

第九章 蜗杆传动

◆本章学习目标

蜗杆传动的类型、特点；主要参数和几何尺寸；失效形式、常用材料及精度；圆柱蜗杆传动的设计；效率、润滑及热平衡计算；蜗杆蜗轮的结构。

◆本章学习要求

掌握：蜗杆传动的基本参数，蜗杆传动的受力和承载能力计算。

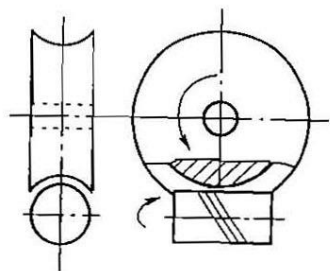
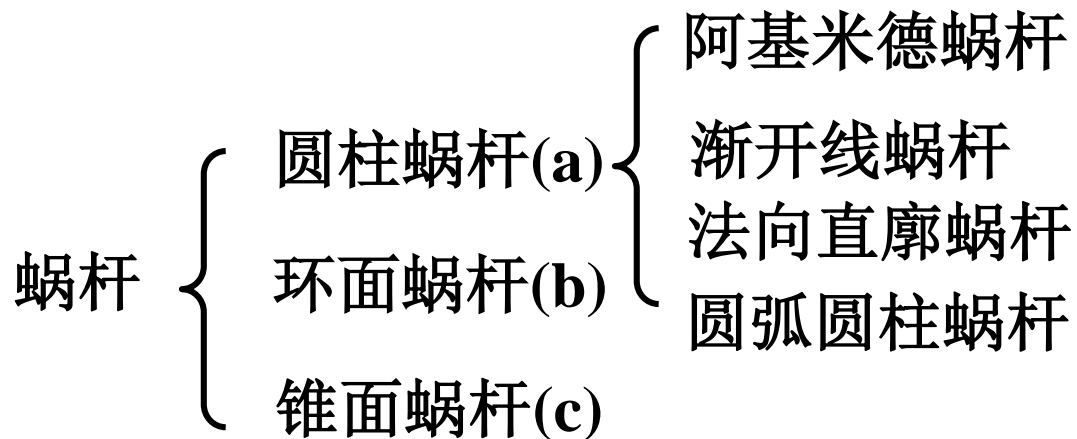
了解：蜗杆传动的类型、特点；主要失效形式及材料；效率、润滑；蜗杆蜗轮结构。

9.1 概述

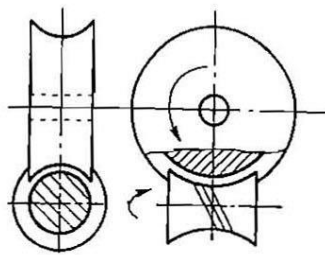
作用： 用于传递交错轴之间的回转运动和动力。
蜗杆主动、蜗轮从动。 $\Sigma=90^\circ$



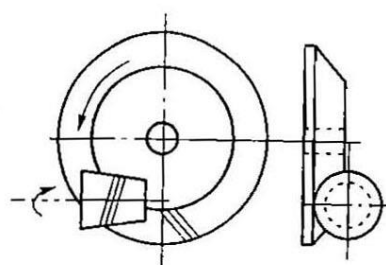
9.1.1 蜗杆传动的类型



(a)

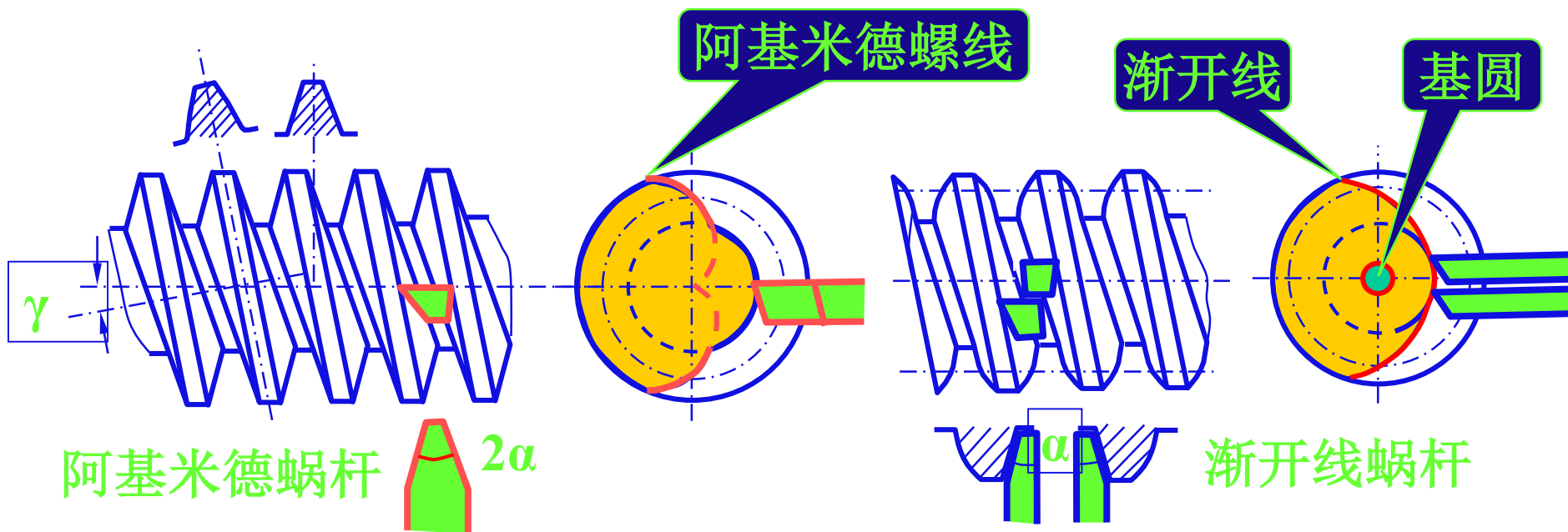


(b)



(c)

- (1) 阿基米德蜗杆----端面上的齿廓曲线为阿基米德螺旋线。
难以用砂轮磨削出精确齿形，故传动精度和传动效率较低。
- (2) 渐开线蜗杆----端面上的齿廓曲线为渐开线。可以磨削，
故传动精度和传动效率较高，适用于成批生产。



蜗杆----左旋、右旋（常用）、单头、多头（齿数）

9.1.2 蜗杆传动的特点

蜗杆传动的优点：

- 1)传动比大，结构紧凑。一般 $i_{12}=10 \sim 40$,传递运动可达1000。
- 2)传动平稳，振动小、噪声低。
- 3)具有自锁性。

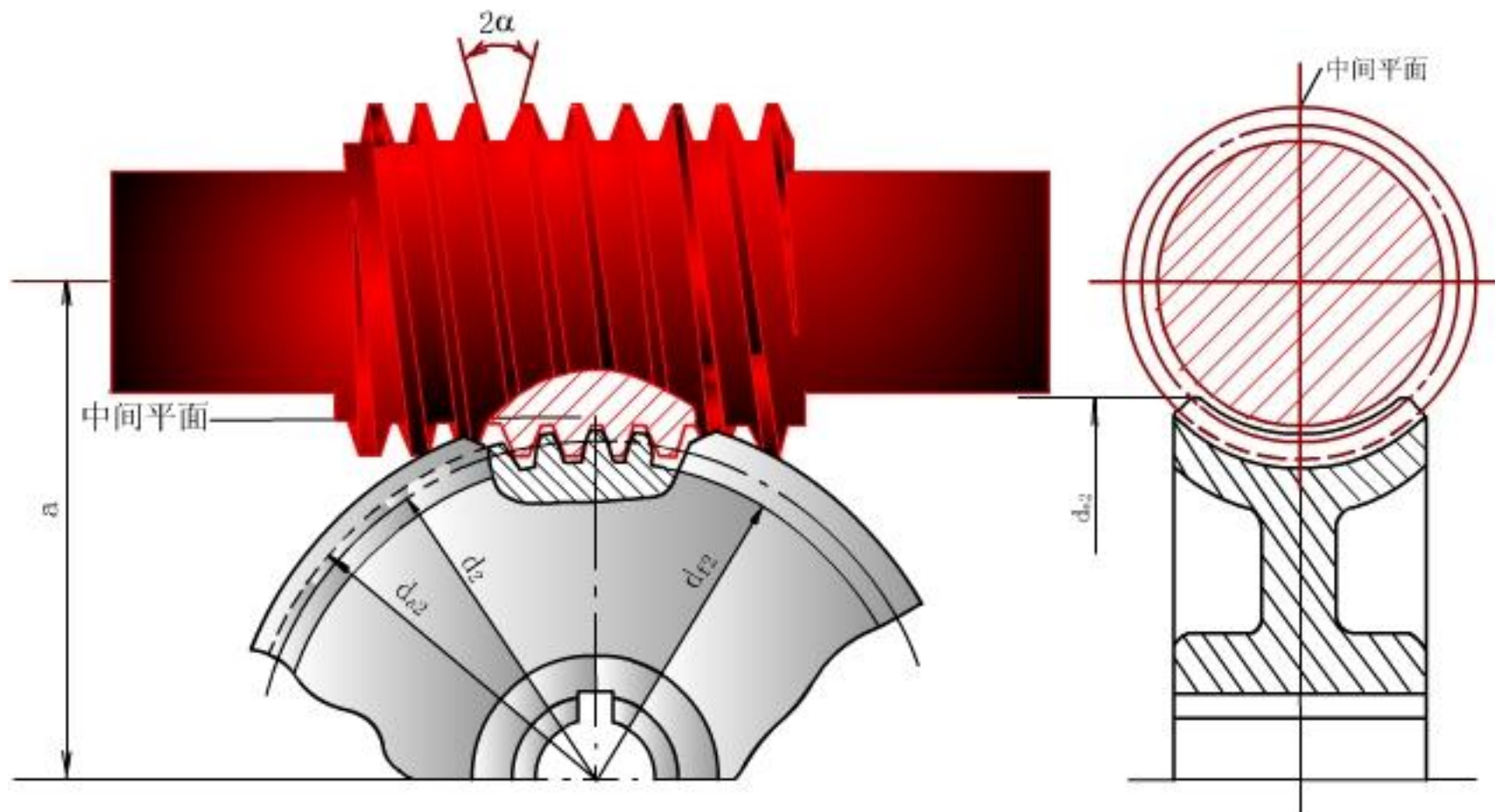
蜗杆传动的缺点：

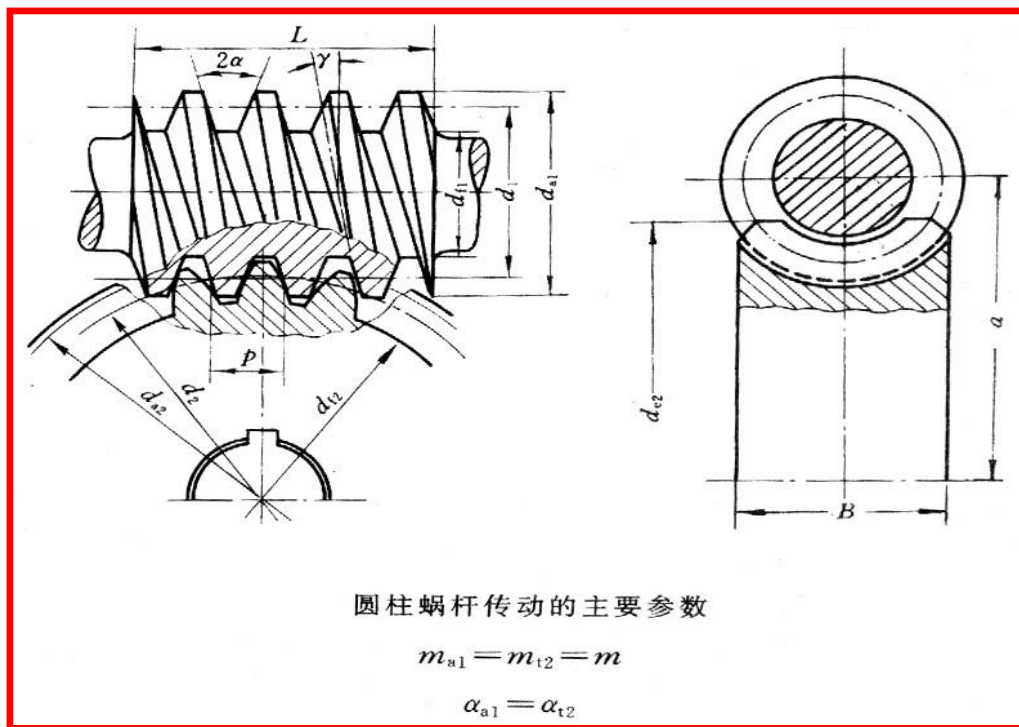
- 1)传动效率低，一般 $0.7 \sim 0.8$ 。
- 2)成本较高。

9.2 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸

9.2.1 蜗杆传动的主要参数

中间平面---蜗杆和蜗轮啮合时，通过蜗杆轴线并垂直于蜗轮轴线的平面。在中间平面内，蜗轮蜗杆相当于齿轮齿条啮合。





1. 模数 m 和压力角 α

正确啮合条件是中间平面内参数分别相等：

$$m_{a1} = m_{t2} = m$$

$$\alpha_{a1} = \alpha_{t2} = \alpha = 20^\circ$$

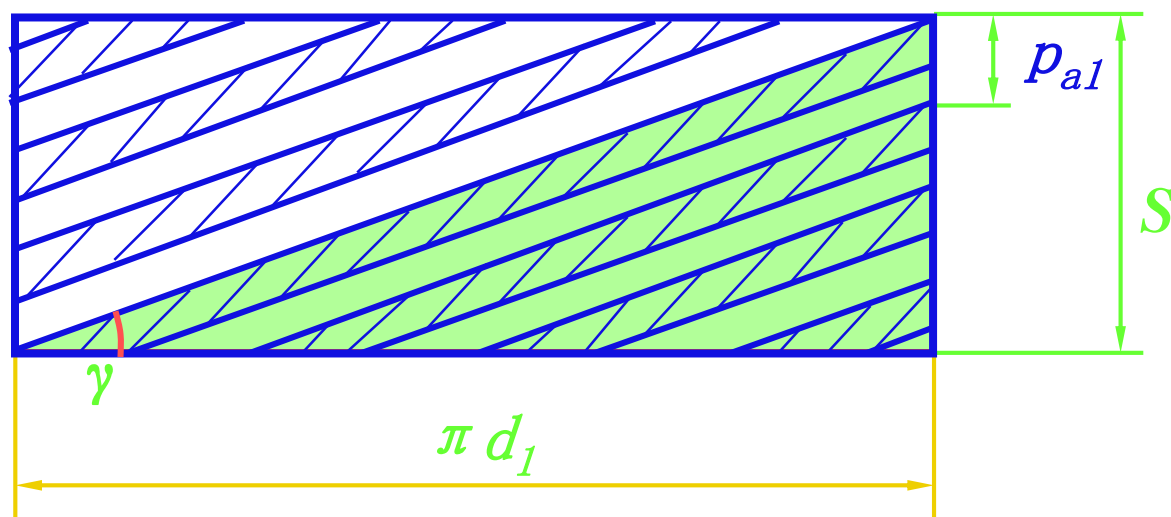
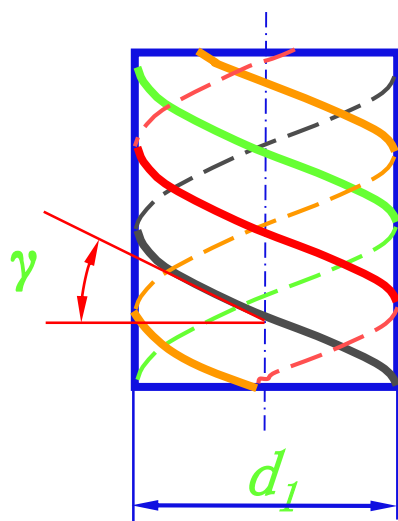
$$\gamma = \beta$$

2. 蜗杆的导程角 γ 、蜗杆分度圆直径 d_1 和蜗杆直径系数 q

蜗杆的导程角 γ --分度圆上的螺旋线切线与垂直于螺纹轴线的平面的夹角。

将分度圆柱展开得：

$$\operatorname{tg} \gamma = S / \pi d_1 = z_1 p_{a1} / \pi d_1 = m z_1 / d_1$$



加工时滚刀直径等参数与蜗杆分度圆直径等参数相同，为了限制滚刀的数量，国标规定分度圆直径只能取标准值，并与模数相配。

定义： $q=d_1/m$

q 为蜗杆直径系数

$$\operatorname{tg} \gamma = m z_1 / d_1 = z_1 / q$$

表1 蜗杆分度圆直径与其模数的匹配标准系列

m	d ₁		m	d ₁		m	d ₁		m	d ₁
1	18		2.5	(22.4) 28 (35.5) 45		4	40 (50) 71		6.3	(80) 112
1.25	20 22.4									
1.6	20 28		3.15	(28) 35.5 (45) 56		5	(40) 50 (63) 90		8	(63) 80 (100) 140
2	(18) 22.4 (28) 35.5									
			4	(31.5)		6.3	(50) 63		10	(71) 90 ...

摘自GB10085-88,括号中的数字尽可能不采用

3. 蜗杆头数 z_1 、蜗轮齿数 z_2 和传动比 i

蜗杆头数 z_1 ：即螺旋线的数目。

蜗杆转动一圈，相当于齿条移动 z_1 个齿，推动蜗轮转过 z_1 个齿。

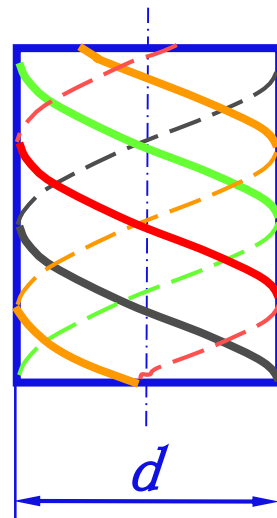
传动比：
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1 \tan \gamma}$$

若想得到大 i ，可取： $z_1=1$ ，但传动效率低。

对于大功率传动，可取多头蜗杆，但加工困难。

蜗轮齿数： $z_2 = i z_1$ z_2 一般取28~80

z_2 过大 \rightarrow 蜗轮尺寸 \uparrow \rightarrow 蜗杆长度 \uparrow
 \rightarrow 刚度、啮合精度 \downarrow



9.2.2 蜗杆传动的几何尺寸计算

名 称	计 算 公 式	
	蜗 杆	蜗 轮
蜗杆中圆直径，蜗轮分度圆直径	$d_1=mq$	$d_2=mz_2$
齿顶高	$h_a=m$	$h_a=m$
齿根高	$d_f=1.2m$	$d_f=1.2m$
蜗杆齿顶圆直径，蜗轮喉圆直径	$d_{a1}=m(q+2)$	$d_{a2}=m(z_2+2)$
齿根圆直径	$d_{f1}=m(q-2.4)$	$d_{f2}=m(z_2-2.4)$
蜗杆轴向齿距、蜗轮端面齿距	$p_{a1}=p_{t2}=p_x=\pi m$	
顶隙	$c=0.2 m$	
中心距	$a=0.5(d_1 + d_2) m=0.5m(q+z_2)$	

9.3 蜗杆传动的失效形式、材料和精度

9.3.1 蜗杆传动的滑动速度

由相对运动原理可知：

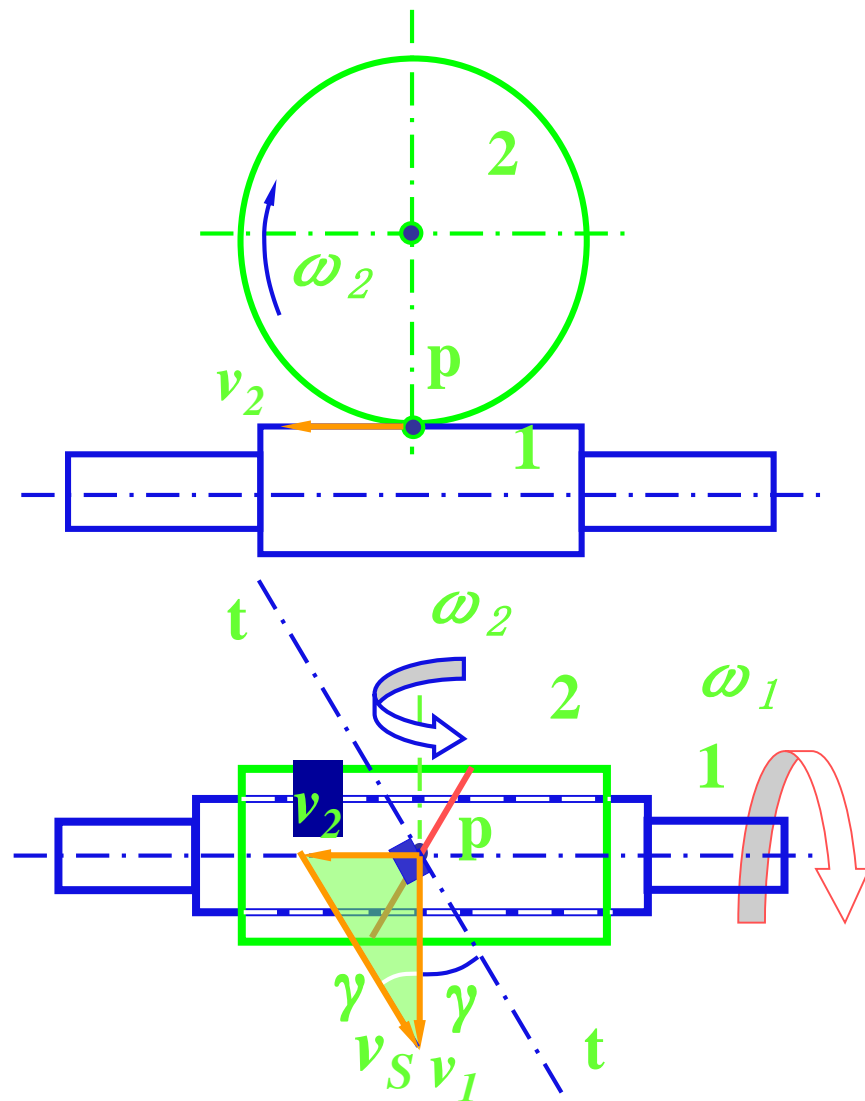
$$\vec{v}_s = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

作速度向量图，得：

$$v_s = \sqrt{v_2^2 + v_1^2}$$

$$= v_1 / \cos \gamma$$

$$v_2 = v_1 \tan \gamma$$



9.3.2 蜗杆传动的失效形式

1.失效形式

蜗杆传动的失效形式主要有齿面胶合、磨损和点蚀。

齿面胶合多发生在润滑或散热条件不良的蜗轮上；蜗轮齿的磨损多发生在开式或润滑密封不良的闭式传动中；点蚀多发生在闭式传动的蜗轮齿面上。

2.设计准则

闭式蜗杆传动按蜗轮轮齿的齿面接触疲劳强度进行设计计算，按齿根弯曲疲劳强度校核，并进行热平衡验算；开式蜗杆传动，按保证齿根弯曲疲劳强度进行设计。

9.3.3 蜗杆传动的材料

蜗轮齿圈采用青铜：减摩、耐磨性、抗胶合。

蜗杆采用碳素钢与合金钢：表面光洁、硬度高。

9.4 圆柱蜗杆传动设计

9.4.1 蜗杆传动的受力分析

1. 受力分析

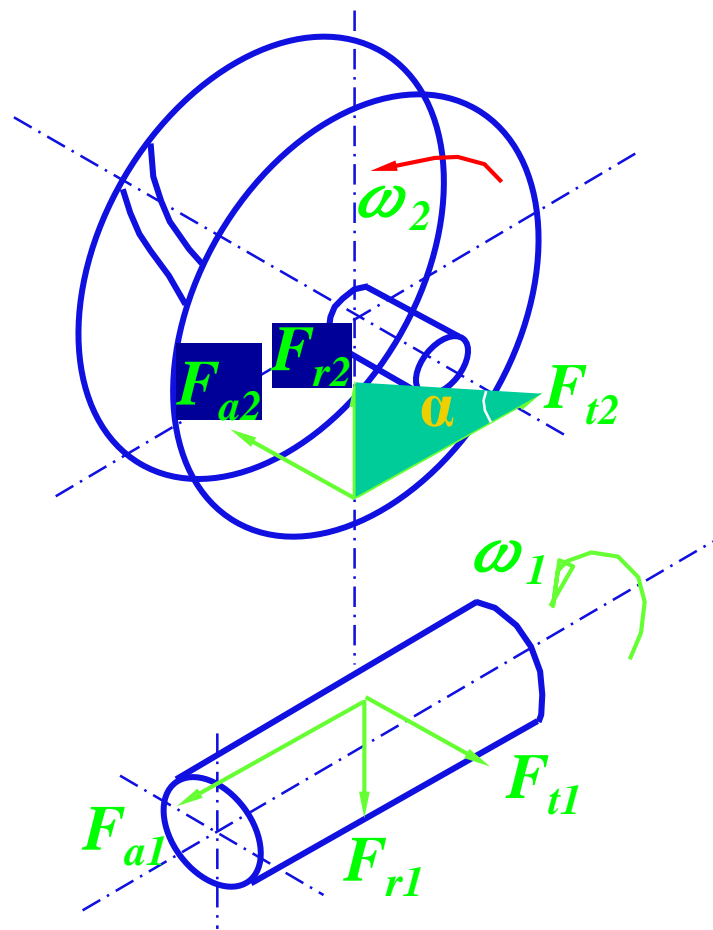
法向力 F_n 可分解为三个分力：

圆周力： F_t 轴向力： F_a 径向力： F_r

且有如下关系：

$$\begin{cases} F_{t1} = -F_{a2} = 2T_1 / d_1 \\ F_{a1} = -F_{t2} = 2T_2 / d_2 \\ F_{r1} = -F_{r2} = F_{t2} \tan \alpha \end{cases}$$

式中： T_1 、 T_2 分别为作用在蜗杆与蜗轮上的扭矩。
 $T_2 = T_1 i \eta$



力的方向和蜗轮转向的判别：

F_t ——“主反从同”：主动蜗杆的圆周力 F_{t1} 的方向与其圆周速度方向相反，从动蜗轮的圆周力 F_{t2} 的方向与圆周速度方向相同；

F_r ——指向轴线；

F_{a1} ——蜗杆左（右）手螺旋定则，根据蜗杆旋向伸左手或右手，握住蜗杆轴线，四指代表蜗杆转向，大拇指所指代表蜗杆所受轴向力 F_{a1} 的方向， F_{t2} 的方向与 F_{a1} 相反， F_{t2} 的方向即为蜗轮的转向。

2.计算载荷

$$F_{ca} = KF_n$$

K 为载荷系数，一般取 $K=1.1\sim1.3$ ，当载荷变化大，蜗轮圆周速度高时，取大值。

9.4.2 齿面接触疲劳强度计算

参考斜齿轮的齿面接触疲劳强度计算，得出蜗轮齿面接触疲劳强度校核公式：

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

设计公式：

$$m^2 d_1 \geq \left(\frac{500}{z_2 [\sigma_H]} \right)^2 KT_2$$

设计时可按 $m^2 d_1$ 值由表1确定模数 m 和分度圆直径 d_1 。

9.4.3 蜗轮齿弯曲疲劳强度计算

参考斜齿轮圆柱齿轮的计算公式求蜗轮齿根的弯曲应力, 其强度校核公式为:

$$\sigma_F = \frac{1.64KT_2}{m^2 d_1 z_2} Y_F Y_\gamma \leq [\sigma_F]$$

设计公式:

$$m^2 d_1 \geq \frac{1.64KT_2 Y_F Y_\gamma}{Z_2 [\sigma_F]}$$

蜗轮轮齿弯曲强度所限定的承载能力, 大都超过齿面点蚀和热平衡计算所限定的承载能力, 一般不作计算。

9.5 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算

9.5.1 蜗杆传动的效率

闭式蜗杆传动的效率包括三部分：啮合摩擦损耗的效率、轴承摩擦损耗的效率、搅油损耗的效率。

总效率： $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$

蜗杆主动时，总效率计算公式为：

$$\eta = (0.95 \sim 0.97) \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho_v)}$$

γ 为蜗杆导程角；

ρ_v 为当量摩擦角；

9.5.2 蜗杆传动的润滑

目的：1) 提高效率；2) 降低温升，防止磨损和胶合

闭式蜗杆传动一般采用油池或喷油润滑。滑动速度 $V_s > 4\text{m/s}$ 时，采用上置式蜗杆，蜗轮带油润滑；若 $V_s > 10\sim 15\text{m/s}$ ，应采用压力喷油润滑。

开式蜗杆传动采用粘度高的润滑油和润滑脂。

9.5.3 蜗杆传动的热平衡计算

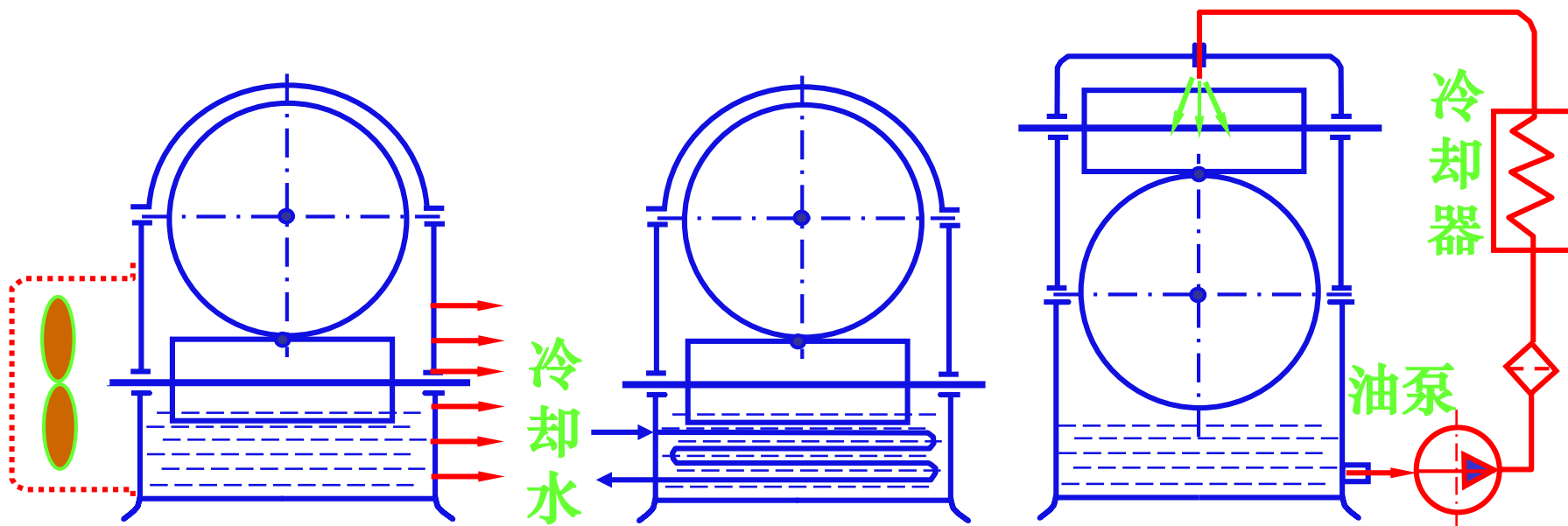
由于蜗杆传动效率低，发热量大，若不及时散热，会引起箱体内，油温升高，润滑失效，导致轮齿磨损加剧，甚至出现胶合。因此，对连续工作的闭式蜗杆传动必须进行热平衡计算

对闭式传动，热量由箱体散逸，要求箱体与环境温差：

$$t = \frac{1000P_I(1-\eta)}{\alpha_r A} + t_0 \leq [t]$$

如 $t > 80^{\circ}$ 时， 可采取冷却措施：

- 1) 增加散热面积----加散热片；
- 2) 提高表面传热系数----
加风扇、冷却水管、循环油冷却。



本章重要知识点

- ◆普通圆柱蜗杆传动的主要参数、正确啮合的条件和几何尺寸计算
- ◆蜗杆传动的滑动速度；蜗杆传动的失效形式；蜗杆传动的材料和精度
- ◆圆柱蜗杆传动设计：
 - 1.受力分析