



# 第十章 连接

- 10. 1 螺纹参数
- 10. 2 螺旋副的受力分析、效率和自锁
- 10. 4 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件
- 10. 5 螺纹连接的预紧和防松
- 10. 6 螺栓连接的强度计算
- 10. 10 滚动螺旋简介
- 10. 11 键连接和花键连接
- 10. 12 销连接

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

# 连接

- 由于使用、制造、装配、运输、维修等原因，机器中有相当多的零件需要彼此连接。
- 机械制造中，连接是指被连接件与连接件的组合。
- **机械静连接**：被连接件间相互固定、不能作相对运动。
- **机械动连接**：能按一定运动形式作相对运动，如各种运动副。
- 机械联接可分为：可拆连接和不可拆连接。
- **可拆连接**：指连接拆开时，不破坏连接中的零件，重新安装后，即可继续使用的连接。如：**螺纹连接、键连接、销连接和成型连接**等。
- **不可拆连接**：指连接拆开时，要破坏连接中的零件，不能继续使用的连接。如：**铆钉连接、焊连接和胶连接**等。
- **本章仅讨论可拆连接。**



# 第十章 连接

## 10.1 螺纹参数

## 10.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁

## 10.4 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件

## 10.5 螺纹连接的预紧和防松

## 10.6 螺栓连接的强度计算

## 10.10 滚动螺旋简介

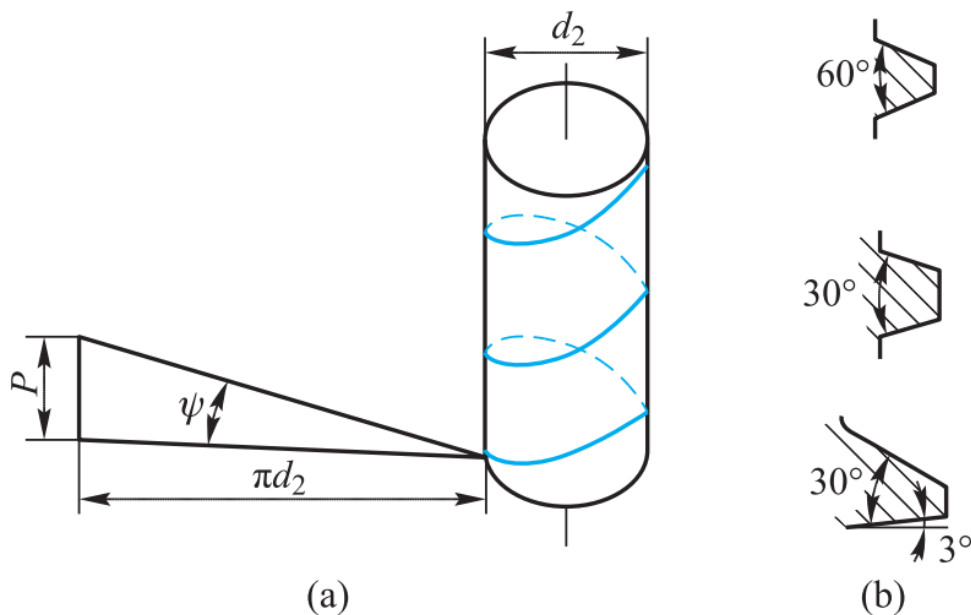
## 10.11 键连接和花键连接

## 10.12 销连接

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

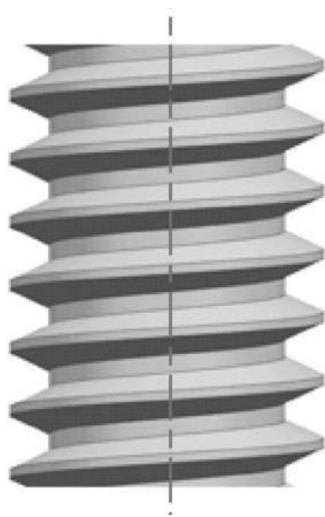
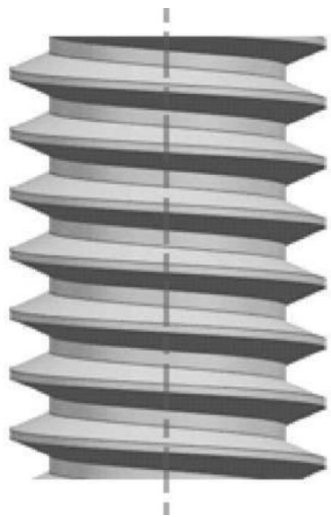
# 螺纹参数

- 将一倾斜角为  $\psi$  的直线绕在圆柱面上便形成一条**螺旋线**（图 a）。取一平面图形（图b），使它沿着螺旋线运动，运动时保持此图形平面通过圆柱的轴线，就得到**螺纹**。
- 按照平面图形的形状，螺纹分为三角形螺纹、梯形螺纹和锯齿形螺纹等。

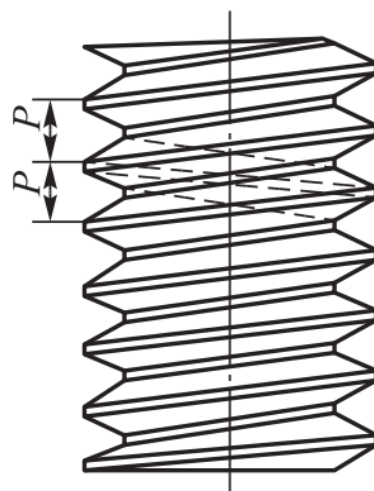


# 螺纹参数

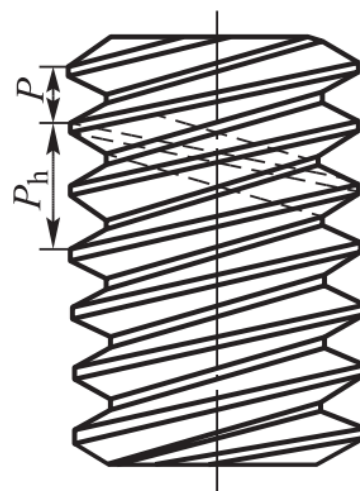
- 按照螺旋线的旋向，分为左旋螺纹和右旋螺纹。机械制造中一般采用右旋螺纹，有特殊要求时才采用左旋螺纹。
- 按照螺旋线的数目，螺纹还分为单线螺纹和等距排列的多线螺纹。为了制造方便，螺纹的线数一般不超过4。



左、右旋的识别



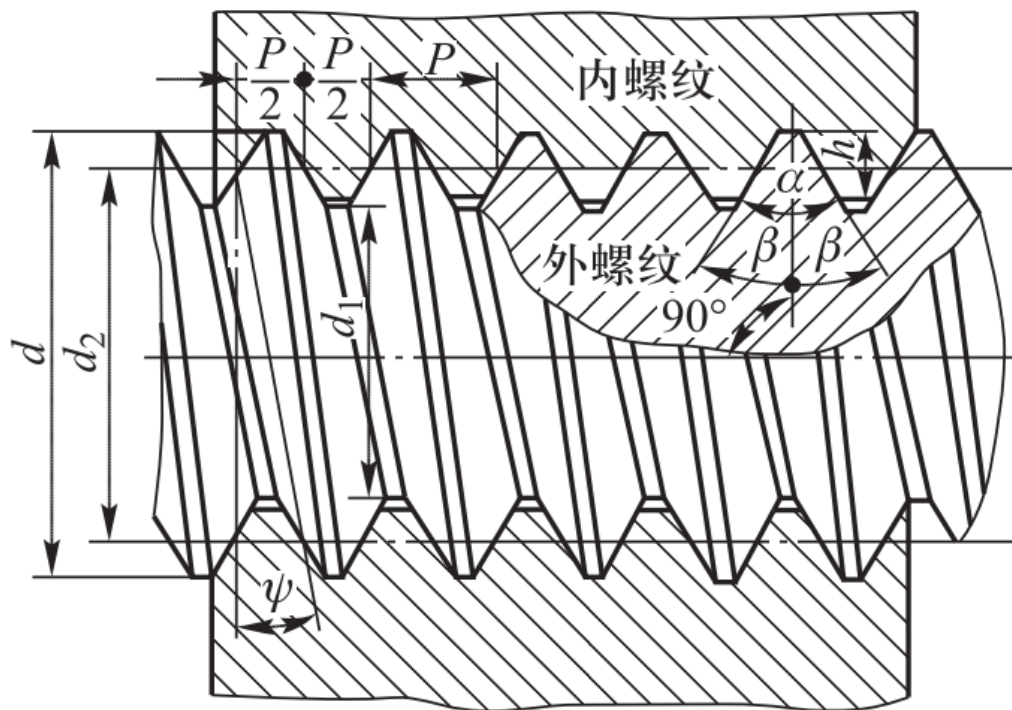
单线螺纹



双线螺纹

# 螺纹参数

- 螺纹有内、外螺纹之分，两者旋合组成螺旋副或称螺纹副。用于连接的螺纹称为**连接螺纹**；用于传动的螺纹称为**传动螺纹**，相应的传动称为**螺旋传动**。
- 按照母体形状，螺纹分为**圆柱螺纹**和**圆锥螺纹**。



# 螺纹参数

- 圆柱螺纹的主要几何参数：

**大径 $d$** —与外螺纹牙顶（或内螺纹牙底）相重合的假想圆柱的直径，即螺纹的公称直径

**小径 $d_1$** —与外螺纹牙底（或内螺纹牙顶）相重合的假想圆柱的直径，常用于连接的强度计算

**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，常用于连接的几何计算

**线数 $n$** —螺纹的螺旋线数目

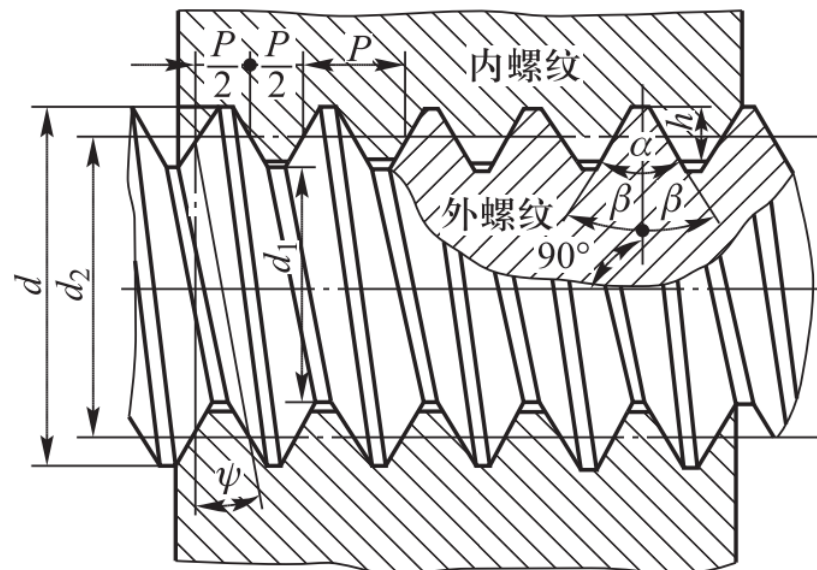
**螺距 $P$** —螺纹相邻两个牙型上对应点间的轴向距离

**导程 $P_h$** —螺纹上任一点沿同一条螺旋线转一周所移动的轴向距离， $P_h = nP$

**螺纹升角 $\psi$** —中径螺旋线的切线与垂直于螺纹轴线的平面间的夹角  $\psi = \tan^{-1} \frac{nP}{\pi d_2}$

**牙型角 $\alpha$** —螺纹轴向截面内，螺纹牙型两侧边的夹角

**牙侧角 $\beta$** —牙型侧边与螺纹轴线的垂线间的夹角。对于对称牙型， $\beta = \alpha/2$





# 第十章 连接

10. 1 螺纹参数

10. 2 螺旋副的受力分析、效率和自锁

10. 4 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件

10. 5 螺纹连接的预紧和防松

10. 6 螺栓连接的强度计算

10. 10 滚动螺旋简介

10. 11 键连接和花键连接

10. 12 销连接

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

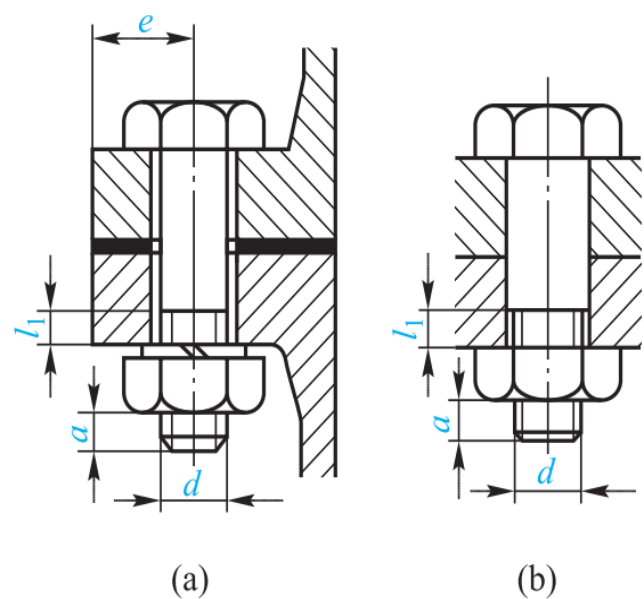


# 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件

## 一、螺纹连接的基本类型

- 螺纹紧固件连接有四种基本类型：**螺栓连接**、**螺钉连接**、**双头螺柱连接**和**紧定螺钉连接**
- **螺栓连接**：按螺栓主要受力状况不同可分为**受拉螺栓连接**（**普通螺栓连接**）和**受剪螺栓连接**（**铰制孔用螺栓连接**）两种，所用螺栓的结构型式和连接的结构也有所不同，前一种制造和装拆方便，应用广泛；后一种多用于板状件的连接，有时兼起定位作用
- **紧连接**：工作前须拧紧的螺栓连接
- **松连接**：不拧紧的螺栓连接，应用较少

# 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件



螺纹余留长度  $l_1$

静载荷  $l_1 \geq (0.3 \sim 0.5) d$ ;

变载荷  $l_1 \geq 0.75 d$ ;

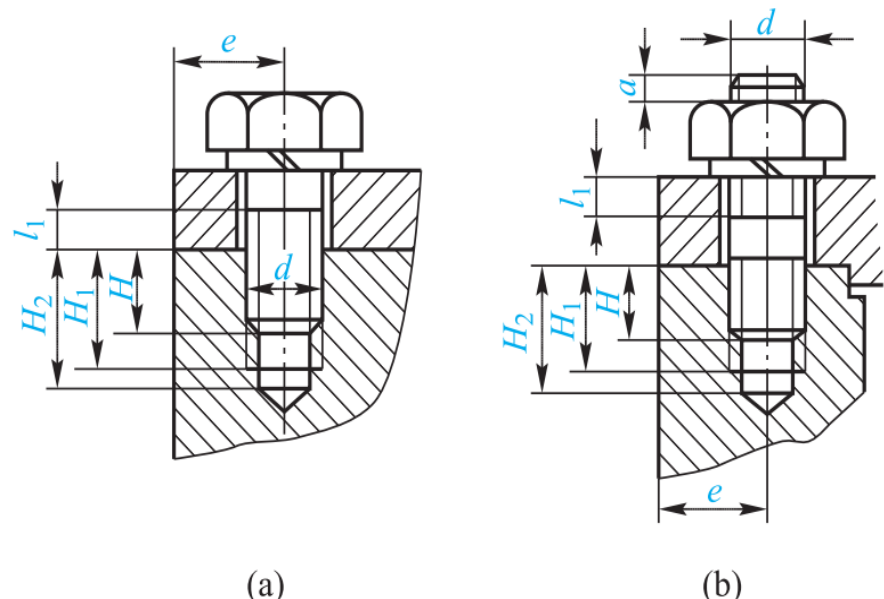
冲击载荷或弯曲载荷  $l_1 \geq d$ ;

铰制孔用螺栓  $l_1 \approx 0$ ;

螺纹伸出长度  $a = (0.2 \sim 0.3) d$ ;

螺栓轴线到边缘的距离  $e = d + (3 \sim 6) \text{ mm}$

图 10-9 螺栓连接



座端拧入深度  $H$ , 当螺孔材料为:

钢或青铜  $H \approx d$ ;

铸铁  $H = (1.25 \sim 1.5) d$ ;

铝合金  $H = (1.5 \sim 2.5) d$ ;

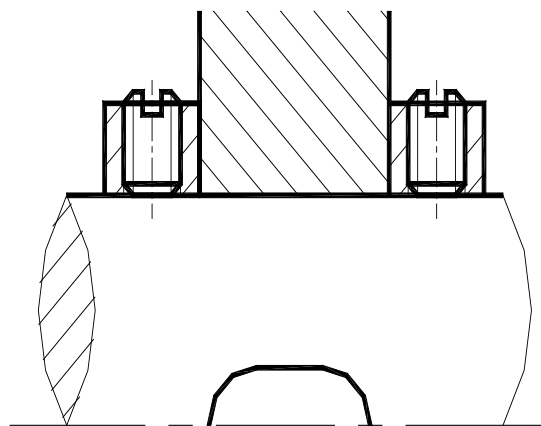
螺纹孔深度  $H_1 = H + (2 \sim 2.5) P$ ;

钻孔深度  $H_2 = H_1 + (0.5 \sim 1) d$ ;

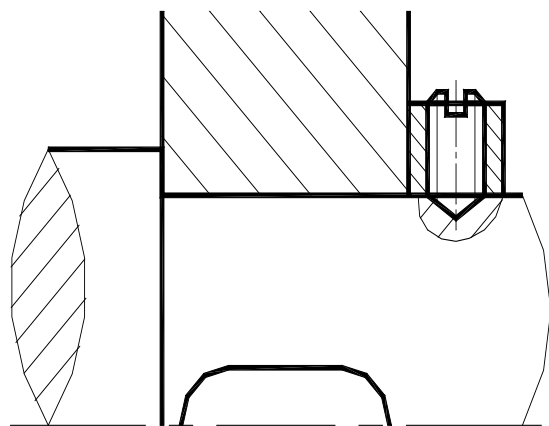
$l_1$ 、 $a$ 、 $e$  值同图 10-9

图 10-10 螺钉连接和双头螺柱连接

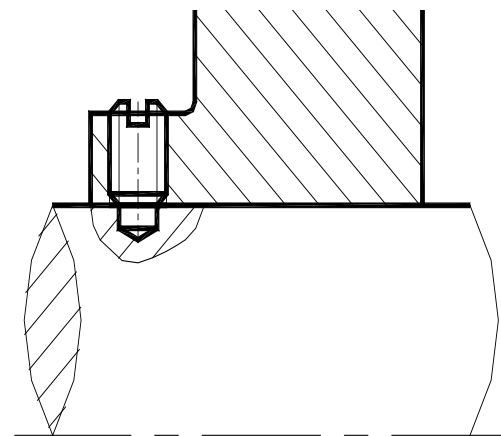
# 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件



a) 平端紧定螺钉



b) 锥端紧定螺钉



c) 圆柱端紧定螺钉

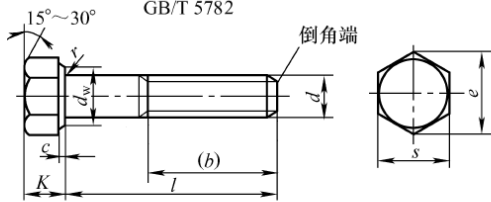
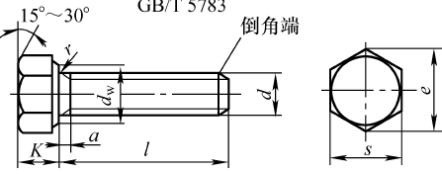
## 紧定螺钉连接

## 二、螺纹紧固件

螺栓、螺钉、双头螺柱、紧定螺钉、螺母、垫圈

# 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件

附表 C-3 六角头螺栓—A 级和 B 级 (摘自 GB/T 5782—2000)  
六角头螺栓—全螺纹—A 级和 B 级 (摘自 GB/T 5783—2000) (单位:mm)

<div><div><div>GB/T 5782</div></div><div><div>GB/T 5783</div></div></div>												
标记示例： 螺栓直径 $d=8\text{mm}$ 、公称长度 $l=80$ 、性能等级为 8.8 级、表面氧化、A 级的六角头螺栓标记为 螺栓 GB/T 5782 M8 $\times$ 80。												
螺纹规格 $d$		M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M42
$s$	公称 = max	7	8	10	13	16	18	24	30	36	46	65
$K$	公称	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	10	12.5	15	18.7	26
$r$	min	0.2	0.2	0.25	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	1	1.2
$e$	min	A	7.66	8.79	11.05	14.38	17.77	20.03	26.75	33.53	39.98	—
		B	7.50	8.63	10.89	14.20	17.59	19.85	26.17	32.95	39.55	50.85
$d_w$	min	A	5.88	6.88	8.88	11.63	14.63	16.63	22.49	28.19	33.61	—
		B	5.74	6.74	8.74	11.47	14.47	16.47	22	27.7	33.25	42.75
$b$	$l < 125$	4	16	18	22	26	30	38	46	54	66	—
	$125 \leq l \leq 200$	20	22	24	28	32	36	44	52	60	72	84
	$l > 200$	33	35	37	41	45	49	57	65	73	85	97
$c$	max	0.4	0.5		0.6		0.6	0.8				1.0
$a$	max	2.1	2.4	3	4	4.5	5.3	6	7.5	9	10.5	12
$l$ 范围		25 ~ 40	25 ~ 50	30 ~ 60	40 ~ 80	45 ~ 100	50 ~ 120	65 ~ 160	80 ~ 200	90 ~ 240	110 ~ 300	140 ~ 360
$l$ (全螺线)		6 ~ 40	10 ~ 50	12 ~ 60	16 ~ 80	20 ~ 100	25 ~ 120	30 ~ 150	40 ~ 150	50 ~ 150	60 ~ 200	75 ~ 200
$l$ 系列		6, 8, 10, 12, 16, 20 ~ 70 (5 进位), 80 ~ 160 (10 进位), 180 ~ 500 (20 进位)										

注:A 级用于  $d=1.6 \sim 24\text{mm}$  和  $l \leq 10d$  或  $l \leq 150\text{mm}$  (按较小值); B 级用于  $d > 24\text{mm}$  或  $l > 10d$  或  $l > 150\text{mm}$  (按较小值) 的螺栓。

螺纹紧固件：  
螺栓、螺柱、  
螺钉、螺母、  
垫圈  
均有国家标准



# 第十章 连接

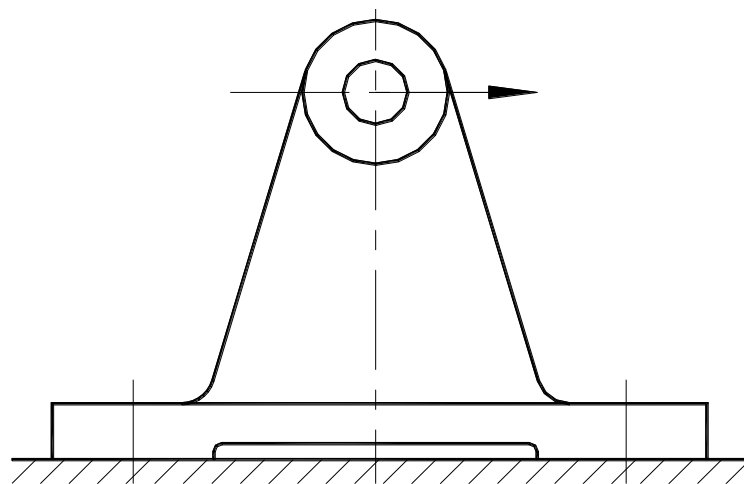
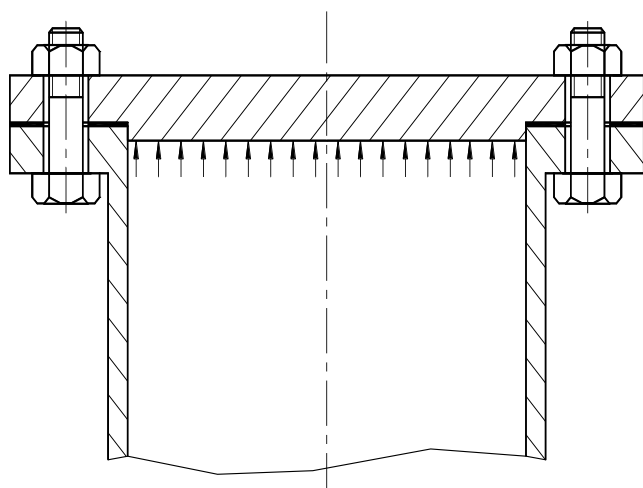
- 10. 1 螺纹参数
- 10. 2 螺旋副的受力分析、效率和自锁
- 10. 4 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件
- 10. 5 螺纹连接的预紧和防松
- 10. 6 螺栓连接的强度计算
- 10. 10 滚动螺旋简介
- 10. 11 键连接和花键连接
- 10. 12 销连接

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

# 螺纹连接的预紧和防松

## 一、拧紧力矩

- 除个别情况外，螺纹连接在装配时都必须拧紧，这时螺纹连接受到预紧力的作用。对于重要的螺纹连接，应控制其预紧力。
- 预紧力的大小对螺纹连接的可靠性、强度、密封性和放松能力均有很大的影响。



# 螺纹连接的预紧和防松

拧紧螺母时，需要克服——螺纹副的螺纹阻力矩 $T_1$ 和螺母支承面上的摩擦阻力矩 $T_2$

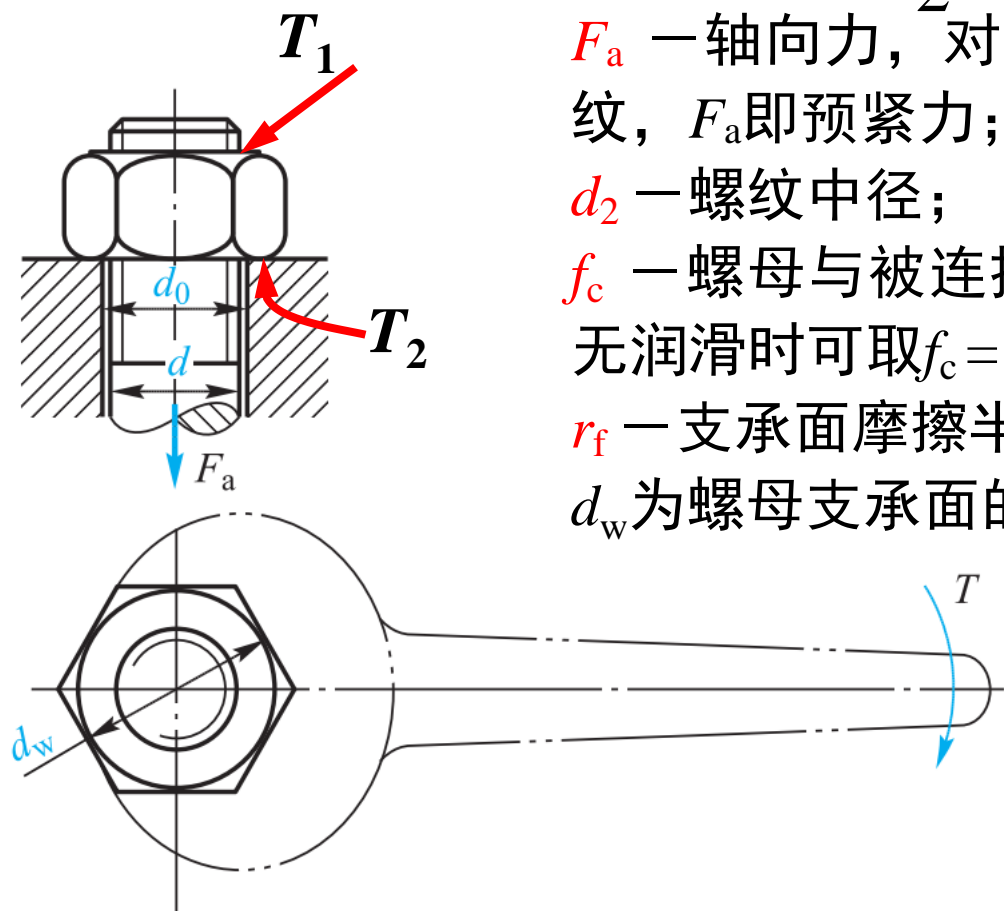
$$T = T_1 + T_2 = F_a \frac{d_2}{2} \tan(\psi + \rho') + f_c F_a r_f$$

$F_a$  — 轴向力，对于不承受轴向工作载荷的螺纹， $F_a$ 即预紧力；

$d_2$  — 螺纹中径；

$f_c$  — 螺母与被连接件支承面之间的摩擦系数，无润滑时可取 $f_c = 0.15$ ；

$r_f$  — 支承面摩擦半径， $r_f \approx (d_w + d_0) / 4$ ，其中 $d_w$ 为螺母支承面的外径， $d_0$ 为螺栓孔直径。

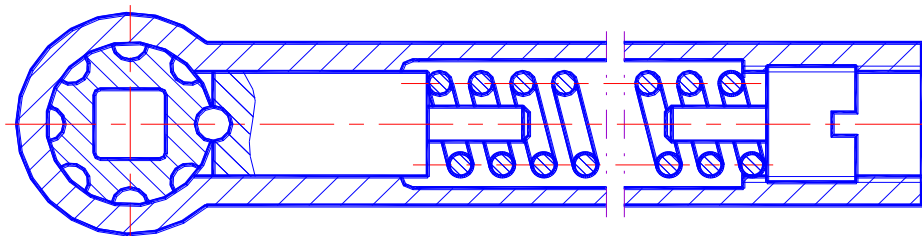


对于M10 ~ M68的粗牙螺纹，若取 $f' = \tan \rho' = 0.15$ ， $f_c = 0.15$ ，则

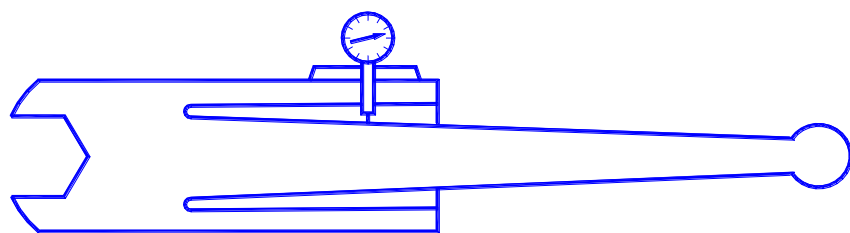
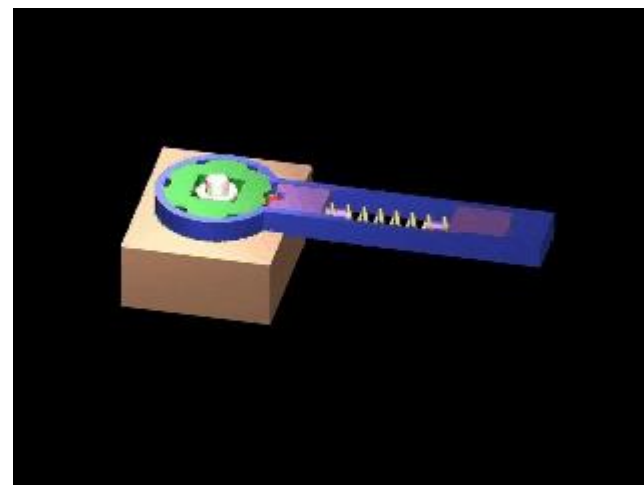
$$T \approx 0.2 F_a d \quad (\text{N} \cdot \text{mm})$$

# 螺纹连接的预紧和防松

控制拧紧力矩扳手——



定力矩扳手



测力矩扳手





# 螺纹连接的预紧和防松

## 二、螺纹连接的防松

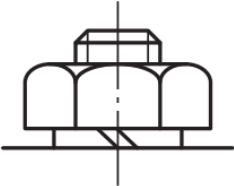
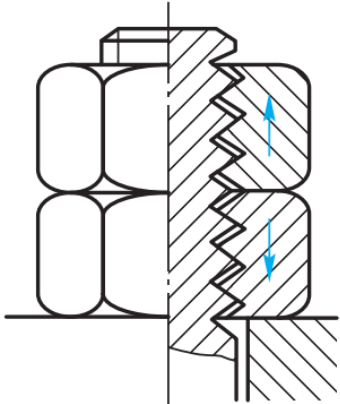
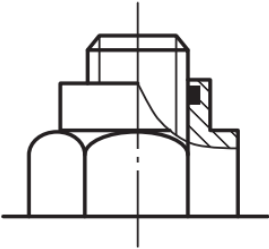
螺纹连接防松的实质——防止螺旋副的相对转动。防止连接的松动，以免影响正常工作。

按防松装置或方法的工作原理可分为三类：

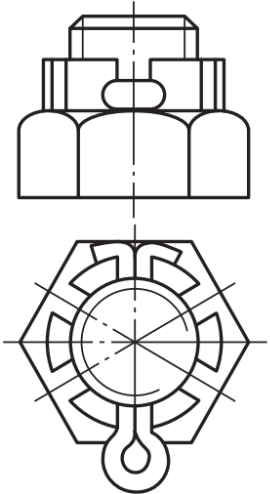
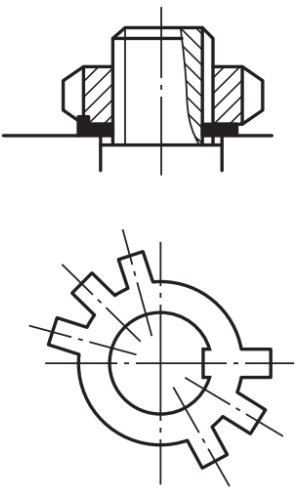
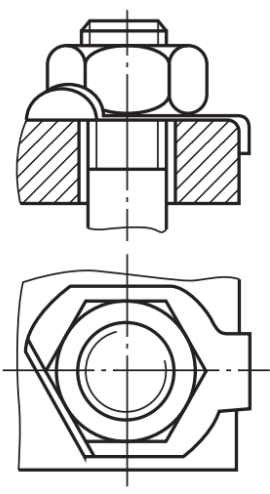
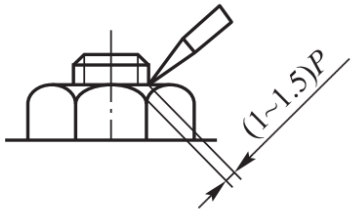
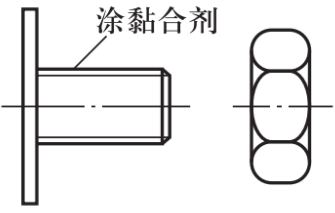
- 摩擦防松
- 直接锁住（机械防松）
- 不可拆卸防松（破坏螺纹副）（铆冲、粘接、焊接）

# 螺纹连接的预紧和防松

表 10-4 常用的防松方法

利用附加摩擦力防松	 <p>弹簧垫圈</p>	 <p>对顶螺母</p>	 <p>尼龙圈锁紧螺母</p>
	弹簧垫圈材料为弹簧钢,装配后垫圈被压平,其反弹力能使螺纹间保持压紧力和摩擦力	利用两螺母的对顶作用使螺栓始终受到附加的拉力和附加的摩擦力。结构简单,可用于低速、重载场合	螺母中嵌有尼龙圈,拧上后尼龙圈内孔被胀大,箍紧螺栓

# 螺纹连接的预紧和防松

采用专门防松元件防松	 <p>槽形螺母和开口销</p>	 <p>圆螺母用带翅垫片</p>	 <p>止动垫片</p>
	<p>槽形螺母拧紧后,用开口销穿过螺栓尾部小孔和螺母的槽,也可以用普通螺母拧紧后再配钻开口销孔</p>	<p>使垫片内翅嵌入螺栓(轴)的槽内,拧紧螺母后将垫片外翅之一折嵌于螺母的一个槽内</p>	<p>将垫片折边以固定螺母和被连接件的相对位置</p>
其他方法防松	 <p>冲点法防松 用冲头冲 2~3 点</p>	 <p>黏合法防松</p>	<p>用黏合剂涂于螺纹旋合表面,拧紧螺母后黏合剂能自行固化,防松效果良好</p>



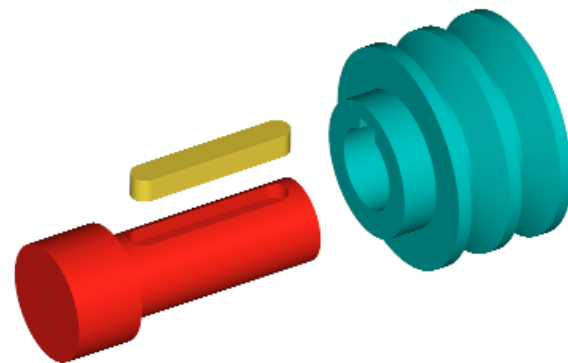
# 第十章 连接

- 10. 1 螺纹参数
- 10. 2 螺旋副的受力分析、效率和自锁
- 10. 4 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件
- 10. 5 螺纹连接的预紧和防松
- 10. 6 螺栓连接的强度计算
- 10. 10 滚动螺旋简介
- 10. 11 键连接和花键连接
- 10. 12 销连接

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

# 键连接和花键连接

**工作原理**——利用**键**在**轴**与**轮毂**之间形成静连接或动连接，是一种可拆连接，其中键是标准零件。

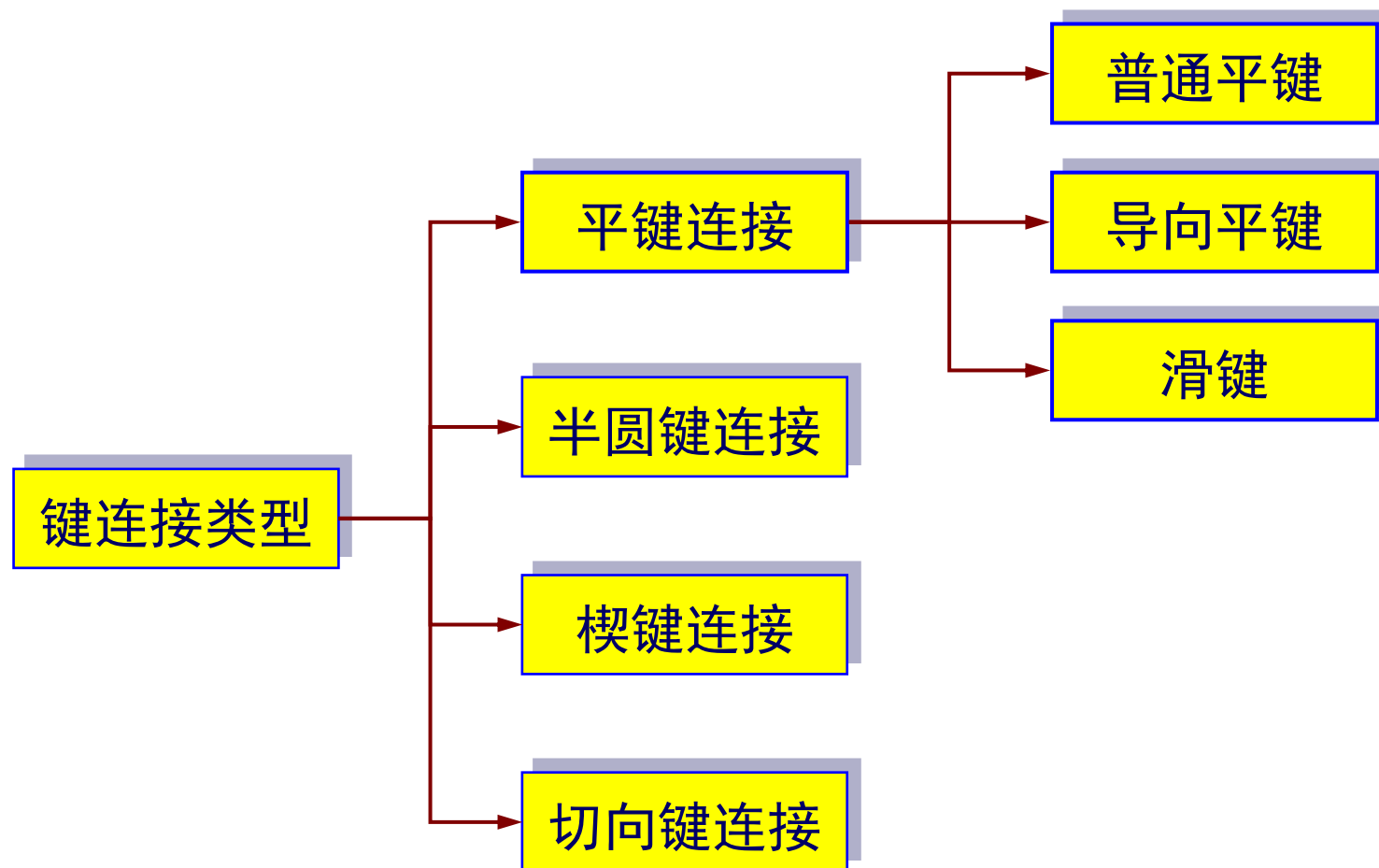


**键连接的功能**——

- 基本功能——所有类型的键连接都能用来实现轴和轴上零件（如齿轮、带轮等）的**周向固定，以传递转矩**；
- 延伸功能——
  - 部分类型的键连接还能实现轴上零件的轴向固定，以传递轴向力；
  - 部分类型的键连接能构成轴向动连接，以使零件在轴上滑动。

# 键连接和花键连接

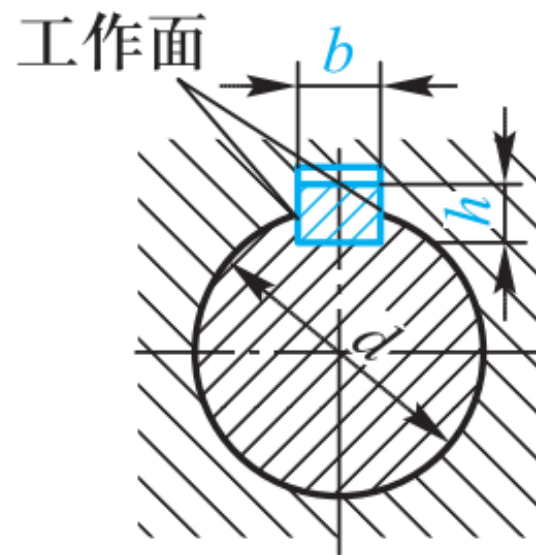
## 一、键连接的类型



# 键连接和花键连接

## 1. 平键连接

- 工作原理——平键的两侧面是工作面，上表面与轮毂槽底之间留有间隙。工作时，靠键与键槽的互相挤压传递转矩。

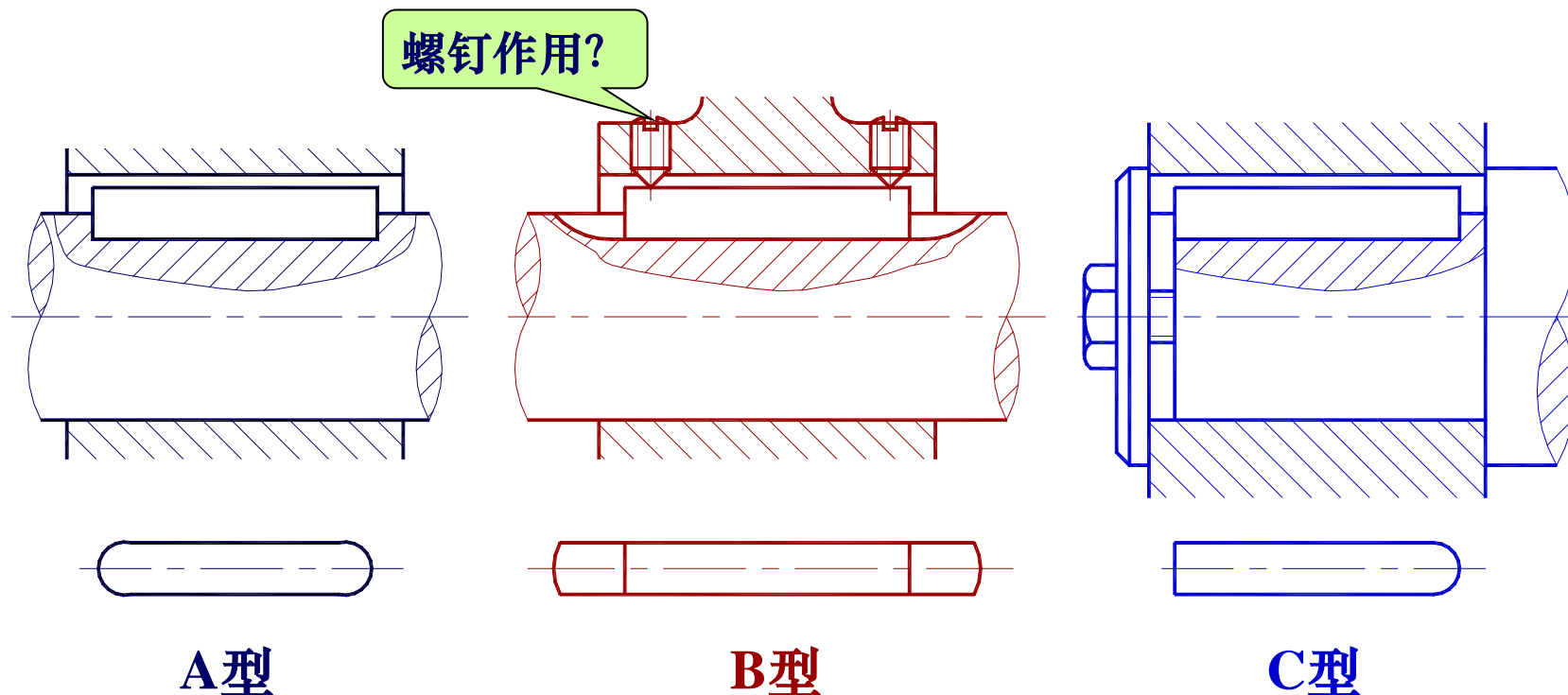


- 常用类型——普通平键，导向平键，滑键

# 键连接和花键连接

- 普通平键（静连接）

- 圆头(A型)——轴槽用指形铣刀加工，键在槽中固定良好
- 方头(B型)——轴槽用盘形铣刀加工，键卧于槽中用螺钉紧固
- 单圆头(C型)——常用于轴端

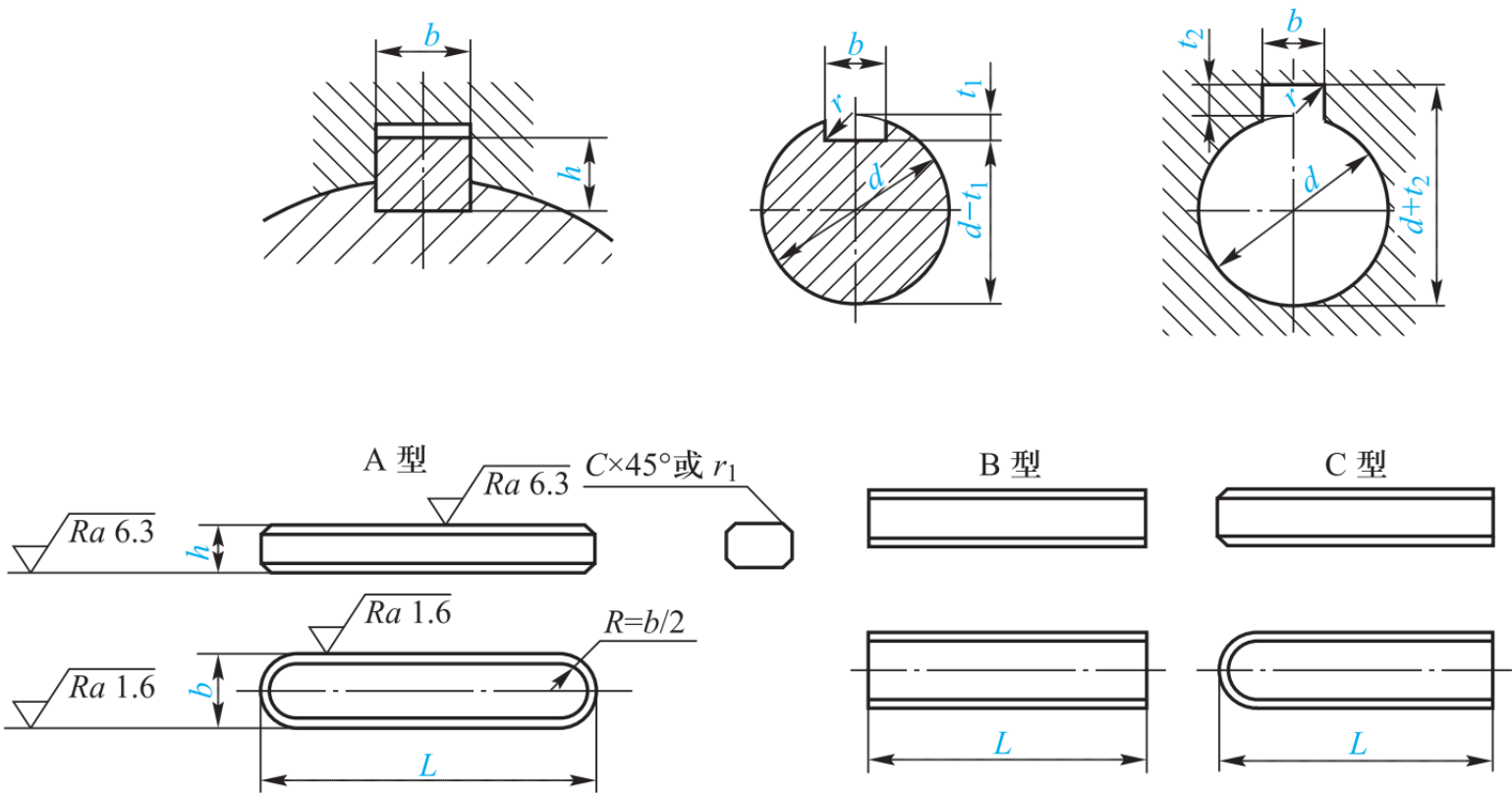




# 键连接和花键连接

表 10-10 普通平键和键槽的尺寸 (摘自 GB/T 1095—2003、GB/T 1096—2003)

mm



标记示例:

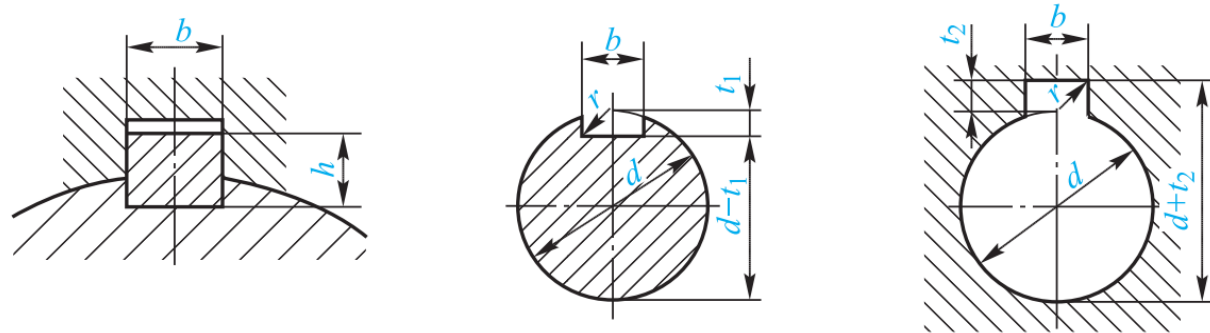
圆头普通平键(A型),  $b=16$ 、 $h=10$ 、 $L=100$  的标记为: GB/T 1096 键 16×10×100

平头普通平键(B型),  $b=16$ 、 $h=10$ 、 $L=100$  的标记为: GB/T 1096 键 B16×10×100

单圆头普通平键(C型),  $b=16$ 、 $h=10$ 、 $L=100$  的标记为: GB/T 1096 键 C16×10×100

# 键连接和花键连接

表 10-10 普通平键和键槽的尺寸 (摘自 GB/T 1095—2003、GB/T 1096—2003) mm

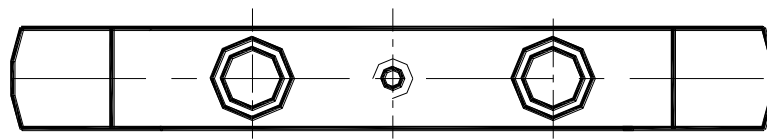
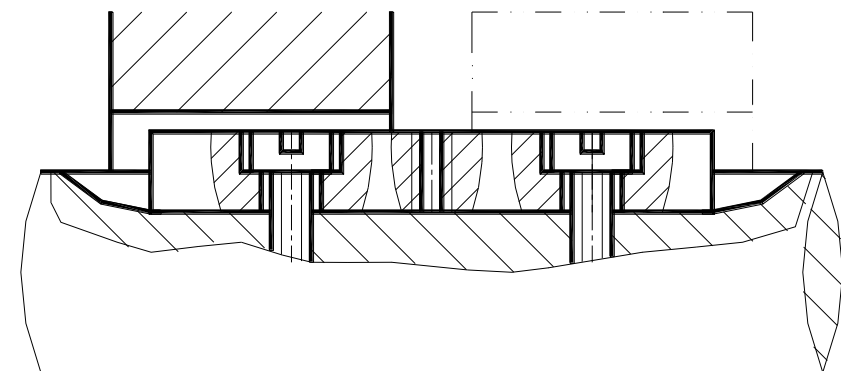
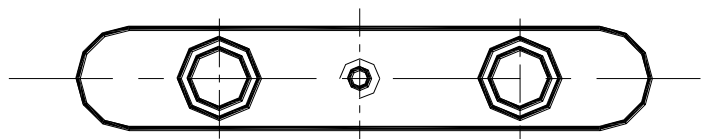
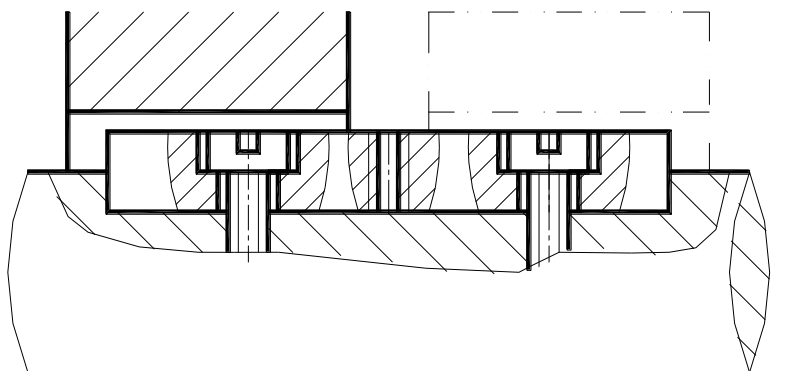


轴的直径 $d$	键的尺寸				键槽		
	$b$	$h$	$C$ 或 $r$	$L$	$t_1$	$t_2$	半径 $r$
自 6~8	2	2	0.16~0.25	6~20	1.2	1	0.08~0.16
>8~10	3	3		6~36	1.8	1.4	
>10~12	4	4		8~45	2.5	1.8	
>12~17	5	5	0.25~0.4	10~56	3.0	2.3	0.16~0.25
>17~22	6	6		14~70	3.5	2.8	
>22~30	8	7		18~90	4.0	3.3	

注： $L$  系列为 6, 8, 10, 12, 14, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, ...。

# 键连接和花键连接

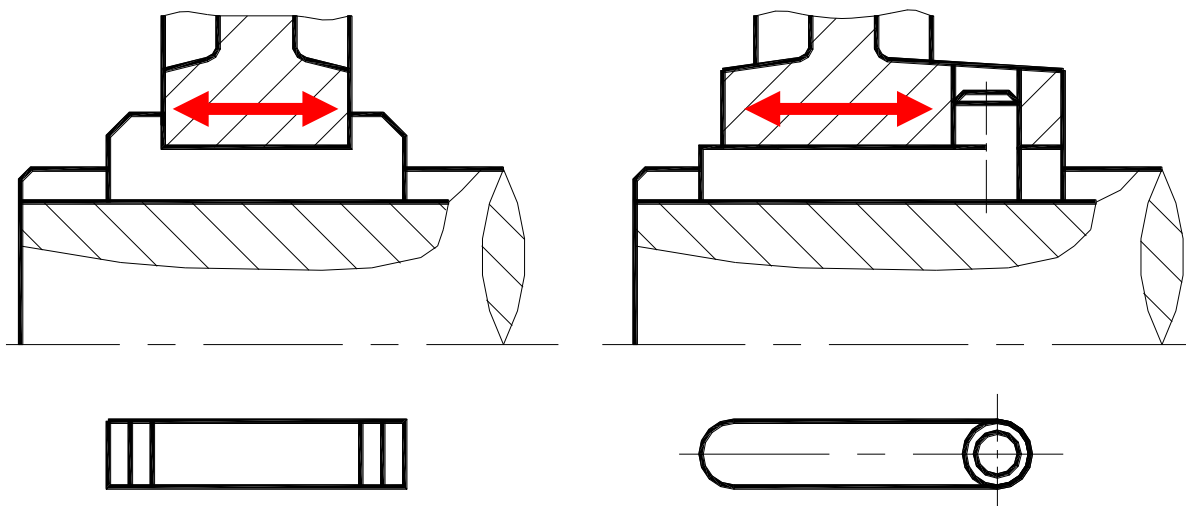
- 导向平键（动连接）
  - 导向平键有圆头（A型）和方头（B型）两种。
  - 导向平键用螺钉固定在轴槽中，导向平键与轮毂的键槽采用间隙配合，轮毂可沿导向平键轴向移动。
  - 为了装拆方便，键中间设有起键螺孔。导向平键适用于轮毂移动距离不大的场合。



# 键连接和花键连接

- 滑键（动连接）

- 用于轮毂轴向移动距离较大的场合。
- 滑键固定在轮毂上，随轮毂一起沿轴上的键槽移动，轴上应铣出较长的键槽。
- 滑键结构依固定方式而定，下图是两种典型的结构。

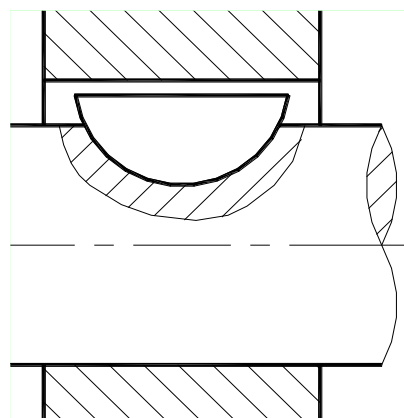


# 键连接和花键连接

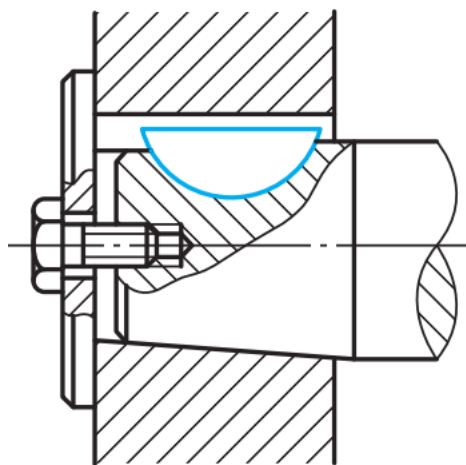
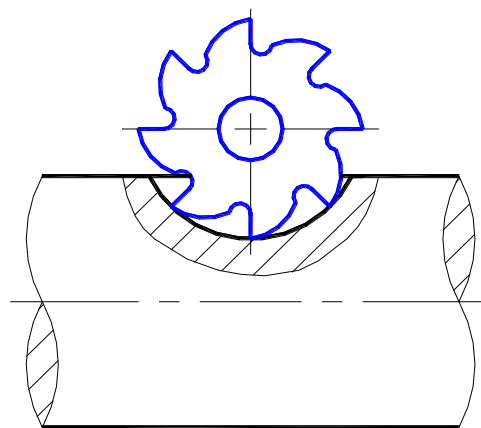
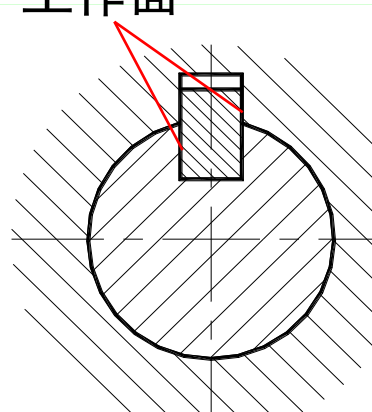
## 2. 半圆键连接

- 半圆键的两侧面为工作面，工作时靠键与键槽侧面的挤压传递转矩。
- 轴上键槽用盘铣刀铣出，键在槽中能绕键的几何中心摆动，可以自动适应轮毂上键槽的斜度。
- 制造简单，装拆方便，缺点是轴上键槽较深，对轴削弱较大。
- 适用于载荷较小的连接或锥形轴端与轮毂的联接。

静连接



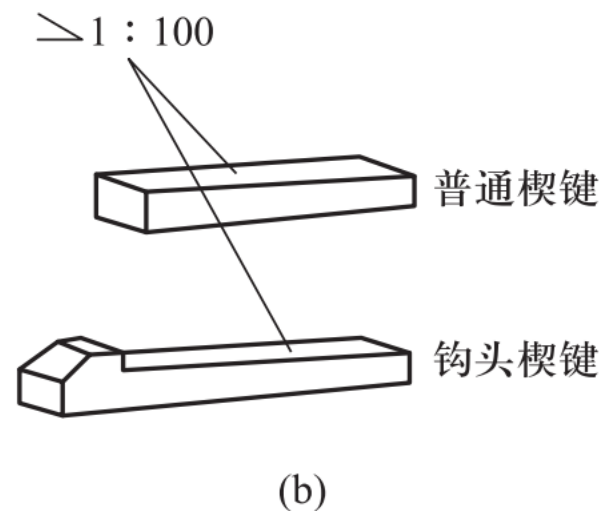
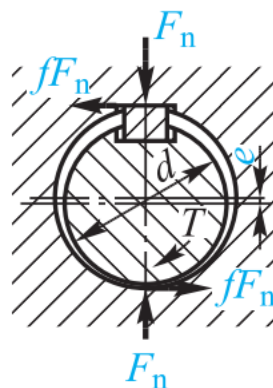
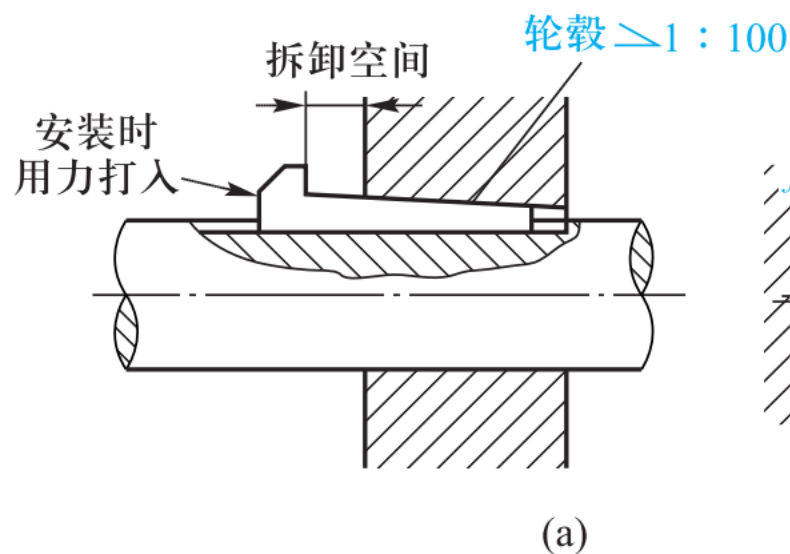
工作面



# 键连接和花键连接

## 3. 楔键连接

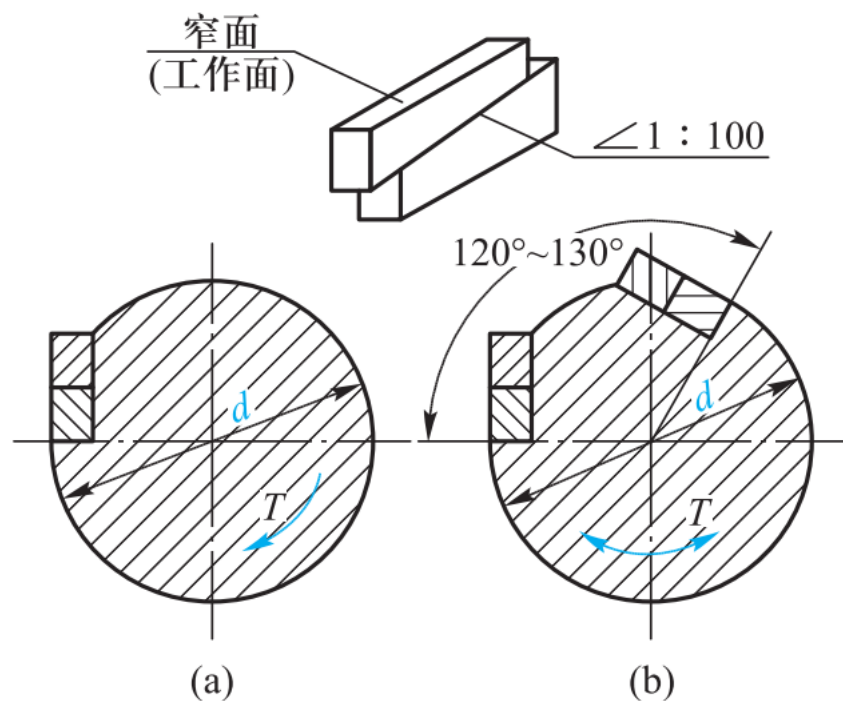
- 楔键的上、下面是工作面。键上表面有1:100的斜度，轮毂键槽底面也有1:100的斜度。
- 装配时将键打入轴和毂槽内(将使轴和轮毂产生偏心)，其工作面上产生很大的预紧力 $F_n$ 。
- 工作时，主要靠预紧力 $F_n$ 产生的摩擦力传递转矩，并能承受**单方向的轴向力**。
- 轴与轮毂的对中性差。用于低速、轻载、对中要求不严的场合。



# 键连接和花键连接

## 4. 切向键连接

- 由一对楔键组成，**装配时，将两键楔紧。**
- 键的两个窄面是工作面，其中**一个面在通过轴心线的平面内**，工作面上的压力沿轴的切线方向作用，能传递很大的转矩。



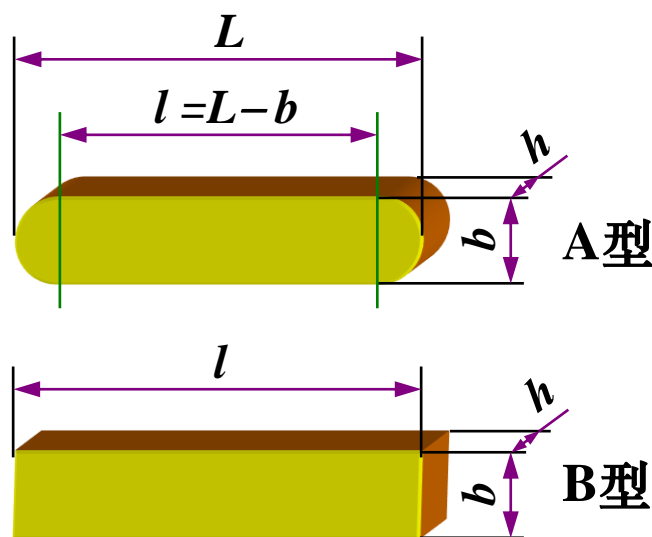
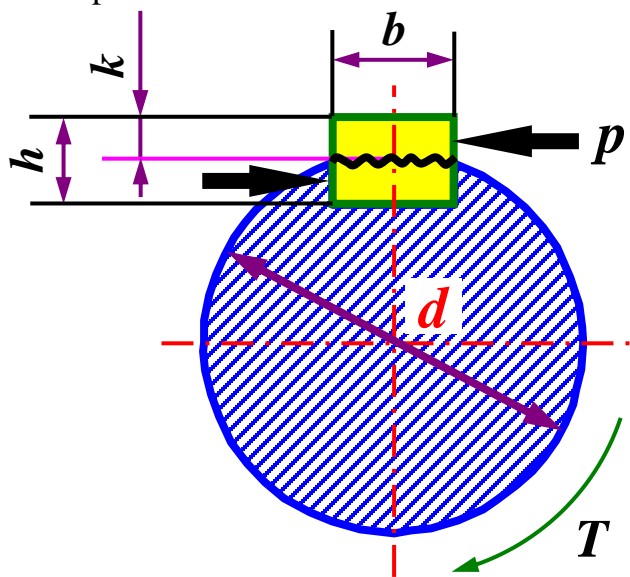
# 键连接和花键连接

## 二、平键连接的强度校核

平键连接的主要失效形式：工作面的压溃和磨损（对于动连接）。

平键连接的挤压强度条件：
$$\sigma_p = \frac{2T/d}{kl} = \frac{2T}{kdl} \leq [\sigma_p] \quad k = h/2$$

$T$ —转矩(N·mm)； $d$ —轴径(mm)； $h$ —键的高度(mm)； $l$ —键的工作长度(mm)； $[\sigma_p]$ —许用挤压应力(MPa)； $[p]$ —许用压强(MPa)。



导向平键、滑键的限制压强条件：

$$p = \frac{2T}{kdl} \leq [p]$$



# 键连接和花键连接

键连接的许用挤压应力和许用压强 (MPa)

许用值	轮毂材料	载荷性质		
		静载荷	轻微冲击	冲击
$[\sigma_p]$	钢	125~150	100~120	60~90
	铸铁	70~80	50~60	30~45
$[p]$	钢	50	40	30

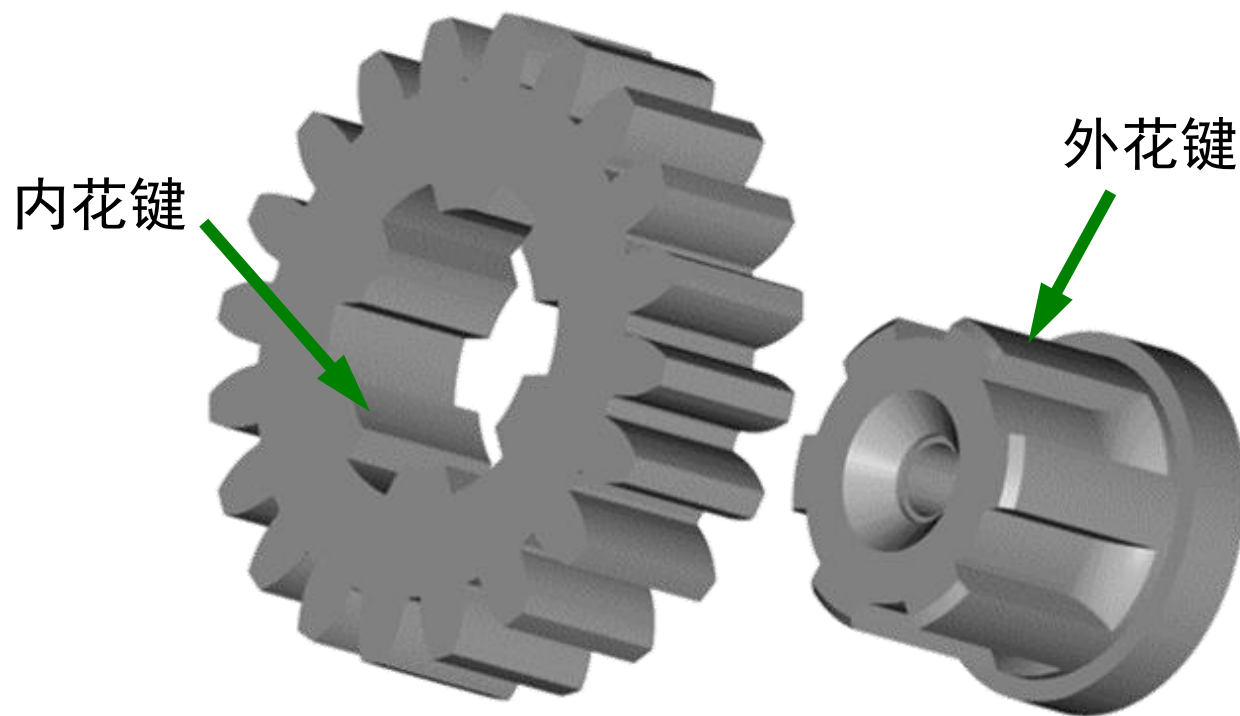
注：为键、轴、轮毂三者中最弱材料的许用值，通常轮毂材料较弱。

若强度不够，可采用两个键按180°布置。考虑到载荷分布的不均匀性，在强度校核中按1.5个键计算。

# 键连接和花键连接

## 三、花键连接

**工作原理**——轴和轮毂孔周向均布多个凸齿（键）和凹槽（键槽）所构成的连接。齿的侧面是工作面。是平键连接的发展。



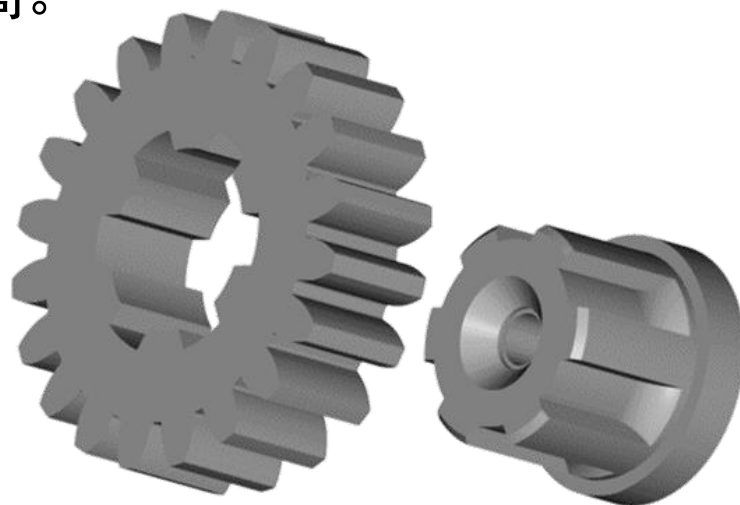
# 键连接和花键连接

## 特点——

- 既可作静连接，也可作动连接；
- 多齿（键）传递载荷，承载能力高；
- 键矮、槽浅，对轴、轮毂的强度削弱小；
- 多齿均布，对中性好；
- 加工精度高（可磨削），动联接导向性好。
- 需要专用设备加工，加工成本较高。

## 应用——

适用于定心精度要求高、载荷大或经常滑移的连接。

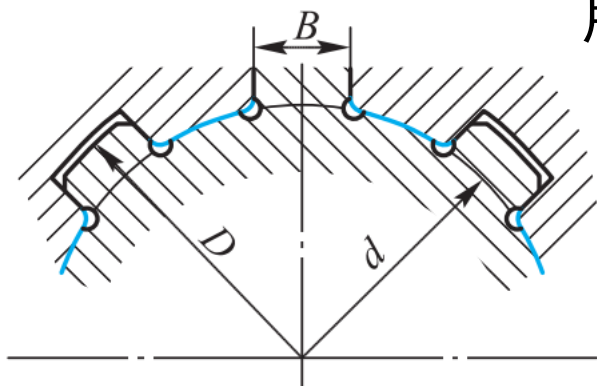


# 键连接和花键连接

**常用类型**——按齿形不同，分为**矩形花键**和**渐开线花键**两类，均已标准化。

- **矩形花键**

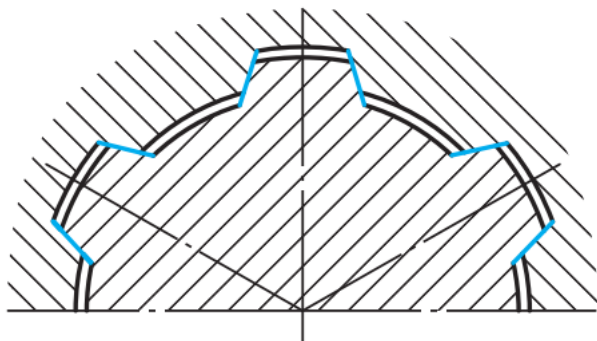
按齿高的不同，分为轻系列和中系列，分别用于不同的载荷情况。



小径 $d$ 定心（配合面）：内、外花键均可磨削精加工，定心精度高。

- **渐开线花键**

齿形为渐开线，用齿轮加工设备进行加工。



- 压力角较大，齿短、根宽，齿根强度高。
- 齿形定心：工艺性好，定心精度高。



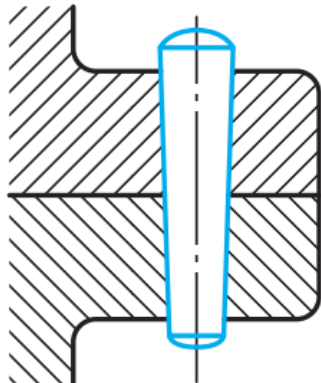
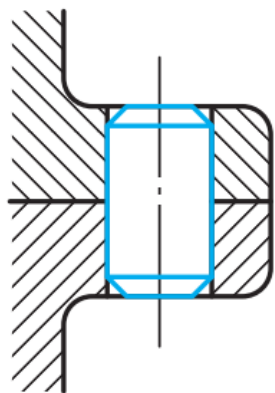
# 第十章 连接

- 10. 1 螺纹参数
- 10. 2 螺旋副的受力分析、效率和自锁
- 10. 4 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件
- 10. 5 螺纹连接的预紧和防松
- 10. 6 螺栓连接的强度计算
- 10. 10 滚动螺旋简介
- 10. 11 键连接和花键连接
- 10. 12 销连接

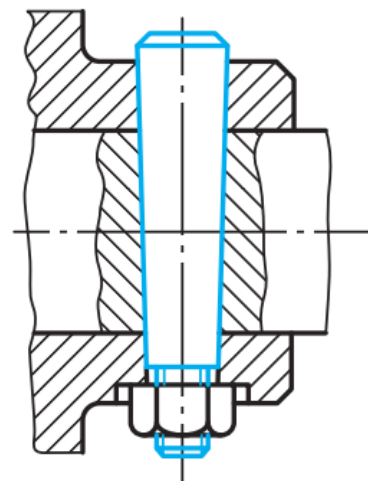
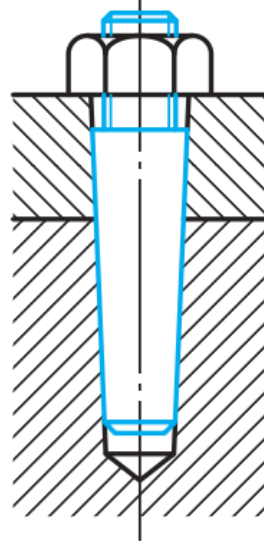
机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。

# 销连接

- 用途：固定零件之间的相互位置，并可传递不大的载荷。
- 销的基本形式：圆柱销和圆锥销。圆柱销经过多次装拆，其定位精度会降低。圆锥销有1:50的锥度，安装方便，多次装拆对定位精度的影响较小。



大端螺纹，便于拆卸，可用于盲孔

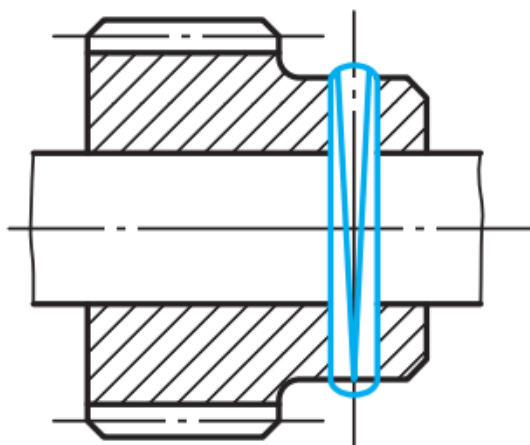


小端螺纹，可用螺母锁紧，防松

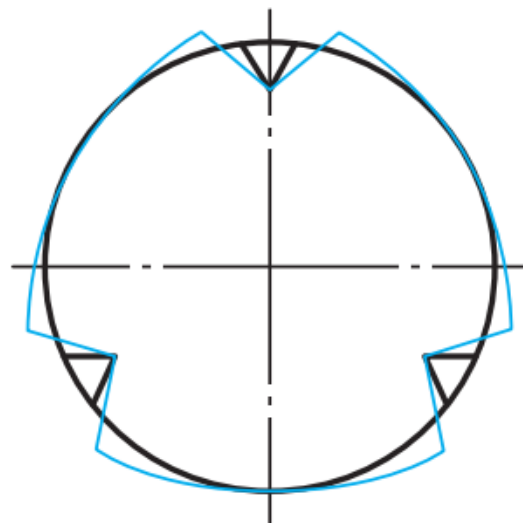
# 销连接

销上有三条压制的纵向沟槽

细线：打入销孔前的形状  
实线：打入后变形的结果



(a)



(b)

## 带槽圆柱销

不易松脱，能承受振动和变载荷



# 第十章 连接

10.1 螺纹参数

10.4 螺纹连接的基本类型及螺纹紧固件

10.5 螺纹连接的预紧和防松

10.11 键连接和花键连接

10.12 销连接

机械设计基础主要研究机械中的**常用机构**和**通用零件**的工作原理、结构特点、基本的设计理论和方法。