

第12章 蜗杆传动

- .. 蜗杆传动的特点和类型
- .. 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算
- .. 蜗杆传动的失效形式、材料和结构
- .. 圆柱蜗杆传动的受力分析
- .. 圆柱蜗杆传动的强度计算
- .. 圆柱蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算

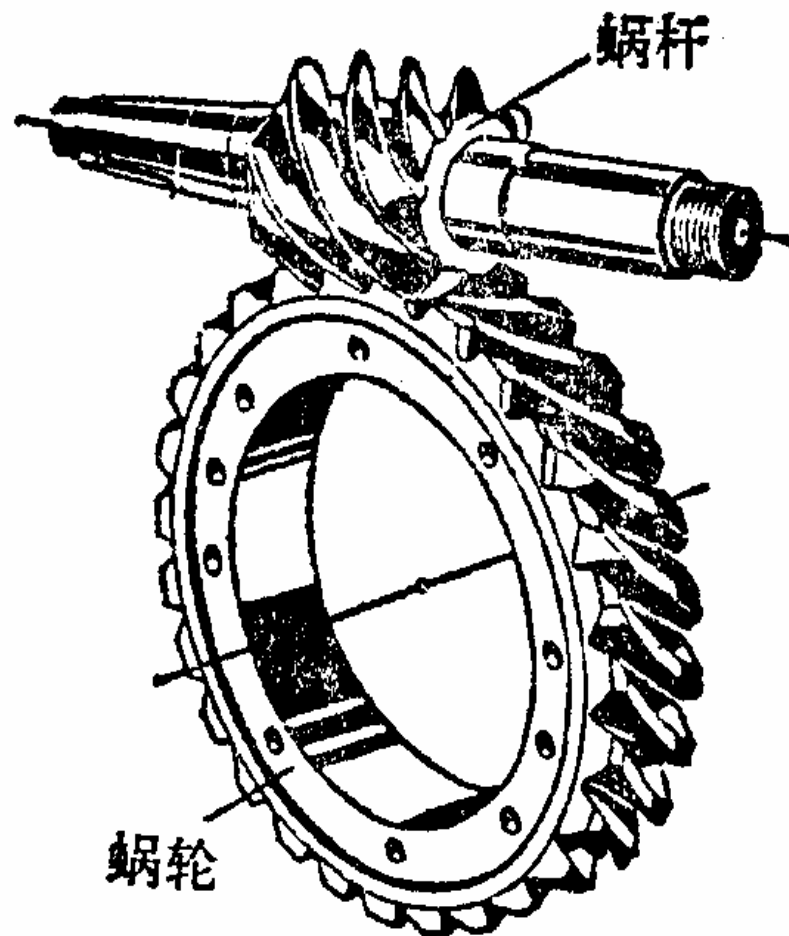
12-1 蜗杆传动的特点和类型



- 蜗杆传动的组成及原理
- 蜗杆传动的特点
- 蜗杆传动的类型

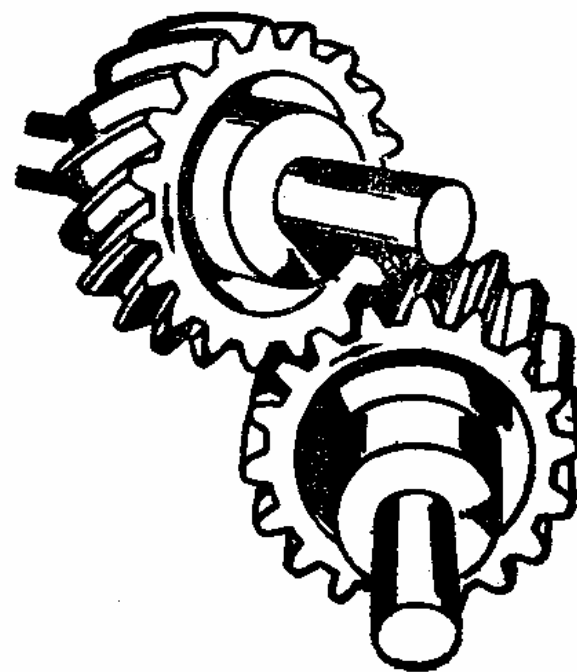
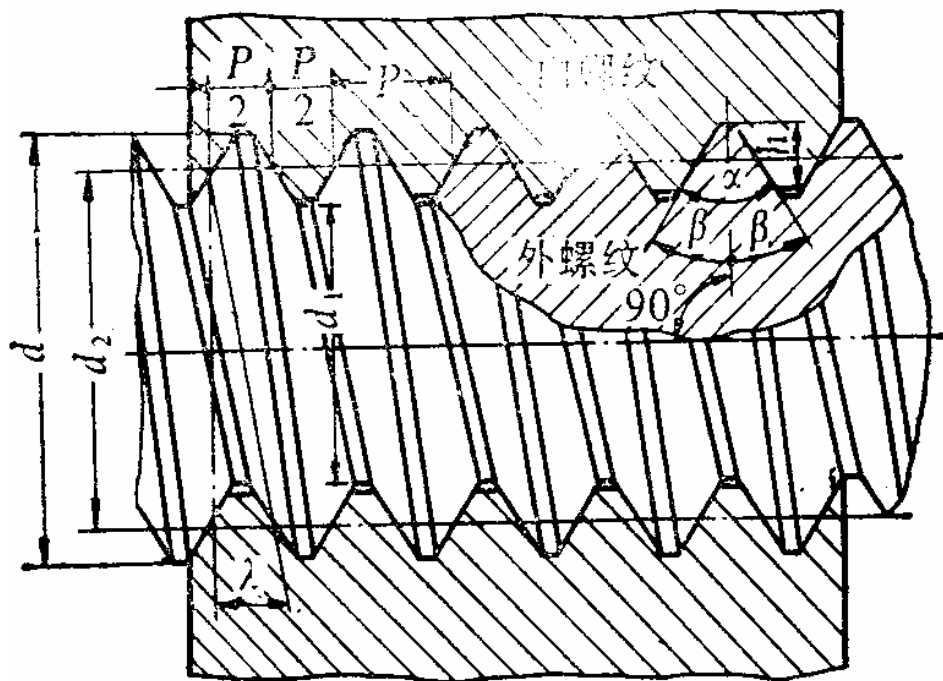
蜗杆传动的组成及原理

- .. 蜗杆传动由**蜗轮**和**蜗杆**组成（图12-1）
- .. 蜗杆主动
- .. 用于传递空间互相**垂直轴**之间的回转运动和动力
- .. 功率可达**200KW**。一般在**50KW**以下



传动原理

- 其原理可以看作螺旋齿轮的衍生机构，亦可看作螺旋传动。



蜗杆传动的特点

- 1 传动比大。一般蜗杆头数较少故能实现大传动比。在动力传动中 $i=10\sim80$ ，分度机构中可达1000。
- 2 结构紧凑
- 3 传动平稳，蜗杆是连续不断的螺旋齿，蜗轮齿和它是逐步进入和退出啮合，同时啮合的齿又较多，故冲击载荷小，传动平稳，噪声低

蜗杆传动的特点

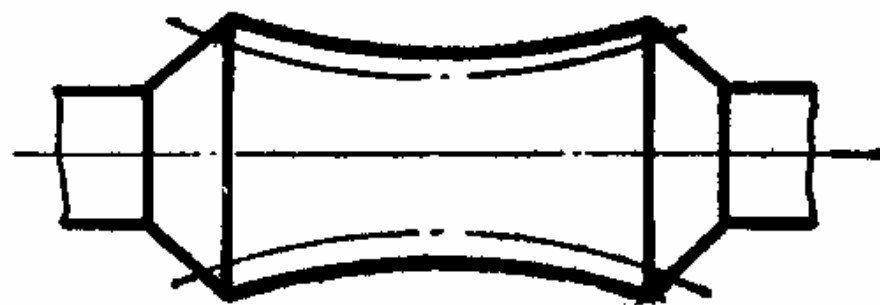
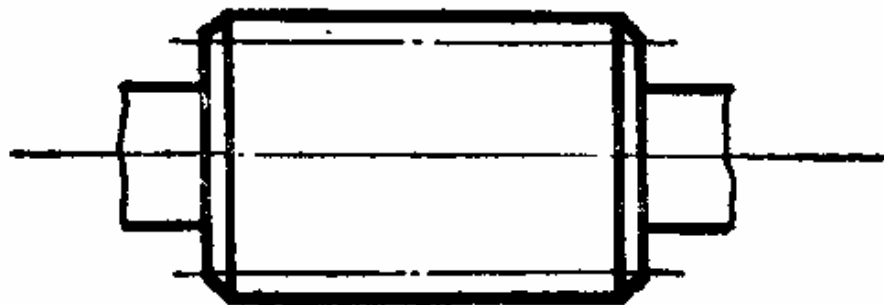
- 4 蜗杆螺旋升角较小，一般小于啮合面上的当量摩擦角，具有自锁性
- 5 在啮合处具有相对滑动。滑动大时会产生较严重的摩擦磨损，从而发热，效率较低，为减磨，蜗轮一般选青铜制造，成本高

蜗杆传动的类型

按蜗杆形状分

✕ 1 圆柱蜗杆

✕ 2 圆弧面蜗杆



圆柱蜗杆

按其蜗旋面形状分

- ✧ 普通圆柱蜗杆——阿基米德蜗杆

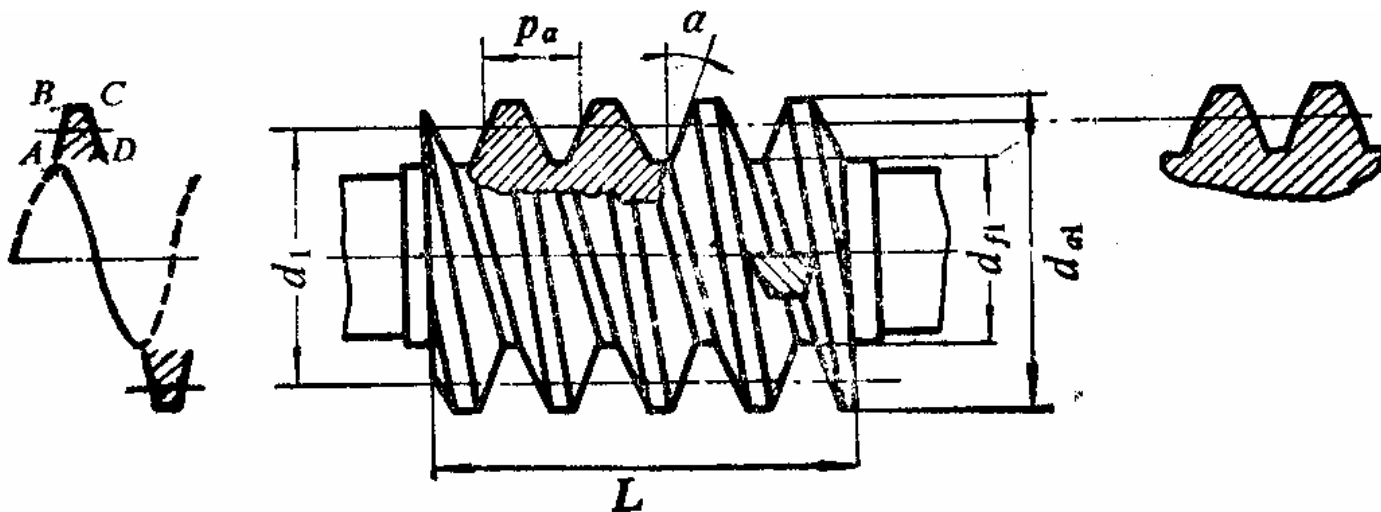
车削，应用广泛

- ✧ 渐开线蜗杆：垂直于轴的截面内为渐开线

适用于精度要求较高的蜗杆，又适合大批量生产

本章仅讨论应用最广泛的普通圆柱蜗杆

- ✧ 头数：1、2、3、4
- ✧ 左旋、右旋
- ✧ 一般动力传动中，根据蜗杆线速度 V_1 的大小，通常按7，8，9级精度制造



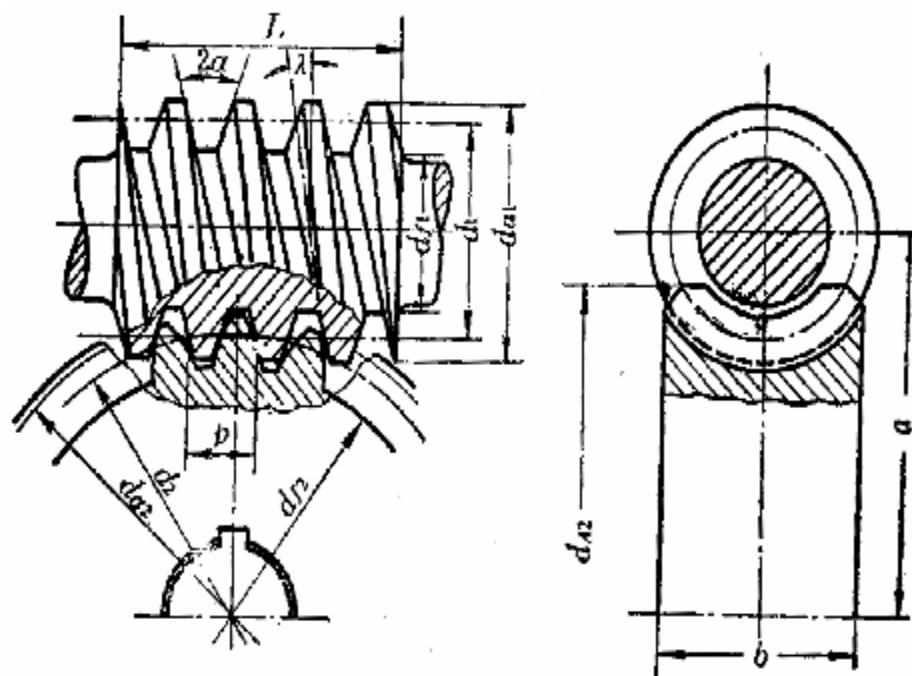
12-2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算



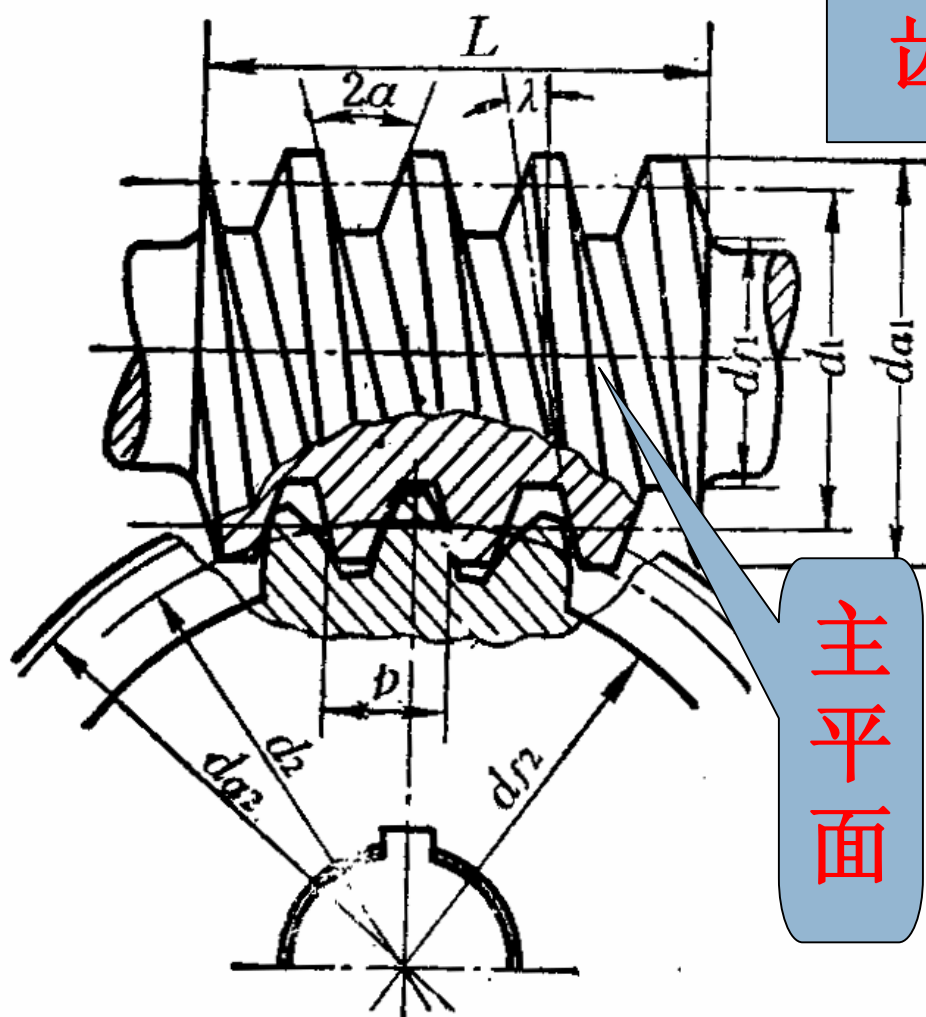
- 蜗杆传动的主要参数
- 几何参数计算

1 模数和压力角

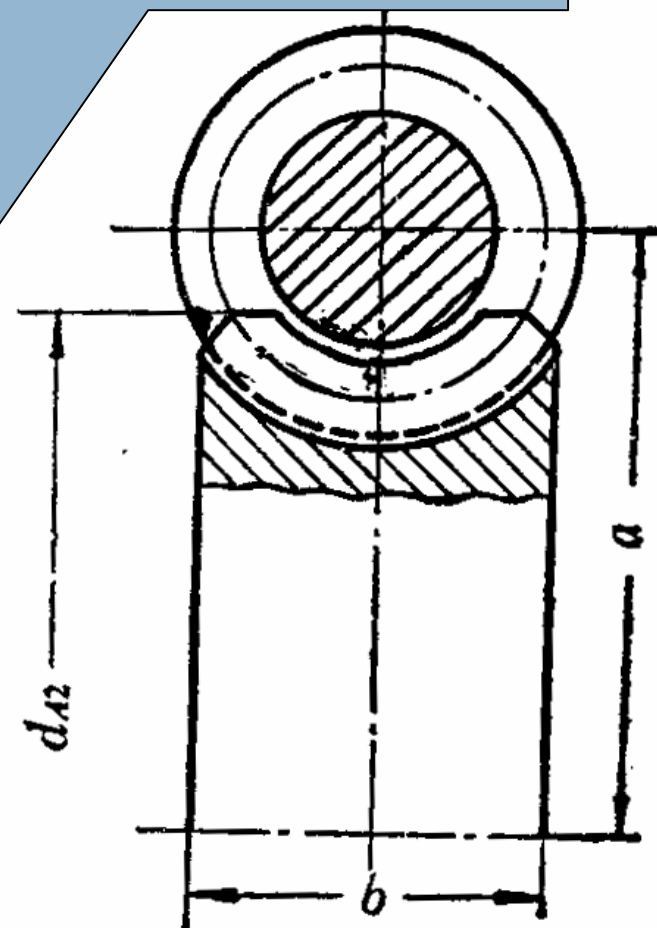
- 主平面：通过蜗杆轴线并与蜗轮轴线垂直的平面
- 蜗轮用与蜗杆相仿的滚刀按展成原理切制出来。故主平面内蜗杆蜗轮的啮合相当于齿轮与齿条啮合。此平面内蜗轮齿廓应为渐开线



齿轮与齿条啮合



主平面



标准模数和压力角

- .. 规定蜗杆传动在**主平面**内**模数和压力角**为**标准值**，设计计算都以主平面内的参数和几何关系为准
- .. **模数**：蜗杆轴向模数，蜗轮端面模数
- .. **压力角**：蜗杆轴向压力角、蜗轮端面压力角

有关规定



- 模数规定有标准系列。表**12-1**。
- 压力角为**20°**

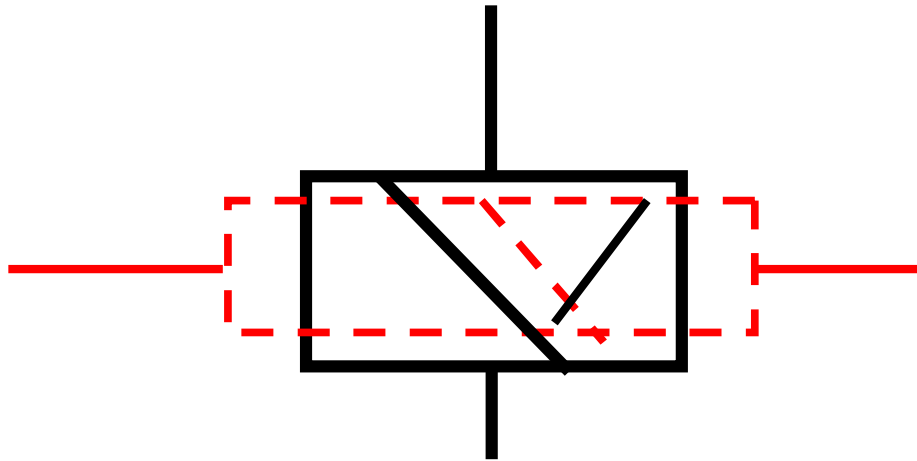
分度圆和中圆柱

- 齿厚与齿槽宽相等的圆柱为蜗杆中圆柱
- 在主平面内，定义蜗轮分度圆

蜗杆传动正确啮合条件

- 由齿轮齿条正确啮合条件得蜗杆传动中
 - 模数和压力角分别相等
 - 蜗杆中圆柱上的螺旋升角等于蜗轮分度圆上的螺旋角且旋向相同

$$g = b$$



2 传动比、蜗杆头数、蜗轮齿数

- 蜗杆头数 z_1 与螺旋头数具有同样的意义，当蜗杆转过一圈时，蜗轮分度圆将转过一个导程，所以转过 z_1 个齿

- 由此其传动比为

$$i = \frac{1}{\frac{z_1}{z_2}} = \frac{z_2}{z_1}$$
$$= \frac{d_2}{d_1}$$

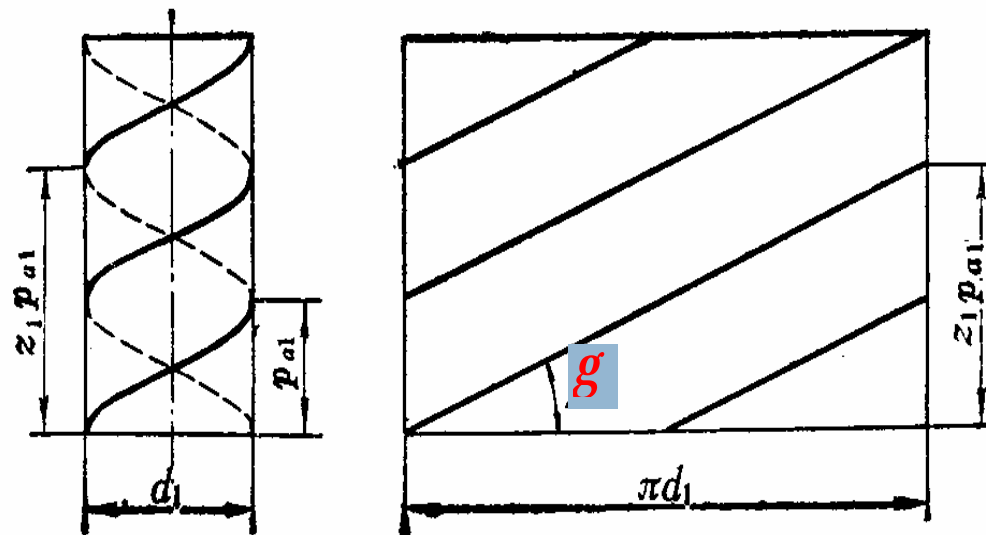
蜗杆头数、蜗轮齿数

- **蜗杆头数**：通常为**1、2、4**，当要求自锁或大传动比时可取**1**，但效率较低；对动力传动，为提高传动效率，一般取**2**或**4**，很少有大于**4**的，因为加工困难
- 蜗轮齿数为避免根切不少于**26**；也不宜大于**80**。因为蜗杆跨度大,刚度减小影响啮合精度

3 蜗杆螺旋升角 和直径系数

- 与螺纹相同，蜗杆也有左右旋之分
- 中圆柱面上的螺旋升角 g

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} g &= \frac{z_1 p_x}{p d_1} = \frac{z_1 m}{d_1} \\ &= \frac{z_1}{q} \end{aligned}$$



螺旋升角

- 螺旋升角—— 蜗杆模数、中圆柱直径和蜗杆头数三个量的函数。由于蜗轮的滚刀须与蜗杆的形状相当，故须有很多种滚刀，为减少滚刀型号并使之标准化，就须对每一个模数下的蜗杆直径作限制

$$q = d_1 / m$$

蜗杆直径系数

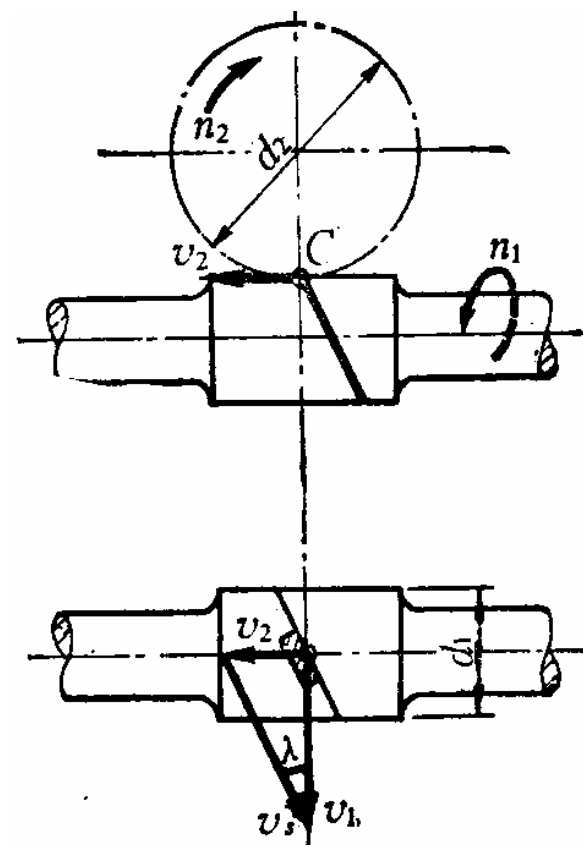
- .. 对于 d_1 规定了标准值，见表12-3
- .. p 与一定的模数相对应
- .. 模数一定时， q 小，直径小，螺旋升角大，传动效率越高，但强度和刚度越小
- .. 高速蜗杆取小 q 值，蜗轮齿数多时取大 q

齿面间相对滑动速度

- 在齿高和蜗轮齿宽方向均有相对滑动
- 在节点啮合时，沿齿向的滑动速度

$$v_s = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \frac{v_1}{\cos g} \text{ m/s}$$

相对滑动速度大小对于润滑、齿面失效形式、发热及传动效率有很大影响



几何参数计算

- .. 标准阿基米德蜗杆传动的几何尺寸计算公式列于表12-4。
- .. 在主平面内定义各几何参数

$$a = 0.5(d_1 + d_2) = 0.5m(q + z_2)$$

12-3 蜗杆传动的失效形式、材料和结构

- .. 主要形式
- .. 胶合：发热 油稀，不利于润滑，胶合
特别是闭式散热不好时更易发生，是决定承载能力的重要因素
- .. 点蚀：疲劳
- .. 磨损：开式或润滑不良的闭式传动

材料选择

- .. 由于蜗杆传动的特点，蜗杆副材料不仅要求具有足够的强度（接触和弯曲），更主要的要有良好的减摩耐磨性和抗胶合能力
- .. 常采用青铜作蜗轮的齿圈与淬硬磨削的钢制蜗杆相配

材料选择



- .. 蜗杆：碳素钢或合金钢、表面光洁并具有较高的硬度。
- .. 低速或人力传动中可不经热处理，甚至可用铸铁。

材料选择

- .. 蜗轮:

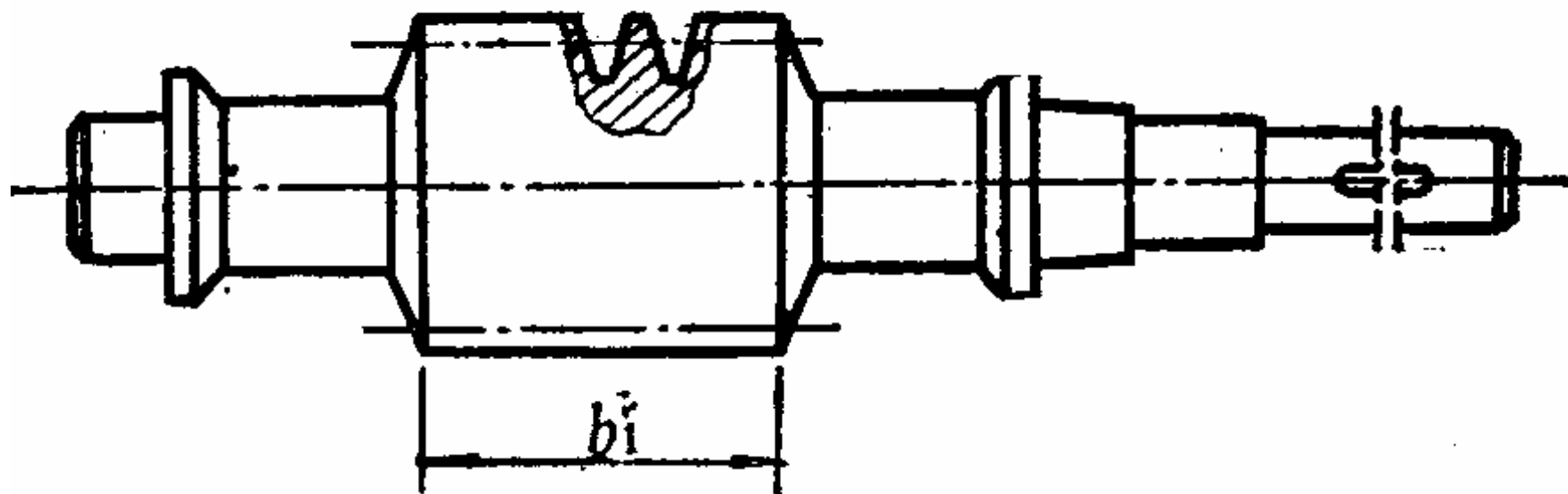
- ✧ 铸锡磷青铜ZQSn10-1允许滑动速度为25m/s抗胶合抗磨均好、易切削较贵。
- ✧ 锡锌铅青铜: 允许滑动速度为12m/s
- ✧ 铝铁青铜 耐冲击、价廉、铸造性能好、切削性能和抗胶合差

- .. 低速可用铸铁

- .. 非金属

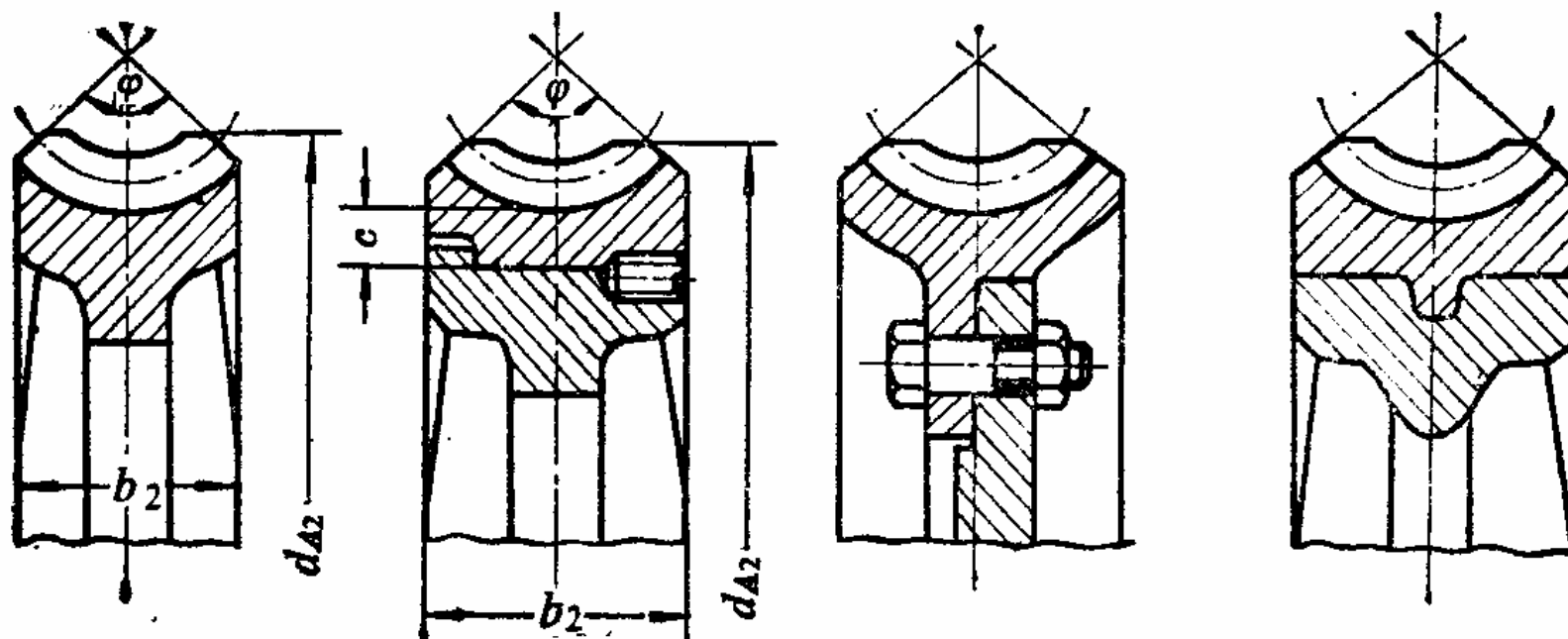
蜗杆和蜗轮的结构

- 蜗杆绝大多数和轴做成一体、蜗杆轴。



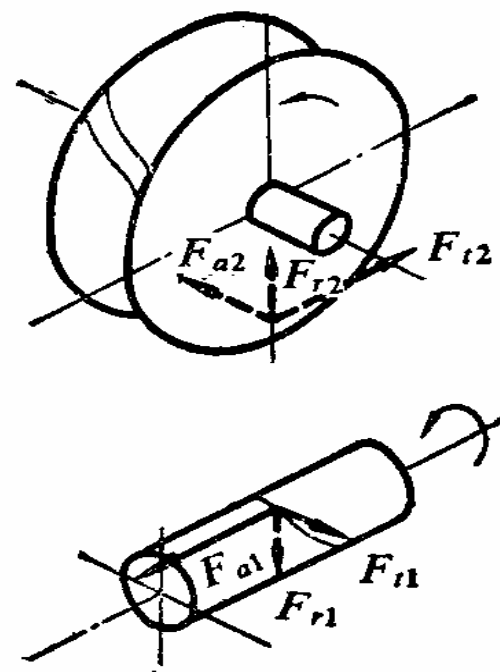
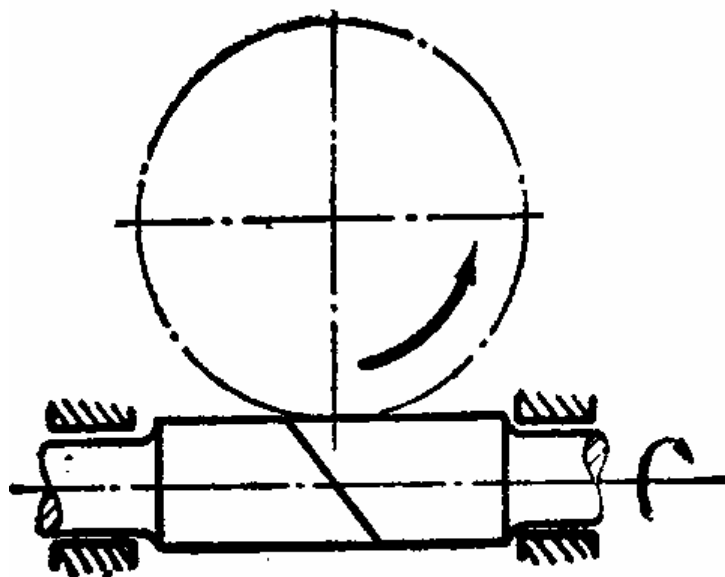
蜗轮

- 可以做成整体，为节约贵金属带做成组合结构。
见图12-8



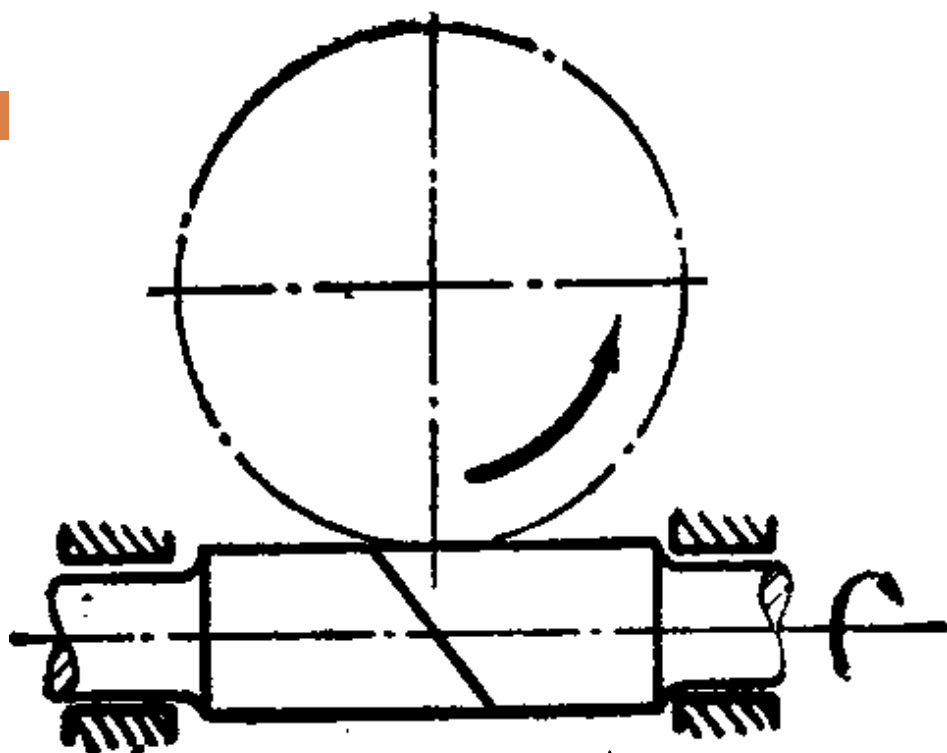
12-4 蜗杆传动的受力分析

- .. 设计、计算强度、刚度
- .. 按节点啮合、集中力计算
- .. 与斜齿轮相似，法向力 F_n 可分解为轴向、切向和径向三个力

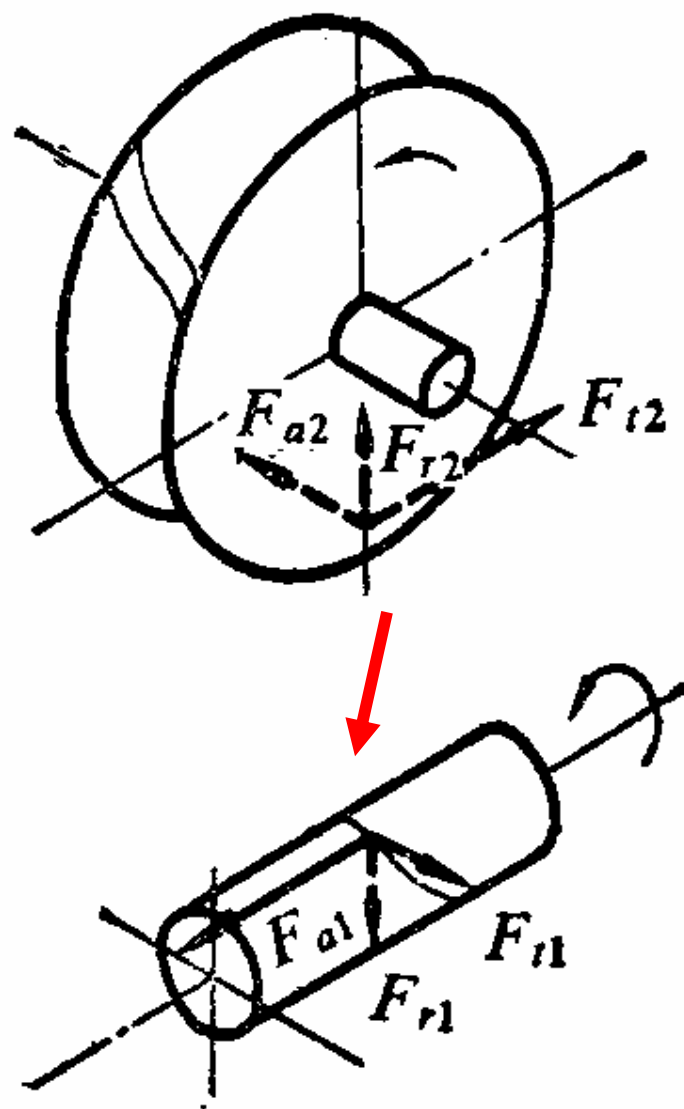


各力的方向

- .. 分析受力时，可先根据蜗杆的旋转方向和螺旋旋向，按螺旋副的运动规律确定蜗轮的转向，然后确定受力方向较容易
- .. 由牛顿第三定律确定其它受力
- .. 主动件受轴向力方向符合左（右）手定则



确定蜗轮的转向



各力的大小

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2T_1}{d_1}$$

$$F_{a1} = F_{t2} = \frac{2T_2}{d_2}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \operatorname{tg} \alpha$$

其中 $T_2 = T_1 i h$

12-5 蜗杆传动的强度计算

- .. 中蜗杆材料强度一般高于蜗轮材料强度，失效一般发生在蜗轮轮齿上
- .. 因而蜗杆传动的强度计算主要是针对蜗轮轮齿的蜗杆传动

齿面接触强度

- 计算与斜齿轮相似，以蜗轮在节点啮合处的参数代入，则有

$$s_H = 500 \sqrt{\frac{KT_2}{d_1 d_2^2}} = 500 \sqrt{\frac{KT_2}{m^2 d_1 z_2^2}} \leq [s_H]$$

- 适于钢蜗杆对青铜或铸铁蜗轮

设计计算

● 设计公式

$$m^2 d_1^3 = \sqrt[3]{\frac{\alpha 500 \sigma_H^2}{\epsilon z_2 [S_H] \theta}} KT_2$$

载荷系数取1.1~1.3

设计计算中

- 设计计算时，可根据传动比试取 q ，然后通过计算和查表确定 m 和 d_1
- 锡青铜轮：主要破坏形式表现为点蚀，许用应力见表**12-5**
- 无锡青铜或铸铁：主要为胶合破坏。许用应力不仅与材料本身有关还与滑动速度有关。接触强度计算是条件性计算

蜗轮弯曲强度

- 蜗轮弯曲强度所限定的承载能力大大超过其表面强度和热平衡条件所限制的承载能力，故一般只在少数情况下，如受冲击、材料很脆等条件下计算弯曲强度才有意义

12-6 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算

1 蜗杆传动的效率

- 闭式蜗杆传动的功耗
 - ✧ 轮齿的啮合功耗
 - ✧ 轴承的摩擦功耗
 - ✧ 搅油功耗
- 主要是由于齿面相对滑动引起的啮合功耗

1 蜗杆传动的效率

- 蜗杆传动的效率可根据螺旋传动的计算公式得到

$$\eta = (0.95 \sim 0.97) \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \rho')}$$

升角大，则效率高；但是过大加工困难

$\gamma \leq \rho'$ 时，蜗杆传动具有自锁性

但是效率小于50%

2 蜗杆传动的润滑

- .. 润滑对于蜗杆传动是一个重要的问题，影响到其传动效率和早期失效
- .. 润滑油的粘度和给油方法主要是根据相对滑动速度和载荷类型进行选择，见表**12-8**

3 蜗杆传动的热平衡计算

- .. 为什么？
- .. 闭式蜗杆传动由于相对滑动速度大，发热量大，若不及时散热。会引起箱体内部油温升高，润滑失效，导致轮齿磨损加剧，甚至胶合。因此对于连续工作的闭式蜗杆传动必须进行热平衡计算

3 蜗杆传动的热平衡计算

- 热量通过箱体散出，且要求油温 t 与周围室温之差不大于允许值

$$Dt = t - t_0 = \frac{1000 P_1 (1 - h)}{a_t A} \leq [Dt]$$

温差允许值一般为**60~70°C**，且油温不超过**90 ° C**

温差允许值时的措施



- .. 增加散热面积
- .. 提高散热系数