

第 8 篇 机 械 零 件

主 编	邱宣怀 (天津大学)
副 主 编	周武声 (天津大学)
编 写 人	郑启鸿 (天津大学)
	周武声 (天津大学)
	张桂芳 (天津大学)
	卜 炎 (天津大学)
责任编辑	陈国威
	李骏带



1 螺 纹 联 接

螺纹联接是由螺纹零件构成的可拆联接。

螺纹的牙型有三角形（包括普通螺纹和管螺纹）、梯形、锯齿形、矩形（图8-1）等。三角形主要用于联接，其他用于传动。粗牙普通螺纹（表8-1）最为常用，细牙普通螺纹则常用于薄壁零件、有振动或受变载荷作用的联接。管螺纹用于管类零件的联接。

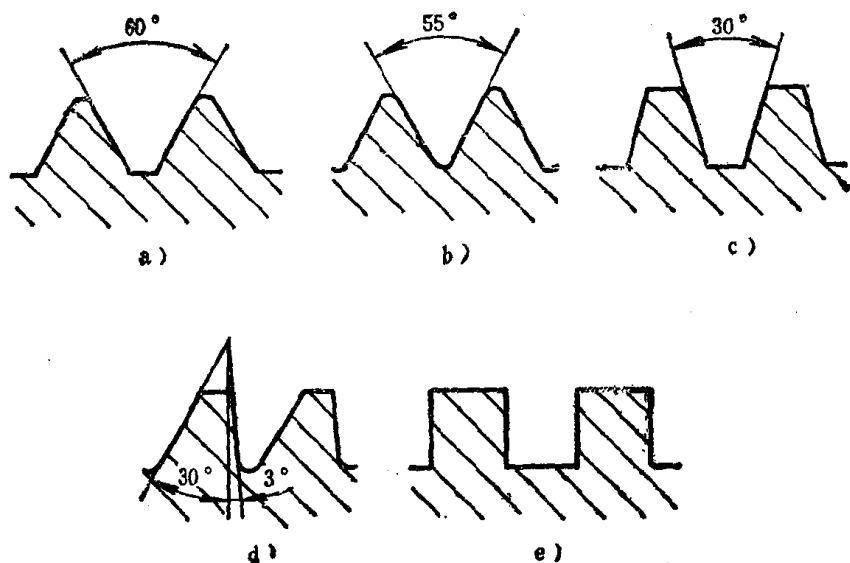
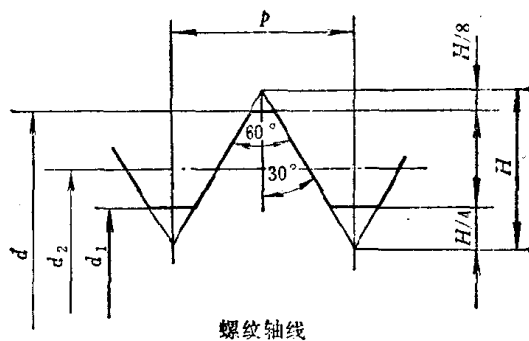


图8-1 螺纹牙型

- a) 三角形普通螺纹 b) 三角形管螺纹 c) 梯形螺纹
d) 锯齿形螺纹 e) 矩形螺纹

表8-1 粗牙普通螺纹的基本尺寸

mm



$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} p \quad d_2 = d - 2 \times \frac{3}{8} H \quad d_1 = d - 2 \times \frac{5}{8} H$$

公称直径 d	螺距 p	中径 d_2	小径 d_1	公称直径 d	螺距 p	中径 d_2	小径 d_1
2	0.4	1.740	1.567	20	2.5	18.376	17.294
2.2*	0.45	1.908	1.713	24	3	22.051	20.752
3	0.5	2.675	2.459	27*	3	25.051	23.752
4	0.7	3.515	3.242	30	3.5	27.727	26.211
5	0.8	4.480	4.134	33*	3.5	30.727	29.211
6	1	5.350	4.917	36	4	33.402	31.670
8	1.25	7.183	6.647	39*	4	36.402	34.670
10	1.5	9.026	8.376	42	4.5	39.077	37.129
12	1.75	10.863	10.106	45*	4.5	42.077	40.129
14*	2	12.701	11.835	48	5	44.752	42.537
16	2	14.701	13.835	52*	5	48.752	46.537
18*	2.5	16.376	15.294	56	5.5	52.423	50.046

注：1. 本表摘自 GB196—81。

2. 公称直径 d 分第一、二系列，带 * 者为第二系列，应优先选用第一系列。

1.1 螺纹副中力的关系

1.1.1 螺纹副力矩

$$T_1 = F_0 \tan(\psi \pm \rho') \frac{d_2}{2}$$

式中 F_0 ——螺纹副的轴向载荷

d_2 ——螺纹中径

ψ ——螺纹升角, $\psi = \arctan \frac{nP}{\pi d_2}$, 其中 P 为螺距, n 为螺纹线数

ρ' ——当量摩擦角, $\rho' = \arctan \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}}$, 其中 α 为螺纹牙形角, μ 为摩擦系数, 对材料为钢或铁时, 取 $\mu = 0.1 \sim 0.15$

“+”、“-”号分别适用于螺母拧紧（或升举重物）和松开（或重物下降）的情况

1.1.2 螺纹副的自锁

螺纹副中一个螺纹零件在轴向载荷作用下, 相对于另一个螺纹零件不发生转动的现象, 称为自锁。自锁条件是

$$\psi \leq \rho'$$

在静载荷下, 采用单线普通螺纹或管螺纹联接, 都能满足自锁条件。

1.1.3 螺纹副的效率

螺纹副的效率按下式计算

$$\eta = \frac{\tan \psi}{\tan(\psi \pm \rho')}$$

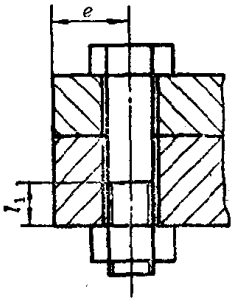
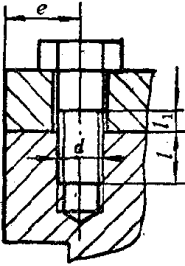
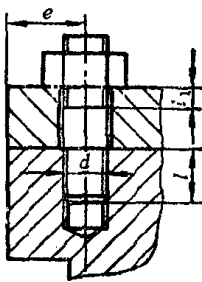
传动用螺纹要求具有较高的效率, 常采用矩形、梯形或锯齿形（用于单向传力）螺纹, 其中以矩形螺纹的效率最高, 锯齿形螺纹次之, 第三是梯形螺纹。自锁时, 效率低于 50%。

1.2 受拉螺栓联接

螺栓主要受轴向拉力作用的联接称为受拉螺栓联接。

1.2.1 联接类型

表8-2 受拉

螺 栓 联 接	螺 钉 联 接	双头螺柱联接
		
构造简单, 装拆方便, 用于通孔; 被联接零件不需切削螺纹, 使用时不受被联接件材料的限制	用于被联接件之一较厚, 且联接不需拆装处	用于被联接件之一较厚, 且联接需经常拆装处

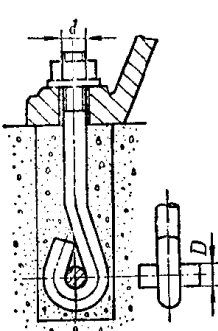
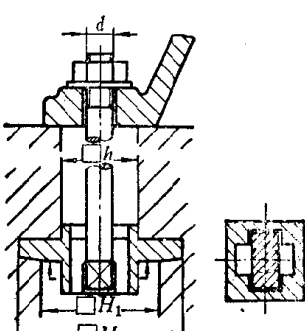
- 注: 1. 螺纹余留长度 l_1 值: 静载荷 $l_1 \geq (0.3 \sim 0.5)d$; 变载荷 $l_1 \geq 0.75d$;
 2. 螺纹旋入深度 l 值随螺纹孔零件材料不同而异: $l \approx d$ (钢或青铜);
 3. 螺栓轴线到被联接件边缘的距离 $e = d + (3 \sim 6)\text{mm}$.
 4. 短型地脚螺栓尺寸 D 见 GB799—76.
 5. 长型地脚螺栓地坑尺寸: $h = 2d + 20\text{mm}$, $H_1 = 3d + 40\text{mm}$, $H =$

1.2.2 螺栓预紧力和工作拉力

在工程中, 多数情况下螺栓是成组使用的。加于螺栓组上的工作载荷形式很多, 但螺栓所受工作载荷的基本形式, 则有工作载荷方向与螺栓轴线相垂直的横向类载荷和工作载荷方向沿着螺栓轴线的轴向类载荷两类。表 8-3 为螺栓联接的加载形式和螺栓的受力情况。

a. 受横向载荷的紧螺栓联接(图例见表 8-3) 联接靠螺栓预紧后由接合面间的压力所产生的摩擦力来传递横向工作载荷。所需的螺

螺栓联接类型

地脚螺栓联接	
短型	长型
	
用于载荷稳定, 机器的倾复力矩不大的联接	用于载荷有冲击、振动, 机器的倾复力矩大的联接

冲击、弯曲载荷 $l_1 \geq d$ 。

$l \approx (1.25 \sim 1.5) d$ (铸铁); $l \approx (1.5 \sim 2.5) d$ (铝合金)。

$(6 \sim 7) d$ 。

栓预紧力 F' 为

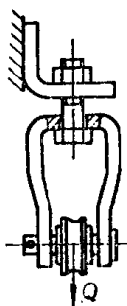
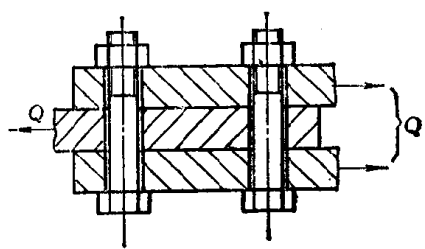
$$F' = \frac{k_f R}{\mu i}$$

式中 k_f ——摩擦传力的可靠性系数, $k_f = 1.1 \sim 1.5$

R ——每个螺栓所承受的横向工作载荷 (表8-3)

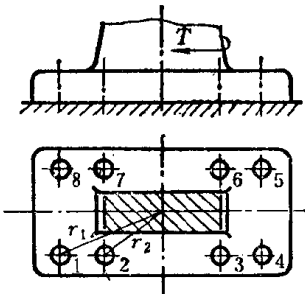
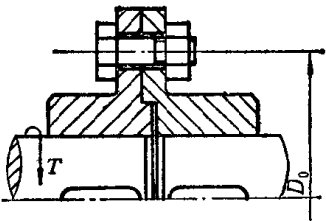
μ ——接合面间摩擦系数, 对于钢或铸铁的干燥加工表面 $\mu = 0.1 \sim 0.15$; 若接合面有油时, $\mu = 0.06 \sim 0.10$; 钢构

表8-3 螺栓联接的加

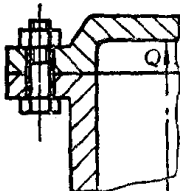
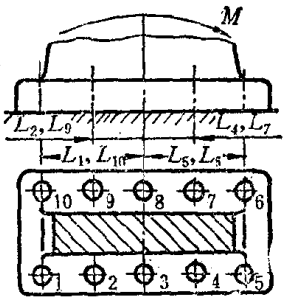
联接形式		松 联 接	紧
加载形式		轴 向 类	横
图例			
每个螺栓的工作载荷		Q	$R = \frac{Q}{Z}$
每个螺栓的受力情况	加载前	联接不预紧, 无预紧力	联接需预紧, 预紧力为 F'
	加载后	工作拉力 $F_0 = Q$	工作拉力 $F_0 = F'$

注: Z —螺栓个数。

载形式和螺栓受力情况

联 向	接 类
	
$R = \frac{T}{n \sum_{i=1}^n r_i}$ (图例中 $n = 8$)	$R = \frac{2T}{Z D_0}$

(续)

联接形式	紧 联 接	
加载形式	轴 向 类	
图例		
每个螺栓的工作载荷	$F = \frac{Q}{Z}$	$F = F_1 = F_{10} = \frac{M L_1}{n \sum_{i=1}^{10} L_i^2}$ (图例中 $n = 10$)
每个螺栓的受力情况	加载前	联接需预紧, 预紧力为 F'
	加载后	工作拉力 $F_0 = F' + k_c F \quad \text{或} \quad F_0 = F'' + F$ F''—剩余预紧力 k_c—系数

件的未加工表面 $\mu = 0.3$

i ——摩擦接合面数

螺栓的工作拉力为

$$F_0 = F'$$

b. 受轴向载荷的紧螺栓联接 (图例见表8-3) 螺栓和被联接零件在加载前后的受力与变形关系见图 8-2。

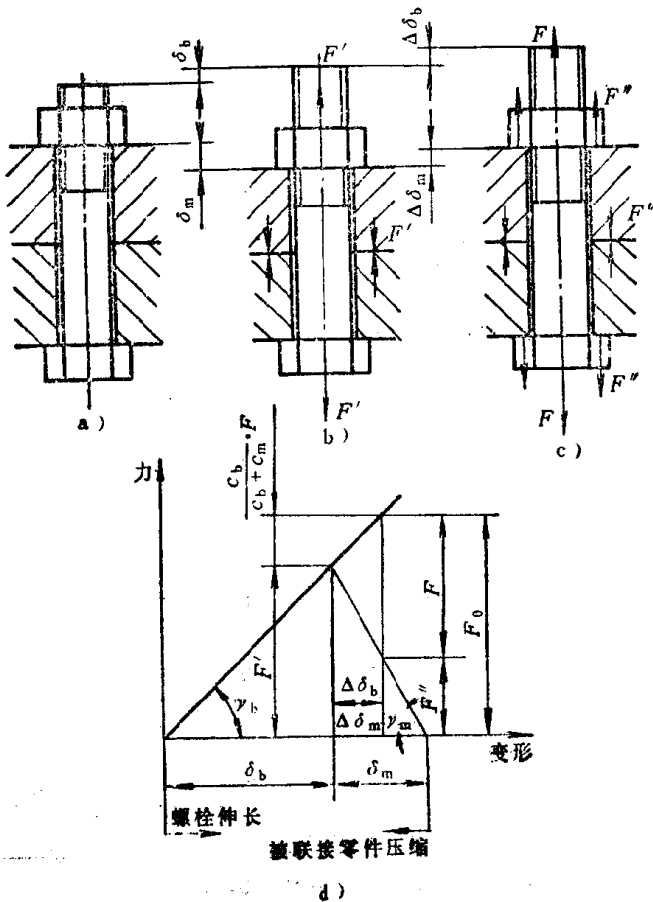


图8-2 螺栓与被联接件的受力与变形关系

a) 将要拧紧 b) 拧紧后 c) 受工作载荷时

d) 受力与变形的关系

根据力的平衡与变形协调条件, 加载后螺栓工作拉力为

$$F_0 = F'' + F$$

或

$$F_0 = F' + \frac{c_b}{c_b + c_m} F = F' + k_c F$$

式中 F'' ——加载后被联接零件接合面间的剩余预紧力, 由表 8-4 选取

$$c_b \text{——螺栓的刚度, } c_b = \tan \gamma_b = \frac{F'}{\delta_b}$$

$$c_m \text{——被联接件的刚度, } c_m = \tan \gamma_m = \frac{F'}{\delta_m}$$

$$k_c \text{——系数, } k_c = \frac{c_b}{c_b + c_m}, \text{ 或表 8-5 选取}$$

F ——螺栓的工作载荷 (表 8-3)

F' ——预紧力, $F' = F'' + (1 - k_c) F$

表 8-4 剩余预紧力 F'' 的推荐值

联 接 情 况		F''
紧固	工作载荷 F 无变化	$(0.2 \sim 0.6) F$
	工作载荷 F 有变化	$(0.6 \sim 1.0) F$
紧 密①		$(1.5 \sim 1.8) F$

① 对压力容器的紧密联接, F'' 值应保证密封面的剩余压强 p'' 为容器工作压力 p 的 2~2.5 倍。

表 8-5 系数 k_c 值

联 接 型 式	k_c
连杆螺栓	0.2
钢板联接 + 金属垫 (或无垫)	0.2~0.3
钢板联接 + 皮革垫	0.7
钢板联接 + 铜皮石棉垫	0.8
钢板联接 + 橡胶垫	0.9

1.2.3 螺栓的承载能力

受拉螺栓所能承受的载荷, 根据强度条件由下列公式计算确定:

a. 松螺栓联接 $F_0 = \beta d^2 [\sigma]$

b. 受横向类载荷和受轴向类静载荷的紧螺栓联接

$$F_0 = \frac{\beta d^2 [\sigma]_a}{1.3}$$

c. 受轴向类变载荷的紧螺栓联接 承载能力取下两式中之小值:

按最大工作应力计算 $F_0 = \beta d^2 [\sigma]$

按循环变应力的应力幅计算 $F_0 = \frac{2\beta d^2 [\sigma]_a}{k_\sigma} + F''$

式中 d ——螺纹公称直径 (螺栓大径)

β ——系数, $\beta = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1}{d} \right)^2$ (表8-6)

$[\sigma]$ ——螺栓的许用拉应力 (表8-7)

$[\sigma]_a$ ——螺栓的许用应力幅 (表8-7)

表8-6 β 值

d mm	12~18	20~30	33~48
β	0.56	0.59	0.61

表8-7 受拉螺栓许用应力

联接形式	静 载 荷	变 载 荷	
松联接	$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{1.2 \sim 1.7}$		
紧联接	$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{s}$ s —安全系数, 不控制预紧力时 见图8-3; 控制预紧力时 $s = 1.2 \sim 1.5$	$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{s}$ s —安全系数, 不控制预紧力时 见图8-3; 控制预紧力时 $s = 1.2 \sim 1.5$	$[\sigma]_a = \frac{\sigma_{-1}}{s_a k_\sigma}$ e —尺寸系数, 见表8-8 σ_{-1} —材料在拉压对称循环下的疲劳极限, 见表8-9 s_a —安全系数, 不控制预紧力时 $s_a = 2.5 \sim 5$, 控制预紧力时 $s_a = 1.5 \sim 2.5$ k_σ —螺纹应力集中系数, 见表8-10

注: σ_s —螺栓材料屈服极限, 见表8-11。

螺栓的工作拉力 F_0 与工作载荷的关系，随不同的联接形式 和不同的受载情况而异，见 1·2·2 节。

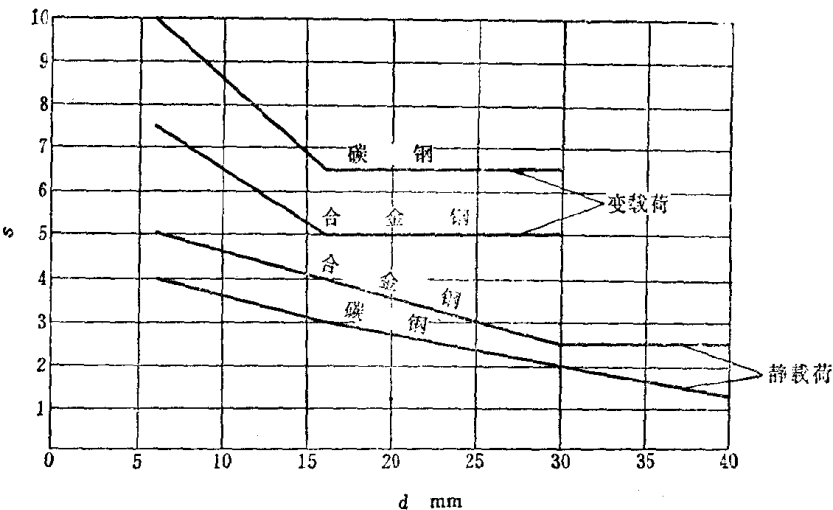


图8-3 不控制预紧力时紧联接受拉螺栓的安全系数 s

表8-8 尺寸系数 ϵ

d mm	<12	16	20	24	30	36	42	48
ϵ	1	0.87	0.80	0.74	0.65	0.64	0.60	0.57

表8-9 螺纹紧固件材料的机械性能 N/mm^2

钢 号	10	A3	35	45	40Cr
抗拉强度 σ_b	340~420	410~470	540	610	750~1060
拉压疲劳极限 σ_{-1}	120~150	120~160	170~220	190~250	240~340

表8-10 螺纹应力集中系数

σ_b N/mm^2	400	600	800	1000
k_σ	3	3.9	4.8	5.2

表8-11 螺栓、螺母的性能级别和推荐材料

螺栓、 双头螺 柱、螺 钉	性能级别	4.6	4.9	5.6	5.9	6.6	6.9	8.8	10.9	12.9
	抗拉强度 σ_{bmin} MPa	400	400	500	500	600	600	800	1000	1200
	屈服极限 σ_{smin} MPa	240	360	300	450	360	540	640	900	1080
	推荐材料	15 A3	10 A2	25 35	15 A3	45	35	35 45	40Cr 15MnVB	30CrMoSi 15MnVB
相配合 螺母	性能级别	4 或5	4 或5	5	5	6	6	8 或9	10	12
	推荐材料	10 A2	10 A2	10 A2	10 A2	15 A3	15 A3	35	40Cr 15MnVB	30CrMoSi 15MnVB

注：性能级别由数字表示，整数部分为 $\frac{\sigma_{bmin}}{100}$ ，小数部分为屈强比（ $\sigma_{smin}/\sigma_{bmin}$ ）。

1.2.4 螺栓联接的拧紧力矩

紧联接螺栓的预紧力，一般是通过测力矩或定力矩扳手控制拧紧

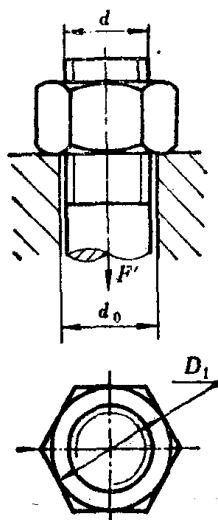


图8-4 计算拧紧力矩用的符号

力矩来实现的。

拧紧螺母时, 拧紧力矩 T_i 克服螺纹副力矩和螺母与支承表面间的摩擦力矩, 使被联接零件产生预紧力 F' , 其关系为

$$T_i = k_i F' d$$

$$k_i = \frac{1}{2} \left[\frac{d_2}{d} \tan(\psi + \rho') + \frac{2\mu_a}{3d} \left(\frac{D_1^3 - d_0^3}{D_1^2 - d_0^2} \right) \right]$$

式中 μ_a ——螺母与支承表面间摩擦系数

k_i ——拧紧力矩系数, 对于 M10~M68 的联接螺栓, 取 $k_i = 0.2$

d_0 、 D_1 的意义见图 8-4

1.3 受剪螺栓联接

受剪螺栓联接 (图 8-5) 用来传递横向类载荷。联接的承载能力, 由螺栓的剪切强度和螺杆与孔壁零件间的挤压强度中较低者确定 (表 8-12)。

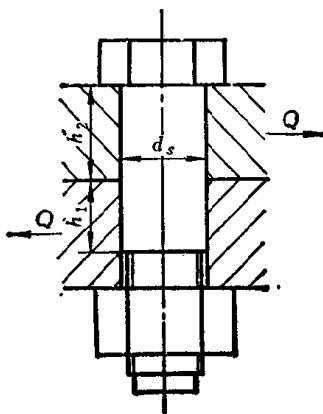


图 8-5 受剪螺栓联接