

机械設計基础

下 册

湖南大学

机械系机械设计教研室编

一九七五年三月

目 录

第七章 蜗杆蜗轮传动

§ 7—1	蜗杆蜗轮传动的特点和应用	1
§ 7—2	蜗杆蜗轮传动的类型	4
§ 7—3	蜗杆蜗轮传动的主要参数 和几何尺寸的计算	6
§ 7—4	蜗杆蜗轮传动的强度计算	13
§ 7—5	蜗杆蜗轮传动的润滑和热平衡计算	19

第八章 轮系机构

§ 8—1	概述	29
§ 8—2	轮系传动比的确定	31
§ 8—3	周转轮系的应用	36
§ 8—4	行星轮系的设计	47

第九章 凸轮机构

§ 9—1	凸轮机构在机械中的应用和分类	51
§ 9—2	从动件运动规律的选择	54
§ 9—3	凸轮轮廓的设计(作图法)	57
§ 9—4	从动件滚子半径的决定	62
§ 9—5	凸轮机构的受力分析——压力角和基圆半径	64
§ 9—6	凸轮设计中的其他问题	68
§ 9—7	凸轮的加工方法和凸轮靠模轮廓的设计	70
§ 9—8	园弧凸轮	72

第十章 轴的设计

§ 10—1	轴的用途、分类及要求	76
§ 10—2	轴的材料及热处理	77
§ 10—3	轴的结构设计和技术要求	78
§ 10—4	轴的强度计算	84
§ 10—5	轴的刚度计算	88

第十一章 轴承

第一部分 滑动轴承

§ 11—1	滑动轴承中的摩擦状态	105
--------	------------	-----

§ 11—2	液体动压润滑的基本原理	109
§ 11—3	向心滑动轴承的结构及润滑	113
§ 11—4	非液体摩擦润滑轴承的计算	119
§ 11—5	液体动压润滑向心滑动轴承的计算	120
§ 11—6	多油楔轴承	127
§ 11—7	静压润滑轴承	128

第二部分 滚动轴承

§ 11—8	滚动轴承的基本结构和型号	132
§ 11—9	滚动轴承类型的选择	142
§ 11—10	滚动轴承的尺寸选择	145
§ 11—11	滚动轴承的组合设计	162

第十二章 联轴节和离合器

§ 12—1	联轴节	177
§ 12—2	离合器	185

第十三章 回转体的平衡

§ 13—1	回转零件的不平衡现象及其对机器的影响	195
§ 13—2	静平衡与动平衡	195
§ 13—3	平衡方法和平衡机简介	200

第十四章 弹簧

§ 14—1	弹簧的功用及分类	203
§ 14—2	园柱形螺旋弹簧的结构材料及制造	204
§ 14—3	压缩及拉伸园柱形螺旋弹簧的几何 参数和特性曲线	207
§ 14—4	压缩及拉伸园柱形螺旋弹簧的设计计算	209
§ 14—5	扭转园柱形螺旋弹簧	214

第七章 蜗杆蜗轮传动

§ 7—1 蜗杆蜗轮传动的特点和应用

一、蜗杆蜗轮传动的啮合原理

齿轮传动有很多优点，是机器中应用最广泛的机构。但是齿轮传动也有一定的局限性，并不是在任何条件下都可以适用的。例如某些机器要求传动机构的传动比大体积小，结构简单，如果采用齿轮传动就很困难，因为一对齿轮传动的传动比一般不大于8，在传动比很大的情况下，往往要用三级或更多级齿轮，这就会使机器的体积增大，结构复杂、成本提高。除此之外，还有一些其他要求也是齿轮传动无法适应的。因此随着生产的发展，对传动机构的更高要求和原有传动机构的适应性产生了矛盾，事物内部的矛盾运动，引起了事物的发展，人们在实践中为了解决上述矛盾。在齿轮传动的基础上，创造了蜗杆蜗轮传动，在一定程度上适应了大传动比和其他特殊要求。目前蜗杆蜗轮传动得到了广泛应用。

蜗杆蜗轮传动的工作原理如图7—1所示，其中主要构件是蜗杆1和蜗轮2。蜗杆相当于一根短的“螺杆”，工作时绕自己的轴线传动，但不能移动。蜗轮相当于一个特殊形状的齿轮，它的齿形由蜗杆螺旋面的形状决定（不一定是渐开线）。传动时蜗轮轮齿和蜗杆螺旋相啮合。由于蜗杆螺纹有一个升角 λ ，因此蜗轮轮齿也要有一个螺旋角 β ， β 必须和 λ 大小相等，方向相同。当蜗杆转动时，蜗杆螺纹推动蜗轮轮齿而使蜗轮绕自己的轴心转动，从而达到传动的目的。

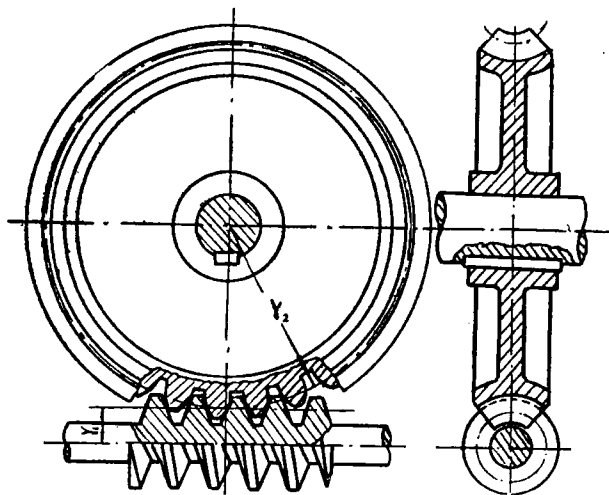


图 7—1

蜗杆轴线和蜗轮轴线在空间所夹角度，通常是 90° 。

蜗杆的螺纹可以在车床上加工（高精度蜗杆还需要磨），蜗轮轮齿用和蜗杆几何参数相同的滚刀加工，加工时，蜗轮的毛坯和刀具的转速，严格保持一对蜗杆蜗轮传动的传动比的关系，这就保证了蜗杆蜗轮传动的瞬时传动比为常数。

二、蜗杆蜗轮传动的特点

“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成了一事物区别于他事物的特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成了一事物区别于他事物的特殊的本质。”为了要了解蜗杆蜗轮传动的特点，必须进一步分析蜗杆蜗轮传动的一些特殊本质。

1. 蜗杆蜗轮传动的传动比

图7-2表示蜗杆蜗轮传动简图。图中1表示蜗杆的节圆柱，2表示蜗轮的节圆，二者相切于P点，P点称为节点。1上的斜线表示蜗杆螺纹。两相邻螺纹之间的距离 t 为蜗杆的轴向齿距，螺纹绕节圆柱转一圈前进的距离 S 为螺纹的导程。蜗杆螺纹可以是单头的，也可以是多头的。对于单头螺纹 $t=S$ ，对于双头螺纹 $S=2t$ 。在一般情况下，如蜗杆的螺纹头数为 Z_1 ，则导程 $S=Z_1 t$ 。设蜗轮的齿数为 Z_2 ，节圆上的周节为 t_2 ，为保证蜗杆螺纹和蜗轮轮齿一一啮合，必须使 $t=t_2$ 。

当蜗杆转动一圈时，推动蜗轮转过 Z_1 个齿。所以蜗杆转过一圈，蜗轮只能转过 $\frac{Z_1}{Z_2}$ 圈，设蜗杆的每分钟转数为 n_1 ，蜗轮每分钟转数为 n_2 ；则

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

传动比

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

通常蜗杆螺纹头数很少，一般为1~4。

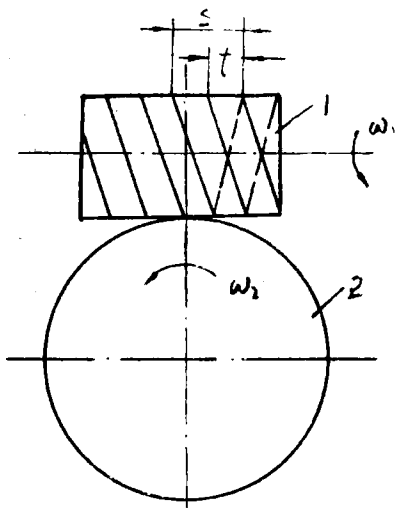


图 7-2

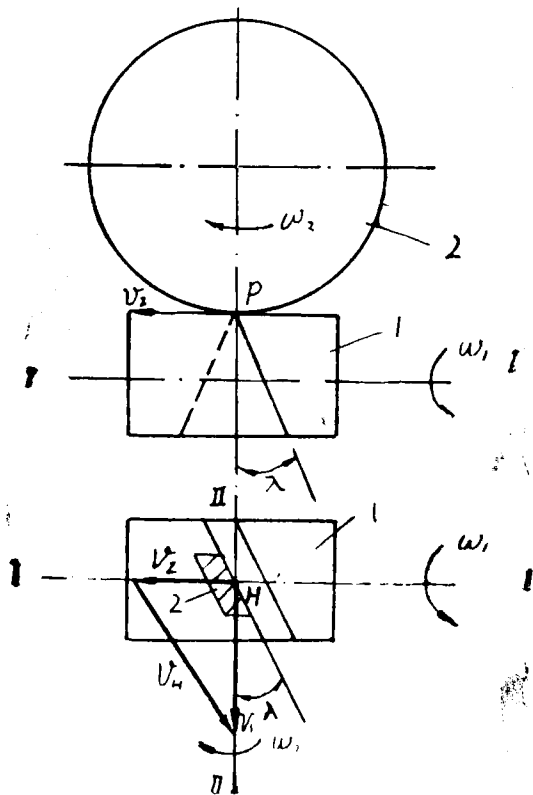


图 7-3

螺纹头数大于4的蜗杆加工很困难。因此常用的蜗杆螺纹头数 Z_1 不大于4。而蜗轮齿数却比较多，常用范围是30~80，对于以传递运动为主的（传递的功率很小）蜗轮，齿

数可以到1000, 所以, 一对蜗杆蜗轮的传动比, 比一对齿轮的传动比大得多。

2. 蜗杆蜗轮传动齿面的滑动

图7—3表示一对蜗杆蜗轮传动节园柱在节点 P 处的相切情况, 两者分别以 ω_1 和 ω_2 的角速度转动, 由于蜗杆蜗轮轴心是不平行又不相交, 在绝大多数情况下成 90° 夹角, 因此在接触点 P 处, 它们的线速度的方向是不同的。对于蜗杆螺纹上的一点而言, P 的线速度 v_1 , 应当垂直于自己的轴心 I—I, 而对于蜗轮轮齿上的一点而言, P 的线速度 v_2 应当垂直于 II—II。这样在接触点 P 处蜗杆螺纹上的点和蜗轮轮齿上的点的线速度方向和大小都不相同, 于是就在相啮合的齿面之间产生了相对滑动。相对滑动速度 v_a 和 v_1 、 v_2 的关系如图7—3所示。在轴 I—I 和轴 II—II 的夹角为 90° 时, 从图中可以看出

$$v_a = \frac{v_1}{\cos\lambda}$$

如已知蜗杆的分度园 (节园) 的直径 d_{o1} 和转速 n_1 , 则

$$v_1 = \frac{\pi d_{o1} n_1}{60 \times 1000} \quad \text{米/秒}$$

$$\therefore v_a = \frac{\pi d_{o1} n_1}{60 \times 1000 \cos\lambda} \quad \text{米/秒} \quad (7-1)$$

很显然, 相对滑动速度 v_a 大于蜗杆分度园上的园周速度 v_1 。

蜗杆蜗轮传动的相对滑动速度 v_a 要比齿轮传动齿面的相对滑动速度大得多。

3. 蜗杆蜗轮传动的啮合效率

蜗杆蜗轮传动齿面间的相对滑动速度较大。当传递载荷时, 齿面间还有一定的压力, 因此, 蜗杆蜗轮传动的摩擦损失也较大, 在设计蜗杆蜗轮传动时, 必须考虑传动的啮合效率问题。

前面已经讲过, 蜗杆相当于一个螺杆, 工作时, 蜗轮轮齿和蜗杆螺纹间的运动情况和螺杆与螺母的运动情况相似。因此, 对于蜗杆蜗轮传动啮合效率的计算, 可以直接引用螺旋传动的效率公式。

当蜗杆为主动件时, 其啮合效率为

$$\eta_n = \frac{tg\lambda}{tg(\lambda + \rho)} \quad (7-2)$$

当蜗轮为主动件时, 其啮合效率为

$$\eta'_n = \frac{tg(\lambda - \rho)}{tg\lambda} \quad (7-3)$$

式中 λ 为蜗杆螺纹的升角, ρ 为接触面的摩擦角。

例如:

$$\lambda = 20^\circ \quad \rho = 6^\circ (\text{相当于} f = 0.1) \text{ 时}$$

$$\eta_n \approx 0.75 \quad \eta'_n \approx 0.70$$

而当

$$\lambda = 5^\circ \quad \rho = 6^\circ \text{ 时}$$

$$\eta_n \approx 0.45 \quad \eta'_n \approx -0.2$$

可见, 蜗轮主动时, 啮合效率更低。对于蜗轮主动时, η'_n 为负值, 是说明蜗轮不可能带动蜗杆转动, 也就是自锁。

总的说来, 蜗杆蜗轮传动的啮合效率, 在制造精度相同的条件下, 要比齿轮传动低得多。

4. 蜗杆蜗轮传动的特点和应用

“应当从客观存在着的实际出发，从其中引出规律，作为我们行动的向导。”经过以上各段的分析，现可以进一步找出蜗杆蜗轮传动基本特点了。

(1) 蜗杆蜗轮传动的传动比较大、工作平稳、无噪音。

(2) 工作时摩擦损失较大，容易发热，要求有良好的润滑条件，为了减少摩擦损失，常常要用较贵的减摩合金（如铜合金）制造蜗轮，并且加工也比齿轮困难些。

(3) 啮合效率低，在传递大功率时，功率损失很大。

因此，蜗杆蜗轮传动不是处处都适用的。我们必须全面地看问题，根据这种传动的特点合理选用。例如机床中常利用蜗杆蜗轮传动的传动比大、蜗轮可以得到精确的很小的转动这一特点，用它作为分度机构；铸造车间的铁水包，利用蜗杆蜗轮的传动比大，在一定的条件下可以自锁的这一特点，作为倾注机构；一些手动起重设备，常采用蜗杆蜗轮机构，也是利用可以自锁这一特性，使重物吊起后不能自动落下，以保证工作安全；某些操纵机构，如汽车的方向盘，要求操纵灵活省力，利用传动比大、因而力比也大的这一特点，也常采用蜗杆蜗轮机构。

§ 7—2 蜗杆蜗轮传动的类型

蜗杆蜗轮传动的类型很多，随着工业技术的发展，各种形式的蜗杆蜗轮不断出现。目前常用的蜗杆蜗轮传动，按蜗杆的形状不同可分为圆柱蜗杆和圆弧面蜗杆两大类，其中圆柱蜗杆按加工方法和螺纹齿形不同，又可以分为阿基米德螺旋线蜗杆、渐开线蜗杆、延长渐开线蜗杆和圆弧齿蜗杆等等。下面将最常用的阿基米德螺旋线蜗杆和圆弧面蜗杆的主要特点做简单说明。

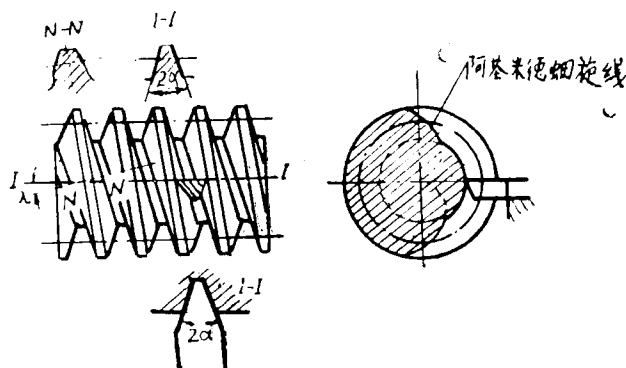


图 7—4 阿基米德蜗杆

一、阿基米德螺旋线圆柱蜗杆

阿基米德螺旋线蜗杆的形状和梯形传动螺旋相同（见图7—4）。在通过蜗杆轴线的剖面1—1上（通常称为主平面），螺纹的剖面为梯形，其夹角为 2α ，通常取 $\alpha=20^\circ$ 。这种蜗杆可以在螺纹车床上加工。加工方法和车制梯形螺纹的方法相同，所用的车刀刀刃两边都是直线形，刀尖的夹角等于 $2\alpha=40^\circ$ ，加工时车刀前刀和蜗杆轴线位于同一平面内。

这样加工出来的蜗杆在垂直轴线的截面上是阿基米德螺旋线，所以叫阿基米德螺旋线蜗杆。

在主平面上（图7—4的 I—I 剖面），蜗杆螺纹剖面 and 齿条相同，但在垂直于螺纹方向的法向剖面 $N-N$ 上齿形不是直线的。蜗杆与蜗轮的啮合和齿条同齿轮的啮合相同，因此，蜗轮在主平面上的齿形是渐开线，这种蜗杆蜗轮的各部尺寸，将在下一节中详细介绍。

阿基米德螺旋线蜗杆的工作性能（主要是齿的强度和传动的啮合效率），都不是最好的，但这种蜗杆蜗轮加工简便，所以在各种蜗杆中，使用最广泛，如果没什么特殊要求，多采用这种蜗杆。

二、园弧面蜗杆

园弧面蜗杆和园柱蜗杆不同之处很多。从其形状来看，园弧面蜗杆的螺纹不是在一个园柱上，而是在一个园弧回转体上。

如图7—5所示，图中1为蜗杆、2为蜗轮， d_{o2} 为蜗轮在主平面中的分度园直径。蜗杆的分度园不再是一个园柱，而是由 AB 园弧绕 I—I 回转而形成的园弧面，园弧面腰部（最细的部分）直径 d_{o1} 称为蜗杆分度园直径。蜗杆螺纹的齿顶和齿根位于另外两个园弧面上。

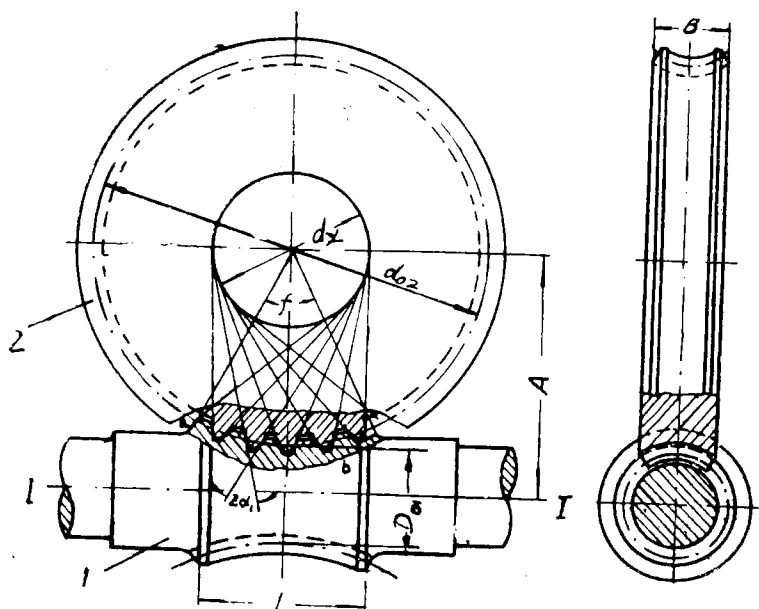


图 7—5

在主平面上，蜗杆齿形是园弧形的直边齿条，蜗轮的齿形与此相应，也是直边齿形。啮合时蜗轮轮齿与蜗杆螺纹在 2 倍齿顶高的长度上接触。蜗杆或蜗轮齿廓的延长线和一个与蜗轮同心，直径为 d_x 的园相切，这个园称成形园。

园弧面蜗杆可以在车床上加工。先将蜗杆加工成齿顶园弧的园弧体,然后再切削螺纹,切削螺纹的直边刀安装在可以转动的刀架上。刀架回转中心和被切削的蜗杆轴心的距离为传动中心距 A ,切削时,车刀绕轴心转动的角速度和蜗杆转动的角速度之比,应当等于蜗杆蜗轮传动的传动比。因此车刀和被切削的蜗杆之间的关系,和一对蜗杆蜗轮传动的运动关系是一样的,车刀实际上相当于蜗轮的一个齿。而同园弧面蜗杆相啮合的蜗轮,原则上应用和园弧面蜗杆相同的滚刀加工。总之,用和蜗轮相同的刀具加工蜗杆,用和蜗杆相同的刀具加工蜗轮,这就保证了园弧面蜗杆传动瞬时传动比不变和传动平稳的要求。

和园柱蜗杆相比较,园弧面蜗杆的优点很多,主要是轮齿强度高,啮合部位形成液体润滑的条件也比园柱蜗杆好。因此园弧面蜗杆蜗轮传动的承载能力大,啮合效率高,耐磨性能好。但是其制造比较复杂,成本较高。所以主要用在大功率传动之处。关于园弧面蜗杆计算和制造的资料,可以参考有关手册。

近年来,不断出现一些适用于大传动比的新型传动机构,如谐波传动和摆线针轮传动等。这些传动机构传动比可以很大,啮合效率也很高,在较大功率时比用蜗杆蜗轮优越,在有些机器中有代替蜗杆蜗轮的趋势。因此,目前蜗杆蜗轮应用最多的主要是小功率和以传递运动为主的场合,而在这种情况下,阿基米德螺旋线蜗杆完全可以满足要求。所以下面我们只讨论阿基米德螺旋线蜗杆的计算和设计问题。

§ 7—3 蜗杆蜗轮传动的主要参数和几何尺寸计算

一对蜗杆蜗轮传动的几何尺寸很多,但是各个几何尺寸都是由模数 m ,蜗杆特性系数 q ,蜗杆头数 Z_1 和蜗轮齿数 Z_2 等几个主要参数决定的。设计蜗杆蜗轮就要首先抓住主要参数的确定。如果正确选定了主要参数,那么蜗杆蜗轮的各部几何尺寸就可以随之确定了。可是这些主要参数之间又是互相联系的,为了正确地选择这些参数,下面我们来分析一下各主要参数的相互影响和选择的方法。

一、模数 m

前面已经提到,蜗轮的形状和齿轮相似,特别是阿基米德螺旋线蜗杆,在主平面上蜗轮的齿形是渐开线,蜗杆的齿形是直齿齿条(见图7—6),因此决定蜗轮尺寸的主要参数是齿数 Z_2 和模数。由于蜗杆螺纹有一个升角 λ ,蜗轮轮齿必须相应地有一个螺旋角 β ,而且 $\beta = \lambda$ 。在斜齿轮中我们知道,斜齿轮有端面模数和法面模数之分,并且规定法面模数为标准模数。但在蜗杆蜗轮传动中,由于要用和蜗杆相同的刀具加工蜗轮,因此确定端面模数,也就是蜗杆的轴向模数为标准模数比较方便。我国规定蜗轮和蜗杆的模数值,见表7—1。模数大小应当根据强度条件选用。

二、蜗杆特性系数 q

在加工蜗轮时必须用和蜗杆尺寸相同的刀具。蜗杆在主平面上相当于齿条(对于阿

基米德螺旋线蜗杆是直齿齿条)。当我们确定了蜗杆、蜗轮的模数 m 时,只能确定蜗杆螺纹的齿距, $t=\pi m$,不能确定蜗杆的分度圆直径 d_{o1} ,因为当齿距 t 一定时,对于分度圆直径 d_{o1} 不同的蜗杆可以有相同的齿形和齿距,只不过螺纹的升角不同而已,这样以来,对于同一模数的蜗轮,由于和它相啮合的蜗杆的分度圆 d_{o1} 不同,就要用不同的刀具加工。

为了减少加工蜗轮刀具,便于标准化,对于蜗杆不但要定出模数的标准,同时还要

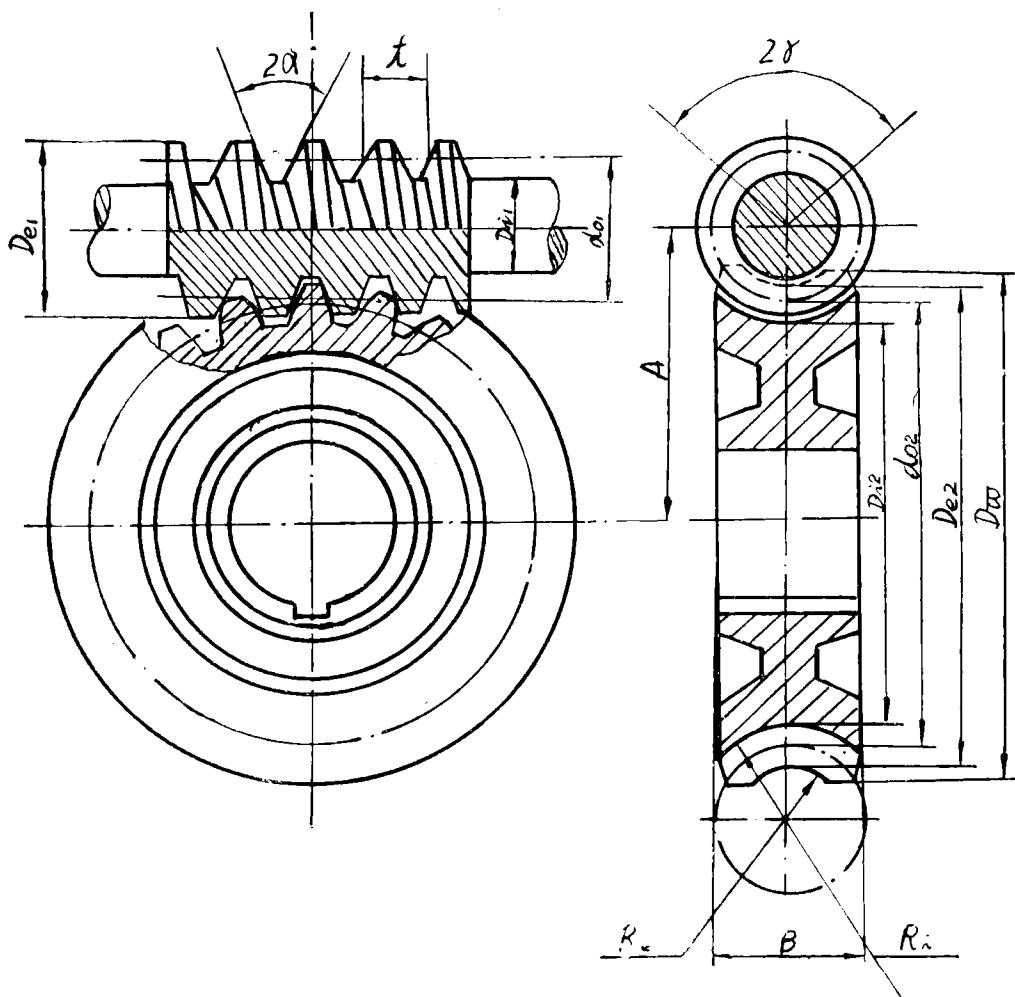


图 7—6

规定一定模数时的蜗杆分度圆直径。为此,再规定一个蜗杆特性系数 q 。

$$q = \frac{d_{o1}}{m}$$

而蜗杆的分度圆直径

$$d_{o1} = qm \quad (7-4)$$

标准中,规定 q 值和 q 与 m 的对应值,见表7—1。

当用蜗轮滚刀加工蜗轮时,必须从表7—1中选用蜗杆的特性系数 q ,如果不是用蜗

轮滚刀加工,而是用单齿“飞刀”加工蜗轮,可以不受此种限制。为了降低制造成本,对于一些手动的或传力很小速度不高的蜗轮,也可以用齿轮滚刀加工,在这种情况下,蜗杆的尺寸最好选得和用来加工蜗轮的滚刀相同,这时, q 值也不受7—1的限制。

表7—1 蜗杆蜗轮的模数 m 和特性系数 q

m	1	1.5	2	2.5	3	(3.5)	4	(4.5)
q	14	14	13	12	12	12	11	11
$m\sqrt[3]{q}$	0.241	0.362	0.47	0.572	0.687	0.8	0.89	1.001
m	5	6	(7)	8	(9)	10	12	
q	10 (12)	9 (11)	9 (11)	8 (11)	8 (11)	8 (11)	8 (11)	
$m\sqrt[3]{q}$	1.08 (1.14)	1.25 (1.34)	1.46 (1.56)	1.60 (1.78)	1.80 (2.0)	2.0 (2.22)	2.40 (2.67)	

注: (1) m 的单位为毫米, $m\sqrt[3]{q}$ 的单位为厘米。
(2) 括号的数值尽可能不用。

三、蜗杆头数 Z_1 和螺纹升角 λ

蜗杆头数 Z_1 , 主要根据传动比选定。但 Z_1 和螺纹升角 λ 有密切的关系, 而 λ 又和

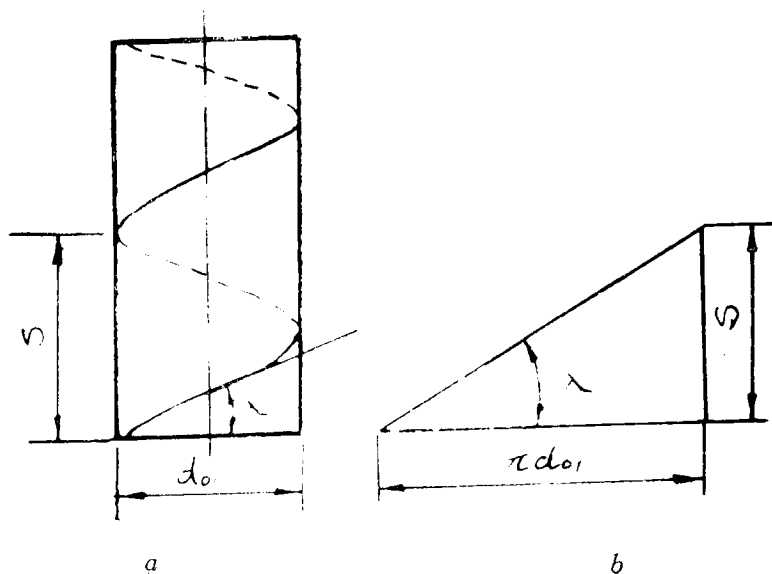


图 7—7

啮合效率有关系, 因此选择 Z_1 时, 不但要满足传动的要求, 同时也要适当考虑效率问题。

图7—7a表示在分度圆柱上的一条螺旋线, 螺旋线绕过分度圆一圈沿轴线上升的距离即为导程 S 。将分度圆柱展开(图7—7b), 螺旋线就成为一条斜线, 它和圆周长 πd_{o1} 及导程 S 组成一个直角三角形。锐角 λ 就是螺旋线的升角 λ 。

由图中可见

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{S}{\pi d_{o1}} = \frac{\pi m Z_1}{\pi m q} = \frac{Z_1}{q} \quad (7-5)$$

这个式子表达了 λ 、 Z_1 、 q 之间的关系, 当 q 选定之后, Z_1 和 λ 成正比关系。前面已经指出, 蜗杆蜗轮传动的啮合效率为

$$\eta_n = \frac{\operatorname{tg} \lambda}{\operatorname{tg}(\lambda + \rho)}$$

所以, Z_1 大时, λ 就大, 其啮合效率也就高。反之, λ 变小, 啮合效率也降低。

表 7—2

蜗杆分度圆柱上的螺旋线升角 λ 值

$\begin{array}{c} q \\ \backslash \\ Z_1 \end{array}$	8	9	10	11	12	13	14
1	7°07'30"	6°20'25"	5°42'38"	5°11'40"	4°45'49"	4°23'55"	4°05'08"
2	14°02'10"	12°31'44"	11°18'36"	10°18'17"	9°27'44"	8°44'46"	8°07'48"
3	20°33'22"	18°26'06"	16°41'57"	15°15'18"	14°02'10"	12°59'41"	12°05'41"
4	26°33'54"	23°57'45"	21°48'05"	19°58'59"	18°26'06"	17°06'10"	15°56'43"

一般说来, 当传动比较大时; 或对于传动效率要求不高的手动和传力很小的传动, 应当选用单头蜗杆, 这样可以减小传动的尺寸加工也方便些。如果传动比不大或传递的功率较大时, 应当选用多头蜗杆, 以提高啮合效率, 但最多不超过四头, 否则会使加工困难。

为了便于计算, 将 Z_1 、 q 、 λ 的值列入表7—2中, 如果 q 值超过表中所列数值, 那就只能按式7—5计算。

蜗轮轮齿的螺旋角 β 应当和 λ 大小相等, 方向相同。为了加工方便, 蜗杆螺纹的方向多用右旋。

四、蜗轮的齿数 Z_2

蜗轮的齿数主要根据传动比来确定, 即

$$Z_2 = Z_1 \cdot i$$

但应当注意 Z_2 不能过小, 也不宜过大。因为当 Z_2 过小时, 蜗轮可能产生根切。当用单头蜗杆时, Z_2 最好大于20, 用双头蜗杆时, Z_2 应大于26。如果 Z_2 过大, 则蜗轮的

表 7—3

蜗杆主要尺寸计算

项 目	符号	计 算 公 式	注
分度圆直径	d_o1	$d_o1 = m q$	
齿顶高	h'	$h' = f_o m = m$	$f_o = 1$
齿根高	h''	$h'' = m(f_o + c) = 1.2m$	$c = 0.2$
全齿高	h	$h = h' + h'' = 2.2m$	
齿顶圆直径	D_o1	$D_o1 = d_o1 + 2h' = m(q + 2)$	
齿根圆直径	D_i1	$D_i1 = d_o1 - 2h'' = m(q - 2.4)$	图纸上不要注明
螺纹升角	λ	$t_g \lambda = \frac{Z_1}{q}$	工作图上必须注明方向
轴面齿形角	α	$\alpha = 20^\circ$	标准值
螺纹部分长度	L	当 $Z_1 = 1 \sim 2$ 时 $L \geq (13 \sim 16)m$ 当 $Z_1 = 3 \sim 4$ 时 $L \geq (15 \sim 20)m$	对于需磨削的蜗杆, L 应加长: $m < 10$, 加 $25mm$ $m = 10 \sim 16$, 加 $35 \sim 45mm$ $m > 16$, 加 $50mm$
轴向齿距	t	$t = \pi m$	
螺纹轴向齿厚	S_o1	$S_o1 = \frac{t}{2} = \frac{\pi m}{2}$	
螺纹法面齿弧厚	S_{n1}	$S_{n1} = S_o1 \cos \lambda$	
螺纹法面齿弦厚	$S_{x n1}$	$S_{x n1} = S_{n1} \left(1 - \frac{S_{n1}^2 \sin^2 \lambda}{6 d_o1^2} \right) \approx S_{n1}$	用 S_{n1} 已足够准确
螺纹法面齿弦高	$h_{x n1}$	$h_{x n1} = h' + \frac{S_{n1}^2 \sin^2 \lambda}{4 d_o1} \approx h'$	对于单头蜗杆可用近似值。

表 7-4

蜗轮主要尺寸计算

项 目	符 号	计 算 公 式	注
分度圆直径	d_{o2}	$d_{o2} = mz_2$	
主平面上齿顶高	h'	$h' = f_o m = m$	$f_o = 1$
主平面上齿根高	h''	$h'' = m(f_o + c) = 1.2m$	$c = 0.2$
主平面上全齿高	h	$h = h' + h'' = 2.2m$	
主平面上齿顶圆直径	D_{o2}	$D_{o2} = d_{o2} + 2m = m(Z_2 + 2)$	
主平面上齿根圆直径	D_{i2}	$D_{i2} = d_{o2} - 2.4m = m(Z_2 - 2.4)$	
蜗轮外径	D_w	D_w 随 Z_1 不同而变化 $Z_1 = 1, D_w \leq D_{o2} + 2m$ $Z_1 = 2 \sim 3$ $D_w \leq D_{o2} + 1.5m$ $Z_1 = 4, D_w \leq D_{o2} + m$	
蜗轮宽度	B	$Z_1 \leq 3, B \leq 0.75 D_{o1}$ $Z_1 = 4, B \leq 0.67 D_{o1}$	
蜗轮齿圈包角	2γ	$\sin \gamma = \frac{B}{D_{o1} - 0.5m}$ $2\gamma = 45^\circ \sim 60^\circ,$ $2\gamma = 70^\circ \sim 90^\circ,$ $2\gamma = 90^\circ \sim 130^\circ,$	适用于回转分度机构 用于一般动力传动 用于高速动力传动
分度圆上的螺旋角	β	$\beta = \lambda$	应注明方向
齿顶圆弧半径	R_o	$R_o = \frac{d_{o1}}{2} - m$	
齿根圆弧半径	R_i	$R_i = \frac{d_{o1}}{2} + 1.2m$	
中心距	A	$A = \frac{m}{2}(Z_2 + q)$	
分度圆弧齿厚	S_{o2}	$S_{o2} = \frac{\pi m}{2}$	
分度圆弦齿厚	S_{x2}	$S_{x2} = S_{o2} \left(1 - \frac{S_{o2}^2}{6d_{o2}^2} \right)$	
分度圆法向弦齿厚	S_{xn2}	$S_{xn2} = S_{x2} \cos \beta$	
分度圆法向弦齿高	h_{xn2}	$h_{xn2} = m + \frac{S_{o2}^2 \cos^4 \beta}{4d_{o2}}$	

§ 7—4 蜗杆蜗轮传动的强度计算

“就人类的认识运动的次序说来，总是由认识个别的和特殊的事物，逐步地扩大到认识一般的事物。”从认识具体事物的特殊本质，进而认识同类事物的共同本质，并且

“以这种共同的认识为指导，继续地向着尚未研究过的或者尚未深入研究过的各种具体事物进行研究，找出其特殊的本质……。”蜗杆蜗轮传动是啮合传动的形式之一，在破坏形式方面，与齿轮传动有共同之处。但它在工作中又有和齿轮不同的特点，所以我们应当运用已经了解到的对齿轮传动强度计算的认识为指导，结合蜗杆蜗轮传动的特点，找出解决强度计算的方针和办法来。

一、蜗杆蜗轮传动的破坏形式和计算准则

蜗杆蜗轮传动做为啮合传动的形式之一。在以下几个方面和齿轮传动是相同的：

(1) 齿与齿的啮合都是曲面和曲面的局部接触，(2) 齿面间有一定的相对运动（滑动和滚动）。因此齿轮传动的失效形式如齿面疲劳点蚀，胶合，塑性变形，磨损和齿根的弯曲疲劳折断，在蜗杆蜗轮传动中，都可能发生。但是蜗杆蜗轮传动又有自己的特点，主要是：(1) 齿面间的相对滑动速度较大，因而比齿轮传动更容易产生胶合和磨损。(2) 由于蜗杆的加工比蜗轮困难些，蜗杆齿的工作循环次数比蜗轮齿大得多（传动比大），而且它不仅作为传动零件，同时常常本身就是一根传动轴，除了齿的强度之外，还要考虑轴的强度和刚度问题。所以一般情况下，蜗杆材料的强度和硬度都选得比蜗轮材料要高，破坏常常发生在蜗轮上（在特殊情况下，如蜗轮的尺寸很大，加工更困难时，也有选用较软的材料作蜗杆的）。(3) 啮合效率低，传动时发热量大，对于传递较大功率的蜗杆蜗轮，有效地散热，可能是保证正常工作的重要条件之一。

基于以上分析，可以把保证蜗杆蜗轮传动正常工作的条件归纳如下：

(1) 选用抗胶合和耐磨性能较好的材料组合（指蜗杆、蜗轮材料），在保证齿面的接触强度的同时，注意防止过早或过于严重地产生磨损和胶合。

(2) 保证蜗轮轮齿有足够的弯曲疲劳强度。

(3) 对于传递较大功率的传动，除了保证轮齿的强度条件之外，还要验算散热性能，在某些情况下，还要使蜗杆轴有足够的刚度。

此外，在制造方面，要合理地提高蜗杆螺纹面的光洁度，对于淬火的蜗杆，必须经过研磨、抛光。在闭式传动中，应当保证充分的润滑油量。

二、蜗杆蜗轮传动的材料选择

合理选择材料组合，是蜗杆蜗轮传动设计中的重要问题之一。蜗杆蜗轮的材料组合，

首先要求有良好的抗胶合和耐磨性能,其次要有一定的强度。根据长期使用经验,最好的蜗轮材料是锡磷青铜 ($QS_{n10}-1$, QS_{n10})。这种材料的耐磨性能和抗胶合性能都较好,但是价格较贵,常用于相对滑动速度较大的重要传动,如滑动速度为5~30米/秒的高速传动中。不含锡的铝铁青铜 ($QA19-4$, $QA110-4-4$ 等),耐磨性能和抗胶合能力比锡磷青铜差,但价格比较便宜、使用也很广泛。主要用于滑动速度低于6米/秒的中速传动中。对于一些轻载低速传动,如手动机构,相对滑动速度低于2米/秒,传递功率很小,对传动机构的效率要求也不高,可以用铸铁作为蜗轮材料。

蜗杆材料要求有较高的强度和硬度,一般都用钢作为蜗杆的材料,对于高速重载的蜗杆,可选用优质碳素钢或合金钢,并进行热处理,螺纹表面硬度达 $HRC=45\sim60$,经过研磨和抛光。对于中等和中等以下速度的蜗杆,可以选用40、45、50号钢制造,并经过调质处理。

在设计蜗杆蜗轮时,可以参考表7—5和表7—6选用材料。应当注意,材料的选择和机械加工及热处理的工艺、设备有着密切的关系。因此,必须对具体情况作具体的分析,不能生搬硬套。

表 7—5

常用蜗轮材料及热处理

适用范围	材料牌号	浇铸方法	热处理方法	
$v_A > 3$ 米/秒	QSn10—1	砂模浇铸	根据具体情况选择下列热处理方法： (1) 轮坯铸出后，即进行回火处理； (2) 轮缘粗加工后，进行时效处理； (3) 轮缘进行粗切齿后，进行调质处理。 (4) 在调质差即进行时效处理。	
		硬模浇铸		
	QSn10	离心浇铸		
$v_A \leq 5$ 米/秒	QAL9—4	砂模浇铸		
		硬模浇铸		
	QSn6—6—3	碳模浇铸		
		硬模浇铸		
		离心浇铸		
$v_A \leq 2$ 米/秒	HT12—28	砂模浇铸		
	HT15—32	硬模浇铸		
	HT18—36			
	HT21—40			