 对功率小，要求低的蜗杆副可用简易强度计算法验算，没有必要作详细计算。

② 对大功率蜗杆，尤其是体积小温升高的低

速蜗杆传动，应当作包括发热极限或最大温升功率在内的全面的强度验算，因为低速运转的蜗杆传动比高速运转的蜗杆传动的齿面间油膜形成条件差，磨损反而大。

③ 对承受冲击载荷、循环载荷、蜗轮采用铸铁之类脆性材料制造的蜗杆副应进行抗弯强度计算。

④ 对发生事故的蜗杆传动的强度验算最好采用2~3种不同的计算方法，而且应尽量选择较保守的计算方法来进行校核。

第6节 蜗杆蜗轮材料及热处理

蜗杆传动的特点之一是齿面间滑动速度比齿轮传动大，因此在蜗杆副的材料选择时要尽量考虑减小磨损、降低温升，选用抗胶合抗磨损能力强、导热性能好的材料。实践证明蜗杆蜗轮齿面间硬度差越大，抗胶合和磨损的能力越强，因此推荐采用高硬度齿面刚性好的蜗杆和耐磨、抗胶合、抗点蚀的软材料蜗轮，这是提高蜗杆副承载能力、传动效率和使用寿命的有效措施。

蜗杆、蜗轮材料及热处理的选择分别见表13-6-1及表13-6-2。

表13-6-1 蜗杆材料及热处理

材料牌号	应用情况	热处理方法
15	用于受载荷不大, 心部要求具有一定强度且表面要求耐磨的蜗杆	渗碳淬火或高频淬火HRC59
45	用于截面实体厚度在50mm以内, 具有高强度和耐磨性, 并在工作中不受冲击的蜗杆	淬火HRC48
	用于模数小于4mm受恒定重载和中速下工作的蜗杆	高频淬火HRC54或调质255HBS
50	用于具有高表面硬度和淬火变形小的蜗杆	高频淬火HRC57
20Cr	用于工作表面要求较高硬度而心部要求具有一定强度的蜗杆, 可用于高速、有冲击之处	渗碳淬火或高频淬火HRC59
12CrNi3A 18CrMnTi 20CrMnTi	用于受载荷不大而传动运动精度要求很高的分度蜗杆	渗碳淬火或高频淬火HRC59
20CrMnMoVBA 20CrV	用于承受冲击、重载及高速度工作的蜗杆	渗碳淬火HRC59
40Cr 40CrNi	用于心部具有较高强度而工作表面要求耐磨, 并具有相当硬度的蜗杆	高频淬火或调质高频HRC52
45MnB 42SiMn 35SiMn	用于承受重载和中速度工作并有冲击的蜗杆	调质235HBS或高频淬火HRC54
45MnB	用于承受重载和低冲击工作表面并具有相当耐磨性, 截面实体厚度在30mm以内的蜗杆	淬火252HRS
35CrMoA 38CrMnNi	用于精密传动装置中的蜗杆	调质280HBS
38CrAlA 38CrMoAlA	用于具有高硬度表面, 耐磨性良好和心部强度不大及热处理变形很小的蜗杆	氮化900HV 氮化深度范围0.45~0.6mm
HT200 HT250 HT300	用于低速、低载不重要的地方	

表13-6-2 蜗轮材料及热处理

滑动速度	材 料		浇注方法	热处理方法	性能及用途
	名称	牌 号			
$v \leq 3 \text{ m/s}$	锡磷青铜	ZQSn10-1	砂模浇注 硬模浇注	根据具体情况选择下列热处理方法: (1) 在轮坯铸出后即进行回火处理 (2) 在轮缘粗加工后进行时效处理 (3) 在轮缘切齿后进行调质处理, 一般要求 HRB = 180~220, 标记为 T 215 (4) 在调质处理后即进行时效处理	耐磨及抗胶合性都好, 但硬度、强度较低, 常用于精密分度机构
$v \leq 4 \sim 5 \text{ m/s}$	铝铁青铜	ZQA19-4	砂模浇注 硬模浇注		抗弯强度高, 但耐磨及抗胶合性稍差, 常用于低速重载动力传动
		ZQA110-3-1.5	砂模浇注		
$v > 5 \text{ m/s}$	锡青铜	ZQSn6-6-3	砂模浇注 硬模浇注 离心浇注	耐磨、抗胶合性好, 但比锡磷青铜稍差, 常用于速度较高的动力传动及精密分度机构	
$v \leq 2 \text{ m/s}$	灰铸铁	HT300 HT250 HT200 HT150	砂模浇注 硬模浇注	性能、抗胶合性差, 但铸造及工艺性好, 用于低速轻载的动力传动及手动机构	
$v < 2 \text{ m/s}$	球墨铸铁 耐磨铸铁	QT50-5 QT60-2 QT70-2 MT-4	砂模浇注 硬模浇注	耐磨性较灰铸铁好, 用于一般分度传动及轻载动力传动	

表13-6-3 蜗杆齿面渗碳层深度

(mm)

模数 m	公称渗碳层深度	深度范围
<1.25	0.3	0.2~0.4
1.75~2.5	0.5	0.4~0.7
3~4	0.9	0.7~1.1
≥ 5	1.3	1.1~1.5

表13-6-4 蜗杆副材料组合推荐

第1组		第2组		第3组	
蜗杆	蜗轮	蜗杆	蜗轮	蜗杆	蜗轮
灰铸铁 碳素钢	灰铸铁 灰铸铁	齿面硬化钢	锡青铜 锡磷青铜	齿面硬化钢	铝铁青铜
耐磨性差, 轮齿强度差, 灰铸铁-灰铸铁组合抗胶合能力较好。用于低速轻载蜗杆副		抗胶合性好, 较耐磨, 可用于精密分度、高速动力传动		耐磨性好, 轮齿强度高, 抗胶合性比2组差, 可用于中、低速、重载传动	

第7节 圆柱蜗杆传动的精度与公差

机修测绘后, 再制造蜗杆副时, 不论原制造厂家是哪国的, 其蜗轮蜗杆的精度只能根据我国的生产技术条件来决定, 因此本节只介绍国标“圆柱蜗杆、蜗轮精度”(GB10089-88)。

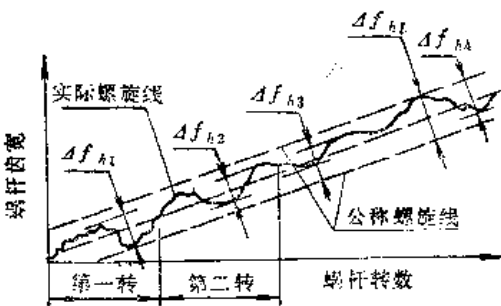
新国标适用于轴交角 Σ 为 90° , 模数 $m \geq 1\text{mm}$ 的

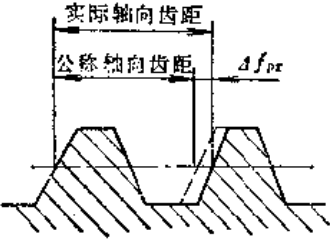
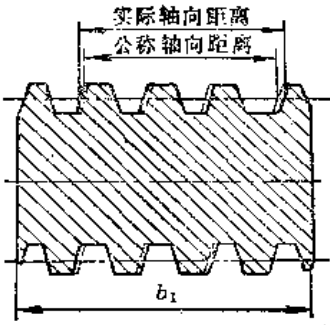
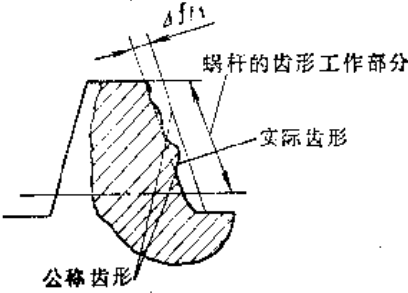
圆柱蜗杆、蜗轮传动, 其蜗杆分度圆直径 $d_1 < 400\text{mm}$, 蜗轮分度圆直径 $d_2 \leq 4000\text{mm}$; 基准蜗杆可为阿基米德蜗杆(ZA蜗杆)、渐开线蜗杆(ZI蜗杆)、法向直廓蜗杆(ZN蜗杆)、锥面包络圆柱蜗杆(ZK蜗杆)和圆弧圆柱蜗杆(ZC蜗杆)。

(一) 误差定义及代号

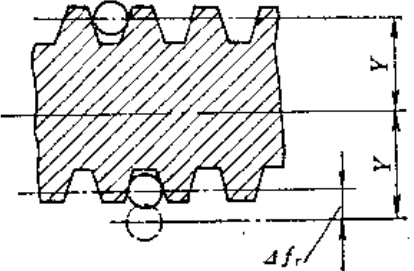
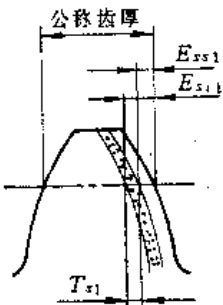
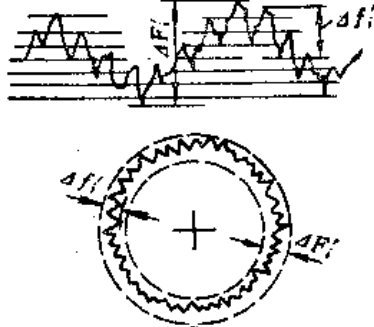
蜗杆、蜗轮的误差, 以及传动的误差和侧隙的定义, 见表13-7-1。

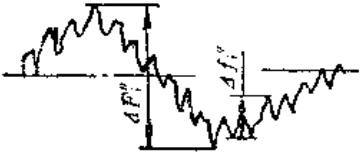
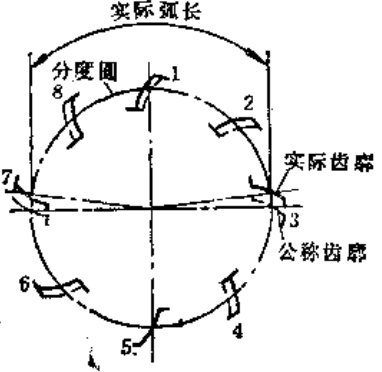
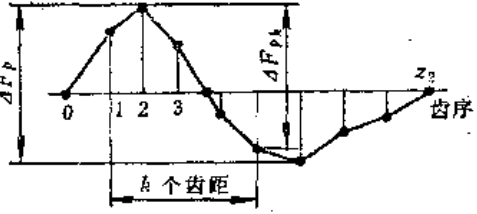
表13-7-1 蜗杆、蜗轮的误差及传动的误差和侧隙的定义

序号	名称	代号	定义
1	蜗杆螺旋线误差  蜗杆螺旋线公差	Δf_{Ht} f_{Ht}	在蜗杆轮齿的工作齿宽范围(两端不完整齿部分应除外)内, 蜗杆分度圆柱面①上包容实际螺旋线的最近两条公称螺旋线间的法向距离

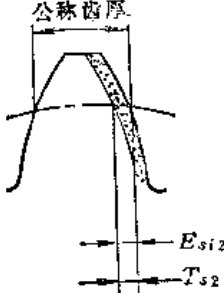
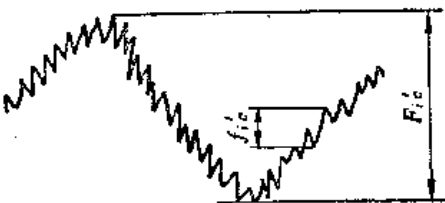
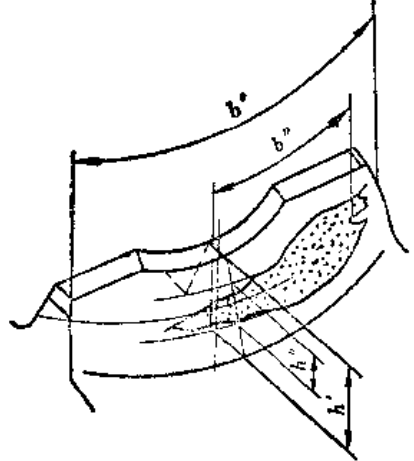
序号	名称	代号	定义
2	蜗杆一转螺旋线误差 蜗杆一转螺旋线公差	Δf_h f_h	在蜗杆轮齿的一转范围内, 靠近蜗杆分度圆柱面①上包容实际螺旋线的最近两条公称螺旋线间的法向距离
3	蜗杆轴向齿距偏差  蜗杆轴向齿距极限偏差 上偏差 下偏差	Δf_{px} $+f_{px}$ $-f_{px}$	蜗杆轴向齿距的实际值与公称值之差
4	蜗杆轴向齿距累积误差  蜗杆轴向齿距累积公差	Δf_{px1} f_{px1}	在蜗杆轴向截面上的工作齿宽范围 (两端不完整齿部分应除外) 内, 任意两个同侧齿面间实际轴向距离与公称轴向距离之差的绝对值
5	蜗杆齿形误差  蜗杆齿形公差	Δf_{f1} f_{f1}	在蜗杆轮齿给定截面上的齿形工作部分内, 包容实际齿形的最近两条设计齿形间的法向距离 当两条设计齿形线为非等距离的曲线时, 应在靠近齿体内的设计齿形线的法线上确定其两者间的法向距离

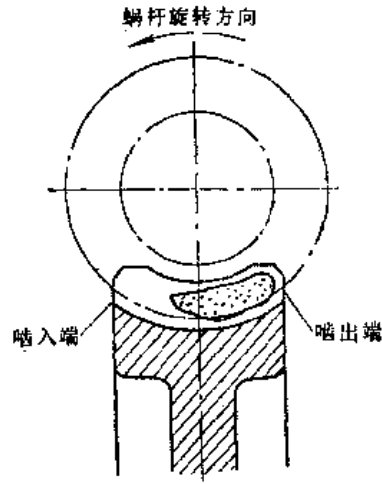
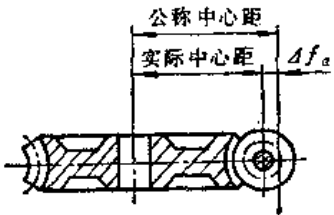
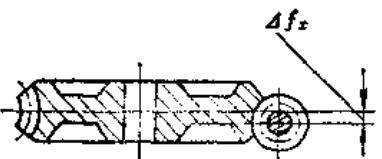
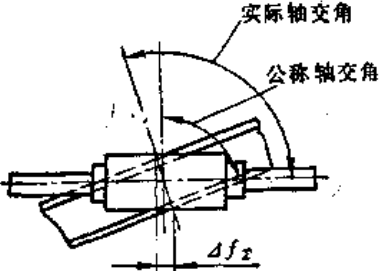
(续)

序号	名称	代号	定义
6	<p>蜗杆齿槽径向跳动</p>  <p>蜗杆齿槽径向跳动公差</p>	<p>Δf_r</p> <p>f_r</p>	<p>在蜗杆任意一转范围内, 测头在齿槽内与齿高中部的齿面双面接触, 其测头相对于蜗杆轴线径向距离的最大变动量</p>
7	<p>蜗杆齿厚偏差</p>  <p>蜗杆齿厚极限偏差</p> <p>上偏差</p> <p>下偏差</p> <p>蜗杆齿厚公差</p>	<p>ΔE_{s1}</p> <p>E_{ss1}</p> <p>E_{s11}</p> <p>T_{s1}</p>	<p>在蜗杆分度圆上, 法向齿厚的实际值与公称值之差</p>
8	<p>蜗轮切向综合误差</p>  <p>蜗轮切向综合公差</p>	<p>$\Delta F_i'$</p> <p>F_i'</p>	<p>被测蜗轮与理想精确的测量蜗杆在公称轴线位置上单面啮合转动时, 在被测蜗轮一转范围内, 实际转角与理论转角的最大差值, 以分度圆弧长计</p>
9	<p>蜗轮切向一齿综合误差</p> <p>蜗轮切向一齿综合公差</p>	<p>$\Delta f_i'$</p> <p>f_i'</p>	<p>被测蜗轮与精确测量蜗杆在公称轴线位置上②单面啮合转动时, 在被测蜗轮一周节角范围内, 实际转角与理论转角之差的最大幅度值, 以分度圆弧长计</p>

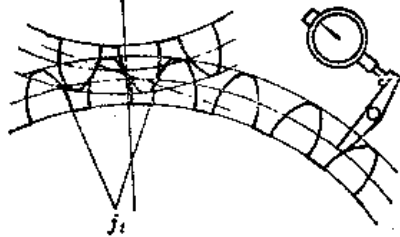
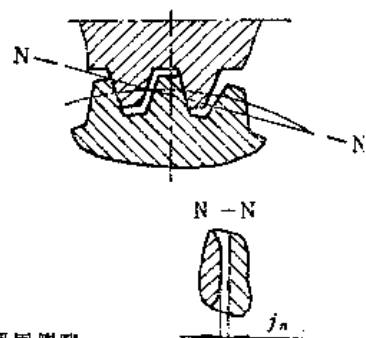
序号	名称	代号	定义
10	蜗轮径向综合误差  蜗轮径向综合公差	ΔF_r^a F_r^a	被测蜗轮与理想精确的测量蜗杆双面啮合转动时, 在被测蜗轮一转范围内, 双啮中心距的最大变动量
11	蜗轮径向一齿综合误差 蜗轮径向一齿综合公差	Δf_r^a f_r^a	被测蜗轮与理想精确的测量蜗杆双面啮合转动时, 在被测蜗轮一周节角范围内双啮中心距的最大变动量
12	蜗轮齿距累积误差  蜗轮齿距累积公差	ΔF_p F_p	在蜗轮分度圆上, 任意两个同侧齿面间的实际弧长与公称弧长之差的最大绝对值
13	蜗轮 k 个齿距累积误差  蜗轮 k 个齿距累积公差	ΔF_{pk} F_{pk}	在蜗轮分度圆上② k 个齿距内任意两个同侧齿面间的实际弧长与公称弧长之差的最大绝对值 k 为 2 到小于 $\frac{1}{2}z_2$ 的整数

(续)

序号	名 称	代号	定 义
17	<p>蜗轮齿厚偏差</p>  <p>蜗轮齿厚极限偏差 上偏差 下偏差 蜗轮齿厚公差</p>	ΔE_{s2} E_{s+2} E_{s-2} T_{s2}	<p>在蜗轮中间平面上分度圆齿厚的实际值与公称值之差</p>
18	<p>传动切向综合误差</p>  <p>传动切向综合偏差</p>	$4F_{t0}$ F_{t0}	<p>安装好的蜗杆副啮合转动时, 在蜗轮和蜗杆相对位置变化的一个整周期内, 蜗轮的實際转角与理论转角之差的总幅度值, 以蜗轮分度圆弧长计</p>
19	<p>传动相邻齿切向综合误差</p> <p>传动切向一齿综合公差</p>	$4f_{t0}$ f_{t0}	<p>安装好的蜗杆副啮合转动时, 在蜗轮一转范围内多次重复出现的周期性转角误差的最大幅度值, 以蜗轮分度圆弧长计</p>
20	<p>传动接触斑点</p> 		<p>安装好的蜗杆副中, 在轻微力的制动下, 蜗杆与蜗轮啮合运转后在蜗轮齿面上分布的接触痕迹。接触斑点以接触面积大小、形状和分布位置表示</p> <p>接触面积大小按接触痕迹的百分比计算确定。</p> <p>沿齿长方向——接触痕迹的长度b''与工作长度b'之比, 即, $b''/b' \times 100\%$</p> <p>沿齿高方向——接触痕迹的平均高度h''与工作高度h'之比, 即$h''/h' \times 100\%$</p> <p>接触形状以齿面接触痕迹总的几何形状的状态确定</p>

序号	名称	代号	定义
20			<p>接触位置以接触痕迹离齿面啮入、啮出端或齿顶、齿根的位置确定</p>
21	<p>传动中心距偏差</p>  <p>传动中心距极限偏差 上偏差 下偏差</p>	<p>Δf_a</p> <p>$+f_a$ $-f_a$</p>	<p>在安装好的蜗杆副中间平面内，实际中心距与公称中心距之差</p>
22	<p>传动中间平面偏移</p>  <p>传动中间平面极限偏差 上偏差 下偏差</p>	<p>Δf_x</p> <p>$+f_x$ $-f_x$</p>	<p>在安装好的蜗杆副中，蜗轮中间平面与传动中间平面之间的距离</p>
23	<p>传动轴交角偏差</p>  <p>传动轴交角极限偏差 上偏差 下偏差</p>	<p>Δf_Σ</p> <p>$+f_\Sigma$ $-f_\Sigma$</p>	<p>在安装好的蜗杆副中，实际轴交角与公称轴交角之差 偏差值按蜗轮齿宽确定，以其线性值计</p>

(续)

序号	名称	代号	定义
24	传动的侧隙 圆周侧隙  法向侧隙  最小圆周侧隙 最大圆周侧隙 最小法向侧隙 最大法向侧隙	j_t j_n j_{tmin} j_{tmax} j_{nmin} j_{nmax}	安装好的蜗杆副中, 蜗杆固定不动时, 蜗轮从工作齿面接触, 到非工作齿面接触所转过的分度圆弧长 在安装好的蜗杆副中, 蜗杆和蜗轮的工作齿面接触时, 两非工作齿面间的最小距离

- ① 允许在靠近蜗杆分度圆柱的同轴圆柱面上检验。
- ② 允许用配对蜗杆代替测量蜗杆进行检验, 这时也即为蜗杆副的误差。
- ③ 允许在靠近中间平面的齿高中部进行测量。
- ④ 允许在靠近中间平面的齿高中部进行测量。
- ⑤ 在确定接触痕迹长度 b'' 时, 应扣除超过模数值的断开部分。

(二) 精度等级及其选择

精度等级, 第1级的精度最高, 第12级的精度最低。

1. 精度等级

2) 按照公差的特性对传动性能的主要保证作用, 将蜗杆、蜗轮和蜗杆传动的公差(或极限偏差)

- 1) 本标准对蜗杆、蜗轮和蜗杆传动规定12个 分成三个公差组(表13-7-2)。

表13-7-2 蜗杆传动的公差组

公差组	公差与极限偏差项目	误差特性	对传动性能的主要影响
I	蜗杆: — 蜗轮: $F_i, F_i', F_p, F_{pb}, F_r$ 传动: F_{ic}	以蜗轮一转为期误差	传递运动的准确性
II	蜗杆: $f_{h1}, f_{h1}', f_{p1}, f_{p1}', f_r$ 蜗轮: f_i', f_i', f_{pi} 传动: f_{ic}	在蜗轮一转内, 多次周期性地重复出现的误差	传动的平稳性
III	蜗杆: f_{f1} 蜗轮: f_{f2} 传动: 接触斑点, f_a, f_{Σ}, f_z	齿面接触的误差	载荷分布的均匀性

(三) 齿坯的要求

1) 蜗杆、蜗轮在加工、检验、安装时的径向、轴向基准面应尽可能一致，并应在相应的零件工作图上予以标注。

2) 蜗杆、蜗轮的齿坯公差包括轴、孔的尺寸、形状和位置公差，以及基准面的跳动。各项公差值，推荐采用表13-7-21，表13-7-22的规定。

(四) 蜗杆、蜗轮的检验与公差

1) 根据蜗杆传动的工作要求和生产规模，在各公差组中选定一个检验组来评定和验收蜗杆、蜗轮的精度。当检验组中有两项或两项以上的误差时，应以检验组中最低的一项精度来评定蜗杆、蜗轮的精度等级。

第Ⅰ公差组的检验组：

蜗杆 ———

蜗轮 $\Delta F_i'$

$\Delta F_p, \Delta F_{pk}$

ΔF_p (用于5~12级)

ΔF_r (用于9~12级)

$\Delta F_i'$ (用于7~12级)

第Ⅱ公差组的检验组：

蜗杆 $\Delta f_h, \Delta f_{hl}$ (用于单头蜗杆)

$\Delta f_{px}, \Delta f_{hl}$ (用于多头蜗杆)

$\Delta f_{px}, \Delta f_{px1}, \Delta f_r$

$\Delta f_{px}, \Delta f_{px1}$ (用于7~9级)

$\Delta f_{px}, \Delta f_r$ (用于10~12级)

蜗轮 $\Delta f_i'$

$\Delta f_i'$ (用于7~12级)

Δf_{p1} (用于5~12级)

第Ⅲ公差组的检验组：

蜗杆 Δf_{f1}

蜗轮 Δf_{f2}

当蜗杆副的接触斑点有要求时，蜗轮的齿形误差 Δf_{f2} 可不进行检验。

2) 对于各精度等级，蜗杆、蜗轮各检验项目的公差或极限偏差的数值规定如下：

蜗杆的 $f_h, f_{hl}, f_{px}, f_{px1}, f_{f1}$ 和 f_r 值分别按表13-7-4、表13-7-5的规定；

蜗轮的 F_p (及 F_{pk})、 F_r 、 F_i' 值分别按表13-7-6、表13-7-7、表13-7-8的规定；

蜗轮的 f_i', f_{p1}, f_{f2} 值分别按表13-7-9、表13-7-10、表13-7-11的规定；

蜗轮的 F_i', f_i' 值按下列关系式计算确定： $F_i' = F_p + f_{f2}$ $f_i' = 0.6(f_{p1} + f_{f2})$

3) 本标准规定的公差值是以蜗杆、蜗轮的工作轴线为测量的基准轴线。当实际测量基准不符合本规定时，应从测量结果中消除基准不同所带来的影响。

4) 如需检验蜗杆量柱测量距偏差 ΔE_M 时，蜗杆量柱测量距公差 T_{M1} 和量柱测量距极限偏差 E_{M1}

表13-7-4 蜗杆的公差和极限偏差 $f_h, f_{hl}, f_{px}, f_{px1}, f_{f1}$ 值 (μm)

代号	模数 m (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f_h	$\geq 1 \sim 3.5$	1.0	1.7	2.8	4.5	7.1	11	14	—	—	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.3	2.0	3.4	5.6	9	14	20	—	—	—	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	1.7	2.8	4.5	7.1	11	18	25	—	—	—	—	—
	$> 10 \sim 16$	2.2	3.6	5.6	9	15	24	32	—	—	—	—	—
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	32	45	—	—	—	—	—
f_{hl}	$\geq 1 \sim 3.5$	3	3.4	5.6	9	14	22	32	—	—	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	2.6	4.2	7.1	11	17	28	40	—	—	—	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	3.4	5.6	9	14	22	36	50	—	—	—	—	—
	$> 10 \sim 16$	4.5	7.1	11	18	32	45	63	—	—	—	—	—
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	63	90	—	—	—	—	—

(续)

代号	模数 m (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f_{px}	$\geq 1 \sim 3.5$	0.7	1.2	1.9	3.0	4.8	7.5	11	14	20	28	40	56
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.0	1.4	2.4	3.5	6.3	9	14	20	25	36	53	75
	$> 6.3 \sim 10$	1.2	2.0	3.0	4.8	7.5	12	17	25	32	48	67	90
	$> 10 \sim 16$	1.6	2.5	4	6.3	10	16	22	32	46	63	85	120
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	22	32	45	63	85	120	160
f_{py1}	$\geq 1 \sim 3.5$	1.3	2	3.4	5.3	8.5	13	18	25	36	—	—	—
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.7	2.6	4	6.7	10	16	24	34	48	—	—	—
	$> 6.3 \sim 10$	2.0	3.4	5.3	8.5	13	21	32	46	63	—	—	—
	$> 10 \sim 16$	2.8	4.4	7.1	11	17	28	40	56	80	—	—	—
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	40	53	75	100	—	—	—
f_{p1}	$\geq 1 \sim 3.5$	1.1	1.8	2.8	4.5	7.1	11	16	22	32	45	60	85
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.6	2.4	3.6	5.6	9	14	22	32	45	60	80	120
	$> 6.3 \sim 10$	2.0	3.0	4.8	7.5	12	19	28	40	53	75	110	150
	$> 10 \sim 16$	2.6	4.0	6.7	11	16	25	36	53	75	100	140	200
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	36	53	75	100	140	190	270

注: f_{px} 应为正、负值 (\pm)。表13-7-5 蜗杆齿槽径向跳动公差 f_r 值(μm)

分度圆直径 d_1 (mm)	模数 m (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 10	$\geq 1 \sim 3.5$	1.1	1.8	2.8	4.5	7.1	11	14	20	28	40	56	75
$> 10 \sim 18$	$\geq 1 \sim 3.5$	1.1	1.8	2.8	4.5	7.1	12	15	21	29	41	58	80
$> 18 \sim 31.5$	$\geq 1 \sim 6.3$	1.2	2.0	3.0	4.8	7.5	12	16	22	30	42	60	85
$> 31.5 \sim 50$	$\geq 1 \sim 10$	1.2	2.0	3.2	5.0	8.0	13	17	23	32	45	63	90
$> 50 \sim 80$	$\geq 1 \sim 16$	1.4	2.2	3.6	5.6	9.0	14	18	25	36	48	71	100
$> 80 \sim 125$	$\geq 1 \sim 16$	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	20	28	40	56	80	110
$> 125 \sim 180$	$\geq 1 \sim 25$	1.8	3.0	4.5	7.5	12	18	25	32	45	63	90	125
$> 180 \sim 250$	$\geq 1 \sim 25$	2.2	3.4	5.3	8.5	14	22	28	40	53	75	105	150
$> 250 \sim 315$	$\geq 1 \sim 25$	2.6	4.0	6.3	10	16	25	32	45	63	90	120	170
$> 315 \sim 400$	$\geq 1 \sim 25$	2.8	4.5	7.5	11.5	18	28	36	53	71	100	140	200

可按下列关系式确定:

$$T_{M1} = T_{S1} / \operatorname{tg} \alpha_n$$

$$E_{M1} = E_{S1} / \operatorname{tg} \alpha_n + 0.7f_r$$

5) 当基准蜗杆齿形角 α 不等于 20° 时, 蜗杆齿槽径向跳动公差 f_r , 蜗轮齿圈径向跳动公差 F_r , 蜗轮径向综合公差 F_r' 和蜗轮相邻齿径向综合公差 f_r' 的公差值应为本标准规定的公差值乘以一个系数, 其系数值为:

$$\sin 20^\circ / \sin \alpha$$

6) 为了保证蜗轮加工时刀具位置与传动中蜗杆位置的一致性, 必要时, 蜗轮加工时的中心距极

限偏差 $\pm f_{a0}$ 、中间平面极限偏差 $\pm f_{s0}$ 和轴交角极限偏差 $\pm f_{\Sigma 0}$ 按传动相应极限偏差值的 0.75 确定。

7) 超出本标准规定几何参数范围的蜗杆、蜗轮及传动, 允许按表 13-7-23、13-7-24、表 13-7-25 所列的关系式计算确定各项极限偏差和公差值。

8) 应用示例: 已知蜗杆传动 ZN₁10 × 90R2/80 (齿形 ZN₁, 模数 10mm, 分度圆直径 90mm, 头数 2 的右旋蜗杆与齿数 80 的蜗轮组成的蜗杆传动), 精度等级为传动 7 f GB10089—88。其蜗杆蜗轮及传动的各项公差与极限偏差值见表 13-7-26。

表 13-7-6 蜗轮周节累积公差 F_p 及 k 个周节累积公差 F_{pk} 值

(μm)

分度圆弧长 l ① (mm)	精 度 等 级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 11.2	1.1	1.8	2.8	4.5	7	11	16	22	32	45	63	90
$> 11.2 \sim 20$	1.6	2.5	4.0	6	10	16	22	32	45	63	90	125
$> 20 \sim 32$	2.0	3.2	5.0	8	12	20	28	40	56	80	112	160
$> 32 \sim 50$	2.2	3.6	5.5	9	14	22	32	45	63	90	125	180
$> 50 \sim 80$	2.5	4.0	6.0	10	16	25	36	50	71	100	140	200
$> 80 \sim 160$	3.2	5.0	8.0	12	20	32	45	63	90	125	180	250
$> 160 \sim 315$	4.5	7.0	11	18	28	45	63	90	125	180	250	355
$> 315 \sim 630$	6.0	10	16	25	40	63	90	125	180	250	355	500
$> 630 \sim 1000$	8.0	12	20	32	50	80	112	160	224	315	450	630
$> 1000 \sim 1600$	10	16	25	40	63	100	140	200	280	400	560	800
$> 1600 \sim 2500$	11	18	28	45	71	112	160	224	315	450	630	900
$> 2500 \sim 3150$	14	22	36	56	90	140	200	280	400	560	800	1120
$> 3150 \sim 4000$	16	25	40	63	100	160	224	315	450	630	900	1250
$> 4000 \sim 5000$	18	28	45	71	112	180	250	355	500	710	1000	1400
$> 5000 \sim 7200$	20	32	50	80	125	200	280	400	560	800	1120	1600

① l 的取值按下式计算:

$$\text{查 } F_p \text{ 时, 取 } l = \frac{1}{2} \pi d_2 = \frac{1}{2} \pi m z_2$$

$$\text{查 } F_{pk} \text{ 时, 取 } l = k \pi m \text{ (} k \text{ 为 2 到小于 } z_2/2 \text{ 的整数)}.$$

② 除特殊情况外, 对于 F_{pk} , k 值规定取为小于 $z_2/6$ 的最大整数。

表13-7-7 蜗轮齿圈径向跳动公差F_r值

(μm)

分度圆直径d ₂ (mm)	模数m (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤125	≥1~3.5	3.6	5.5	9	14	22	36	50	63	80	100	125	160
	>3.5~6.3	4.5	7.0	11	18	28	45	63	80	100	125	160	200
	>6.3~10	5.0	8.0	13	20	32	50	71	90	112	140	180	224
>125~400	≥1~3.5	4.0	6.0	10	16	25	40	56	71	90	112	140	180
	>3.5~6.3	5.0	8.0	13	20	32	50	71	90	112	140	180	224
	>6.3~10	5.5	9.0	14	22	36	56	80	100	125	160	200	250
	>10~16	6.0	10	16	25	40	63	90	112	140	180	224	280
>400~300	≥1~3.5	4.5	7.0	11	18	28	45	63	80	100	125	160	200
	>3.5~6.3	5.0	8.0	13	20	32	50	71	90	112	140	180	224
	>6.3~10	5.5	9.0	14	22	36	56	80	100	125	160	200	250
	>10~16	7.0	11	18	28	45	71	100	125	160	200	250	315
	>16~25	9.0	14	22	36	56	90	125	160	200	250	315	400
>800~1600	≥1~3.5	5.0	8.0	13	20	32	50	71	90	112	140	180	224
	>3.5~6.3	5.5	9.0	14	22	36	56	80	100	125	160	200	250
	>6.3~10	6.0	10	16	25	40	63	90	112	140	180	224	280
	>10~16	7.0	11	18	28	45	71	100	125	160	200	250	315
	>16~25	9.0	14	22	36	56	90	125	160	200	250	315	400
>1600~2500	≥1~3.5	5.5	9.0	14	22	36	56	80	100	125	160	200	250
	>3.5~6.3	6.0	10	16	25	40	63	90	112	140	180	224	280
	>6.3~10	7.0	11	18	28	45	71	100	125	160	200	250	315
	>10~16	8.0	13	20	32	50	80	112	140	180	224	280	355
	>16~25	10	16	25	40	63	100	140	180	224	280	355	450
>2500~4000	≥1~3.5	6.0	10	16	25	40	63	90	112	140	180	224	280
	>3.5~6.3	7.0	11	18	28	45	71	100	125	160	200	250	315
	>6.3~10	8.0	13	20	32	50	80	112	140	180	224	280	355
	>10~16	9.0	14	22	36	56	90	125	160	200	250	315	400
	>16~25	10	16	25	40	63	100	140	180	224	280	355	450

表13-7-8 蜗轮径向综合公差 F_r' 值(μm)

分度圆直径 d_2 (mm)	齿数 z (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 125	$\leq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	56	71	90	112	140	180
	$> 3.5 \sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	71	90	112	140	180	224
	$> 6.3 \sim 10$	—	—	—	—	—	—	80	100	125	160	200	250
$> 125 \sim 400$	$\leq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	63	80	100	125	160	200
	$> 3.5 \sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	80	100	125	160	200	250
	$> 6.3 \sim 10$	—	—	—	—	—	—	90	112	140	180	224	280
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	—	—	—	100	125	160	200	250	315
$> 400 \sim 800$	$\leq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	90	112	140	180	224	280
	$> 3.5 \sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	100	125	160	200	250	315
	$> 6.3 \sim 10$	—	—	—	—	—	—	112	140	180	224	280	355
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	—	—	—	140	180	224	280	355	450
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	—	180	224	280	355	450	560
$> 800 \sim 1600$	$\leq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	100	125	160	200	250	315
	$> 3.5 \sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	112	140	180	224	280	355
	$> 6.3 \sim 10$	—	—	—	—	—	—	125	160	200	250	315	400
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	—	—	—	140	180	224	280	355	450
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	—	180	224	280	355	450	560
$> 1600 \sim 2500$	$\leq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	112	140	180	224	280	355
	$> 3.5 \sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	125	160	200	250	315	400
	$> 6.3 \sim 10$	—	—	—	—	—	—	140	180	224	280	355	450
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	—	—	—	160	200	250	315	400	500
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	—	200	250	315	400	500	630
$> 2500 \sim 4000$	$\leq 1 \sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	125	160	200	250	315	400
	$> 3.5 \sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	140	180	224	280	355	450
	$> 6.3 \sim 10$	—	—	—	—	—	—	160	200	250	315	400	500
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	—	—	—	180	224	280	355	450	560
	$> 16 \sim 25$	—	—	—	—	—	—	200	250	315	400	500	630

表13-7-9 蜗轮相邻齿径向综合公差 f_r' 值(μm)

分度圆直径 d_2 (mm)	模数 m (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 125	$\geq 1\sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	20	28	36	45	56	71
	$> 3.5\sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	25	36	45	56	71	90
	$> 6.3\sim 10$	—	—	—	—	—	—	28	40	50	63	80	100
$> 125\sim 400$	$\geq 1\sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	22	32	40	50	63	80
	$> 3.5\sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	28	40	50	63	80	100
	$> 6.3\sim 10$	—	—	—	—	—	—	32	45	56	71	90	112
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	—	—	36	50	63	80	100	125
$> 400\sim 800$	$\geq 1\sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	25	36	45	56	71	90
	$> 3.5\sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	28	40	50	63	80	100
	$> 6.3\sim 10$	—	—	—	—	—	—	32	45	56	71	90	112
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	—	—	40	56	71	90	112	140
	$> 16\sim 25$	—	—	—	—	—	—	50	71	90	112	140	180
$> 800\sim 1600$	$\geq 1\sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	28	40	50	63	80	100
	$> 3.5\sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	32	45	56	71	90	112
	$> 6.3\sim 10$	—	—	—	—	—	—	36	50	63	80	100	125
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	—	—	40	56	71	90	112	140
	$> 16\sim 25$	—	—	—	—	—	—	50	71	90	112	140	180
$> 1600\sim 2500$	$\geq 1\sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	32	45	56	71	90	112
	$> 3.5\sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	36	50	63	80	100	125
	$> 6.3\sim 10$	—	—	—	—	—	—	40	56	71	90	112	140
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	—	—	45	63	80	100	125	160
	$> 16\sim 25$	—	—	—	—	—	—	56	80	100	125	160	200
$> 2500\sim 4000$	$\geq 1\sim 3.5$	—	—	—	—	—	—	36	50	63	80	100	125
	$> 3.5\sim 6.3$	—	—	—	—	—	—	40	56	71	90	112	140
	$> 6.3\sim 10$	—	—	—	—	—	—	45	63	80	100	125	160
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	—	—	50	71	90	112	140	180
	$> 16\sim 25$	—	—	—	—	—	—	56	80	100	125	160	200

表13-7-10 蜗轮齿距极限偏差 ($\pm f_{pt}$) 的 f_{pt} 值(μm)

分度圆直径 d_2 (mm)	模数 m (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 125	$\geq 1 \sim 3.5$	1.0	1.6	2.5	4.0	6	10	14	20	28	40	56	80
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.2	2.0	3.2	5.0	8	13	18	25	36	50	71	100
	$> 6.3 \sim 10$	1.4	2.2	3.6	5.5	9	14	20	28	40	56	80	112
$> 125 \sim 400$	$\geq 1 \sim 3.5$	1.1	1.8	2.8	4.5	7	11	16	22	32	45	63	90
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.4	2.2	3.6	5.5	9	14	20	28	40	56	80	112
	$> 6.3 \sim 10$	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	22	32	45	63	90	125
	$> 10 \sim 16$	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
$> 400 \sim 800$	$\geq 1 \sim 3.5$	1.2	2.0	3.2	5.0	8	13	18	25	36	50	71	100
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.4	2.2	3.6	5.5	9	14	20	28	40	56	80	112
	$> 6.3 \sim 10$	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
	$> 10 \sim 16$	2.0	3.2	5.0	8.0	13	20	28	40	56	80	112	160
	$> 16 \sim 25$	2.5	4.0	6.0	10	16	25	36	50	71	100	140	200
$> 800 \sim 1600$	$\geq 1 \sim 3.5$	1.2	2.0	3.2	5.0	8	13	18	25	36	50	71	100
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	22	32	45	63	90	125
	$> 6.3 \sim 10$	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
	$> 10 \sim 16$	2.0	3.2	5.0	8.0	13	20	28	40	56	80	112	160
	$> 16 \sim 25$	2.5	4.0	6.0	10	16	25	36	50	71	100	140	200
$> 1600 \sim 2500$	$\geq 1 \sim 3.5$	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	22	32	45	63	90	125
	$> 3.5 \sim 6.3$	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
	$> 6.3 \sim 10$	2.0	3.2	5.0	8.0	13	20	28	40	56	80	112	160
	$> 10 \sim 16$	2.2	3.6	5.5	9.0	14	22	32	45	63	90	125	180
	$> 16 \sim 25$	2.8	4.5	7.0	11	18	28	40	56	80	112	160	224
$> 2500 \sim 4000$	$\geq 1 \sim 3.5$	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
	$> 3.5 \sim 6.3$	2.0	3.2	5.0	8.0	13	20	28	40	56	80	112	160
	$> 6.3 \sim 10$	2.2	3.6	5.5	9.0	14	22	32	45	63	90	125	180
	$> 10 \sim 16$	2.5	4.0	6.0	10	16	25	36	50	71	100	140	200
	$> 16 \sim 25$	2.8	4.5	7.0	11	18	28	40	56	80	112	160	224

表13-7-11 蜗轮齿形公差 f_{f2} 值(μm)

分度圆直径 d_2 (mm)	模数 m (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 125	$\cong 1 \sim 3.5$	2.1	2.6	3.6	4.8	6	8	11	14	22	36	56	90
	$> 3.5 \sim 6.3$	2.4	3.0	4.0	5.3	7	10	14	20	32	50	80	125
	$> 6.3 \sim 10$	2.5	3.4	4.5	6.0	8	12	17	22	36	56	90	140
$> 125 \sim 400$	$\cong 1 \sim 3.5$	2.4	3.0	4.0	5.3	7	9	13	18	28	45	71	112
	$> 3.5 \sim 6.3$	2.5	3.2	4.5	6.0	8	11	16	22	36	56	90	140
	$> 6.3 \sim 10$	2.6	3.6	5.0	6.5	9	13	19	28	45	71	112	180
	$> 10 \sim 16$	3.0	4.0	5.5	7.5	11	16	22	32	50	80	125	200
$> 400 \sim 800$	$\cong 1 \sim 3.5$	2.6	3.4	4.5	6.5	9	12	17	25	40	63	100	160
	$> 3.5 \sim 6.3$	2.8	3.8	5.0	7.0	10	14	20	28	45	71	112	180
	$> 6.3 \sim 10$	3.0	4.0	5.5	7.5	11	16	24	36	56	90	140	224
	$> 10 \sim 16$	3.2	4.5	6.0	9.0	13	18	26	40	63	100	160	250
	$> 16 \sim 25$	3.8	5.3	7.5	10.5	16	24	36	56	90	140	224	355
$> 800 \sim 1600$	$\cong 1 \sim 3.5$	3.0	4.2	5.5	8.0	11	17	24	36	56	90	140	224
	$> 3.5 \sim 6.3$	3.2	4.5	6.0	9.0	13	18	28	40	63	100	160	250
	$> 6.3 \sim 10$	3.4	4.8	6.5	9.5	14	20	30	45	71	112	180	280
	$> 10 \sim 16$	3.6	5.0	7.5	10.5	15	22	34	50	80	125	200	315
	$> 16 \sim 25$	4.2	6.0	8.5	12	19	28	42	63	100	160	250	400
$> 1600 \sim 2500$	$\cong 1 \sim 3.5$	3.8	5.3	7.5	11	16	24	36	50	80	125	200	315
	$> 3.5 \sim 6.3$	4.0	5.5	8.0	11.5	17	25	38	56	90	140	224	355
	$> 6.3 \sim 10$	4.0	6.0	8.5	12	18	28	40	63	100	160	250	400
	$> 10 \sim 16$	4.2	6.5	9.0	13	20	30	45	71	112	180	280	450
	$> 16 \sim 25$	4.8	7.0	10.5	15	22	36	53	80	125	200	315	500
$> 2500 \sim 4000$	$\cong 1 \sim 3.5$	4.5	6.5	10	14	21	32	50	71	112	180	280	450
	$> 3.5 \sim 6.3$	4.8	7.0	10	15	22	34	53	80	125	200	315	500
	$> 6.3 \sim 10$	5.0	7.5	10.5	16	24	36	56	90	140	224	355	560
	$> 10 \sim 16$	5.3	7.5	11	17	25	38	60	90	140	224	355	560
	$> 16 \sim 25$	5.5	8.5	13	19	28	45	67	100	160	250	400	630

(五) 传动的检验与公差

1) 蜗杆传动的精度主要以传动切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$ 、传动相邻齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$ 和传动接触斑点的形状、分布位置与面积大小来评定。

对 5 级和 5 级精度以下的传动，允许用蜗轮的切向综合误差 ($\Delta F'_i$) 相邻齿切向综合误差 ($\Delta f'_i$) 来代替 $\Delta F'_{ic}$ 、 $\Delta f'_{ic}$ 的检验，或以蜗杆、蜗轮相应公差组的检验组中最低结果来评定传动的第 I、II 公差组的精度等级。

对不可调中心距的蜗杆传动，检验接触斑点的同时，还应检验 Δf_{α} 、 Δf_{Σ} 和 Δf_{Σ} 。

2) 对于各精度等级，蜗杆传动各检验项目的公差或极限偏差的数值规定如下：

F'_{ic} 、 f'_{ic} 值按下列关系式计算确定：

$$F'_{ic} = F_p + f'_{ic}$$

$$f'_{ic} = 0.7(f'_i + f_{\alpha})$$

接触斑点的要求按表 13-7-12 的规定；

f_{α} 、 f_{Σ} 、 f_{Σ} 值分别按表 13-7-13、表 13-7-14、表 13-7-15 的规定。

3) 进行传动切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$ 、相邻齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$ 和接触斑点检验的蜗杆传动，允许相应的第 I、II、III 公差组的蜗杆、蜗轮检验组和 Δf_{α} 、 Δf_{Σ} 、 Δf_{Σ} 中任意一项误差超差。

表 13-7-12 传动接触斑点的要求

精度等级	接触面积的百分比 (%)		接触形状	接触位置
	沿齿高不小于	沿齿长不小于		
1 和 2	75	70	接触斑点在齿高方向无断缺，不允许成带状条纹	接触斑点痕迹的分布位置趋近齿面中部，允许略偏于啮入端。在齿顶和啮入、啮出端的棱边处不允许接触
3 和 4	70	65		
5 和 6	65	60		
7 和 8	55	50	不作要求	接触斑点痕迹应偏于啮出端，但不允许在齿顶和啮入、啮出端的棱边接触
9 和 10	45	40		
11 和 12	30	30		

注：采用修形齿面的蜗杆传动，接触斑点的要求可不受本标准规定的限制。

表 13-7-13 传动中心距极限偏差 ($\pm f_{\alpha}$) 的 f_{α} 值

(μm)

传动中心距 a (mm)	精度等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 30	3	5	7	11	17	26	42	65				
$> 30 \sim 50$	3.5	6	8	13	20	31	50	80				
$> 50 \sim 80$	4	7	10	15	23	37	60	90				
$> 80 \sim 120$	5	8	11	18	27	44	70	110				
$> 120 \sim 180$	6	9	13	20	32	50	80	125				
$> 180 \sim 250$	7	10	15	23	36	58	92	145				
$> 250 \sim 315$	8	12	16	25	40	65	105	160				
$> 315 \sim 400$	9	13	18	28	45	70	115	180				
$> 400 \sim 500$	10	14	20	32	50	78	125	200				
$> 500 \sim 630$	11	15	22	35	55	87	140	220				
$> 630 \sim 800$	13	18	25	40	62	100	160	250				
$> 800 \sim 1000$	15	20	28	45	70	115	180	280				
$> 1000 \sim 1250$	17	23	33	52	82	130	210	330				
$> 1250 \sim 1600$	20	27	39	62	97	155	250	390				
$> 1600 \sim 2000$	24	32	46	75	115	185	300	460				
$> 2000 \sim 2500$	29	39	55	87	140	220	350	550				

表13-7-14 传动轴交角极限偏差 ($\pm f_E$) 的 f_E 值(μm)

蜗轮齿宽 b_2 (mm)	精 度 等 级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 30	—	—	5	6	8	10	12	17	24	34	48	67
$> 30 \sim 50$	—	—	5.6	7.1	9	11	14	19	28	38	56	75
$> 50 \sim 80$	—	—	6.5	8	10	13	16	22	32	45	63	90
$> 80 \sim 120$	—	—	7.5	9	12	15	19	24	36	53	71	105
$> 120 \sim 180$	—	—	9	11	14	17	22	28	42	60	85	120
$> 180 \sim 250$	—	—	—	13	16	20	25	32	48	67	95	135
> 250	—	—	—	—	—	22	28	36	53	75	105	150

表13-7-15 传动中间平面极限偏移 ($\pm f_s$) 的 f_s 值(μm)

传动中心距 a (mm)	精 度 等 级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 30	—	—	5.6	9	14	21	34	52	—	—	—	—
$> 30 \sim 50$	—	—	6.5	10.5	16	25	40	64	—	—	—	—
$> 50 \sim 80$	—	—	8	12	18.5	30	48	72	—	—	—	—
$> 80 \sim 120$	—	—	9	14.5	22	36	56	88	—	—	—	—
$> 120 \sim 180$	—	—	10.5	16	27	40	64	100	—	—	—	—
$> 180 \sim 250$	—	—	12	18.5	29	47	74	120	—	—	—	—
$> 250 \sim 315$	—	—	13	21	32	52	85	130	—	—	—	—
$> 315 \sim 400$	—	—	14.5	23	36	56	92	145	—	—	—	—
$> 400 \sim 500$	—	—	16	26	40	63	100	160	—	—	—	—
$> 500 \sim 630$	—	—	18	28	44	70	112	180	—	—	—	—
$> 630 \sim 800$	—	—	20	32	50	80	130	200	—	—	—	—
$> 800 \sim 1000$	—	—	23	36	56	92	145	230	—	—	—	—
$> 1000 \sim 1250$	—	—	27	42	66	105	170	270	—	—	—	—
$> 1250 \sim 1600$	—	—	32	50	78	125	200	315	—	—	—	—
$> 1600 \sim 2000$	—	—	37	60	92	150	240	370	—	—	—	—
$> 2000 \sim 2500$	—	—	44	70	112	180	280	440	—	—	—	—

(六) 蜗杆传动的侧隙及选择

(1) 蜗杆传动的侧隙规定

1) 国标10089—88按蜗杆传动的最小法向侧隙大小, 将侧隙种类分为八种: a、b、c、d、e、f、g和h。最小法向侧隙值以a为最大, h为零, 其它依次减小, 如图13-7-1所示。侧隙种类与精度等级无严格对应关系。

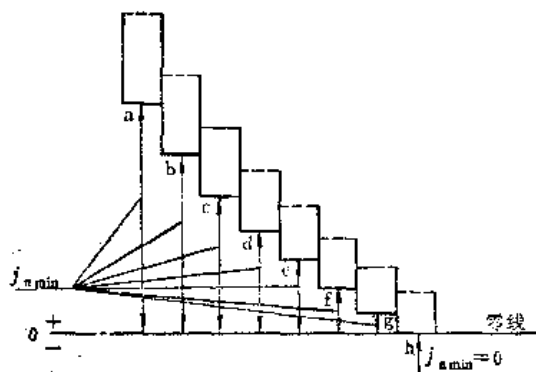


图13-7-1 侧隙种类

2) 蜗杆传动的侧隙要求, 应根据工作条件和使用要求用侧隙种类的代号(字母)表示。各种侧隙的最小法向侧隙 $j_{n \min}$ 值按表13-7-17的规定。

对可调中心距传动或蜗杆、蜗轮不要求互换的传动, 允许传动的侧隙规范用最小侧隙 $j_{i \min}$ (或 $j_{n \min}$)和最大侧隙 $j_{i \max}$ (或 $j_{n \max}$)来规定, 具体由设计确定。

3) 传动的最小法向侧隙由蜗杆齿厚的减薄量来保证, 即取蜗杆齿厚上偏差 $E_{s,1} = -\left(\frac{j_{n \min}}{\cos \alpha_n} + E_{s,d}\right)$, 齿厚下偏差 $E_{s,11} = E_{s,1} - T_{s,1}$, $E_{s,d}$ 为制造误差的补偿部分。最大法向侧隙由蜗杆、蜗轮齿厚公差 $T_{s,1}$ 、 $T_{s,2}$ 确定。蜗轮齿厚上偏差 $E_{s,2} = 0$, 下偏差 $E_{s,12} = -T_{s,2}$ 。对各精度等级的 $T_{s,1}$ 、 $E_{s,d}$ 和 $T_{s,2}$ 值分别按表13-7-18、表13-7-19、表13-7-20的规定。

对可调中心距传动或不要求互换的传动, 其蜗轮的齿厚公差可不作规定, 蜗杆齿厚的上、下偏差由设计确定。

4) 对各种侧隙种类的侧隙规范数值系蜗杆传动在20℃时的情况, 未计入传动发热和传动弹性变形的影响。传动中心距的极限偏差 $\pm f_s$ 按表13-7-13的规定。

(2) 侧隙种类的选择 侧隙种类的选择根据使用要求和工作条件来确定, 分度传动, 操纵机构要求较小的侧隙, 承载大、发热大、散热差的机构要求较大侧隙。侧隙种类与精度等级在一定范围内相对应, 见表13-7-16。

表13-7-16 侧隙种类与精度对应推荐表

侧隙种类	h	g	f	e	d	c	b	a
运动精度等级(第Ⅰ公差组)	1~6	1~6	1~7	3~8	3~9	3~10	3~12	5~12

(七) 其它

1) 蜗杆的工作轴线是指两支承轴颈中截面处中心的连线(对套式蜗杆系指轴孔的轴线)。

蜗轮的工作轴线, 对带轴孔的蜗轮是指孔的轴线; 对于悬臂轴蜗轮是指轴颈的轴线; 对于双支承的轴蜗轮是指两轴颈中截面处中心的连线。

2) 当需要对轮齿的顺序进行编号时, 按标记面向上, 正对蜗杆或蜗轮的工作轴线观察, 按顺时针方向排列。

3) 当需要区分齿面时, 面对标记面, 按齿顶在上, 齿根在下的状态观察, 轮齿右侧称为右齿面, 左侧称为左齿面。

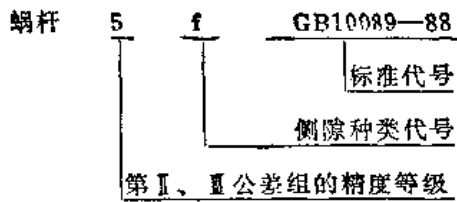
4) 在不要求互换性时, 允许以下列要素作为公称值:

- ① 蜗轮实际齿厚的平均值;
- ② 蜗杆实际导程或轴向齿距的平均值。

(八) 图样标注

1) 在蜗杆、蜗轮工作图上, 应分别标注其精度等级、齿厚极限偏差或相应的侧隙种类代号和标准代号, 标注示例如下。

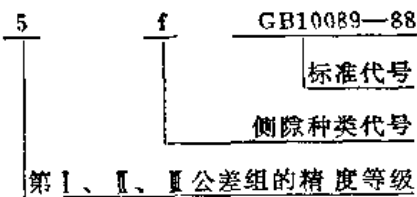
例1 蜗杆的第Ⅱ、Ⅲ公差组的精度等级为5级, 齿厚极限偏差为标准值, 相配的侧隙种类为f, 则标注为



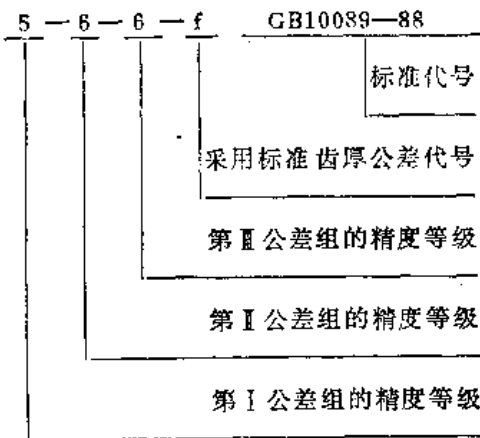
若蜗杆齿厚极限偏差为非标准值，如上偏差为 -0.27 ，下偏差为 -0.40 ，则标注为

蜗杆 5 (-0.27) GB10089-88

例 2 蜗轮的三个公差组的精度同为 5 级，齿厚极限偏差为标准值，相配的侧隙种类为 f，则标注为



例 3 蜗轮的第 I 公差组的精度为 5 级，第 II、III 公差组的精度为 6 级，齿厚极限偏差为标准值，相配的侧隙种类为 f，则标注为



若蜗轮齿厚极限偏差为非标准值，如上偏差为 $+0.10$ ，下偏差为 -0.10 ，则标注为

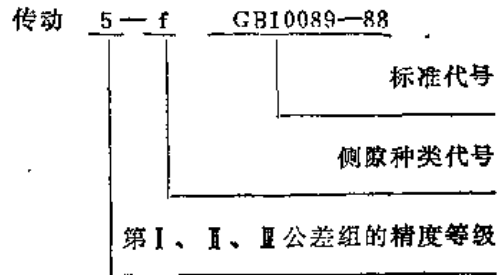
5-6-6-(± 0.10)GB10089-88

若蜗轮齿厚无公差要求，则标注为

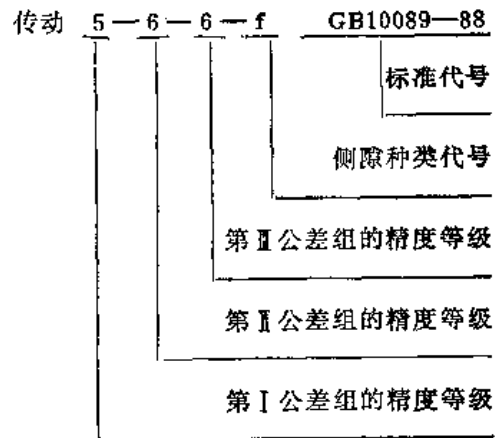
5-6-6 GB10089-88

2) 对传动，应标注出相配蜗杆、蜗轮的精度等级、侧隙种类代号和本标准代号，标注示例如下：

例 1 传动的三个公差组的精度同为 5 级，侧隙种类为 f，则标注为



例 2 传动的第 I 公差组的精度为 5 级，第 II、III 公差组的精度为 6 级，侧隙种类为 f，则标注为



若侧隙为非标准值时，如 $j_{fmin} = 0.03\text{mm}$ ， $j_{fmax} = 0.06\text{mm}$ ，则标注为

传动 5-6-6-(0.03) f GB10089-88

若为法向侧隙时，则标注为

传动 5-6-6-(0.03) GB10089-88

表 13-7-17 传动的最小法向侧隙 j_{fmin} 值

(μm)

传动中心距 a (mm)	侧 隙 种 类							
	h	g	f	e	d	c	b	a
≤ 30	0	9	13	21	33	52	84	130
$> 30 \sim 50$	0	11	16	25	36	62	100	160
$> 50 \sim 80$	0	13	19	30	46	74	120	190

(续)

传动中心距 a (mm)	侧 隙 种 类							
	h	g	f	e	d	c	b	a
>80~120	0	15	22	35	64	87	140	220
>120~180	0	18	25	40	63	100	160	250
>180~250	0	20	29	45	72	115	185	290
>250~315	0	23	32	52	81	130	210	320
>315~400	0	25	36	57	89	140	230	360
>400~500	0	27	40	63	97	155	250	400
>500~630	0	30	44	70	110	175	280	440
>630~800	0	35	50	80	125	200	320	500
>800~1000	0	40	56	90	140	230	360	560
>1000~1250	0	46	66	105	165	260	420	660
>1250~1600	0	54	78	125	195	310	500	780
>1600~2000	0	65	92	150	230	370	600	920
>2000~2500	0	77	110	175	280	440	700	1100

注：传动的最小圆周侧隙 $j_{\min} \approx j_{\min} / \cos \gamma' \cdot \cos \alpha_n$ ，

式中 γ' 为蜗杆节圆柱导程角， α_n 为蜗杆法向齿形角。

表13-7-18 蜗杆齿厚公差 F_{s1} 值(μm)

模数 m (mm)	精 度 等 级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\geq 1 \sim 3.5$	12	15	20	25	30	36	45	53	67	95	130	190
>3.5~6.3	15	20	25	32	38	45	56	71	90	130	180	240
>6.3~10	20	25	30	40	48	60	71	90	110	160	220	310
>10~16	25	30	40	50	60	80	95	130	150	210	290	400
>16~25	—	—	—	—	85	110	130	160	200	280	400	550

注：1. 精度等级按蜗杆第 II 公差组确定；

2. 对传动最大法向侧隙 j_{\max} 无要求时，允许蜗杆齿厚公差 F_{s1} 增大，最大不超过两倍。

(μm)

表13-7-19 蜗杆齿厚上偏差 (E_{s1}) 中的误差补偿部分 E_{c1} 值

精度等级	模数 m (mm)	传动中心距 a (mm)															
		≤ 30	$>30 \sim 50$	$>50 \sim 80$	$>80 \sim 120$	$>120 \sim 180$	$>180 \sim 250$	$>250 \sim 315$	$>315 \sim 400$	$>400 \sim 500$	$>500 \sim 630$	$>630 \sim 800$	$>800 \sim 1000$	$>1000 \sim 1250$	$>1250 \sim 1600$	$>1600 \sim 2000$	$>2000 \sim 2500$
1	$\geq 1 \sim 3.5$	3.8	4.2	4.8	5.3	6.5	8.0	9.0	10	11	12	14	16	18	20	25	30
	$> 3.5 \sim 6.3$	4.4	4.8	5.3	6.0	6.8	8.0	9.0	10	11	12	14	16	18	20	25	30
	$> 6.3 \sim 10$	5.0	5.3	5.6	6.3	7.1	8.0	9.0	10	11	12	14	16	18	20	25	30
2	$> 10 \sim 16$	—	—	—	7.1	8.0	9.0	10	11	12	14	16	18	22	25	30	30
	$\geq 1 \sim 3.5$	6.3	7.1	8.0	9.0	10	11	13	14	15	16	18	20	22	28	32	40
	$> 3.5 \sim 6.3$	6.8	8.0	9.0	9.0	10	11	13	14	15	16	18	20	24	28	32	40
3	$> 6.3 \sim 10$	8	9	10	10	11	12	14	15	16	18	20	22	24	28	32	40
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	12	12	13	15	16	16	18	20	22	25	28	36	40
	$\geq 1 \sim 3.5$	10	10	12	13	15	16	17	19	22	24	26	28	32	40	48	56
4	$> 3.5 \sim 6.3$	11	11	13	14	15	17	18	20	22	24	26	30	36	40	48	56
	$> 6.3 \sim 10$	12	13	14	15	16	18	19	20	22	24	28	30	36	40	48	56
	$> 10 \sim 16$	—	—	—	17	18	20	20	22	24	25	28	32	36	40	48	58
5	$\geq 1 \sim 3.5$	15	16	18	20	22	25	28	30	32	35	40	46	53	63	75	90
	$> 3.5 \sim 6.3$	16	18	19	22	24	26	30	32	36	38	42	48	56	63	75	90
	$> 6.3 \sim 10$	19	20	22	24	25	28	30	32	36	38	45	50	56	65	80	90
6	$> 10 \sim 16$	—	—	—	28	30	32	32	36	38	40	45	50	56	65	80	90
	$\geq 1 \sim 3.5$	25	25	28	32	36	40	45	48	51	56	63	71	85	100	115	140
	$> 3.5 \sim 6.3$	28	28	30	36	38	40	45	50	53	58	65	75	85	100	120	140

6	>6.3~10	—	—	—	38	40	45	48	50	56	60	68	75	85	100	120	145	
	>10~16	—	—	—	—	45	48	50	56	60	65	71	80	90	105	120	145	
	>1~3.5	30	30	32	36	40	45	48	50	56	60	65	75	85	100	120	140	
	>3.5~6.3	32	36	38	40	45	48	50	56	60	63	70	75	90	100	120	140	
	>6.3~10	42	45	45	48	50	52	56	60	63	68	75	80	90	105	120	145	
	>10~16	—	—	—	58	60	63	65	68	71	75	80	85	95	110	125	150	
	>16~25	—	—	—	—	75	78	80	85	85	90	95	100	110	120	135	160	
	≥1~3.5	45	48	50	56	60	71	75	80	85	85	95	105	120	135	160	190	225
	>3.5~6.3	50	56	58	63	68	75	80	85	90	90	100	110	125	140	160	190	225
	>6.3~10	60	63	65	71	75	80	85	90	95	95	105	115	130	140	165	195	225
7	>10~16	—	—	—	80	85	90	95	100	105	110	125	135	150	170	200	230	
	>16~25	—	—	—	—	115	120	120	125	130	135	145	155	165	185	210	240	
	≥1~3.5	50	56	58	63	68	75	80	85	90	100	110	120	140	160	190	225	
	>3.5~6.3	68	71	75	78	80	85	90	95	100	110	120	130	145	170	195	230	
	>6.3~10	80	85	90	90	95	100	100	105	110	120	130	140	150	175	200	235	
	>10~16	—	—	—	110	115	115	120	125	130	135	140	155	165	185	210	240	
	>16~25	—	—	—	—	150	155	155	160	160	170	175	180	190	210	230	260	
	≥1~3.5	75	80	90	95	100	110	120	130	140	155	170	190	220	250	310	360	
	>3.5~6.3	90	95	100	105	110	120	130	140	150	160	180	200	225	260	310	360	
	>6.3~10	110	115	120	125	130	140	145	155	160	170	190	210	235	270	320	370	
8	>10~16	—	—	—	160	165	170	180	185	190	200	220	230	255	290	335	380	
	>16~25	—	—	—	—	215	220	225	230	235	245	255	270	290	330	360	400	
	≥1~3.5	80	85	90	90	95	100	100	105	110	120	130	140	155	185	210	240	
	>3.5~6.3	88	90	95	95	100	100	100	105	110	120	130	140	150	175	200	235	
	>6.3~10	80	85	90	90	95	100	100	105	110	120	130	140	150	175	200	235	
	>10~16	—	—	—	110	115	115	120	125	130	135	140	155	165	185	210	240	
	>16~25	—	—	—	—	150	155	155	160	160	170	175	180	190	210	230	260	
	≥1~3.5	75	80	90	95	100	110	120	130	140	155	170	190	220	250	310	360	
	>3.5~6.3	90	95	100	105	110	120	130	140	150	160	180	200	225	260	310	360	
	>6.3~10	110	115	120	125	130	140	145	155	160	170	190	210	235	270	320	370	
9	>10~16	—	—	—	160	165	170	180	185	190	200	220	230	255	290	335	380	
	>16~25	—	—	—	—	215	220	225	230	235	245	255	270	290	330	360	400	
	≥1~3.5	80	85	90	90	95	100	100	105	110	120	130	140	155	185	210	240	
	>3.5~6.3	88	90	95	95	100	100	100	105	110	120	130	140	150	175	200	235	
	>6.3~10	80	85	90	90	95	100	100	105	110	120	130	140	150	175	200	235	
	>10~16	—	—	—	110	115	115	120	125	130	135	140	155	165	185	210	240	
	>16~25	—	—	—	—	150	155	155	160	160	170	175	180	190	210	230	260	
	≥1~3.5	75	80	90	95	100	110	120	130	140	155	170	190	220	250	310	360	
	>3.5~6.3	90	95	100	105	110	120	130	140	150	160	180	200	225	260	310	360	
	>6.3~10	110	115	120	125	130	140	145	155	160	170	190	210	235	270	320	370	

(续)

精度等级	模数 m (mm)	传动中心距 a (mm)															
		<30	>30~50	>50~80	<80~120	>120~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
10	≥1~3.5	100	105	110	115	120	130	140	145	155	165	185	200	230	270	310	360
	>3.5~6.3	120	125	130	135	140	145	155	160	170	180	200	210	240	280	320	370
	>6.3~10	155	160	165	170	175	180	185	190	200	205	220	240	260	290	340	380
	>10~16	—	—	—	210	215	220	225	230	235	240	260	270	290	320	360	400
	>16~25	—	—	—	—	230	235	240	245	250	255	280	300	340	370	400	440
11	≥1~3.5	140	150	160	170	180	190	200	220	240	250	280	310	350	410	480	560
	>3.5~6.3	180	185	190	200	210	220	230	250	260	280	300	330	370	420	490	570
	>6.3~10	220	230	230	240	250	260	270	280	290	310	330	350	380	440	510	590
	>10~16	—	—	—	290	300	310	310	320	340	350	370	390	430	470	530	610
	>16~25	—	—	—	—	400	410	410	420	430	440	450	470	500	560	600	670
12	≥1~3.5	190	190	200	210	220	230	240	250	270	280	310	330	370	430	490	580
	>3.5~6.3	250	250	260	260	270	280	290	300	310	320	340	360	400	460	520	600
	>6.3~10	290	300	300	310	310	320	330	340	350	360	380	400	440	480	540	620
	>10~16	—	—	—	400	400	410	410	420	430	440	450	470	500	560	600	670
	>16~25	—	—	—	—	520	530	530	540	550	560	580	600	640	680	750	830

注：精度等级按蜗杆的第Ⅱ公差组确定。

表13-7-20 蜗轮齿厚公差 T_{s2} 值(μm)

分度圆直径 d_2 (mm)	模数 m (mm)	精 度 等 级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤ 125	$\geq 1\sim 3.5$	30	32	36	45	56	71	90	110	130	160	190	230
	$> 3.5\sim 6.3$	32	36	40	48	63	85	110	130	160	190	230	290
	$> 6.3\sim 10$	32	36	45	50	67	90	120	140	170	210	260	320
$> 125\sim 400$	$\geq 1\sim 3.5$	30	32	38	48	60	80	100	120	140	170	210	260
	$> 3.5\sim 6.3$	32	36	45	50	67	90	120	140	170	210	260	320
	$> 6.3\sim 10$	32	36	45	56	71	100	130	160	190	230	290	350
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	80	110	140	170	210	260	320	390
$> 400\sim 800$	$\geq 1\sim 3.5$	32	36	40	48	63	85	110	130	160	190	230	290
	$> 3.5\sim 6.3$	32	36	45	50	67	90	120	140	170	210	260	320
	$> 6.3\sim 10$	32	36	45	56	71	100	130	160	190	230	290	350
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	85	120	160	190	230	290	350	430
	$> 16\sim 25$	—	—	—	—	—	140	190	230	290	350	430	550
$> 800\sim 1600$	$\geq 1\sim 3.5$	32	36	45	50	67	90	120	140	170	210	260	320
	$> 3.5\sim 6.3$	32	36	45	56	71	100	130	160	190	230	290	350
	$> 6.3\sim 10$	32	36	48	60	80	110	140	170	210	260	320	390
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	85	120	160	190	230	290	350	430
	$> 16\sim 25$	—	—	—	—	—	140	190	230	290	350	430	550
$> 1600\sim 2500$	$\geq 1\sim 3.5$	32	36	45	56	71	100	130	160	190	230	290	350
	$> 3.5\sim 6.3$	32	38	48	60	80	110	140	170	210	260	320	390
	$> 6.3\sim 10$	36	40	50	63	85	120	160	190	230	290	350	430
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	90	130	170	210	260	320	390	490
	$> 16\sim 25$	—	—	—	—	—	160	210	260	320	390	490	610
$> 2500\sim 4000$	$\geq 1\sim 3.5$	32	38	48	60	80	110	140	170	210	260	320	390
	$> 3.5\sim 6.3$	36	40	50	63	85	120	160	190	230	290	350	430
	$> 6.3\sim 10$	36	45	53	67	90	130	170	210	260	320	390	490
	$> 10\sim 16$	—	—	—	—	100	140	190	230	290	350	430	550
	$> 16\sim 25$	—	—	—	—	—	160	210	260	320	390	490	610

注：1.精度等级按蜗轮第Ⅱ公差组确定。

2.在最小极限侧隙能保证的条件下， T_{s2} 公差带允许采用对称分布。

表13-7-21 蜗杆、蜗轮齿坯尺寸和形状公差

精度等级		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
孔	尺寸公差	IT4	IT4	IT4	IT5	IT5	IT7	IT7	IT8	IT8	IT8	IT8	IT8
	形状公差	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT6	IT7	IT7	IT7	IT7	—
轴	尺寸公差	IT4	IT4	IT4	IT5	IT5	IT6	IT6	IT7	IT7	IT7	IT8	IT8
	形状公差	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT6	IT7	IT7	IT7	IT8	—
齿顶圆直径公差		IT6		IT7			IT8			IT9		IT11	

注：1.当三个公差组的精度等级不同时，按最高精度等级确定公差。
 2.当齿顶圆不作测量齿厚基准时，尺寸公差按IT11确定，但不得大于0.1mm。
 3.IT为标准公差按GB1800—79《公差与配合总论标准公差与基本偏差》的规定确定。

表13-7-22 蜗杆、蜗轮齿坯基准面径向和端面跳动公差

(μm)

基准面直径 d (mm)	精度等级					
	1~2	3~4	5~6	7~8	9~10	11~12
≤ 31.5	1.2	2.8	4	7	10	10
$> 31.5 \sim 63$	1.6	4	6	10	16	16
$> 63 \sim 125$	2.2	5.5	8.5	14	22	22
$> 125 \sim 400$	2.8	7	11	18	28	28
$> 400 \sim 800$	3.6	9	14	22	36	36
$> 800 \sim 1600$	5.0	12	20	32	50	50
$> 1600 \sim 2500$	7.0	18	28	45	71	71
$> 2500 \sim 4000$	10	25	40	63	100	100

注：1.当三个公差组的精度等级不同时，按最高精度等级确定公差。
 2.当以齿顶圆作为测量基准时，也即为蜗杆、蜗轮的齿坯基准面。

表13-7-23 极限偏差和公差与蜗杆几何参数的关系式

精度等级	f_h		f_{M1}		$\pm f_{px}$		f_{px1}		f_r		f_{f1}		T_{s1}	
	$f_h = Am + C$		$f_{M1} = Am + C$		$f_{px} = Am + C$		$f_{px1} = Am + C$		$f_r = Ad_1 + C$		$f_{f1} = Am + C$		$T_{s1} = Am + C$	
	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C
1	0.110	0.8	0.22	1.64	0.08	0.56	0.132	1.02	0.005	1.0	0.13	0.80	1.23	8.9
2	0.180	1.32	0.364	2.62	0.12	0.92	0.212	1.63	0.007	1.52	0.21	1.33	1.5	11.1
3	0.284	2.09	0.575	4.15	0.19	1.45	0.335	2.55	0.011	2.4	0.34	2.1	1.9	13.9
4	0.45	3.3	0.91	6.56	0.3	2.28	0.53	4.03	0.018	3.8	0.53	3.3	2.4	17.3
5	0.72	5.2	1.44	10.4	0.48	3.6	0.84	6.38	0.028	6.0	0.84	5.2	3.0	21.6
6	1.14	8.2	2.28	16.5	0.76	5.7	1.33	10.1	0.044	9.5	1.33	8.2	3.8	27
7	1.6	11.5	3.2	23.1	1.08	8.2	1.88	14.3	0.063	13.4	1.88	11.8	4.7	33.8
8	—	—	—	—	1.51	11.4	2.64	20	0.088	18.8	2.64	16.3	5.9	42.2
9	—	—	—	—	2.10	16	3.8	28	0.124	26.4	3.69	22.8	7.3	52.8
10	—	—	—	—	3.0	22.4	—	—	0.172	36.9	5.2	32	10.2	73.8
11	—	—	—	—	4.3	31	—	—	0.24	52	7.24	44.8	14.4	103.4
12	—	—	—	—	5.8	44	—	—	0.34	72	10.2	63	20.1	144.7

注：表中代号， m —蜗杆轴向齿数 (mm)， d_1 —蜗杆分度圆直径 (mm)。

表13-7-24 极限偏差和公差与蜗轮几何参数的关系式

精度等级	F_p (或 F_{pt})		F_r		F_i'		$\pm f_{pt}$		f_i'		f_{f2}		$\pm f_g$	
	$F_p = B\sqrt{L} + C$		$F_r = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.25A$		$F_i' = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.25A$		$f_{pt} = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.25A$		$f_i' = Am + B\sqrt{d_2} + C$ $B = 0.25A$		$f_{f2} = Am + Bd_2 + C$ $B = 0.0125A$		$f_g = B\sqrt{b_2} + C$	
	B	C	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C	B	C
1	0.25	0.53	0.224	2.8	—	—	0.063	0.8	—	—	0.063	2	—	—
2	0.40	1	0.355	4.5	—	—	0.10	1.25	—	—	0.10	2.5	—	—
3	0.63	1.6	0.56	7.1	—	—	0.16	2	—	—	0.16	3.15	0.50	2.5
4	1	2.5	0.90	11.2	—	—	0.25	3.15	—	—	0.25	4	0.63	3.2
5	1.6	4	1.40	18	—	—	0.40	5	—	—	0.40	5	0.8	4
6	2.5	6.3	2.24	28	—	—	0.63	8	—	—	0.63	6.3	1	5
7	3.55	9	3.15	40	4.5	56	0.90	11.2	1.25	16	1	8	1.25	6.3
8	5	12.5	4	50	5.6	71	1.25	16	1.8	22.4	1.6	10	1.8	8
9	7.1	18	5	63	7.1	90	1.8	22.4	2.24	28	2.5	16	2.5	11.2
10	10	25	6.3	80	9.0	112	2.5	31.5	2.8	35.5	4	25	3.55	16
11	14	35.5	8	100	11.2	140	3.55	45	3.55	45	6.3	40	5	22.4
12	20	50	10	125	14.0	180	5	63	4.5	56	10	63	7.1	31.5

注：1.代号： m —模数，mm； d_2 —蜗轮分度圆直径，mm； L —蜗轮分度圆弧长，mm； b_2 —蜗轮齿宽，mm；
2. $d_2 \leq 400$ mm的 F_r 、 F_i' 公差按表中所列关系式再乘以0.8确定。

表13-7-25 极限偏差或公差间的相关关系式

序号	代号	精度等级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	f_a	$\frac{1}{2}IT4$	$\frac{1}{2}IT5$	$\frac{1}{2}IT6$	$\frac{1}{2}IT7$	$\frac{1}{2}IT8$	$\frac{1}{2}IT9$	$\frac{1}{2}IT10$	$\frac{1}{2}IT11$				
2	f_x	$0.8f_a$											
3	j_{\min}	$h(0), E(IT5), f(IT6), e(IT7), d(IT8), c(IT9), b(IT10), a(IT11)$											
4	j_{\max}	$(E_{s1} + T_{s1} + T_{s2} \cos \gamma') \cos \alpha_n + 2 \sin \alpha_n \sqrt{\frac{1}{4} F_r^2 + f_a^2}$											
5	f_t	$\approx j_n / \cos \gamma' \cdot \cos \alpha_n$											
6	E_{s1t}	$-(j_{\min} / \cos \alpha_n + E_{s1})$											
7	E_{s2}	$\sqrt{f_a^2 + 10 f_{pt}^2}$											
8	T_{s2}	$1.3F_r + 25$											

注：代号 γ' —蜗杆节圆柱导程角， α_n —蜗杆法向齿形角，

IT—标准公差，按GB1800—79的规定。

表13-7-26 应用示例的公差或极限偏差

对象	项目名称	代号	公差或极限偏差值 (μm)	说明
蜗 杆	螺旋线公差	f_{h1}	50	按表13-7-4
	一转螺旋线公差	f_h	25	按表13-7-4
	轴向齿距极限偏差	$\pm f_{px}$	± 17	按表13-7-4
	轴向齿距累积公差	f_{pxi}	32	按表13-7-4
	齿槽径向跳动公差	f_r	20	按表13-7-5
杆	齿形公差	f_{f1}	28	按表13-7-4
	齿厚上偏差	E_{s1}	-158	按表13-7-19
	齿厚公差	T_{s1}	71	按表13-7-18
	齿厚下偏差	E_{s1}	-220	$E_{s1} = E_{s1} - T_{s1}$
蜗 轮	切向综合公差	F_i'	164	$F_i' = F_p + f_{f2}$
	径向综合公差	F_r'	112	按表13-7-8
	齿距累积公差	F_p	140	按表13-7-6
	齿圈径向跳动公差	F_r	80	按表13-7-7
	轮	相邻齿切向综合公差	f_i	29
相邻齿径向综合公差		f_r'	32	按表13-7-9
齿距极限偏差		$\pm f_{p1}$	± 25	按表13-7-10
轮	齿形公差	f_{f2}	24	按表13-7-11
	齿厚极限偏差	E_{s2}	-130	$E_{s2} = 0, E_{s2} = -T_{s2}$
	齿厚公差	T_{s2}	130	按表13-7-20
传 动	传动切向综合公差	F_i''	178	$F_i'' = F_p + f_i''$
	传动相邻齿切向综合公差	f_i''	38	$f_i'' = 0.7(f_i + f_h)$
	接触斑点	沿齿高	55%	按表13-7-12
		沿齿长	50%	
	中心距极限偏差	$\pm f_a$	± 73	$a = 445$ 按表13-7-13
	中间平面极限偏差	$\pm f_x$	± 63	按表13-7-15
	轴交角极限偏差	$\pm f_y$	± 19	$b_2 = 100$ 按表13-7-14
	最小法向侧隙	J_{nmin}	40	按表13-7-17

第8节 双导程蜗杆传动

(一) 专用术语及代号

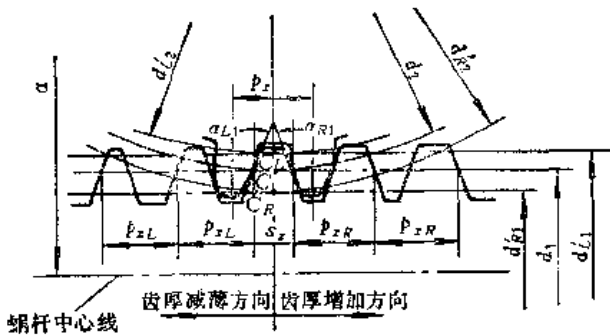


图13-8-1 双导程蜗杆传动
(图中以 $p_{xR} > p_x > p_{xL}$ 为例)

- b_1 ——蜗杆轮齿总宽度
- b_2 ——蜗杆啮合宽度
- b_T ——蜗杆工艺宽度

- Δb ——蜗杆轴向调节宽度
- d_1 ——蜗杆公称分度圆直径
- d'_{L1} ——蜗杆左齿面节圆直径
- d'_{R1} ——蜗杆右齿面节圆直径
- d_2 ——蜗轮公称分度圆直径
- d'_{L2} ——蜗轮左齿面节圆直径
- d'_{R2} ——蜗轮右齿面节圆直径
- K_s ——齿厚增量系数
- m ——公称模数
- m_L ——左齿面模数
- m_R ——右齿面模数
- Δm ——平均模数差
- Δm_L ——左齿面模数差 (左齿面模数与公称模数之差)
- Δm_R ——右齿面模数差 (右齿面模数与公称模数之差)
- C ——公称啮合节点
- C_L ——左齿面啮合节点
- C_R ——右齿面啮合节点

- s_2 ——蜗轮公称分度圆齿厚
- s_{a1} ——蜗杆轴向公称齿厚
- Δs ——蜗杆轴向齿厚允许调整量
- Δs_x ——蜗杆相邻轴向齿厚差
- p_L ——蜗杆左齿面导程
- p_R ——蜗杆右齿面导程
- p_z ——蜗杆公称导程
- Δp ——齿面齿距差
- p_x ——蜗杆公称轴向齿距
- p_{xL} ——蜗杆左齿面轴向齿距
- p_{xR} ——蜗杆右齿面轴向齿距
- α_{L1} ——蜗杆左齿面齿形角
- α_{R1} ——蜗杆右齿面齿形角
- α_{L2} ——蜗轮公称分度圆上的左齿形角
- α_{R2} ——蜗轮公称分度圆上的右齿形角
- α'_{L2} ——蜗轮左齿面节圆齿形角
- α'_{R2} ——蜗轮右齿面节圆齿形角
- γ ——蜗杆公称分度圆上的导程角
- γ_L ——蜗杆公称分度圆左齿面导程角
- γ_R ——蜗杆公称分度圆右齿面导程角
- β_L ——蜗轮公称分度圆左螺旋角
- β_R ——蜗轮公称分度圆右螺旋角

(二) 双导程蜗杆传动一般知识

在生产实践中经常碰到这样的情况，在蜗杆传动中除必要的运动侧隙外，要求消除多余的齿侧间隙。例如，在齿轮加工机床的分度装置和机床进给机构中要求准确传递运动的场合，或在需要避免断续切削力引起扭转振动的动力传动装置中，如圆工作台、铣床转台等都要求消除蜗杆传动中过大的侧隙。为达到这个目的，可用缩小中心距、蜗轮中间平面剖分后作相对偏转、蜗轮与两个蜗杆啮合（两个蜗杆径向转动或轴向移动）等方法，但都有一定的缺点，如增加结构的复杂程度，破坏啮合性能、加速齿面磨损等，为消除这些缺点，就发展了双导程蜗杆传动。

双导程蜗杆传动中，蜗杆轮齿两侧齿面导程数值不同，相应的左右齿面模数也存在一个差值，因而蜗杆的齿厚就不再是定值，而是沿轮齿螺旋线方向逐渐变化，形成了渐变的齿厚，因此又有渐厚蜗杆之称。正因为双导程蜗杆具有这种齿厚从蜗杆的一端到另一端逐渐增大或减小的特征，所以可用蜗杆的轴向移动来调整蜗杆副的齿侧间隙，使之得到

所要求的侧隙，而无须增加新的结构或改变中心距，并在运转磨损后，还可根据实际侧隙的变化调整蜗杆的轴向位置，以保持所要求的侧隙，保证传动精度，同时延长蜗杆副的使用寿命。

双导程蜗杆虽然左右齿面具有不同的导程，但同名侧齿面的导程却是一个定值；而且，与其相啮合的蜗轮的所有轮齿齿厚是相等的，因此，双导程蜗杆副的啮合原理和普通圆柱蜗杆副是相同的。在蜗轮中间平面的剖面上，蜗杆仍相当于基本齿条，蜗轮相当于和齿条啮合的齿轮（图13-8-1），所不同的是左右齿面模数不同（ m_L 和 m_R ），节点不同（ C_L 和 C_R ），左右齿面的两个节圆直径也不相等（ d'_L 和 d'_R ），这两个节圆上的周节分别等于蜗杆的左右齿距。而且，一般来说，左右齿面的模数及节圆不等于公称模数及公称节圆。左右齿面不但模数不相同，而且齿形角也不一定相同，因而与此有关的一系列参数值都要按左右齿面分别进行计算，由于中心距是按公称 m 计算的，所以，从某种意义上说，可将双导程蜗杆两侧齿面的传动看作是两对具有不同模数的变位蜗杆传动，大模数齿面的传动可看作是负变位传动，小模数齿面的传动看作是正变位传动。

理论上讲，双导程蜗杆的齿形也可按普通圆柱蜗杆那样分类，其中，以阿基米德（ZA）和法向直廓（ZN）这两种齿形因制造工艺性好而最常见。若按左右齿形的对称性来分类，有左右模数差对称（ $\Delta m_L = \Delta m_R$ ）、左右齿形角对称（ $\alpha_L = \alpha_R$ ）、左右模数差不对称（ $\Delta m_L \neq \Delta m_R$ ）、左右齿形角不对称（ $\alpha_L \neq \alpha_R$ ）等几种情况。但通常采用等模数差、等齿形角分布，只在发生齿面干涉时才根据情况采用左右齿面模数差不对称、齿形角不对称分布。

双导程蜗杆的制造和普通蜗杆的加工方法是一样的，只不过因左右齿面的导程不同而必须分别按左右齿面导程值来挂轮，对齿面逐侧进行加工。双导程蜗轮最精确的制造方法是采用双导程蜗轮滚刀来加工。这种滚刀的几何尺寸和双导程蜗杆相同，只是外圆尺寸要增加 $2c^*m$ 。必须指出，双导程蜗轮的切削要在加工中心距和实际啮合中心距完全一致的情况下来进行，而且滚刀齿厚的渐变方向应与蜗杆实际装配时的齿厚渐变方向一致，并应将原始截面处 o_1o_2 的中心线通过被加工蜗轮的回转中心；蜗轮滚刀轴线对蜗轮基面的位置和距离与实际装配时一致。另外，蜗轮的工艺基准面应和设计基准面一致，满足这些条件后，才能保证所加工的双导程蜗

轮与蜗杆啮合传动的接触精度。

除此之外，也可用飞刀加工蜗轮，即按双导程蜗杆的左右齿面设计两把刀头或用一把薄刀头按左右导程分别加工蜗轮的两个齿面。蜗轮齿厚可按计算出的公称齿厚 s_0 来控制。但飞刀加工蜗轮的方法不容易保证将来双导程蜗杆副啮合的接触精度。因而只在制造双导程滚刀确有困难时才采用。分度蜗轮副不宜采用这种方法制造。

在蜗杆两齿侧面导程角的差值小于 $10'$ ，同时接触精度要求不高的动力传动中，蜗轮可以采用标准滚刀按大导程角的齿面来偏转角度进行加工。这只是一一种近似方法。

加工蜗轮时的进刀方法一般采用径向进刀比较方便。但在齿面导程角较大，径向进刀要引起蜗轮齿顶面切时应采用切向进刀。

鉴于上述的双导程蜗杆的制造方法，在蜗轮副严重磨损而需要更换时，最好是成对更换，而分度蜗杆副必须成对更换，因为，只更换蜗杆或蜗轮而要保证更换后蜗轮副有良好的接触精度，无论是对测

绘还是对制造来说都是很困难的。

双导程蜗杆的调整结构应该保证调整方便，连接可靠。常见采用剖分式调整垫结构的较多(图13-8-2)。当产生齿侧隙需要调整双导程蜗杆时，将螺钉4松开，取下剖分式垫圈3，将蜗杆轴向移动至齿侧隙消除，再根据此时蜗杆的位置尺寸配磨垫3，至满足这个尺寸，再装上即可。

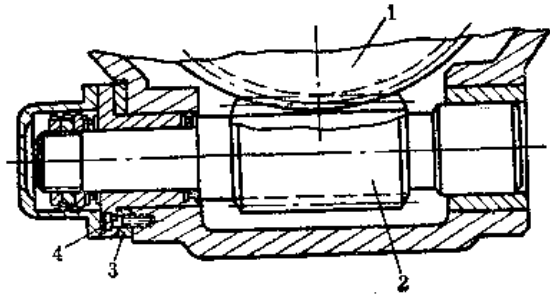


图13-8-2 双导程蜗杆的剖分式结构
1—蜗轮 2—蜗杆 3—剖分式调整垫 4—螺钉

(三) 双导程蜗杆传动的几何计算

表13-8-1 双导程蜗杆传动的几何计算

序号	所求参数	代号	计 算 公 式	示例: $z_1 = 1, z_2 = 84$ $m = 6 \text{ mm}, \alpha_n = 15^\circ,$ $q = 11, h_a^* = 1, c^* = 0.2,$ 法向直廓, $m_R > m_L$
1	齿厚增量系数	K_s	$K_s \leq \frac{4h_a^*}{z_2}$ (或查表13-8-2)	取 $K_s = 0.04$
2	蜗杆齿厚允许调整量	Δs	$\Delta s \approx \pi m K_s$ 一般取 $\Delta s = 0.3 \sim 0.6$	取 $\Delta s = 0.5 \text{ mm}$
3	平均模数差	Δm	$\Delta m = \frac{1}{2} m K_s = \frac{1}{2} (\Delta m_R + \Delta m_L)$ 当左右模数差相等时: $\Delta m = \Delta m_R = \Delta m_L$	$\Delta m = 0.12 \text{ mm}$
4	蜗杆公称分度圆直径	d_1	$d_1 = m q$	$d_1 = 66 \text{ mm}$
5	蜗杆顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = m (q + 2h_a^*)$	$d_{a1} = 78 \text{ mm}$
6	蜗杆根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = m (q - 2h_a^* - 2c^*)$	$d_{f1} = 51.6 \text{ mm}$
7	蜗杆公称轴向齿距	p_x	$p_x = \pi m$	$p_x = 18.8496 \text{ mm}$
8	蜗杆公称导程	p_z	$p_z = z_1 p_x$	$p_z = 18.8496 \text{ mm}$
9	蜗杆公称分度圆柱上的公称导程角	γ	$\tan \gamma = \frac{m z_1}{d_1}$	$\gamma = 5^\circ 11' 40''$
10	蜗杆右齿面模数	m_R	$m_R = m + \Delta m_L$ ①	$m_R = 6.12 \text{ mm}$
11	蜗杆左齿面模数	m_L	$m_L = m - \Delta m_L$ ①	$m_L = 5.88 \text{ mm}$
12	蜗杆右齿面轴向齿距	p_{xR}	$p_{xR} = \pi m_R$	$p_{xR} = 19.2265 \text{ mm}$
13	蜗杆左齿面轴向齿距	p_{xL}	$p_{xL} = \pi m_L$	$p_{xL} = 18.4726 \text{ mm}$
14	蜗杆右齿面导程	p_R	$p_R = z_1 p_{xR} = z_1 \pi m_R$	$p_R = 19.2265 \text{ mm}$
15	蜗杆左齿面导程	p_L	$p_L = z_1 p_{xL} = z_1 \pi m_L$	$p_L = 18.4726 \text{ mm}$

(续)

序号	所求参数	代号	计 算 公 式	示例: $z_1=1, z_2=84$ $m=6\text{mm}, \alpha_n=15^\circ,$ $q=11, h_n^*=1, c^*=0.2,$ 法向直廓 $m_R > m_L$
16	蜗杆右齿面节圆直径	d'_{R1}	$d'_{R1} = d'_1 - \Delta m_R z_2 \quad (d'_1 = d_1)$	$d'_{R1} = 55.92\text{mm}$
17	蜗杆左齿面节圆直径	d'_{L1}	$d'_{L1} = d'_1 + \Delta m_L z_2 \quad (d'_1 = d_1)$	$d'_{L1} = 76.08\text{mm}$
18	蜗杆公称分度圆右齿面导程角	γ_{R1}	$\tan \gamma_{R1} = \frac{z_1 m_R}{d_1}$	$\gamma_{R1} = 5.2977^\circ = 5^\circ 17' 52''$
19	蜗杆公称分度圆左齿面导程角	γ_{L1}	$\tan \gamma_{L1} = \frac{z_1 m_L}{d_1}$	$\gamma_{L1} = 5.0911^\circ = 5^\circ 5' 28''$
20	啮合宽度	b_s	b_s 见本节 (三), 按图 13-8-3 作图法或计算求出	$b_s = 50\text{mm}$
	调整宽度	Δb	$\Delta b = \frac{\Delta s}{K_s}$	$\Delta b = 12.5\text{mm}$
	工艺宽度	b_T	取 $b_T = 2\pi m$	$b_T = 37.7\text{mm}$
	总宽度	b_1	$b_1 = b_s + \Delta b + b_T$	$b_1 \approx 100\text{mm}$
21	蜗杆原始截面至薄齿端的距离	b_n	b_n 见本节 (三)	$b_n = 26\text{mm}$
22	蜗杆公称齿厚	s_{x1}	$s_{x1} = \frac{1}{2} \pi m$	$s_{x1} = 9.42$
23	蜗杆原始截面处轴向齿厚	s_{o1}	$s_{o1} = \frac{1}{2} \pi m - (b_x - b_n) K_s = s_{x1} - (b_x - b_n) K_s$ 式中 b_x ——公称齿厚至薄齿端距离	$s_{o1} = 8.4648\text{mm}$
24	蜗杆原始截面法向弦齿厚	\bar{s}_{o1n}	$\bar{s}_{o1n} \approx s_{o1} \cos \gamma$	$\bar{s}_{o1n} \approx 8.43$
25	测量 \bar{s}_{o1} 用弦齿高	\bar{h}_{o1n}	$\bar{h}_{o1n} \approx h_n^* m$ ②	$\bar{h}_{o1n} \approx 6$
26	蜗轮公称分度圆直径	d_2	$d_2 = m z_2$	$d_2 = 504$
27	蜗轮喉圆直径	d_{o2}	$d_{o2} = m (z_2 + 2h_n^*)$ ②	$d_{o2} = 516$
28	蜗轮外径	d_{e2}	$z_1 = 1$ $d_{e2} \leq d_{o2} + 2m \quad \left \begin{array}{l} 2 \sim 3 \\ \leq d_{o2} + 1.5m \end{array} \right \leq d_{o2} + m$	$d_{e2} = 528$
29	蜗轮齿宽角	θ	θ 一般按下列推荐值取: 动力传动: $\theta = 70^\circ \sim 110^\circ$ 运动传动: $\theta = 45^\circ \sim 60^\circ$	取 $\theta = 55^\circ$
30	蜗轮轮缘宽	B	$B = b_1 + (0.5 \sim 1.5)m \quad b_1 \approx d_1 \sin \frac{\theta}{2}$	$B = 36$
31	传动中心距	a	$a = \frac{1}{2} (d_1 + d_2)$	$a = 285$
32	蜗轮咽喉母圆半径	r_{g2}	$r_{g2} = a - \frac{1}{2} d_{o2}$	$r_{g2} = 27$
33	蜗轮右齿面节圆直径	d'_{R2}	$d'_{R2} = m_R z_2$	$d'_{R2} = 514.08$
34	蜗轮左齿面节圆直径	d'_{L2}	$d'_{L2} = m_L z_2$	$d'_{L2} = 493.92$
35	蜗杆右齿面节圆柱导程角	γ'_{R1}	$\gamma'_{R1} = \arctg \frac{z_1 m_R}{d'_{R1}}$	$\gamma'_{R1} = 6^\circ 14' 45''$
36	蜗杆左齿面节圆柱导程角	γ'_{L1}	$\gamma'_{L1} = \arctg \frac{z_1 m_L}{d'_{L1}}$	$\gamma'_{L1} = 4^\circ 25' 10''$

(续)

序号	所求参数	代号	计算公式	示例: $z_1 = 1, z_2 = 84$ $m = 6 \text{ mm}, \alpha_n = 15^\circ$ $q = 11, h_a^* = 1, c^* = 0.25$ 法向直廓 $m_R > m_L$
27	蜗杆右齿面轴向齿形角	α_{R1}	阿基米德蜗杆 $\alpha_{R1} = \text{标准值}$ 法向直廓蜗杆 $\alpha_{R1} = \arctg \frac{\text{tg} \alpha_{Rn}}{\cos \gamma_{R1}}$ $\alpha_{Rn} = \text{标准值}$	$\alpha_{R1} = 15^\circ 3' 41''$ ($\alpha_{Rn} = 15^\circ$)
38	蜗杆左齿面轴向齿形角	α_{L1}	阿基米德蜗杆 $\alpha_{L1} = \text{标准值}$ 法向直廓蜗杆 $\alpha_{L1} = \arctg \frac{\text{tg} \alpha_{Ln}}{\cos \gamma_{L1}}$ $\alpha_{Ln} = \text{标准值}$	$\alpha_{L1} = 15^\circ 3' 40''$ ($\alpha_{Ln} = 15^\circ$)
39	蜗杆最小齿槽底法向宽度	$e_{f \min}$	$e_{f \min} \approx \left[\frac{1}{2} \pi m (1 + K_s) - \frac{1}{2} b_t K_s - (h_a^* + c^*) m (\text{tg} \alpha_{L1} + \text{tg} \alpha_{R1}) \right] \cos \gamma$ 并应满足 $e_{f \min} \geq 2 \sim 3$ 若条件不能满足, 应减小 Δm 或 K_s ③	$e_{f \min} \approx 3.91 > 3$ 满足条件
40	蜗轮不产生根切条件		$z_{2 \min} = \frac{2(h_a^* + c^*)}{\sin^2 \alpha'_{R2} - 0.5 K_s \cos^2 \alpha'_{R2}}$ (式中 c^* 一般取为 0.25) 并应满足 $z_2 \geq z_{2 \min}$ 若不满足, 应增大 α_{R1} 或减小 Δm 和 h_a^* ③	$z_{2 \min} = 51$ $z_2 = 84 > 51$ 满足条件

- ① 本表是在假定 $m_R > m > m_L$ 的条件下编制的, 应用时须按此条件决定齿面的左与右。
- ② $h_a^* = 0.8 \sim 1.8$, 见表 13-8-2 及表注。
- ③ 详见本节“(四)、基本参数的确定”。

(四) 基本参数的确定

1. 公称模数 m 和平均模数差 Δm

双导程蜗杆副的公称模数 m 的确定原则和普通单导程蜗杆(即普通圆柱蜗杆)相同, 是根据蜗杆副所需传递的功率(要求的轮齿承载能力)而确定的, 和普通蜗杆不同的是双导程蜗杆副的公称模数 m 只用于计算公称齿距 P_s 、公称分度圆 d_1 、 d_2 、以及传动中心距 a 等, 而实际的左齿面齿距 P_{sL} 、右齿面齿距 P_{sR} 、及左右齿面节圆 d'_{L1} 、 d'_{R1} 、 d'_{L2} 、 d'_{R2} 等参数是用相应的左齿面模数 m_L 、右齿面模数 m_R 来计算的。

公称模数一般为左右齿面模数的平均值, 按标准模数系列选取(但也可以不是标准值)。

模数差是左右齿面模数 m_R 、 m_L ($m_R > m_L$) 与公称模数 m 之差, 即 $\Delta m_R = m_R - m$, $\Delta m_L = m - m_L$, 一般取 $\Delta m_R = \Delta m_L$, 但为避免根切时, 可取 $\Delta m_R \neq$

Δm_L 。

平均模数差 $\Delta m = \frac{m_R - m_L}{2}$, 其数值与齿厚调整量 Δs 有密切关系, 取决于齿厚增量系数 K_s 。

Δm 值大, 双导程蜗杆的齿厚调整量就大, 但影响啮合区域的偏移量也大, 这使 Δm 值受到限制。一般将平均模数差 Δm 值对称分配在左右齿面上, 即

$$\Delta m_R = \Delta m_L = \Delta m$$

而

$$\Delta m = \frac{1}{2} m K_s = \frac{\Delta s}{2\pi}$$

式中 K_s ——齿厚增量系数。

$$\therefore m_R = m + \Delta m_R = (1 + 0.5K_s) m$$

$$m_L = m - \Delta m_L = (1 - 0.5K_s) m \quad (\text{本章规定 } m_R > m_L)$$

蜗轮加工中有时会产生齿形干涉, 大模数齿面

易产生根切。为避免根切则可减小大模数齿面模数 m_R ，使 $\Delta m_R < \Delta m_L$ ，这样左右齿面模数差不再对称分布，即 $\Delta m_R \neq \Delta m_L \neq \Delta m$ ，甚至出现 $\Delta m_R = 0$ ，即 $m_R = m$ 。

2. 齿厚增量系数 K_s

双导程蜗杆轴向移动单位长度(比如1mm)时的轴向齿厚变化量称为齿厚增量系数 K_s 。 K_s 等于左右齿距差与公称齿距之比值：

$$K_s = \frac{p_{xR} - p_{xL}}{p_x} \quad (13-8-1)$$

K_s 在双导程蜗杆副的设计计算中是一个重要参数，是确定 Δm 的原始数据，选择时应从以下因素考虑：

1) 对一定的补偿侧隙来说，双导程蜗杆所需移动的轴向距离与 K_s 成反比， K_s 取大值可使蜗杆轴向尺寸更紧凑，但 K_s 过大，又将引起蜗轮加工产生根切、蜗杆传动啮合区域偏移过多、齿顶变尖及蜗杆齿槽底部宽度过窄等问题。

2) K_s 与啮合节点偏移的关系：从图13-8-3可以看出，大模数齿面节点 C_R 向蜗杆齿根方向偏移，小模数齿面节点 C_L 向蜗杆齿顶方向偏移，从而使啮合区域向蜗杆厚齿端偏移。其公称节点 C 位于原始截面处，这是双导程蜗杆啮合区域的设计基准。啮合节点偏移量在模数差对称分布时：

$$CC_R = CC_L = \frac{1}{4} m z_2 K_s \quad (13-8-2)$$

此外， C_R 和 C_L 一般不应偏移蜗杆工作齿高范围以外，所以

$$CC_R = CC_L \leq h_a^* m \quad (13-8-3)$$

由式 (13-8-2) 和式 (13-8-3) 得

$$K_s \leq \frac{4h_a^*}{z_2} \quad (13-8-4)$$

现将 K_s 最大推荐值列于表13-8-2，根据 z_2 和 h_a^* 可选取 K_s 的最大值。

3. 齿厚调整量 Δs

Δs 是为补偿制造误差和蜗轮磨损所形成的侧隙而在设计时选定的最大齿厚调整量。一般推荐 $\Delta s = 0.3 \sim 0.6 \text{mm}$ ，在动力传动中， Δs 允许取得大一些，可按 $\Delta s = \pi m K_s$ ，即蜗杆轴向调整一个公称齿距所得到的齿厚增量。

4. 齿面齿形角 α_{L1} 、 α_{R1} 、 α_{L2} 、 α_{R2}

双导程蜗杆的齿形角和普通蜗杆齿形角的确定原则一样，通常取 15° 、 20° ，必要时也可取其它数值。在蜗杆直线齿廓截面上，左右齿面齿形角一般取成相等。左右齿面齿形角不相等的情况往往是为避免蜗轮加工发生切齿干涉时，将大模数一侧的齿形角比小模数一侧取得大些。

蜗轮左右齿面公称节圆齿形角等于蜗杆同一截

表13-8-2 齿厚增量系数 K_s 的最大值

齿顶高系数 h_a^*	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
蜗轮齿数 z_2						
$z_2 \leq 80$	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
$80 < z_2 \leq 100$	0.032	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
$100 < z_2 \leq 125$	0.025	0.032	0.038	0.040	0.040	0.040
$125 < z_2 \leq 150$	0.020	0.026	0.032	0.037	0.040	0.040
$150 < z_2 \leq 175$		0.023	0.027	0.032	0.036	0.040
$175 < z_2 \leq 200$		0.020	0.024	0.028	0.032	0.036
$200 < z_2 \leq 240$			0.020	0.023	0.026	0.030
$240 < z_2 \leq 280$				0.020	0.022	0.025
$280 < z_2 \leq 320$					0.020	0.022
$320 < z_2 \leq 360$						0.020

注：一般采用 $h_a^* = 1.0$ ， $h_a^* = 0.8$ 用于多头蜗杆传动副， $h_a^* = 1.2 \sim 1.8$ 用于 z_2 较多的高精度分度副。

面相啮合齿侧的齿形角, 即 $\alpha_{L2} = \alpha_{L1}$, $\alpha_{R2} = \alpha_{R1}$ 。法向直廓蜗杆副的蜗轮左右齿面节圆轴向齿形角按下式计算:

蜗轮左齿面节圆轴向齿形角

$$\alpha'_{L2} = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}\alpha_{L1}}{\cos\gamma'_L}\right) \quad (13-8-5)$$

蜗轮右齿面节圆轴向齿形角

$$\alpha'_{R2} = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}\alpha_{R1}}{\cos\gamma'_R}\right) \quad (13-8-6)$$

式中蜗杆左右齿面节圆柱上的导程角 γ'_R, γ'_L 分别按下式计算:

$$\gamma'_L = \arctg\frac{z_1 m_L}{d'_{L1}} \quad (13-8-7)$$

$$\gamma'_R = \arctg\frac{z_1 m_R}{d'_{R1}} \quad (13-8-8)$$

蜗轮公称节圆上的左齿面齿形角 α_{L2} 、右齿面齿形角 α_{R2} 按下式计算:

$$\alpha_{L2} = \arccos\left(\frac{m_L}{m} \cos\alpha'_{L2}\right) \quad (13-8-9)$$

$$\alpha_{R2} = \arccos\left(\frac{m_R}{m} \cos\alpha'_{R2}\right) \quad (13-8-10)$$

5. 蜗杆轮齿宽度 b_1

蜗杆轮齿宽度 $b_1 = b_e + \Delta b + b_T$ (图13-8-3)。

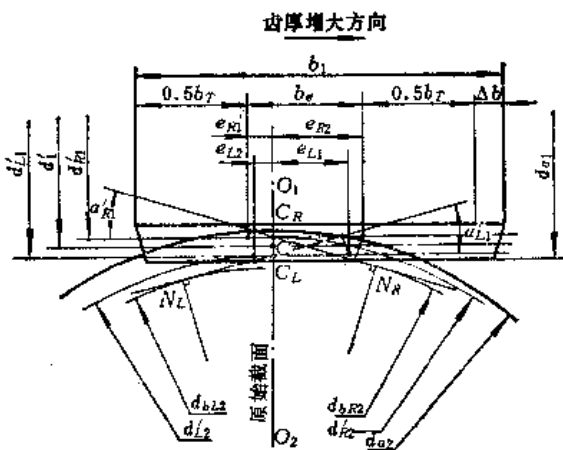


图13-8-3 双导程蜗杆的齿宽构成
(图中 $m_R > m > m_L$)

蜗杆齿宽 b_1 太小影响啮合质量、还可能使齿厚调整量 Δs 不能达到最大允许值。相反, 齿宽 b_1 过大又引起蜗杆厚齿端最小齿槽底部宽度 e_{min} 过小而不

利于加工, 因此 b_1 取值要经上式计算确定。

1) 啮合长度 b_e 见图13-8-3, 可用作图法近似求得, 方法是:

① 分别过左、右齿面啮合节点 C_L, C_R 作出左、右齿面啮合线 $C_L N_L$ 和 $C_R N_R$, 与蜗轮顶圆和蜗杆齿顶线分别相交, 共产生四个交点。

② 由四个交点引啮合线的垂线分别交于蜗杆左、右齿面节线, 得左齿面啮合区长度 e_{L1}, e_{L2} , 及右齿面啮合区域长度 e_{R1}, e_{R2} , 其计算公式分别如下:

$$e_{R1} = \frac{\sqrt{d_{o2}^2 - d_{R2}^2} - \sqrt{d_{L2}^2 - d_{R2}^2}}{2\cos\alpha_{R1}} \quad (13-8-11)$$

$$e_{L1} = \frac{\sqrt{d_{o2}^2 - d_{L2}^2} - \sqrt{d_{L2}^2 - d_{L2}^2}}{2\cos\alpha_{L1}} \quad (13-8-12)$$

$$e_{R2} = \frac{2h_a^* m + \Delta m_R z_2}{\sin 2\alpha_{R1}} \quad (13-8-13)$$

$$e_{L2} = \frac{2h_a^* m - \Delta m_L z_2}{\sin 2\alpha_{L1}} \quad (13-8-14)$$

③ 根据作图或计算结果, 分别比较节点 C 的左侧两段啮合区域长度 e_{R1} 和 e_{L2} 以及节点 C 右侧两段啮合区域长度 e_{L1} 和 e_{R2} , 取其中较长的两段尺寸相加, 如图13-8-3的例中 $e_{R1} > e_{L2}$, $e_{R2} > e_{L1}$, 取 e_{R1} 和 e_{R2} 两段数值相加, 得啮合区宽度 $b_e = e_{R1} + e_{R2}$ 。一般设计中用作图法粗定一下尺寸即可。

2) 轴向齿厚调整宽度 Δb 按下式求得

$$\Delta b = \frac{\Delta s}{K_s} \quad (13-8-15)$$

要注意齿厚调整宽度 Δb 应加在蜗杆厚齿端。

3) 工艺宽度 b_T : 一般取 $b_T = 2\pi m$, 分配在原始截面两侧, 薄齿端到原始截面中心线 $O_1 O_2$ 的距离为 b_n (图13-8-4), 当 $m_R > m_L$ 时, $b_n = e_{R1} + 0.5b_T$, 或 $b_n = e_{L2} + 0.5b_T$ (取其中大值), 厚齿端到 $O_1 O_2$ 距离 $b_c = e_{R2} + 0.5b_T + \Delta b$ 或 $b_c = e_{L1} + 0.5b_T + \Delta b$ (取其中大值)。

原始截面中心线 $O_1 O_2$ 是啮合区域的设计基准, 是公称啮合节点 C 所在的位置。

6. 原始截面处的齿厚 s_{s1}

双导程蜗杆的齿厚是渐变的, 在每一截面上都不相等, 只有在轮齿的某一截面上才具有公称齿厚

$$s_{s1} = \frac{1}{2}\pi m$$

为了保证双导程蜗杆副的啮合精度,

应使设计、制造和装配的基准一致，因此设计中常将公称齿厚处与原始截面 O_1O_2 处重合，但必须验算双导程蜗杆的最小法向槽底宽 e_{fmin} 是否满足 $e_{fmin} < 2 \sim 3\text{mm}$ ，如不能满足此条件，则应将公称齿厚 s_{x1} 的位置向厚齿端作适当移动，直到满足条件为止。

当公称齿厚处与原始截面不重合时，在原始截面处的轴向齿厚 s_{o1} （见图13-8-4）为：

$$s_{o1} = s_{x1} - (b_x - b_n)K_s \quad (13-8-16)$$

$$s_{o1n} = s_{o1} \cos \gamma \quad (13-8-17)$$

实际生产中，常在蜗杆公称齿厚处圆周刻线（通常也即原始截面位置），以便于双导程蜗杆制造中进行齿厚检验，以及在制造蜗轮、安装双导程蜗杆副时以此作基准。

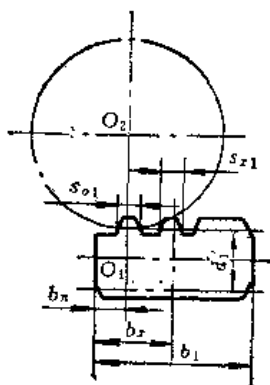


图13-8-4 蜗杆原始截面齿厚 s_{o1}

7. 参数验算

为了加工的需要和避免齿形干涉，应当进行下列两项验算：

1) 蜗杆最小齿槽底宽度 e_{fmin} 和最小齿顶宽 s_{amin} （见图13-8-5）；

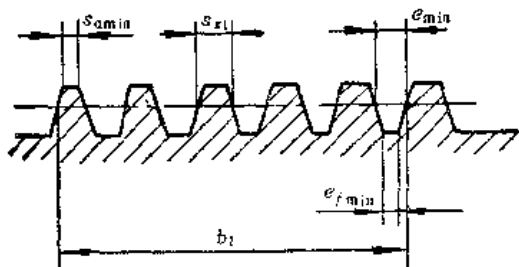


图13-8-5 双导程蜗杆最小齿槽宽 e_{fmin}

∴ 在轴向截面上：

$$e_{fmin} \approx \frac{1}{2} \pi m (1 + K_s') - \frac{1}{2} K_s b_1 - (h_a^* + c^*) m \times (\operatorname{tg} \alpha_L + \operatorname{tg} \alpha_R) \quad (13-8-18)$$

$$s_{amin} \approx \frac{1}{2} \pi m - \frac{1}{2} K_s b_1 - h_a^* m (\operatorname{tg} \alpha_L + \operatorname{tg} \alpha_R) \quad (13-8-19)$$

∴ 在法向截面上：

$$e_{fminn} \approx e_{fmin} \cos \gamma \quad (13-8-20)$$

$$s_{aminn} \approx s_{amin} \cos \gamma \quad (13-8-21)$$

为便于加工， e_{fminn} 应不小于 $2 \sim 3\text{mm}$ 。

比较式(13-8-18)和式(13-8-19)可知， $s_{aminn} > e_{fminn}$ ，因此只要满足 $e_{fminn} < 2 \sim 3\text{mm}$ ， s_{aminn} 必然是允许的，所以只对 e_{fminn} 进行验算即可。

如不满足条件，应适当减小 Δs 或 K_s 。

2) 蜗轮齿根干涉：对于蜗轮的左、右齿面来说，齿根干涉首先发生在大模数齿面，即本节的右齿面，因此只验算右齿面。这里把中心平面的蜗轮蜗杆啮合关系简化为齿轮齿条的啮合关系，则蜗轮不产生根切的最少齿数 z_{2min} 应为：

$$z_{2min} \geq \frac{2(h_a^* + c^*)}{\sin^2 \alpha'_{R1} - 0.5K_s \cos^2 \alpha'_{R1}} \quad (13-8-22)$$

一般考虑滚刀刃磨余量，取 $c_0^* = 0.25$ 。

验算后，若不满足避免根切的条件而齿数 z_2 又不能增加时，可按下述方法进行调整：

① 增大 α'_{R2} ，使其满足：

$$\alpha'_{R2} \geq \arcsin \sqrt{\frac{2(h_a^* + c_0^*) + 0.5K_s z_2}{z_2(1 + 0.5K_s)}} \quad (13-8-23)$$

当只对右齿面齿形角作调整时，左右齿面的齿形角就不再相等。

必须指出，对于分度蜗杆副，为了减少蜗杆径向跳动对分度精度的影响，并保证一定的重合度，使其传动平稳，一般不希望过多地增大齿形角。

② 减小齿顶高系数 h_a^* ，使满足：

$$h_a^* \leq 0.5z_2(\sin^2 \alpha'_{R2} - 0.5K_s \cos^2 \alpha'_{R2}) - c_0^* \quad (13-8-24)$$

但要控制左、右齿面节点 C_L 、 C_R 不超过工作齿高范围，同时应使：

$$h_a^* \geq \frac{z_2 K_s}{4} \quad (13-8-25)$$

③ 减小大模数齿面的模数差 Δm_R , 这时避免根切的条件为:

$$\Delta m_R \leq \frac{m(z_2 \sin^2 \alpha'_{v2} - 2h^*_x - 2c^*_n)}{z_2 \cos^2 \alpha'_{v2}} \quad (13-8-26)$$

为保持蜗杆齿厚增量系数 K_s 不变, 需相应增大小模数齿面的模数差 Δm_L , 即

$$\Delta m_L = K_s m - \Delta m_R$$

增大 Δm_L 后, CC_L 也随之增大, 若 C_L 偏移到蜗杆顶圆之外会影响啮合质量, 是否允许, 要根据具体使用要求决定。

有可能 $\Delta m_R = 0$, 即 $m_R = m$, 大齿面模数等于公称模数, 则小模数齿面的 $m_L = (1 - K_s)m = m - 2\Delta m$

显然, 左齿面节点 C_L 至公称节点 C 的距离将成倍加大, 啮合质量受到更坏的影响, 因此, 只在单面传动时, 才允许这样考虑。这种选择也有一定的优点, 就是, 可使大模数齿面加工简单化, 避免非标准挂轮。此时, 蜗轮滚切的根切条件与普通圆柱蜗杆完全一致。

应当着重指出, 一般情况下, 一律采用 $\Delta m_R = \Delta m_L$, 只在发生齿形干涉等特殊情况下才考虑 $\Delta m_R \neq \Delta m_L$ 。

(五) 测绘方法及程序

1. 几何参数的测量

双导程蜗杆的下列几项几何参数按照本章第四节“普通圆柱蜗杆蜗轮的测绘”中所述的方法测量:

- ① 蜗杆头数 z_1 和蜗轮齿数 z_2 ;
- ② 蜗杆及蜗轮的齿顶圆直径 d_{a1} 、 d_{a2} ;
- ③ 蜗杆齿高 h_1 ;
- ④ 蜗杆左齿面及右齿面齿形角 α_{L1} 、 α_{R1} ;
- ⑤ 蜗杆左齿面及右齿面轴向齿距 p_{zL} 、 p_{zR} ;
- ⑥ 中心距 a ;
- ⑦ 按蜗杆齿形确定 ZA 、 ZN 。

双导程蜗杆的测绘与普通单导程蜗杆的测绘方法是基本相同的, 只是公称模数 m 的确定方法有所不同。

2. 公称模数 m 的确定

双导程蜗杆轮齿齿厚是变化的, 而公称齿距又不能进行实际测量, 这就使得测绘时公称模数 m 的确定变得困难。测绘设计就是要根据所测量的零件

数据来推导确定其基本参数, 按此原则, 要求出公称模数 m 就要先测量与 m 有关的参数, 这样, 确定公称模数 m 的途径可有以下几条:

1) 测出左、右齿距 p_{xL} 、 p_{xR} , 然后按照左右模数差对称分布试算公称模数 m' :

$$m' = \frac{p_{xL} + p_{xR}}{2x}$$

再用 m' 核算测量中心距 a'' , 式中 z_2 、 d_{a1} 都可实测出。将 m' 代入下式:

$$a' = \frac{m'z_2 + (d_{a1} - zm')}{2} \quad (13-8-27)$$

如果实测中心距 $a'' \approx a'$, 则可确定 $m = m'$;

如果 $a'' \neq a'$, 则要根据另外的途径再求。

2) 根据实测的 d_{a2}^* 试算 m'

$$m' = \frac{d_{a2}^*}{z_2 + 2h_x^*}$$

其中 h_x^* 先取为1试求出 m' , 再用 m' 代入式(13-8-27)校验中心距, 若试算的中心距 $a' \approx$ 实测中心距 a'' , 则可确定 $m = m'$; 若 $a' \neq a''$, 则应参照表13-8-2另行试取 h_x^* , 如取 $h_x^* = 0.8$, 之后再按上述程序校验中心距, 若相等, 则可定 $m = m'$; 若不等, 则要另找途径。

3) 在测量蜗轮喉圆直径 d_{a2} 有困难时, 可根据实测中心距 a'' , 蜗杆顶圆直径 d_{a1} 用下式试算公称模数 m' :

$$m' = \frac{2a'' - d_{a1}}{z_2 - 2h_x^*} \quad (13-8-28)$$

式中 h_x^* 先取为1, 求出 m' 代入式(13-8-27)校验中心距, 若 $a' \approx a''$, 可确定 $m = m'$; 若 $a' \neq a''$, 再试取 h_x^* 计算并校验, 若几经校验, 都不能达到 $a' \approx a''$, 就要另寻途径。

4) 测定蜗杆、蜗轮的齿高 h_1^* 、 h_2^* , 由齿高试算 m' :

$$m' = \frac{h_1^*}{2h_x^* + c^*} = \frac{h_2^*}{2h_x^* + c^*}$$

求出 m' 后再按上面介绍的方法校核中心距, 最后确定 m 。

5) 根据所测绘的蜗杆齿顶圆柱面上的公称模数测量处的刻线标记(周圈或横道刻线)测出齿厚 s_{x1}^* 以及距基准端面的距离, 从而试算 m' ;

$$m' = \frac{2s_{x1}^*}{\pi}$$

再用 m' 按中心距校核程序验算中心距, 若 $a' = a^*$, 可确定 $m = m'$ 。

3. 测绘程序

按照公称模数 m 的确定情况, 双导程蜗杆副的测绘程序分为两种:

程序 1:

公称模数可以确定时按一般程序测绘计算。

程序 2:

公称模数不能确定时的测绘程序。

由于双导程蜗杆所具有的特点, 公称模数 m 值在各参数中的影响是与普通圆柱蜗杆不同的, 即使 m 值未定, 左、右齿面模数 m_L 、 m_R 完全可以靠测量求得, 从而可以计算 d'_{L1} 、 d'_{R1} 、 d'_{L2} 、 d'_{R2} 、 γ_L 、 γ_R 、 P_L 、 P_R 等一系列参数, 而另一些参数 z_1 、 z_2 、 d_{a1} 、 d_{a2} 、 a_{L1} 、 a_{R1} 、 a 等又是可以实测出来的, 所

以, 对双导程蜗杆来说, 只要能再确定出一个作为基准的齿厚值, 就可确定所有的加工尺寸, 从而制造出和原来几何尺寸相同的双导程蜗杆副。因此, 在不得已的情况下, 可以避开公称模数 m 来测绘计算双导程蜗杆副。

确定一个作为基准的齿厚是程序 2 的关键。一般来说双导程蜗杆的顶圆柱面上总会找到刻线标记, 测绘时要仔细测量刻线处距加工基准端面的尺寸及测量该处的齿厚 s_x 和齿高 h_x 。双导程蜗杆的刻线标记一般是公称齿厚测量处的标记, 即使测得的齿厚不等于公称齿厚, 也必须保证测绘后的蜗杆在此处的齿厚和原蜗杆保持一致。若蜗轮不能更换, 只可将此齿厚增加适当补偿量而不应小于原齿厚。

测绘后制作的双导程蜗杆应在公称齿厚处圆周刻线标记, 并要在蜗杆零件图上标注其位置尺寸。当原始截面 σ_1, σ_2 与公称齿厚处不重合时, 图面还需

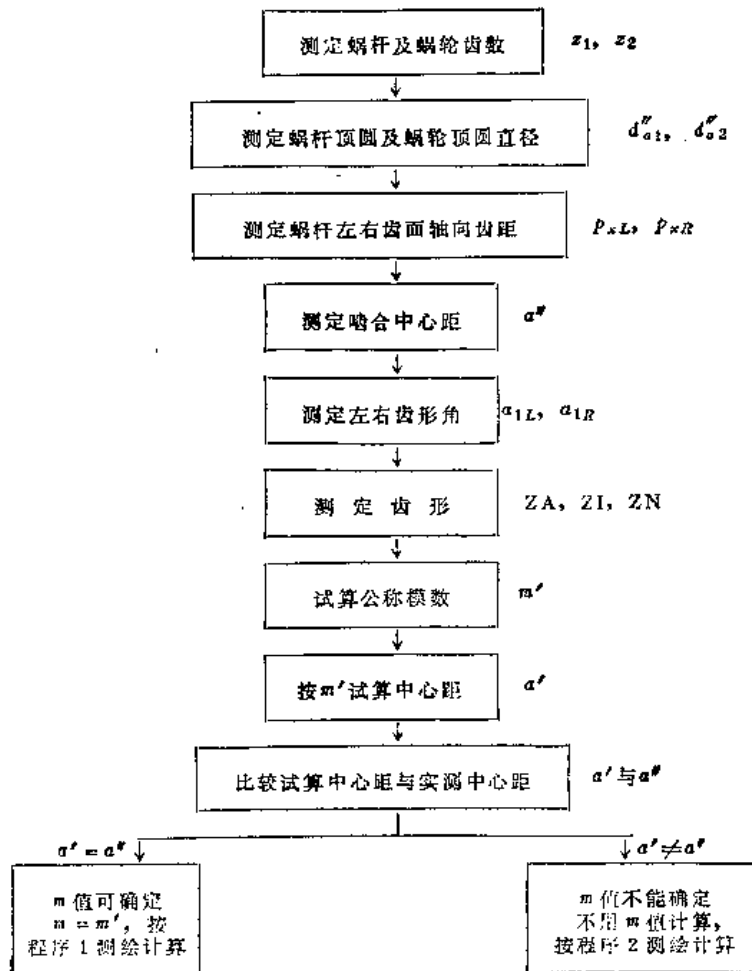


图13-8-6 双导程蜗杆的测绘程序

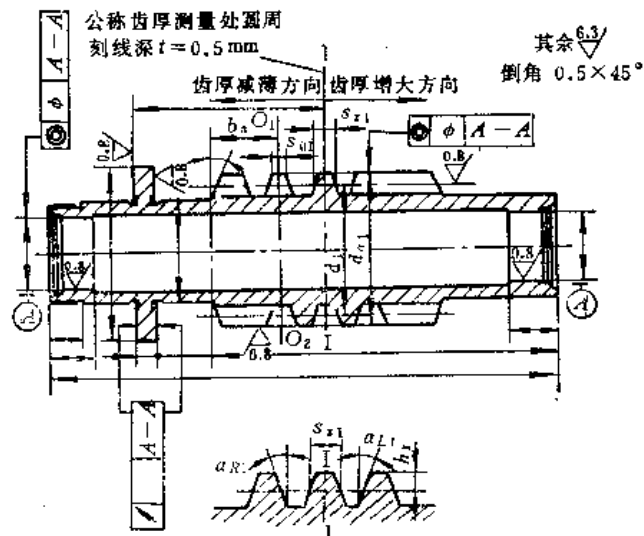
标注原始截面齿厚 s_0 及位置尺寸 b_0 。(见图13-8-7)。

双导程蜗杆轮齿的齿厚是变化的，这一特点给双导程蜗杆齿厚的确定带来一定的余地，即使确定值有误差，还可由蜗杆的轴向调整来补偿。但是，由于所测绘蜗杆的结构已经完全确定，齿厚的数值就会影响到齿厚的可调整量能否保证原设计的要

求，另一方面，蜗杆齿厚的数值影响到蜗轮齿厚的厚薄，从而影响蜗轮齿的强度，所以对原蜗杆刻标记处的齿厚、测量用齿高以及距基准端面的距离这几个参数的测绘应力求准确，并要明确标注在双导程蜗杆的工作图上。

4. 测绘程序图

5. 双导程蜗杆蜗轮工作图



公称齿厚测量处齿形放大图

材料 38CrMoAlA
热处理 齿面氮化HRC80

精度等级	螺旋方向
齿形	左齿面导程角 γ_L
头数 z_1	右齿面导程角 γ_R
公称模数 m	齿厚增量系数 K_s
左齿面模数 m_L	轴向齿距偏差 f_{px}
右齿面模数 m_R	中心距 $a \pm f_a$
公称导程 p_z	配合蜗轮号
左齿面导程 p_L	
右齿面导程 p_R	
左齿面齿形角 α_{L1}	
右齿面齿形角 α_{R1}	

注：当公称齿厚处与原始截面 O_1O_2 重合时，图面不必标注尺寸 s_{z1} 及 b_{z0} 。

图13-8-7 双导程蜗杆工作图

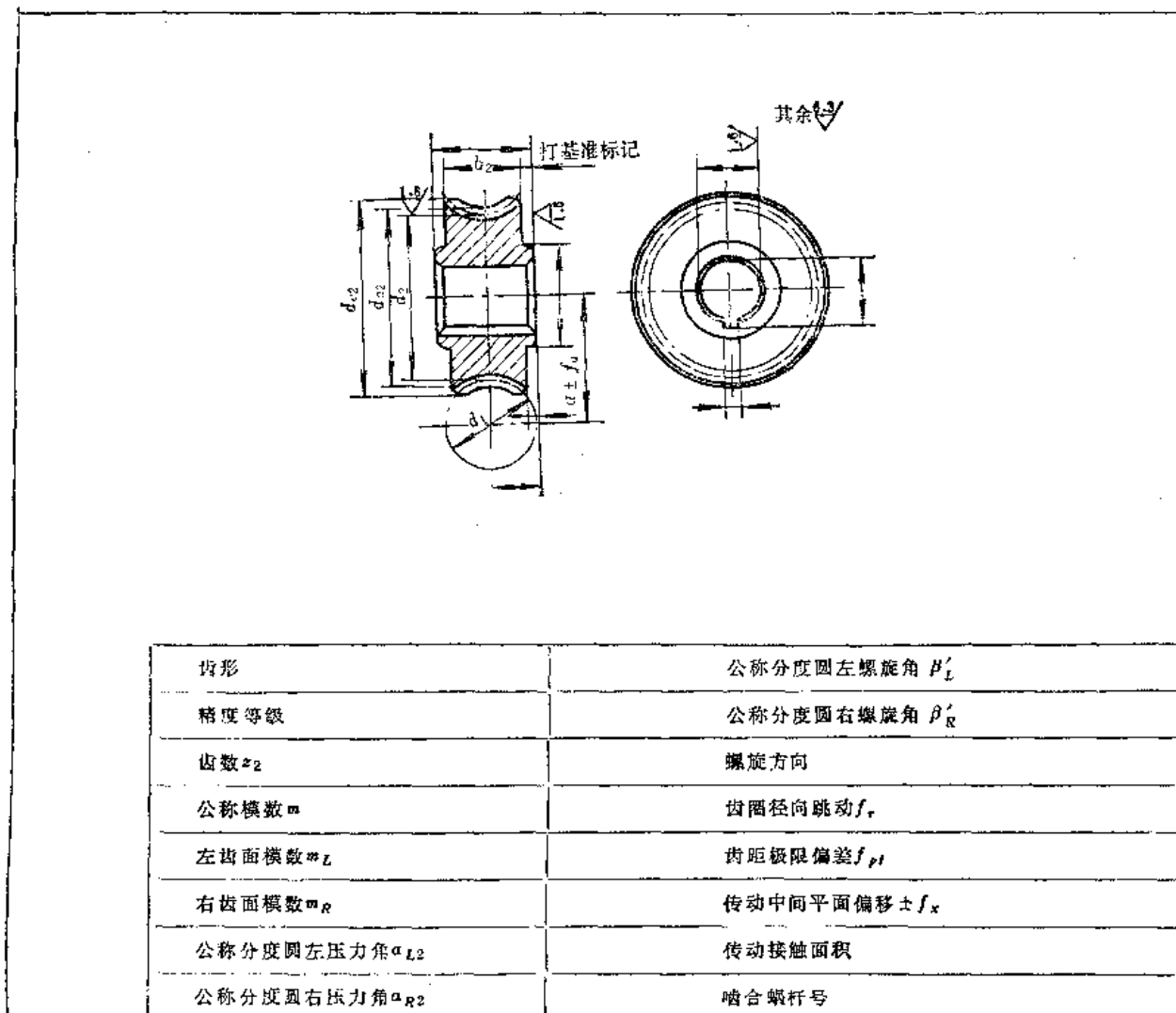


图13-8-8 双导程蜗轮工作图

第9节 圆弧圆柱蜗杆传动

(一) 名称及代号

圆弧圆柱蜗杆传动的名称及代号除下列几个齿形参数名称及代号外，均与普通圆柱蜗杆传动相同（参看图13-9-4）：

A_p ——齿形圆弧中心轴向坐标

B_p ——齿形圆弧中心径向坐标

ρ ——齿形圆弧半径

(二) 圆弧圆柱蜗杆传动一般知识

圆弧圆柱蜗杆的齿面是圆环面的包络曲面或圆弧曲线为发生线的螺旋面。通常，蜗杆齿面是凹形圆弧曲面，是用凸形圆弧刃的刀具加工成形，这种

蜗杆齿形称为齿形C，蜗杆称为ZC蜗杆。

按齿面加工成形原理（GB10086—88《圆柱蜗杆、蜗轮名词术语及代号》）将圆弧圆柱蜗杆分为三种（两种包络成形和一种轨迹成形）：

1. 圆环面包络圆柱蜗杆（ZC₁蜗杆）

蜗杆齿面是用圆环面砂轮磨削而成，砂轮轴平面截形是圆环面母圆上的一段半径为 ρ 的圆弧，在相对于蜗杆作螺旋运动时，包络成形蜗杆齿面，见图13-9-1a。砂轮与蜗杆轴线的轴交角等于蜗杆分度圆导程角 γ ，砂轮与蜗杆齿面的瞬时接触线是一条空间曲线。这种蜗杆又称尼曼蜗杆。

2. 圆环面圆柱蜗杆（ZC₂蜗杆）

蜗杆齿面也是圆环面砂轮与蜗杆作相对螺旋运动时包络成形的，但砂轮与蜗杆轴线的轴交角不等于蜗杆分度圆导程角而为某一角度 γ_0 ，砂轮与蜗杆

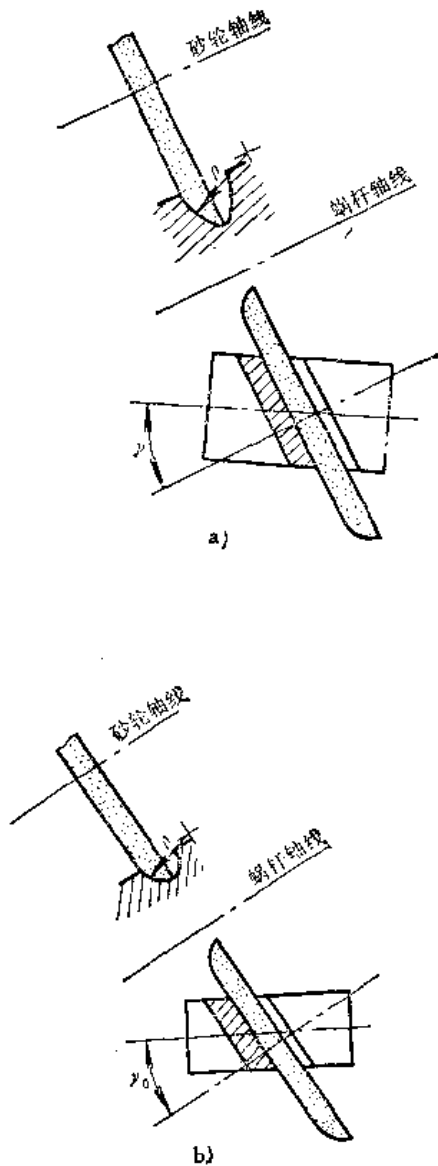


图13-9-1 圆弧圆柱蜗杆包络成形示意图
a) ZC₁ b) ZC₂

的瞬时接触线与砂轮轴向齿廓为相互重合的平面曲线，即蜗杆轴向截面为半径 ρ 的圆弧。

3. 轴向圆弧圆柱蜗杆 (ZC₃蜗杆)

蜗杆齿面是由蜗杆轴平面上的一段 (半径为 ρ 的) 圆弧绕蜗杆轴线作相对螺旋运动形成，是凸圆弧车刀刃的轨迹面，见图13-9-2。这种齿形用圆弧车刀车削而成。

若按基准齿形所在截面分类，可分为两种：法截面为基准齿形的圆弧圆柱蜗杆和轴截面为基准齿形的圆弧圆柱蜗杆，ZC₁ 蜗杆是法截面为基准齿形，

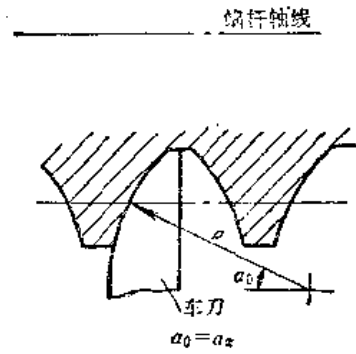


图13-9-2 ZC₃圆弧圆柱蜗杆的车削

ZC₂、ZC₃是轴截面为基准齿形的ZC蜗杆。

当齿面硬度和粗糙度要求较高时，需用圆环面砂轮以包络法加工 (ZC₁、ZC₂)。实践证明，提高蜗杆齿面硬度和粗糙度要求，可提高蜗杆承载能力和传动效率。

圆弧圆柱蜗杆的中心距 a 可达1600mm以上，模数 m 可达50mm，蜗杆头数 z_1 可在10以上，传动比 i 可高达100，一般常用的在70以内，传动效率可高达97.5%，与普通圆柱蜗杆传动相比，承载能力可提高一倍，传动效率也有较大提高，是一种很有前途的传动形式。

圆弧圆柱蜗杆传动的特点在于两共轭齿面为凸形弧面 (蜗轮) 与凹形弧面 (蜗杆)，而普通圆柱蜗杆的啮合为凸面与凸面相接触，见图13-9-3。因而圆弧圆柱蜗杆啮合齿面间动压油膜形成条件较好，同时啮合时接触线上各点的切线与相对滑动速度方向的夹角 Ω 约在45°~80°之间，比普通圆柱蜗杆传动的 Ω 角大得多，见图13-2-14，且其接触区占齿面工作区的70%左右，这几个因素皆有利于液体动压油膜的形成，并使圆弧圆柱蜗杆比普通圆柱蜗杆承载能力大、传动效率高、润滑油温低、齿面磨

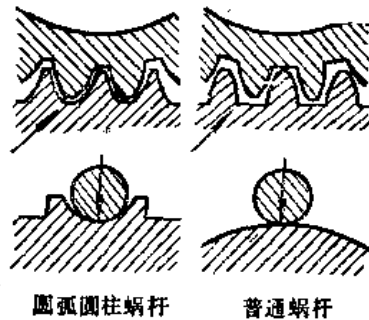


图13-9-3 圆弧圆柱蜗杆的齿面接触状态

损少。圆弧圆柱蜗杆传动的缺点是对中心距偏差较敏感。

圆弧圆柱蜗杆传动必须采用正变位，以避免根切，增大承载能力，改善传动质量。但变位系数过大引起蜗轮齿顶变尖和啮合区长度减小，一般推荐变位系数 x_2 的取值范围为 $x_2 = 0.5 \sim 1.5$ 。

圆弧圆柱蜗杆可采用与普通圆柱蜗杆相同的设备和工艺方法来加工制造，如车削、磨削，只是刀具形状不同而已。圆弧圆柱蜗杆的齿形参数对传动质量有较大影响，必须合理选择。其齿形参数参看图13-9-4。

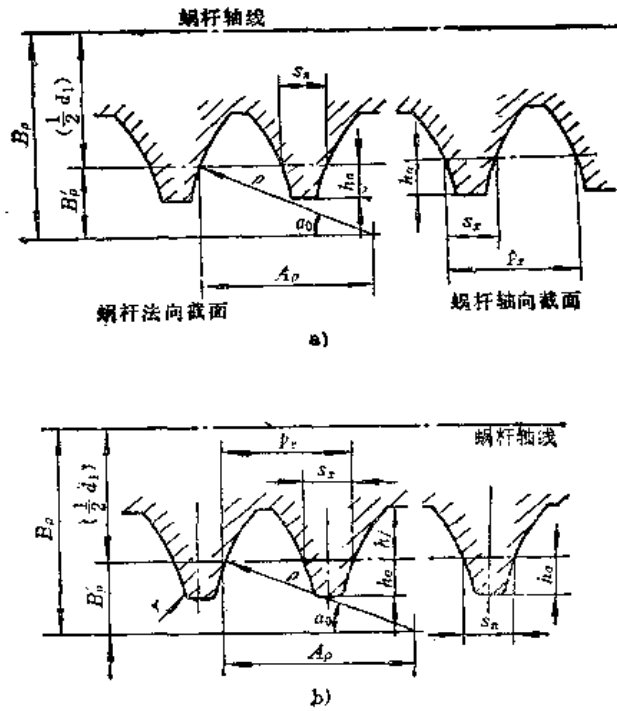


图13-9-4 圆弧圆柱蜗杆齿形
a) ZC₁型齿形 b) ZC₂、ZC₃型齿形

表13-9-1 圆弧圆柱蜗杆齿形参数计算表

序号	参数名称	代号	ZC ₁ 型	ZC ₂ 、ZC ₃ 型														
1	刀具产形角	α_0	$\alpha_0 = 23^\circ \pm 0.5^\circ$ (法向)	$\alpha_0 = 23^\circ$ (轴向)														
2	轴向模数	m	$m = 2 \sim 24$ (表13-9-5)	$m = 2.5 \sim 25$ (表13-9-5)														
3	齿顶高系数	h_a^*	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>z_1</td> <td>≤ 3</td> <td>> 3</td> </tr> <tr> <td>h_a^*</td> <td>1</td> <td>0.85~0.95</td> </tr> </table>	z_1	≤ 3	> 3	h_a^*	1	0.85~0.95	$h_a^* = 1$								
z_1	≤ 3	> 3																
h_a^*	1	0.85~0.95																
4	顶隙系数	c^*	$c^* = 0.16$	$c^* = 0.2$														
5	圆弧中心轴向坐标	A_p	$A_p = \rho \cos \alpha_0$	$A_p = \rho \cos \alpha_0$														
6	圆弧中心径向坐标	B_p	$B_p = \rho \sin \alpha_0 + 0.5d_1$	$B_p = \rho \sin \alpha_0 + 0.5d_1$														
7	圆弧半径	ρ	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>m</td> <td>< 10</td> <td>> 10</td> </tr> <tr> <td>ρ</td> <td>$(5.5 \sim 6)m$</td> <td>$(5 \sim 5.5)m$</td> </tr> </table> 小模数取大值	m	< 10	> 10	ρ	$(5.5 \sim 6)m$	$(5 \sim 5.5)m$	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>z_1</td> <td>1, 2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>ρ</td> <td>$5m$</td> <td>$5.3m$</td> <td>$5.5m$</td> </tr> </table>	z_1	1, 2	3	4	ρ	$5m$	$5.3m$	$5.5m$
m	< 10	> 10																
ρ	$(5.5 \sim 6)m$	$(5 \sim 5.5)m$																
z_1	1, 2	3	4															
ρ	$5m$	$5.3m$	$5.5m$															
8	齿顶圆角半径	ρ_a	$\rho_a < 0.2m$	$\rho_a = 0.2m$														

(三) 圆弧圆柱蜗杆传动的几何计算

表13-9-2 圆弧圆柱蜗杆副几何计算表

序号	所求参数	代号	计 算 公 式	附 注
1	蜗杆分度圆柱导程角	γ	$\gamma = \arctg \left(\frac{z_1}{q} \right) = \arctg \left(\frac{z_1 m}{d_1} \right)$	
2	蜗杆节圆柱导程角	γ'	$\gamma' = \arctg \left(\frac{z_1}{q + 2x_2} \right) = \arctg \left(\frac{z_1 m}{d_1'} \right)$	
3	蜗杆轴向模数	m	$m = \frac{2a}{q + z_2 + 2x_2}$	按标准选用
4	蜗杆法向模数	m_n	$m_n = m \cos \gamma$	
5	蜗杆齿形角	α	$\alpha = \alpha_0$ α_0 见表13-9-1	
6	蜗杆轴向齿形圆弧半径	ρ	见表13-9-1	
7	齿形圆弧中心轴向坐标值	A_ρ	$A_\rho = \rho \cos \alpha_0$	见图13-9-4
8	齿形圆弧中心径向坐标值	B_ρ	$B_\rho = \frac{1}{2} d_1 + \rho \sin \alpha_0$	
9	蜗杆轴向齿距	p_x	$p_x = \pi m$	
10	齿顶高	h_a	$h_{a1} = h_{a2} = h_a^* m$, 用于ZC ₂ , ZC ₃ 型 $h_{a1} = h_a^* m$, $h_{a2} = (h_a^* + x_2) m$, 用于ZC ₁ 型	h_a^* 见表13-9-1
11	齿顶间隙	c	$c = c^* m$	c^* 见表13-9-1
12	蜗杆分度圆柱轴向齿厚	s_{x1}	$s_{x1} = 0.4\pi m$	
13	蜗杆法向齿厚	s_{n1}	$s_{n1} = s_{x1} \cos \gamma = 0.4\pi m \cos \gamma$	
14	齿根高	h_f	$h_{f1} = h_{f2} = (h_a^* + c^*) m$, 用于ZC ₂ , ZC ₃ 型 $h_{f1} = (h_a^* + c^*) m$, $h_{f2} = (h_a^* + c - x_2) m$, 用于ZC ₁ 型	
15	中心距	a	$a = \frac{1}{2} m (q + z_2 + 2x_2)$	
16	变位系数	x_2	$x_2 = \frac{a}{m} - 0.5(q + z_2)$	
17	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = m q = 2a - z_2 m - 2x_2 m$	
18	蜗杆节圆直径	d_1'	$d_1' = m (q + 2x_2) = d_1 + 2x_2 m = 2a - z_2 m$	
19	蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = z_2 m = 2a - d_1 - 2x_2 m$	
20	蜗轮节圆直径	d_2'	$d_2' = z_2 m = 2a - d_1'$	

(续)

序号	所求参数	代号	计算公式	附注				
21	齿高	h	$h = 2h_a + c = 2h_a^* m + c^* m$	c^* , h_a^* 见表13-9-1				
22	蜗轮分度圆螺旋角	β	$\beta = \gamma$					
23	蜗杆齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}$					
24	蜗杆齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1} - 2c$					
25	蜗轮喉圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}$					
26	蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}$					
27	蜗轮外径	d_{e2}	$d_{e2} \leq d_{a2} + (0.8 \sim 1)m$	取整数				
28	蜗轮轮缘宽度	B	$B = (0.67 \sim 0.7)d_{a1}$	取整数				
29	蜗杆齿宽	b_1	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>$z_1 = 1, 2$</td> <td> $x_2 < 1, b_1 \geq (12.5 + 0.1z_2)m$ $x_2 \geq 1, b_1 \geq (13 + 0.1z_2)m$ </td> </tr> <tr> <td>$z_1 = 3, 4$</td> <td> $x_2 < 1, b_1 \geq (13.5 + 0.1z_2)m$ $x_2 \geq 1, b_1 \geq (14 + 0.1z_2)m$ </td> </tr> </table>	$z_1 = 1, 2$	$x_2 < 1, b_1 \geq (12.5 + 0.1z_2)m$ $x_2 \geq 1, b_1 \geq (13 + 0.1z_2)m$	$z_1 = 3, 4$	$x_2 < 1, b_1 \geq (13.5 + 0.1z_2)m$ $x_2 \geq 1, b_1 \geq (14 + 0.1z_2)m$	对磨削蜗杆加长量 $m \leq 6$, 加长20mm $m = 7 \sim 9$, 加长30mm $m = 10 \sim 14$, 加长40mm $m = 16 \sim 25$, 加长50mm
$z_1 = 1, 2$	$x_2 < 1, b_1 \geq (12.5 + 0.1z_2)m$ $x_2 \geq 1, b_1 \geq (13 + 0.1z_2)m$							
$z_1 = 3, 4$	$x_2 < 1, b_1 \geq (13.5 + 0.1z_2)m$ $x_2 \geq 1, b_1 \geq (14 + 0.1z_2)m$							

注: 本表来自“GB报批稿”及JB/Z 149-79。

(四) 基本参数选择

圆弧圆柱蜗杆传动的中心距 a 在我国标准减速器的应用中两个系列, 见表13-9-3。

公称传动比 i 也有两个系列, 见表13-9-4。

蜗杆轴向模数系列见表13-9-5。

圆弧圆柱蜗杆的模数 m 、特性系数 q 以及蜗杆蜗轮齿数 z_1 、 z_2 、导程角 γ 等参数的选择和搭配是否合理将明显影响蜗杆副的承载能力和传动效率。比如, 圆弧圆柱蜗杆头数 $z_1 = 1$ 时, 其承载能力与渐开线圆柱蜗杆相差不多。 $z_1 = 2$ 时, 圆弧圆柱蜗杆可比渐开线圆柱蜗杆的承载能力提高50%左右, 而当 $z_1 = 4$ 时, 其承载能力可比渐开线圆柱蜗杆提高160%左右。在中心距、传动比、蜗杆转速给定的情况下, 多头数、小模数、大 q 值的参数搭配被认为对圆弧圆柱蜗杆副承载能力的提高是有利的。

变位系数 x_2 对轴平面为基准齿形的圆弧圆柱蜗杆传动质量影响较明显, 而对法平面为基准齿形的圆弧圆柱蜗杆的传动质量影响小一些。增大变位系数, 可提高蜗杆副的承载能力和传动效率, 但可能引起蜗轮齿顶变尖和啮合区域缩小等问题, 我国一般采用 $x_2 = 0.5 \sim 1.5$, 各国变位系数采用情况见表13-9-6。

蜗轮齿数 z_2 多 ($z_2 > 50$) 或转速较高时变位系数取值可大些, 取 $x_2 = 1 \sim 1.5$, z_2 小时 ($z_2 < 50$), x_2 取小值, $x_2 = 0.5 \sim 1$, 开式传动或低速传动时,

取 $x_2 = 0.6$ 左右, 当工况要求不明确时, 一般取 $x_2 = 0.7 \sim 1.2$ 。

齿形角 α 的大小影响啮合区域的大小以及传动时轮齿的受力情况, 国内外一般取 α 为 $20^\circ \sim 25^\circ$, 各国齿形角 α 的取值情况见表13-9-7。

圆弧圆柱蜗杆的齿形圆弧半径 ρ 的选择要从改善啮合时接触线的形状、轮齿顶部厚度等因素来考虑, GB圆弧圆柱蜗杆减速器规定按模数大小选取, JB/Z 149-79推荐按蜗杆头数选取, 见表13-9-1。

综合起来, 选择较大的变位系数 x_2 , 较小的齿廓圆弧半径 ρ , 较小的齿形角 α 的设计方案较好。

ρ 的计算推荐按下式:

$$\rho = (0.72 \pm 0.1) h_a^* \left(\frac{1}{\sin \alpha} \right)^{2.2}$$

圆弧圆柱蜗杆参数搭配方式多种多样, 目前, 圆弧圆柱蜗杆减速器的基本参数已经标准化, 见表13-9-8、表13-9-9。该标准适用于单级圆弧圆柱蜗杆减速器, 包括CWU、CWS、CWO三个系列, 齿形ZC₁的圆环面包络圆柱蜗杆减速器, 蜗杆转速不超过1500 r/min, 工作环境温度 $-40 \sim +40^\circ\text{C}$ 。

CWU表示蜗杆在蜗轮之下的圆弧圆柱蜗杆减速器;

CWS表示蜗杆在蜗轮之侧的圆弧圆柱蜗杆减速器;

CWO表示蜗杆在蜗轮之上的圆弧圆柱蜗杆减速器。

表13-9-3 中心距 α 系列

系列1 (JB/Z 149-79)																
中心距 α	80	100	125	160	200	250	280	320	360	400	450	500				
减速器型号	WHT		WHX WHS WHC													
系列2																
型号	α															
	63	80	100	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
CWU	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CWS	✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CWO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						

表13-9-4 公称传动比*i*系列

系列1 (JB/Z 149-79)												
<i>i</i>	8	10	12.5	18	20	25	31.5	40	50			
系列2												
<i>i</i>	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63

表13-9-5 轴向模数系列

<i>m</i>	2	2.25	2.5	2.75	3	3.2	3.5	3.6	3.8	4	4.4	4.5		
系列1 (JB/Z 149-79)			✓		✓		✓			✓		✓		
系列2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
<i>m</i>	4.8	5	5.2	5.5	5.6	5.8	6	6.2	6.5	7	7.1	7.3		
系列1 (JB/Z 149-79)		✓		✓			✓			✓				
系列2	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		
<i>m</i>	7.8	7.9	8	8.2	9	9.1	9.2	9.5	10	10.5	11	11.5		
系列1 (JB/Z 149-79)			✓		✓				✓		✓			
系列2	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
<i>m</i>	11.8	12	12.5	13	14	14.5	15	16	18	19	20	22	24	25
系列1 (JB/Z 149-79)		✓			✓			✓	✓		✓	✓		✓
系列2	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

表13-9-6 各国圆弧圆柱蜗轮的变位系数 x_2 推荐值

中国	英国	联邦德国	苏联
$x_2 = 0.5 \sim 1.5$ $z_1 = 1 \sim 2, x_2 = 1 \sim 1.5$ $z_1 = 3 \sim 4, x_2 = 0.7 \sim 1.2$	$x_2 = 1.5 \pm 0.5$	$x_2 = 1.5 \pm 0.25$	$x_2 = 1 \sim 1.5$

表13-9-7 各国圆弧圆柱蜗杆的齿形角 α 推荐值

中国	联邦德国	英国	苏联
GB圆弧圆柱蜗杆减速器, $\alpha = 23^\circ \pm 0.5^\circ$	$\alpha = 23^\circ \pm 2^\circ$	$\alpha = 23^\circ \pm 2^\circ$	$\alpha = 20^\circ$

表13-9-8 圆弧圆柱蜗杆减速器基本尺寸和参数

模数 m (mm)	分度圆直径 d_1 (mm)	头数 z_1	轴向齿距 P_x (mm)	直径系数 q	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱导程角 γ
2	26	1	6.283	13	29.6	21.824	$4^\circ 23' 55''$
		2					$8^\circ 44' 46''$
2.25	26.5	1	7.068	11.778	30.6	21.744	$4^\circ 51' 11''$
2.5	26	1	7.854	10.4	30.6	20.664	$5^\circ 29' 32''$
		2					$10^\circ 53' 8''$
	30	3		12	34.6	24.664	$14^\circ 2' 11''$
		1					$4^\circ 45' 49''$
		2					$9^\circ 27' 44''$
2.75	32.5	1	8.659	11.818	37.6	26.584	$4^\circ 50' 12''$
3	32	1	9.425	10.667	37.6	25.504	$5^\circ 21' 21''$
		2					$10^\circ 37' 11''$
		3					$15^\circ 42' 31''$
	30.4	4	9.425	10.133	36	23.904	$21^\circ 32' 28''$
3.2	36.6	1	10.053	11.436	43	29.176	$4^\circ 59' 48''$
		2					$9^\circ 55' 7''$
		3					$14^\circ 41' 50''$
3.5	39	1	10.996	11.143	46	30.880	$5^\circ 7' 41''$
3.6	35.4	4	11.310	9.833	42	27.744	$22^\circ 8' 8''$
		5					$26^\circ 57' 8''$
3.8	38.4	1	11.938	10.105	46	29.584	$5^\circ 39' 6''$
		2					$11^\circ 11' 43''$
		3					$16^\circ 32' 5''$
4	44	1	12.566	11	52	34.720	$5^\circ 11' 40''$
		2					$10^\circ 18' 17''$
		3					$15^\circ 15' 18''$
4.4	47.2	1	13.823	10.727	56	36.992	$5^\circ 19' 33''$
		2					$10^\circ 33' 40''$

(续)

模数 m (mm)	分度圆直径 d_1 (mm)	头数 z_1	轴向齿距 P_x (mm)	直径系数 q	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱导程角 γ
4.5	43.6	4	14.137	9.689	52	33.856	22°25'58"
		5					27°17'45"
4.8	46.4	1	15.080	9.667	56	35.264	5°54'21"
		2					11°41'22"
		3					17°14'29"
5	55	1	15.708	11	65	43.4	5°11'40"
5.2	54.6	1	16.336	10.5	65	42.536	5°26'25"
		2					10°47'4"
		3					15°56'43"
5.6	58.8	1	17.593	10.5	70	45.808	5°26'25"
		2					10°47'3"
5.8	49.4	4	18.221	8.517	60	37.104	25°9'23"
		5					30°24'53"
6.2	57.6	1	19.478	9.290	70	43.216	6°8'37"
		2					12°8'57"
		3					17°53'46"
6.5	67	1	20.420	10.308	80	51.920	5°32'28"
		2					10°58'50"
		3					16°13'38"
7.1	70.8	1	22.305	9.972	85	54.328	5°43'36"
		2					11°20'28"
7.3	61.8	4	22.934	8.466	75	46.488	25°17'25"
		5					30°34'0"
7.8	69.4	1	24.504	8.897	85	51.304	6°24'46"
		2					12°40'7"
		3					18°37'58"
7.9	82.2	1	24.819	10.405	98	63.872	5°29'23"
8.2	78.6	1	25.761	9.585	95	59.576	5°57'21"
		2					11°47'9"
		3					17°22'44"
9	84	1	28.274	9.333	102	63.120	6°6'56"
		2					12°5'41"

(续)

模数 m (mm)	分度圆直径 d_f (mm)	头数 z_1	轴向齿距 P_x (mm)	直径系数 q	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱导程角 γ
9.1	91.8	1	28.589	10.088	110	70.688	5°39'40"
9.2	80.6	3	28.902	8.761	99	59.256	18°54'10"
9.5	73	4	29.845	7.684	90	53.280	27°29'57"
		5					33°3'5"
10	82	1	31.416	8.2	102	58.8	6°57'11"
		2					13°42'25"
		3					20°5'43"
10.5	99	1	32.985	9.429	120	74.640	6°3'15"
		2					11°58'34"
		3					17°39'0"
11.5	107	1	36.128	9.304	130	80.320	6°8'4"
		2					12°7'53"
11.8	93.5	4	37.070	7.924	115	68.56	26°47'6"
		5					32°15'9"
12.5	105	1	39.270	8.4	130	76	6°47'20"
		2					13°23'38"
		3					19°39'14"
13	119	1	40.841	9.154	145	88.84	6°14'4"
		2					12°19'29"
		3					18°8'44"
14.5	127	1	45.553	8.759	156	93.36	6°30'48"
		2					12°51'46"
15	111	4	47.124	7.4	138	79.68	28°23'35"
		5					34°2'45"
16	124	1	50.266	7.75	156	86.88	7°21'9"
		2					14°28'13"
		3					21°9'41"
	165	1	10.313	197	127.88	5°32'19"	
2		10°58'32"					
18	136	1	56.549	7.556	172	94.24	7°32'22"
		2					14°49'35"
		3					21°39'22"

(续)

模数 m (mm)	分度圆直径 d_f (mm)	头数 z_1	轴向齿距 P_x (mm)	直径系数 q	齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	齿根圆直径 d_{f1} (mm)	分度圆柱导程角 γ
19	141	4	59.69	7.421	175	101.56	28°19'30"
		5					33°58'14"
20	148	1	62.832	7.4	188	101.6	7°41'46"
		2					15°7'25"
		3					22°4'4'
	165	4		8.25	199	125.56	25°51'59"
		6					36°1'39"
22	160	1	69.115	7.273	204	108.96	7°49'44"
		3					22°24'58"
24	172	1	75.398	7.167	220	116.32	7°56'36"

表13-9-9 圆弧圆柱蜗杆减速器参数匹配

中心距 a (mm)	公称传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	实际传动比 i_a
63	5	3.6	35.4	5	24	0.583	4.8
	6.3	3.6	35.4	4	25	0.083	6.25
	8	3	30.4	4	31	0.433	7.75
	10	3	32	3	31	0.167	10.33
	12.5	2.5	30	3	38	0.2	12.67
	16	3	32	2	31	0.167	15.5
	20	2.5	26	2	39	0.5	19.5
	25	2	26	2	49	0.5	24.5
	31.5	3	32	1	31	0.167	31
	40	2.5	26	1	39	0.5	39
80	5	4.5	43.6	5	24	0.933	4.8
	6.3	4.5	43.6	4	25	0.433	6.25
	8	3.6	35.4	4	33	0.806	8.25
	10	3.8	38.4	3	31	0.5	10.33
	12.5	3.2	36.6	3	37	0.781	12.33
	16	3.8	38.4	2	31	0.5	15.5
	20	3	32	2	41	0.833	20.5

(续)

中心距 a (mm)	公称传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	实际传动比 i_a
80	25	2.5	30	2	51	0.5	25.5
	31.5	3.8	38.4	1	31	0.5	31
	40	3	32	1	41	0.833	41
	50	2.5	30	1	51	0.5	51
	63	2.25	26.5	1	59	0.167	59
100	5	5.8	49.4	5	24	0.983	4.8
	6.3	5.8	49.4	4	25	0.483	6.25
	8	4.5	43.6	4	33	0.878	8.25
	10	4.8	46.4	3	31	0.5	10.33
	12.5	4	44	3	37	1	12.33
	16	4.8	46.4	2	31	0.5	15.5
	20	3.8	38.4	2	41	0.763	20.5
	25	3.2	36.6	2	49	1.031	24.5
	31.5	4.8	46.4	1	31	0.5	31
	40	3.8	38.4	1	41	0.763	41
	50	3.2	36.6	1	50	0.531	50
	63	2.75	32.5	1	60	0.455	60
	125	5	7.3	61.8	5	24	0.890
6.3		7.3	61.8	4	25	0.390	6.25
8		5.8	49.4	4	33	0.793	8.25
10		6.2	57.6	3	31	0.016	10.33
12.5		5.2	54.6	3	37	0.288	12.33
16		6.2	57.6	2	31	0.016	15.5
20		4.8	46.4	2	41	0.708	20.5
25		4	44	2	51	0.250	25.5
31.5		6.2	57.6	1	30	0.516	39
40		4.8	46.4	1	41	0.708	41
50		4	44	1	50	0.750	50
63		3.5	39	1	59	0.643	59
140		6.3	7.3	51.8	5	29	0.445
	8	7.3	61.8	4	29	0.445	7.25
	10	6.5	67	3	31	0.835	10.33

(续)

中心距 a (mm)	公称传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	实际传动比 i_a
140	12.5	6.2	57.6	3	35	0.435	11.67
	16	6.5	67	2	31	0.885	15.5
	20	5.6	58.8	2	39	0.250	19.5
	25	4.4	47.2	2	51	0.955	25.5
	31.5	6.5	67	1	31	0.885	31
	40	5.6	58.8	1	39	0.250	39
	50	4.4	47.2	1	51	0.955	51
	63	4	44	1	58	0.5	58
160	5	9.5	73	5	24	1	4.8
	6.3	9.5	73	4	25	0.5	6.25
	8	7.3	61.8	4	34	0.685	8.5
	10	7.8	69.4	3	31	0.564	10.33
	12.5	6.5	67	3	37	0.962	12.33
	16	7.8	69.4	2	31	0.564	15.5
	20	6.2	57.6	2	41	0.661	20.5
	25	5.2	54.6	2	49	1.019	24.5
	31.5	7.8	69.4	1	31	0.564	31
	40	6.2	57.6	1	41	0.661	41
180	50	5.2	54.6	1	50	0.519	50
	63	4.4	47.2	1	61	0.5	61
	6.3	9.5	73	5	29	0.605	5.8
	8	9.5	73	4	29	0.605	7.25
	10	9.2	80.6	3	29	0.685	9.67
	12.5	7.8	69.4	3	36	0.628	12
	16	8.2	78.6	2	33	0.659	16.5
	20	7.1	70.8	2	39	0.866	19.5
	25	5.6	58.8	2	52	0.893	26
	31.5	8.2	78.6	1	33	0.659	33
200	40	7.1	70.8	1	40	0.366	40
	50	6.6	58.8	1	52	0.893	52
	63	5	55	1	60	0.5	60
	5	11.8	93.5	5	24	0.987	4.8

(续)

中心距 a (mm)	公称传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	实际传动比 i_0
200	6.3	11.8	93.5	4	25	0.487	6.25
	8	9.5	73	4	33	0.711	8.25
	10	10	82	3	31	0.4	10.33
	12.5	8.2	78.6	3	38	0.598	12.67
	16	10	82	2	31	0.4	15.5
	20	7.8	69.4	2	41	0.692	20.5
	25	6.5	67	2	51	0.115	25.5
	31.5	10	82	1	31	0.4	31
	40	7.8	69.4	1	41	0.692	41
	50	6.5	67	1	50	0.615	50
	63	5.6	58.8	1	60	0.464	60
225	6.3	11.8	93.5	5	29	0.606	5.8
	8	11.8	93.5	4	29	0.606	7.25
	10	10.5	99	3	32	0.714	10.67
	12.5	10	82	3	36	0.4	12
	16	10.5	99	2	32	0.714	16
	20	9	84	2	39	0.833	19.5
	25	7.1	70.8	2	52	0.704	26
	31.5	10.5	99	1	32	0.714	32
	40	9	84	1	40	0.333	40
	50	7.1	70.8	1	52	0.704	52
250	5	15	111	5	24	0.967	4.8
	6.3	15	111	4	25	0.467	6.25
	8	11.8	93.5	4	33	0.724	8.25
	10	12.5	105	3	31	0.3	10.33
	12.5	10.5	99	3	37	0.595	12.33
	16	12.5	105	2	31	0.3	15.5
	20	10	82	2	41	0.4	20.5
	25	8.2	78.6	2	51	0.195	25.5
	31.5	12.5	105	1	31	0.3	31
	40	10	82	1	41	0.4	41

(续)

中心距 a (mm)	公称传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	实际传动比 i_a
250	50	3.2	78.6	1	50	0.695	50
	63	7.1	70.8	1	59	0.725	59
280	6.3	15	111	5	29	0.467	5.8
	8	15	111	4	29	0.467	7.25
	10	13	119	3	32	0.962	10.67
	12.5	12.5	105	3	36	0.2	12
	16	13	119	2	32	0.962	16
	20	11.5	107	2	39	0.196	19.5
	25	9	84	2	51	0.944	25.5
	31.5	13	119	1	32	0.962	32
	40	11.5	107	1	39	0.196	39
	50	9	84	1	51	0.944	51
	63	7.9	82.2	1	59	0.741	59
315	5	19	141	5	24	0.868	4.8
	6.3	19	141	4	25	0.363	6.25
	8	15	111	4	33	0.8	8.25
	10	16	124	3	31	0.3125	10.33
	12.5	13	119	3	33	0.654	12.67
	16	16	124	2	31	0.3125	15.5
	20	12.5	105	2	41	0.5	20.5
	25	10.5	99	2	49	0.186	24.5
	31.5	16	124	1	31	0.3125	31
	40	12.5	105	1	41	0.5	41
	50	10.5	99	1	50	0.286	50
63	9.1	91.8	1	59	0.071	59	
355	6.3	19	141	5	29	0.474	5.8
	8	19	141	4	29	0.474	7.25
	10	18	136	3	31	0.444	10.33
	12.5	16	124	3	35	0.8125	11.67
	16	18	136	2	31	0.444	15.5
	20	14.5	127	2	39	0.603	19.5
	25	11.5	107	2	51	0.717	25.5

(续)

中心距 a (mm)	公称传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	实际传动比 i_a
355	31.5	18	136	1	31	0.444	31
	40	14.5	127	1	39	0.603	39
	50	11.5	107	1	51	0.717	51
	63	10.5	99	1	58	0.995	58
400	5	20	165	6	31	0.375	5.17
	6.3	19	141	5	33	0.842	6.6
	8	19	141	4	33	0.842	8.25
	10	20	148	3	31	0.8	10.33
	12.5	18	136	3	35	0.944	11.67
	16	20	148	2	31	0.8	15.5
	20	16	124	2	41	0.625	20.5
	25	13	119	2	51	0.692	25.5
	31.5	20	148	1	31	0.8	31
	40	16	124	1	41	0.625	41
	50	13	119	1	51	0.692	51
	63	11.5	107	1	59	0.831	59
450	8	19	141	5	39	0.474	7.8
	10	19	141	4	39	0.474	9.75
	12.5	20	148	3	37	0.3	12.33
	16	16	124	3	47	0.75	15.67
	20	18	136	2	41	0.722	20.5
	25	14.5	127	2	52	0.655	26
	31.5	22	160	1	32	0.818	32
	40	18	136	1	41	0.722	41
	50	14.5	127	1	52	0.655	52
500	6.3	20	165	6	41	0.375	6.83
	10	20	165	4	41	0.375	10.25
	12.5	22	160	3	37	0.591	12.33
	16	18	136	3	47	0.5	15.67
	20	20	148	2	41	0.8	20.5
	25	16	165	2	51	0.694	25.5

(续)

中心距 a (mm)	公称传动比 i	模数 m (mm)	蜗杆分度圆直径 d_1 (mm)	蜗杆头数 z_1	蜗轮齿数 z_2	蜗轮变位系数 x_2	实际传动比 i_a
500	31.5	24	172	1	33	0.75	33
	40	20	148	1	41	0.8	41
	50	16	162	1	51	0.594	51
	63	14.5	127	1	59	0.604	59

表13-9-10 $a=80\sim 500$ mm圆弧圆柱
蜗杆副几何参数匹配

a (mm)	i 公称	m (mm)	d_1 (mm)	z_1	z_2	i 实	x_2	ρ (mm)	B_p' (mm)	γ	q
80	8	3.5	44	4	31	7.75	1.071	20	7.815	17°39'0"	12.571
	10			3		10.33		19	7.424	13°25'19"	
	16			2		15.5		18	7.033	9°2'22"	
	31.5			1		31		18	7.033	4°32'53"	
	12.5	3	38	3	39	13	0.833	16	6.252	13°19'28"	12.667
	20			2		19.5		15	5.861	8°38'21"	
	40			1		39		15	5.861	4°30'50"	
	25	2.5	32	2	50	25	0.60	13	5.080	8°52'50"	12.8
50	1			50		13		5.080	4°28'2"		
100	8	4.5	52	4	31	7.75	0.944	25	9.768	19°5'37"	11.558
	10			3		10.33		24	9.378	14°33'13"	
	16			2		15.5		23	8.987	9°49'09"	
	31.5			1		31		23	8.987	4°56'45"	
	12.5	4	44	3	38	12.67	0.5	21	8.205	15°15'18"	11
	20			2		19		20	7.815	10°18'17"	
	40			1		38		20	7.815	5°11'40"	
	25	3	38	2	52	26	1	15	5.861	8°58'21"	12.667
	50			1		52		15	5.861	4°30'50"	

(续)

a (mm)	公称 (mm)	m (mm)	d ₁ (mm)	z ₁	z ₂	i _实	s ₂	p (mm)	B _p ' (mm)	γ	g			
125	8	5.5	62	4	33	8.25	0.591	30	11.721	19°32'12"	11.273			
	10	6	63	3	30	10	0.583	32	12.503	15°56'43"	10.5			
	16	5.5	62	2	33	16.5	0.591	28	10.940	10°3'38"	11.273			
	31.5			1		33				5°4'9"				
	12.5	5	55	3	38	12.67	0.5	26	10.159	15°15'18"	11			
	20	4.5	52	2	42	21	1	23	8.987	9°49'09"	11.556			
	40			1		42				4°58'45"				
	25	4	44	2	50	25	0.75	20	7.815	10°18'17"	11			
50	1			50		5°11'40"								
160	8	7	76	4	33	8.25	0.929	39	15.239	20°13'29"	10.857			
	10	8	80	3	29	9.67	0.5	42	16.411	16°41'58"	10			
	16	7	76	2	33	16.5	0.929	35	13.676	10°26'15"	10.857			
	31.5			1		33				5°15'45"				
	12.5	6	74	3	39	13	1	32	12.503	13°40'17"	12.333			
	20		63	2	41	20.5	0.917	30	11.722	10°47'3"	10.5			
	40		63	1	41	41				5°26'25"				
	25	5	55	2	51	25.5	1	25	9.768	10°18'26"	11			
50	1			51		51				5°11'40"				
200	8	9	90	4	33	8.25	0.722	50	19.537	21°48'5"	10			
	10	10	98	3	29	9.67	0.6	53	20.709	17°1'14"	9.8			
	16	9	90	2	33	16.5	0.722	45	17.583	11°18'36"	10			
	31.5			1		33				33		5°42'38"		
	12.5	8	80	3	39	13	0.5	42	16.411	16°41'57"	10			
	20			2		39				19.5		40	15.629	11°18'36"
	40			1		39				39				5°42'38"
	25	6	74	2	52	26	1.167	30	11.721	9°12'40"	12.333			
50	1			52		52				4°38'8"				
250	8	12	114	4	31	7.75	0.583	66	25.788	22°50'1"	9.5			
	10			3		31				10.33		64	25.007	17°31'32"
	16			2		31				15.5				60
	31.5			1		31				31		6°0'32"		

(续)

a (mm)	公称	m (mm)	d_1 (mm)	z_1	z_2	模数	x_2	p (mm)	B_p' (mm)	γ	η		
250	12.5	10	98	3	39	13	0.6	53	20.709	17°1'14"	9.8		
	20			2		19.5		11°32'5"					
	40			1		39		5°49'35"					
	25	8	80	2	51	25.5	0.75	40	15.629	11°18'36"	10		
	50			1		51			5°42'38"				
	280	8	14	126	4	30	7.5	0.5	77	30.086	23°57'45"	9	
10		3			10		18°26'6"						
16		2			15		12°31'44"						
31.5		1			30		6°20'25"						
12.5		11	112	3	39	13	0.864	58	22.662	16°25'3"	10.181		
20				2		19.5			11°6'47"				
40				1		39			5°36'33"				
25		9	90	2	51	25.5	0.611	45	17.583	11°18'36"	10		
50				1		51			5°42'38"				
320		8	15	128	4	31	7.75	0.5	88	34.384	26°33'54"	8	
		10			3		10.33			20°33'22"			
		16			2		15.5			14°2'10"			
	31.5	1			31		7°7'30"						
	12.5	12	132	3	40	13.33	1.167	64	25.007	15°15'18"	11		
	20		114	2	42	21			0.917	60		23.444	11°53'19"
	40			1	42	0°0'32"							
	25	10	98	2	52	26	1.1	50	19.537	11°32'5"	9.8		
	50			1		52			5°49'35"				
	360	8	18	144	4	31	7.75	0.5	99	38.682	26°33'54"	8	
10		3			10.33		20°33'22"						
16		2			15.5		14°2'10"						
31.5		1			31		7°7'30"						
12.5		14	144	3	39	13	1.071	74	28.914	16°15'37"	10.286		
20			126	2	41	20.5			0.714	70		27.351	12°31'44"
40				1		41						6°20'25"	

(续)

a (mm)	公称 (mm)	m (mm)	d_1 (mm)	z_1	z_2	f_1	x_2	ρ (mm)	B'_ρ (mm)	γ	q
350	25	12	114	2	49	24.5	0.75	60	23.444	$11^\circ 53' 19''$	9.5
	50			1		49				$6^\circ 0' 32''$	
400	8	20	156	4	31	7.75	0.6	110	42.980	$27^\circ 8' 59''$	7.8
	10			3		10.33		106	41.417	$21^\circ 2' 15''$	
	16			2		15.5		100	39.073	$14^\circ 22' 53''$	
	31.5			1		31			$7^\circ 18' 21''$		
400	12.5	16	144	3	39	13	1	85	33.212	$18^\circ 26' 6''$	9
	20			2		19.5		80	31.258	$12^\circ 31' 44''$	
	40			1		39			$6^\circ 20' 25''$		
400	25	14	126	2	47	23.5	0.571	70	27.351	$12^\circ 31' 44''$	9
	50			1		47				$6^\circ 20' 25''$	
450	8	22	170	4	31	7.75	1.091	121	47.278	$27^\circ 22' 6''$	7.727
	10			3		10.33		117	45.716	$21^\circ 13' 5''$	
	16			2		15.5		110	42.980	$14^\circ 30' 40''$	
	31.5			1		31			$7^\circ 22' 26''$		
450	12.5	18	168	3	39	13	0.833	95	37.119	$17^\circ 49' 8''$	9.333
	20		144	2	41	20.5	0.5	90	35.166	$14^\circ 2' 10''$	8
	40		144	1	41	41				$7^\circ 7' 30''$	
450	25	14	144	2	52	26	1	70	27.351	$11^\circ 0' 13''$	10.286
	50			1		52				$5^\circ 33' 11''$	
500	8	25	190	4	31	7.75	0.7	138	53.921	$27^\circ 45' 31''$	7.6
	10			3		10.33		133	51.967	$21^\circ 32' 28''$	
	16			2		15.5		125	48.841	$14^\circ 44' 37''$	
	31.5			1		31			$7^\circ 29' 45''$		
500	12.5	20	180	3	39	13	1	106	41.417	$18^\circ 26' 6''$	9
	20		156	2	41	20.5	0.6	100	39.073	$14^\circ 22' 53''$	7.8
	40	156	1	41	41	$7^\circ 18' 21''$					
	25	16	144	2	52	26	0.75	80	31.258	$12^\circ 31' 44''$	9
	50			1		52				$6^\circ 20' 25''$	

(五) 圆弧圆柱蜗杆传动的公差

目前, 尚未正式公布圆弧圆柱蜗杆传动公差的国标 (GB), 此处仅介绍“圆弧圆柱蜗杆减速器” (GB报批稿) 中的公差规定。

“圆弧圆柱蜗杆减速器” (GB报批稿) 中的圆弧圆柱蜗杆为圆环面包络圆柱蜗杆 (ZC₁蜗杆); 蜗杆转速不超过 1500 r/min; 工作环境温度为 -40~+40°C。现介绍其有关的公差及偏差。

蜗杆轴向齿距极限偏差 ($\pm f_{px}$) 的 f_{px} 、蜗杆轴向齿距累积公差 f_{pxl} 、蜗杆齿形公差 f_{f1} 和蜗杆齿槽径向跳动公差 f_r 分别见表 13-9-13 和表 13-9-14。

蜗轮齿距累积公差 F_p 、齿距极限偏差 ($\pm f_{pt}$)、

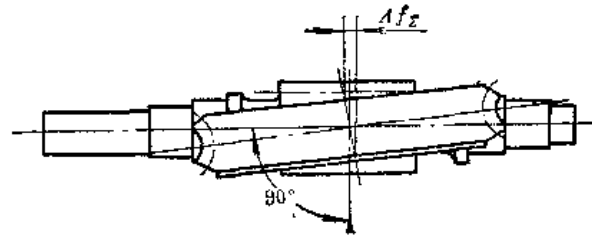


图 13-9-5 轴交角偏差 Δf_z

齿形公差 f_{f2} 分别见表 13-9-15 和表 13-9-16。

蜗杆齿厚公差 T_{s1} 及上偏差 E_{s1} 见表 13-9-17、

表 13-9-18。

表 13-9-11 轴交角极限偏差 ($\pm f_z$) 值

蜗轮齿宽 b_2 (mm)	≤ 30	$> 30 \sim 50$	$> 50 \sim 80$	$> 80 \sim 120$	$> 120 \sim 180$	$> 180 \sim 250$	> 250
$\pm f_z$ (μm)	± 10	± 11	± 13	± 15	± 17	± 20	± 22

注: 轴交角偏差 Δf_z 的含义见图 13-9-3。

表 13-9-12 中心距极限偏差 ($\pm f_a$) 值

中心距 a (mm)	$> 50 \sim 80$	$> 80 \sim 120$	$> 120 \sim 180$	$> 180 \sim 250$	$> 250 \sim 315$	$> 315 \sim 400$	$> 400 \sim 500$
$\pm f_a$ (μm)	± 23	± 27	± 32	± 36	± 40	± 45	± 50

表 13-9-13 蜗杆极限偏差及公差 f_{px} 、 f_{pxl} 及 f_{f1} 值

(μm)

精度等级	项目代号	模数 m (mm)				
		$> 1 \sim 3.5$	$> 3.5 \sim 6.3$	$> 6.3 \sim 10$	$> 10 \sim 16$	$> 16 \sim 25$
7	$\pm f_{px}$	± 11	± 14	± 17	± 22	± 32
	f_{pxl}	18	24	32	40	53
6	f_{f1}	11	14	19	25	36

表 13-9-14 蜗杆齿槽径向跳动公差 f_r

精度等级	7				
分度圆直径 d_1 (mm)	$> 18 \sim 31.5$	$> 31.5 \sim 50$	$> 50 \sim 80$	$> 80 \sim 125$	$> 125 \sim 180$
模数 m (mm)	$> 1 \sim 6.3$	$> 1 \sim 10$	$> 1 \sim 16$	$> 1 \sim 16$	$> 1 \sim 25$
f_r (μm)	14	15	16	18	22

表13-9-15 蜗轮齿距累积公差 F_p

精度等级	7				
分度圆弧长 L (mm)	>80~160	>160~315	>315~630	>630~1000	>1000~1600
F_p (μm)	45	63	90	112	140

注: $L = \frac{1}{2} \pi d_2$ 表13-9-16 蜗轮齿距极限偏差($\pm f_{pt}$)值及齿形公差 f_{f2} 值(μm)

精度等级	分度圆直径 d_2 (mm)	项目代号	模数 m (mm)				
			>1~3.5	>3.5~6.3	>6.3~10	>10~16	>16~25
7	<125	f_{pt}	± 14	± 18	± 20	—	—
6		f_{f2}	8	10	12	—	—
7	>125~400	f_{pt}	± 16	± 20	± 22	± 25	—
6		f_{f2}	9	11	13	16	—
7	>400~800	f_{pt}	± 18	± 20	± 25	± 28	± 36
6		f_{f2}	12	14	16	18	24
7	>800~1600	f_{pt}	± 20	± 22	± 25	± 28	± 36
6		f_{f2}	17	18	20	22	28

表13-9-17 蜗杆齿厚公差 T_{s1}

精度等级	7				
模数 m (mm)	$\geq 1\sim 3.5$	>3.5~6.3	>6.3~10	>10~16	>16~25
T_{s1} (μm)	45	56	71	95	130

表13-9-18 蜗杆齿厚上偏差 E_{s1}

中心距 a (mm)	模数 m (mm)				
	$\geq 1\sim 3.5$	>3.5~6.3	>6.3~10	>10~16	>16~25
	E_{s1} (μm)				
>50~80	-180	-188	-195	—	—
>80~120	-208	-215	-223	-232	—
>120~180	-234	-242	-249	-259	-289
>180~250	-272	-276	-281	-291	-321
>250~315	-303	-308	-313	-323	-348
>315~400	-330	-335	-340	-350	-375
>400~500	-357	-362	-367	-377	-402

注: 蜗杆齿厚的下偏差 $E_{s1i} = E_{s1} - T_{s1i}$

表13-9-19 蜗杆齿顶圆直径下偏差 Δd_{a1}

蜗杆齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	>18~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~180	>180~250
Δd_{a1} (μm)	-13	-16	-19	-22	-25	-29

注：蜗杆齿顶圆上偏差为0。

表13-9-20 蜗轮喉圆直径下偏差 Δd_{a2}

蜗轮顶圆直径 d_{a2} (mm)	>80~120	>120~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000
Δd_{a2} (μm)	-22	-25	-29	-32	-36	-40	-44	-50	-56

注：蜗轮喉圆直径上偏差为0。

表13-9-21 蜗杆齿顶圆与蜗轮喉圆径向跳动公差 $E d_{a1}$ 、 $E d_{a2}$ 及蜗轮基准端面跳动公差 E_T

蜗杆齿顶圆直径 d_{a1} (mm)	蜗轮喉圆直径 d_{a2}	≤ 31.5	>31.5~63	>63~125	>125~400	>400~800	>800~1600
$E d_{a1}$ $E d_{a2}$ E_T (μm)		4	6	8.5	11	14	20

表13-9-22 蜗杆传动中间平面极限偏差($\pm f_x$)值

精度等级	6						
中心距 a (mm)	>50~80	>80~120	>120~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500
$\pm f_x$ (μm)	± 18.5	± 22	± 27	± 29	± 32	± 36	± 40

表13-9-23 蜗杆传动最小法向侧隙 $f_{n\min}$

侧隙种类	b						
中心距 a (mm)	>50~80	>80~120	>120~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500
$f_{n\min}$ (μm)	120	140	160	185	210	230	250

注：传动的最小圆周侧隙 $f_{i\min} \approx \frac{f_{n\min}}{\cos \gamma' \cdot \cos \alpha_n}$ ， γ' ——蜗杆节圆柱导程角， α_n ——蜗杆法向齿形角。

表13-9-24 啮合齿面接触区 (在额定载荷下检验)

z_1	6, 5	4	3	2	1
i	6, 6.3	6.3, 8	10, 12.5	16, 20, 25	31.5, 40, 50, 63
接触区					

(六) 圆弧圆柱蜗杆传动的测绘

1. 圆弧圆柱蜗杆的测绘方法

圆弧圆柱蜗杆除齿形部分几何参数的测绘方法与普通圆柱蜗杆的测绘方法有所不同外, 其它各部尺寸参数的测绘与普通圆柱蜗杆基本相同, 故这里只介绍圆弧圆柱蜗杆的齿形参数的测绘方法。

需要确定的齿形参数主要是齿形圆弧半径 ρ 和齿形角 α , 从而, 可确定圆弧中心轴向坐标 A_p 和径向坐标 B_p 。

(1) 齿形圆弧半径 ρ 及齿型类别的测绘 齿形圆弧半径 ρ 需采用圆弧样板或圆弧尺来测绘, 从表13-9-1可知 ρ 值的选择大约是在 $(5 \sim 6) m$ 值范围内, 故可按这个估计来初选圆弧样板或圆弧尺, 将其贴靠在蜗杆齿面上, 观察圆弧曲率是否符合, 注意, 观察时样板与齿面间的缝隙透光要均匀一致, 才能认为是相符。

用样板或弧尺靠贴蜗杆齿面时, 应在蜗杆法向截面和轴向截面两个截面上进行比较, 选择确定与蜗杆齿形最相符的圆弧半径 ρ 。

如果齿形圆弧半径 ρ 所在的截面是蜗杆法向截面, 可认为该圆弧圆柱蜗杆齿形类别是 ZC_1 ;

如果齿形圆弧半径 ρ 所在的截面是蜗杆轴平面, 则可认为该圆弧圆柱蜗杆齿形类别是 ZC_2 或 ZC_3 。然后, 再进一步观察蜗杆齿面的刀痕, 判断蜗杆齿面是砂轮磨削还是车刀车削成形? 若是砂轮磨削成形的齿形类别是 ZC_2 , 车刀车削成形的齿形类别是 ZC_3 。

(2) 齿形角 α 齿形角 α 及圆弧半径 ρ 的坐标尺寸 A_p 、 B_p 可用作图法确定, 其步骤如下:

1) 测量蜗杆分度圆齿厚 s'_{x1} (或 s'_{n1});

2) 测量蜗杆齿顶厚 s'_{a1} (或 $s'_{a,n1}$);

3) 分别以两个齿厚点 C_1 、 C_2 为圆心, ρ 为半径画弧, 找出半径 ρ 的圆心 O_p , 参照图13-9-1作出两个坐标线, 即可求出 α' ;

4) 按表13-9-1和表13-9-7的推荐值修正确定 α , 并求出坐标 A_p 、 B_p 。

核算齿顶厚 s_a 的计算值如下:

$$\begin{aligned} s_{a1} &= s'_{x1} - 2C_2K \\ &= s'_{x1} - 2[\sqrt{\rho^2 - (B'_p - h_a)^2} - \sqrt{\rho^2 - B_p'^2}] \end{aligned}$$

必须指出, 圆弧圆柱蜗杆副一般是成对更换。

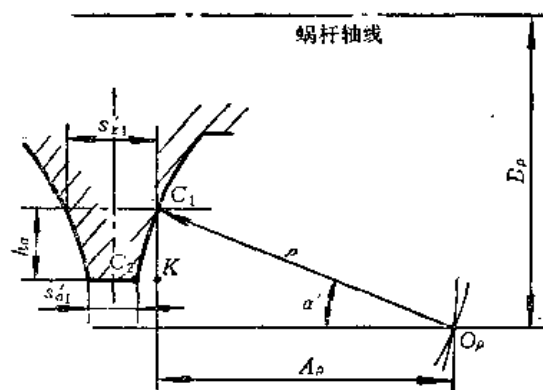


图13-9-6 作图法求 α (以轴平面齿形为例)

2. 圆弧圆柱蜗杆副的材料及热处理

圆弧圆柱蜗杆副的材料与热处理和普通圆柱蜗杆副基本相同 (见表13-6-1, 表13-6-2), 只不过因圆弧圆柱蜗杆传动有承载能力大效率高的特点, 更经常用在重载及大传动比的减速机构中, 因而推荐使用硬度高的齿面蜗杆和耐磨抗胶合性能好的蜗轮。国标 (报批稿) “圆弧圆柱蜗杆减速器” 中规定:

蜗杆的材料采用16MnCrS5 (锻造毛坯), 其机械性能要求应符合表13-9-25的规定, 允许采用机械性能相当或较高的其它材料, 如20CrMnTi 与氮化钢种。

常用的氮化钢种有40Cr、38CrMoAl、18CrMnTi等, 经氮化处理的圆弧圆柱蜗杆变形小, 处理后不必再磨齿, 因此推荐圆弧圆柱蜗杆采用氮化钢。

GB (报批稿) 规定蜗轮材料采用锡青铜ZQSn12-2, 离心铁模铸造, 材料机械性能应符合表13-9-26的规定。

除ZQSn12-2外, ZQSn10-1等锡青铜都是很好的蜗轮材料。

表13-9-25 圆弧圆柱蜗杆材料机械性能

钢号	热处理	σ_b (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	δ_5 (%)	ψ (%)	硬 度
16MnCrS5	渗碳、淬火、回火	900~1200	≥650	≥9	≥35	齿面HRC56~62 芯部最小HRC30

表13-9-26 圆弧圆柱蜗轮材料机械性能

代号	铸造方法	密度 (kg/dm ³)	$\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	δ_5 (%)	σ_b (N/mm ²)	硬度
ZQSn12-2	离心铁模铸造	≈8.6	≥180	≥8	≥300	≥100HBS

3. 圆弧圆柱蜗杆及蜗轮工作图

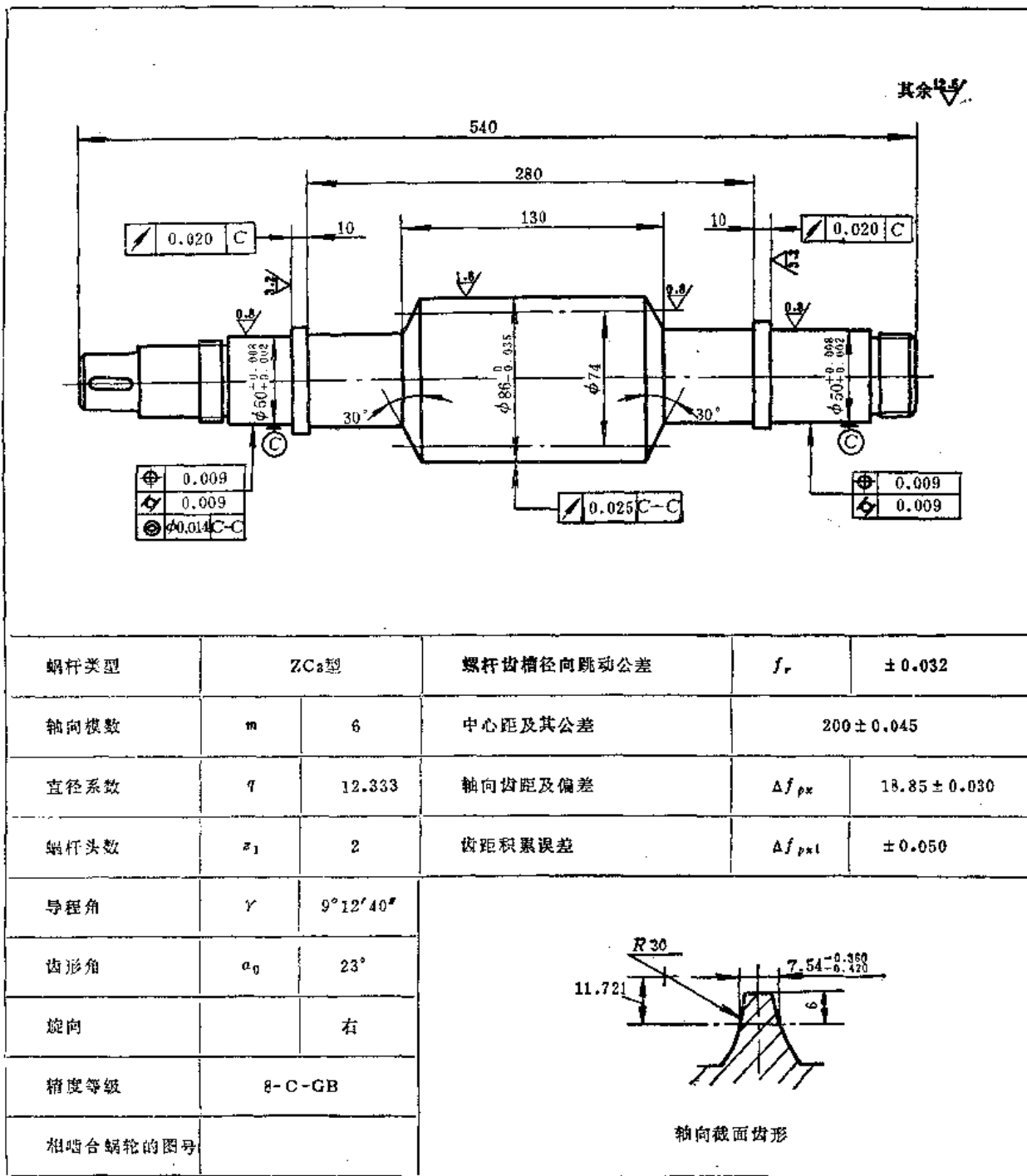


图13-9-7 圆弧圆柱蜗杆工作图

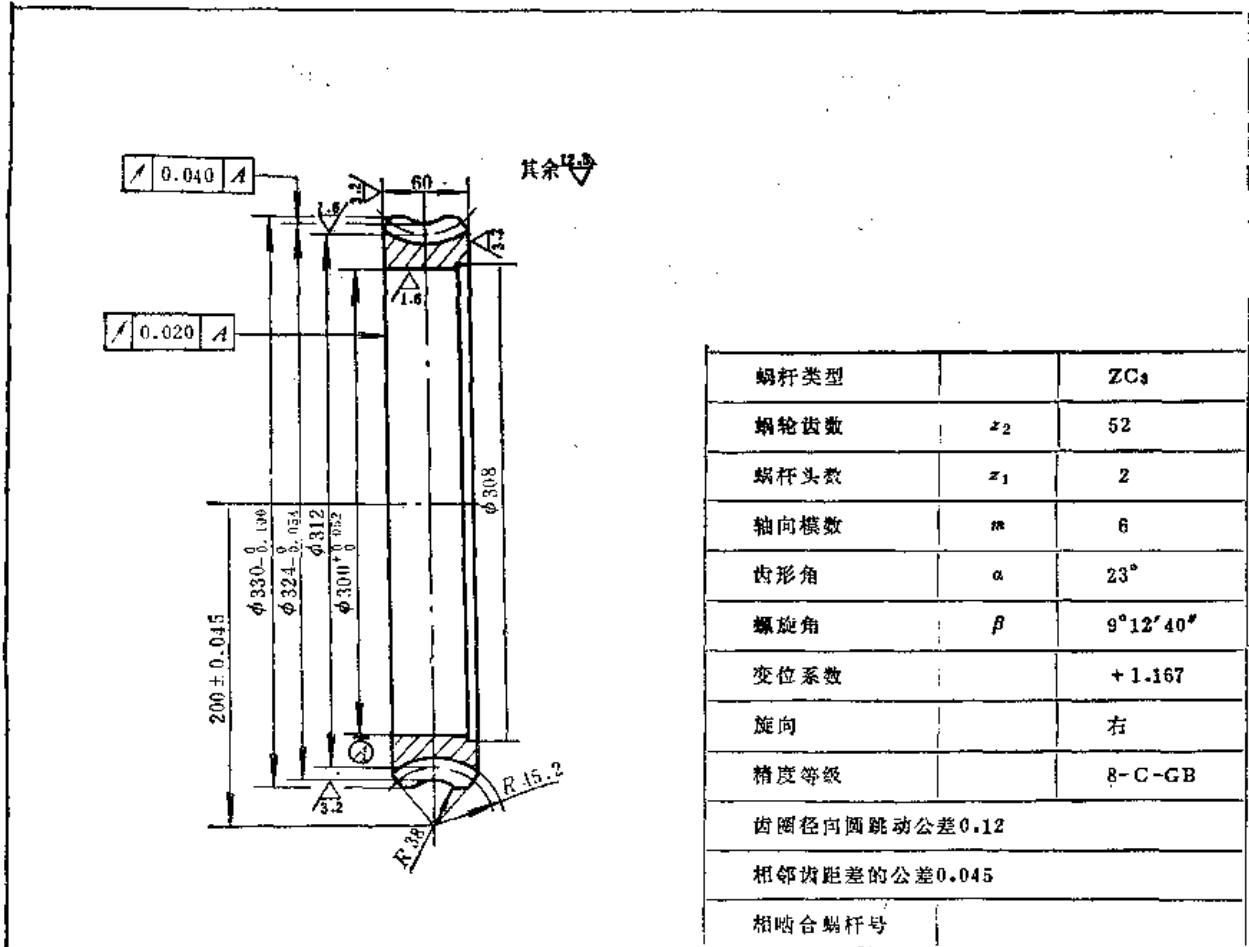


图13-9-8 圆弧圆柱蜗轮工作图

(七) 圆弧圆柱蜗杆传动的强度验算

圆弧圆柱蜗杆比普通圆柱蜗杆具有更高的承载能力和传动效率，在转速高、传动比小时更为明显。圆弧圆柱蜗轮的齿形特点是轮齿齿根厚度增大，同时又呈凸形，还采用正变位，这些因素都使圆弧圆柱蜗杆传动中的蜗轮有较高的弯曲强度，远高于它自身的接触强度，一般不会发生轮齿弯曲折断失效，因而目前在强度计算时，不必进行弯曲强度计算，而只进行接触强度计算，以防止粘着性磨损失效。

(1) 接触强度校核计算 对已知的圆弧圆柱蜗杆传动进行强度校核时，应用下式计算：

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{1.67KT_2}{qm^3K_m}} \cdot Z_E Z_{\beta} Z_{\alpha} \leq \sigma_{HP} \quad (13-9-1)$$

式中 σ_H ——接触应力 (N/mm²)；

K ——计算载荷系数；

T_2 ——输出功率 (kW)；

K_m ——模数影响系数；

Z_E ——材料弹性系数；

Z_{β} ——齿数影响系数；

σ_{HP} ——许用接触应力 (N/mm²)。

将各项已知条件代入上式，若能满足关系，则可认为该圆弧圆柱蜗杆副符合强度要求。

(2) 强度（接触强度）设计计算

$$m^3 q K_m \geq \frac{1.67KT_2 Z_E^2 Z_{\beta}^2 Z_{\alpha}^2}{\sigma_{HP}^2} \quad (13-9-2)$$

或

$$m \sqrt[3]{q K_m} \geq \sqrt[3]{\frac{1.67KT_2 Z_E^2 Z_{\beta}^2 Z_{\alpha}^2}{\sigma_{HP}^2}} \quad (13-9-2')$$

根据给定的设计条件计算公式右边，按其结果查表13-9-34来试定 m 、 q ，再以此作各项尺寸计算，校核修正各项设计参数，直至最后确定合理的参数。

(3) 强度计算有关公式 圆弧圆柱蜗杆传动的强度计算涉及的各项系数和参数的计算公式如下。

- 1) Z_E ——材料弹性影响系数。 Z_E 随蜗杆蜗轮材料组合而定，钢制蜗杆与灰铸铁蜗轮组合时 $Z_E = 162 \sim 165 \sqrt{N/mm^2}$ ；钢制蜗杆与锡青铜蜗轮组合时， $Z_E = 160 \sqrt{N/mm^2}$ 。
- 2) Z_{xx} ——齿数和变位影响系数(表13-9-27)

$$Z_{xx} = \frac{3.6}{\sqrt{z_2(9.75z_2 + 18)}}$$

- 3) K ——载荷系数

$$K = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7$$

式中 K_1 ——工作类型系数，按表13-9-28选取。

K_2 ——啮合精度系数。制造精度在8级以上，经跑合、接触斑点如图13-9-9；蜗杆齿面粗糙度 $R_a 0.8 \mu m$ 以下时，取 $K_2 = 1$ ，否则按具体情况在1.01~1.3的范围内选取。

K_3 ——环境温度影响系数。当环境温度在 $0 \sim 25^\circ C$ 时， $K_3 = 1$ ，否则查表13-9-29。

K_4 ——小时载荷系数。按小时载荷率 L 由图13-9-10选择。

$$L = \frac{\text{一小时内实际工作时间(分钟)}}{60(\text{分钟})} \%$$

实际工作时间按一小时内的最长实际工作时间计算，当 $L < 15\%$ 时取 $L = 15\%$ 。

K_5 ——冷却系数。在未设置特殊冷却措施时，取 $K_5 = 1$ 。当装有风扇、蛇形

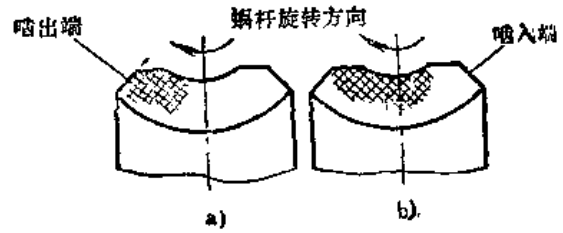


图13-9-9 合理啮合部位
严禁接触斑点在啮入端，且接触斑点面积须大于30%

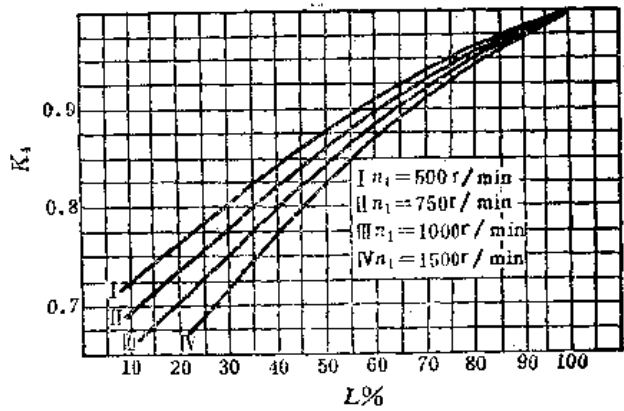


图13-9-10 K_4 的选择

管水冷、油冷等冷却措施时，按图13-9-11选择。应当说明，当蜗杆转速 $n_1 < 300 r/min$ 时，装有风扇效果不显著，但 $n_1 > 300 r/min$ 时，最好安有风扇。

K_6 ——润滑油影响系数。当圆弧圆柱蜗杆

表13-9-27 齿数和变位影响系数 Z_{xx}

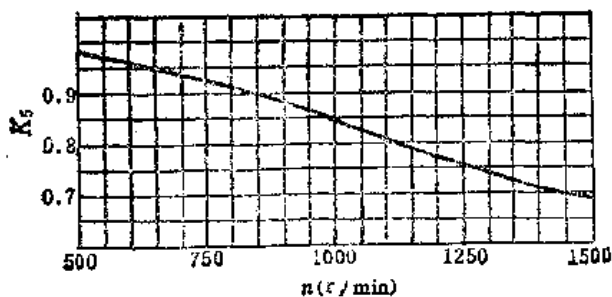
z_2	25	29	30	31	32	33	35	39	40
Z_{xx}	0.0445	0.0385	0.0375	0.036	0.035	0.034	0.0291	0.0289	0.0282
z_2	41	42	45	49	50	51	52	53	55
Z_{xx}	0.0375	0.0268	0.0251	0.0231	0.0226	0.0222	0.0218	0.0213	0.0206
z_2	60	62	64	65	66	67	68	70	71
Z_{xx}	0.0189	0.0187	0.0177	0.01749	0.0172	0.01698	0.0167	0.0162	0.0160
z_2	74	76	77	85	96	98	102	106	107
Z_{xx}	0.0153	0.015	0.0148	0.0134	0.01189	0.01165	0.0112	0.0108	0.0107

表13-9-28 工作类型系数 K_1

工作类型	I		II		III	
载荷性质	均匀无冲击		不均匀小冲击		不均匀大冲击	
每小时起动次数	<25		25~50		>50	
起动载荷	小		较大		大	
蜗轮转速 (m/s)	<3	>3	<3	>3	<3	>3
K_1	1	1.1	1.15	1.2	1.2	1.3

表13-9-29 环境温度影响系数 K_2

工作类型	I		II		III	
环境温度 (°C)	>25~35	>35~45	>25~35	>35~45	>25~35	>35~45
蜗杆转速 n (r/min)	K_3					
1500	1.24	1.8	1.17	1.57	1.02	1.15
1000	1.2	1.78	1.15	1.5	1.01	1.05
750	1.19	1.6	1.14	1.41	1	1
500	1.16	1.52	1.11	1.34	1	1
<300	1.1	1.35	1	1.25	1	1

图13-9-11 K_5 选择

装置中润滑油油量、油料品种规格、散热面积等条件都符合技术要求时，选 $K_6 = 1$ 。当润滑油加入了油性剂、去泡剂、极压添加剂时， K_6 在1~0.85范围内选择。

K_7 ——蜗杆导程角影响系数。见表13-9-30。

- 4) K_m ——模数影响系数，查表13-9-35。
- 5) T_2 ——蜗轮工作转矩，见表13-5-1。
- 6) σ_{HP} ——许用接触应力，

$$\sigma_{HP} = K_H \sigma_{H0}$$

表13-9-30 导程角影响系数 K_7

导程角 γ	5°	10°	15°	20°	25°
K_7	1.1	1	0.95	0.92	0.88

式中 K_H ——寿命系数。寿命系数 K_H 由下式确定：

$$K_H = K_0 \sqrt[8]{\frac{N_0}{N}} \quad (13-9-3)$$

式中 K_0 ——速度影响系数。

K_0 系数的确定取决于圆弧圆柱蜗杆齿面硬度和表面粗糙度，当齿面硬度大于HRC45，齿面粗糙度低于 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 时，

$$K_0 = \sqrt[16]{\frac{6}{v_s}}$$

式中滑动速度 $v_s > 12 \text{ m/s}$ 时，取 $v_s = 12 \text{ m/s}$ ； $v_s < 6 \text{ m/s}$ 时取 $v_s = 6 \text{ m/s}$ 。

当圆弧圆柱蜗杆齿面硬度小于HRC45，齿面粗糙度高于 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 时，按下式求 K_0 ：

$$K_0 = \sqrt[16]{\frac{5}{v_s}}$$

式中 $v_s > 10 \text{ m/s}$ 时, 取 $v_s = 10 \text{ m/s}$; 当 $v_s < 5 \text{ m/s}$ 时, 取 $v_s = 5 \text{ m/s}$ 。

传动中喷油润滑时, K_v 可查表 13-9-31 取值。

式 (13-9-3) 中的 N_0 为循环基数, 该式为取 $N_0 = 10^7$; N 为实际工作循环总次数;

稳定变载荷时

$$N = 60n_2t \quad (13-9-4)$$

不稳定变载荷时

$$N = 60 \sum n_i t_i \left(\frac{T_{2i}}{T_{2max}} \right)^4 \quad (13-9-5)$$

上两式 n_2 —— 蜗轮转速 (r/min);

t —— 工作总小时数;

n_i —— 变载荷下对应的蜗轮转速 (r/min);

t_i —— 变载荷下对应的工作小时数;

T_{2i} —— 变载荷下对应的蜗轮承受转矩 (N·mm);

T_{2max} —— 一个循环中, 蜗轮承受的最大转矩 (N·mm);

$N \geq 25 \times 10^7$ 时, 取 $N = 25 \times 10^7$ 。

7) σ_{H0} —— 接触应力基本值。其与蜗轮材料的许用应力基本值和蜗杆副材料搭配、材料的种类和铸造方法有关。详见表 13-9-32, 表 13-9-33。

当材料抗拉强度 $\sigma_s > 295 \text{ N/mm}^2$ 时, σ_{H0} 和滑动速度 v_s 的大小及蜗轮蜗杆材料搭配有关, 而 $\sigma_s < 295 \text{ N/mm}^2$ 时, 受蜗轮材料和铸造方法影响更大。

8) K_m 值查表 13-9-35。

表 13-9-31 速度影响系数 K_v

v_s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_v	1	0.97	0.95	0.92	0.91	0.915	0.93	0.94	0.945	0.955	0.96	1

表 13-9-32 蜗轮材料 $\sigma_s > 295 \text{ N/mm}^2$ 时的 σ_{H0} (N/mm²)

蜗轮材料	蜗杆材料热处理	滑动速度 v_s (m/s)							
		0.25	0.5	1	2	3	4	5	8
ZQA19-4 ZQA110-3-1-15	钢 淬火	~	240	225.5	206	176	157	118	88
ZHM158-2-2	钢 淬火	~	210	196	176	147	132	93	74
HT200 HT150 120~150HB	钢 渗碳	156	127	113	88	~	~	~	~
HT150 120~150HB	钢 调质或正火	137	108	88	69	~	~	~	~

注: σ_s —— 材料抗拉强度。

表 13-9-33 蜗轮材料 $\sigma_s < 295 \text{ N/mm}^2$ 时的 σ_{H0} (N/mm²)

蜗轮材料	铸造方法	使用速度范围	蜗杆硬度	
			HRC ≤ 45	HRC > 45
ZQSn10-1	砂	≤ 25 m/s	176.5	196
	冷		196	215
	离		210	251
ZQSn6-6-3	砂	≤ 12 m/s	108	127
	冷		132	147

表13-9-34 $m, a, K_m, m^3/K_m a$

m	a	K_m	$m^3/K_m a$
1.5	(11)	0.51	2.665
	(14)		2.888
	16		3.020
1.75	(12)	0.505	3.191
	14		3.359
	(16)		3.516
2	(10)	0.5	3.420
	12		3.634
	16		4.000
2.5	(10)	0.485	4.232
	12		4.497
	16		4.950
3	(10)	0.475	5.043
	12		5.366
	14		5.642
	16		5.898
3.5	(10)	0.47	5.863
	12		6.230
	14		6.559
4	(10)	0.465	6.676
	12		7.095
	16		7.810
(4.5)	12	0.46	7.953
5	(9)	0.445	7.940
	(10)		8.224
	12		8.739
5.5	(9)	0.435	8.668
	10		8.978
	12		9.541
	14		10.044
6	(9)	0.43	9.420
	10		9.757
	12		10.368
	14		10.915
7	(9)	0.425	10.947
	10		11.339
	12		12.049
8	(8)	0.418	11.963
	9		12.442
	10		12.887
	11		13.303
	12		13.694
(9)	(8)	0.41	13.372
	(10)		14.405
	11		14.87
	12		15.307
10	8	0.4	14.736
	10		15.874
	11		16.386
	(12)		16.869
11	(8)	0.39	16.074
	10		17.315
	(12)		18.400
12	(8)	0.38	17.384
	(9)		18.080
	10		18.726
14	8	0.375	20.191
	10		21.751
16	(8)	0.37	22.973
	9		23.893
18	8	0.37	25.845
	7.5		28.105
20	8	0.37	28.716

φ_0 ——蜗杆工作起始角
 φ_w ——蜗杆工作半角

(二) 环面蜗杆传动一般知识

渐开线圆柱蜗杆传动中，在保证中心距不变的情况下，若不断加大蜗杆的头数和直径，并同时减少蜗轮齿数和直径，渐开线蜗杆就将逐步演变为渐开线圆柱齿轮，其蜗轮则相应演变为环面蜗杆，见图13-10-2，这个环面蜗杆的齿面是由渐开线圆柱齿轮齿面包络成的，称作渐开面包络环面蜗杆。由此可见，环面蜗杆传动是圆柱蜗杆传动的一种变态。

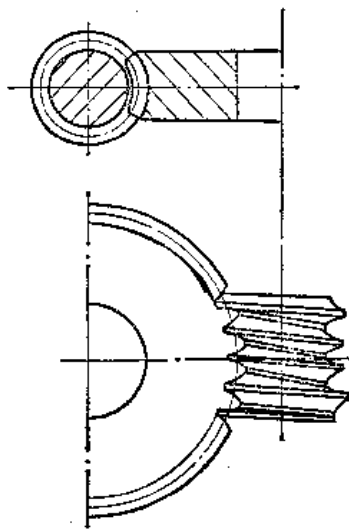


图13-10-2 圆柱蜗杆传动演变为环面蜗杆传动

若将上述渐开线圆柱齿轮的齿面用一个与其基圆柱相切的平面来代替，就成为平面蜗轮，则可用它包络出平面包络环面蜗杆来。

环面蜗杆的分度曲面是一个圆环面，它所使用的不是整个圆环面，而只是圆环面的一部分内表面，但是这部分内表面含有该圆环面的整个内圆，如图13-10-3所示。显然，环面蜗杆已不属于圆柱蜗杆范畴。其旧称“球面蜗杆”及“弧面蜗杆”在GB标准中已规定停止使用。

环面蜗杆传动具有多齿同时啮合；双接触线啮合；接触线和相对滑动速度矢量间的夹角大；齿面润滑性能良好等一系列优点，因而这种蜗杆传动的承载能力大，传动效率高。

环面蜗杆按其成形原理可分为直廓环面蜗杆(TA蜗杆)、平面包络环面蜗杆(TP蜗杆)、锥面包络环面蜗杆(TK蜗杆)、渐开面包络环面蜗杆(TI蜗杆)等几种类型。

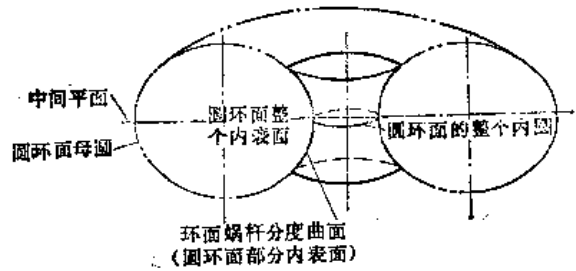


图13-10-3 环面蜗杆的分度曲面

直廓环面蜗杆的理论齿面是由一条与成形圆相切的直线(蜗杆齿面发生线)绕成形圆圆心 O_2 作等角速 ω_2 旋转，并同时随成形圆一起围绕蜗杆轴线 O_1O_1 在空间以 ω_1 作等角速旋转，这样，该直线在空间所形成的运动轨迹曲面就是直廓环面蜗杆的齿面，见图13-10-4。

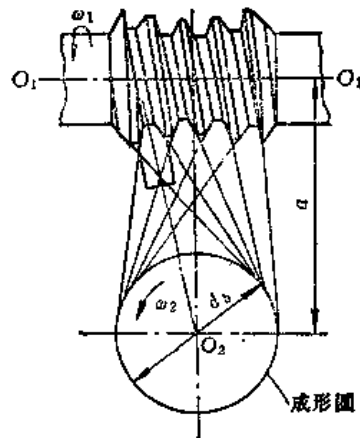


图13-10-4 直廓环面蜗杆的车削

直廓环面蜗杆(TA型)的轴向齿廓为直线，因而可用直刃刀具车削成形，其齿面为不可展的直纹面。见图13-10-5。

若以平面为发生面代替上述发生线，即加工环面蜗杆的刀具用砂轮平面代替直刃刀具，并按上述运动即可包络成平面包络环面蜗杆(TP型)，见图13-10-6。这种成形过程常称作第一次包络，所包络成形的蜗杆齿面为可展曲面。

若包络蜗杆齿形的产形面不是平面，而是渐开面或锥面，则形成渐开面包络环面蜗杆或锥面包络环面蜗杆。

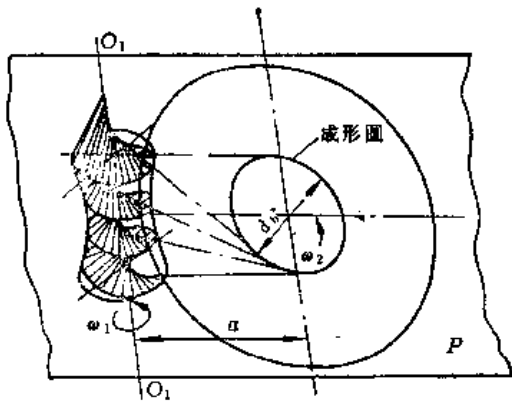


图13-10-5 直齿环面蜗杆成形原理

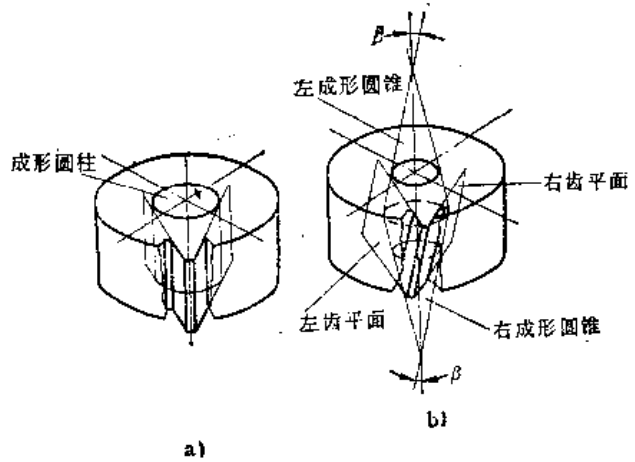


图13-10-7 直齿与斜齿平面蜗轮的成形
a) 直齿平面蜗轮 b) 斜齿平面蜗轮

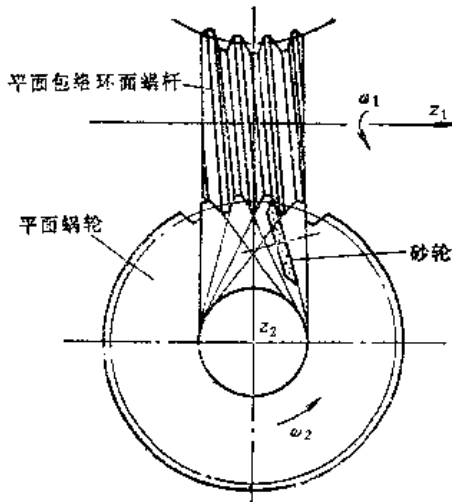


图13-10-6 平面包络蜗轮的成形

以平面为齿形面构成的蜗轮称平面蜗轮，简称P蜗轮。平面蜗轮的齿廓在法平面和端平面上均为直线，其齿平面与蜗轮轴线平行的称为直齿平面蜗轮，其齿平面与蜗轮轴线不平行而倾斜一个 β 角的称为斜齿平面蜗轮。直齿平面蜗轮的齿平面和一个与蜗轮同轴线的圆柱面（成形圆柱面）相切，而斜齿平面蜗轮的齿平面则和一个与蜗轮同轴线的圆锥面（成形圆锥面）相切。见图13-10-7。必须指出，斜齿平面蜗轮的齿面并非螺旋面，而是平面，其齿根圆柱面与齿顶圆柱面和齿平面的交线是椭圆曲线而不是螺旋线。平面蜗轮齿形简单，制造容易，不需要高精度设备和复杂刀具就能加工出精度很高的蜗轮，这是一个突出的优点。

如果以环面蜗杆的齿形曲面再包络加工蜗轮，则可制成包络蜗轮，如平面包络蜗轮（简称TP蜗轮）。这个成形过程称为第二次包络。

环面蜗杆可以和其齿面与蜗杆成形母线或母面相同的蜗轮配对啮合，组成单包络环面蜗杆传动，如平面包络环面蜗杆（TP蜗杆）与平面蜗轮（P蜗轮）组成平面单包络环面蜗杆传动。环面蜗杆与各种包络蜗轮配对啮合，就组成了双包络环面蜗杆传动，如平面包络蜗杆（TP蜗杆）与平面包络蜗轮（TP蜗轮）相啮合，组成平面双包络环面蜗杆传动。见表13-10-1。

包络蜗轮的齿面既与平面蜗轮不相同，又与第一次包络形成的蜗杆齿形曲面（包络蜗轮的齿面）不相同。它的齿面一部分是第一次包络的工具齿面的再现，另一部分是第二次包络过程中所产生的新齿面，这两个曲面使蜗杆传动啮合过程中出现二次接触现象，从而增大了双包络环面蜗杆传动的承载能力。

我国从60年代初开始研制“平面蜗轮副”（即平面单包络环面蜗杆副）用于首钢30吨转炉，到目前已能制造中心距2m多的精密蜗轮副，一齿运动误差达1"，用于天文望远镜。1979年通过国家鉴定的“首钢（SG）-71型蜗杆副”已制成平面双包络环面蜗杆传动装置的系列产品，1985年又制成 $i=5$ 、 $z_1=9$ 的锥面双包络环面蜗杆副。目前，我国已能生产中心距50~1200mm、蜗杆头数1~6的各种

表13-10-1 环面蜗杆传动分类

直廓环面蜗杆传动		平面包络环面蜗杆传动				锥面包络环面蜗杆传动		渐开面包络环面蜗杆传动	
TA-P	TA-TP	TP-P 单包络	TP-TP 双包络	TK-P 单包络	TK-TK 双包络	TI 单包络	TI-TI 双包络		
直廓环面蜗杆 平面蜗轮	直廓环面蜗杆 平面包络蜗轮	平面包络环面蜗杆 平面蜗轮	平面包络环面蜗杆 平面包络蜗轮	锥面包络环面蜗杆 平面蜗轮	锥面包络环面蜗杆 锥面包络蜗轮	渐开面包络环面蜗杆 渐开面齿轮	渐开面包络环面蜗杆 渐开面齿轮		

环面蜗杆减速器，并已应用于冶金、矿山、化工、船舶、精密分度机械等各个行业的设备中。

环面蜗杆传动的特点如下：

1) 承载能力大。环面蜗杆与蜗轮呈包围状啮合，见图13-10-8。同时参加啮合的齿数较圆柱蜗杆传动大大增多，一般可达蜗轮齿数的1/10，而圆柱蜗杆传动一般仅1~3个齿；且环面蜗杆传动啮合呈双线接触，同时，环面蜗杆接触点的诱导曲率半径比圆柱蜗杆传动大1~8倍，大大降低了齿面接触应力的峰值。所以，在相同尺寸下，环面蜗杆传动的承载能力可比圆柱蜗杆传动提高1.5~4倍（中心距越大，提高越显著）。

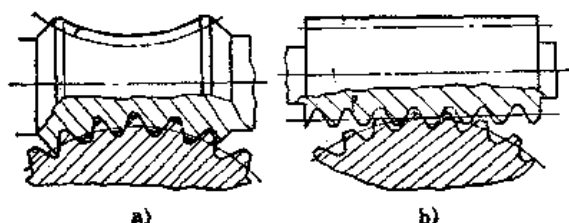


图13-10-8 啮合齿数比较

a) 环面蜗杆传动 b) 圆柱蜗杆传动

图13-10-9是环面蜗杆传动、普通圆柱蜗杆传动、圆弧圆柱蜗杆传动承载能力的比较曲线。从图可见，除100mm以下的小中心距时圆弧圆柱蜗杆传动与环面蜗杆传动相差不多外，环面蜗杆传动的承载能力大大高于普通圆柱蜗杆传动和圆弧圆柱蜗杆传动，并且差值随中心距增大而增大。

2) 传动效率高。环面蜗杆齿面具有良好的啮合性能，其接触线呈直线，而且与齿面间相对滑动速度矢量方向的夹角大，见图13-2-14，一般在60°~80°，合理的参数搭配可使其接近90°（圆柱蜗杆传

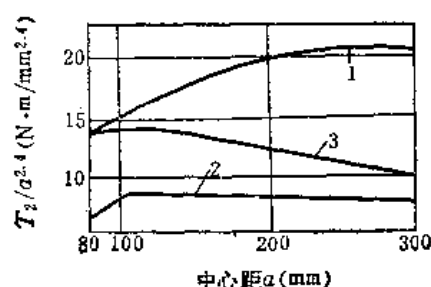


图13-10-9 蜗杆传动承载能力比较

($i=40$, $n_1=1000 \text{ r/min}$)

1—环面蜗杆传动 2—普通圆柱蜗杆传动
3—圆弧圆柱蜗杆传动

动一般在0°~40°)，这使环面蜗杆齿面间动压油膜形成条件好，甚至在低速传动时也能形成良好的油膜，这就大大提高了环面蜗杆的传动效率。

必须指出，由于环面蜗杆传动效率高，一般不能自锁。

3) 易于制造高精度传动副。由于环面蜗杆副同时啮合齿数多，对齿距误差具有很好的平均效果，使其传动的整体误差低于圆柱蜗杆副。从制造工艺来说，也较容易保证精度，尤其是平面蜗轮，齿面为平面，可在一般设备上不用展成法加工，可依靠一定测量手段，用铣、磨分齿加工，逐个修磨轮齿来获得很高的加工精度，机修中常用此法来精化滚齿机分度蜗杆副；而且，由于蜗轮齿面为平面，还具有对轴向安装精度不敏感的优点；对包络蜗轮来说，它直接由蜗杆包络成形，且与之相配的环面蜗杆可用硬齿面磨削加工，在传动比为整数时，经跑合也可制造出很高精度的蜗轮副。

基于以上优点，环面蜗杆传动无论是在动力传动，还是在分度传动中都得到很好的应用，但因

环面蜗杆的制造、检测、安装都较圆柱蜗杆困难； $i < 8$ ， $z_1 > 6$ 时蜗杆齿顶变尖和根切严重；而且由于发展历史还不长，各项理论研究和标准制定、生产检测等都尚待成熟和完善，所以目前应用还不如圆柱蜗杆普遍，仅在高精度分度蜗轮副或大负载动力传动及减速器行业中应用较多。

按环面蜗杆副的类型而言，直廓环面蜗杆副加工工艺装备简单，精度易于保证，可依靠精密分度仪和手工研磨制造出高达3~4级精度的精密蜗杆副，但直廓环面蜗杆在小传动比或蜗杆直径较小时容易发生根切，因此，一般直齿直廓环面蜗杆传动（即 $\beta = 0$ ）仅用于 $i > 60$ 的分度蜗轮副。斜齿直廓环面蜗杆（齿平面倾斜 β 角）随其齿平面倾斜角的增大也可用于 $30 < i < 60$ 的动力传动中，但推荐在传动比较小、蜗杆直径较小时，不采用直廓环面蜗杆传动。平面单包络蜗杆副可用低精度机床加工出高精度的蜗杆副，蜗杆由砂轮平面包络成形（见图13-10-5）。单头蜗杆与平面蜗轮配对，制成平面单包络精密分度环面蜗杆副，可用于提高滚齿机精

度和研制高精度蜗轮母机。双包络环面蜗杆副由于保证了蜗轮滚刀与环面蜗杆的一致性，因而能制造出精度高、啮合性能优于单包络的环面蜗杆副，但需专用蜗轮滚刀和工艺装备，单件小批生产经济性较差。渐开面包络环面蜗杆副的蜗轮可直接使用普通渐开线圆柱齿轮，因而加工十分方便，容易制造出精度较高的硬齿面齿轮，蜗杆也可在滚齿机上用插齿刀切制，采用青铜蜗杆与之配对，用于动力传动和精密分度传动，大大优于普通圆柱蜗杆副。锥面包络环面蜗杆可用锥砂轮磨削成形，使双包络滚刀也较容易制造，锥面包络环面蜗杆常与齿面为滚针轴承组合成的蜗轮配对，用于传递间歇运动的机构中代替马氏机构。

(三) 环面蜗杆传动的几何计算

1. 直廓环面蜗杆传动的几何计算

2. 平面包络环面蜗杆传动的几何计算

平面包络环面蜗杆传动的几何计算见表13-10-3并参看图13-10-10。

表13-10-2 直廓环面蜗杆传动几何计算表（参看图13-10-1）

序号	原求参数	代号	计 算 公 式	备注
1	中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$	参考本节(四)
2	蜗杆齿数	z_1	$z_1 = \frac{z_2}{i}$	参考本节(四)
3	蜗轮齿数	z_2	$z_2 = z_1 i$	参考本节(四)
4	传动比	i	$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}$	参考本节(四)
5	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = 2a - d_2$ 或 $\approx 0.68a^{0.875}$	
6	蜗轮分度圆直径	d_2	$d_2 = m_f z_2$	
7	蜗轮端面模数	m_f	$m_f = \frac{d_2}{z_2}$	
8	径向间隙	c	$c = (0.16 \sim 0.2)m_f$	
9	齿顶高	h_a	$h_a = h_a^* m_f$ ($h_a^* \approx 0.7$)	
10	齿根高	h_f	$h_f = h_a + c$	
11	全齿高	h	$h = h_a + h_f$	
12	蜗杆喉部齿顶圆直径	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2h_a$	参考本节(四)
13	蜗杆喉部齿根圆直径	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 - 2h_f$	
14	蜗杆齿顶环面半径	R_{a1}	$R_{a1} = a - 0.5d_{a1}$	
15	蜗杆齿根环面半径	R_{f1}	$R_{f1} = a - 0.5d_{f1}$	

(续)

序号	所求参数	代号	计算公式	备注
16	蜗轮分度圆压力角	α	在 $20^\circ \sim 25^\circ$ 间 初取 $\begin{cases} i \geq 16 & \alpha = 22^\circ \\ i < 16 & \alpha = 20^\circ \end{cases}$ 再计算确定, 详见本节(四)	
17	蜗轮成形圆直径	d_b	$d_b = d_2 \sin \alpha$	参考本节(四)
18	齿距角	τ	$\tau = \frac{360^\circ}{z_2}$	
19	蜗杆包围蜗轮齿数	z'	$z' = \frac{z_2}{10}$ $z_2 \leq 60$ 圆整 $z_2 > 60$ 取整数部分	参考本节(四)
20	蜗杆工作半角	φ_w	$\varphi_w = 0.5 \tau (z' - 0.45)$	
21	工作起始角	φ_0	$\varphi_0 = \alpha - \varphi_w$	
22	蜗杆喉部分度圆导程角	γ	$\gamma = \arctg \frac{d_2}{d_1} = \arctg \frac{z_2 m_f}{d_1}$	
23	蜗轮齿平面倾斜角	β	$\beta = \arctg (\cos \alpha \operatorname{tg} \gamma)$	参考本节(四)
24	蜗杆齿宽	b_1	$b_1 = d_2 \sin \varphi_w$	
25	蜗杆最大齿顶圆直径	d_{a1max}	$d_{a1max} = 2[\alpha - \sqrt{R_{a1}^2 - (0.5b_1)^2}]$	
26	蜗杆外径处磨带宽度	δ	$\delta = m_f$ 或 $\delta = 1.1m_f$	
27	蜗杆最大齿根圆直径	d_{f1max}	$d_{f1max} = 2[\alpha - \sqrt{R_{f1}^2 - (0.5b_1)^2}]$ $b_1 = b_1 + 2\delta + 1.4h$	
28	蜗杆台肩直径	d_T	$d_T \leq d_{f1}$	
29	蜗轮齿槽半角(蜗杆齿形角)	α_1	$\alpha_1 = \alpha + 0.225 \tau$	
30	蜗轮齿形角	α_2	$\alpha_2 = \alpha - 0.275 \tau$	
31	蜗轮齿顶圆直径	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2h_a$	
32	蜗轮齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 - 2h_f$	
33	蜗轮齿宽	b_2	$b_2 = (0.8 \sim 1)d_1$	
34	蜗杆法向齿厚	s_1	$s_1 = 0.45 p$	
35	蜗轮法向齿厚	s_2	$s_2 = 0.55 p$	
36	蜗杆法向弦齿厚	\bar{s}_{a1}	$\bar{s}_{a1} = d_2 \sin(0.225 \tau) \cos \gamma - \Delta s_{a1}$	参考本节(五)
37	蜗杆弦齿高	\bar{h}_{a1}	$\bar{h}_{a1} = h_a - 0.5d_2[1 - \cos(0.225 \tau)]$	
38	蜗轮法向弦齿厚	\bar{s}_{a2}	$\bar{s}_{a2} = d_2 \sin(0.275 \tau) \cos \beta$	
39	蜗轮弦齿高	\bar{h}_{a2}	$\bar{h}_{a2} = h_a + 0.5d_2[1 - \cos(0.275 \tau)]$	
40	修形计算		见本节(五)	

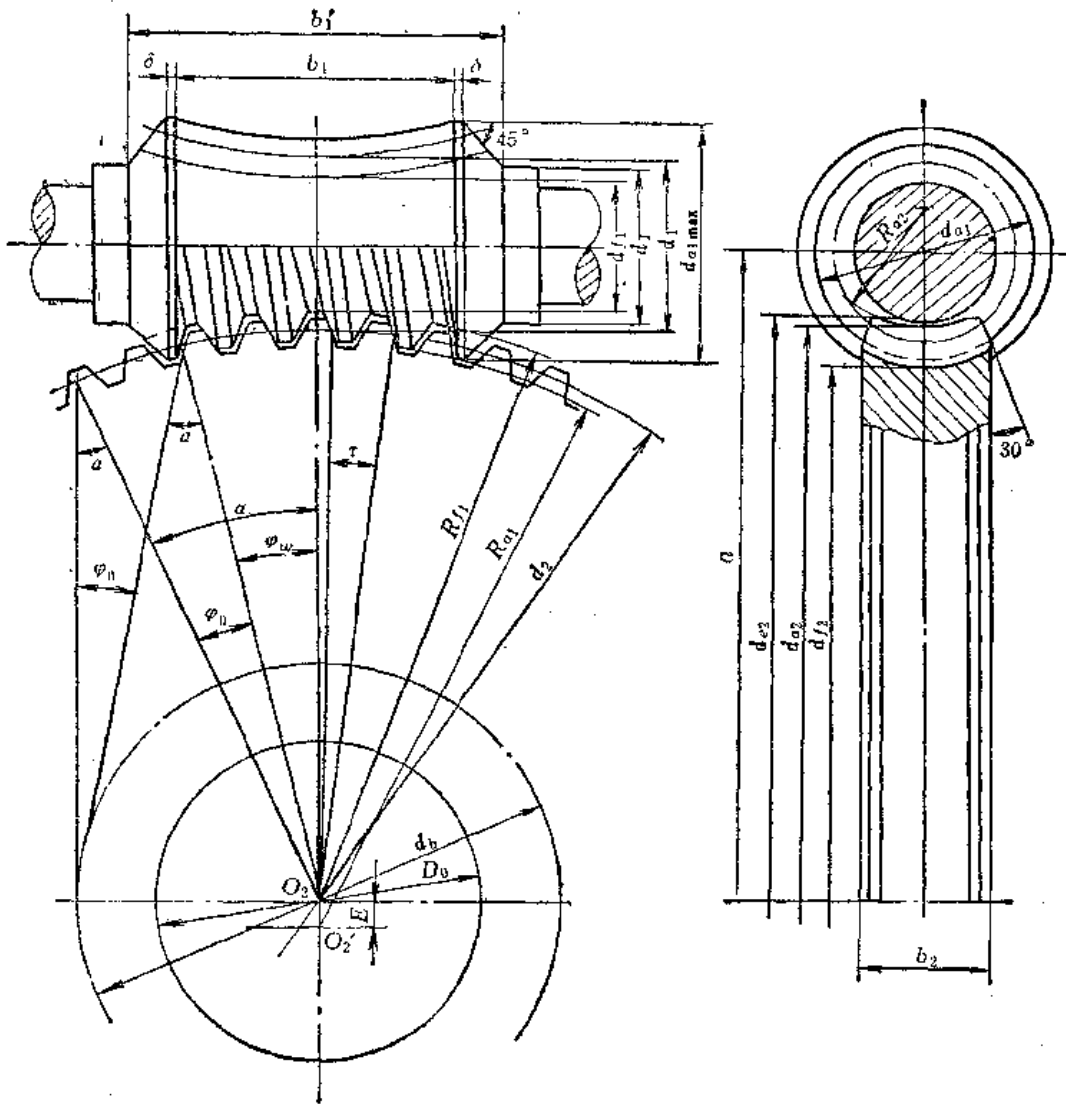


图13-10-10 平面包络环面蜗杆传动工作图

表13-10-3 平面包络环面蜗杆传动几何计算表

序号	所求参数	代号	计算公式	注
1	中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$	表13-10-4
2	传动比	i	$i = \frac{z_2}{z_1}$	表13-10-5
3	蜗杆齿数	z_1	$z_1 = \frac{z_2}{i}$	
4	蜗轮齿数	z_2	$z_2 = z_1 \cdot i$	≤ 30

(续)

序号	所求参数	代号	计 算 公 式	注
5	蜗杆分度圆直径	d_1	$d_1 = 2a - d_2 = d_{a1} - 2A_a$ 取值按： $\left. \begin{array}{l} \text{当 } i > 25 \quad d_1 \approx \frac{a^{0.875}}{1.5} \\ i = 12.5 \sim 25 \quad d_1 \approx \frac{a^{0.875}}{1.35} \end{array} \right\}$	圆整为整数 参看本节(图)

序号	所求参数	代号	计算公式	注								
31	蜗杆最大根圆直径	d_{f1max}	$d_{f1max} = 2[a - \sqrt{R_{f1}^2 - (0.5b_1)^2}]$ $b_1 = b_1 + 2\delta + 1.4h$									
32	蜗杆台肩轴径	d_T	$d_T \leq d_{f1}$									
33	蜗轮齿形半角 (蜗杆齿形角)	α_1	$\alpha_1 = \alpha + 0.225\tau$									
34	蜗轮齿形角	α_2	$\alpha_2 = \alpha - 0.275\tau$									
35	蜗轮喉圆半径	R_{a2}	$R_{a2} = 0.53d_{f1max}$ 或 $= \frac{a}{\cos\phi_w} - 0.5d_{a2}$	取整数加1圆整								
36	蜗轮齿距	p	$p = m_t\pi$									
37	蜗轮分度圆齿厚	s_2	$s_2 = 0.55p$ (第二次包络不计算加工中以 j_n 控制)									
38	齿侧间隙	j_n	根据工作条件查表选取	表13-10-23								
39	蜗杆分度圆齿厚	s_1	$s_1 = p - s_2 - j_n$									
40	轮齿母平面倾斜角	β	平面二次包络蜗杆传动 $\beta = \arctg \left[\frac{\cos(\alpha + \Delta) \frac{d_2}{2a} \cos\alpha}{\cos(\alpha + \Delta) - \frac{d_2}{2a} \cos\alpha} \frac{1}{i} \right]$ $\Delta \text{ 值:}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>i</td> <td><12.5</td> <td>$12.5 \sim 30$</td> <td>>30</td> </tr> <tr> <td>Δ</td> <td>$1^\circ \sim 4^\circ$</td> <td>6°</td> <td>8°</td> </tr> </table>	i	<12.5	$12.5 \sim 30$	>30	Δ	$1^\circ \sim 4^\circ$	6°	8°	$\beta < 10'$ 时 圆整至 $10'$
			i	<12.5	$12.5 \sim 30$	>30						
Δ	$1^\circ \sim 4^\circ$	6°	8°									
平面一次包络蜗杆	$\beta = \arctg(\tg\gamma \cos\alpha)$											
41	蜗杆分度圆法向弦齿厚	\bar{s}_{n1}	$\bar{s}_{n1} = d_2 \sin(0.225\tau) \cos\gamma$									
42	蜗轮分度圆法向弦齿厚	\bar{s}_{n2}	$\bar{s}_{n2} = d_2 \sin(0.275\tau) \cos\beta$									
43	蜗杆弦齿高	\bar{h}_{a1}	$\bar{h}_{a1} = h_a - 0.5d_2[1 - \cos(0.225\tau)]$									
44	蜗轮弦齿高	\bar{h}_{a2}	$\bar{h}_{a2} = h_a + 0.5d_2[1 - \cos(0.275\tau)]$									
45	蜗杆入口修缘值	Δf_r	按表13-10-15选取									
46	蜗杆入口修缘长度	L_r	按表13-10-16选取									
47	蜗杆出口修缘值	Δf_e	按表13-10-15选取									
48	蜗杆出口修缘长度	L_e	按表13-10-16选取									
49	变位计算		见本节(四)									

① 为避免蜗杆齿顶变尖, 在加工蜗杆毛坯时, 有时将齿顶圆环面半径增加一个偏心距 E 。

(四) 基本参数选择

几何参数选择要考虑的主要因素是：保证蜗杆副具有足够的强度和刚度、良好的啮合性能、合理经济的加工工艺性。

1. 中心距 a

中心距 a 要根据承载能力计算结果和设计给定的传动比 i 、蜗杆转速 n_1 等原始参数来决定，可由图13-10-26、13-10-27按插入法查得一个初值，再按标准系列数值（表13-10-4）选取。

2. 传动比 i

与中心距的选取原则相同，传动比 i 也应尽量按标准化原则确定，不能标准化时取整数以利于传动中跑合，尤其是对低于6级精度的动力蜗杆副，推荐选取整数传动比。数值推荐按表13-10-5。

3. 蜗杆齿数 z_1 、蜗轮齿数 z_2 及蜗杆包围蜗轮齿数 z'

环面蜗杆蜗轮齿数选择原则是在满足传动比 i 、中心距 a 的设计要求的前提下，尽可能选择工艺性好的参数值。对于精密分度传动，蜗杆齿数 z_1 最好选择单头，即 $z_1 = 1$ ，以便于保证蜗杆的精度。不得已时，一般也不应超过4， $z_2 = iz_1$ ，但 z_2 最好不是 z_1 的整倍数。对于动力传动，蜗杆头数也应尽可能取单头，因多头蜗杆加工困难。蜗轮齿数 z_2 过少会造成模数过大， z_2 过多会引起蜗杆头数增加，致使蜗杆制造困难，成本提高，因此推荐小中心距时 z_2 取小值，大中心距时 z_2 取大值。表13-10-6推荐了标准参数传动的 a 、 i 、 z_1 、 z_2 的措

取值。

非标准的蜗轮齿数推荐按表13-10-7选取。

蜗杆包围蜗轮的齿数 z' 直接影响起始啮合角 φ_0 和工作半角 φ_0' 的大小。 φ_0 过小会使进入啮合端的接触线与相对滑动速度矢量的夹角变小，不利于油楔的形成；而 φ_0 过大，将使啮合区缩小，降低承载能力，故推荐 $3^\circ < \varphi_0 < 8^\circ$ ，取 $z' = \frac{z_2}{10}$ 一般能满足此条件。在用公法线长度测量齿厚时：

$$\varphi_0 = \frac{1}{2} \tau (z'_2 - z') \quad (13-10-1)$$

式中 τ —— 齿距角；

z'_2 —— 公法线跨测齿数。

推荐 $z' = z'_2 - (0.5 \sim 2)$ 。在 z' 初定后用式(13-10-1)计算 φ_0 。只有当 φ_0 满足推荐值后， z' 方可确定下来。

4. 蜗杆喉部分度圆直径 d_1

d_1 值的选择与蜗杆的承载能力、传动效率、轮齿的根切和齿顶变尖有关， d_1 值增大可提高蜗杆承载能力，但因减小了蜗杆分度圆螺旋角而使传动效率降低。 d_1 增大可减少根切，但使齿顶变尖，故推荐 d_1 数值范围按传动比 i 、中心距 a 来选取，见表13-10-9。

d_1 的计算数值按表13-10-3的公式求得。

5. 蜗杆喉部顶圆直径 d_{a1}

蜗杆喉部尺寸是影响环面蜗杆传动承载能力和传动效率的重要因素。为了有利于实现标准化、通

表13-10-4 中心距 a 系列

(mm)

第一系列	63	80	100	125	160	200	250	315
第二系列				140	180	225	280	360
第一系列	400	500	630	800	1000	1250	1600	
第二系列	450	560	710	900	1120	1400		

注：表中第一系列为优先系列。

表13-10-5 公称传动比 i 系列

第一系列	8	10	12.5	16	20	25
第二系列	9	11.2	14	18	22.5	
第一系列	31.5	40	50	63	80	
第二系列	28	35.5	45	56	71	90

注：应优先选用第一系列。

表13-10-6 公称传动比*i*、蜗轮齿数*z*₂、蜗杆头数*z*₁

公称传动比 <i>i</i>	中 心 距 <i>a</i> (mm)							
	80~320		>320~630		>630~1000		>1000~1600	
	<i>z</i> ₂ / <i>z</i> ₁							
	A	B	A	B	A	B	A	B
8	—	32/4	—	48/6	—	—	—	—
10		40/4		40/4		80/8		80/8
12.5	38/3或49/4	36/3或48/4	49/4	48/4	63/5	65/5	74/6	72/6
(14)	41/3	42/3	55/4	56/4	71/5	70/5	71/5	70/5
16	49/3	48/3	49/3	48/3	63/4	64/4	79/5	80/5
(18)	37/2或56/3	36/2或54/3	56/3	54/3	71/4	72/4	71/4	72/4
20	41/2	40/2	41/2或61/3	40/2或60/2	61/3	60/3	79/4	80/4
(22.5)	45/2	46/2	45/2或67/3	46/2或66/3	67/3	66/3	91/4	92/4
25	49/2	50/2	49/2	50/2	74/3	75/3	74/3	75/3
(28)	55/2	56/2	55/2	56/2	83/3	84/3	83/3	84/3
31.5	63/2	64/2	63/2	64/2	63/2	64/2	91/3	93/3
(35.5)	36/1	36/1	36/1或71/2	36/1或72/2	71/2	72/2	71/2	72/2
40	40/1	40/1	40/1	40/1	79/2	80/2	79/2	80/2
(45)	45/1	45/1	45/1	45/1	91/2	90/2	91/2	90/2
50	50/1	50/1	50/1	50/1	(50/1)	(50/1)	(50/1)	(50/1)
(56)	56/1	56/1	50/1	56/1	(56/1)	(56/1)	(56/1)	(56/1)
63	63/1	63/1	63/1	63/1	63/1	63/1	(63/1)	(63/1)
(71)	—	—	71/1	71/1	71/1	71/1	71/1	71/1
80	—	—	—	—	79/1	80/1	79/1	80/1
(90)					91/1	91/1	91/1	91/1

- 注：1. 括号内的传动比*i*和*z*₂/*z*₁值尽可能不用。
 2. 表中B组*z*₂/*z*₁值以整数倍给出时，适用于变参数修形并采用滚刀加工蜗轮，其啮合特性较好。工艺要求不能采用整数倍时，可以选用A组*z*₂/*z*₁值。
 3. 传动比推荐10、20、40为重点。
 4. 在生产条件不能采用整数*i*时，可用31、41、49、63、73、79、97代替32、40、48、64、72、80、96等数值。

表13-10-7 蜗轮齿数*z*₂

中心距 <i>a</i> (mm)	80~320	>320~630	>630~1000	>1000~1600
蜗轮齿数 <i>z</i> ₂	30~64	36~80	40~91	50~93

表13-10-8 蜗杆包围蜗轮齿数*z*'

<i>z</i> ₂	30~35		36~42	45~50	54~67	70~80	93
<i>z</i> '	<i>z</i> ₁ = 1	<i>z</i> ₁ ≥ 2	4	5	6	7	8
	3	3.5					

表13-10-9 蜗杆分度圆直径 d_1

传动比 i	≤ 10	10~20	20~35	≥ 35
蜗杆分度圆直径 d_1	$(0.48\sim 0.4) a$	$(0.4\sim 0.36) a$	$(0.36\sim 0.33) a$	$(0.33\sim 0.3) a$

注: 1. a ——中心距 (mm)。

2. 当 a 较小时, 括号内取较大值; 当 a 较大时, 括号内取较小值。

用化、系列化要求, 在保证环面蜗杆强度条件的条件下, 推荐按中心距将环面蜗杆喉部顶圆 d_{a1} 尺寸标准化 (见表13-10-10), 一个中心距对应一个 d_{a1} 尺寸, 使环面蜗杆毛坯减少, 有利于环面蜗杆加工工艺装备的通用化, 以降低制造成本 缩短加工周期。表中 $d_{a1} = (0.4\sim 0.5) a$ (传动比小时取大值), 在非标准设计中可在对比表13-10-10之后尽量靠近表13-10-10的数值选取 d_{a1} , 如 $a = 180\text{mm}$, $i \geq 8$ 时, 取 $d_{a1} = 80\text{mm}$ 。为实现一个中心距只对应一个蜗杆毛坯尺寸, 须将蜗杆毛坯尺寸——最大外径 $d_{a1\text{max}}$ 、蜗杆齿宽 b_1 及齿顶圆弧半径 R_{a1} 等作相应的搭配, 见表13-10-10。

6. 蜗轮端面模数 m_t

环面蜗杆传动的蜗轮和蜗杆在加工制造中刀具与模数关系不大, 因此 m_t 值可不作标准化选择, 但为计算方便, 应尽量取整数。

7. 蜗轮齿平面倾角 β

蜗轮齿平面倾角 β 大小的选择与蜗杆的根切、齿顶变尖和环面蜗杆传动的啮合性能有密切关系。增大 β 角可减少根切, 尤其在传动比小时效果明

显。 β 角取较大值还可改善啮合接触线的分布状态和扩大接触线区域, 有利于齿面润滑取得良好的啮合性能, 从而有利于提高环面蜗杆传动的承载能力和传动效率, 因此推荐取较大的 β 角, 但 β 角的增大受到蜗杆齿顶变尖的限制, 同时 β 过大也引起接触线与滑动速度矢量夹角变小。图13-10-11为蜗杆根切和齿顶变尖与 β/γ 的关系曲线图。

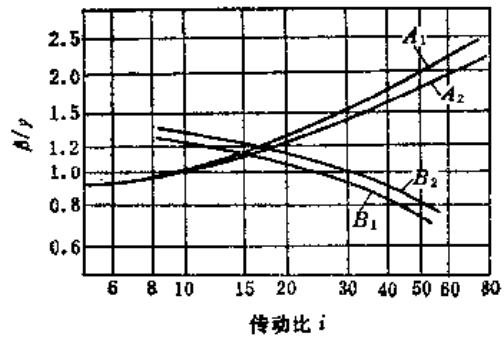


图13-10-11 β 极限曲线

A_1, B_1 — $a \leq 200\text{mm}$ 平面蜗轮齿顶变尖、根切极限
 A_2, B_2 — $a > 200\text{mm}$ 平面蜗轮齿顶变尖、根切极限

β 角的选择最好以表13-10-3平面包络环面蜗

表13-10-10 直廓环面蜗杆传动几何参数搭配推荐值

(mm)

a	d_{a1}	b_2	$d_{a1\text{max}}$	b'_1	b_1	R_{a1}	d_0
40	20	11	28.21	22	20	32	25
50	25	14	29.00	28	25	40	32
63	32	18	37.25	36	32	50	40
80	36	22	42.31	45	40	65	50
100	45	28	52.91	56	50	81	63
125	56	36	65.97	70	63	102	80
160	71	45	83.94	90	81	130	100
200	80	50	96.60	113	104	167	125
250	100	71	120.73	141	130	209	160
315	125	90	151.12	178	164	264	200
400	160	100	193.10	225	208	335	250
500	200	112	241.25	280	260	420	315
630	250	140	302.02	355	328	530	400
800	315	180	382.31	440	420	672	500
1000	400	225	482.50	550	520	840	630
1250	500	280	603.13	685	650	1050	800
1600	630	355	761.25	875	830	1345	1000

杆传动几何计算表中第40项的计算值为依据, 参考图13-10-11来考虑取值。

8. 成形圆直径 d_s

参数 d_s 是平面蜗轮蜗杆制造和检验的基准, 与分度圆压力角 α 直接相关, 对蜗杆传动的受力情况和啮合性能都有较大影响。 d_s 的取值按公式 $d_s = d_2 \sin \alpha$ 计算, 然后选取 d_s 标准化系列中较接近的数值, 以便制造和检验的标准化通用化。

成形圆 d_s 推荐系列见表13-10-11。

一般设计中为方便平面蜗轮的制造和测量, 常使相隔 z_2 的两齿异侧齿面相互平行, 此时 d_s 与公法线长度 W 关系:

$$d_s = W \quad (\text{直齿平面蜗轮}) \quad (13-10-2)$$

$$d_s = \frac{W}{\cos \beta} \quad (\text{斜齿平面蜗轮}) \quad (13-10-3)$$

参看图13-10-12。

表13-10-11 成形圆 d_s 推荐系列

40	50	63	80	90	100	112	125	140	160	180	200
225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	

注: 表中数值依据 $d_s \approx 0.625 \alpha$ 而得。

表13-10-12 环面蜗杆传动尺寸参数表

(mm)

中心距 a	第一系列								第二系列								成形圆直径 d_s	
	蜗轮顶圆直径 d_{a2}	蜗轮齿宽 b_2	蜗轮齿顶圆半径 R_{a2}	蜗轮最大顶圆直径 d_{a2max}	蜗轮齿圈内孔直径 D_0				蜗轮顶圆直径 d_{a2}	蜗轮齿宽 b_2	蜗轮齿顶圆半径 R_{a2}	蜗轮最大顶圆直径 d_{a2max}	蜗轮齿圈内孔直径 D_0					
					蜗轮齿数 z_2								蜗轮齿数 z_2					
					35~45	46~72	50~63	64~94					35~45	46~72	50~63	64~94		
80	133	21	30	135	105	105	—	—	124	30	25	130	95	95	—	—	50	56
100	170	24	25	172	135	135	—	—	160	34	30	165	125	130	—	—	63	70
125	215	28	30	217	170	170	—	—	205	38	35	210	160	165	—	—	80	90
(140)	242	31	30	245	190	195	—	—	230	42	40	235	180	185	—	—	90	100
160	278	34	35	280	215	220	—	—	265	46	40	270	210	215	—	—	100	112
(180)	312	38	40	315	245	250	—	—	300	50	45	306	235	245	—	—	112	125
200	348	42	45	350	270	280	—	—	335	54	50	342	265	275	—	—	125	140
(225)	392	47	50	395	310	320	—	—	378	60	55	385	295	310	—	—	140	160
250	435	55	55	440	340	355	—	—	420	68	60	430	330	340	—	—	160	180
(280)	490	60	60	495	390	405	—	—	475	75	70	478	370	380	—	—	180	200
320	560	65	70	565	445	460	—	—	540	85	80	550	430	440	—	—	200	225
(360)	630	75	75	635	520	530	—	—	595	95	90	615	490	510	—	—	225	250
400	700	85	85	705	570	590	—	—	670	110	100	685	540	560	—	—	250	280
(450)	790	95	95	798	650	670	—	—	760	120	110	775	620	650	—	—	280	320
500	880	105	105	890	720	740	—	—	840	140	125	855	680	700	—	—	320	360
(550)	980	120	120	990	800	820	—	—	940	150	140	955	760	790	—	—	360	400
630	1100	135	135	1110	900	930	—	—	1060	170	160	1080	860	890	—	—	400	450
(710)	1240	150	150	1255	—	—	1050	1070	1200	190	175	1230	—	—	1000	1030	450	500
800	1400	170	170	1420	—	—	1180	1200	1360	210	190	1390	—	—	1140	1170	500	560
(900)	1580	190	190	1600	—	—	1330	1360	1520	240	220	1560	—	—	1280	1300	560	630
1000	1750	210	215	1770	—	—	1480	1500	1690	260	250	1730	—	—	1420	1450	630	710
(1120)	1970	230	235	2040	—	—	1670	1700	1910	280	260	1950	—	—	1610	1640	710	800
1250	2210	250	255	2240	—	—	1860	1900	2150	300	290	2190	—	—	1800	1840	800	900
(1400)	2480	280	280	2510	—	—	2100	2140	2400	340	325	2450	—	—	2000	2060	900	1000
1500	2850	300	310	2880	—	—	2400	2460	2770	380	360	2830	—	—	2320	2400	1000	1120

注: 1. 一般条件传动的基本参数优先按第一系列选取。

2. 属于下列条件之一的传动按第二系列选取: 低速重载, $i < 12.5$; 工作中经常过载及 $L/a > 2.5$ (L 为两端支承点距离)。

3. 直廓环面蜗杆传动的 d_s 值选取A组; 平面包络环面蜗杆传动的 d_s 值, 当基本参数选用第一系列时, 选取B组; 选用第二系列时, 选取A组。

9. 几个参数的搭配

为减少蜗轮毛坯和刀具的品种与规格，推荐本着标准化系列化通用化原则对下列尺寸参数进行搭配，见表13-10-12。

10. 蜗轮分度圆压力角 α

分度圆压力角决定蜗轮轮齿形状，当用公法线长度来测量齿厚时，相隔 z' 个齿的异侧齿面相互平行，如图13-10-12，两平行平面间的距离即平面蜗轮公法线长度 W 。此时，选择 α 的步骤如下：

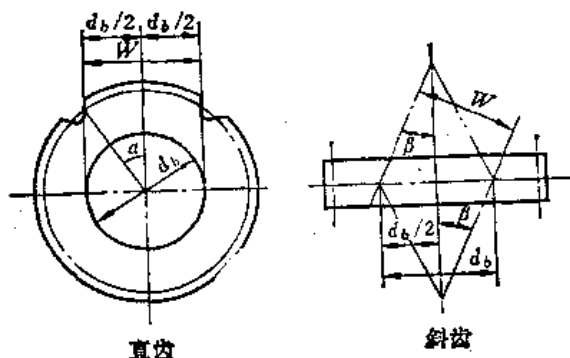


图13-10-12 d_b 与公法线长度 W

1) 初定分度圆压力角 α' ，推荐在 $20^\circ \sim 25^\circ$ 间取值， α 过大，引起齿顶变尖， α 过小，引起包容齿数减少，降低蜗杆传动承载能力，一般取 α' 为 22° 。

2) 计算公法线跨测齿数 z'_2

$$z'_2 = \frac{2\alpha'}{\tau} + 0.45 \quad (13-10-4)$$

3) 将 z'_2 圆整为整数后代入下式，求出 α ：

$$\alpha = \frac{1}{2}(z'_2 - 0.45)\tau \quad (13-10-5)$$

若 α 值不能在 $20^\circ \sim 25^\circ$ 之间，就要将其它参数(如 z_2 、 d_1)作适当调整，重新再确定 α 值。

(五) 环面蜗杆的修形及修缘

1. 直廓环面蜗杆的修形

为了提高直廓环面蜗杆传动的承载能力和传动效率，必须对直廓环面蜗杆轮齿进行修形。在一定的中心距 a 条件下，当切制蜗杆的成形圆的直母线绕蜗杆轴线回转的角速度 ω_1 ，与绕蜗轮轴线回转的角速度 ω_2 的比值等于常数时，所切制成形的直廓环

面蜗杆轮齿截面称为“原始型”，当 ω_1 与 ω_2 之比值不等于常数，而是蜗杆回转角 ω_1 的函数时，所切制成形的环面蜗杆其轮齿截面称作“修正型”。“修正型”是将“原始型”直廓环面蜗杆轮齿从中间向两端逐渐减薄而成的。近于“原始型”蜗杆磨损后的形状，其轮齿与分度圆柱相切的截面展开如图13-10-13。由于轮齿的修正能扩大啮合接触区，从而提高了蜗杆传动承载能力和传动效率。在目前工业生产中，由于原始型传动存在蜗轮齿宽中央棱线接触，使蜗杆传动承载能力大大降低，因而环面蜗杆的“修正型”传动已逐渐代替了“原始型”传动，只在大尺寸的直廓环面蜗杆传动中，还保留采用蜗杆入口，出口两端倒坡的“原始型”，这种倒坡是将入口和出口齿面各磨削一个斜坡，其修形示意图见图13-10-14。图中倒坡修形量 Δs 数值的推荐见表13-10-13。

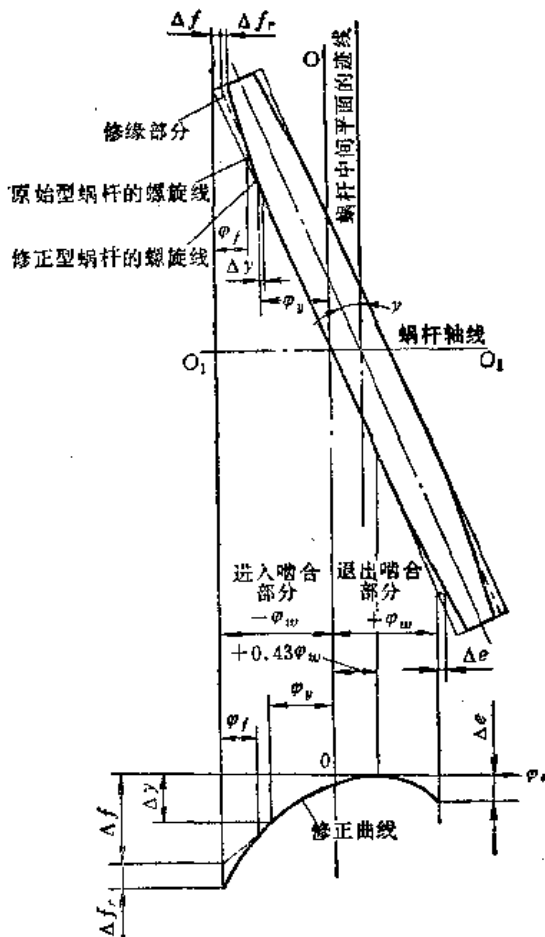


图13-10-13 环面蜗杆修缘修形截面展开

“修正型”传动有多种，目前采用较多的是，近似抛物线的变参数修形、抛物线修形、数控修形。

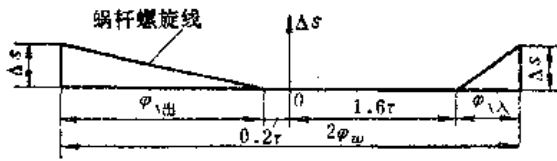


图13-10-14 直廓环面蜗杆轮齿倒坡示意

其中，抛物线修形常称作“全修正型”。“全修正型”环面蜗杆的轮齿修形曲线的特征是没有拐点，极值点的对应角度值等于 $+0.43\varphi_w$ （见图13-10-13）。修形曲线按抛物线方程确定：

$$\Delta y = \Delta f \left(0.3 - 0.7 \frac{\varphi_y}{\varphi_w} \right)^2 \quad (13-10-6)$$

式中 Δf ——啮入口修形量，见表13-10-13；

表13-10-13 直廓环面蜗杆倒坡修形量 Δs (mm)

中心距 a	80	100	125	160	200	250	315	400	500
倒坡量 Δs	0.20	0.25	0.28	0.32	0.40	0.45	0.50	0.56	0.63
中心距 a	630	800	1000	1250	1600	—	—	—	—
倒坡量 Δs	0.71	0.80	1.00	1.25	1.60	—	—	—	—

表13-10-14 直廓环面蜗杆变参数修形计算表

序号	名称	代号	公 式	备 注
1	蜗杆螺牙啮入口修形量	Δf	$\Delta f = (0.0003 + 0.000034 i) a$	
2	蜗杆螺牙啮出口修形量	Δe	$\Delta e = 0.16 \Delta f$	
3	变参数修形传动比	i_0	$i_0 = \frac{id_2}{d_2 - 65 \Delta f} = \frac{z_{20}}{z_1}$	z_{20} 圆整成不被 z_1 整除的整数
4	变参数修形传动比增量系数	K_i	$K_i = \frac{i_0 - i}{i_0}$	
5	变参数修形中心距	a_0	$a_0 = a + \frac{K_i d_2}{1.9 - 2K_i}$	圆整到小数一位
6	变参数修形形成圆直径	d_{b_0}	$d_{b_0} = d_b$	适用于采用滚刀加工蜗轮
			$d_{b_0} = d_b + 2(a_0 - a) \sin \alpha$	适用于采用飞刀加工蜗轮
7	蜗杆螺牙入口修缘量	Δf_r	$\Delta f_r = 0.6 \Delta f$	
8	修缘长度对应角度值	φ_f	$\varphi_f = 0.6 \tau$	
9	入口修缘时中心距再增加值	$\Delta a'$	$\Delta a' = \frac{\Delta f_r}{\operatorname{tg}(\varphi_f + \alpha - \varphi_w) - \operatorname{tg}(\alpha - \varphi_w)}$	
10	入口修缘时蜗杆轴向偏移值	Δx	$\Delta x = \Delta f_r \operatorname{tg}(\varphi_f + \alpha - \varphi_w)$	
11	蜗杆齿根圆弧半径	R_{f1_0}	$R_{f1_0} = a_0 - 0.5 d_{f1}$	
12	蜗杆齿顶圆弧半径	R_{a1_0}	$R_{a1_0} = a_0 - 0.5 d_{a1}$	
13	全修形时蜗杆弦齿厚减少值	$\Delta \bar{s}_{a1}$	$\Delta \bar{s}_{a1} = 2 \Delta f \left(0.3 - \frac{50.4}{z_2 \varphi_w} \right)^2 \cos \gamma$	中心距 $a > 400 \text{ mm}$
			$\Delta \bar{s}_{a1} = 2 \Delta f \left(0.3 - \frac{56.7}{z_2 \varphi_w} \right)^2 \cos \gamma$	中心距 $a < 400 \text{ mm}$

φ_y ——用来确定修形量的角度值；

φ_w ——蜗杆工作半角。

“全修正型”环面蜗杆的实现需在一般设备上增添专用装置或使用专用机床，给应用带来困难，为此产生了一种与“全修正型”近似的“变参数修形”，它是在增大中心距和成形圆直径及改变传动比的情况下，对“原始型”环面蜗杆进行修形而获得的，即将设计参数 a 、 i 和 d_0 改变成 a_0 、 i_0 和 d_{00} ，加工蜗杆及滚刀，再用这种滚刀在 a_0 、 i_0 、 d_{00} 情况下加工蜗轮，其修形曲线接近“全修正型”。这种修形简便、不需专用设备，合理搭配加工参数仍可获得较好的接触线分布，达到提高承载能力和传动效率的目的。

变参数修形计算见表13-10-14。

2. 平面包络蜗杆的修缘

为消除平面包络蜗杆在啮合传动中，由载荷作用引起的弹性变形所造成的在啮入口和啮出口的冲击、刮削等不正常啮合，需对平面包络蜗杆进行啮入口和啮出口的修缘。经修缘后的蜗杆，啮合性能得到改善，能平稳地进入啮合和退出啮合，避免冲击，减缓失效，改善润滑条件，并使安装变得方便。

平面包络蜗杆的修缘值及修缘长度见表13-10-15和表13-10-16。

还有一种简单的方法是在蜗杆齿端倒坡，即将环面蜗杆入口和出口的齿面各磨削一个斜坡。倒坡

对的计算如下：

入口端倒坡量 $\Delta j_r = (1.8 + 0.2i_{12})\alpha \times 10^{-4}$ ，倒坡长度 $L_{j_r} = \pi d_1 / 3z_1$

出口端倒坡量 $\Delta j_e = 0.7\Delta j_r$ ，倒坡长度 $L_{j_e} = L_{j_r}$

平面包络蜗杆不需要进行修形。

(六) 环面蜗杆传动的变位

各种环面蜗杆的双包络传动都包含两次包络成形运动，第一次包络运动是用代替蜗轮齿面的工具齿面包络成形环面蜗杆，如平面齿轮包络环面蜗杆的运动。第二次包络运动是从所包络成形的环面蜗杆齿面作为蜗轮滚刀的齿面再去包络成形蜗轮，但实际加工中，两次包络运动很难保证完全一致。有时出于一定的目的，如减少刀具品种、避免根切等，有意改变第一次包络运动的参数值，使之与第二次包络运动的参数值不一致，包络加工出变位环面蜗杆，并以此作滚刀包络出蜗轮。这种加工方法叫作环面蜗杆传动的变位，只用在平面蜗轮包络成形环面蜗杆的过程中，也即只用在第一次包络运动中。

平面包络环面蜗杆的变位可分为：

1) 径向变位：第一次包络的中心距 a_0 ，第二次包络的中心距 a ，使 $a_0 \neq a$ ，中心距增量 $\Delta a = a_0 - a$ ， $\Delta a > 0$ 为正变位； $\Delta a < 0$ 为负变位。

径向变位又可分为两种情况：变传动比 ($z_0 \neq$

表13-10-15 平面包络环面蜗杆的修缘值

(mm)

传动比	中 心 距 a						
	50~125	140~200	225~320	360~500	560~800	900~1250	1400~1600
	蜗 杆 啮 入 口 修 缘 值 Δf_r						
5~22.4	0.2	0.25	0.3	0.4	0.55	0.7	0.85
25~40	0.25	0.3	0.4	0.55	0.7	0.85	1.0
45~63	0.3	0.4	0.55	0.7	0.85	1.0	1.2
71~90	0.4	0.55	0.7	0.85	1.0	1.2	1.4

注：蜗杆啮出口修缘值 $\Delta f_e = \frac{2}{3} \Delta f_r$ 。

表13-10-16 平面包络环面蜗杆的修缘长度

蜗杆包围蜗轮齿数 z'	3、3.5	4	5	6	7	8
啮入口修缘长度 L_r	$p/2$	$p/2$	$2p/3$	$2p/3$	p	p
啮出口修缘长度 L_e	$p/3$	$p/2$	$p/2$	$2p/3$	$3p/4$	p

注：表中 p ——蜗轮齿距 (mm)。

z_2); 不变传动比 ($\tau_0 = z_2$)。

变传动比变位中刀具齿轮齿数变为

$$z_0 = (i + \Delta i) z_1 = i z_1 + \Delta z$$

不变传动比 $\tau_0 = z_2$ 时, 径向变位系数 $x = \frac{\Delta a}{m_1}$

2) 轴向变位: 使第一次包络时, 刀具齿轮沿蜗杆轴向平移一个距离 Δb , 以改善蜗杆入口、出口的齿形。轴向变位系数 $\varepsilon = \frac{\Delta b}{m_1}$

实际应用中, 常常是这几种变位方法的组合, 即混合变位。

各种变位传动见图13-10-15。

变位传动给环面蜗杆的加工带来方便, 使工艺灵活性更大, 如可用一把滚刀制造中心距或传动比相近, 但并不相等的蜗轮; 又如为提高环面蜗杆及滚刀的制造精度, 可将刀具齿轮和蜗杆的传动比设计为非整数的变位传动比, 但 Δi 最好为正值, 且不宜太大, 因传动比的变位引起蜗轮齿面强度降低。

总的说来, 环面蜗杆的各种变位系数的增大对传动啮合性能是不利的。环面蜗杆第一次包络变位的几何计算见表13-10-17。

表13-10-17 第一次包络变位的几何计算

序号	所求参数	代号	计算公式	备注
1	传动比增量	Δi	$\frac{1}{z_1} \Delta i \geq 0$	
2	径向变位系数	x	$0 \geq x \geq -0.05$	
3	轴向变位系数	ε	$0.05 \geq \varepsilon \geq 0$	
4	中心距	a_0	$a_0 = a + (x + 0.5\Delta i z_1) m_1$	
5	传动比	i_0	$i_0 = i + \Delta i$	
6	轴向变位量	Δb	$\Delta b = \varepsilon m_1$	
7	刀具齿轮分度圆直径	d_{02}	$d_{02} = d_2 + \Delta d = d_2 + (2x + \Delta i z_1) m_1$	
8	刀具齿轮外圆直径	d_{0a2}	$d_{0a2} = d_{a2} + \Delta d = d_{a2} + (2x + \Delta i z_1) m_1$	
9	刀具齿轮齿数	z_0	$z_0 = z_2 \frac{i + \Delta i}{i}$	
10	刀具齿轮分度圆压力角	α_0	$\alpha_0 = \arcsin \frac{d_b}{d_{02}}$	d_b 见表13-10-3
11	刀具齿轮齿距角	τ_0	$\tau_0 = \frac{360^\circ}{z_0}$	(取到0.0001)
12	刀具齿轮齿形角	α_{02}	$\alpha_{02} = \alpha_0 - 0.275\tau_0$	
13	刀具齿轮分度圆齿距	p_0	$p_0 = \frac{\pi d_{02}}{z_0}$	
14	刀具齿轮分度圆齿厚	s_{02}	$s_{02} = 0.55 p_0$	
15	刀具齿轮齿面倾斜角	β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{\cos(\alpha_0 + \Delta) \frac{d_{02}}{2a_0} \cos \alpha_0}{\cos(\alpha_0 + \Delta) - \frac{d_{02}}{2a_0} \cos \alpha_0} \cdot \frac{1}{i}$ $i \geq 30 \quad \Delta = 8^\circ$ $i < 30 \quad \Delta = 6^\circ$ $i < 10 \quad \Delta = 1^\circ \sim 4^\circ$	

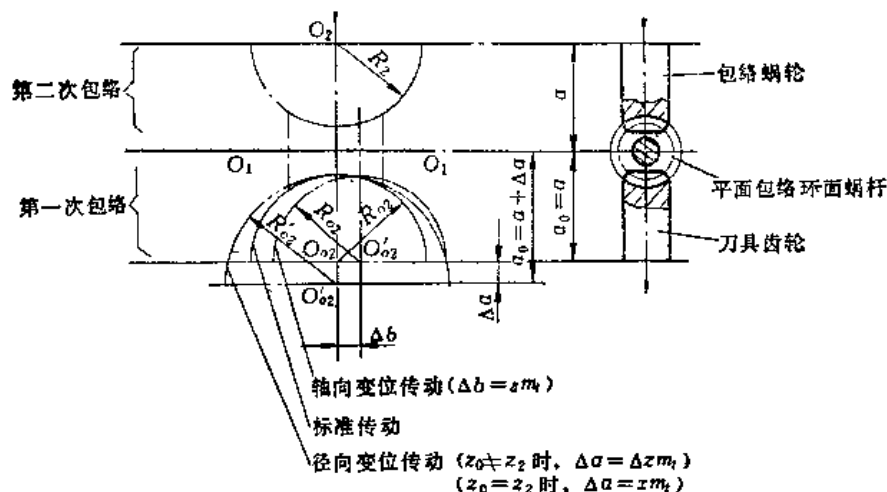


图13-10-15 环面蜗杆变位传动示意

(七) 环面蜗杆传动的精度和公差

环面蜗杆传动的公差尚未制定国家标准(GB), 以下推荐的资料是在苏联标准 ГOCT16502—70 基础上, 综合了部分国内资料而成。

1. 适用范围

本标准仅适用于蜗杆蜗轮轴交角90°、中心距80~1250mm、圆周速度不超过10m/s、用于动力传

动的环面蜗杆传动。

2. 精度规范


仅推荐7、8级环面蜗杆蜗轮的公差, 6级以上的公差可按1.6公比粗略推算确定。

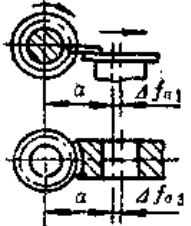
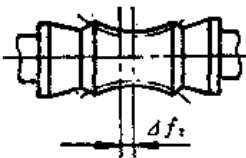
3. 误差定义及代号

环面蜗杆和蜗轮毛坯有关公差的推荐值列于表

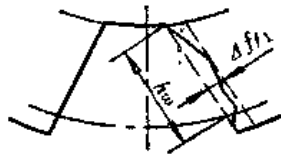
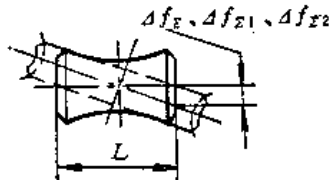
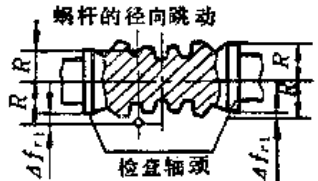
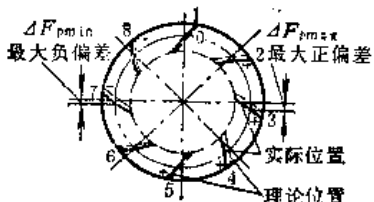
13-10-24。


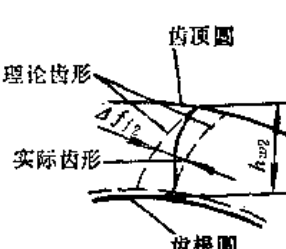
表13-10-18 环面蜗杆传动误差定义和代号

序号	名称	代号	定义
1	蜗杆螺旋线误差 蜗杆螺旋线误差的公差	Δf_{h1} f_{h1}	在蜗杆轮齿的工作齿宽范围(两端不完整齿部分应除外)内, 蜗杆分度圆环面上包容实际螺旋线的最近两条公称螺旋线间的法向距离
2	蜗杆圆齿距偏差  蜗杆圆周齿距极限偏差 上偏差 下偏差	Δf_{pt} $+f_{pt}$ $-f_{pt}$	在轴向剖面内, 蜗杆相邻齿面间的实际距离和公称距离之差。在蜗杆分度圆上按圆弧测量
3	蜗杆圆齿距累积误差 蜗杆圆周齿距极限累积偏差 上偏差 下偏差	Δf_{p11} $+f_{p11}$ $-f_{p11}$	在轴向剖面内, 蜗杆的任意两个不相邻的同名齿面间(包括两端极点间), 实际距离与公称距离之差。在蜗杆分度圆上按圆弧测量

序号	名称	代号	定义
4	蜗杆加工的运动误差 蜗杆加工运动误差的公差	Δf_m f_m	由加工运动过程误差引起的蜗杆螺旋线的形成误差, 要除掉蜗杆的径向跳动和蜗杆相对传动公称位置的偏移
5	中心距误差 蜗杆加工中 蜗轮加工中 传动中  中心距极限偏差 蜗杆加工中 上偏差 下偏差 蜗轮加工中 上偏差 下偏差 传动中 上偏差 下偏差	Δf_{a1} Δf_{a2} Δf_a $+f_{a1}$ $-f_{a1}$ $+f_{a2}$ $-f_{a2}$ $+f_a$ $-f_a$	在蜗杆最后加工时, 蜗杆和刀具(刀头)轴心线间, 或在蜗轮最后加工时, 蜗轮和刀具(滚刀)轴心线间, 或在装配好的传动中蜗轮和蜗杆轴心线间实际距离和公称距离之差
6	蜗杆中间平面偏移 加工中 传动中 加工蜗轮时刀具中间平面偏移  蜗杆中间平面极限偏移 加工中: 上偏差 下偏差 传动中: 上偏差 下偏差 加工蜗轮时刀具(滚刀)的极限偏移: 上偏差 下偏差	Δf_{x1} Δf_x Δf_{x2} $+f_{x1}$ $-f_{x1}$ $+f_x$ $-f_x$ $+f_{x2}$ $-f_{x1}$	在加工和传动中, 蜗杆中间平面, 以及在加工蜗轮时刀具(滚刀)中间平面的实际位置和公称位置之差

(续)

序号	名称	代号	定义
7	蜗杆齿形误差  蜗杆齿形误差公差	Δf_{f1} f_{f1}	在齿的工作高度 h_w 范围内螺旋面上容纳实际齿形的两条理论齿形线间的法向距离 在规定的公称齿形剖面内测量
8	轴心线的歪斜度 传动中 蜗杆加工中 蜗轮加工中  轴心线歪斜度误差 传动中 加工中	Δf_{Σ} $\Delta f_{\Sigma 1}$ $\Delta f_{\Sigma 2}$ f_{Σ} $f_{\Sigma 1}, f_{\Sigma 2}$	在装配好的传动中蜗杆和蜗轮轴心线,或在加工蜗杆时蜗杆轴心线和刀具(刀头)回转轴心线,加工蜗轮时,滚刀与蜗轮轴心线间相交角与直角间的偏差数值 在蜗杆工作长度一半的长度上以长度单位测量
9	蜗杆径向跳动  蜗杆的径向跳动 检查轴颈	Δf_r f_{r1}	在蜗杆任意一转范围内,测头在齿槽内与齿高中部的齿面双面接触,其测头相对于蜗杆轴线径向距离的最大变动量 对于单件生产的单头蜗杆和大量生产的多头蜗杆一在加工和检查时可用检查轴颈表面的径向跳动(见图右侧)代替
10	蜗轮齿距累积误差  ΔF_{pmin} 最大负偏差 ΔF_{pmax} 最大正偏差 实际位置 理论位置 $\Delta F_p = \Delta F_{pmax} - (-\Delta F_{pmin})$ 蜗轮齿距累积误差的公差	ΔF_p F_p	在与蜗轮轴心线同心,而大约通过齿高中部的圆周上,任意两个同名齿面相互位置的最大偏差
11	蜗轮加工运动误差 蜗轮加工运动误差的公差	ΔF_m F_m	由加工蜗轮齿部运动过程所引起的蜗轮运动误差,要除掉蜗轮齿圈的径向跳动 按角度秒测量 注:在蜗轮与精密蜗杆单面啮合时,蜗轮转动一转范围内的最大回转角度误差,即蜗轮的运动误差

序号	名称	代号	定义
12	蜗轮中间平面偏移 传动中 加工中  传动中：上偏差 下偏差 加工中：上偏差 下偏差	ΔF_x ΔF_{x2} $+F_x$ $-F_x$ $+F_{x2}$ $-F_{x2}$	在装配好的传动中，蜗轮中间平面和蜗杆公称轴线间的最小距离，或在机床上精加工蜗轮齿形时蜗轮中心平面和刀具公称轴线间的最小距离
13	蜗轮齿形误差  蜗轮齿形公差	Δf_{f2} f_{f2}	在齿的工作高度内，容纳实际齿形的两理论齿形间法向距离 在垂直于旋转轴线的中间平面内测量
14	蜗轮齿圆径向跳动 蜗轮齿圆径向跳动公差	ΔF_r F_r	与蜗杆喉颈法向剖面相应的齿槽，相对蜗轮旋转轴线距离的最大变动 在蜗轮中间平面测量
15	齿厚偏差 蜗杆 蜗轮 齿厚极限偏差 蜗杆：上偏差 下偏差 蜗轮：上偏差 下偏差	ΔE_{s1} ΔE_{s2} E_{s11} E_{s12} E_{s21} E_{s22}	在分度圆附近实际齿厚与公称齿厚之差

(续)

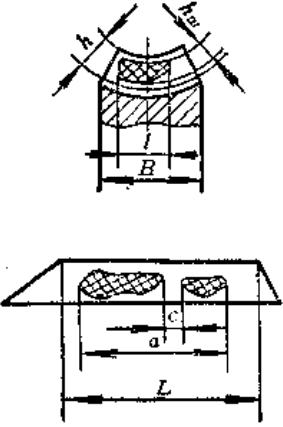
序号	名称	代号	定义
16	接触斑点 		<p>在安装好的蜗杆副中，在加载跑合后蜗杆螺纹面和蜗轮齿侧面分布的接触痕迹</p> <p>接触斑点按百分比来决定</p> <p>蜗杆螺纹——接触痕迹极点间距离（应减去等于蜗杆两个圆周齿距的断开部分，mm）与螺纹工作长度L之比</p> $\frac{a-c}{L} \cdot 100\%$ <p>蜗轮齿面： 宽度——接触痕迹极点间距离与理论啮合面宽度B之比</p> $\frac{l}{B} \cdot 100\%$ <p>高度——接触部分在其齿全宽上的平均高度与蜗轮齿的工作高度之比：</p> $\frac{h_m}{h'} \cdot 100\%$ <p>注：在计算蜗杆螺旋面工作长度时，应将蜗杆螺旋齿侧面的不完整部分除去</p>
17	工具平面倾角偏差 蜗杆加工中工具平面倾角 平面齿轮齿面倾角偏差的公差	$\Delta\beta$ $\Delta\beta_1$ $\Delta\beta_2$	<p>工具平面实际倾角与公称倾角之差</p> <p>平面齿轮齿面实际倾角与公称倾角之差的允许范围</p>
18	成形圆直径偏差 成形圆直径公差： 蜗杆加工中 平面齿轮及滚刀加工中	Δd_0 Δd_{01} Δd_{02}	成形圆实际直径与公称直径之差
19	侧隙	f_n	在安装好的蜗杆副中，蜗杆和蜗轮的工作齿面接触时，两非工作齿面间的最小距离

表13-10-19 环面蜗杆精度规范

(μm)

精度等级	中心距 (mm)		蜗 杆 精 度 规 范										
	从	到	f_{A1}	$\begin{matrix} +f_{pt} \\ -f_{pt} \end{matrix}$	$\begin{matrix} +f_{pt'} \\ -f_{pt'} \end{matrix}$	f_m	f_r	f_{t1}	$\begin{matrix} +f_{a1} \\ -f_{a1} \end{matrix}$	$\begin{matrix} +f_{x1} \\ -f_{x1} \end{matrix}$	f_{Σ}	$\Delta\beta_1$	Δd_{01}
7	80	160	50	± 15	± 30	55	18	20	$\begin{matrix} 40 \\ 0 \end{matrix}$	± 20	14	60"	按GB 1801-79 H7
	160	315	70	± 20	± 40	45	20	25	$\begin{matrix} 70 \\ 0 \end{matrix}$	± 35	20	40"	
	315	630	100	± 30	± 60	35	25	35	$\begin{matrix} 100 \\ 0 \end{matrix}$	± 50	30	30"	
	630	1250	150	± 40	± 90	28	35	40	$\begin{matrix} 150 \\ 0 \end{matrix}$	± 65	40	20"	
8	80	160	70	± 20	± 40	85	30	35	$\begin{matrix} 80 \\ 0 \end{matrix}$	± 35	20	80"	按GB 1801-79 H8
	160	315	90	± 25	± 50	52	35	45	$\begin{matrix} 120 \\ 0 \end{matrix}$	± 60	30	60"	
	315	630	120	± 35	± 70	40	40	60	$\begin{matrix} 180 \\ 0 \end{matrix}$	± 90	45	45"	
	630	1250	170	± 45	± 100	32	55	70	$\begin{matrix} 250 \\ 0 \end{matrix}$	± 130	55	30"	

表13-10-20 蜗轮精度规范

(μm)

精度等级	蜗 轮 精 度 规 范										
	从	到	F_p	F_w	F_r	f_{f2}	$\frac{f_{a2+}}{f_{a2i}}$	$\begin{matrix} +F_{x2} \\ -F_{x2} \end{matrix}$	$\begin{matrix} +f_{x2} \\ -f_{x2} \end{matrix}$	$\Delta\beta_2$	Δd_{a3}
7	80	160	120	200	30	30	$\begin{matrix} 60 \\ 0 \end{matrix}$	± 25	± 40	$60''$	按GB1801-79 h7
	160	315	180	150	50	40	$\begin{matrix} 100 \\ 0 \end{matrix}$	± 50	± 70	$40''$	
	315	630	250	110	80	50	$\begin{matrix} 150 \\ 0 \end{matrix}$	± 75	± 100	$30''$	
	630	1250	350	90	100	60	$\begin{matrix} 200 \\ 0 \end{matrix}$	± 100	± 130	$20''$	
8	80	160	180	300	50	40	$\begin{matrix} 90 \\ 0 \end{matrix}$	± 45	± 100	$80''$	按GB1801-79 h8
	160	315	270	220	80	50	$\begin{matrix} 170 \\ 0 \end{matrix}$	± 85	± 170	$60''$	
	315	630	350	160	130	65	$\begin{matrix} 260 \\ 0 \end{matrix}$	± 130	± 220	$45''$	
	630	1250	500	130	160	80	$\begin{matrix} 350 \\ 0 \end{matrix}$	± 170	± 270	$30''$	

表13-10-21 传动安装精度规范

(μm)

精度等级	中心距 a (mm)		传 动 安 装 精 度 规 范						
	从	到	$\begin{matrix} +f_{a1} \\ -f_{a1} \end{matrix}$	$\begin{matrix} +f_x \\ -f_x \end{matrix}$	$\begin{matrix} +F_x \\ -F_x \end{matrix}$	Δf_{Σ}	蜗轮接触斑点 (%)	蜗杆接触斑点 (%)	
7	80	160	± 25	± 25	± 25	20	按高度不小于80	按长度不小于60	
	160	315	± 50	± 50	± 50	30	按宽度不小于45		
	315	630	± 75	± 75	± 75	45			
	630	1250	± 100	± 100	± 100	60			
8	80	160	± 45	± 30	± 50	30	按高度不小于70	按长度不小于40	
	160	315	± 85	± 60	± 100	45	按宽度不小于25		
	315	630	± 130	± 90	± 150	65			
	630	1250	± 150	± 120	± 200	80			

表13-10-22 蜗杆蜗轮齿厚极限偏差

(μm)

精度等级	中心距 a (mm)		一般侧隙		加大侧隙	
	从	到	蜗杆 E_{sa1} E_{si1}	蜗轮 E_{sa2} E_{si2}	蜗杆 E_{sa1} E_{si1}	蜗轮 E_{sa2} E_{si2}
7	80	160	-140	0	-340	0
	160	315	-180	-100	-440	-100
			-180	0	-480	0
	315	630	-240	-150	-500	-150
-240			0	-670	0	
8	80	160	-320	-300	-810	-300
	160	315	-320	0	-900	0
			-420	-350	-1060	-350
	315	630	-180	0	-400	0
-280			-150	-560	-150	
8	80	160	-220	0	-580	0
	160	315	-340	-200	-760	-200
			-280	0	-710	0
	315	630	-420	-350	-910	-350
-380			0	-950	0	
630	1260	-540	-440	-1170	-440	

表13-10-23 保证侧隙 j_s

结合形式	偏差代号	中心距 (mm)			
		80~160	>160~315	>315~630	>630~1250
		(μm)			
最小侧隙	j_s	70	100	150	200
标准侧隙		140	200	300	400
最大侧隙		280	400	600	800

表13-10-24 毛坯公差

(μm)

精度等级	中心距 (mm)		蜗 杆				蜗 轮			
	从	到	检查轴颈的端面跳动	检查轴颈的径向跳动	轴尺寸公差	顶圆直径公差	端面跳动	径向跳动	孔尺寸公差	顶圆直径公差
7	80	160	10	17	-19	-46	30	30	+19	-80
	160	315	15	20	-25	-63	40	35	+25	-110
	315	630	20	25	-29	-72	60	45	+29	-165
	630	1250	25	30	-40	-97	80	65	+40	-280
8	80	160	15	17	-19	-46	40	40	+19	-80
	160	315	20	20	-25	-63	50	55	+25	-110
	315	630	25	25	-29	-72	75	80	+29	-165
	630	1250	40	30	-40	-97	100	100	+40	-280

(八) 环面蜗杆副的测绘及工作图

环面蜗杆传动与圆柱蜗杆传动在几何参数的含义、计算方法和选择原则上都有很大的区别,因此其测绘方法也和圆柱蜗杆副有所不同。圆柱蜗杆副的测绘以蜗杆参数的测绘为主导,如 m 、 p 、 γ 、 α 、 β 等都要通过对蜗杆的测绘来求得,而环面蜗杆副中蜗杆的分度曲面不是圆柱面而是圆环面,使得蜗杆分度圆、齿顶圆、齿根圆等的径向尺寸 d_1 、 d_{a1} 、 d_{f1} 以及导程角 γ 随蜗杆的轴向截面位置的变化而变化,不再是一个定值,且齿形完全取决于包络它的刀具蜗轮的参数,因而不便测绘。相反,单包络环面蜗杆副中的平面蜗轮是一个齿面为平面的齿轮,各项参数测绘起来都较方便,因此,环面蜗杆副的测绘应以平面蜗轮为主导,环面蜗杆只需测绘出毛坯尺寸即可,齿部尺寸均由蜗轮刀具包络成形。双包络环面蜗杆副必须成对更换,因此,对无法进行准确测绘的参数,可参照实物设计给定。

1. 传动类别判断

1) 对蜗轮进行判断: 轮齿齿面是平面的平面

蜗轮(P蜗轮),则所测绘的是单包络环面蜗杆副;蜗轮齿面不是平面而是类似阿基米德齿形的蜗轮是包络蜗轮(TP蜗轮),则所测绘的是双包络环面蜗杆副;蜗轮为渐开线齿轮的是渐开线包络环面蜗杆副。另外,还可参考接触斑点的形状和位置来加以区别(图13-10-16)。

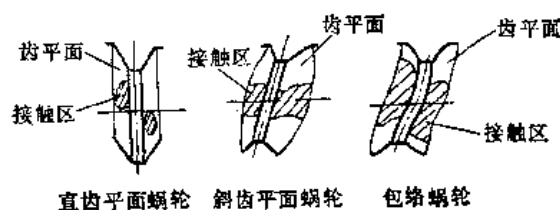


图13-10-16 双包络环面蜗杆副的接触斑点

2) 对蜗杆进行判断: 对蜗杆齿形的判别可参照本章第四节“普通圆柱蜗杆副的测绘”,当蜗杆轴平面齿形为直线时,所测绘蜗杆是直廓环面蜗杆(TA);当蜗杆轴平面齿形不是直线,而是近似直线的凸曲线时,所测绘蜗杆是平面包络环面蜗杆

(TP); 锥面包络环面蜗杆 (TK) 的轴平面齿形曲线凸度较之平面包络环面蜗杆更大, 而渐开面包络蜗杆 (TI) 的轴平面齿形曲线凸度最大。

2. 中心距 a 、齿数 z_1 、 z_2 、蜗轮的 d_{a2} 、 d_{f2} 、 h 、齿宽 b_1 、 b_2

这几项的测绘方法参照本章第四节“普通圆柱蜗杆副的测绘”。要注意, 取得实测数值后, 应分别参照本节“(一) 环面蜗杆传动基本参数选择”中各项原则来最后确定参数值。

3. 蜗轮齿平面倾斜角 β

由于齿面是平面, 可用角度尺直接测量。测量时, 要分别以蜗轮的两个端面为一个角边各测量三个位置, 参照取值。

包络蜗轮齿面不是平面, 可用滚印法近似测量后按双包络测绘程序设计。

4. 平面蜗轮分度圆压力角 α

用角度尺测量两异侧齿面间夹角: 齿槽角 $2\alpha_1$ 和齿形角 $2\alpha_2$, 见图 13-10-17, 从而求出蜗轮分度圆压力角 α 。

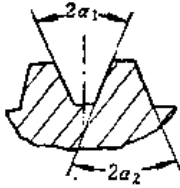


图13-10-17 平面蜗轮齿形角

$$\alpha = \frac{2\alpha_1 + 2\alpha_2 + 4.5}{z_2} \quad (13-10-7)$$

当 m_i 测算出来后, 可用下式进行核算:

$$\alpha = \arcsin \frac{W}{z_2 m_i} \quad (13-10-8)$$

式中 W ——公法线长度可测出。

对斜齿平面齿轮

$$\alpha = \frac{W}{z_2 m_i \cos \beta} \quad (13-10-9)$$

一般来讲, α 应在 $20^\circ \sim 25^\circ$ 之间, 常见的是 $\alpha = 22^\circ$ 。

TP 蜗轮不便测绘时, 可在蜗杆上测量参考数值。

5. 成形圆直径 d_b 、蜗轮分度圆直径 d_2 、端面模数 m_i

这几个参数的测定是相互关联的。

1) 用卡尺测出两相互平行的齿平面间的跨测齿数 z' 及公法线长度 W , 见图 13-10-12, 从而初定 d_b 值。

$$d_b = W \quad \text{直齿平面蜗轮}$$

$$d_b = \frac{W}{\cos \beta} \quad \text{斜齿平面蜗轮}$$

当所测绘蜗轮是包络蜗轮时, W 只能测得近似值, 所以, 应将计算的 d_b 值参照表 13-10-12 选取最接近的 d_b 标准系列值。

d_b 值也可用量柱测量法来校验。

2) 计算蜗轮分度圆直径 d_2

$$d_2 = \frac{d_b}{\sin \alpha}$$

3) 估算端面模数 m_i'

$$m_i' = \frac{d_2}{z_2}$$

6. 以 d_{a2} 计算 m_i' , 并与 m_i' 核对, 确定 h_a^* 、 c^*

$$m_i' = \frac{d_{a2}}{z_2 + 1.4} \quad (\text{试取 } h_a^* = 0.70)$$

(13-10-10)

若 $m_i' \approx m_i$ 则确定 $m_i = m_i'$

若 $m_i' \neq m_i$ 则要调整 h_a^* 值 (在 $0.67 \sim 0.75$ 范围内)。

在 h_a^* 确定后, c^* 值即可按下式计算选定。

$$c^* = \frac{h - 2h_a^* m_i}{m_i} \quad (c^* \text{ 应在 } 0.16 \sim 0.21 \text{ 范围内})$$

(13-10-11)

7. 蜗杆分度圆直径 d_1

$$d_1 = 2a - d_2$$

据 d_1 计算喉部顶圆直径

$$d'_{a1} = d_1 + 2h_a$$

8. 环面蜗杆毛坯尺寸的确定

1) 环面蜗杆毛坯曲面是一个圆环面, 当喉部螺旋升角 γ 较大时, 其喉部顶圆直径 d_{a1} 、最大齿顶圆直径 d_{a1max} 不能像圆柱蜗杆那样简单地用卡尺测量, 这时, 可在平台上用高度尺来测量, 如图 13-10-18。

$$d'_{a1} = 2(L_1 - A)$$

$$d_{a1max} = 2(L_2 - A)$$

注意, 环面蜗杆喉部常有制造时的刻线, 测量时, 要转动蜗杆, 测量刻线部位的最大尺寸 L_1 及两端最大高度尺寸 L_2 。

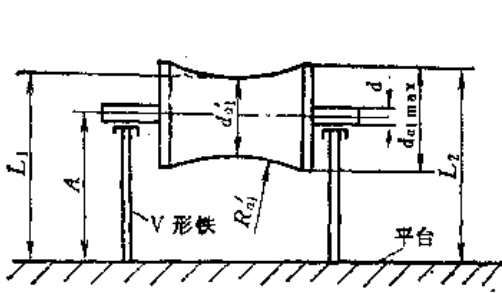


图13-10-18 环面蜗杆齿顶圆直径的测量

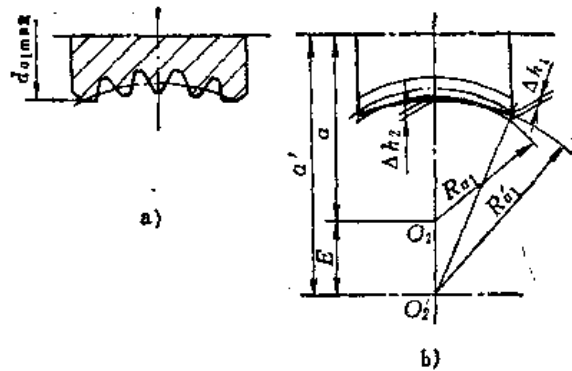


图13-10-19 环面蜗杆的齿顶圆半径变化

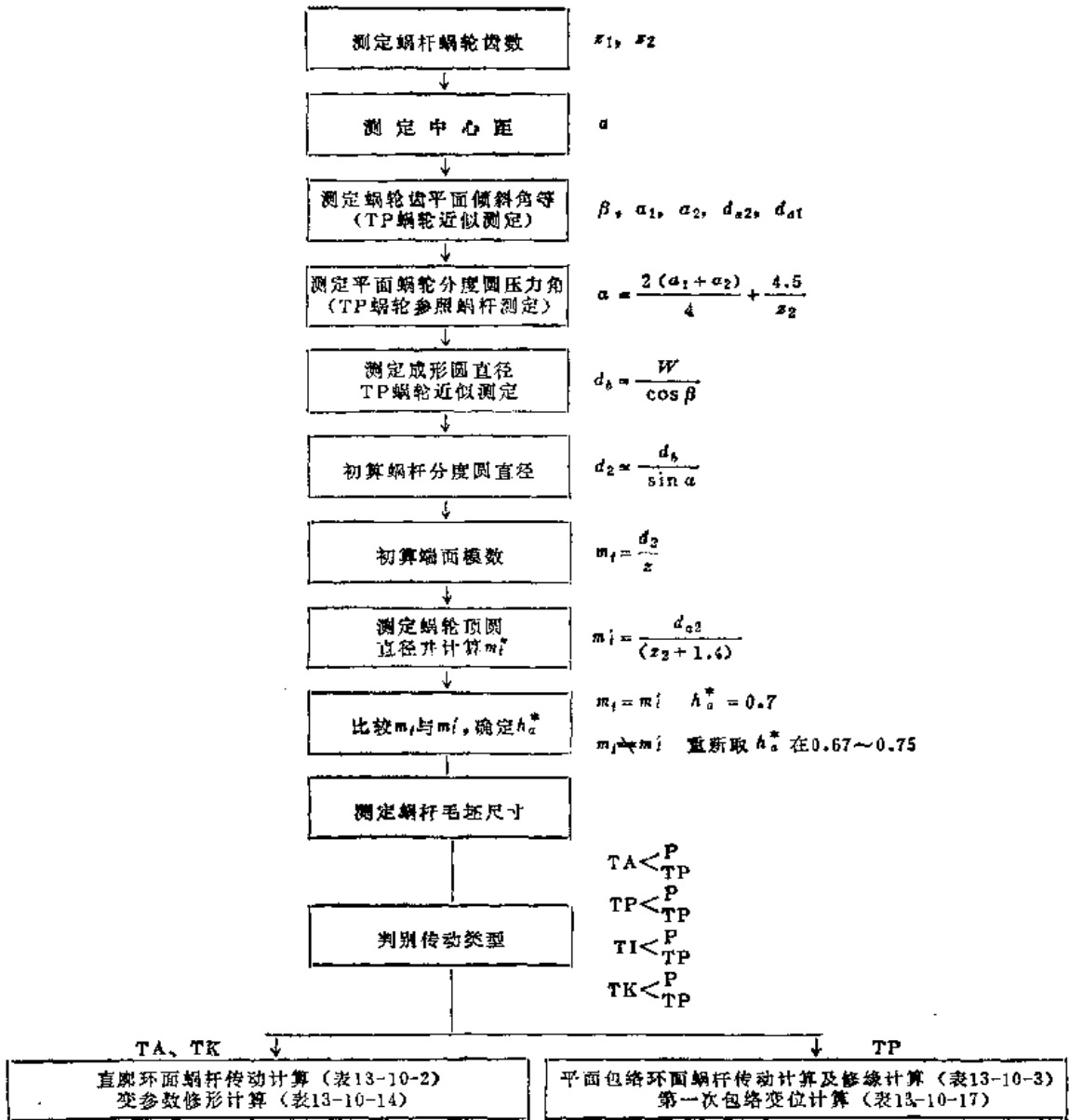


图13-10-20 环面蜗杆传动测绘程序图

2) 用圆弧尺测得蜗杆顶圆环面半径 R'_{a1}

3) 计算蜗杆顶圆环面半径 R''_{a1}

$$R''_{a1} = 0.5d_{a2} - 2h_a \quad (13-10-12)$$

4) 比较实测值和计算值: 通常 $d'_{a1} \approx d''_{a1}$; $R'_{a1} \approx R''_{a1}$, 而是 $d'_{a1} > d''_{a1}$; $R'_{a1} > R''_{a1}$, 这是因为, 为消除环面蜗杆两端齿顶变尖, 常采取两种措施: ①减小蜗杆最大外径, 见图13-10-19a, ②加大蜗杆齿顶环面半径, 车削蜗杆毛坯时, 附加一个偏心距 E , 以便形成变齿高蜗杆, 见图13-10-19b。因此, 蜗杆毛坯尺寸应以实测值为准。

测绘了这些主要参数以外, 其它参数的测绘与圆柱蜗杆基本相同。

特别要指出, 最后确定各项参数值时, 应参照本节(一)参数选择中所介绍的各种参数搭配。

在渐开面包络环面蜗杆副测绘中, 要注意, 用作蜗轮的渐开线圆柱齿轮常是正变位齿轮, 其变位系数 x_2 常在0.5~2范围内, 测绘程序按照变位渐开线圆柱齿轮的测绘程序。

环面蜗杆的测绘程序见图13-10-20。工作图见图13-10-21~13-10-26。

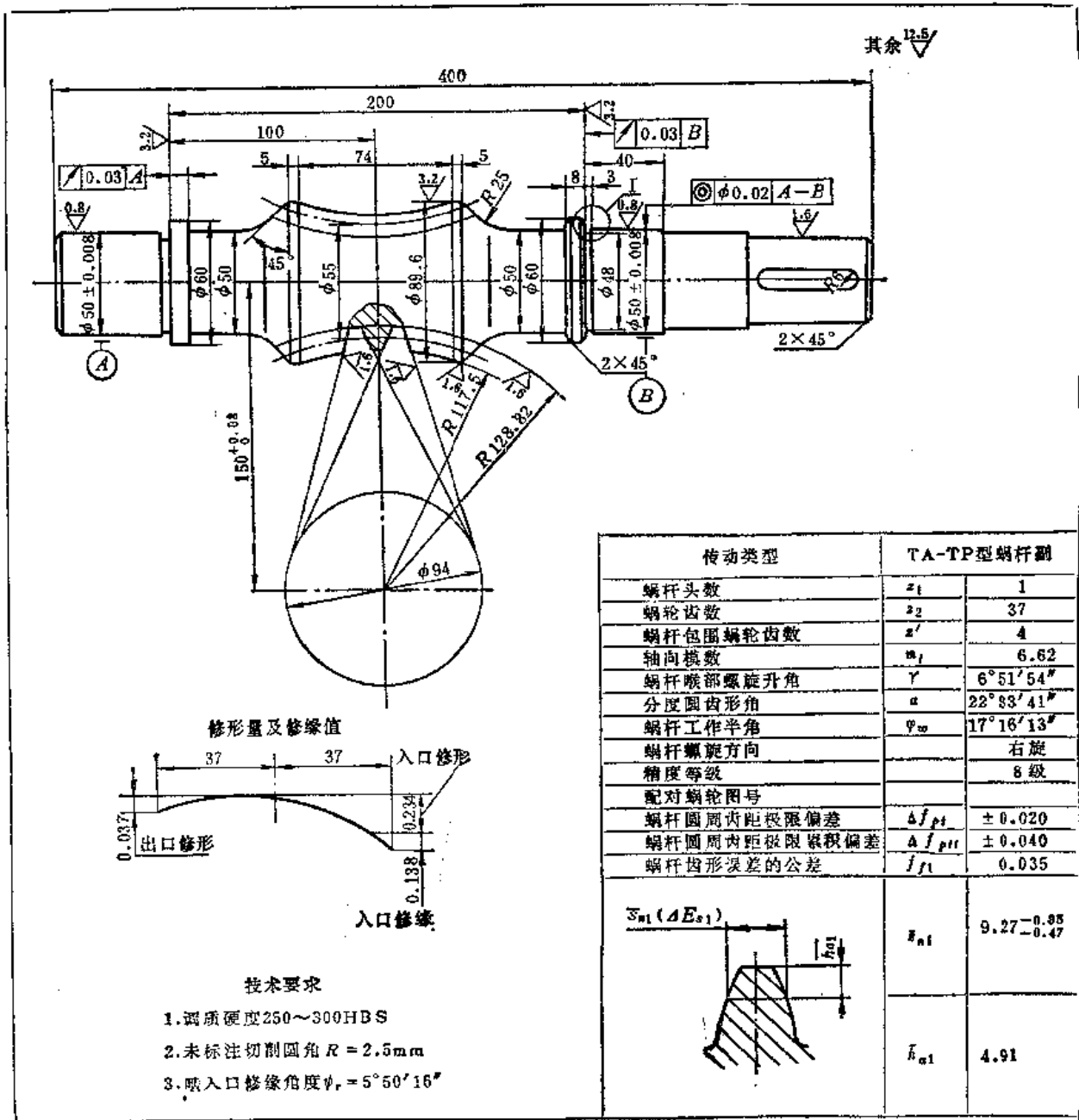
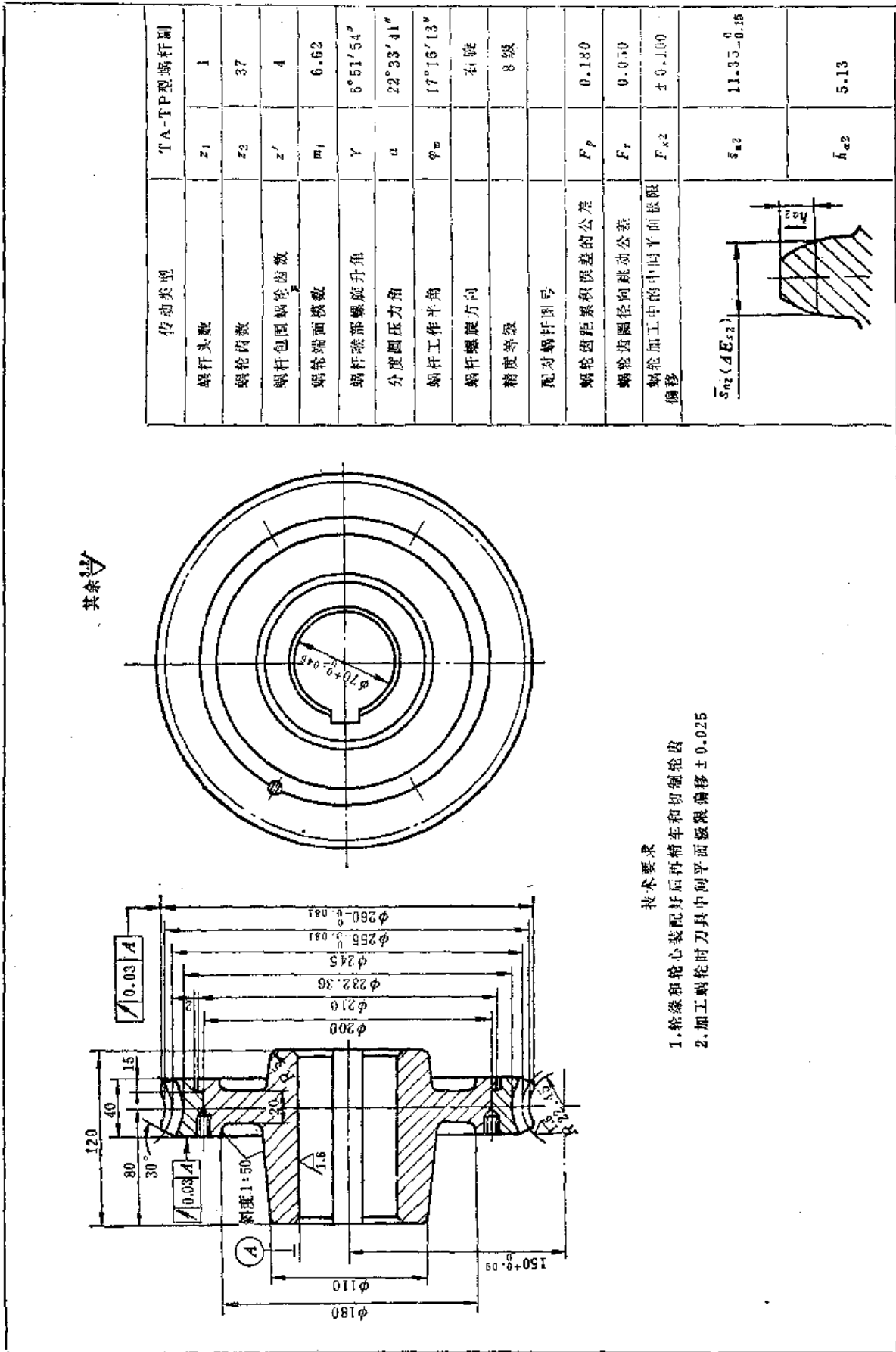
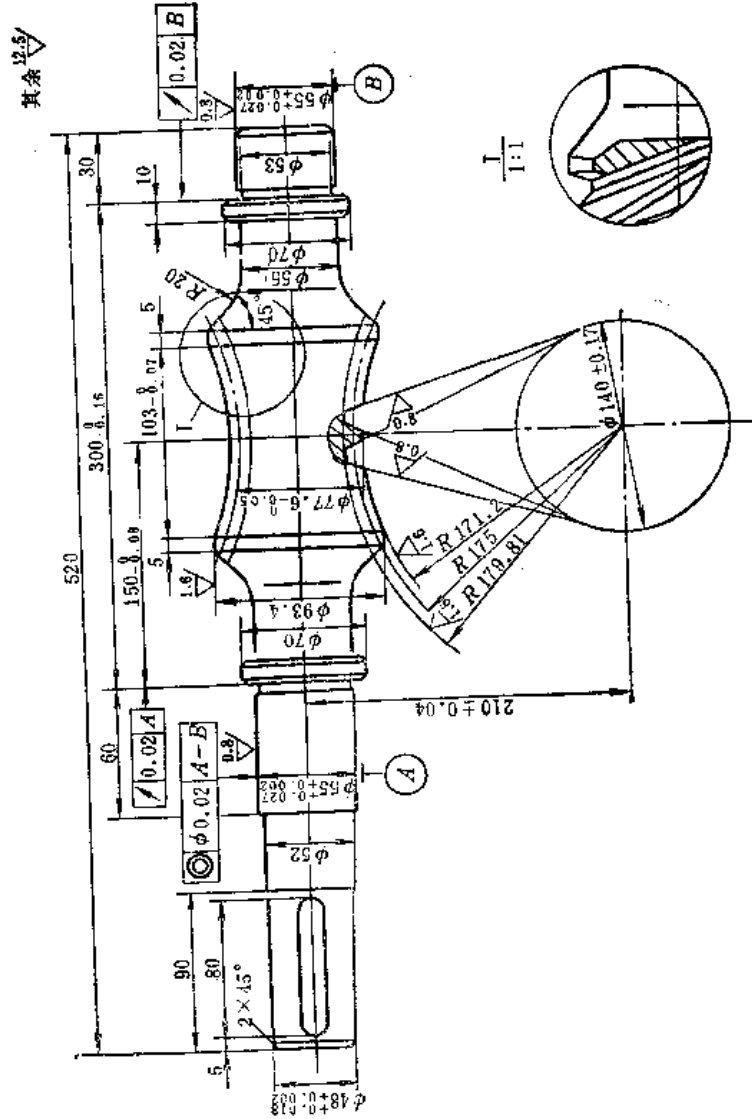


图13-10-21 直廓环面蜗杆传动蜗杆工作图



技术要求
 1. 蜗轮和蜗轮心装配好后再精车和切制蜗轮齿
 2. 加工蜗轮时刀具中间平面极限偏移 ± 0.025

图13-10-22 直廓环面蜗杆传动蜗轮工作图



技术要求

1. 保留 z' 个完整齿, 多余的齿按放大图 I 所示铣去并将尖角修圆
2. 整体调质 IIB = 230 ~ 250, 齿面淬火 HRC = 40 ~ 45
3. 修缘长度, 唯入口 $L_e = 15.93\text{mm}$, 唯出口 $L_e = 11.95\text{mm}$

传动类型	TP-P 型蜗杆副
蜗杆头数	z_1 2
蜗轮齿数	z_2 69
蜗杆包围蜗轮齿数	z' 7
轴向齿数	m_t 5.07
蜗杆喉部螺旋升角	γ $8^\circ 15'$
分度圆齿形角	α $23^\circ 35'$
蜗杆工作半角	φ_m $17^\circ 5'$
母平面倾角	β $7^\circ 34' \pm 0.1^\circ$
蜗杆螺旋方向	右旋
精度等级	8 级
配对蜗轮图号	
唯入口修缘值	Δf_r 0.35
唯出口修缘值	Δf_c 0.23
蜗杆圆周齿距极限偏差	Δf_{pt} ± 0.020
蜗杆径向跳动公差	Δf_r 0.030
$\bar{s}_{ni}(\Delta E_{s1})$	\bar{s}_{ni} $6.701_{-0.008}^0$
	\bar{h}_{a1} 3.77

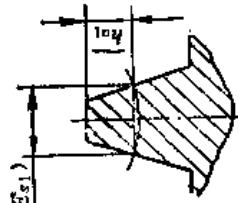


图13-10-23 平面单包络环面蜗杆传动蜗杆工作图

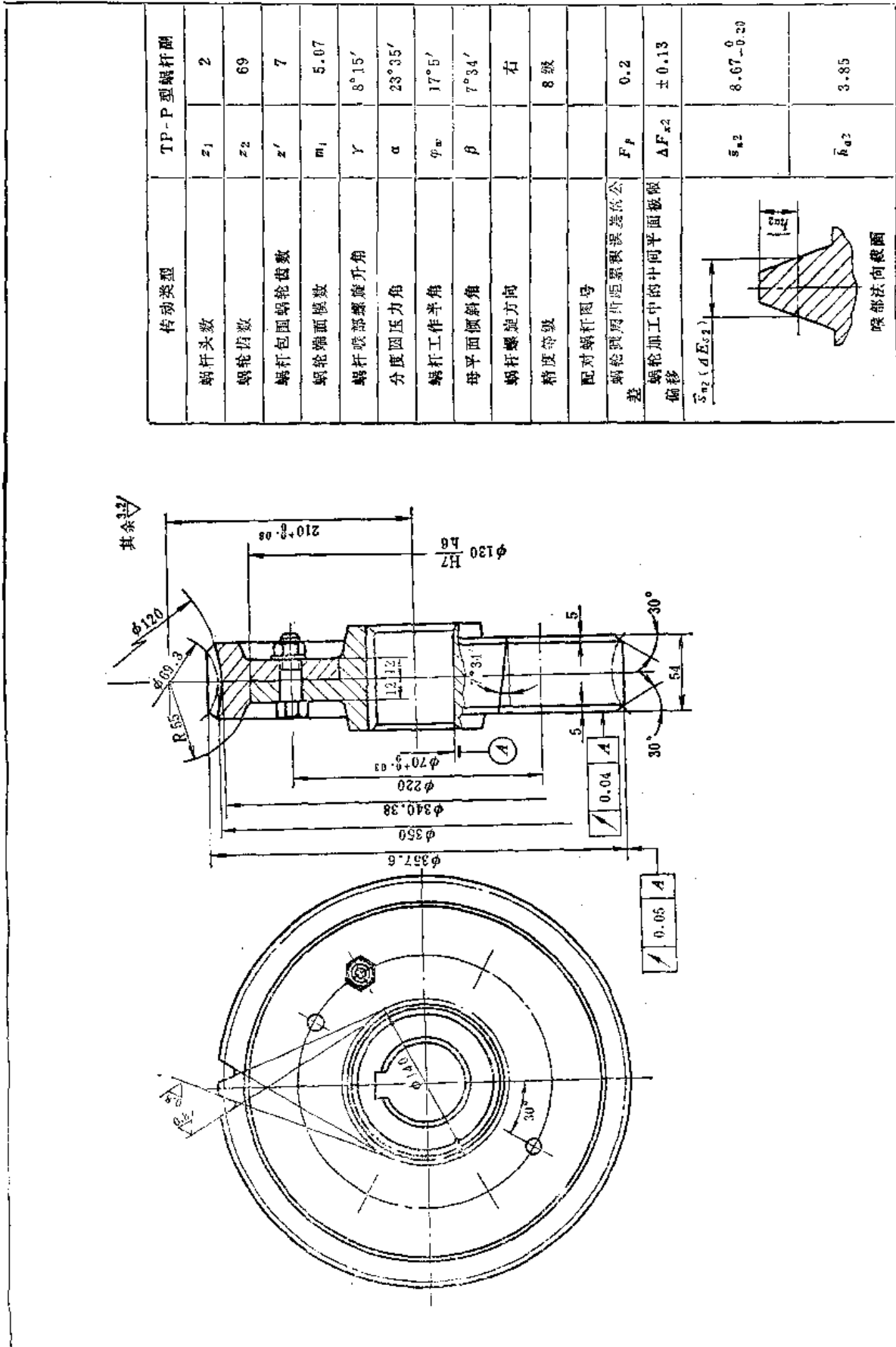
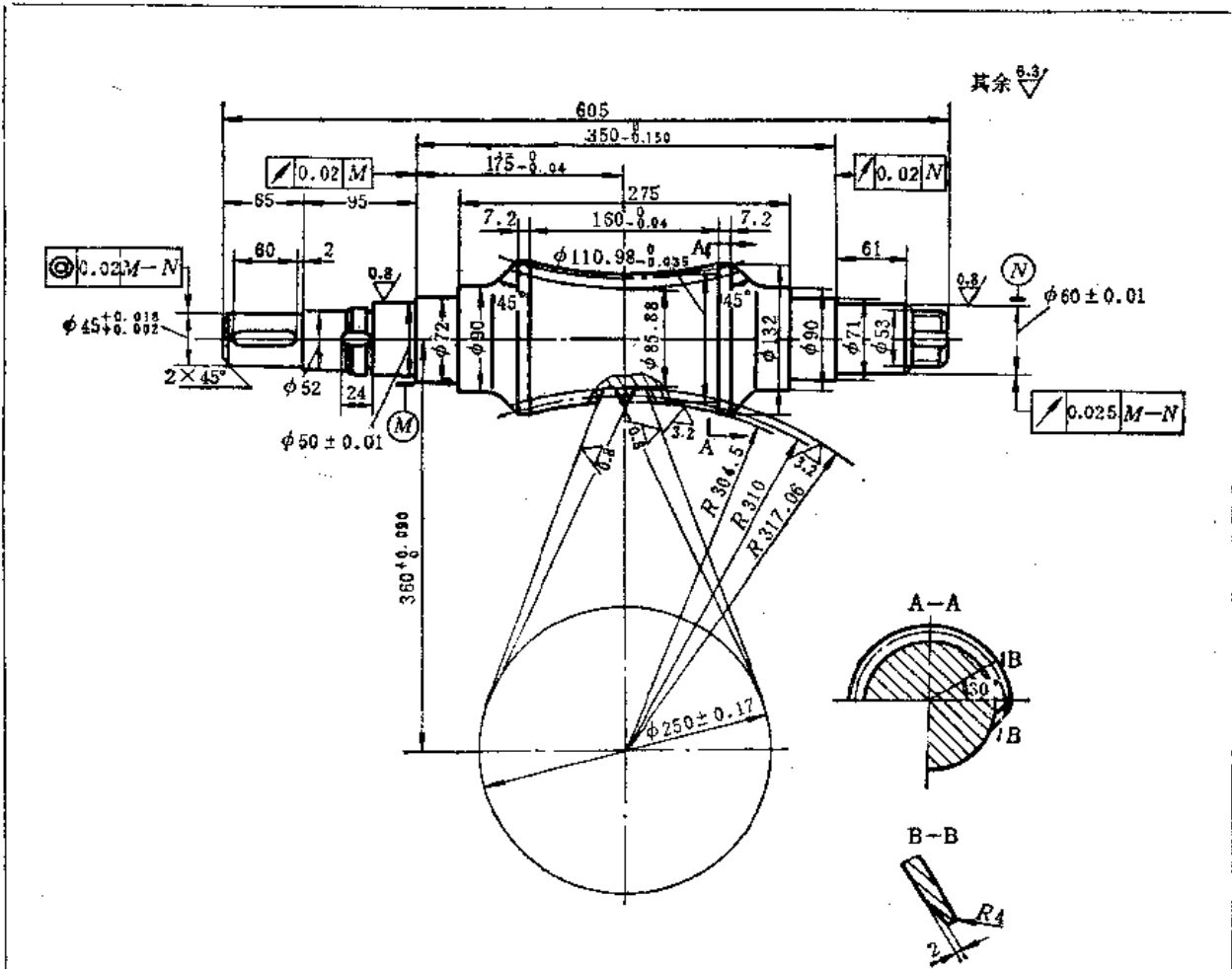


图13-10-24 平面单包络环面蜗杆传动蜗轮工作图

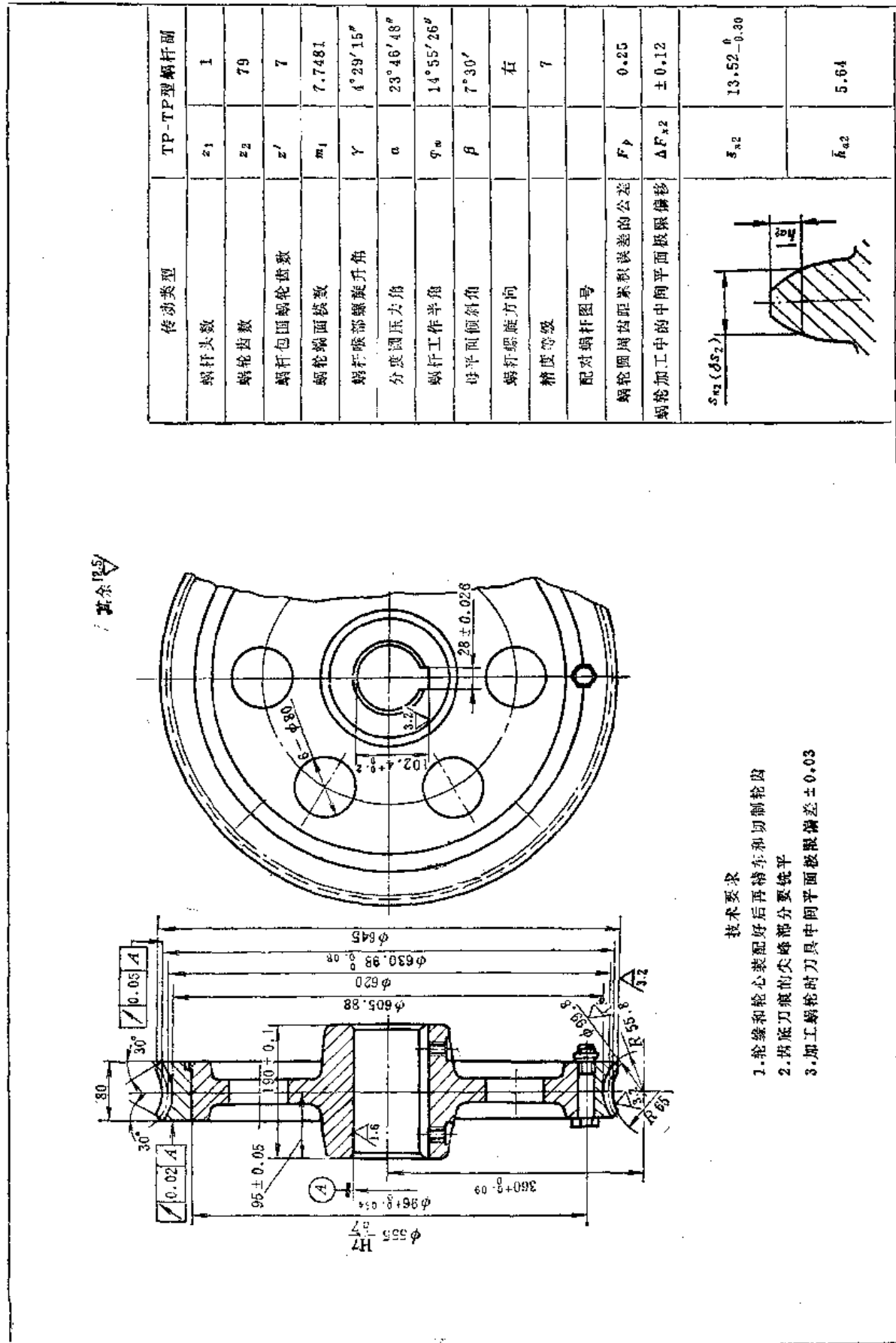


技术要求

1. 整体调质 HB = 240~280, 齿表面淬火 HRC = 50~55
2. 未标注切削圆角 R = 1.5~3
3. 螺纹端部按 A-A、B-B 所示铣去尖角并修圆
4. 按一般型传动加工
5. 修缘长度: 入口 $L_r = 24.6\text{mm}$, 出口 $L_r = 18.5\text{mm}$

传动类型	TP-TP型蜗杆副		传动类型	TP-TP型蜗杆副	
蜗杆头数	z_1	1		$\Delta f_{\rho 1}$	± 0.025
蜗轮齿数	z_2	79		Δf_r	0.025
蜗杆包围蜗轮齿数	z'	7		\bar{s}_{a1}	$10.77-0.09$
轴向模数	m_t	7.8481		\bar{h}_{a1}	5.44
蜗杆喉部螺旋升角	γ	$4^\circ 29' 15''$			
分度圆齿形角	α	$23^\circ 46' 48''$			
蜗杆工作半角	φ_w	$14^\circ 55' 26''$			
母平面倾斜角	β	$7^\circ 30' \pm 0.08''$			
蜗杆螺旋方向		右			
精度等级		7			
配对蜗轮图号					
蜗杆螺牙啮入口修缘值	Δf_r	0.8			
蜗杆螺牙啮出口修缘值	Δf_r	0.6			

图13-10-25 平面双包络环面蜗杆传动蜗杆工作图



技术要求

1. 轮缘和轮心装配好后再精车和切削轮齿
2. 齿底刀痕的尖峰部分要铣平
3. 加工蜗轮时刀具中间平面极限偏差 ± 0.03

图13-10-26 平面双包络蜗杆传动蜗轮工作图

(九) 环面蜗杆传动承载能力计算

直廓环面蜗杆传动轴上的许用功率〔P〕可按图13-10-27确定，平面一次包络环面蜗杆传动蜗杆轴上的许用功率可参考图13-10-27确定，平面二次包络环面蜗杆传动蜗杆轴上的许用功率可参考图13-10-28确定。

当传动符合下列条件时：

- 1) 蜗轮材料：锡青铜；
- 2) 蜗杆齿面硬度：HRC≥45，或(286~321) HB；

3) 蜗轮蜗杆制造精度：7级以上；

4) 蜗杆齿面粗糙度为 $R_a 1.6\mu\text{m}$ (旧▽7) 以上；

5) 工作情况：载荷稳定，昼夜连续工作。

蜗杆传递的功率 P_1 应满足：

$$P_1 \leq [P]$$

式中 $[P]$ ——许用功率，查图13-10-27及图13-10-28确定。

当传动条件与上述条件不相符时，蜗杆功率应满足：

$$P_1 \leq [P] K_1 K_2 K_3 K_4 \quad (13-10-13)$$

式中 K_1 ——传动类型系数；

K_2 ——工作情况系数；

K_3 ——加工质量系数；

K_4 ——材料系数。

K_1, K_2, K_3, K_4 系数值分别查表13-10-25确定。

当已知蜗轮输出转矩 T_2 (N·m) 时

$$P_1 = \frac{T_2 n_1}{9549 \eta} \quad (13-10-14)$$

式中 η ——环面蜗杆传动效率，查图13-10-29确定。

环面蜗杆传动常用材料及热处理推荐如下：

表13-10-25 环面蜗杆承载能力计算系数表

传动类型	传动类型系数 K_1	精度等级			加工质量系数 K_3
		材料			
双包络传动	1.0	7			1.0
单包络传动	0.9	8			0.8
工作类型系数	K_2				
昼夜连续平稳工作	1.0	名称	适用滑动速度范围 (m/s)	材料系数 K_4	
每天连续工作8小时，有冲击载荷	0.8	ZQSn10-2-1.5	≤10	1.0	
昼夜连续工作，有冲击载荷	0.7	ZQA110-3-1.5	≤4	0.8	
间断工作(如每2小时工作15分)	1.3	ZQA19-4	≤4	0.8	
间断工作，有冲击载荷	1.06	HT150	<2	0.5	

表13-10-26 常用蜗杆材料

蜗杆材料	齿表面硬度
渗碳钢 20Cr, 12CrNi3A, 20CrMnTi, 20CrV	HRC 58~63
表面淬火钢 45, 40Cr, 40NiCr	HRC 50~55
调质钢 40Cr, 40NiCr, 38CrMnNi	HRC 30~38
氮化钢 38CrMoAlA	HRC 60~70

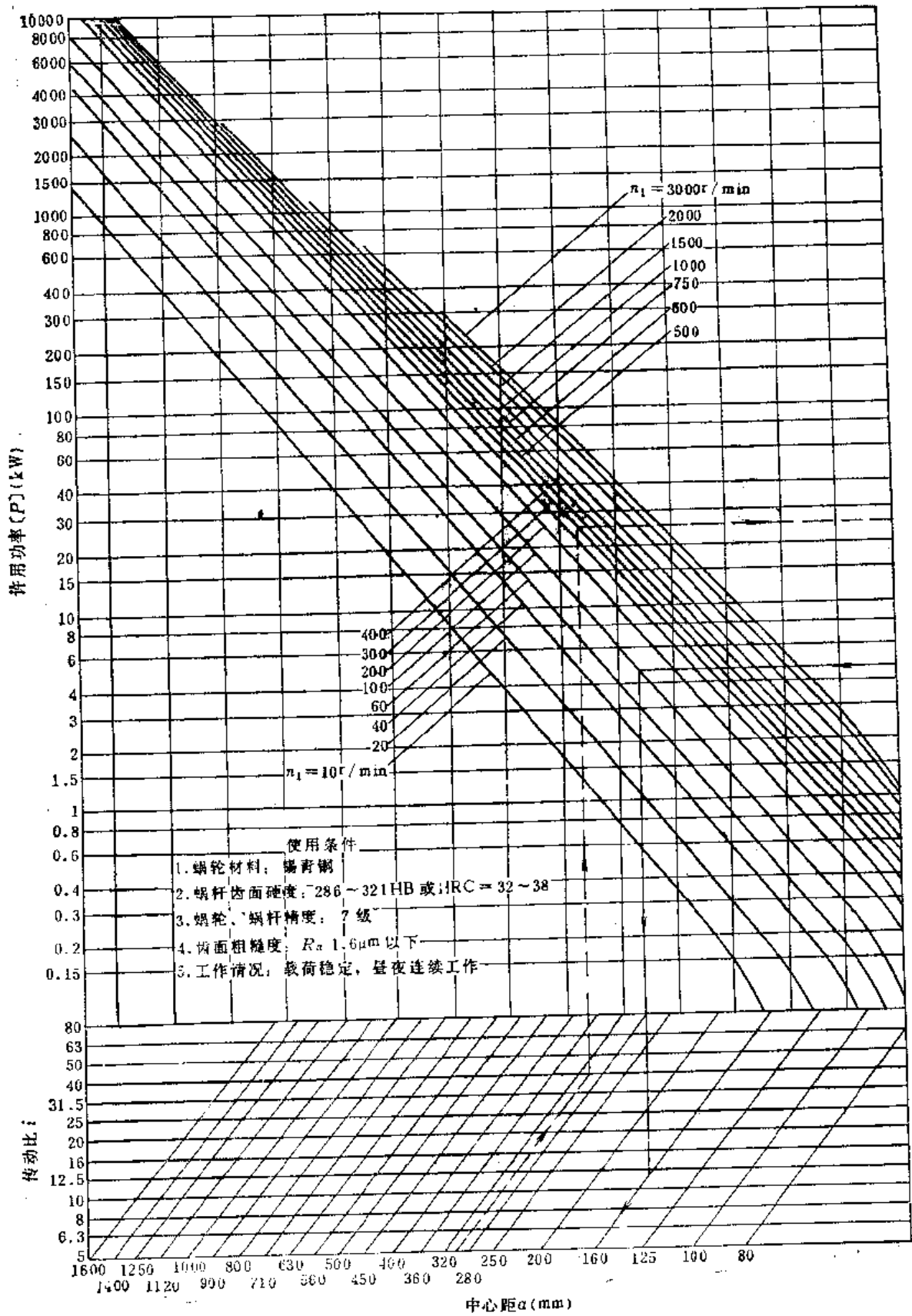


图13-10-27 直廓环面蜗杆传动许用功率线图

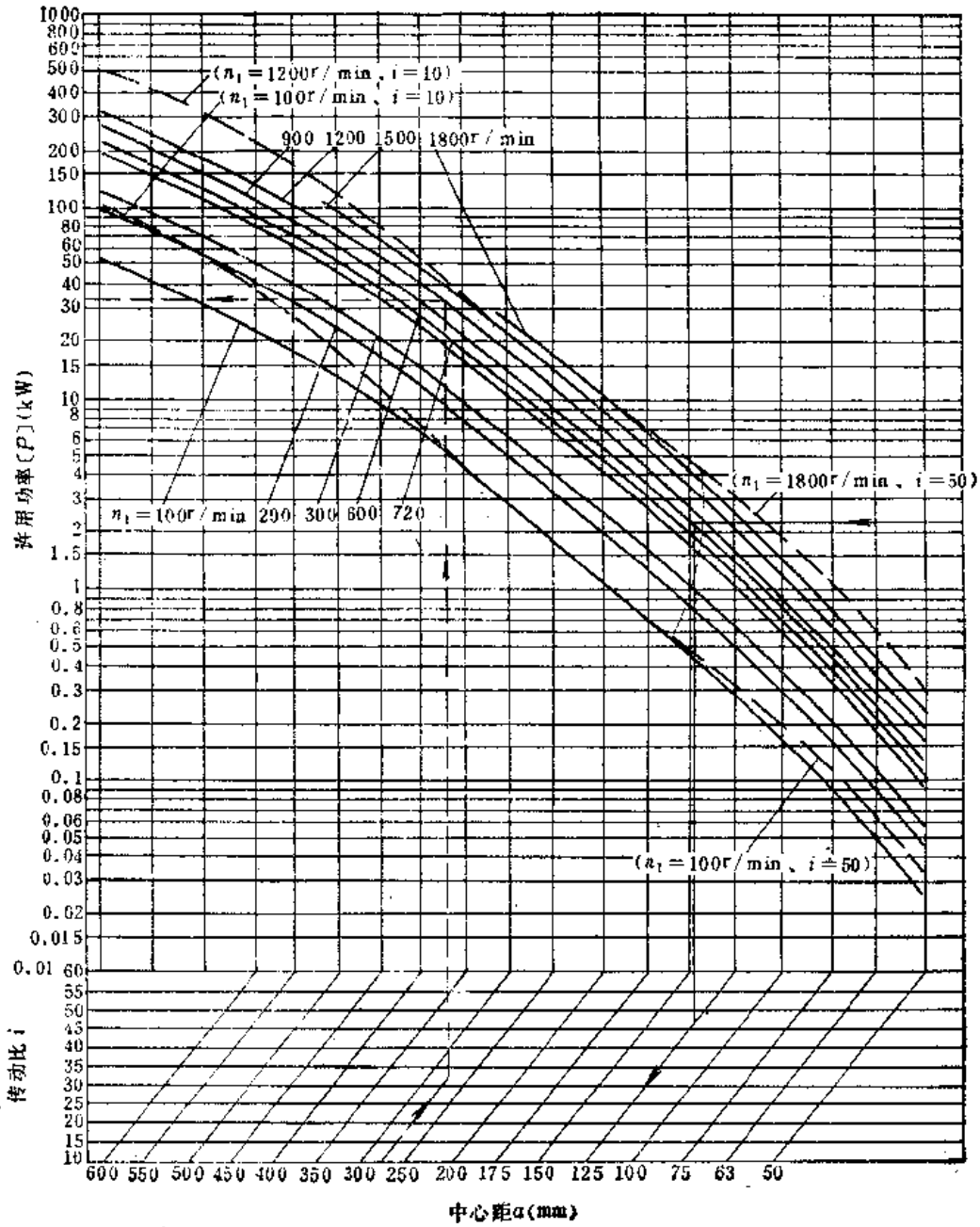


图13-10-28 平面包络环面蜗杆传动许用功率线图

注：1. 蜗杆齿面硬度HB = 269~341，蜗轮齿面硬度HB = 150~210。

2. 当 a 较大、 i 较小时或 a 较小、 i 较大时， $[P]$ 可在虚线范围内适当提高。

表13-10-27 蜗杆材料的机械性能

钢 号	抗拉强度 σ_b (N/mm ²)	屈服极限 σ_s (N/mm ²)	热处理代号	硬 度	
				心部HBS	表面HRC
45	≥ 735	≥ 441	G48	220~250	46~51
20Cr	≥ 784	≥ 588	S-C59	180~250	≥ 59
20CrMnTi	≥ 980	≥ 784	S-C59	220~300	≥ 59
12CrNi3	≥ 931	≥ 686	S-C59	220~300	≥ 59
40Cr	≥ 833	≥ 637	C52	220~250	50~55
38CrMoAlA	≥ 833	≥ 637	D900	≤ 260	HV ≥ 850

表13-10-28 常用蜗轮材料

蜗 轮 材 料	铸造方法	机械性能			适用的滑动 速度推荐值 (m/s)
		σ_b (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	HBS	
ZQSn10-1	砂 模	225	137	80~100	≤ 12
ZQSn10-1(锡磷镍青铜)	铁 模	245	196	100~120	≤ 12
Sn-10~12% Ni-0.4~0.7%	离 心 浇 铸	284	166	100~120	≤ 12
ZQSn6-6-3(锡铅铍青铜)	砂 模	147~196	784~980	60~75	≤ 10
ZQSn6-6-3	铁 模	176~196	784~980	60~75	≤ 10
ZQSn5-5-5(锡铅铍青铜)	铁 模	196~245	784~980	60~75	≤ 10
ZQA10-4	砂 模	392	196	110	≤ 8
	铸 造	400	196	125	≤ 8

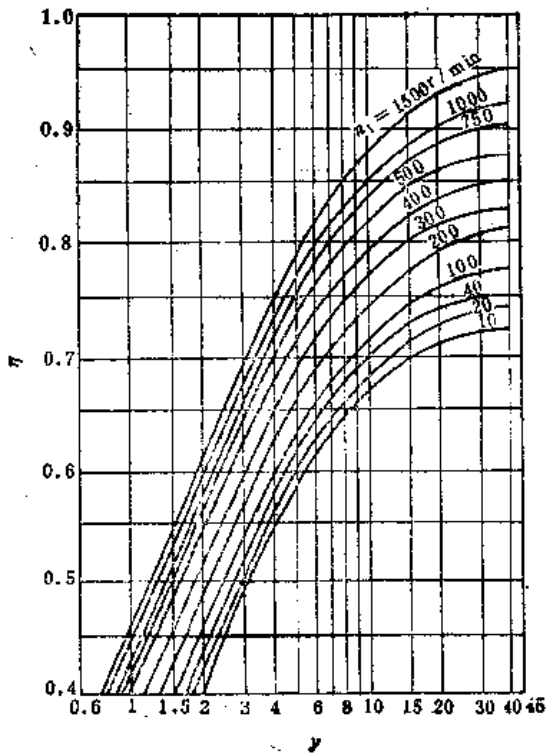


图13-10-29 环面蜗杆传动效率

第11节 蜗杆副轮齿损伤形式及一般对策

蜗杆传动常常因轮齿损伤而失效。与齿轮传动一样，蜗杆副轮齿损伤形式常见的有齿面磨损、胶合、齿面疲劳点蚀、塑性变形、轮齿折断等，但又有其不同于齿轮传动的特点。首先，蜗杆传动中齿面间相对滑动速度比齿轮传动更大，且啮合中任何接触点的相对滑动速度都不等于零，造成齿面胶合和疲劳点蚀更严重；其次，蜗杆具有连续的螺旋轮齿，使蜗杆传动较齿轮传动更平稳，因而发生轮齿折断失效的可能性比齿轮传动小；第三，蜗杆副的材料搭配不采用相同材料组合，而是采用硬齿面蜗杆与软材料蜗轮相配，使蜗杆和蜗轮的轮齿损伤形式各不相同。

(一) 蜗杆副轮齿损伤形式

1. 磨损

磨损是在啮合传动过程中，轮齿接触表面上的材料因摩擦而损耗的现象。按其产生原因，磨损可分为滑动磨损、粘着磨损、磨粒磨损、腐蚀磨损等

形式，蜗杆传动常见的是滑动磨损和粘着磨损即胶合，但润滑油脏污或工作齿面间进入杂质以及某些润滑油添加剂的化学作用也会引起磨粒磨损或腐蚀磨损。

齿面磨损在传动中是不可避免的，磨损量与运转时间的关系见图13-11-1。当齿面间承受的载荷接触应力超过润滑油的压力极限，齿面就开始进入半液体摩擦状态，初期磨损阶段即开始（图13-11-1中I），这一阶段磨损速度很快。随着接触表面的微凸体逐渐磨平，齿面跑合，磨损减缓，进入稳定磨损阶段（II），蜗杆蜗轮齿面出现均匀光滑的磨损带，如铅铁青铜经500万次加载运转后，磨损就达到这一阶段。随着磨损期的增长，或因齿面间相对滑动速度过大，载荷不稳定和过载，传动中温升加大，润滑油膜不良等引起磨损加剧，齿面进入剧烈磨损阶段（III）。此时工作齿面材料大量损耗，相对滑动速度越大的区域，材料损耗越大，齿廓形状逐渐破坏，齿厚减薄，并伴随急剧的温升，润滑油粘度下降，油膜不能建立，使齿面过度磨损，导致传动时产生严重的噪声，传动系统振动异常，效率急剧下降，温升异常，甚至发生严重胶合卡死，蜗杆副失效。

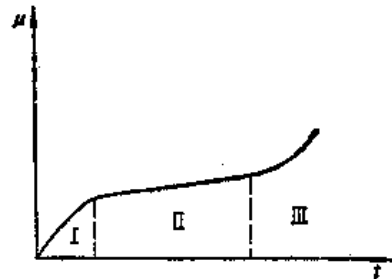


图13-11-1 磨损量与运转时间的关系

蜗杆蜗轮制造和装配的误差也是引起破坏性磨损的重要原因，如蜗杆轮齿表面粗糙度高，蜗杆蜗轮相对位置偏差过大，即使加载跑合也无法避免迅速进入破坏性磨损阶段。圆弧圆柱蜗杆传动和环面蜗杆传动因安装误差引起的磨损较普通圆柱蜗杆更为突出。

2. 胶合

当相啮合齿面的金属在一定压力下直接接触粘着，并随齿面的相对滑动，金属从齿面上撕落，这种严重的粘着磨损现象就是胶合。胶合可因啮合处的局部过热而导致油温高达闪点温度，使两接触齿面的金属熔焊而粘着，这种胶合叫着热胶合，也可

由于啮合处局部压力过高,且相对滑动速度过低而使两接触齿面间的表面膜被刺破而粘着,这种胶合叫着冷胶合。蜗杆传动中两种胶合都可发生。

蜗杆副中往往采用硬齿面蜗杆和软材料蜗轮相配,因此胶合引起的材料破坏和转移主要发生在蜗轮轮齿表面,一般当蜗轮材料的温度上升至 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 时,就会发生胶合现象。在蜗轮轮齿上,不同啮合部位的抗胶合能力因其相对滑动速度与接触线切线间的夹角 Ω 的大小而存在差异。 $\Omega=0$ 的集合线附近区域(见图13-2-14)形成润滑油膜的条件最差,因而使这一区域(蜗轮齿宽中段)抗胶合能力最差,胶合现象最为严重,见图13-11-2中“Ⅱ”区域。其次, Ω 角较小的“Ⅰ”区域抗胶合能力较差。轻微胶合时,蜗轮齿面中段部位沿滑动方向出现轻微细密的粘撕伤痕,见图13-11-3。此时,蜗杆齿面上粘附着蜗轮材料的粉末(如铜粉),同时润滑油中也可见蜗轮材料粉末。随着胶合的加剧,油温升高,蜗轮齿面粘撕伤痕加深,区域从齿宽中部(Ⅱ区)及啮入口部(Ⅰ区)向啮出口部(Ⅲ区)扩展,蜗杆齿面上粘附的蜗轮材料粉末增多。粘着磨损发展到破坏性胶合时,蜗轮齿面损伤已向深层扩展,沿滑动速度方向呈明显粘撕沟痕,蜗轮材料明显缺失,而蜗杆齿面积屑甚至成瘤状,齿面且有划痕,齿廓毁坏,见图13-11-4。此时,润滑油中混杂大量蜗轮金属粉粒,油温显著升高,蜗杆副传动效率急剧下降,噪声和振动增大,蜗杆副失效。更严重时,甚至会发生蜗杆蜗轮齿面间粘焊咬死,造成重大事故。低速重载的蜗杆副更易发生破坏性胶合损伤。

3. 齿面疲劳(点蚀、剥落)

齿面疲劳是由表面或次表面超过疲劳极限而产生的疲劳裂纹扩展而成的一种齿面损伤,它取决于相啮合齿面的接触应力和应力循环次数。

齿面疲劳损伤呈麻点状的称之为点蚀,齿面材料成片状剥离的称之为剥落。剥落的形状不规则,一般较浅平,且比点蚀坑大些。

蜗杆副的点蚀常发生在蜗轮齿面,蜗杆齿面不发生点蚀,这是由于蜗杆蜗轮表面裂纹方向不同,啮合中润滑油的液体被封闭在蜗轮表面裂纹中,在挤压作用下,加速蜗轮裂纹向纵深发展,而蜗杆裂纹方向正好相反,传动中裂纹内的油液挤出,裂纹不易扩大成点蚀。但表面硬化处理的蜗杆有时因材料或热处理缺陷、磨削过热等原因也可能产生疲劳裂

纹向表层内或表层软硬过渡区延伸扩展,而使啮合时齿面金属被压碎呈片状剥落,形成剥落坑。

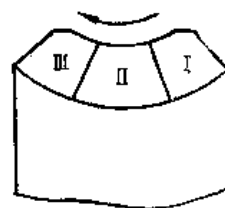


图13-11-2 蜗轮抗胶合能力的分段



图13-11-3 轻微胶合伤痕



图13-11-4 破坏性胶合时的齿面

由于啮出口形成润滑油膜的条件差,因此蜗轮的早期点蚀常发生在啮出口。在经齿面啮合后,接触应力趋向均匀,点蚀损伤可能停止甚至趋向好转,但已经早期点蚀的齿面随着所承受的接触应力的继续升高和应力循环次数的增多,点蚀区会由啮出口逐渐向中心区和全齿面扩展,见图13-11-5,并且点蚀面积和深度不断加大,形成破坏性点蚀,导致蜗杆传动运转不良,噪声增大。一般认为点蚀或剥落面积高达蜗轮齿面的 $1/3$ 时,蜗轮必须更换。

过高的接触应力的反复作用使齿面疲劳裂纹不断扩展以致碎裂而成片剥离,见图13-11-6。

4. 塑性变形

严重的过载或冲击引起的过大应力作用,使齿材料因屈服而产生塑性流动,形成齿面或齿体的塑性变形(见图13-11-7)。蜗杆副中蜗轮齿坯是软材料,所以齿体塑性变形一般只发生在蜗轮齿上。但有时重载传动的蜗杆齿面沿滑动方向也会

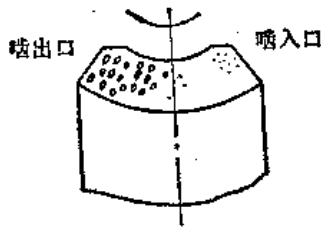


图13-11-5 蜗轮的点蚀

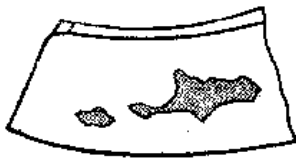


图13-11-6 剥落
(铅铁青铜蜗轮呈大面积剥落)



图13-11-7 齿体塑变

形成明显脊棱，这是由于高接触应力、低滑动速度和齿面间润滑不良，使表面或次表面的材料沿滑动方向发生塑性流动而产生的。

塑性变形的轮齿导致齿面接触不良，造成传动不平稳，引起严重的振动和噪声。

5. 断齿和裂纹

蜗杆副中蜗轮轮齿材料的强度硬度往往比蜗杆低，且蜗杆轮齿是连续的，不易折断，因此断齿这种损伤只发生在蜗轮上。另外，蜗轮齿坯往往采用铸造轮坯，常因轮坯铸造缺陷造成裂纹或断齿，见图13-11-8及图13-11-9。

有时，因蜗杆设计不合理或热处理缺陷，如在蜗杆齿根键槽处等薄弱环节的残余应力形成了裂纹源，在重载荷或冲击载荷时裂纹扩展造成蜗杆整体

折断，见图13-11-10。圆弧圆柱蜗杆副和环面蜗杆副的轮齿弯曲强度远比齿面接触强度大，且同时啮合齿数多，重合度大，工作平稳，一般很少发生轮齿折断。

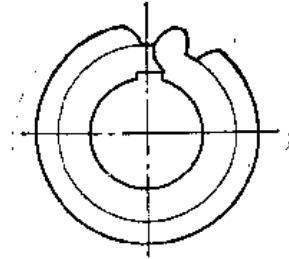


图13-11-8 轮坯裂纹
(铸造锡磷青铜蜗轮因铸造缺陷造成裂纹)

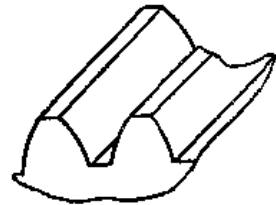


图13-11-9 蜗轮断齿
(球墨铸铁蜗轮，因组织疏松引起断齿)

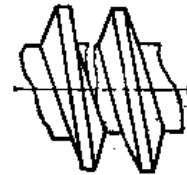


图13-11-10 蜗杆因热处理缺陷造成折断

(二) 蜗杆副轮齿损伤的一般对策

1. 磨损对策

对蜗杆副齿面磨损所要采取的措施首先要从润滑入手，改善润滑条件，增加油膜厚度，提高润滑油粘度，在润滑油中加入适当添加剂、抗磨剂，改善润滑方式，改善润滑冷却装置；采用合适的密封形式和润滑装置（如采用过滤装置）等都可减轻齿面磨损的进程。

蜗杆传动润滑油粘度的选择和润滑方式的选择可参看表13-11-1。

另外，更换脏油，清洗有关零件，增加润滑油过滤装置等措施都对减轻蜗杆传动的磨粒磨损有效。

除此之外，提高蜗杆副制造和装配精度，如降

低齿面粗糙度、提高蜗杆齿面硬度、重新调整安装偏差等措施也很重要。

2. 胶合对策

从润滑方面，换用有极压添加剂的润滑油或高粘度合成齿轮油，提高润滑油粘度来提高齿面间油膜强度；改油浴润滑为喷油润滑，改啮出口喷油为啮入口喷油等都是可取的措施。降低齿面粗糙度对减小早期胶合很有效。

除上述措施外，蜗杆传动在材料选择上有其特殊性，利用材料的合理选择和搭配来增强抗胶合的能力是很重要的。蜗杆材料中铬钢、镍钢易发生胶合；蜗轮材料中ZQA19-4铝铁青铜比ZQSn10-1锡磷青铜易发生胶合；在蜗杆蜗轮材料搭配上应采用互溶性小的材料组合，如钢—铜组合就比钢—钢组合抗胶合性能好；蜗杆轮齿采用表面处理（如氮化、渗碳）也可减小蜗杆副齿面间的互溶性，蜗杆蜗轮材料之间合适的硬度差可提高齿面抗胶合能力。

此外，重载低速是引起胶合的恶劣条件，在可能的情况下应尽可能降低齿面压力，使其低于齿面间产生胶合的临界载荷；适当增大齿面间的滑动速度有利于齿面间油膜的形成，从而增强抗胶合能力。

表13-11-2说明润滑油中添加剂对蜗杆传动失效形式的影响。

3. 齿面疲劳对策

从运转一开始就要为齿面载荷的均匀分布创造

条件，在良好的润滑情况下精心跑合，提高齿面贴合程度，是避免蜗杆副早期点蚀的有效措施。跑合时采用空载—加载—空载……反复循环、逐级加载的方式，加载一般以额定载荷的25%、50%……直至额定载荷。每级跑合时间其说不一，短至两分钟，长至2~3小时。选择正确的跑合可完成蜗杆齿面间的“压合”，强化蜗杆副齿面材料，因低载所产生的预加应力可提高齿面间的接触疲劳极限，提高齿面适应高载的能力，从而增强了蜗杆副抗点蚀的能力。

保持齿面接触应力低于蜗杆副齿面材料的疲劳极限就可避免破坏性点蚀，而选择适当的材料及齿面硬度、降低齿面粗糙度都可起到提高齿面接触应力，增强蜗杆副抗点蚀能力的效果。ZQSn10-1磷青铜抗蚀能力低于ZQA19-4铝铁青铜，齿面硬度HRC60左右的氮化40Cr蜗杆和HRC62左右的轴承钢氮化蜗杆抗点蚀能力较好。加厚蜗杆齿面渗碳层、提高渗碳层蜗杆心部硬度都是提高抗点蚀能力的措施。

表面粗糙度、接触应力和疲劳磨损寿命的关系见表13-11-3，由表可见，在一定接触应力前提下，降低粗糙度使疲劳磨损寿命大大提高。

提高润滑油的粘度，可增强齿面的抗疲劳点蚀及剥落的能力。

如以上措施都无效，应考虑是否是齿面承载能力不足，而重新设计蜗杆副。

表13-11-1 蜗杆传动润滑油粘度及润滑方式

滑动速度 v_s (m/s)	≤1	>1~2.5	>2.5~5	>5~10	>10~15	>15~25	>25
润滑油粘度 ν_{E60} ($^{\circ}$ E100)	60(7)	36(4.5)	24(3)	16(2)	11	8	6
给油方法	油池润滑			喷油或油池润滑	喷油润滑		

注：油池润滑，对下蜗杆或侧蜗杆式传动，浸油深度为蜗杆的一个齿高；对上蜗杆式浸油深度约为蜗轮外径的1/3。

表13-11-2 润滑油添加剂对蜗杆传动失效形式的影响

添加剂	传动效率	减磨性	抗胶合	抗点蚀
基础油	差	中	差	优
油脂型	优	优	优	中
油性型	优	优	优	中
硫型极压型	中	优	优	差
铅型极压型	中	中	中	中
硫钼型极压型	中	差	差	差

表13-11-3 表面粗糙度与齿面疲劳磨损寿命

接触应力 (N/mm ²)	最终加工方法	平均寿命×10 ⁷ 次
3700	磨削	1.25
	抛光	5.20
	超精研磨	4.18
4160	磨削	0.78
	抛光	2.02
	超精研磨	1.63

4. 塑性变形对策

减小接触应力，增加接触表面和次表面的硬度，提高润滑油粘度，采用极压添加剂润滑油，改善润滑状况；提高安装精度及齿距齿向制造精度，减小齿形误差；降低动载荷，避免载荷集中等都是—般常用的措施。

5. 断齿和裂纹对策

严格控制蜗轮轮坯和蜗杆热处理的质量，避免轮坯缺陷和热处理缺陷。设计和加工中要注意避免载荷集中的裂纹源产生因素。

参 考 文 献

[1] 机械工程手册编辑委员会编著。机械工程手册(第6卷)。北京：机械工业出版社，

1982

- [2] 机械设计手册编委会编。机械设计手册(中册)。北京：化工出版社，1982
- [3] 机床设计手册编写组编。机床设计手册(第2卷)。北京：机械工业出版社，1982
- [4] [日]会田俊夫主编。圆锥齿轮与蜗轮。北京：农业出版社，1984
- [5] [日]仙波正庄著。齿轮强度计算。北京：化工出版社，1984
- [6] 吴鸿业等编著。蜗杆传动设计。北京：机械工业出版社，1986
- [7] 杨春兰编著。圆弧齿圆柱蜗杆传动。太原：山西人民出版社，1984
- [8] A. K托马斯著。齿轮承载能力。北京：冶金工业出版社，1973
- [9] P. S. HOUGHTON. ed, 《Gears-Spur, Helical, Bevel, Internal, Epicyclic And Worm》, C. Eng, M. I. Mech, E. I. V. F, 1963
- [10] В. И. Анурьев, 《Справочник конструктора-Машин-Ностроителя》, Машгиз, 1978
- [11] 机修手册第一篇修订小组。蜗杆传动(第一篇第五册)。北京：机械工业出版社，1976