

第十二章 联接

◆本章学习目标

学习和了解螺纹的形成、类型、应用，螺旋副的受力分析、自锁和效率，螺纹联接类型、预紧和防松、强度计算；键联接；销联接。

◆本章学习要求

掌握： 螺纹联接和键联接的类型、强度计算；螺旋传动的运动分析。

了解： 螺纹联接和键联接的结构、标准、特点；销联接功用和类型；螺旋传动的应用。

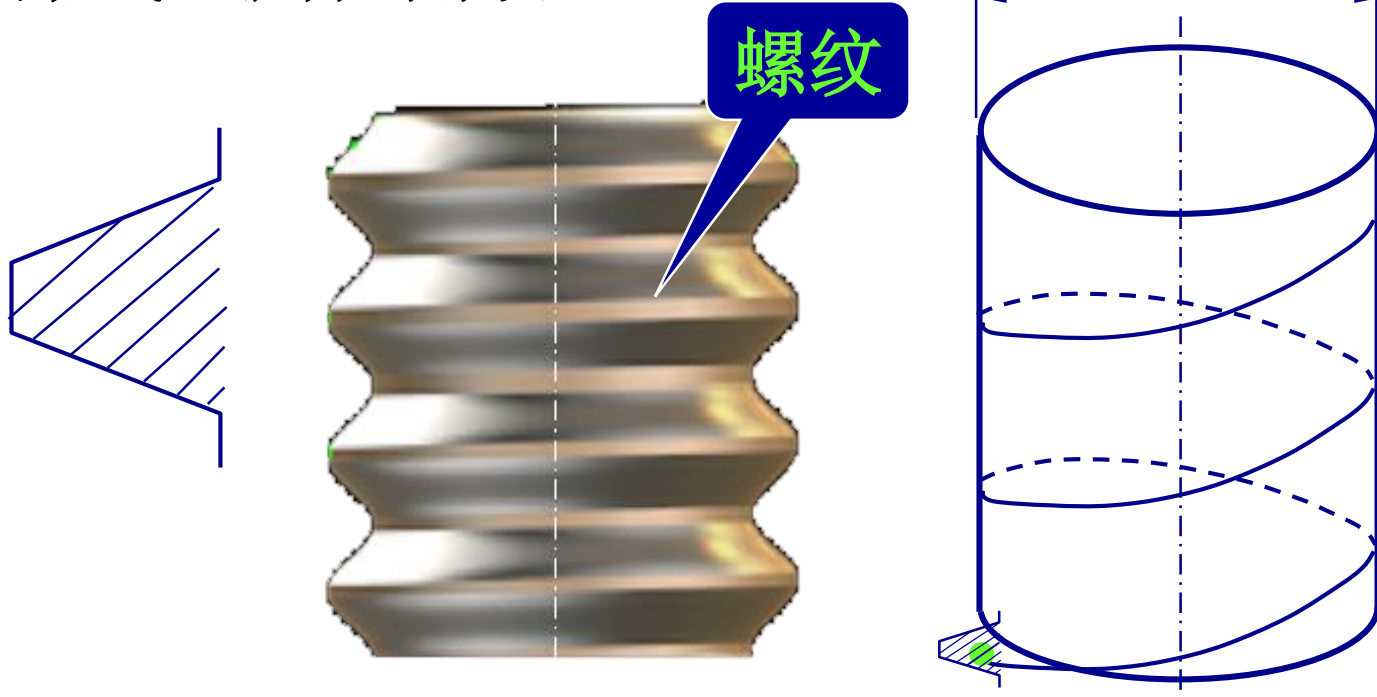
12.1 概述

12.1.1 螺纹的形成、类型和应用

1. 螺纹的形成

螺旋线----一动点在一圆柱体的表面上，一边绕轴线等速旋转，同时沿轴向作等速移动的轨迹。

螺纹----一平面图形沿螺旋线运动，运动时保持该图形通过圆柱体的轴线，就得到螺纹。



2. 螺纹的类型

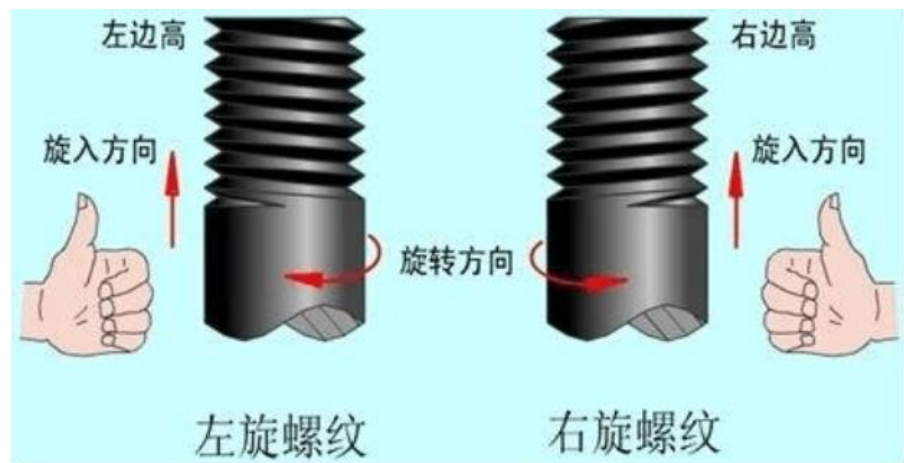
螺纹的分类

按螺纹的旋向分

右旋螺纹
左旋螺纹

按螺旋线的根数分

按螺纹的牙型分



右旋：符合右手定则，右手握拳，将右手的大拇指指向螺旋件的运动方向，其余四指方向指向螺旋件的旋转方向。左旋：符合左手定则。用于右旋螺纹不能满足的地方。

螺纹的分类

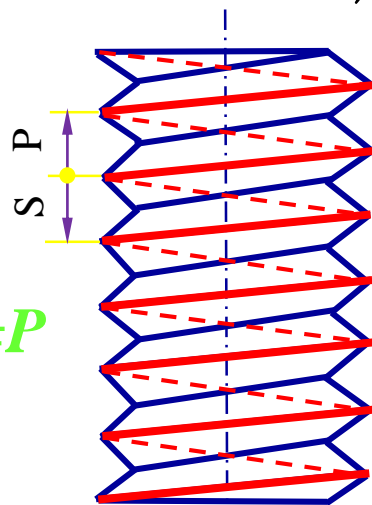
按螺纹的旋向分

按螺旋线的根数分

单线螺纹
多线螺纹

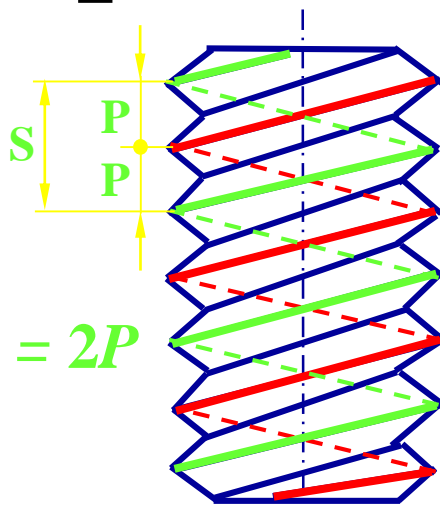
n 线螺纹: $S = nP$

一般: $n \leq 4$



单线螺纹

$$S = P$$



双线螺纹

$$S = 2P$$

按螺纹的牙型分

矩形螺纹
三角形螺纹
梯形螺纹
锯齿形螺纹

12.1.2 螺纹的主要参数

(1) 大径 d 与外螺纹牙顶(或内螺纹牙底)相重合的假想圆柱体的直径。

(2) 小径 d_1 与外螺纹牙底(或内螺纹牙顶)相重合的假想圆柱体的直径。

(3) 中径 d_2 也是一个假想圆柱的直径。该圆柱的母线上牙型沟槽和凸起宽度相等。

(4) 螺距 P 相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离。

(5) 导程 S $S = nP$

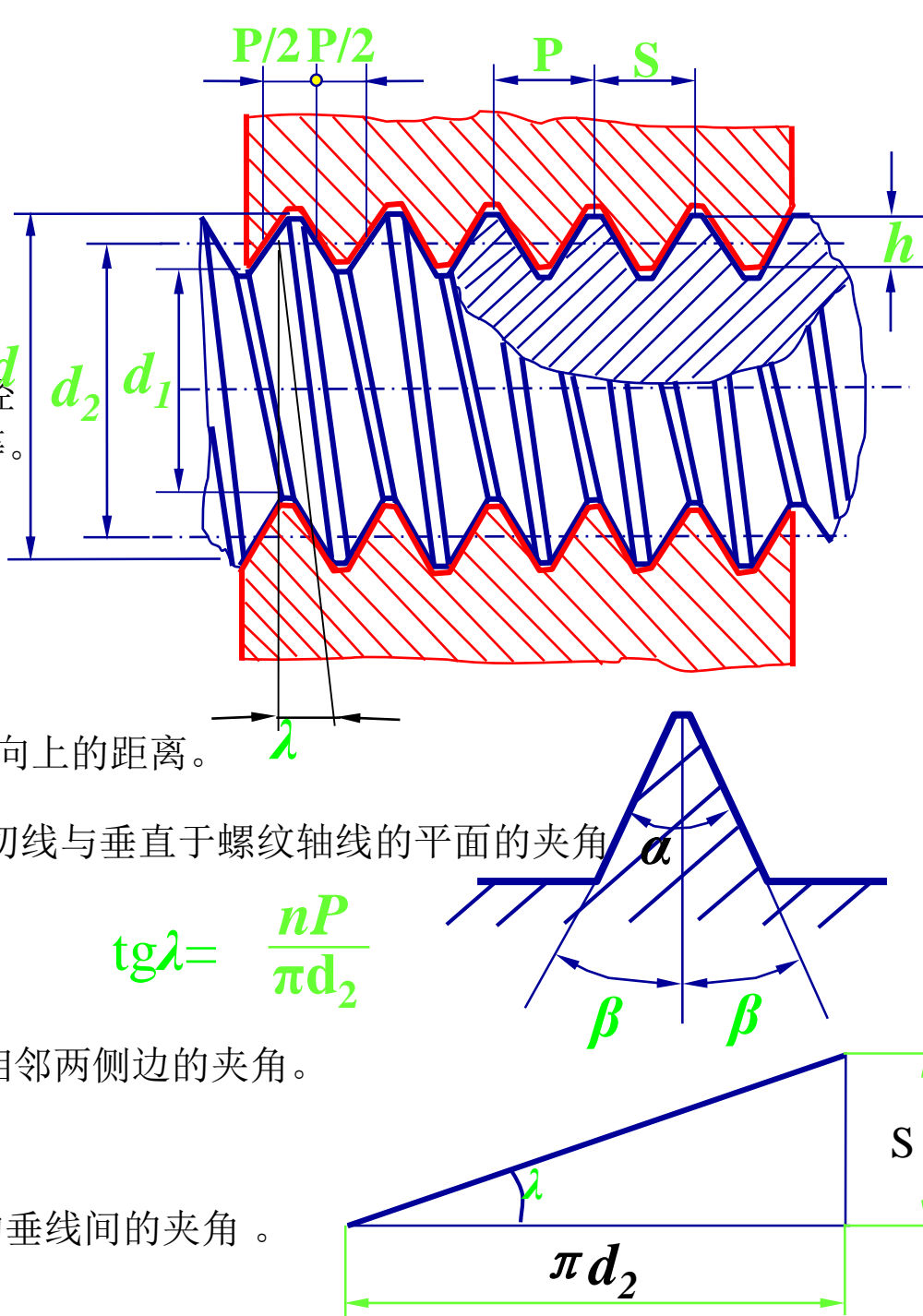
沿同一条螺旋线绕圆柱一周在轴线方向上的距离。

(6) 升角 λ 中径 d_2 圆柱上, 螺旋线的切线与垂直于螺纹轴线的平面的夹角

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{nP}{\pi d_2}$$

(7) 牙型角 α 轴向截面内螺纹牙型相邻两侧边的夹角。

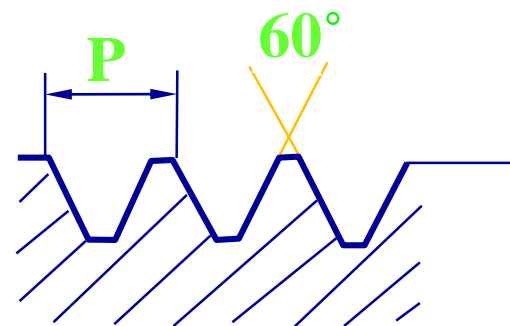
(8) 牙侧角 β 牙型侧边与螺纹轴线的垂线间的夹角。



12.1.3 常用螺纹的特点和应用

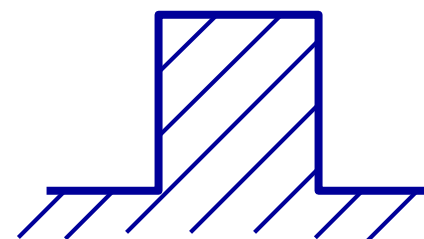
1. 三角形螺纹

把牙型角 $\alpha=60^\circ$ 的三角形米制螺纹称为普通螺纹，以大径 d 为公称直径。同一公称直径按螺距大小分为粗牙和细牙。



2. 矩形螺纹 $\alpha = 0^\circ$

传动效率最高，但精加工较困难，压根强度低，常用于传力或传导螺旋。

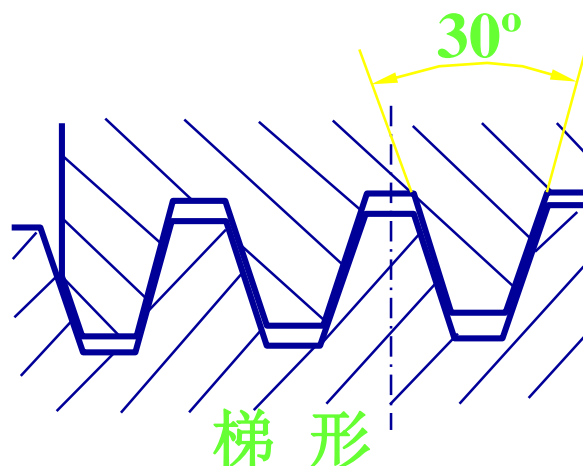


3. 梯形螺纹 $\alpha = 30^\circ$

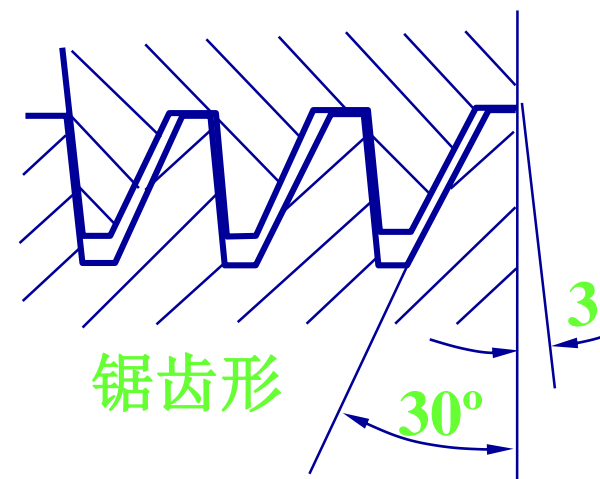
4. 锯齿形螺纹

$\beta = 3^\circ$

常用于传动



梯形



锯齿形

12.2 螺旋副的受力分析、自锁和效率

1.当**螺纹拧紧**(滑块上升)时:

圆周力: $F = F_a \operatorname{tg}(\lambda + \rho_v)$

效率: $\eta = \frac{\operatorname{tg} \lambda}{\operatorname{tg}(\lambda + \rho_v)}$

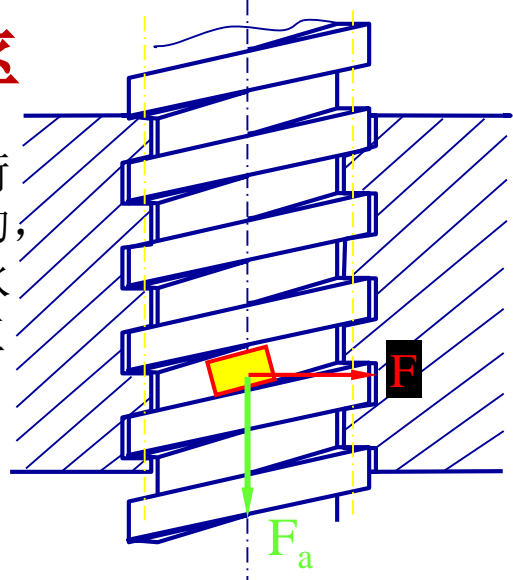
2.当**螺纹拧松**(滑块下滑)时:

圆周力: $F = F_a \operatorname{tg}(\lambda - \rho_v)$

效率: $\eta = \frac{\operatorname{tg}(\lambda - \rho_v)}{\operatorname{tg} \lambda}$

螺旋副的自锁条件: $\lambda \leq \rho_v$

螺旋副在轴向载荷 F_a 作用下相对运动, 可看作在中径的水平力 F 推动滑块(重物)沿螺纹运动



F_a -轴向力(N)

ρ_v -当量摩擦角, $\rho_v = \operatorname{arctg} f_v$

f_v -当量摩擦系数, $f_v = f / \cos \beta$

f -实际摩擦系数

λ -升角

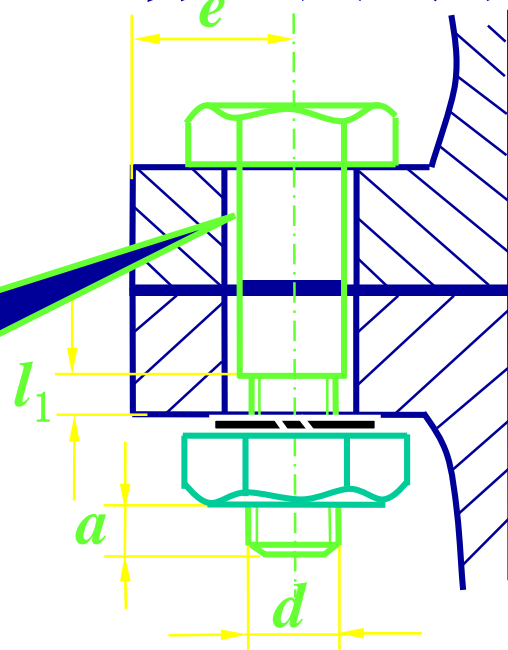
12.3 螺纹联接

12.3.1 螺纹联接的基本类型、特点和应用

1、螺栓联接

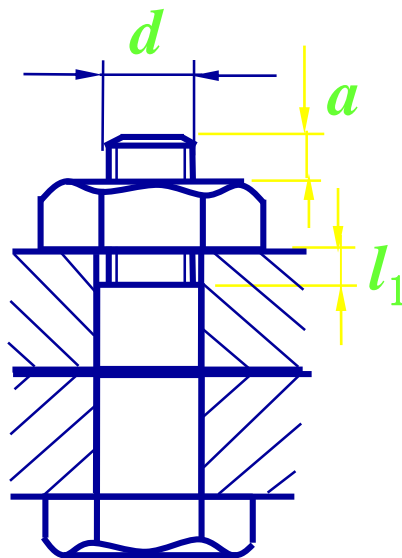
用于经常拆装易磨损之处

孔与螺杆之间留有间隙



2、铰制孔用螺栓联接

可承受横向载荷。



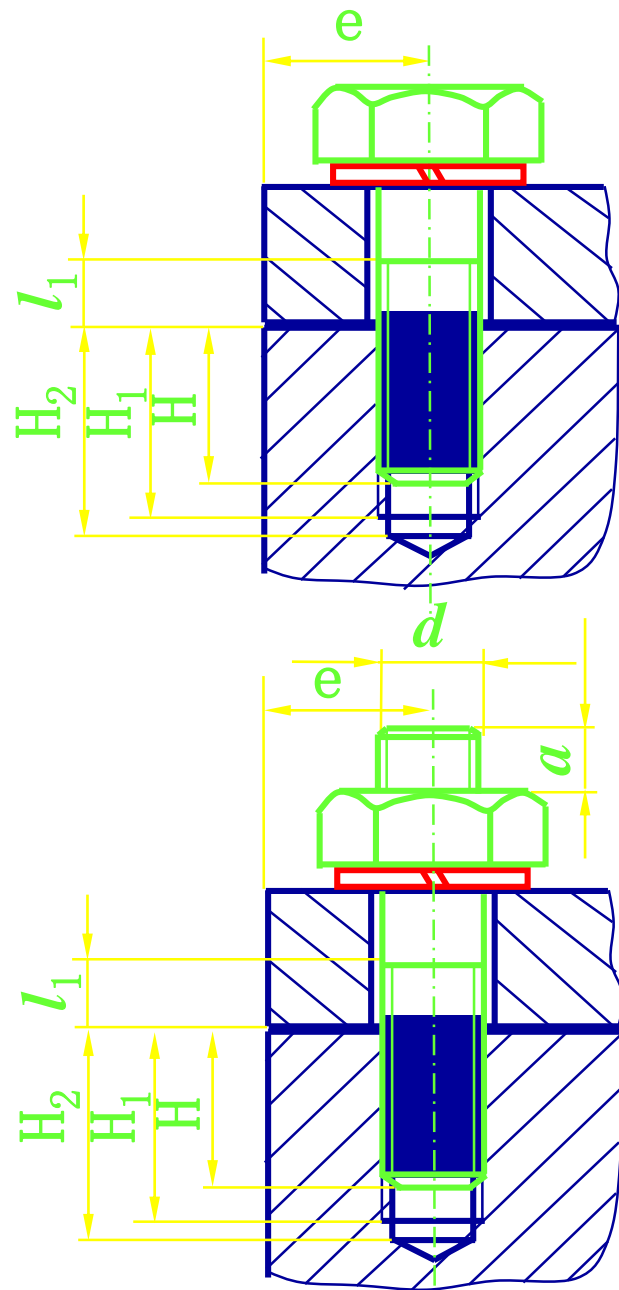
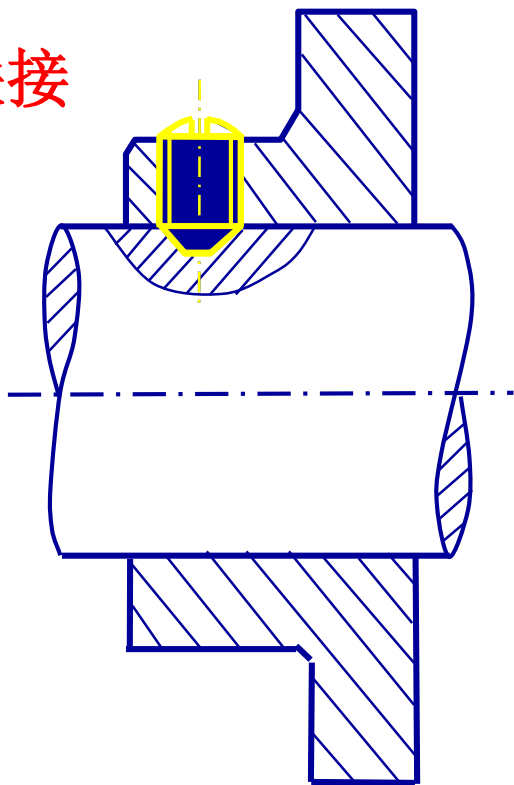
3、螺钉联接

结构简单，省了螺母，不宜经常拆装。

4、双头螺柱联接

联接件厚，允许拆装。

5、紧定螺钉联接

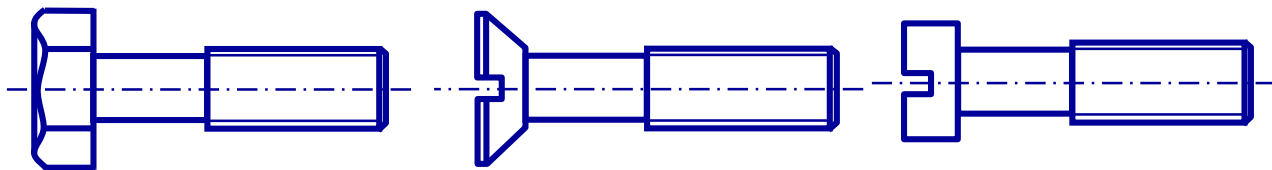
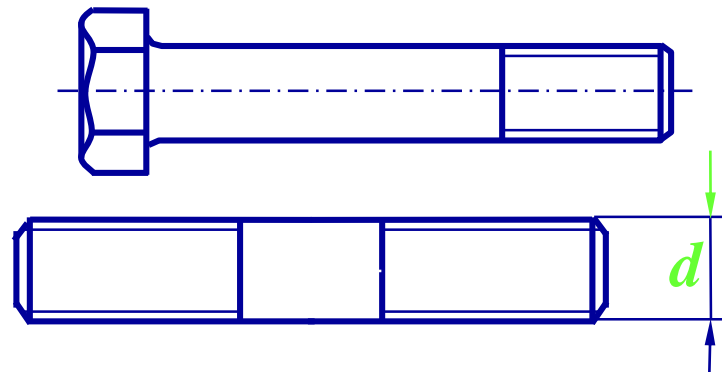


12.3.2 标准螺纹联接件

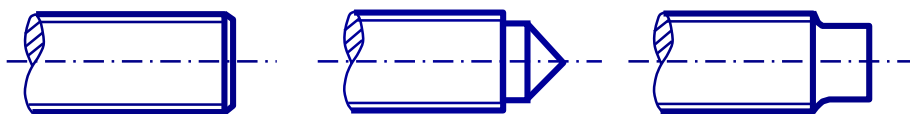
1. 六角头螺栓

2. 螺柱

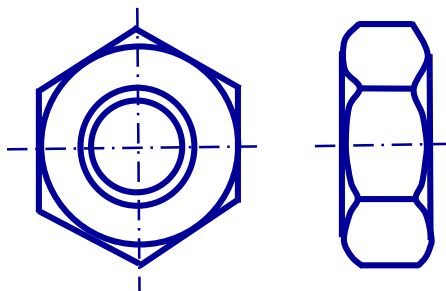
3. 螺钉



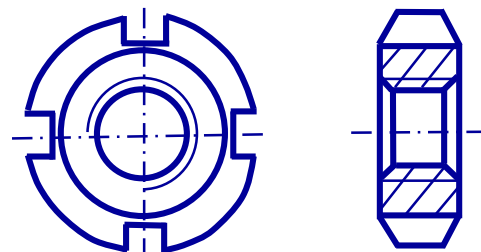
4. 紧定螺钉



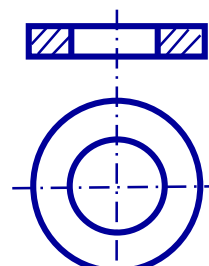
5. 六角螺母



6. 圆螺母



7. 垫圈



12.4 螺纹联接的预紧与防松

12.4.1 螺纹联接的预紧

设轴向力为 F_a

总力矩:
$$T = T_1 + T_2 = \frac{F_a d_2}{2} \operatorname{tg}(\lambda + \rho_v) + f_c F_a r_f$$

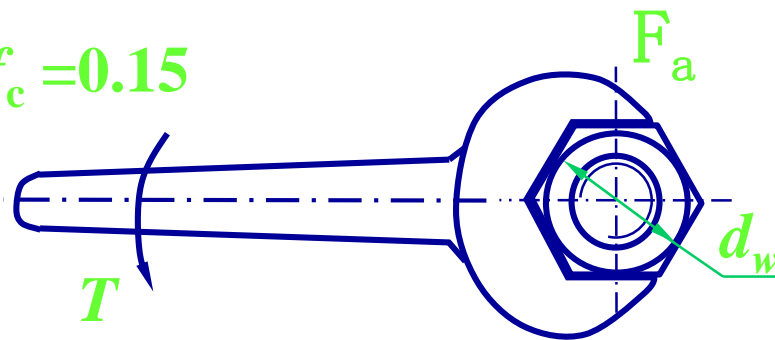
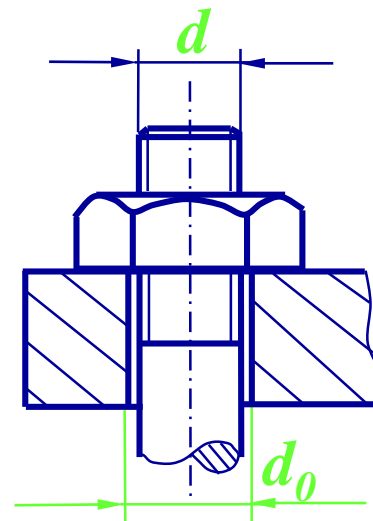
T_1 —克服螺纹副相对转动的阻力矩;

T_2 —克服螺母支撑面上的摩擦阻力矩;

f_c —摩擦系数。 无润滑时取: $f_c = 0.15$

r_f —支撑面摩擦半径。

$$r_f = (d_w + d_0) / 4$$



简化公式: $T \approx 0.2 F_a d$ 适用于M10~M60的粗牙螺纹

12.4.2 螺纹联接的防松

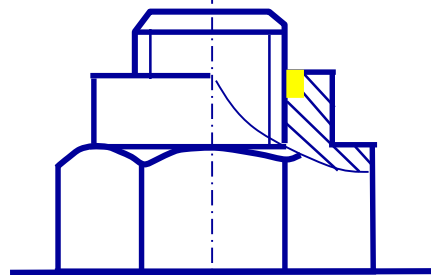
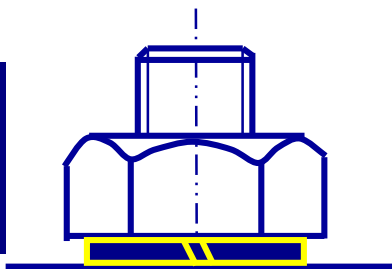
防松----防止螺旋副相对转动

防松的方法:

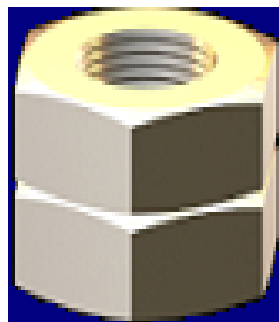
1. 利用附加摩擦力防松



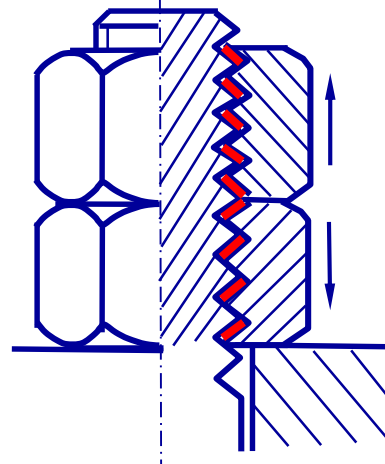
弹簧垫圈



尼龙圈锁紧螺母

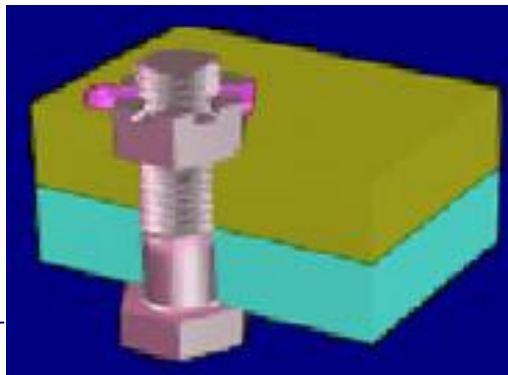
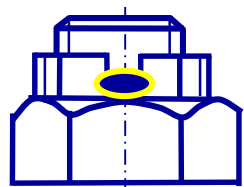


对顶螺母

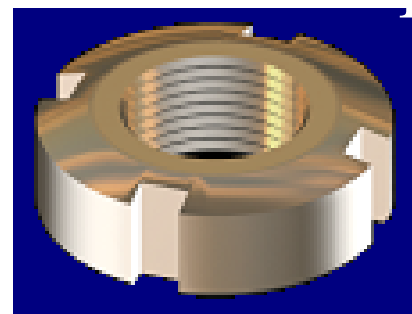
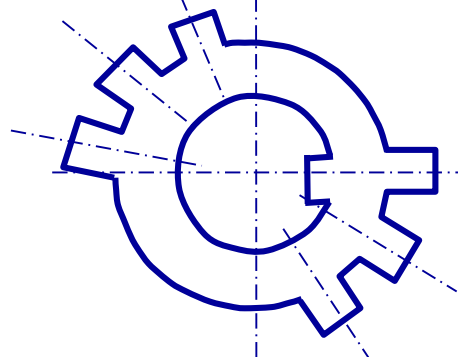
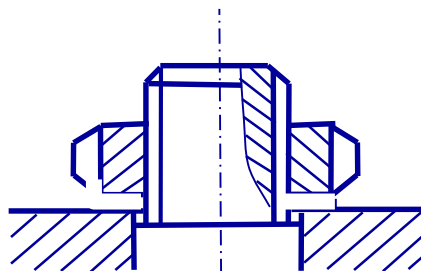
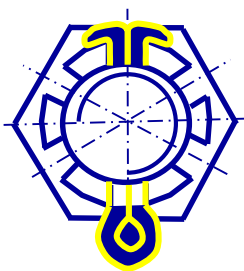


联接用三角形螺纹都具有自锁性，在静载荷和工作温度变化不大时，不会自动松脱。但在冲击、振动和变载条件下，预紧力可能在某一瞬时消失，联接仍有可能松动而失效。高温下的螺栓联接，由于温度变形差异等，也可能发生松脱现象（如高压锅），因此设计时必须考虑防松，即防止相对转动。

2. 采用专门防松元件防松



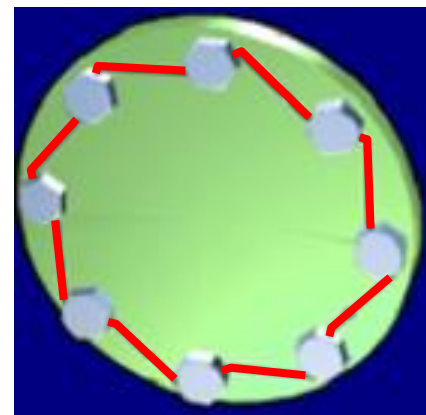
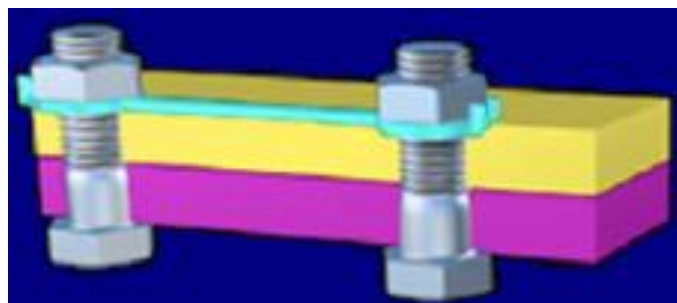
开口销与六角开槽螺母



圆螺母用止动垫圈



止动垫圈



串联钢丝

12.5 螺纹联接的计算

螺栓联接
的主要失效形式

受拉螺栓

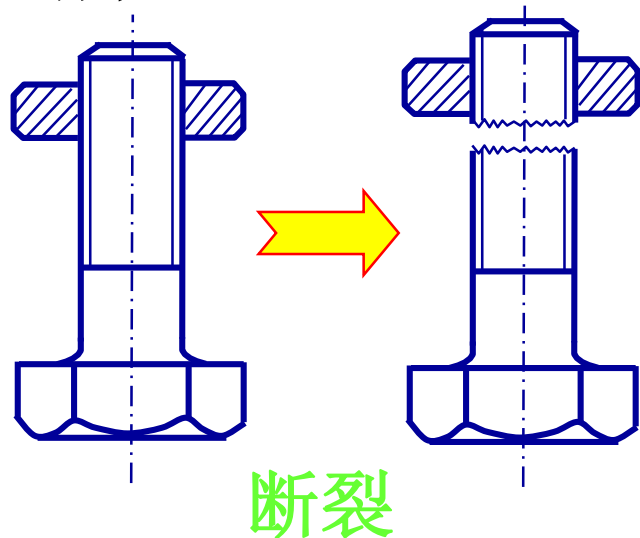
塑性变形 螺纹部分
疲劳断裂 --轴向变载荷

受剪螺栓

剪断
压溃 螺杆和孔壁的贴合面

经常拆卸

滑扣 因经常拆装



12.5.1 受轴向工作载荷的螺栓联接

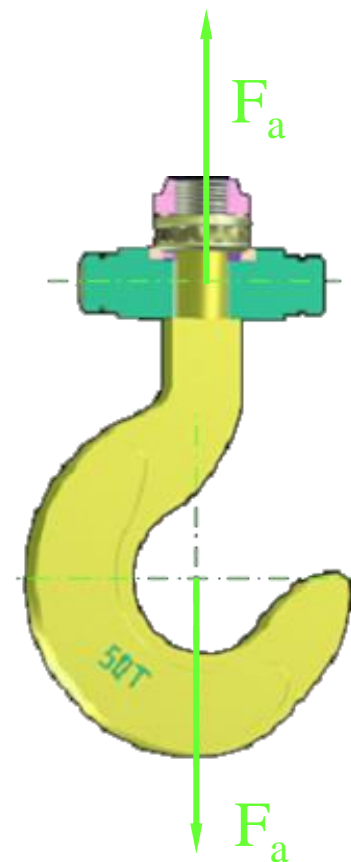
1. 松螺栓联接

强度条件：
$$\frac{F_a}{\pi d_1^2 / 4} \leq [\sigma]$$

式中： d_1 —螺纹小径 mm， $[\sigma]$ —许用应力

设计公式：
$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4F_a}{\pi[\sigma]}}$$

设计时，螺栓联接的计算主要是确定螺纹小径 d_1 ，然后按照标准选定螺纹公称直径 d 及螺距 P 等。



2. 紧螺栓联接

(1) 只受预紧力的螺栓联接

螺栓受轴向拉力 F_0 和摩擦力矩 T_1 的双重作用。

按照第四强度理论(最大形变能理论)，可推得强度条件：

$$\sigma_v = 1.3 \frac{F_0}{A} = \frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi d_1^2} \leq [\sigma]$$

设计公式：

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi [\sigma]}}$$

(2) 受轴向工作载荷的螺栓联接

设流体压强为 p ，螺栓数目为 Z ，则缸体周围每个螺栓的平均载荷为：

$$F = \frac{p \cdot \pi D^2 / 4}{Z}$$

加预紧力后→ 被联接件受压缩短

加载 F 后：

螺栓总伸长量增加

被联接件压缩量减小，压紧力减小为 F_1 ，称为剩余预紧力。

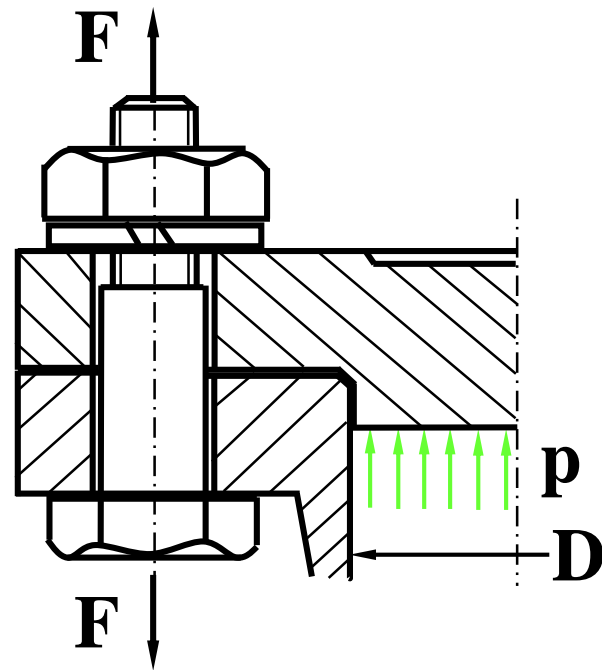
螺栓所受的轴向总载荷： $F_2 = F + F_1$

强度条件：

$$\sigma = \frac{4 \times 1.3 F_2}{\pi d_1^2} \leq [\sigma]$$

设计公式：

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_2}{\pi [\sigma]}}$$



12.5.2 螺纹联接件的材料和许用应力

1. 螺纹联接件的材料

螺栓、螺柱、螺钉常用材料：Q215、Q235、35、45等碳素钢；
冲击振动场合用：15Cr、40Cr、30CrMnSi等合金钢。

垫圈：Q235、15-35

弹簧垫圈：65Mn

2. 螺纹联接的许用应力

螺纹联接件的许用应力与载荷性质(静、变载荷)、装配情况(松、紧联接)、材料、结构尺寸有关。

12.6 螺旋传动

定义： 利用由螺杆和螺母组成的螺旋副来实现传动要求。

作用： 将回转运动转变为直线运动，同时传递运动和动力的场合。

螺旋传动按其螺旋副的摩擦性质不同分为**滑动螺旋**、**滚动螺旋**和**静压螺旋**。

12.6.1. 滑动螺旋

1. 滑动螺旋的类型

(1) 传力螺旋

(2) 传导螺旋

(3) 调整螺旋



12.7 键联接

键是一种标准零件，可实现轴与轴上零件之间的**周向固定以传递转矩**。类型：**平键、半圆键、楔键、切向键**。

12.7.1 键联接的类型

1. 平键联接

根据用途分，平键连接包括**普通平键、导向键和滑键**。

(1) 普通平键

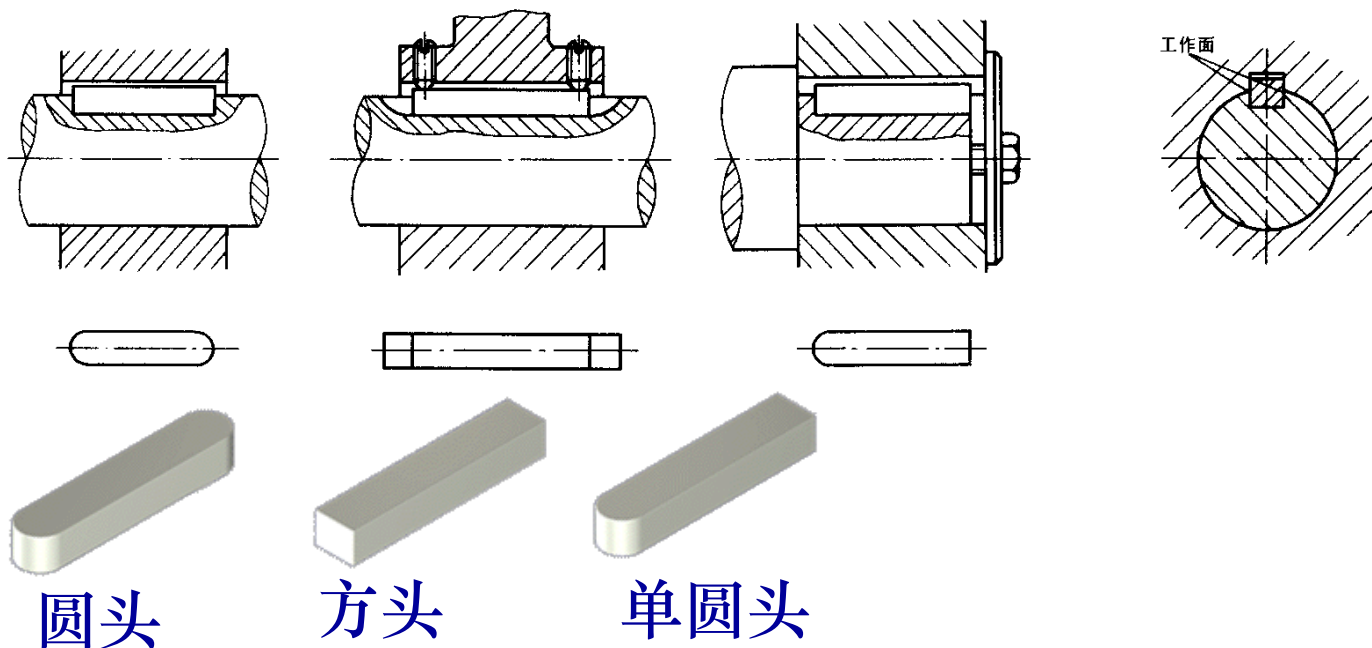
工作面：**键的侧面**

普通平键连接依靠**键与键槽侧面的挤压**来传递转矩。键的上表面与轮毂上的键槽底部之间留有间隙。

优点：结构简单、装拆方便、定心性好

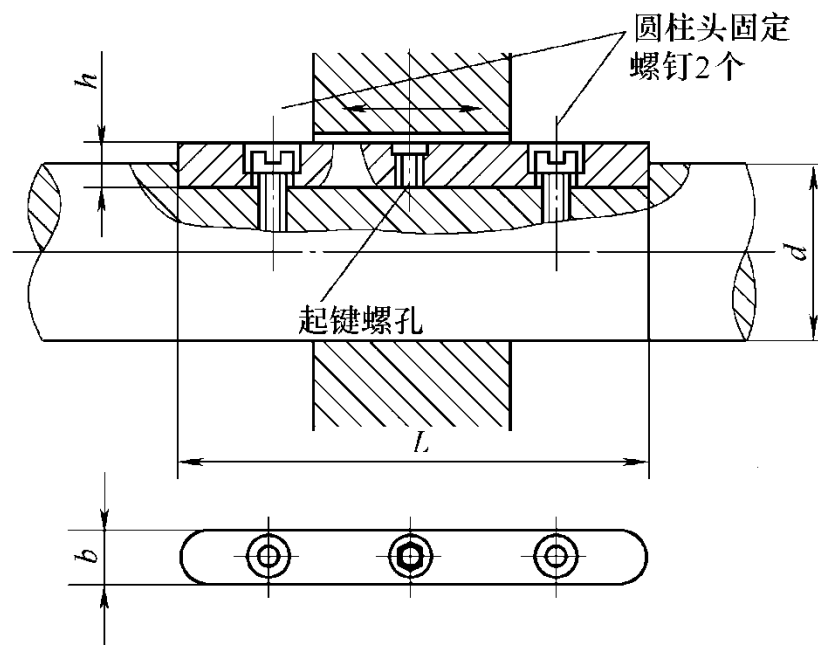
缺点：不能实现传动件的轴向固定

分类：圆头（A型）、方头（B型）和单圆头（C型）



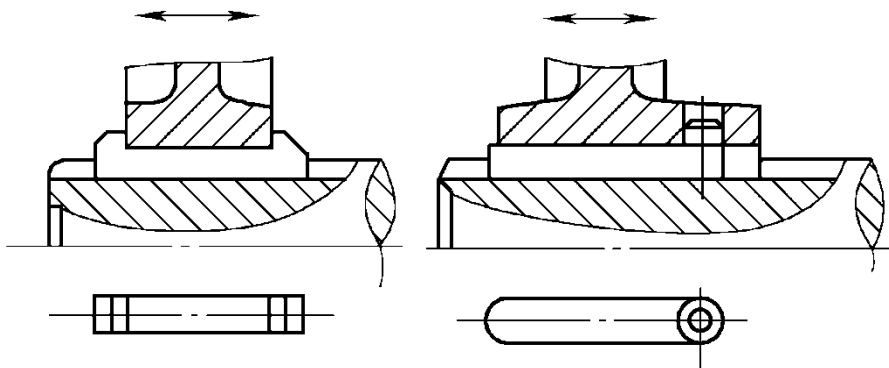
(2) 导向平键

键用螺钉固定在轴槽中，键与毂槽为间隙配合，轮毂件可在键上作轴向滑动，此时键起导向作用。



(3)滑键

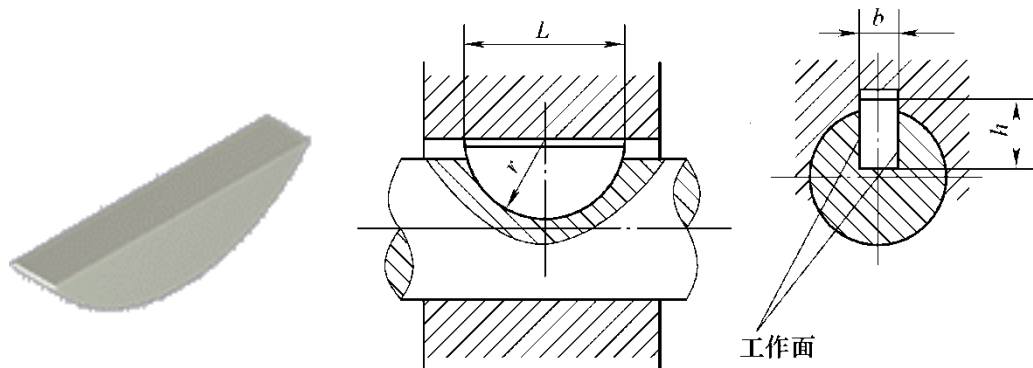
滑键比较短，固定在轮毂上，而轴上的键槽比较长，键与轴槽为间隙配合，轴上零件可带键在轴槽中滑动。



2.半圆键联接

工作面: **键的侧面**

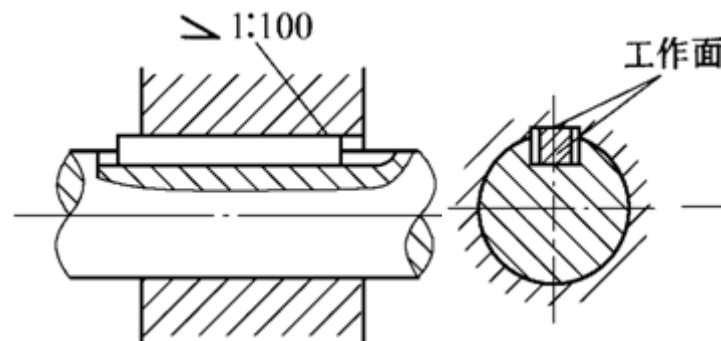
半圆在槽中能绕其几何中心摆动以适应轮毂键槽的斜度
半圆键连接工艺性好，装配方便；一般用于轻载静连接中



3. 楔键联接

工作面: 键的上下表面

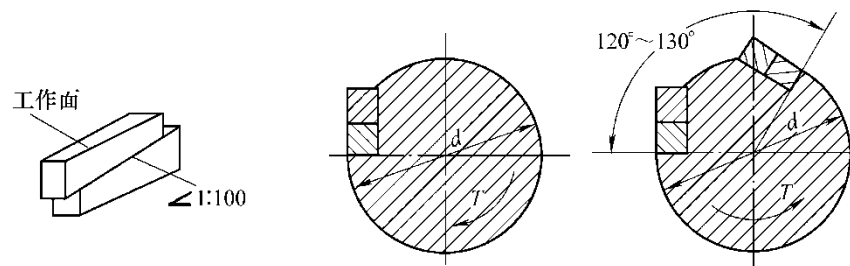
键的上表面与轮毂上键槽的底面各有**1:100**的斜度, 工作时靠轴和轮毂间的**摩擦力**传递转矩, 同时可传递单方向的轴向力。



4. 切向键联接

工作面: 键的上下窄面

切向键由一对普通楔键组成, 其中与轴槽接触的窄面过轴线, 工作压力沿轴的切向作用, 能传递很大的转矩。



12.7.2 平键联接的强度校核

主要失效形式:工作面的压溃

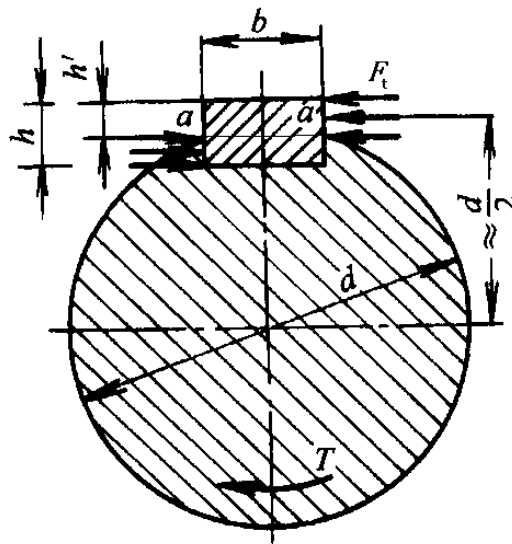
一般校核挤压强度

设键连接传递的转矩为 T (N.m), 挤压力 F_t , 挤压高度 h' , 挤压长度 l , 则

$$\text{挤压强度 } \sigma_p = \frac{4T}{dhl} \leq [\sigma_p]$$

其中

$$\begin{aligned} l &= L - b && (\text{A型平键}) \\ l &= L && (\text{B型平键}) \\ l &= L - \frac{b}{2} && (\text{C型平键}) \end{aligned}$$



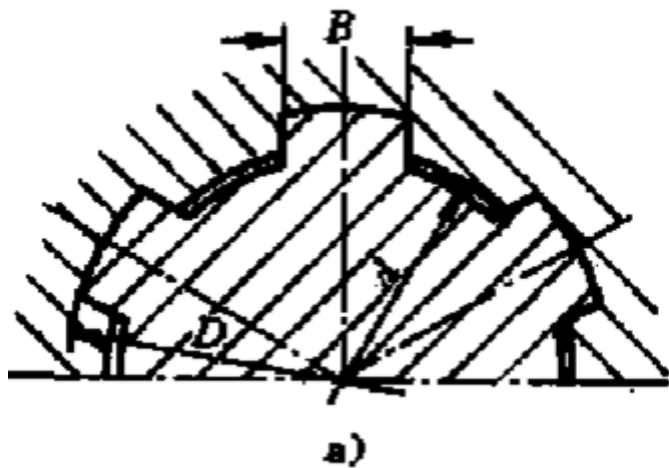
12.7.3 花键联接

组成：花键轴和花键孔

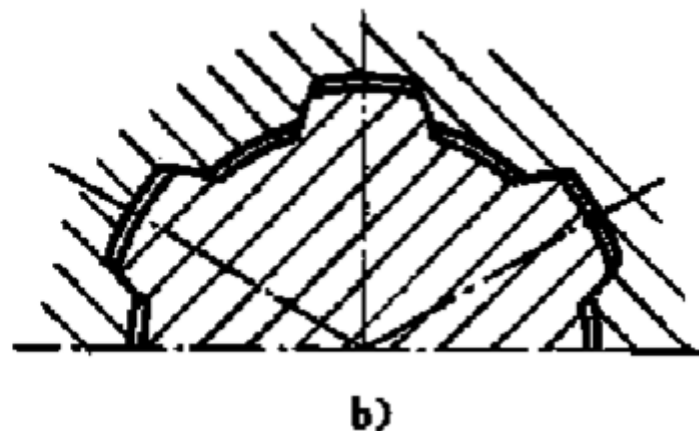
工作面：花键齿的侧面

优点（相比平键联接）：

承载能力高，对轴削弱程度小，应力集中小，定心精度高，导向性能好



a) 矩形花键



b) 渐开线花键

12.8 销联接

主要用途：固定零件之间的相互位置，并可传递不大的载荷

分类：圆柱销和圆锥销

圆柱销配合精度高，但不宜经常装拆

圆锥销有1:50的锥度，定位精确，装拆方便，具有自锁性，可多次装拆

