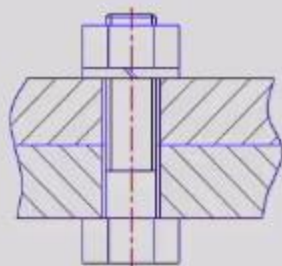
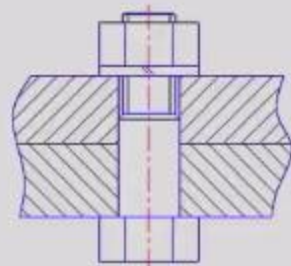


螺纹联接

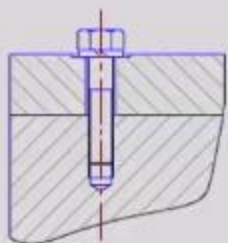
一、螺纹联接的基本类型



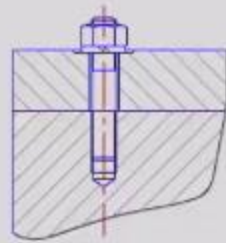
普通螺栓联接



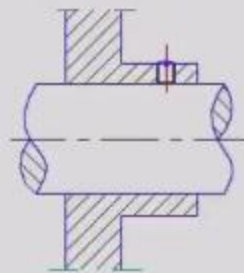
铰制孔用螺栓联接



螺钉联接



双头螺柱联接



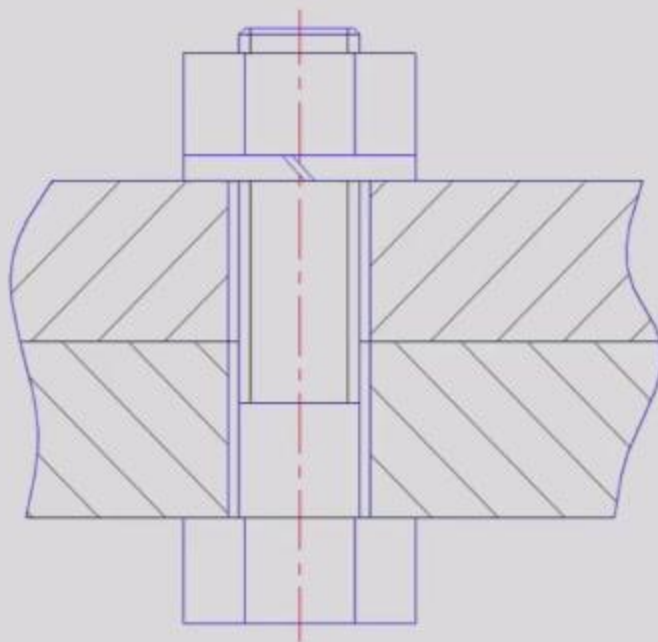
紧定螺钉联接

除上述联接的基本类型外，在机器中，还有一些特殊结构的螺纹联接。
如：T型槽螺栓联接、吊环螺钉联接和地脚螺栓联接等。

螺纹联接

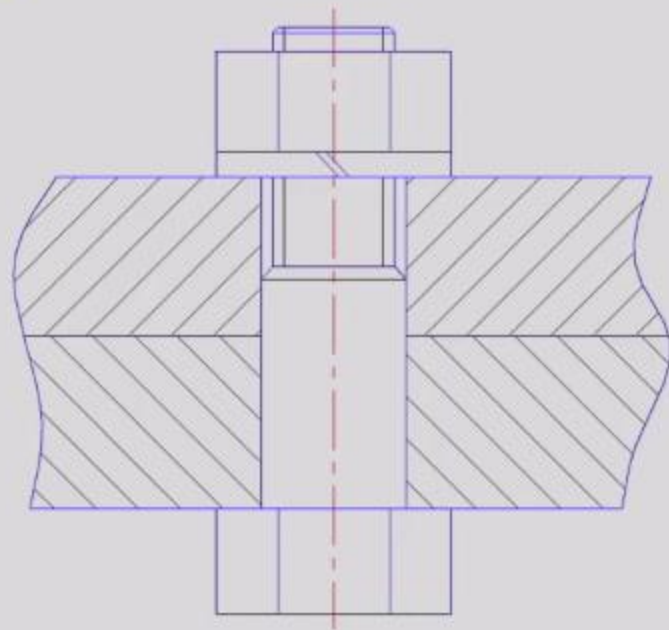
普通螺栓联接

被联接件的通孔与螺栓杆之间留有间隙。通孔的加工精度要求较低，结构简单，装拆方便，应用十分广泛。螺栓孔的直径大约是螺栓直径的1.1倍。



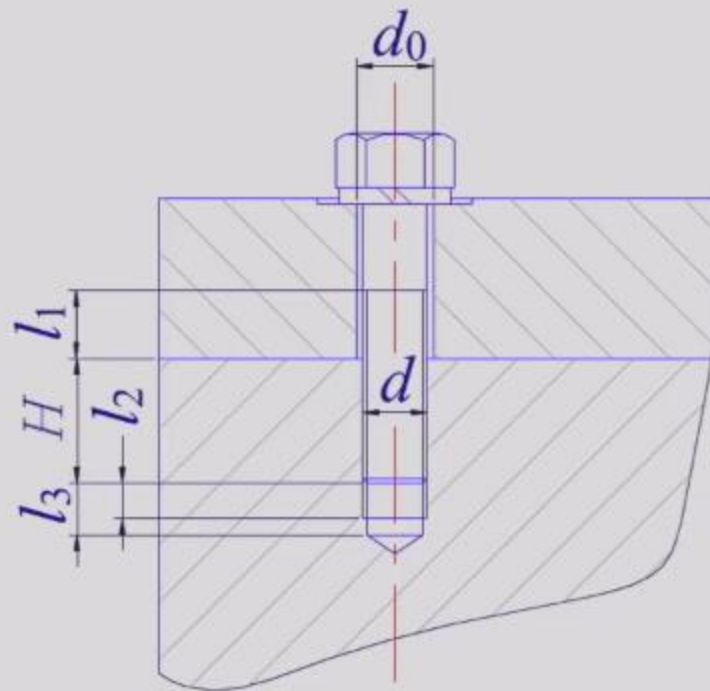
铰制孔用螺栓联接

铰制孔用螺栓联接的被联接件通孔与螺栓杆之间采用基孔制过渡配合，联接能精确固定被联接件的相对位置，并能承受横向载荷，但对孔的加工精度要求较高。



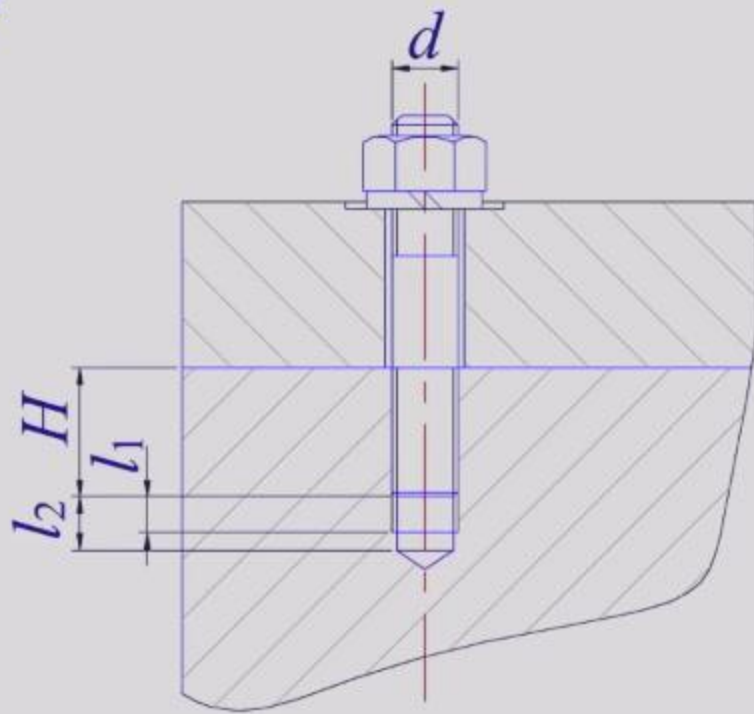
螺钉联接

螺钉联接的特点是螺钉直接拧入被联接件的螺纹孔中，结构简单紧凑。但当要经常拆卸时，易使螺纹孔磨损，故多用于受力不大，不需经常拆卸的场合。



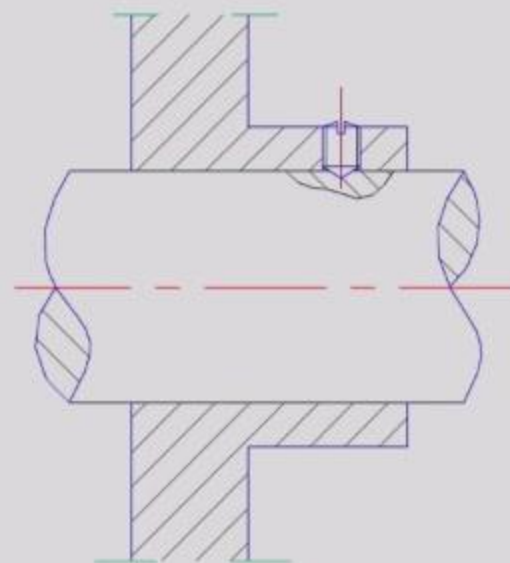
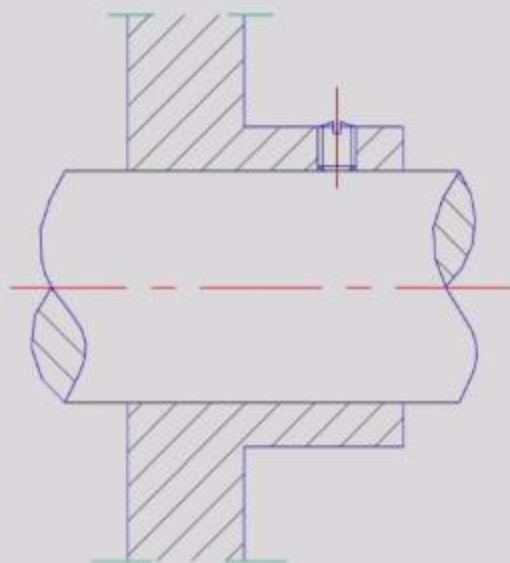
双头螺柱联接

双头螺柱联接适用于结构上不能采用螺栓联接的场合，且需要经常拆卸的场合。



紧定螺钉联接

紧定螺钉联接是利用拧入的螺钉末端顶住另一零件的表面或顶入相应的凹坑中，以固定两个零件的相对位置，并可同时传递不太大的力或力矩。



二、标准螺纹联接件

螺纹联接的类型很多，在机械制造中常见的螺纹联接件的结构型式和尺寸都已经标准化，设计时可以根据有关标准选用。



六角头螺栓



双头螺柱



螺钉



紧定螺钉



自攻螺钉



六角螺母

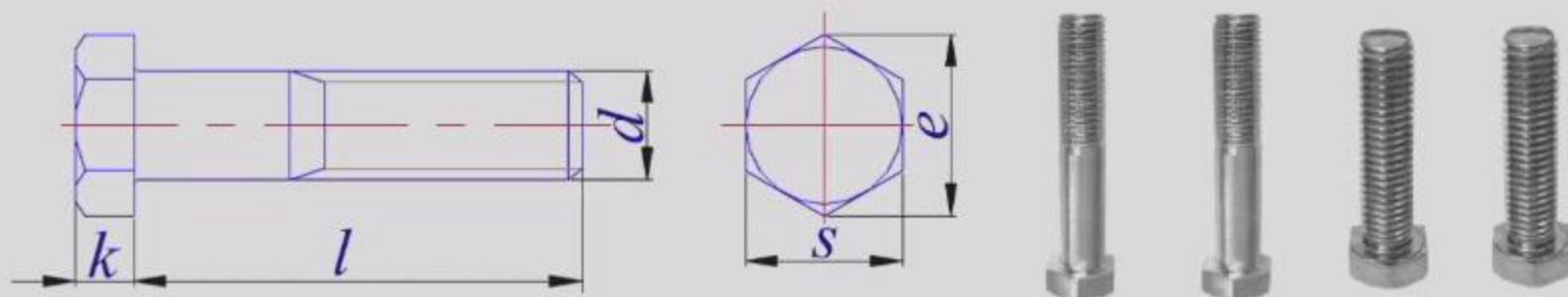


圆螺母



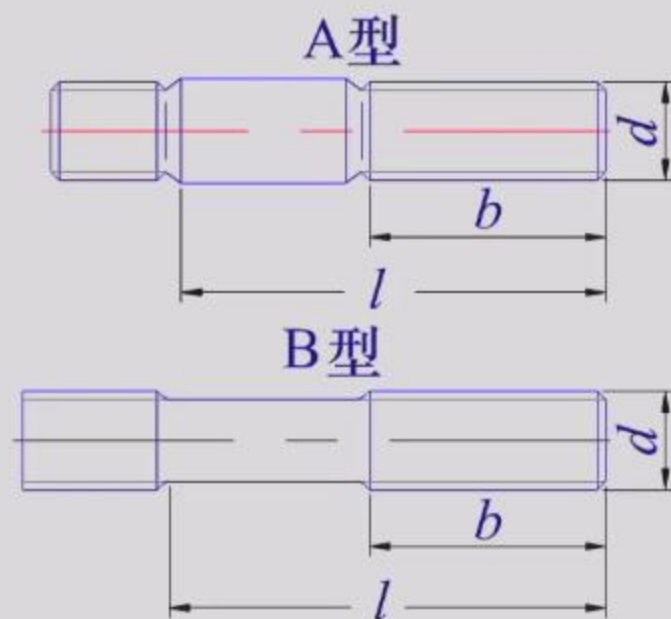
垫圈

六角头螺栓



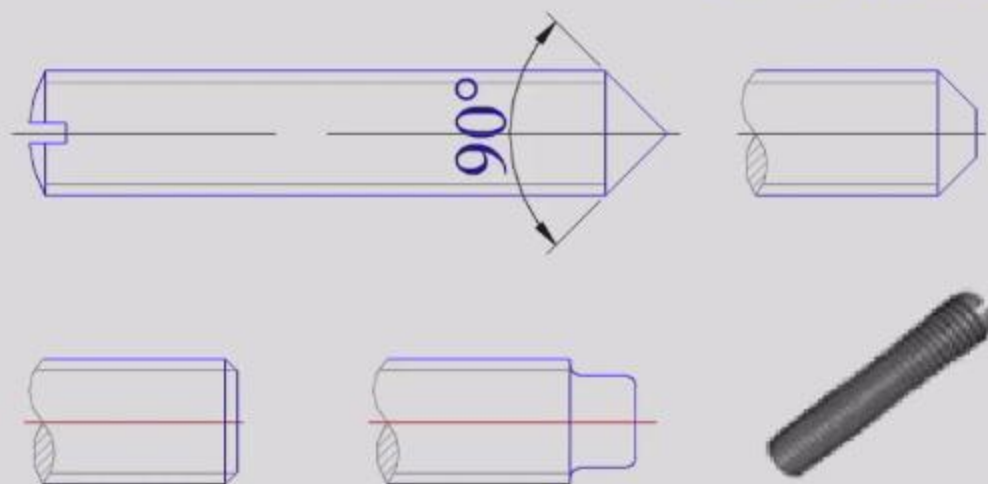
普通六角头螺栓的种类很多，应用最广。精度分为 A、B、C 三级，通用机械中多用 C 级。螺杆部可制出一段螺纹或全螺纹，螺纹有粗牙和细牙之分。

双头螺柱



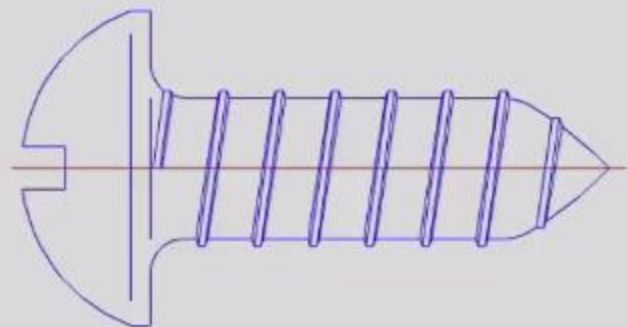
螺柱两端都制有螺纹，两端螺纹可相同或不同，螺柱可带退刀槽或制成腰杆，也可制成全螺纹的螺柱。

紧定螺钉



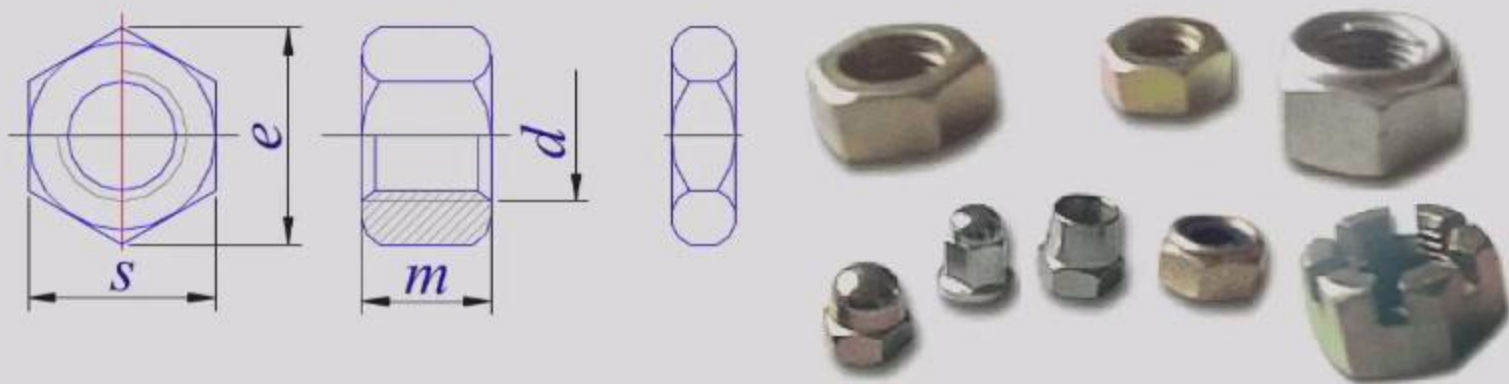
紧定螺钉的末端形状有锥端、平端和圆柱端等。
锥端适用于被紧定零件的表面硬度较低；平端接触面积大，常用于顶紧硬度较大的平面场合；圆柱端压入轴上的凹坑中，适用于紧定空心轴上的零件位置。

自攻螺钉



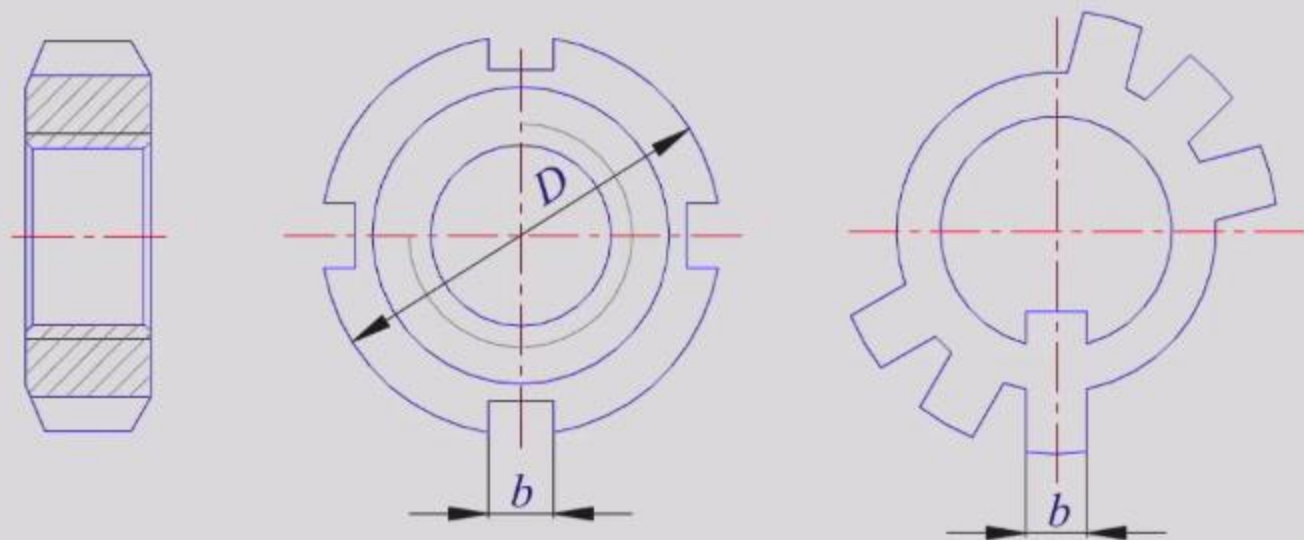
螺钉的头部形状有平头、盘头、半沉头、沉头等。头部起子槽有一字槽、十字槽等形状。末端形状有锥端和平端两种。多用于联接金属薄板、轻合金或塑料零件。螺钉材料一般用渗碳钢，热处理后表面硬度不低于45HRC。

六角螺母



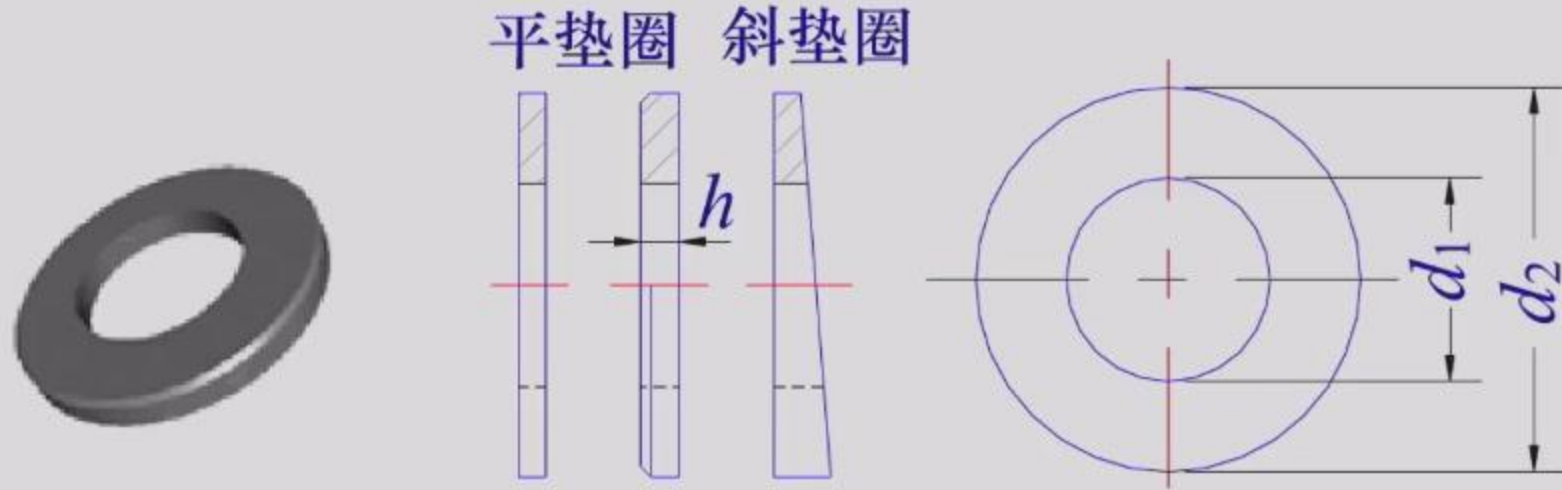
根据螺母厚度的不同，螺母分为标准螺母和薄型螺母两种。薄型螺母常用于受剪力的螺栓上或空间尺寸受限制的场所。螺母的制造精度与螺栓相同，分为A、B、C三级，分别与相同级别的螺栓配用。

圆螺母



圆螺母常与止动垫圈配用，装配时将垫圈内舌插入轴上的槽内，而将垫圈的外舌嵌入圆螺母的槽内，螺母即被锁紧。常作为滚动轴承的轴向固定用。

垫圈



垫圈常放置在螺母和被联接件之间，起保护支承表面等作用。平垫圈按加工精度不同，分为A级和C级两种。用于同一螺纹直径的垫圈又分为特大、大、普通和小四种规格。斜垫圈只用于倾斜的支承面上。

螺纹联接的预紧

➤ 预紧的目的:

增强联接的可靠性、紧密性和联接刚度，防止受载后被联接件间出现缝隙或发生相对移动。

➤ 预紧力的确定原则:

拧紧后螺纹联接件的预紧应力不得超过其材料的屈服极限 σ_s 的80%。

➤ 预紧力的控制:

利用控制拧紧力矩的方法来控制预紧力的大小。通常采用:

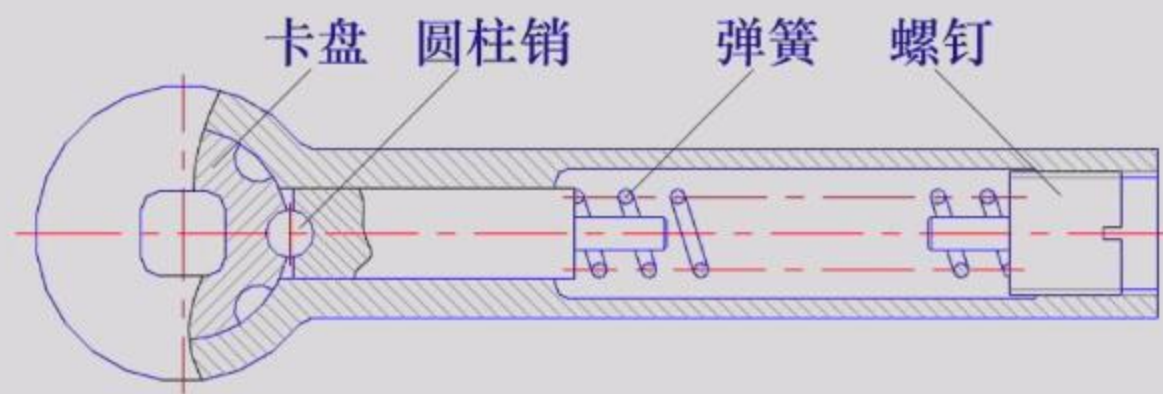
测力矩扳手

定力矩扳手

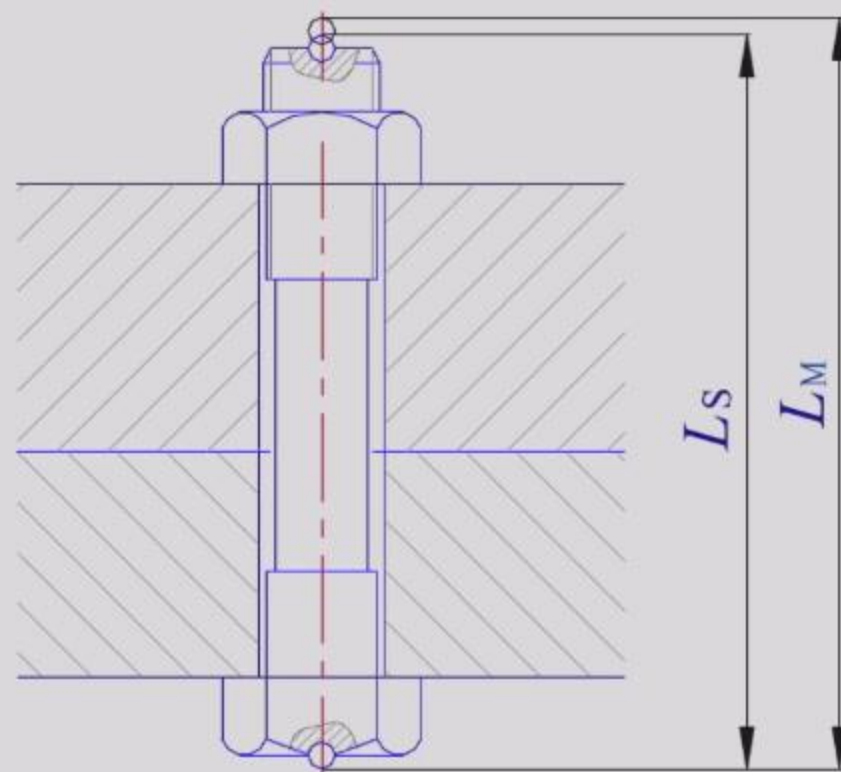
重要的螺栓联接，也可采用测量螺栓伸长量的方法来控制预紧力。



测力矩扳手



定力矩扳手



测定螺栓伸长

螺纹联接的预紧

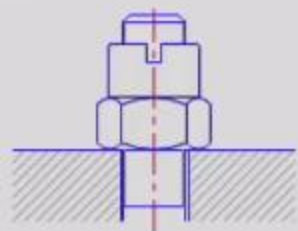
预紧力和预紧力矩之间的关系： $T \approx 0.2Q_0d$

T:预紧力矩， Q_0 :预紧力

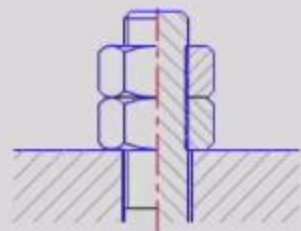
注意：对于重要的联接，应尽可能不采用直径过小(<M12)的螺栓。

螺纹联接的防松

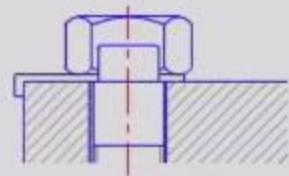
螺纹联接一般都能满足自锁条件不会自动松脱。但在冲击、振动或变载荷作用下，或在高温或温度变化较大的情况下，螺纹联接中的预紧力和摩擦力会逐渐减小或可能瞬时消失，导致联接失效。



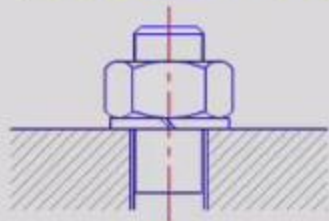
自锁螺母防松



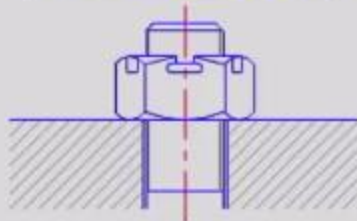
对顶螺母防松



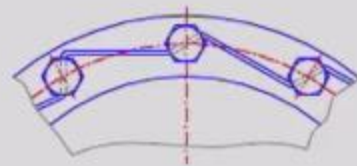
止动垫圈防松



弹簧垫圈防松



开口销与六角螺母防松



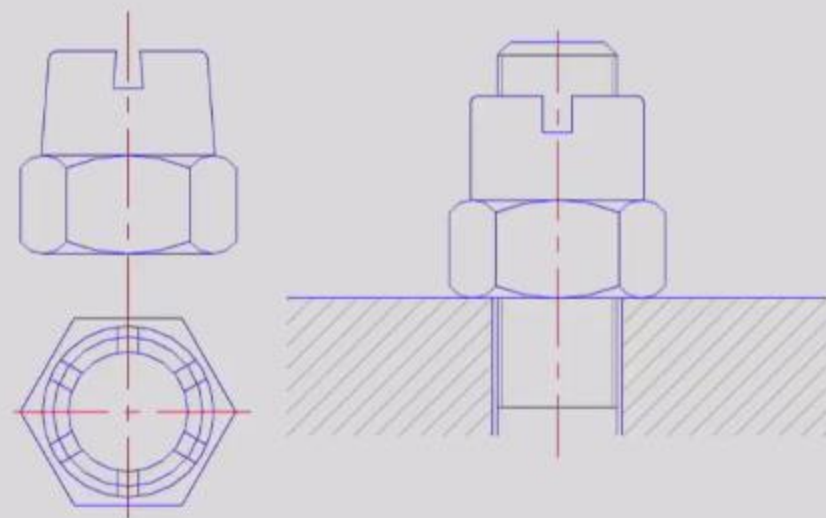
串联钢丝防松

防松的根本问题在于防止螺旋副相对转动。按工作原理的不同，防松方法分为摩擦防松、机械防松等。此外还有一些特殊的防松方法，例如铆冲防松、在旋合螺纹间涂胶防松等。

自锁螺母防松

原理：螺母一端制成非圆形收口或开缝后径向收口。当螺母拧紧后，收口涨开，利用收口的回弹力使旋合螺纹间压紧。

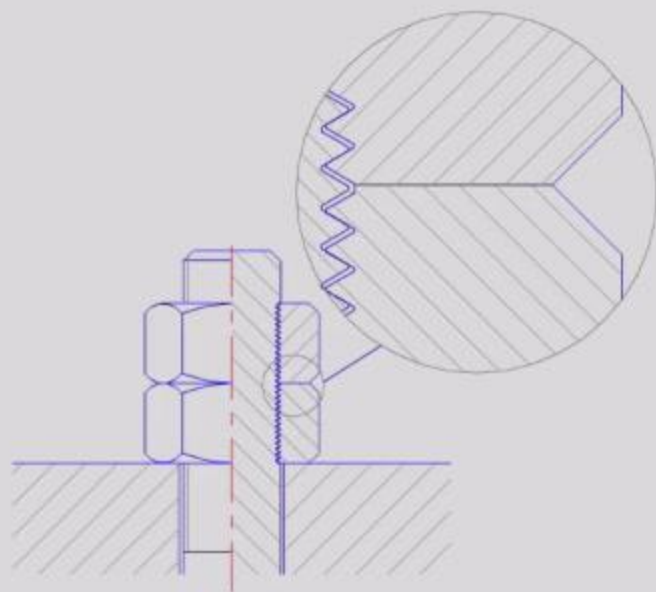
特点：结构简单，防松可靠，可多次装卸而不降低防松性能。



对顶螺母防松

原理：两螺母对顶拧紧后，使旋合螺纹间始终受到附加的压力和摩擦力的作用。

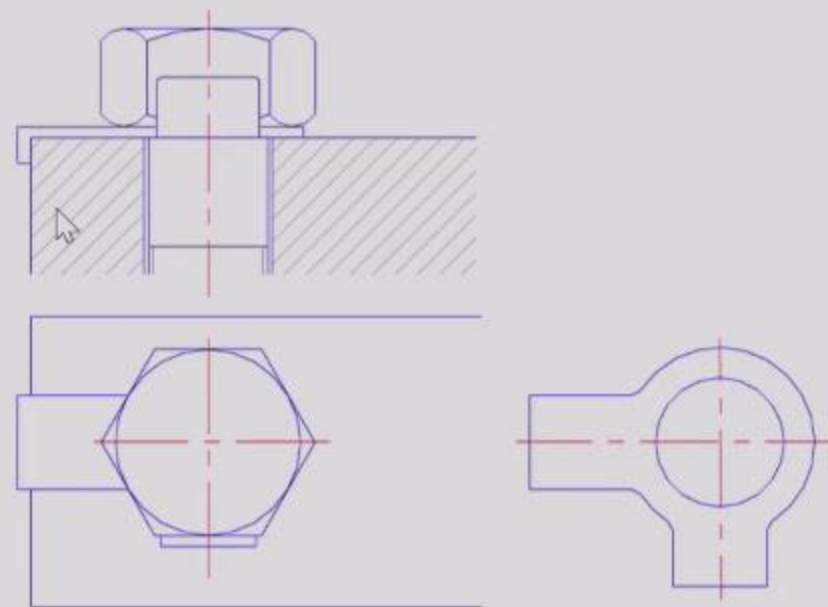
特点：结构简单，适用于平稳、低速和重载的固定装置的联接。



止动垫圈防松

原理：螺母拧紧后，将单耳或双耳止动垫圈分别向螺母和被联接件的侧面折弯贴紧，即可将螺母锁住。若两个螺栓需要双联锁紧时，可采用双联止动垫圈，使两个螺母相互制动。

特点：结构简单，使用方便，防松可靠。

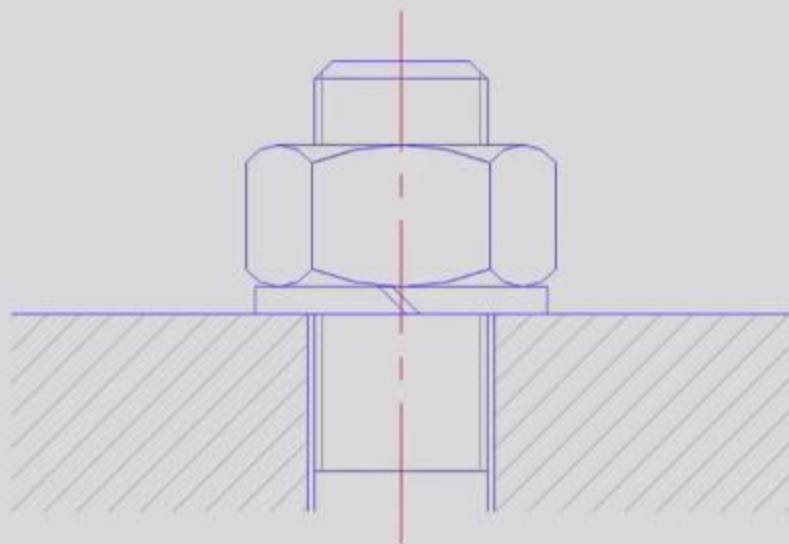


弹簧垫圈防松

原理：螺母拧紧后，靠垫圈压平而产生的弹性反力使旋合螺纹间压紧。

同时垫圈斜口的尖端抵住螺母与被联接件的支承面也有防松作用。

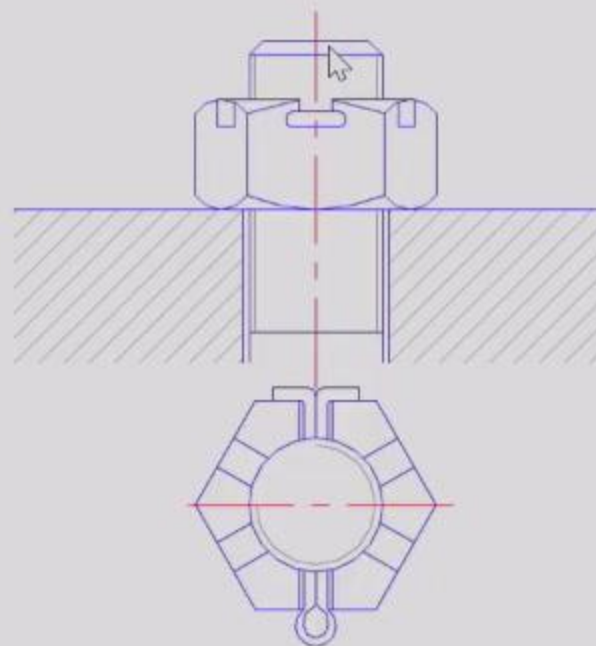
特点：结构简单，使用方便，但在振动冲击载荷作用下，防松效果较差，一般用于不甚重要的联接。



开口销与六角螺母防松

原理：六角开槽螺母拧紧后，将开口销穿入螺栓尾部小孔和螺母的槽内，并将开口销尾部掰开与螺母侧面贴紧。

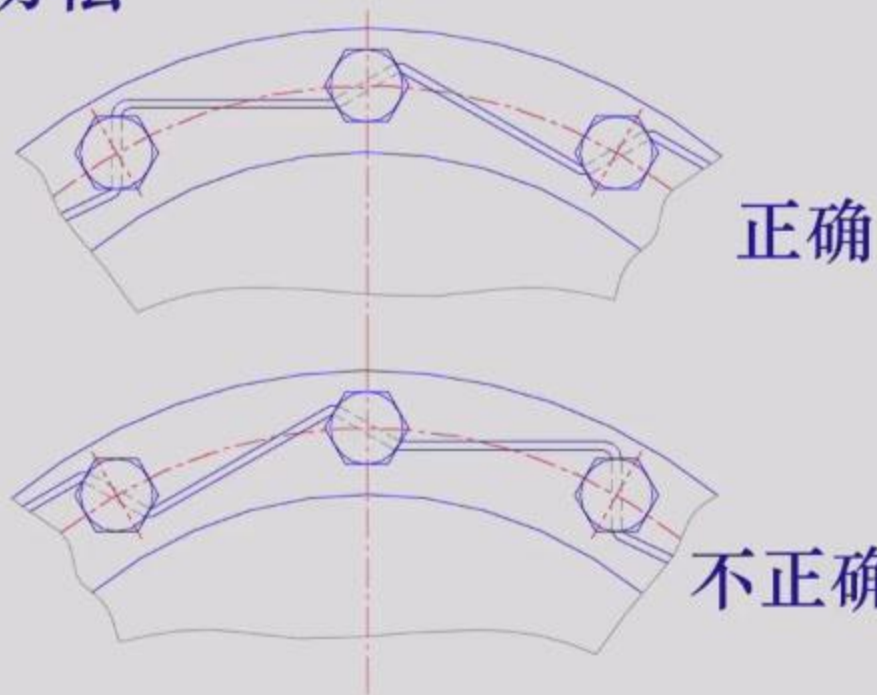
特点：适用于有较大冲击、振动的高速机械中运动部件的联接。



串联钢丝防松

原理：用钢丝穿入各螺钉头部的空内，将各螺钉串联起来，使其相互制动。但需注意钢丝的穿入方向。

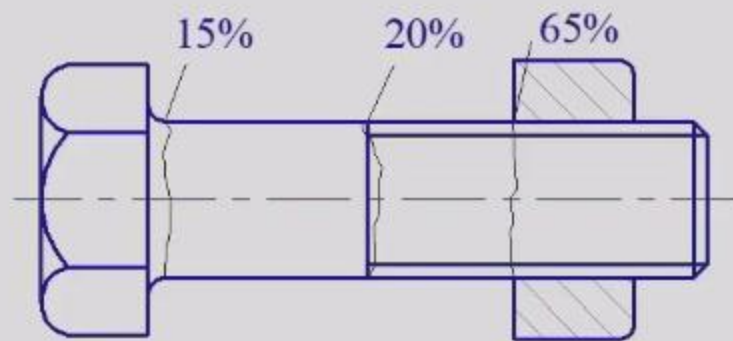
特点：适用于螺钉组联接，但是拆卸不方便。



螺纹联接的强度计算

联接的失效形式：主要是指螺纹联接件的失效。对于受拉螺栓，其失效形式主要是螺纹部分的塑性变形和螺杆的疲劳断裂。对于受剪螺栓，其失效形式可能是螺栓杆被剪断或螺栓杆和孔壁的贴合面被压溃。

螺栓联接强度计算的目的是根据强度条件确定螺栓直径，而螺栓和螺母的螺纹牙及其他各部分尺寸均按标准选定。



一、松螺栓联接强度计算

- 二、紧螺栓联接强度计算
- 1. 仅受预紧力的紧螺栓联接
 - 2. 受轴向载荷的紧螺栓联接
 - 3. 承受工作剪力的紧螺栓联接

一、松螺栓联接强度计算

螺母不需拧紧，在承受工作载荷前螺栓不受力

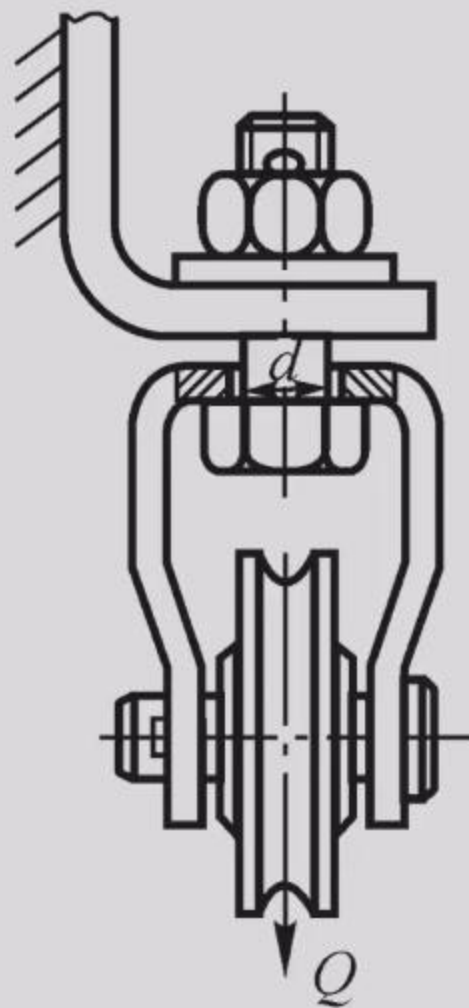
$$\sigma = \frac{Q}{\frac{\pi d_1^2}{4}} \leq [\sigma]$$

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi[\sigma]}}$$

Q: 工作拉力 (N)

d_1 : 螺纹小径 (mm)

$[\sigma]$: 螺栓材料的许用拉应力 (MPa)



1. 仅受预紧力的紧螺栓联接

预紧力引起的拉应力： $\sigma = \frac{Q_0}{\frac{\pi}{4}d_1^2}$

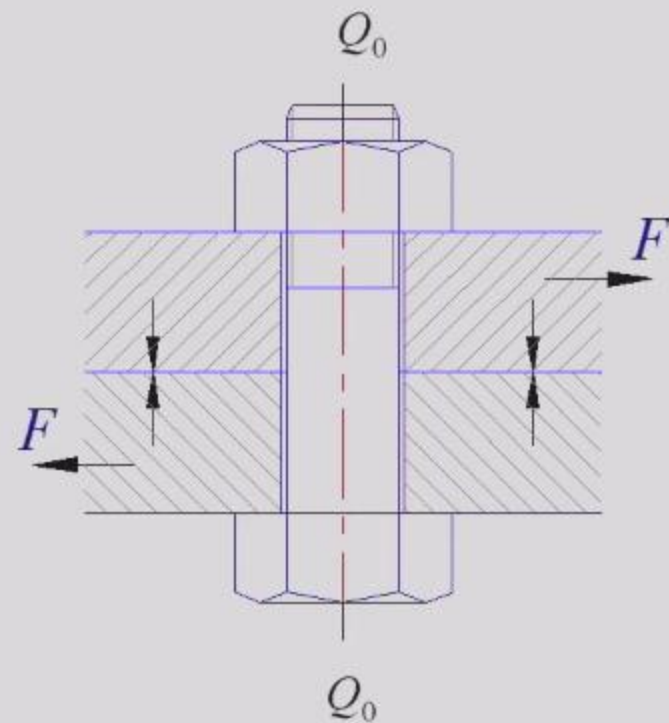
螺牙间的摩擦力矩引起的扭转剪应力： $\tau = \frac{Q_0 \tan(\psi + \varphi_v) \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16}d_1^3} \approx 0.5\sigma$

根据第四强度理论，螺栓在预紧状态下的计算应力：

$$\sigma_{ca} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \approx 1.3\sigma$$

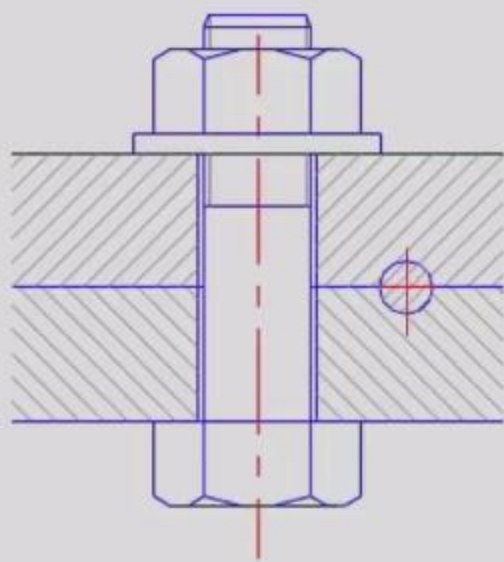
强度条件：

$$\sigma_{ca} = \frac{1.3Q_0}{\frac{\pi}{4}d_1^2} \leq [\sigma]$$

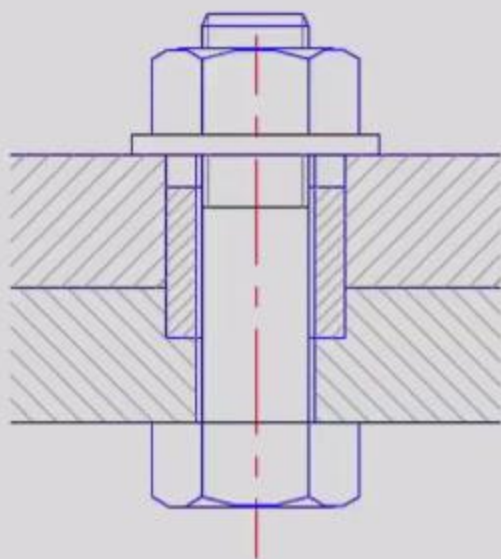


当联接承受较大的横向载荷 F 时，由于要求 $Q_0 \geq F/f$ ($f=0.2$)，即 $Q_0 \geq 5F$ ，因而需要大幅度地增加螺栓直径。为减小螺栓直径的增加，可采用减载措施。

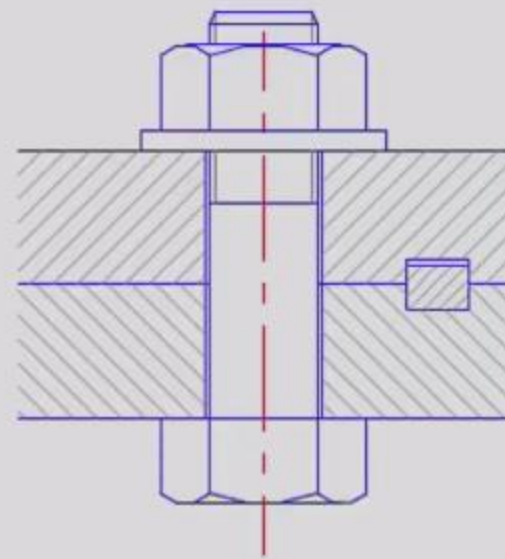
普通螺栓联承受横向载荷时，靠接合面上的摩擦力抵抗工作载荷。螺栓的结构尺寸较大，联接件可靠性也不高，为此常采用减载零件来承担横向载荷，这种具有减载零件的紧螺栓联接，其联接强度按减载零件的剪切、挤压强度条件计算，而螺纹联接只保证联接，不再承受工作载荷。



1) 减载销

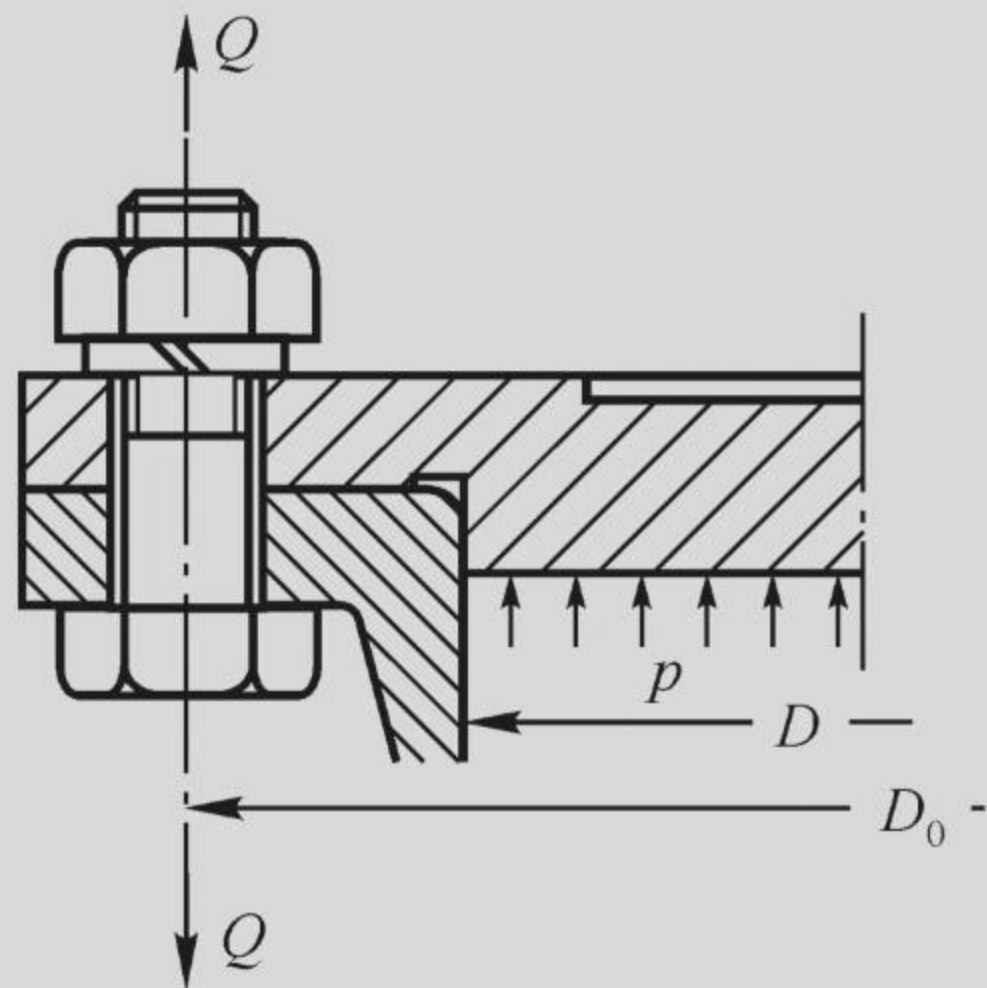


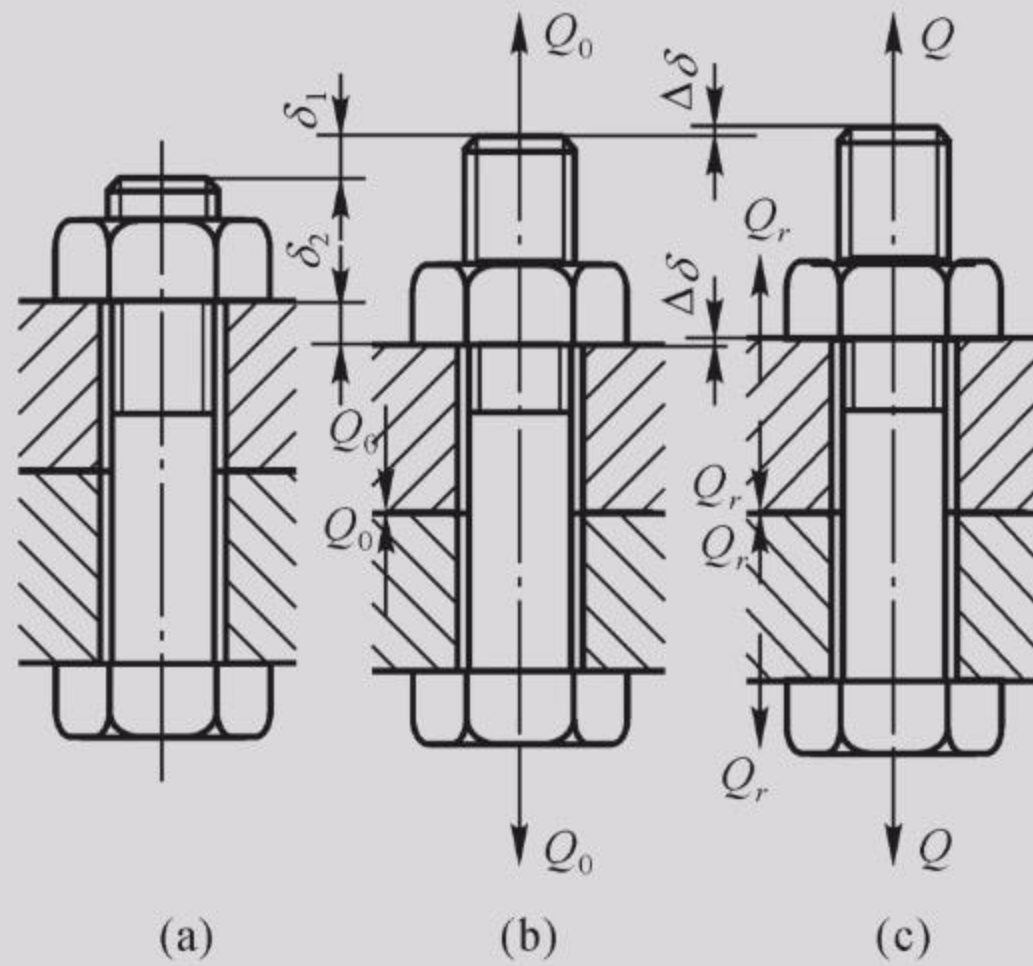
2) 减载套筒



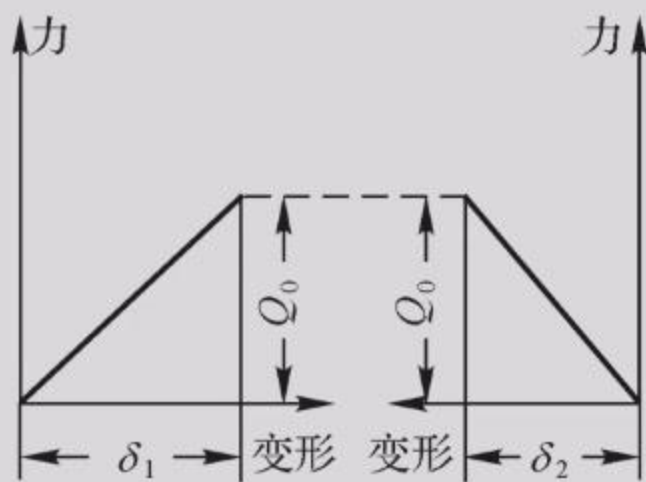
3) 减载键

2. 受轴向载荷的紧螺栓联接

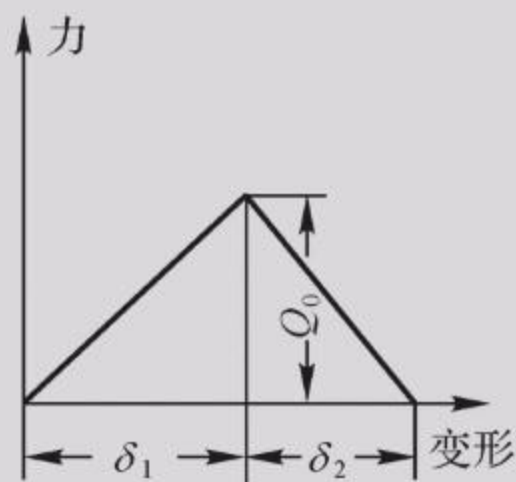




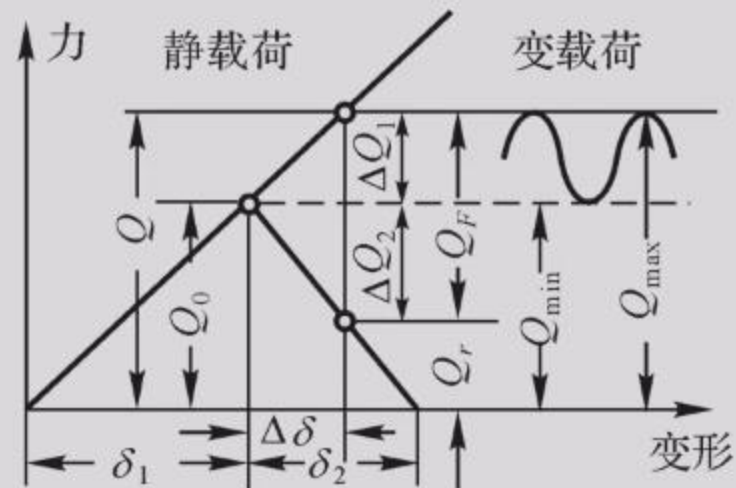
Q_0 : 预紧力, Q : 总载荷, Q_F : 工作载荷, Q_r : 残余载荷



(a)



(b)



(c)

螺栓受工作载荷后，拉力由预紧力 Q_0 增加 Q

$$Q = Q_F + Q_r$$

Q : 总载荷, Q_F : 工作载荷, Q_r : 残余载荷

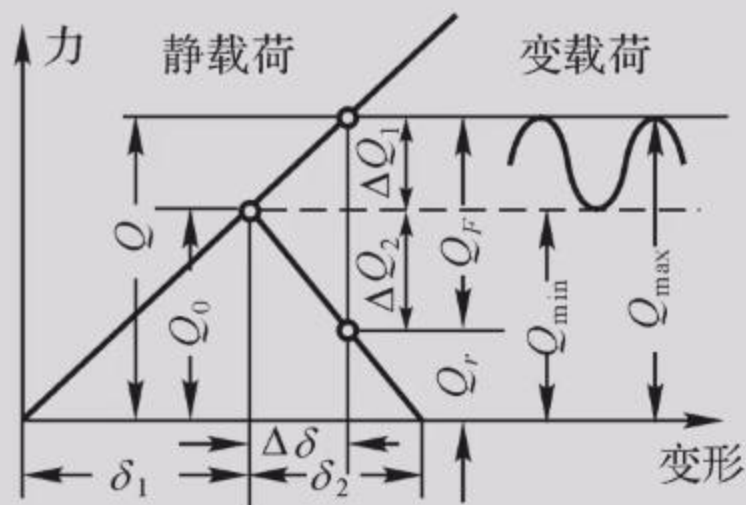


螺栓预紧力 Q_0 后，在工作拉力 Q_F 的作用下，螺栓的总拉力 Q ， $Q = Q_F + Q_r$

式中 Q_r 为残余预紧力，为保证联接的紧密性，应使 $Q_r > 0$ ，一般根据联接的性质确定 Q_r 的大小。

Q_F 无变化时， $Q_r = (0.2-0.6) Q_F$ ， Q_F 有变化时， $Q_r = (0.6-1.0) Q_F$

有密封要求的压力容器连接， $Q_r = (1.5-1.8) Q_F$



(c)

这时螺栓的总拉力为： $Q = Q_0 + \frac{k_1}{k_1 + k_2} Q_F$

式中： $\frac{k_1}{k_1 + k_2}$ 为螺栓的相对刚度，其取值范围为 0~1。

静强度条件： $\sigma = \frac{1.3Q}{\pi d_1^2 / 4} \leq [\sigma]$

疲劳强度条件： $\sigma_a = \frac{k_1}{k_1 + k_2} \frac{2Q}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_a]$

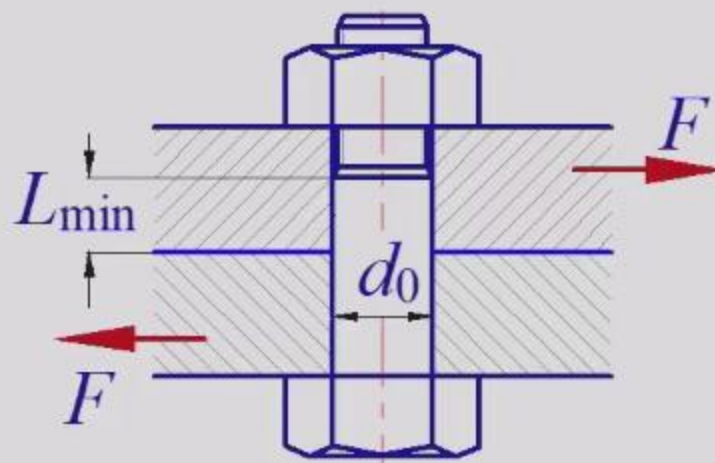
3. 承受工作剪力的紧螺栓联接

螺栓杆与孔壁的挤压强度条件为：

$$\sigma_P = \frac{F}{d_0 L_{\min}} \leq [\sigma_P]$$

螺栓杆的剪切强度条件为：

$$\tau = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d_0^2} \leq [\tau]$$



式中： F —螺栓所受的工作剪力，单位为N；

d_0 —螺栓剪切面的直径（可取螺栓孔直径），单位为mm；

L_{\min} —螺栓杆与孔壁挤压面的最小高度，单位为mm；设计时应使 $L_{\min} \geq 1.25d_0$

螺栓组联接的设计

一、螺栓组联接的结构设计

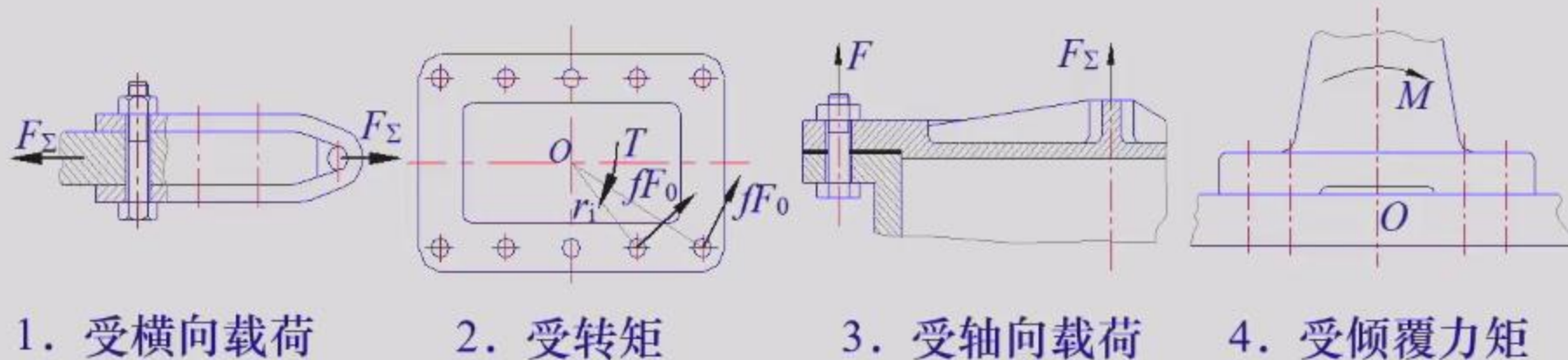
大多数机械中螺栓都是成组使用的。

各螺栓之间的距离大小既要保证联接的可靠性又要考虑装拆方便，还应留有足够的扳手空间。

- 为了便于加工制造和对称布置螺栓，保证联接结合面受力均匀，通常联接结合面的几何形状都设计成轴对称的简单几何形状。
- 为了便于在圆周上钻孔时的分度和画线，通常分布在同一圆周上的螺栓数目取成4、6、8等偶数。
- 螺栓布置应使各螺栓的受力合理。
- 螺栓的排列应有合理的间距、边距。
- 避免螺栓承受附加的弯曲载荷。

二、螺栓组联接的受力分析

- 受力分析的目的：根据联接的结构和受载情况，求出受力最大的螺栓及其所受的力，以便进行螺栓联接的强度计算。
- 受力分析时所作假设：所有螺栓的材料、直径、长度和预紧力均相同；螺栓组的对称中心与联接接合面的形心重合；受载后联接接合面仍保持为平面。
- 受力分析的类型：



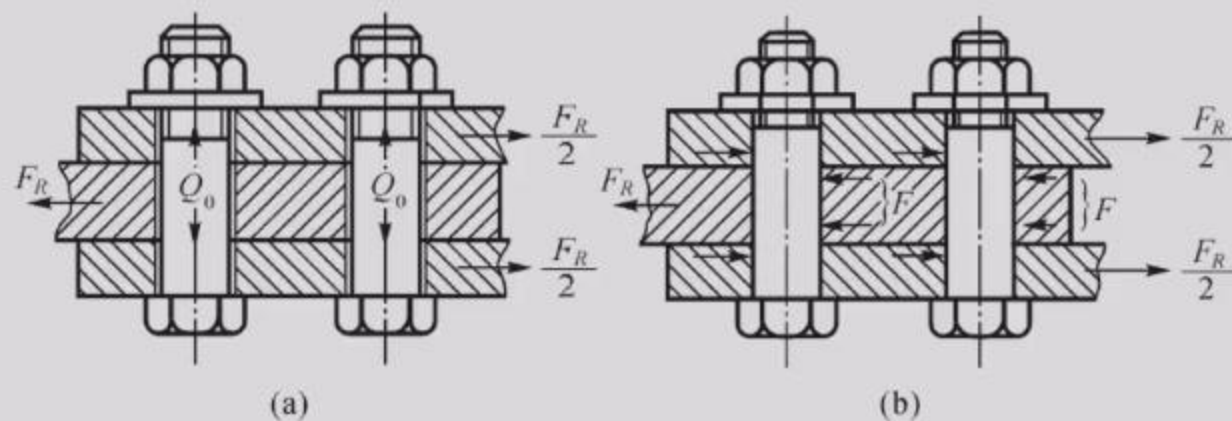
1. 受横向载荷的螺栓组联接

图示为由四个螺栓组成的受横向载荷的螺栓组联接。

(1) 对于铰制孔用螺栓联接（图b），每个螺栓所受工作剪力为：

$$F = \frac{F_{\Sigma}}{z}$$

式中：z为螺栓数目。



(2) 对于普通螺栓联接（图a），按预紧后接合面间所产生的最大摩擦力必须大于或等于横向载荷的要求，有：

$$z Q_0 f m \geq K_f F_{\Sigma} \quad \text{或} \quad Q_0 \geq K_f F_{\Sigma} / z f m$$

K_f 为防滑系数，设计中可取 $K_f = 1.1 \sim 1.3$ 。

2. 受转矩的螺栓组联接

采用普通螺栓和铰制孔用螺栓组成的螺栓组受转矩时的受力情况是不同的。

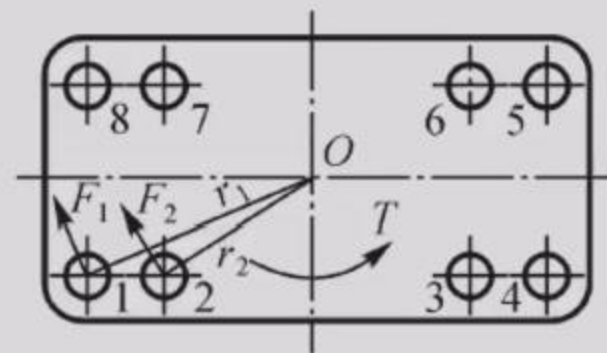
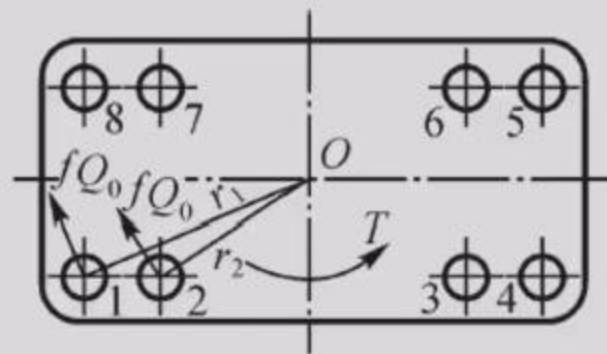
采用普通螺栓，是靠联接预紧后在接合面间产生的摩擦力矩来抵抗转矩 T 。

$$fQ_0 r_1 + fQ_0 r_2 + \cdots + fQ_0 r_z = K_f T$$

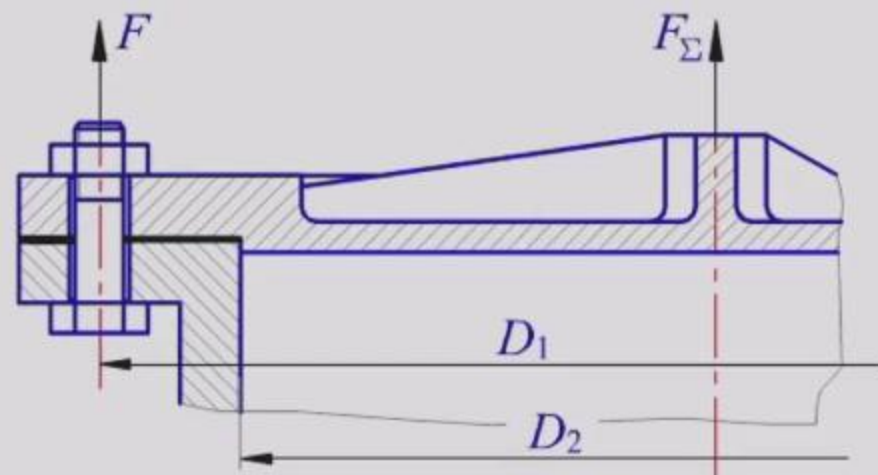
$$Q_0 = \frac{K_f T}{f(r_1 + r_2 + \cdots + r_z)}$$

采用铰制孔用螺栓，是靠螺栓的剪切和螺栓与孔壁的挤压作用来抵抗转矩 T 。

$$\frac{F_{\max}}{r_{\max}} = \frac{F_i}{r_i} \quad \sum_{i=1}^z F_i r_i = T \quad F_{\max} = \frac{Tr_{\max}}{\sum_{i=1}^z r_i^2}$$



3. 受轴向载荷的螺栓组联接



受轴向载荷的螺栓组联接

若作用在螺栓组上轴向总载荷 F_{Σ} 作用线与螺栓轴线平行，并通过螺栓组的对称中心，则各个螺栓受载相同，每个螺栓所受轴向工作载荷为：

$$F = \frac{F_{\Sigma}}{z}$$

4. 受倾覆力矩的螺栓组联接

倾覆力矩 M 作用在联接接合面的一个对称面内，底板在承受倾覆力矩之前，螺栓已拧紧并承受预紧力 Q_0 。作用在底板两侧的合力矩与倾覆力矩 M 平衡，即：

$$M = \sum_{i=1}^z Q_{Fi} L_i$$

螺栓变形协调关系：

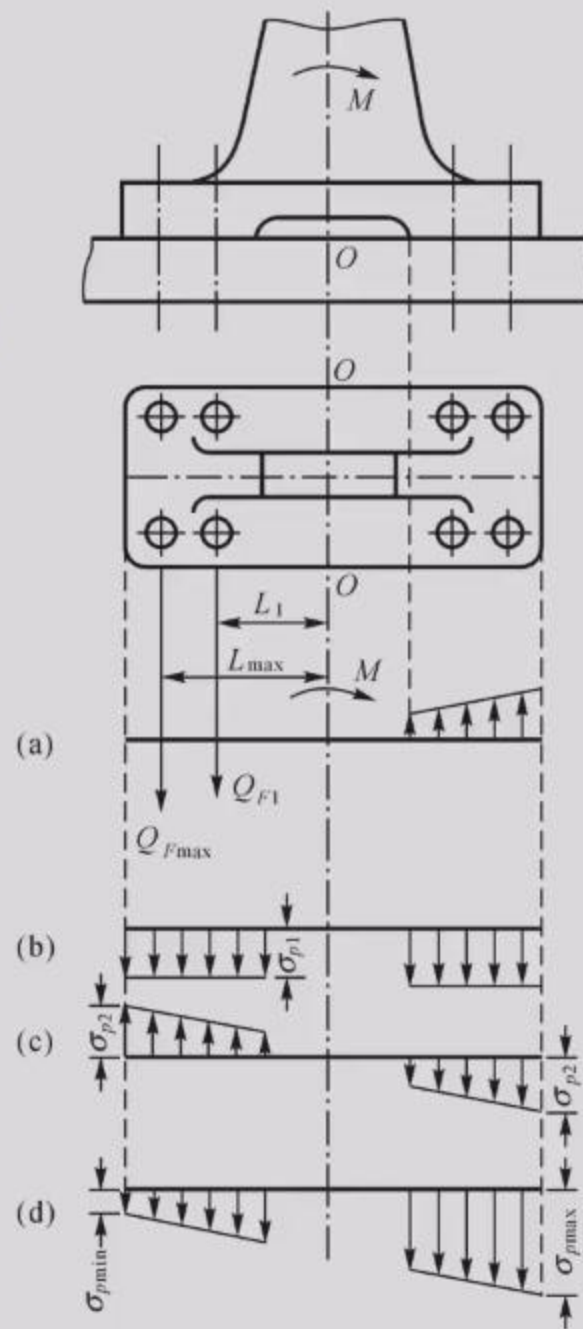
$$\frac{Q_{F1}}{L_1} = \frac{Q_{F2}}{L_2} = \dots = \frac{Q_{F\max}}{L_{\max}}$$

由此可以求出最大工作载荷：

$$F_{\max} = \frac{ML_{\max}}{\sum_{i=1}^z L_i^2}$$

为防止结合面受压最大处被压碎或受压最小处出现间隙，要求：

$$\sigma_{p\max} \approx \frac{zF_0}{A} + \frac{M}{W} \leq [\sigma_p] \quad \sigma_{p\min} \approx \frac{zF_0}{A} - \frac{M}{W} > 0$$



螺纹联接件的材料与许用应力

一、螺纹联接件材料

螺栓、螺柱、螺钉的性能等级分为10级，自3.6到12.9，小数点前的数字代表材料抗拉强度极限的1/100，小数点后的数字代表材料屈服极限与抗拉强度之比值的10倍。例“4.6”代表材料抗拉强度 $\sigma_b=400\text{MPa}$ ，屈服极限 $\sigma_s=240\text{MPa}$ （即： $10 \sigma_s / \sigma_b = 10 \times 240 / 400 = 6$ ）。在一般用途的设计中，常选用4.8级左右的螺栓，在重要的或有特殊要求设计中的螺纹联接件，选用高的性能等级，如在压力容器中常采用8.8级的螺栓。

螺母的性能等级分为7级，从4到12。数字粗略表示螺母保证的最小应力的1/100($\sigma_{\text{lim}}/100$)。

二、螺纹联接件的许用应力

1. 螺纹联接件的许用拉应力 $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$

2. 螺纹联接件的许用剪应力和许用挤压应力

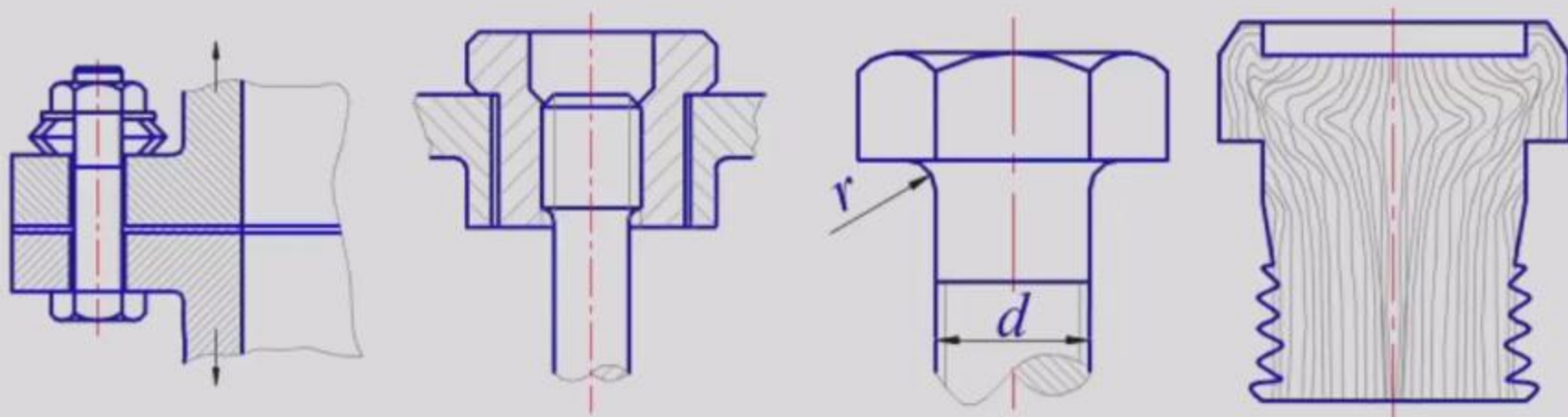
$$[\tau] = \frac{\sigma_s}{S_\tau} \quad [\sigma_p] = \frac{\sigma_s}{S_p} \text{ (被联接件为钢)} \quad [\sigma_p] = \frac{\sigma_B}{S_p} \text{ (被联接件为铸铁)}$$

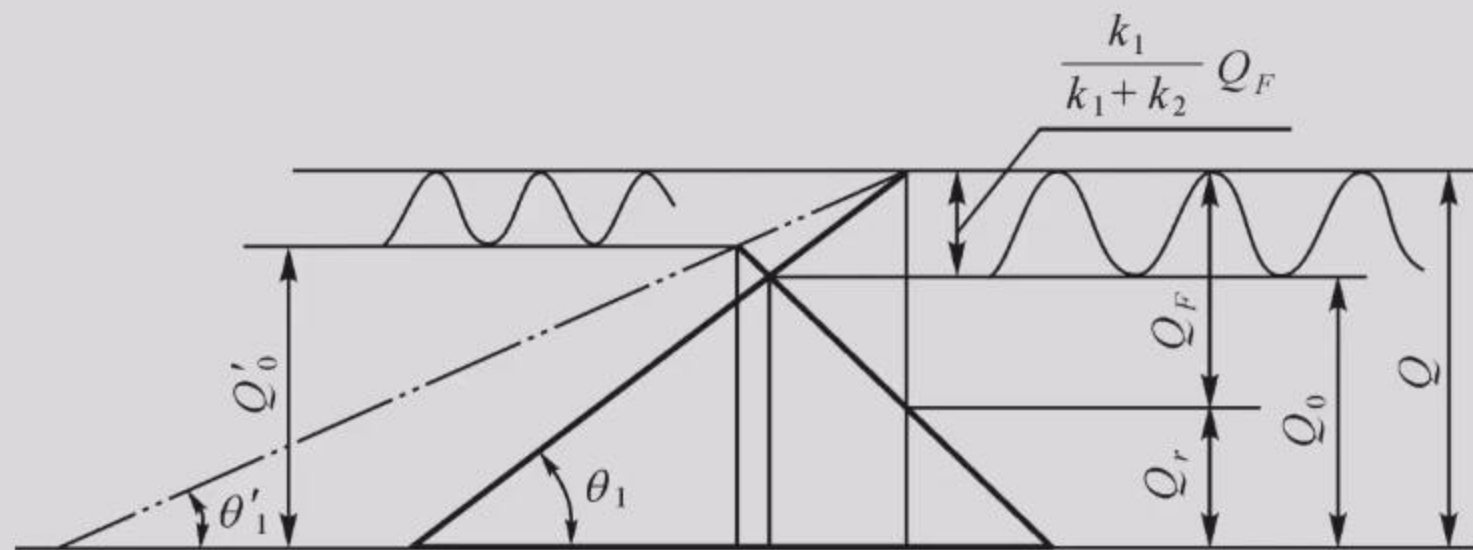
提高螺纹联接强度的措施

以螺栓联接为例，螺栓联接的强度主要取决于螺栓的强度，因此，提高螺栓的强度，可提高联接系统的可靠性。

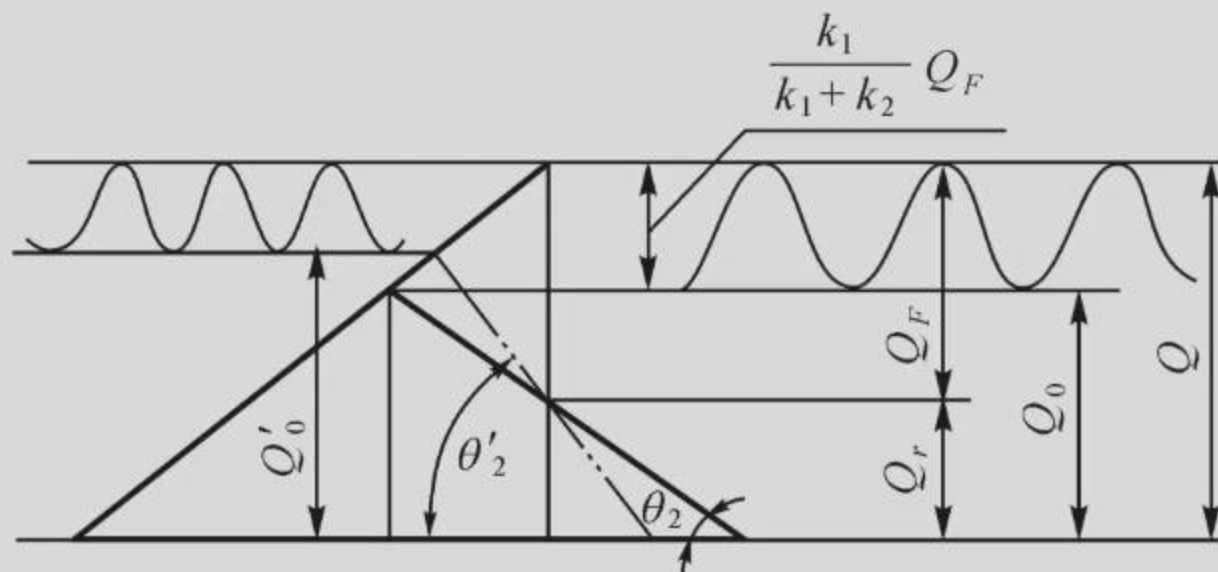
影响螺栓强度的因素主要有以下几个方面，或从以下几个方面提高螺栓强度。

- 1.降低影响螺栓疲劳强度的应力幅
- 2.改善螺纹牙上载荷分布不均的现象
- 3.减小应力集中的影响
- 4.采用合理的制造工艺



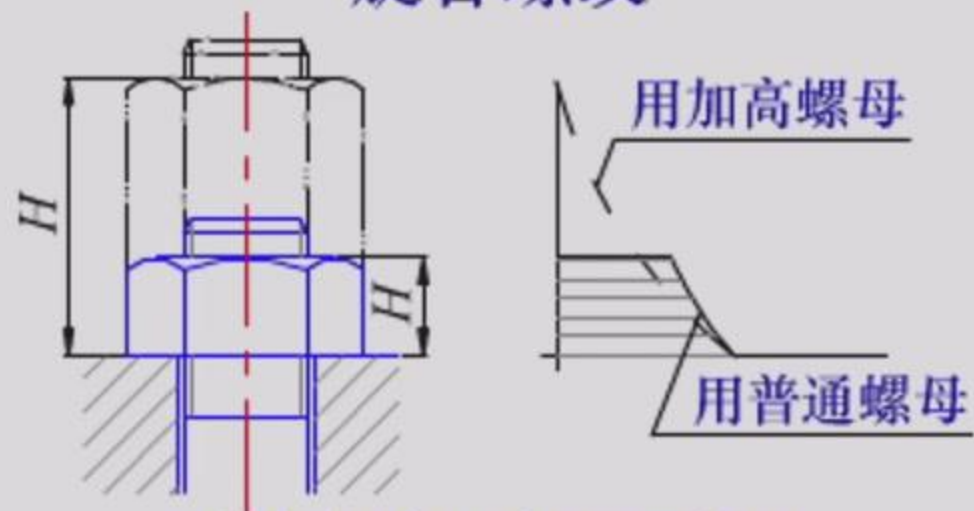


(a) 降低螺栓的刚度

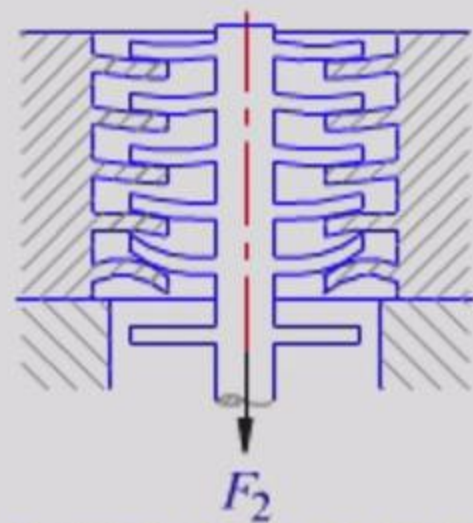


(b) 增大被联接件的刚度

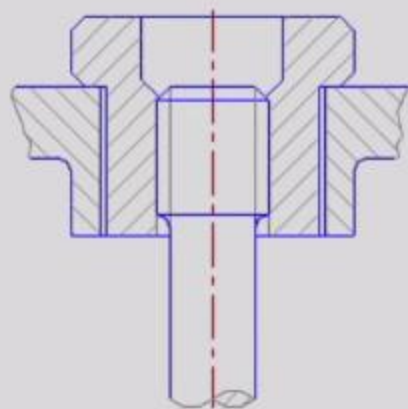
旋合螺纹



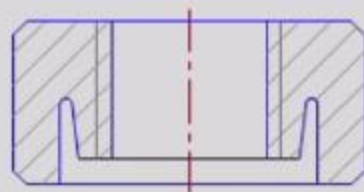
旋合螺纹的变形示意图



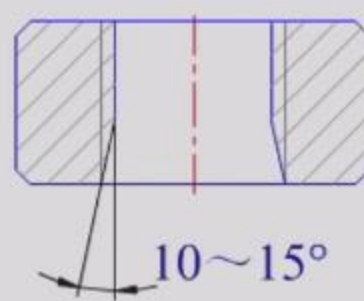
旋合螺纹间的载荷分布



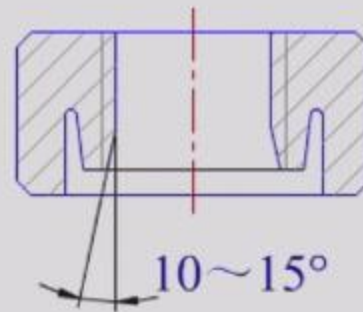
悬置螺母



环槽螺母

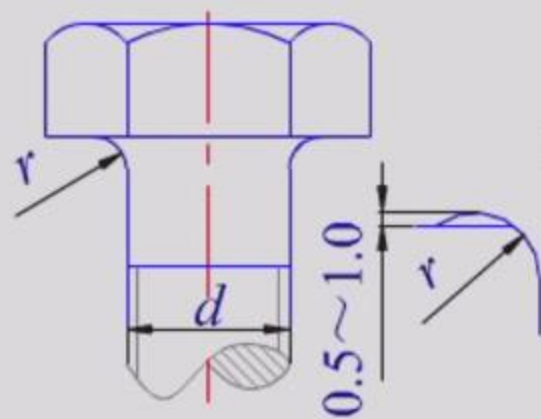


内斜螺母

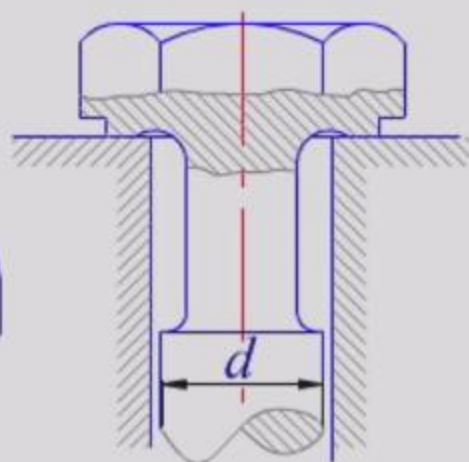


内斜与环槽螺母

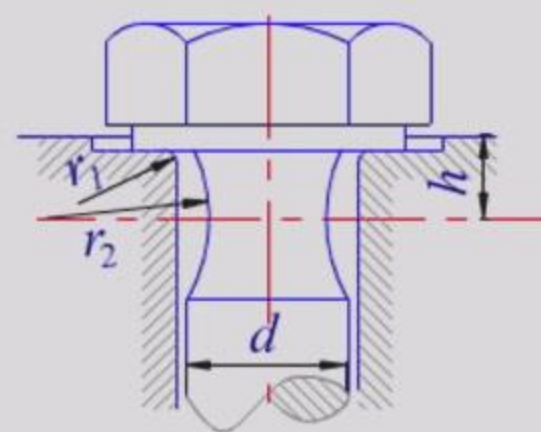




a) 加大圆角

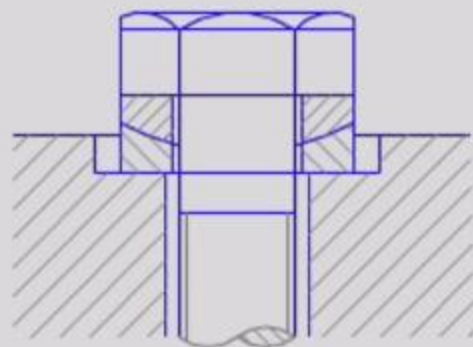


b) 卸载槽

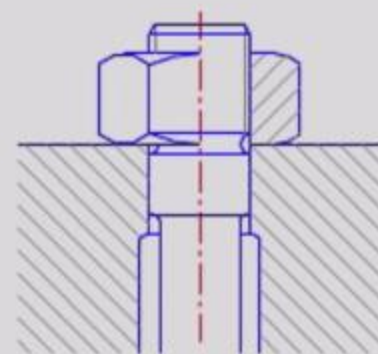


c) 卸载过渡结构

$$r=0.2d; \quad r_1=0.1d; \quad r_2=1.0d; \quad h=0.5d$$



球面垫圈



腰杆螺栓联接



音量: 60%

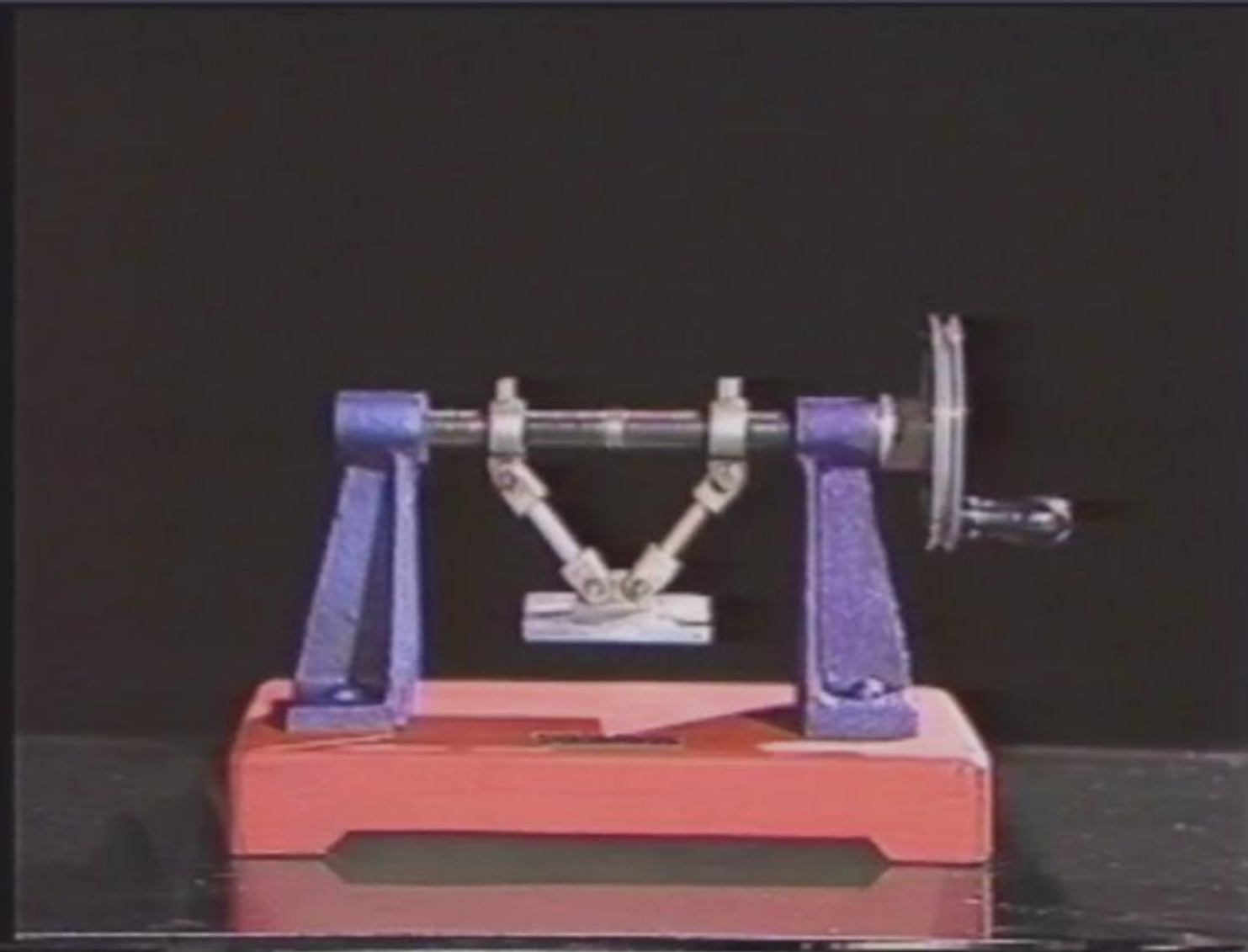
播放列表

全部 链接 本地 + 图标

人工智能视频1.0.mp4 3分钟

录像1: 机械设计插播片.mpg 播放中

348.7M 352x288 文件夹图标



停止按钮在这里
[知道了](#)

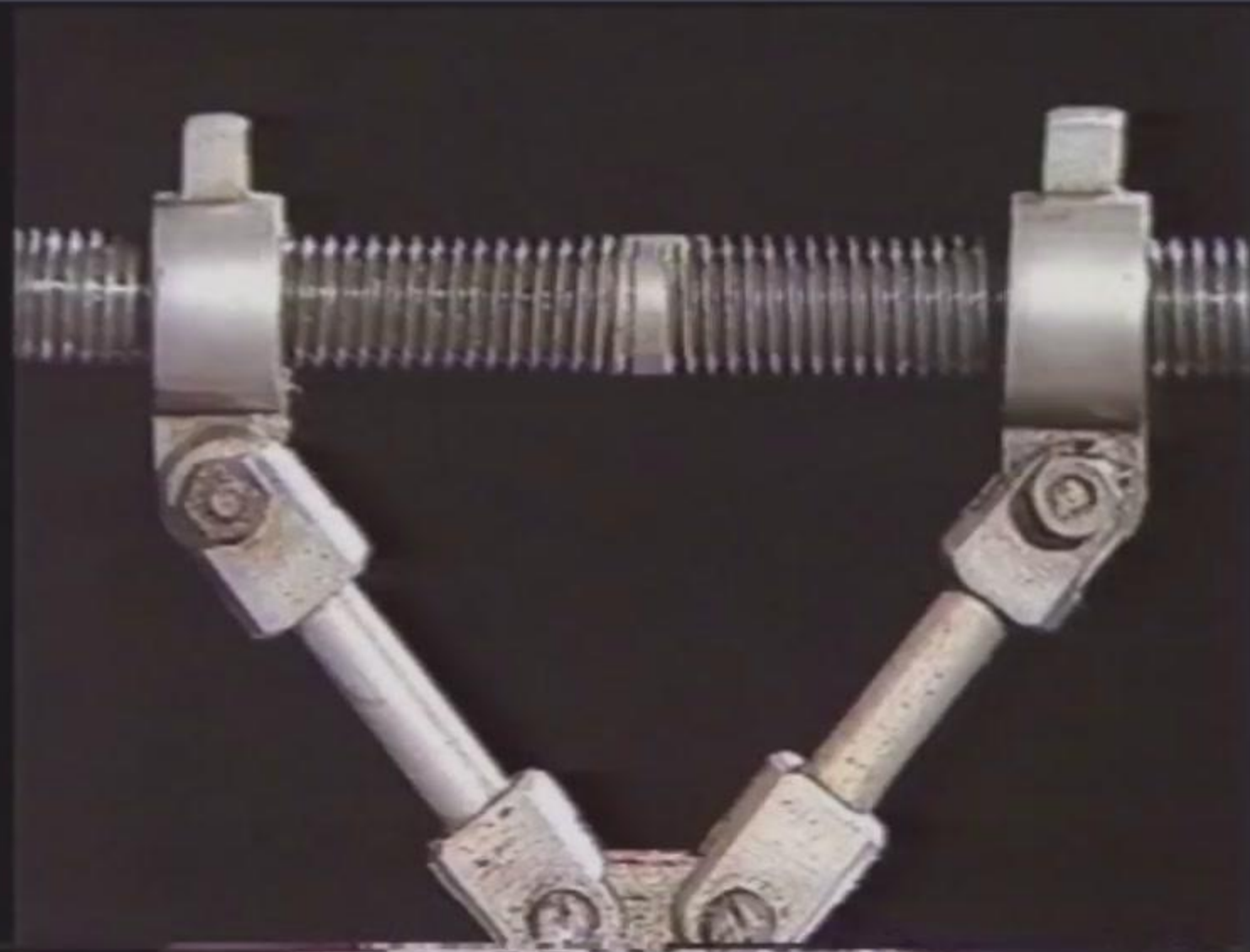
00:24:45 00:35:01

趁着老婆不在, 你还忍什么?

音量: 62%

播放控制按钮: 眼睛, 弹幕, 全屏, 上一帧, 暂停, 下一帧, 剪切, 下载, 分享, 清晰度

美女直播 列表 盒子



停止按钮在这里
[知道了](#)

播放列表

全部	链接	本地	+	🔍	🔄
人工智能视频1.0.mp4					3分钟
录像1: 机械设计插播片.mpg					播放中
348.7M	352×288				

00:24:54 00:35:01

直播不停歇, 精彩内容嗨不停



美女直播 列表 盒子





单头

三头



停止按钮在这里
[知道了](#)

播放列表

全部 链接 本地 + ⌵ ⌵

人工智能视频1.0.mp4	3分钟
录像1: 机械设计插播片.mpg	播放中
348.7M 352×288	📁

◀ 00:25:15 00:35:01 ▶ ⏹

不想努力，就来这款游戏



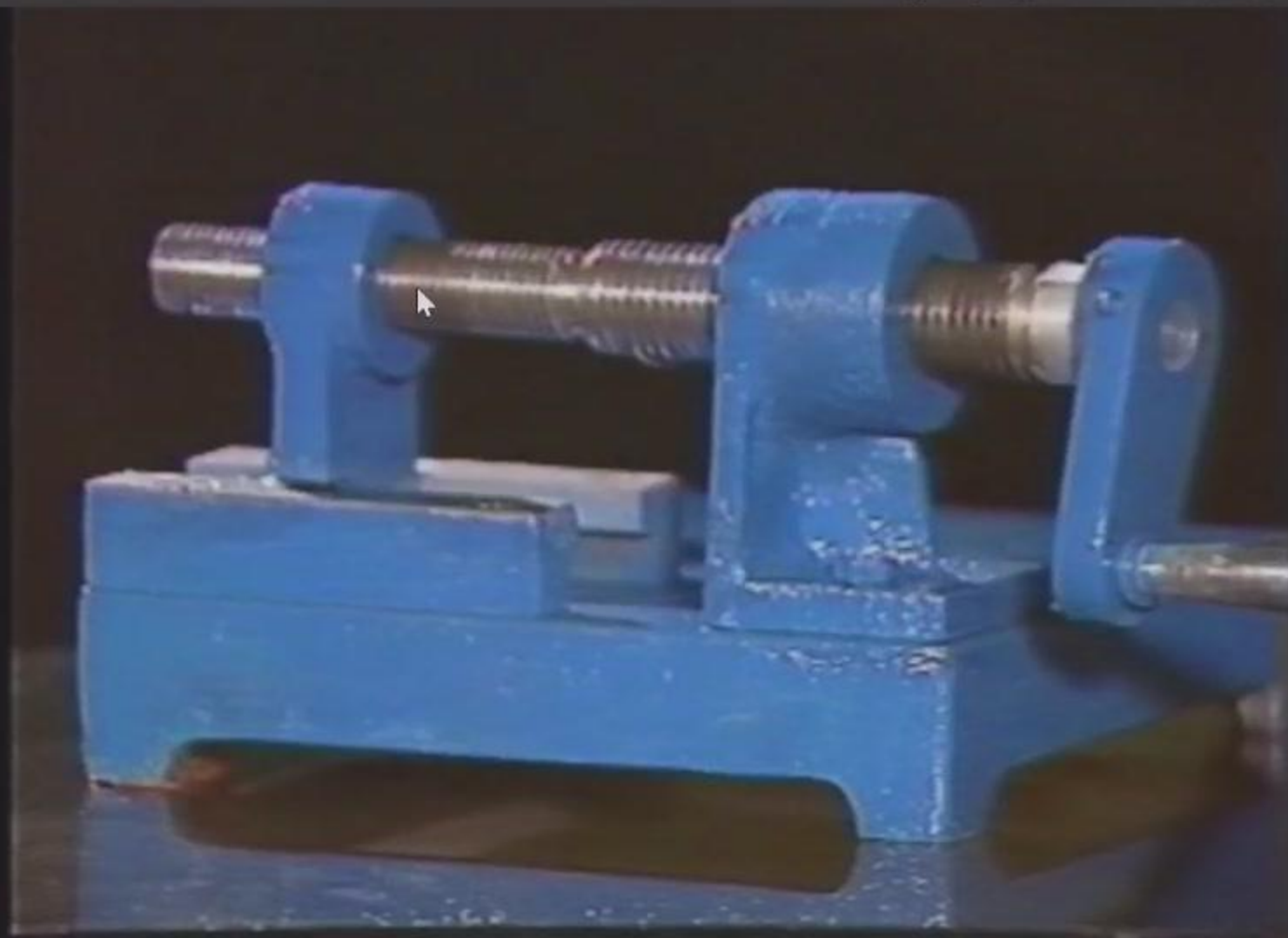
👤 美女直播 列表 盒子





播放列表

全部	链接	本地	+	📁	🔄
人工智能视频1.0.mp4					3分钟
录像1: 机械设计插播片.mpg					播放中
348.7M	352×288				📁



停止按钮在这里
[知道了](#)

00:29:35 00:35:01

老婆不在家才敢玩的游戏, 搞快点!



播放列表

全部	链接	本地	+	🔍	🔄
人工智能视频1.0.mp4					3分钟
录像1: 机械设计插播片.mpg					播放中
348.7M	352×288				

停止按钮在这里
[知道了](#)

00:30:32 00:35:01

不想努力，就来这款游戏

Video player controls: Fullscreen, Playlist, Volume, Playback, Stop, Next, Cut, Download, Share, Clear, Quality

美女直播 列表 盒子