



第05章

连接及连接件

(上)

宋超阳

南方科技大学

本章要点概述

- 连接设计
 - 螺纹连接
 - 螺纹连接设计
 - 螺旋传动
 - 销连接
 - 焊接与胶接
- 联轴器、离合器和制动器
 - 联轴器
 - 离合器
 - 制动器

连接设计

机械是由零件组成的，只有通过连接才能将单独制造的零件组装成具体的机械。根据连接后零件能否被拆开，连接可分为不可拆连接和可拆连接

前者如果不损坏组成零件就不能拆开（例如铆接、焊接等），后者则允许进行重复的拆开与装配（例如螺纹连接、销连接和花键连接等）

连接技术的主要发展趋势是要使连接尽可能达到这样的作用：即被连接件犹如一个整体，同时符合连接件与被连接件之间的等强度条件

螺纹连接

利用螺纹连接件（如螺钉、螺栓、双头螺柱、螺母）
或利用在被连接件上制成的螺纹构成的可拆连接

螺纹连接

- 螺纹连接在机械制造中应用很广
 - 现代的机械中，60%以上的零件制有螺纹
- 螺纹连接
 - ①螺纹拧紧时能产生很大的轴向力
 - ②它能方便地实现自锁，这是实现紧固所必需的
 - ③外形尺寸小
 - ④制造简单，能保持较高的精度
- 还可作为传动零件来使用
 - 将旋转运动转换成直线运动
 - 螺旋传动就是利用螺纹来传递运动或动力的

螺纹的类型及应用

- 螺纹有外螺纹与内螺纹之分，螺旋副是由外、内螺纹组合而成的。
 - 连接螺纹：起连接作用的螺纹
 - 传动螺纹：用于传递运动和动力的螺纹
- 螺纹还有米制和英制（螺距以每英寸牙数表示）之分
 - 我国除管螺纹外，一般采用米制螺纹，在国际上通行的是米制螺纹
 - 凡牙型、外径及螺距符合国家标准的螺纹称为标准螺纹
 - 机械制造中常用的螺纹多为标准螺纹
- 若按螺纹的牙型来分，有以下几种螺纹

(1) 普通三角螺纹 牙型角为 60°

- 粗牙螺纹用于一般连接
- 细牙螺纹的螺距小，螺纹深度浅，导程和升角也小，自锁性能好，适合用于薄壁零件和微调装置

(2) 管螺纹（三角） 牙型角为 55°

- 属英制细牙三角形螺纹，多用于有紧密性要求的管件连接

(3) 梯形螺纹 其牙型角为 30°

- 应用最广泛的一种传动螺纹

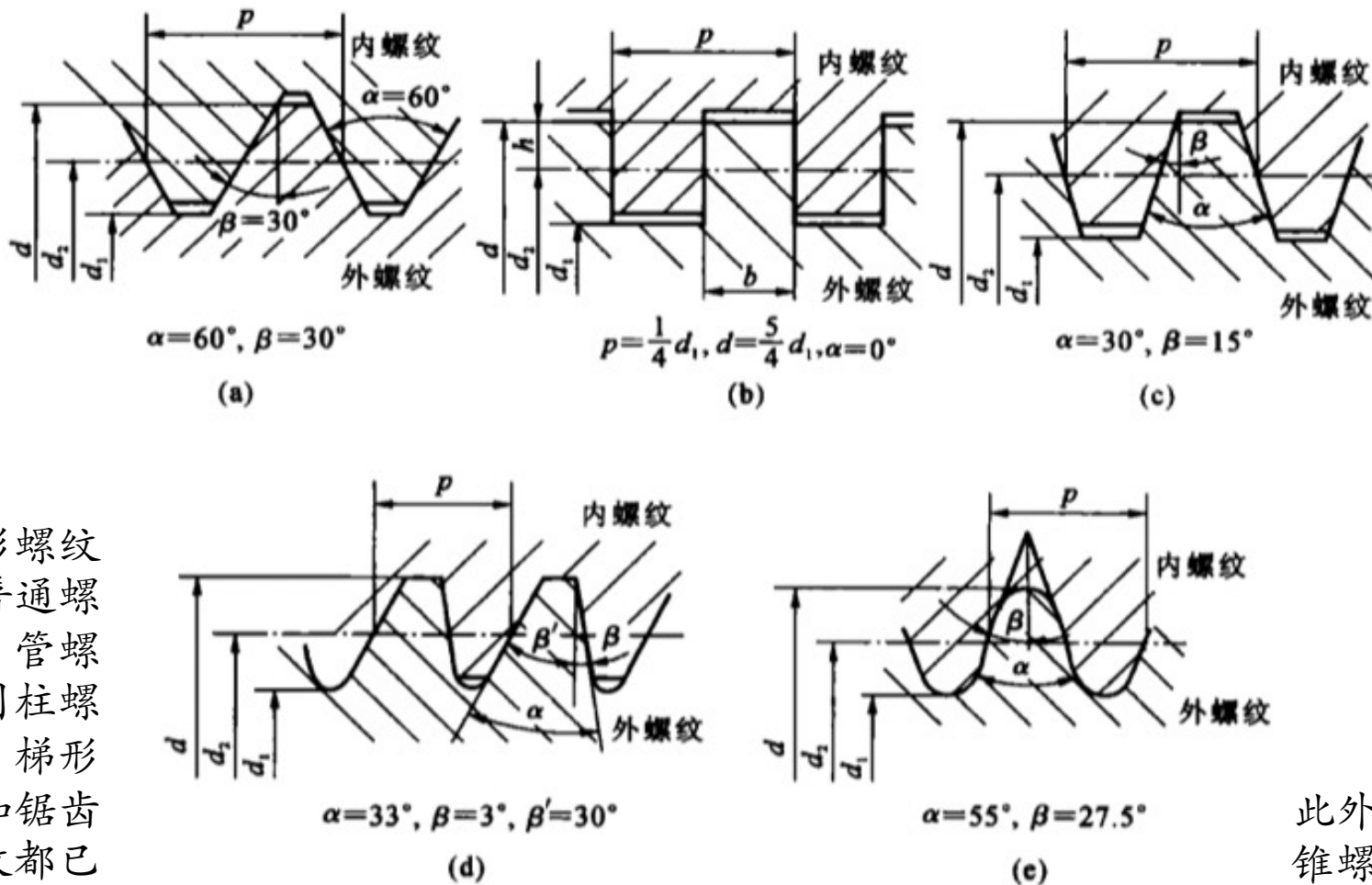
(4) 锯齿形螺纹 两侧牙型斜角分别为 $\beta=3^\circ$ 和 $\beta=30^\circ$

- 3° 的侧面用来承受载荷，可得到较高效率； 30° 的侧面用来增加牙根强度
- 适用于单向受载的传动螺旋

(5) 矩形螺纹 其牙型角为 0°

- 传动效率高，但齿根强度较低，适用于做传动螺纹

各种螺纹的牙型



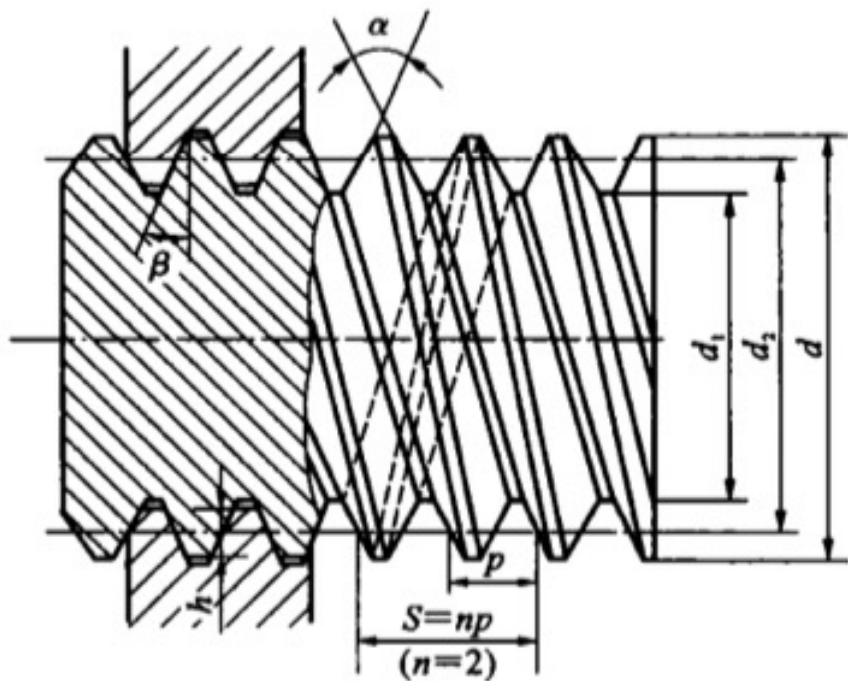
三角形螺纹
(即普通螺
纹)、管螺
纹(圆柱螺
纹)、梯形
螺纹和锯齿
形螺纹都已
标准化

此外还有圆
锥螺纹、圆
锥管螺纹等

图 10-1 螺纹的类型

(a) 三角形螺纹; (b) 矩形螺纹; (c) 梯形螺纹; (d) 锯齿形螺纹; (e) 管螺纹

螺纹的主要参数



(7) 升角 λ

- 在螺纹中径圆柱面上的螺旋线的切线与垂直螺纹轴心线的平面的夹角。由几何关系可得： $\tan \alpha = \frac{S}{\pi d_2} = \frac{np}{\pi d_2}$

(8) 牙型角 α

- 螺纹牙在轴向截面上量出的两直线侧边间的夹角。

(9) 牙廓的工作高度 h

- 螺栓和螺母的螺纹圈发生接触时的牙廓高度
- 牙廓的高度是沿径向测量的。工作高度等于外螺纹大径和内螺纹小径之差的一半

(1) 大径 d 、 D

- 与外螺纹的牙顶（或内螺纹牙底）相重合的假想圆柱面的直径，是螺纹的公称直径（管螺纹除外）

(2) 小径 d 、 D_1

- 与外螺纹的牙底（或内螺纹牙顶）相重合的假想圆柱面的直径，常用做危险剖面的计算直径

(3) 中径 d_2 、 D_2

- 一假想的与螺栓同心的圆柱面的直径，此圆柱面周向切割螺纹，使螺纹在此圆柱面上的牙厚和牙间相等

(4) 螺距 p

- 相邻两牙上对应点间的轴向距离，是螺纹的基本参数

(5) 线数 n

- 螺纹的螺旋线数。某处螺纹实体，只有一条沿螺旋线形成的螺纹称为单线螺纹，有条沿等距螺旋线形成的螺纹称为 n 线螺纹

(6) 导程 S

- 螺栓旋转一周，沿自身轴线相对于螺母所移动的距离
- 在单头螺纹中，螺距和导程是一致的；在多头螺纹中，导程等于螺距 p 和线数 n 的乘积

螺纹副的受力关系、效率和自锁

- 旋紧或松开负载的螺旋副时，其受力、效率和自锁条件如下
 - 圆周力：旋紧时： $F_t = F \tan(\lambda + \rho_v)$ 松开时： $F_t = F \tan(\lambda - \rho_v)$
 - 效率：旋紧时： $\eta = \frac{\tan \lambda}{\tan(\lambda + \rho_v)}$ 松开时： $\eta = \frac{\tan(\lambda - \rho_v)}{\tan \lambda}$
 - 自锁条件： $\lambda \leq \rho_v$
 - 当量摩擦角 $\rho_v = \arctan \mu_v$ ；当量摩擦系数 $\mu_v = \frac{\mu}{\cos \beta}$
 - μ 为实际摩擦系数； F 为螺旋副所受的轴向力
- 对于连接用螺纹，主要是要求螺旋副有可靠的自锁性，所以常用升角 λ 小、当量摩擦系数 μ_v 大的单线三角形螺纹
 - 三角形螺纹标准中的细牙螺纹是比普通三角形螺纹具有更好自锁性能的螺纹
- 对于传动用的螺纹，主要是要求螺旋副效率高，所以常用当量摩擦系数小的矩形、梯形、锯齿形螺纹，且升角尽可能地大一些，为此，线数也要尽可能地多一些。但线数过多，加工困难，所以，常用的线数为 2~3，最多到 4
 - 由 $\eta = \frac{\tan \lambda}{\tan(\lambda + \rho_v)}$ ，增大到 25° 以后，效率增加甚微，所以 4 线以上的螺纹较为少见

螺纹连接件及螺纹连接的基本类型

- 螺纹连接件的类型很多
 - 常用的螺纹连接件有螺栓、双头螺柱、螺钉、螺母和垫片等
 - 这些零件的结构形式和尺寸都已标准化（详见设计手册）
 - 要根据具体的工作条件及它们的结构特点合理地加以选用
- 螺纹连接的主要类型有
 - 螺栓连接
 - 双头螺柱连接
 - 螺钉连接
 - 紧定螺钉连接

螺栓连接

- 将螺栓杆穿过被连接件的孔，拧上螺母，将几个被连接件连成一体
 - 被连接件的孔不需切制螺纹，因而不受被连接件材料的限制
 - 通常用于被连接件不太厚，且有足够装配空间的情况
- 螺栓连接
 - 普通螺栓连接
 - 被连接件上的孔和螺栓杆之间有间隙，故孔的加工精度可以较低。其结构简单，装拆方便，应用广泛
 - 铰制孔用螺栓连接
 - 孔和螺栓杆之间常采用基孔制过渡配合，因而，孔的加工精度要求较高。一般用于需螺栓承受横向载荷或需靠螺栓杆精确固定被连接件相对位置的场合

螺栓连接有如下的尺寸关系

- 螺纹的余留长度 l_1 ，受拉螺栓连接
 - 受静载荷时， $l_1 \geq (0.3 \sim 0.5)d$
 - 受变载荷时， $l_1 \geq 0.75d$
 - 受冲击、弯曲载荷时， $l_1 \geq d$
- 受剪螺栓连接， l_1 尽可能地小
- 螺纹的伸出长度 $a \approx (0.2 \sim 0.4)d$
- 螺栓的轴线到被连接件边缘的距离

$$e = d + (3 \sim 6)\text{mm}$$

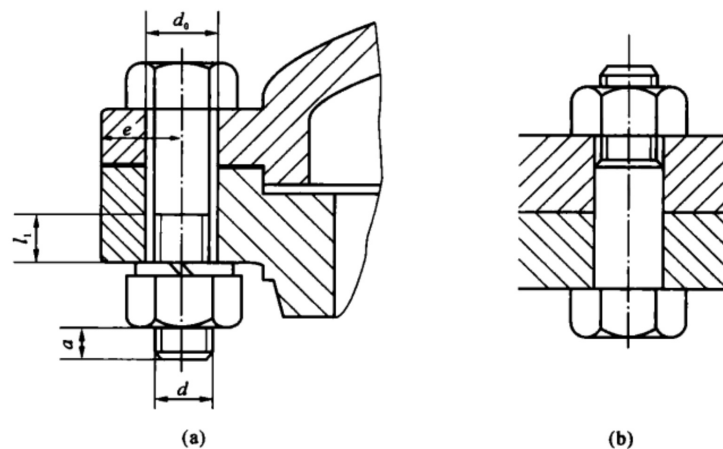


图 10-3 螺栓连接

(a) 普通螺栓连接；(b) 铰制孔用螺栓连接

双头螺柱连接

- 双头螺柱连接是将双头螺柱的一端旋紧在被连接件的螺纹孔中，另一端穿过另一（或其余几个）被连接件的孔，再旋上螺母，把被连接件连接成一体
 - 这种连接用于被连接件之一太厚，且需经常装拆或结构上受到限制不能采用螺栓连接的情况
- 为使连接可靠
 - 螺纹孔为钢或青铜时，取 $H \approx d$
 - 为铸铁时，取 $H \approx (1.25 \sim 1.5)d$
- 为了加工、装配方便，还需有如下的尺寸要求
 - 螺纹孔深度 $H_1 = H + (2 \sim 2.5)p$ (p 为螺距)
 - 钻孔的深度 $H_2 = H_1 + (0.5 \sim 1)d$

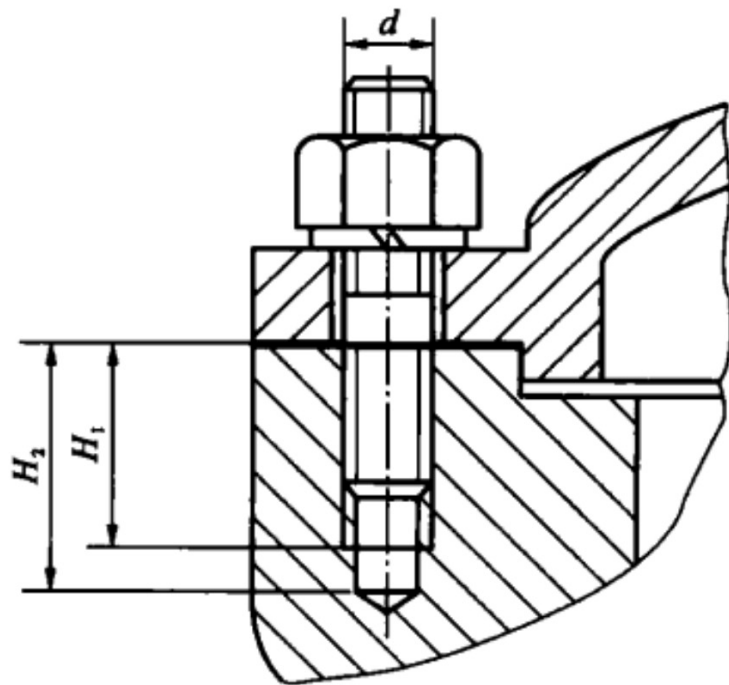


图 10-4 双头螺柱连接

螺钉连接与紧定螺钉连接

- 螺钉连接是不用螺母，直接将螺栓（或螺钉）旋入被连接件之一的螺纹孔内而实现的连接
 - 螺钉连接用于被连接件之一较厚的场合，但由于经常装拆容易使螺纹孔损坏，所以不宜用于需经常装拆的场合
 - 螺纹的旋入深度及螺纹孔的尺寸要求同双头螺柱
- 紧定螺钉连接是利用紧定螺钉旋入并穿过一零件，以其末端压紧或联入另一零件，用以固定两零件之间的相互位置，并可传递不大的力或扭矩多用于轴上零件的连接

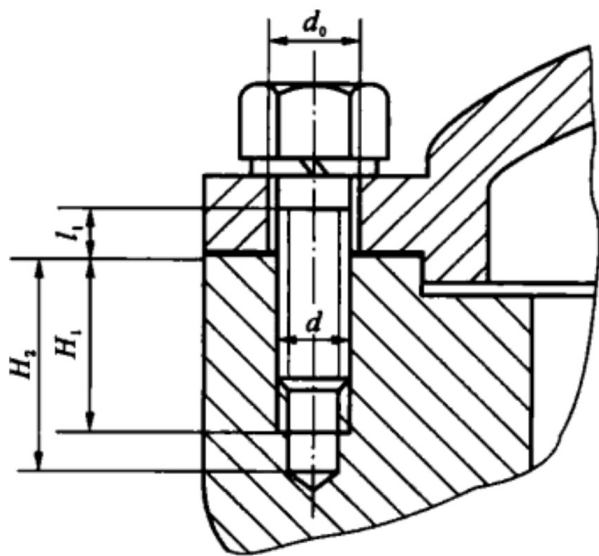


图 10-5 螺钉连接

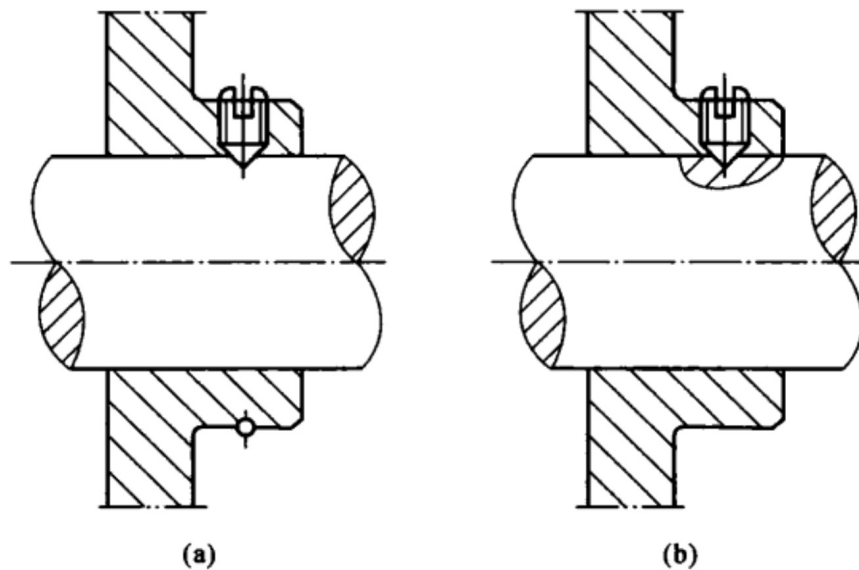


图 10-6 紧定螺钉连接

螺纹连接设计

螺纹连接的设计任务与主要目的

- 螺纹连接设计的主要任务是：
 - (1) 结构设计，包括确定螺纹连接的类型和螺栓（或螺钉、双头螺柱等）的分布
 - (2) 参数设计，确定螺纹连接件的尺寸
- 由于螺纹连接件均已标准化，所有螺纹连接件的尺寸，均可根据螺栓（或螺钉、双头螺柱等）的大径 d 从手册中查得
 - 确定螺纹连接件尺寸的关键，亦即螺纹连接设计的主要任务之一，是要确定螺栓（或螺钉、双头螺柱等）的大径 d
- 螺纹连接结构设计的主要目的是
 - 要合理地确定连接接合面的几何形状、螺栓的布置形式和防松装置的结构，力求连接安全可靠、各螺栓和连接接合面间受力均匀、便于加工和装配

螺纹连接的结构设计

- (1) 连接接合面的几何形状应与机器的结构形状相适应。一般都设计成轴对称的简单几何形状，这样不但便于加工制造，而且便于对称布置螺栓，使连接的接合面受力比较均匀
- (2) 螺纹连接中，螺栓的数目推荐取为3、4、6、8、12等易于分度的数目，以利于划线钻孔。同一组螺栓的材料直径和长度应尽量相同，以简化结构和便于装配

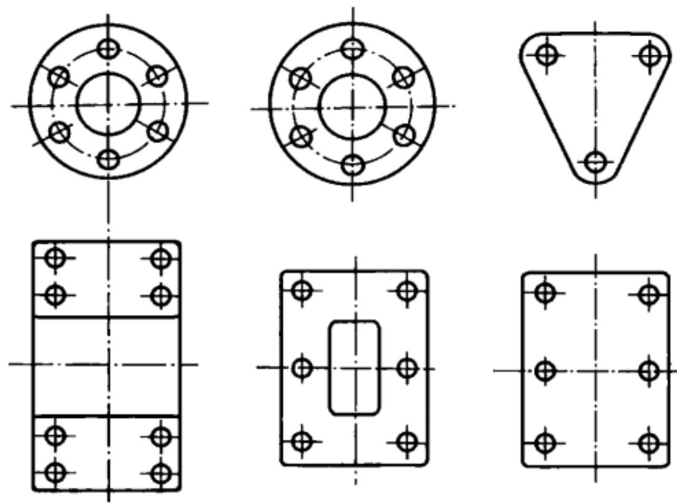


图 10-7 螺纹连接接合面常见的形状

- (3) 在螺纹连接中，螺栓应有合理的钉距、边距，注意留有足够的扳手空间。有关扳手空间的具体尺寸，可查阅有关手册。螺栓之间的钉距 t 大致可按如下方式选取：

- 一般情况 $t = (5 \sim 8)d$
- 要求接合严格密封 $t = 2.5d$
- 对接合面无要求时 $t = 10d$

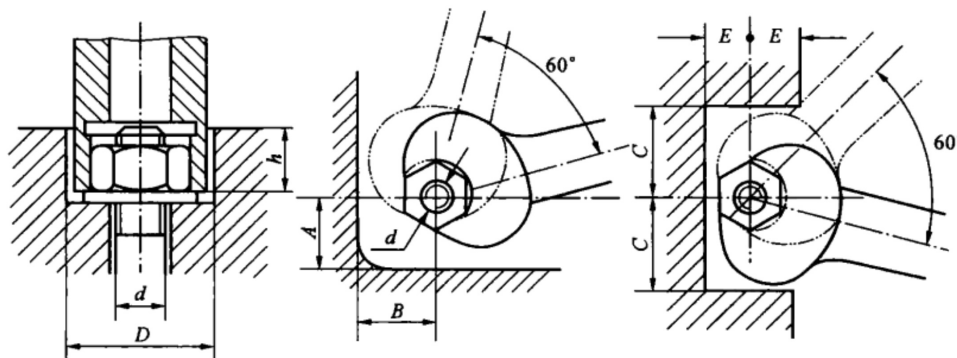


图 10-8 装拆螺栓的扳手空间

螺纹连接的结构设计

- (4) 螺栓头、螺母与底面的支承面应平整并与螺栓轴线相垂直，以免引起偏心载荷而削弱螺栓的强度。为此，可将被连接件上的支承面做成凸台或沉头座等
- (5) 在螺纹连接中，一般都应设计有可靠的防松装置

连接用的三角形螺纹，般都有自锁作用，此外，螺纹连接中还存在支承面的摩擦力矩。因此，在常温和静载下，螺纹连接一般不会自行松脱

在冲击、振动和变载荷作用下，螺纹之间的摩擦力可能瞬时消失，连接有可能自松，从而影响正常工作，甚至发生严重事故

当温度变化较大或在高温条件下工作时，由于螺栓与被连接件的温度变形差或材料的蠕变，也可能发生连接的自松。因此，设计螺纹连接时，必须考虑防松

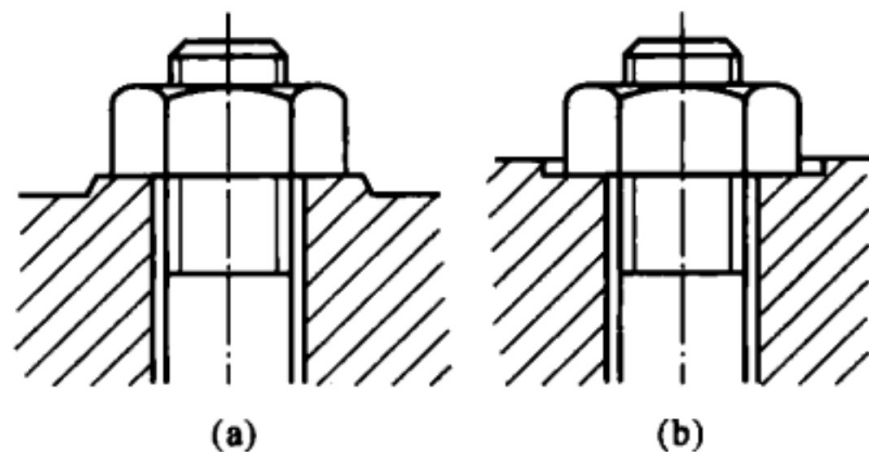


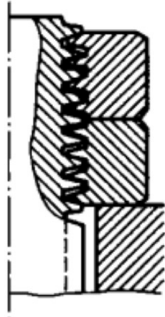
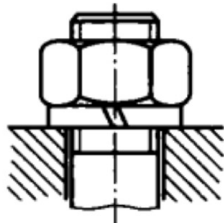
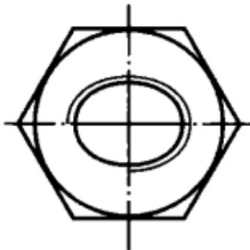

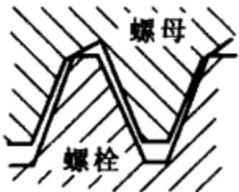
图 10-9 凸台与沉头座

(a) 凸台；(b) 沉头座

螺纹连接的结构设计

- 防松的根本问题是防止螺纹副的相对转动
- 防松的措施很多，按其工作原理，主要分为：
 - 摩擦防松
 - 机械防松
 - 破坏螺纹副之间的关系防松
- 相应的防松原理和方法如表所示

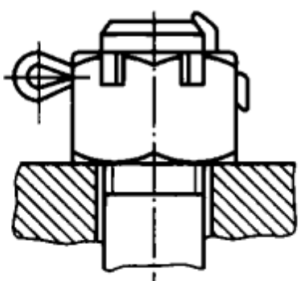
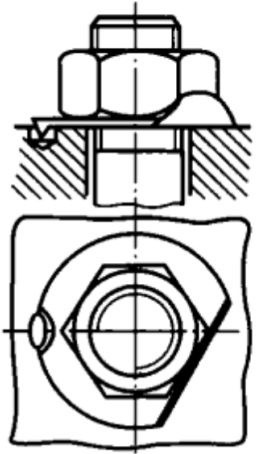
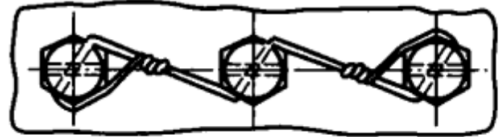
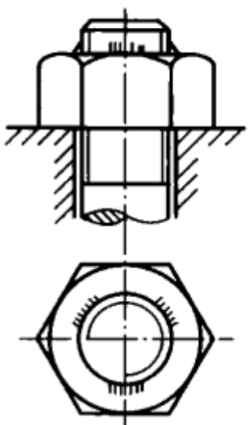
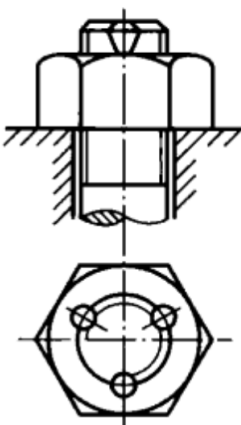
表 10-1 防松原理和方法

防松原理	防松装置或方法		
利用摩擦 （使螺纹副中有不随连接载荷而变的压力，因而始终有摩擦力矩防止相对转动。压力可由螺纹副纵向或横向压紧而产生）	对顶螺母 	弹簧垫圈 	
	两螺母对顶拧紧，螺栓旋合段受拉而螺母受压，从而使螺纹副纵向压紧	利用拧紧螺母时，垫圈被压平后的弹性力使螺纹副纵向压紧	
	金属锁紧螺母 	尼龙圈锁紧螺母 	楔紧螺纹锁紧螺母 
	利用螺母末端椭圆口的弹性变形箍紧螺栓，横向压紧螺纹	利用螺母末端的尼龙圈箍紧螺栓，横向压紧螺纹	利用楔紧螺纹，使螺纹副纵横压紧

螺纹连接设计

螺纹连接的结构设计

- 防松的根本问题是防止螺纹副的相对转动
- 防松的措施很多，按其工作原理，主要分为：
 - 摩擦防松
 - 机械防松
 - 破坏螺纹副之间的关系防松
- 相应的防松原理和方法如表所示

防松原理	防松装置或方法		
<p>直接锁住 (利用便于更换的金属元件约束螺纹副)</p>	<p>开口销与槽形螺母</p>  <p>利用开口销使螺栓螺母相互约束</p>	<p>止动垫片</p>  <p>垫片约束螺母而自身又约束在被连接件上(此时螺栓应另有约束)</p>	<p>串联金属丝</p>  <p>利用金属丝使一组螺钉头部相互约束,当有松动趋势时,金属丝更加拉紧</p>
<p>破坏螺纹副关系 (把螺纹副转变为非运动副,从而排除相对转动的可能)</p>	<p>焊住</p> 	<p>冲点</p> 	<p>粘合</p> <p>在螺纹副间涂金属粘接胶</p>

螺纹连接的参数设计

- 根据螺栓连接受载前是否旋紧螺母，使螺栓承受预紧力 F' 和螺纹间摩擦力矩 T 的作用
 - 松螺栓连接（不受预紧力 F' 和螺纹间摩擦力矩 T 的作用）
 - 紧螺栓连接（受预紧力 F' 和螺纹间摩擦力矩 T 的作用）

- 吊钩螺栓连接为松螺栓连接（起重机或起重滑轮上常用这种螺栓连接），其工作时只受工作拉力的作用，即螺栓所受的总拉力下是工作拉力 F

- 紧螺栓连接的受力分析
 - 根据螺栓连接中用于直接平衡外载荷的力不同
 - 1) 靠被连接件接合面间的摩擦力承受外载荷的螺栓连接
 - 2) 靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接
 - 3) 靠螺栓自身剪切变形承受外载荷的螺栓连接

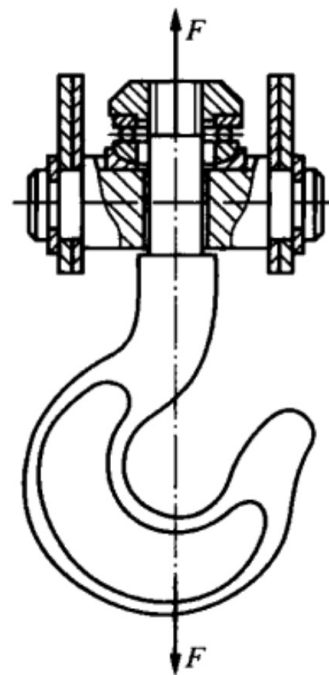


图 10-10 吊钩螺栓连接

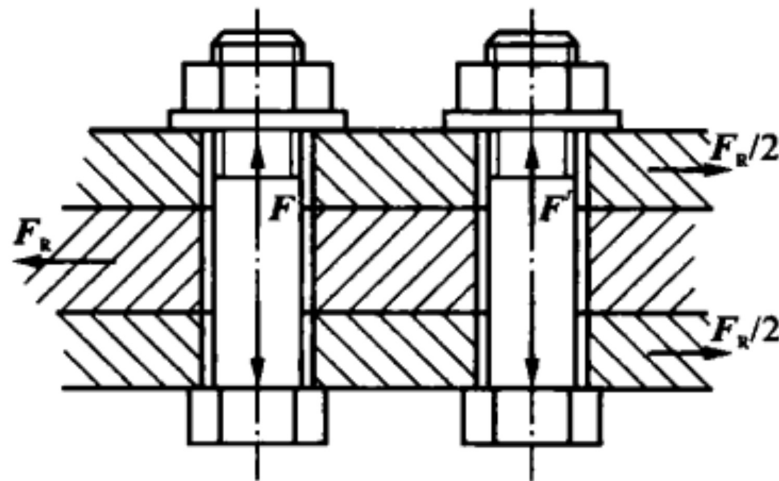
靠被连接件接合面间的 承受外载荷的螺栓连接 (1)

- 图示为一种靠被连接件接合面间的摩擦力承受外载荷的螺栓连接

- 螺栓杆与被连接件上的孔壁之间有间隙（这样，螺栓的精度和孔的精度均可较低，可降低制造成本）
- 其特点是，螺栓不直接承受外载荷，靠螺栓旋紧后使被连接件之间产生正压力，进而产生摩擦力来抵抗外载荷（属紧螺栓连接）

- 因此，这类螺纹连接受载后，螺栓仅受因旋紧螺母而产生的预紧力为 F' 和螺纹间的摩擦力矩 T_1 的作用，其中

$$T_1 = F' \frac{d_2}{2} \tan(\lambda + \rho_v)$$

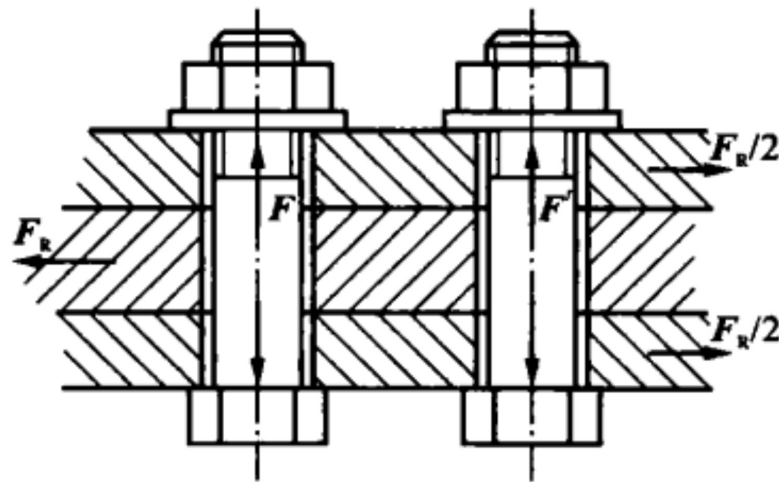


预紧力 F' 使螺栓危险截面上产生拉应力 σ ，摩擦力矩 T_1 则使螺栓危险截面上产生剪应力 τ 。

根据第四强度理论，两种应力可用一种当量拉应力表示

靠被连接件接合面间的 承受外载荷的螺栓连接 摩擦力 (2)

- 经理论分析，对于M10~M68的普通螺栓，摩擦力矩的作用相当于使拉伸载荷增大30%
 - 即可将 F' 增大30%来考虑 T_1 的影响，认为螺栓所受的当量拉力为 $F_v = 1.3F'$
 - 对于这类连接，受力分析的目的是要确定螺栓上所受预紧力 F'
- 下面仅以接合面为平面，横向载荷 F_R 的作用线与螺栓轴线垂直，并通过螺栓组的对称中心的螺栓连接为例，分析如何确定其预紧力 F'
 - 对于这类连接，设计时，通常是以连接的接合面不滑移作为计算准则
 - 根据力的平衡条件，有 $F'\mu zm > K_f R$



由此，可求得每个螺栓的预紧力为

$$F' = \frac{K_f R}{\mu zm}$$

- μ : 接合面间的摩擦系数，查表
- z : 螺栓个数
- m : 接合面对数
- K_f : 考虑摩擦传力的可靠性系数， $K_f = 1.1 \sim 1.3$

靠被连接件接合面间的 承受外载荷的螺栓连接 (3)

- 这种连接螺栓的旋紧力往往很大
 - 若 $z = 1$ 、 $m = 1$ ，取 $\mu = 0.1$ ， $K_f = 1.2$ ，则 $F' = 12R$

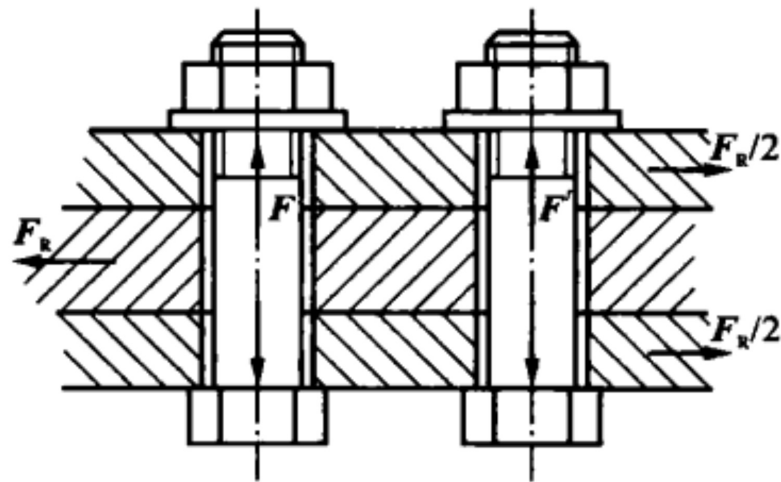


表 10-2 连接接合面间的摩擦系数

被连接件	接合面的表面状态	摩擦系数 μ
钢或铸铁零件	干燥的机加工表面	0.10~0.16
	有油的机加工表面	0.06~0.10
钢结构构件	经喷砂处理	0.45~0.55
	涂覆锌漆	0.35~0.40
	轧制、经钢丝刷清理浮锈	0.30~0.35
铸铁对砖料、混凝土或木材	干燥表面	0.40~0.45

由此，可求得每个螺栓的预紧力为

$$F' = \frac{K_f R}{\mu z m}$$

- μ : 接合面间的摩擦系数，查表
- z : 螺栓个数
- m : 接合面对数
- K_f : 考虑摩擦传力的可靠性系数， $K_f = 1.1 \sim 1.3$

靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

- 进行这类螺栓连接的受力分析时，为了简化计算，假定：
 - (1) 在螺栓连接中，各螺栓的拉伸刚度和预紧力大小均相同
 - (2) 螺栓工作时所受的应力在其材料的弹性范围之内

- 图示为一受拉螺栓连接的实例
(连接压力容器的螺栓连接)

- 这种螺栓连接的特点是，连接受载后，螺栓组中每个螺栓（或受载最大的某些螺栓）被拉伸，且直接平衡外载荷

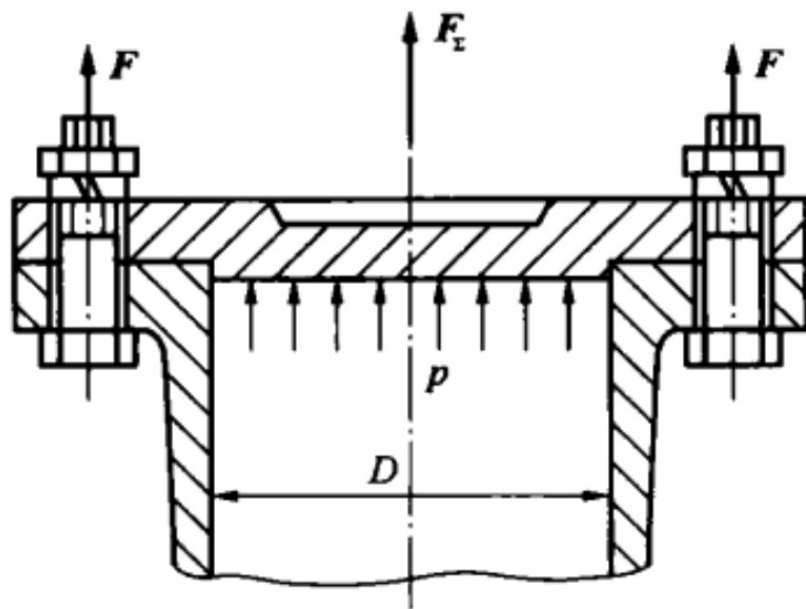


图 10-13 连接压力容器的螺栓连接

靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

- 下面讨论这类螺栓连接工作时所受的总拉力
 - 这类螺栓连接，安装时必须拧紧，这时，螺栓受预紧力 F' 和螺纹间的摩擦力矩 T_1 的作用
 - 承受工作拉力 F 后，由于螺栓和被连接件的弹性变形，螺栓所受的总拉力不等于预紧力 F' 和工作拉力 F 之和，其大小与螺栓的刚度 C_1 ，被连接件刚度 C_2 等因素有关系
 - 当螺栓和被连接件的应变在弹性范围内时，各零件的受力可根据静力平衡和变形协调关系来确定

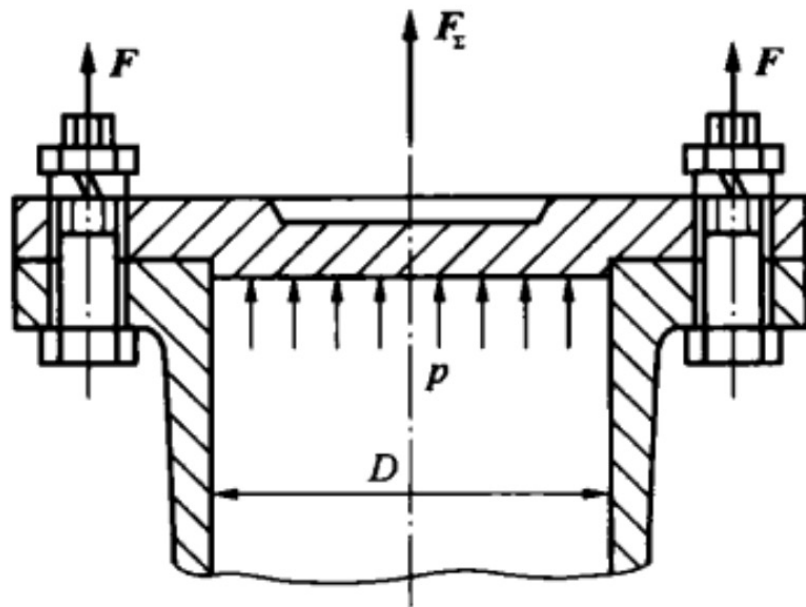


图 10-13 连接压力容器的螺栓连接

靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

- 图示为一靠螺栓自身的拉伸变形直接承受外载荷的单个螺栓连接的受力变形图
 - 螺栓受预紧力 F' 和轴向工作拉力 F 作用

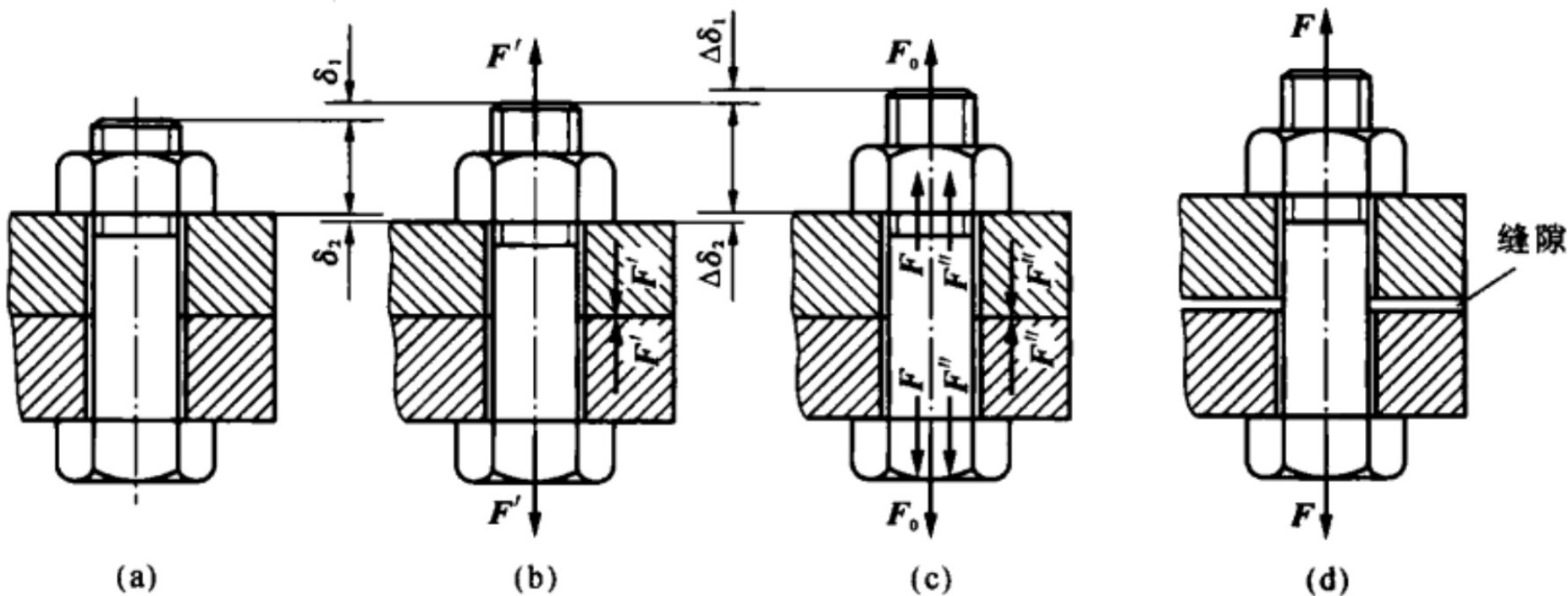
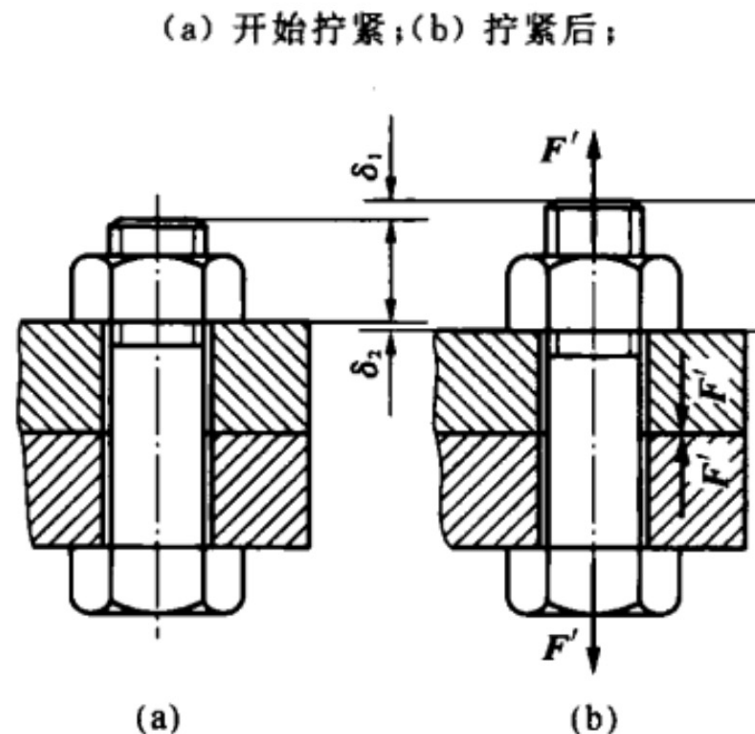


图 10-14 螺栓和被连接件的受力与变形

(a) 开始拧紧；(b) 拧紧后；(c) 受工作载荷时；(d) 工作载荷过大时

靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

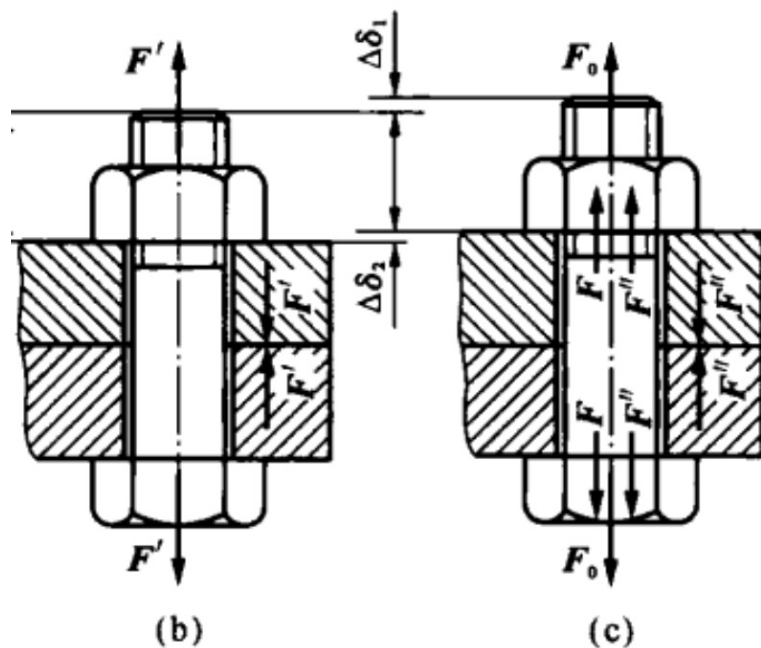
- (a) 为螺母刚好拧到与被连接件接触，此时螺栓与被连接件均未受力，因而也不产生变形
- (b) 为螺母已拧紧，但尚未承受工作拉力的情况，这时，螺栓受预紧力 F' 的作用
 - 在预紧力 F' 的作用下，螺栓产生伸长变形 δ_1 ，被连接件产生压缩变形 δ_2
 - 根据静力平衡条件，虽然螺栓所受的拉力与被连接件所受的压力大小相等，并均为 F' 但由于一般两者刚度不同，所以它们的变形不同 ($\delta_1 \neq \delta_2$)



靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

- (c) 螺栓受工作拉力 F 后的情况
 - 这时，螺栓拉力增大到 F_0 ，拉力增量为 $F_0 - F'$ ，伸长增量为 $\Delta\delta_1$ ，
 - 而被连接件随之部分放松，其受压力减小到 F'' （称为剩余预紧力），压缩减量 $\Delta\delta_2$
- 由于连接件和被连接件变形的相互制约和协调，被连接件压缩变形的减量等于连接件（即螺栓）拉伸变形的增量，也就是： $\delta_1 = \delta_2$
- 从而可知，紧螺栓连接受轴向载荷后，被连接件由于部分（亦可能全部）恢复弹性变形，因而，其反作用在螺栓上的力已不是原来的预紧力 F' ，而是剩余预紧力 F''

(b) 拧紧后；(c) 受工作载荷时；



所以，这类螺栓连接，螺栓所受的总拉力 F_0 应等于剩余预紧力 F'' 与工作拉力 F 之和，即 $F_0 = F'' + F$

靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

• (c) 螺栓受工作拉力 F 后的情况

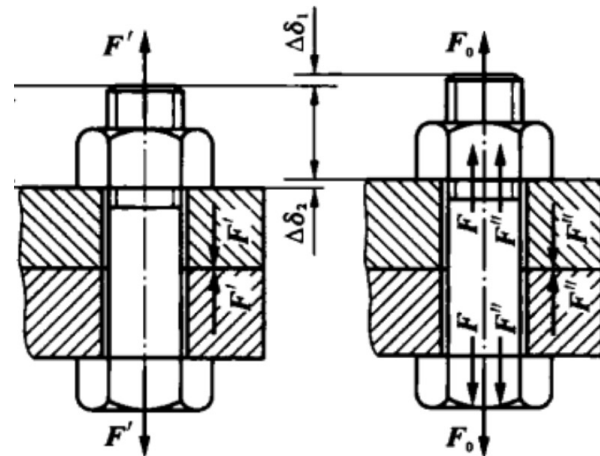
• 由下图分析可知

$$\bullet F' = F'' + \frac{C_2}{C_1+C_2} F; \quad F'' = F' - \frac{C_2}{C_1+C_2} F$$

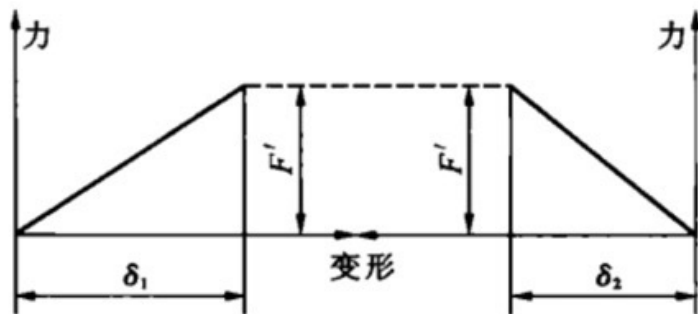
$$\bullet F_0 = F' + \frac{C_1}{C_1+C_2} F$$

• $\frac{C_1}{C_1+C_2}$ 为相对刚度

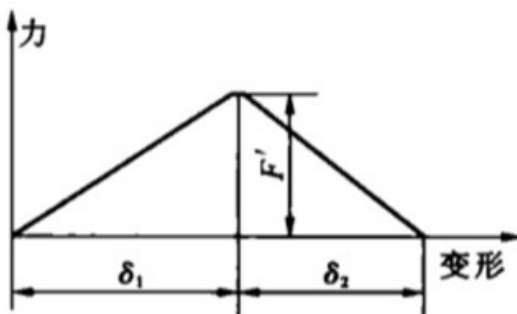
• 其大小与螺栓及被连接件的材料、结构、尺寸和垫片等因素有关，其值在 0~1 之间



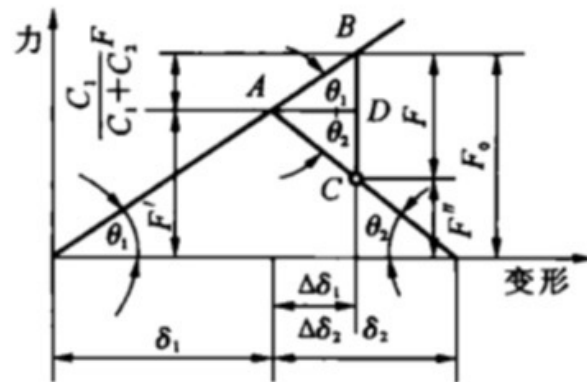
(b) 拧紧后; (c) 受工作载荷时;



(a)



(b)



(c)

图 10-15 螺栓和被连接件的力与变形的关系

(a) 拧紧时; (b) (a) 图中两线并拢; (c) 受工作载荷时

靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

• (c) 螺栓受工作拉力 F 后的情况

• $F_0 = F' + \frac{C_1}{C_1+C_2} F$ ($\frac{C_1}{C_1+C_2}$ 为相对刚度, 其值在 0~1 之间)

• $F_0 \approx F'$

• 若被连接件的刚度 C_2 很大 (或采用刚性薄垫片), 而螺栓的刚度 C_1 很小 (如采用细长或空心螺栓) 时, 则相对刚度趋于零

• $F_0 \approx F' + F$

• 反之, 相对刚度趋于 1

• 为降低螺栓的受力, 提高螺栓连接的承载能力, 应使 $\frac{C_1}{C_1+C_2}$ 尽可能小一些

• 可以通过计算或实验确定

表 10-3 螺栓的相对刚度

被连接件(为钢时)所用垫片类别	$C_1/(C_1+C_2)$
金属垫片(或无垫片)	0.2~0.3
皮革垫片	0.7
铜皮石棉垫片	0.8
橡胶垫片	0.9

靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

- (d) 螺栓工作载荷过大时连接出现间隙的情况，这是不允许的
 - 为保证连接的刚性或紧密性， F'' 应大于零
 - 下表给出了不同情况下剩余预紧力的大致范围，可供选择 F'' 时参考
 - 由于这类螺栓连接属紧螺栓连接，考虑到有可能在工作载荷下拧紧螺母，螺纹间还将产生摩擦力矩 T_1 ，由于 T_1 的作用，将使螺栓所受的拉伸载荷增大30%，即螺栓所受的当量拉力应为 $F_v = 1.3F_0$

(d) 工作载荷过大时

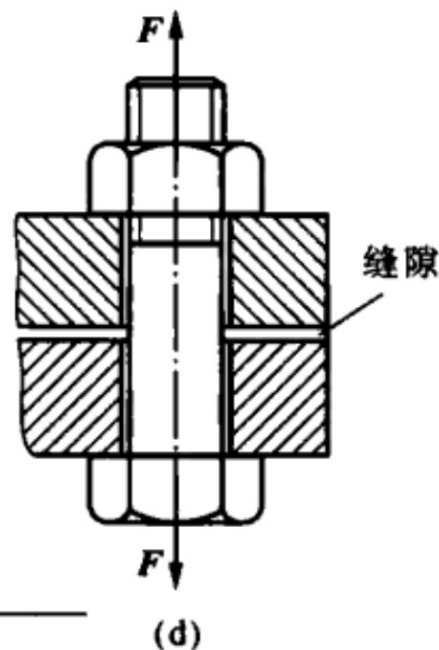


表 10-4 剩余预紧力 F'' 与工作载荷 F 的关系

一般连接	工作载荷稳定	$F'' = (0.2 \sim 0.6)F$
	工作载荷变化	$F'' = (0.6 \sim 1.0)F$
有紧密性要求		$F'' = (1.5 \sim 1.8)F$
地脚螺栓连接		$F'' \geq F$

靠螺栓自身拉伸变形承受外载荷的螺栓连接

- 对于图示的受拉螺栓连接，螺栓均匀分布，工作拉力 F_{Σ} 的作用线与螺栓的轴线平行，且通过螺栓连接的形心，
 - 所以，每个螺栓所受的工作拉力相等，其大小为
 - $F = \frac{F_{\Sigma}}{z}$
 - z : 螺栓数目
- 对于各种不同的螺栓连接，螺栓所受的拉力，均可根据力的平衡和变形协调关系求得

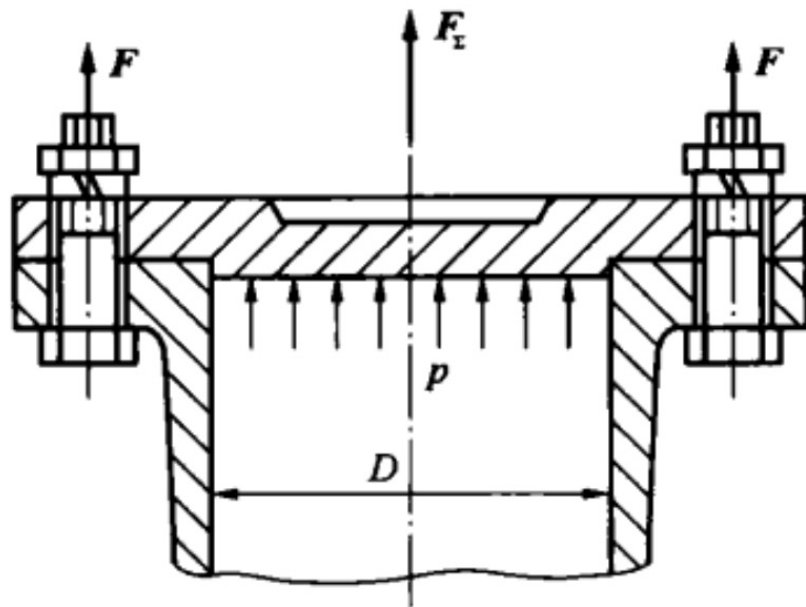


图 10-13 连接压力容器的螺栓连接

靠螺栓自身剪切变形承受外载荷的螺栓连接

- 图示为一受剪螺栓连接的实例，这种螺栓连接的特点是：
 - 连接受载后，螺栓组中每个螺栓均受剪切应力和挤压应力，且靠此直接承受外载荷
 - 这种螺栓连接一般拧紧力矩不大，预紧力和摩擦力矩可以忽略

- 如图所示，若每个螺栓承受的工作载荷均为剪力 F_S ，根据平衡条件得：

- $F_S z = F_R$ 或 $F_S = F_R / z$
- z : 螺栓数目

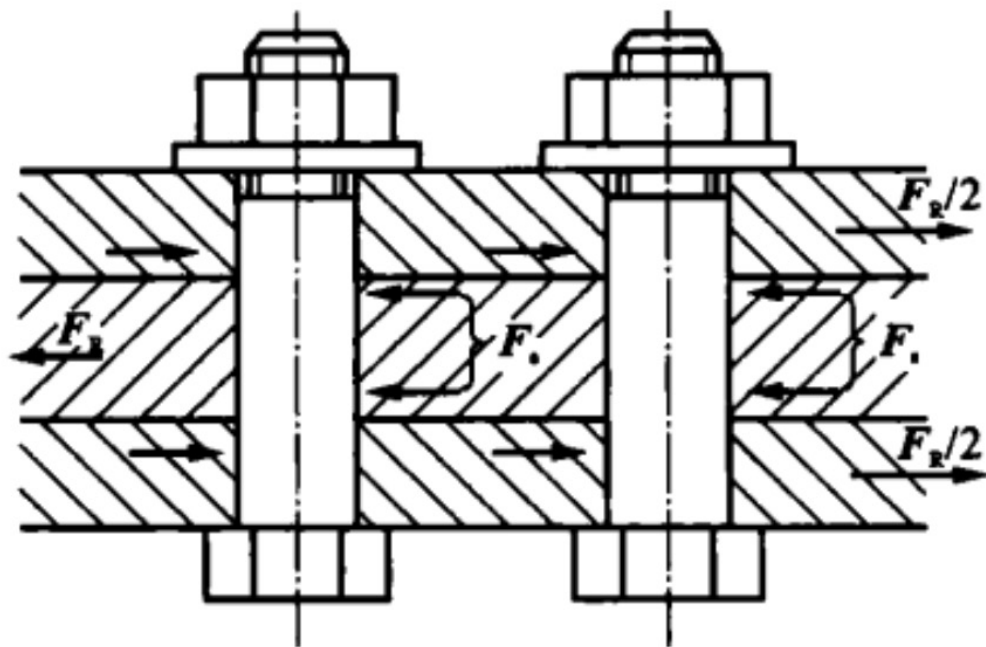


图 10-17 受横向载荷的铰制孔螺栓连接

主要失效形式和约束强度条件

- 单从螺栓受力的情况来看，主要有两种类型的螺栓
 - 受拉螺栓（如下左图中的螺栓）
 - 受剪螺栓（如下右图中的螺栓）

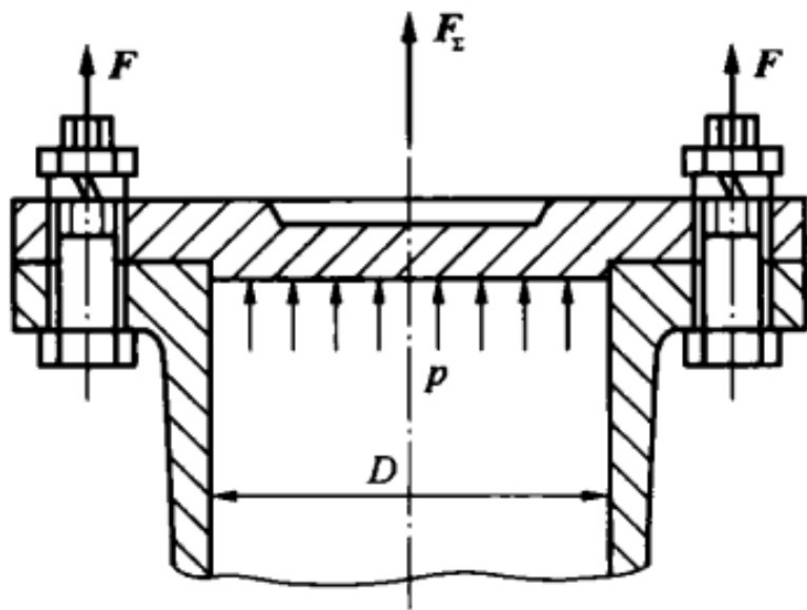


图 10-13 连接压力容器的螺栓连接

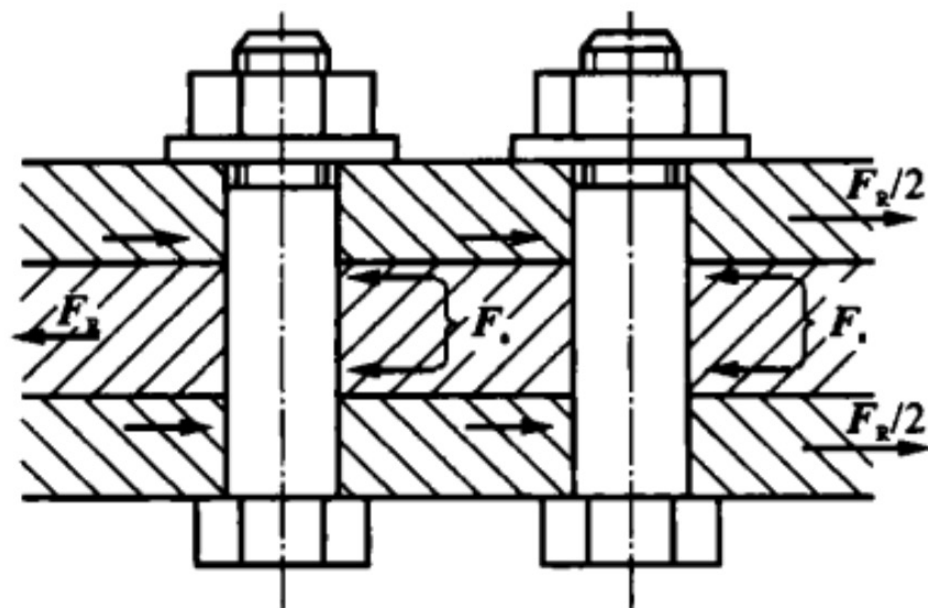


图 10-17 受横向载荷的铰制孔螺栓连接

受拉螺栓的主要失效形式和约束强度条件

- 根据统计分析，受拉螺栓的主要失效形式为
 - 螺栓杆的塑性变形或断裂
- 若近似地把螺栓小径所对应的剖面视为危险剖面，则受拉螺栓的约束强度条件为
 - $\sigma_{ca} = \frac{4F_v}{\pi d_1^2} \leq [\sigma]$ (MPa) 或 $d_1 \geq \sqrt{\frac{4F_v}{\pi[\sigma]}}$ (mm)
 - F_v : 螺栓所受的当量拉力; $[\sigma]$: 螺栓连接的许用应力

表 10-6 紧螺栓连接的许用应力及安全系数

许用应力	不控制预紧力时的安全系数 S				控制预紧力时的安全系数 S
	直径	M6~M16	M16~M30	M30~M60	不分直径
$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$	材料				
	碳钢	4~3	3~2	2~1.3	1.2~1.5
合金钢	5~4	4~2.5	2.5		

注: 松螺栓连接时, 取 $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$, $S = 1.2 \sim 1.7$ 。

受剪螺栓的主要失效形式和约束强度条件

- 这种螺栓连接，其螺栓杆与孔壁之间无间隙，其接触表面受挤压，在连接接合面处，螺杆受剪切，这种连接的主要失效形式为

- 螺栓杆和孔壁间压溃或螺栓杆被剪断

- 则其约束强度条件如下：

- 螺栓杆与孔壁的挤压强度条件： $\sigma_p = \frac{F_s}{d_0 h} \leq [\sigma_p]$ (MPa)

- 螺栓杆的剪切强度条件： $\tau = \frac{4F_s}{\pi d_0^2 m} \leq [\tau]$ (MPa)

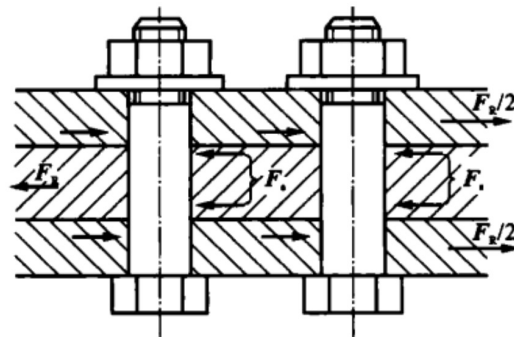


图 10-17 受横向载荷的铰制孔螺栓连接

表 10-7 许用剪切和挤压应力及安全系数

被连接件材料	剪 切		挤 压	
	许用应力	安全系数 S	许用应力	安全系数 S
钢	$[\tau] = \sigma_s / S$	2.5	$[\sigma_p] = \sigma_s / S$	1.25
铸铁			$[\sigma_p] = \sigma_b / S$	2~2.5

- F_s : 螺栓所受的工作剪力 (N)

- d_0 : 螺栓受剪面直径 (螺栓杆直径, mm)

- m : 螺栓抗剪面数目

- h : 选定计算处的受压高度

- $[\tau]$: 螺栓材料的许用剪切应力 (MPa), 可由上表查得

- $[\sigma_p]$: 螺栓杆或孔壁材料的许用挤压应力 (MPa), 可由上表查取, 考虑到各零件的材料和受挤压高度可能不同, 应选取 $h[\sigma_p]$ 乘积小者计算

螺栓的材料

- 常用的材料主要有Q215、Q235、25和45钢，对于重要的或特殊用途的螺纹连接件，可选用15Cr、20Cr、40Cr、15MnVB、30CrMrSi等机械性能较高的合金钢
- 国家标准规定螺纹连接件按材料的机械性能等级分级，机械性能等级用数字表示，其含义如下表所示
 - 由表可知，这两部分数字（点前和点后）乘积为公称屈服强度极限（ σ_s ）的1/10
 - 螺母（公称高度大于或等于0.8D）的标记代号由可与其相配的最高性能等级螺栓的公称抗拉强度极限（ σ_b ）的1/100表示
 - 螺栓、螺钉、螺柱、螺母的性能等级如表所示

表 10-5 螺栓、螺钉、螺柱、螺母的性能等级

		性能级别										
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 (≤M16)	8.8 (>M16)	9.8	10.9	12.9
$\frac{\sigma_b}{100} \times 10 \times \frac{\sigma_s}{\sigma_b}$	抗拉强度极限 σ_b /MPa	公称 300	400		500		600	800	800	900	1000	1200
	min	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
螺母	屈服强度极限 σ_s /MPa	公称 180	240	320	300	400	480	640	640	720	900	1080
	min	190	240	340	300	420	480	640	660	720	940	1100
螺栓、螺钉、螺柱	布氏硬度 HB	min 90	109	113	134	140	181	232	248	269	312	365
相配合螺母	推荐材料	10 Q215	15 Q235	10 Q215	25 35	15 Q235	45	35	35	35 45	40Cr 15MnVB	30CrMnSi 15MnVB
	性能级别	4或5	4或5	4或5	5	5	6	8或9	8或9	9	10	12
相配合螺母	推荐材料	10 Q215	10 Q215	10 Q215	10 Q215	10 Q215	15 Q235	35	35	35	40Cr 15MnVB	30CrMnSi 15MnVB

注：9.8级仅适用于螺纹直径≤M16 mm的螺栓、螺钉和螺柱。

螺栓的许用应力

- 螺纹连接件的许用应力与载荷性质（静、变载荷）、连接是否拧紧，预紧力是否需要控制以及螺纹连接件的材料、结构尺寸等因素有关

表 10-6 紧螺栓连接的许用应力及安全系数

许用应力	不控制预紧力时的安全系数 S				控制预紧力时的安全系数 S
	直径	M6~M16	M16~M30	M30~M60	不分直径
$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$	材料				
	碳钢	4~3	3~2	2~1.3	1.2~1.5
合金钢	5~4	4~2.5	2.5		

注：松螺栓连接时，取 $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$ ， $S=1.2\sim 1.7$ 。

- 精确选定许用应力必须考虑上述各因素，设计时可参照右表选择

表 10-7 许用剪切和挤压应力及安全系数

被连接件材料	剪 切		挤 压	
	许用应力	安全系数 S	许用应力	安全系数 S
钢	$[\tau] = \sigma_s / S$	2.5	$[\sigma_p] = \sigma_s / S$	1.25
铸铁			$[\sigma_p] = \sigma_b / S$	2~2.5

螺纹连接的设计方法

- 设计的目的是要根据螺纹连接的具体工作条件，确定螺纹连接件的尺寸
- 具体的设计方法如下
 - (1) 根据约束强度条件确定螺栓（或螺钉、双头螺柱）的大径 d

根据螺栓连接的受力情况，通过分析，确定其所属类型

然后计算出受力最大螺栓的拉力 F_v 或剪力 F_s

即可按约束强度条件计算出螺栓的小径 d_1 （或螺栓杆直径 d_0 ）

由所计算出的 d_1 或 d_0 ，根据标准即可查出相应的螺栓大径 d

$$F_v = 1.3F_0 \text{ 或 } F_v = 1.3F' \quad d_1 \geq \sqrt{\frac{4F_v}{\pi[\sigma]}} \quad (\text{mm})$$

$$F_s z = F_R \text{ 或 } F_s = F_R/z$$

- (2) 由螺栓大径 d ，根据标准，查出全部螺纹连接件的尺寸和相应代号
 - 需要指出的是，在很多情况下，螺纹的大径可以根据具体行业提供的经验数据选择，不一定都要进行详细的计算
 - 但大径确定后，一定要按标准确定各个螺纹连接件的尺寸和代号

螺旋传动

螺旋传动是用螺杆和螺母传递运动和动力的机械传动，主要用于把旋转运动转换成直线运动，将转矩转换成推力

普通滑动螺旋传动

- 摩擦阻力大，传动效率低（一般为0.3~0.4），磨损快，但结构简单，便于制造，易于自锁，应用广泛

滚动螺旋传动和静压螺旋传动

- 摩擦阻力小，传动效率高（一般为0.9以上），但结构复杂，只在重要的传动中使用

螺旋传动的类型

螺旋传动按螺旋副摩擦的性质不同，可分为

- 1) 滑动螺旋传动：普通滑动螺旋传动和静压螺旋传动
- 2) 滚动螺旋传动

螺旋按其用途，还可分为传动螺旋、传导螺旋和调整螺旋三种类型

传动螺旋

- **传动螺旋**：它以传递动力为主，要求用较小的转矩产生较大的轴向推力
- 一般为间歇工作，工作速度不高，而且通常要求自锁
- 如右图所示千斤顶
 - 搬动手柄对螺杆加一个转矩，则螺杆旋转并产生很大轴向推力以举起重物

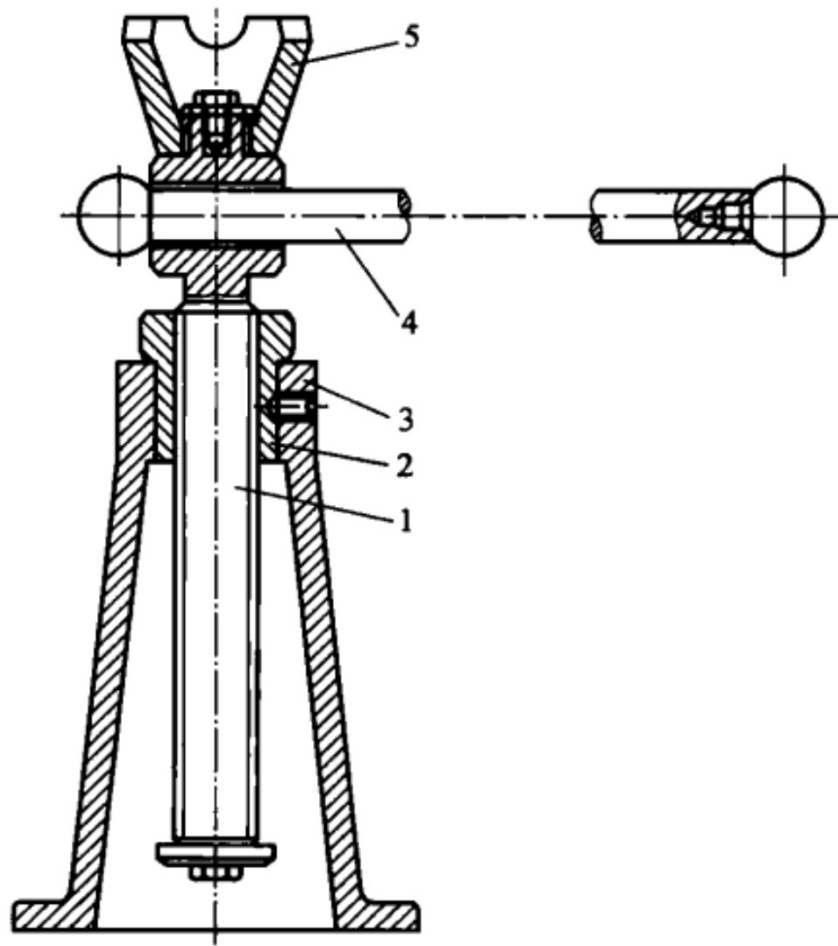


图 10-18 螺旋举重器(千斤顶)

1—螺杆；2—螺母；3—底座；4—手柄；5—托杯

传导螺旋与调整螺旋

- **传导螺旋**：以传递运动为主，常要求具有较高的运动精度
 - 一般在较长时间内连续工作，工作速度也较高
 - 例如用于机床进给机构的传导螺旋，螺杆旋转，推动螺母连同滑板和刀架作直线运动
- **调整螺旋**：用以调整并固定零件或部件之间的相对位置
 - 一般不在工作载荷作用下转动，要求能自锁，有时也要求有较高的精度

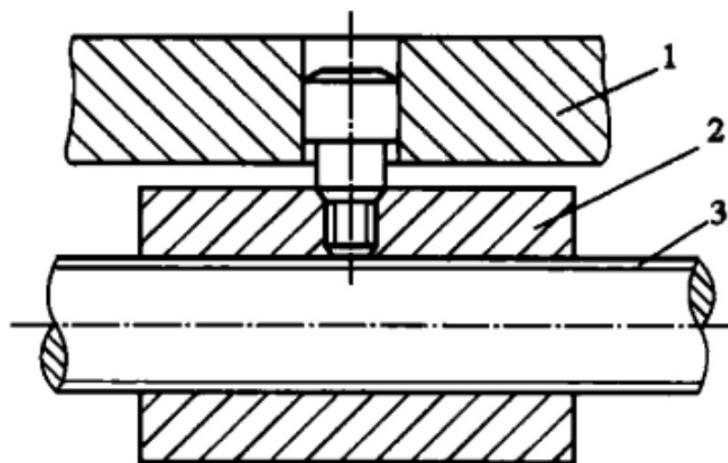


图 10-19 机床进给用螺旋

1—滑板；2—螺母；3—螺杆

螺旋传动的运动形式

- 按螺杆和螺母的相对运动关系分类
 - ① 螺杆转动，螺母移动
 - ② 螺母固定，螺杆转动并移动
 - ③ 螺母转动，螺杆移动

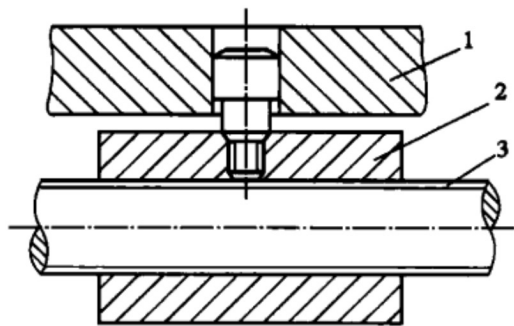


图 10-19 机床进给用螺旋

1—滑板；2—螺母；3—螺杆

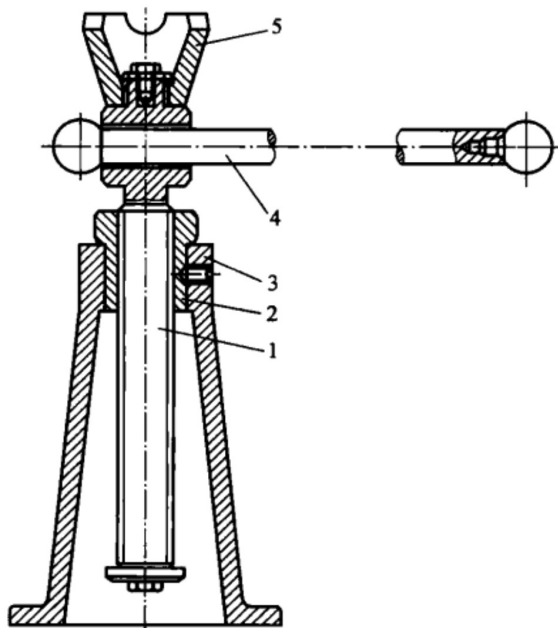


图 10-18 螺旋举重器(千斤顶)

1—螺杆；2—螺母；3—底座；4—手柄；5—托杯

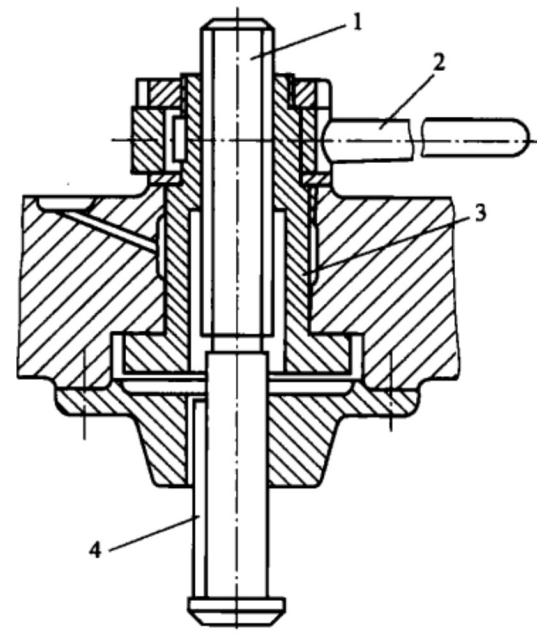


图 10-20 螺母转动、螺杆移动的机构

1—螺杆；2—手柄；3—螺母；4—导键

传动螺旋的设计特点

滑动螺旋传动常用的螺纹牙型有矩形、梯形、锯齿形和三角形

- 梯形螺纹应用最广
- 锯齿形螺纹用于单面受力的场合
- 矩形螺纹由于工艺性较差，强度较低等原因，应用较少
- 三角形螺纹在受力不大的调整螺旋中有时被采用

螺杆常用右旋螺纹

- 只在某些特殊的场合，如车床横向进给丝杠，为了符合操作习惯，才采用左旋螺纹

传力螺旋和调整螺旋要求自锁时，应采用单线螺纹

- 对于传导螺旋，为了提高其传动效率和直线运动的速度，可采用多线（3~4线）螺纹

在螺旋传动的结构设计中，当螺杆短而粗且垂直布置时，如起重和加压装置的传力螺旋，可以利用螺母本身作为支承

- 当螺杆细长且水平布置时，像机床的丝杠，应在螺杆的两端或中间附加支承，以提高螺杆的工作刚度
- 对于轴向尺寸较大的螺杆，应考虑采用对接的组合结构代替整体结构，以减少制造工艺上的困难。

传动螺旋的设计特点

- 螺母的结构除要求满足强度条件外，还要考虑其他的一些需要
 - 最常用的是整体螺母，这种螺母结构简单，但由于磨损产生的轴向间隙不能补偿，因此只能用于精度较低的传动螺旋
 - 对于双向传动的传导螺旋，为了消除轴向间隙和补偿旋合螺纹的磨损，避免反向转动时的空行程，可采用一些特殊结构

如图所示的螺母，其右半部可通过一圆螺母定期调节，并用另一圆螺母锁紧

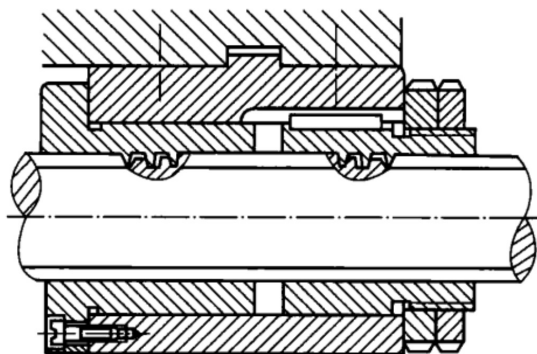


图 10-21 可调螺母

在图所示的滑动螺旋传动结构中采用的是组合螺母，松脱螺钉1，通过转动调整螺钉2使楔块3上下运动，同样可消除轴向间隙和补偿旋合螺纹的磨损

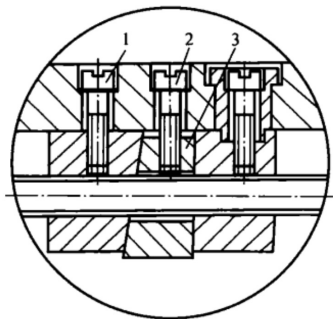


图 10-22 组合螺母

1—固定螺钉；2—调整螺钉；3—调整楔块

如图所示为对开螺母，转动槽形凸轮，则螺母的上、下部分分别上下移动而与螺杆分离，当反转凸轮合紧螺母时，螺纹轴向间隙也能消除（除矩形螺纹外）

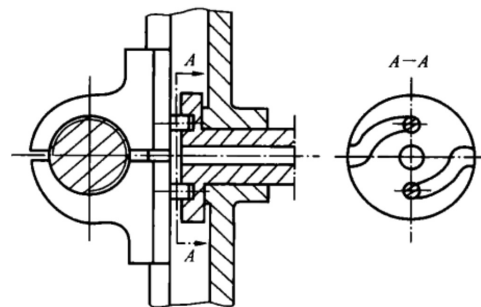


图 10-23 对开螺母

传动螺旋的设计特点

- 在进行螺旋传动的强度计算时，应根据具体的工作条件及可能失效情况，选择相应的计算准则，逐项进行计算
- 但由于螺纹牙间的压力和滑动速度都比较大，因而通常
 - 先根据耐磨性进行计算，初步确定螺旋副的基本尺寸，如螺杆的直径和螺母的厚度等
 - 然后再按照具体的情况进行其他项目的验算

耐磨性计算



螺杆的
强度计算



螺纹牙的
强度校核

耐磨性计算

- 螺纹的耐磨性与工作表面上压力 p 、滑动速度 v 、表面粗糙度及润滑状态等都有关系
 - 在一般加工和润滑条件下，可只检验螺纹工作表面上的压力，以避免造成过度磨损

• 耐磨性计算的约束条件为 $p = \frac{FP}{\pi d_2 h H} \leq [p]$ 或 $d_2 \geq \sqrt{\frac{F}{\psi [p]} \cdot \frac{P}{\pi h}}$

- F : 作用在螺杆上的向力 (N) | $[p]$: 许用比压 (MPa), 其值可查下表
- d_2 : 螺纹中径 (mm) | H : 螺母高度 (mm) | P : 螺距 (mm)
- h : 螺纹接触高度 (mm)
 - 对于梯形和矩形螺纹, $h = 0.5P$
 - 对于锯齿形螺纹, $h = 0.75P$
- ψ : 系数, 定义为 $\psi = \frac{H}{d_2}$
 - 整体螺母, 可取 $\psi = 1.2 \sim 1.5$
 - 剖分式螺母, 可取 $\psi = 2.5 \sim 3.5$
 - 当制造精度较高、载荷较大, 且要求使用寿命较长时, 取 $\psi = 4$

表 10-8 滑动螺旋副材料的许用比压 $[p]$

螺杆-螺母材料	滑动速度 $v/(m \cdot s^{-1})$	许用比压 $[p]$ /MPa
铜-青铜	低速	18~25
	≤ 0.05	11~18
	0.1~0.2	7~10
	> 0.25	1~2
淬火钢-青铜	0.1~0.2	10~13
钢-铸铁	≤ 0.05	12~16
	0.1~0.2	4~7

- 按上式算出 d_2 后, 即可由螺纹标准数据表中查出公称直径 d 和 P , 从而可进一步确定螺母高度 H 等尺寸, 螺母的螺纹圈数一般应小于10

螺杆的强度计算

- 对受力较大的螺杆需进行强度计算，螺杆工作时既受轴向力 F ，又受转矩 T 的作用，螺杆危险剖面上既受压缩（或拉伸）应力，又受剪切应力

- 根据第四强度理论，其强度条件为

$$\sigma_{ca} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{4F}{\pi d_1^2}\right)^2 + 3\left(\frac{T}{0.2d_1^3}\right)^2} \leq [\sigma]$$

- d_1 : 一螺杆的螺纹小径 (mm)
- $[\sigma]$: 螺杆材料的许用应力，一般可取 $[\sigma]=50\sim 80\text{MPa}$

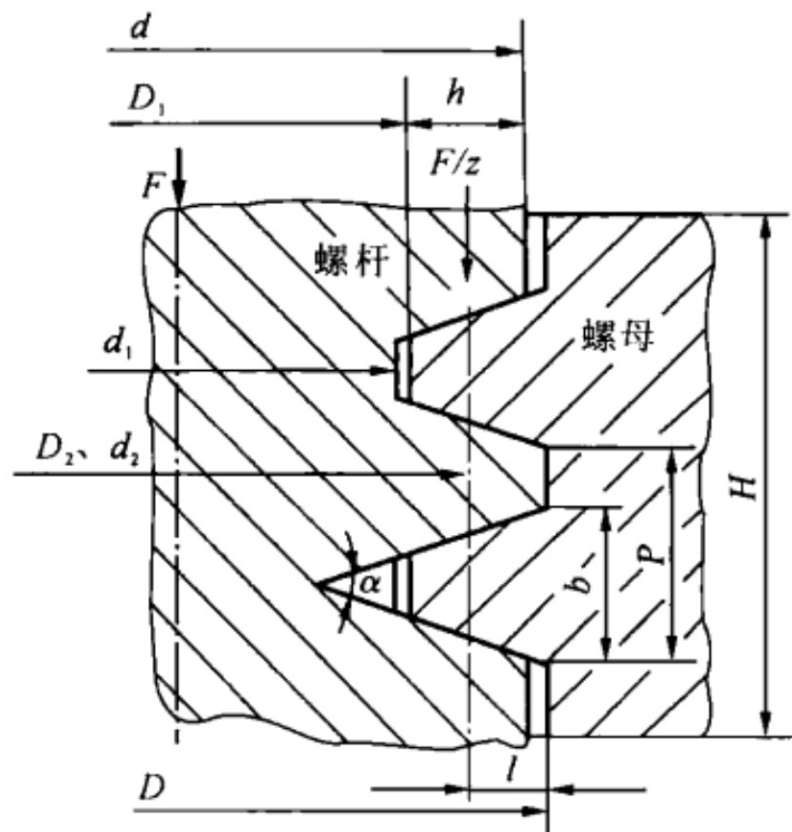


图 10-24 螺纹副受力

螺纹牙的强度校核

- 一般来说，螺母材料的强度比螺杆低，故只需对螺母螺纹进行强度验算，通常验算牙根危险剖面的

- 剪切强度条件：
$$\tau = \frac{F}{\pi D b z} \leq [\tau] \quad (\text{MPa})$$

- 弯曲强度条件：
$$\sigma_b = \frac{(F/z)l}{\pi D b^2 / 6} = \frac{6Fl}{\pi D b^2 z} \leq [\sigma_b] \quad (\text{MPa})$$

□ z : 承载螺纹的圈数 | l : 弯曲力臂 (mm), $l = \frac{D-D_2}{2}$

□ b : 螺纹根部的厚度

□ 矩形螺纹 $b = 0.5P$, 梯形螺纹 $b = 0.65P$, 锯齿形螺纹 $b = 0.75P$

□ $[\tau]$: 螺母材料的许用剪切应力

□ 铸铁 $[\tau] = 40\text{MPa}$, 青铜 $[\tau] = 30\sim 40\text{MPa}$

□ $[\sigma_b]$: 螺母材料的许用弯曲应力

□ 铸铁 $[\sigma_b] = 45\sim 55\text{MPa}$, 青铜 $[\sigma_b] = 40\sim 60\text{MPa}$

- 对于要求自锁的螺旋传动，还须按式 $\lambda \leq \rho_v$ 进行自锁条件的验算

- 长径比大的受压螺杆在工作中可能发生侧向弯曲而失稳，还应对其进行压杆稳定性计算

- 具体计算可参考有关资料

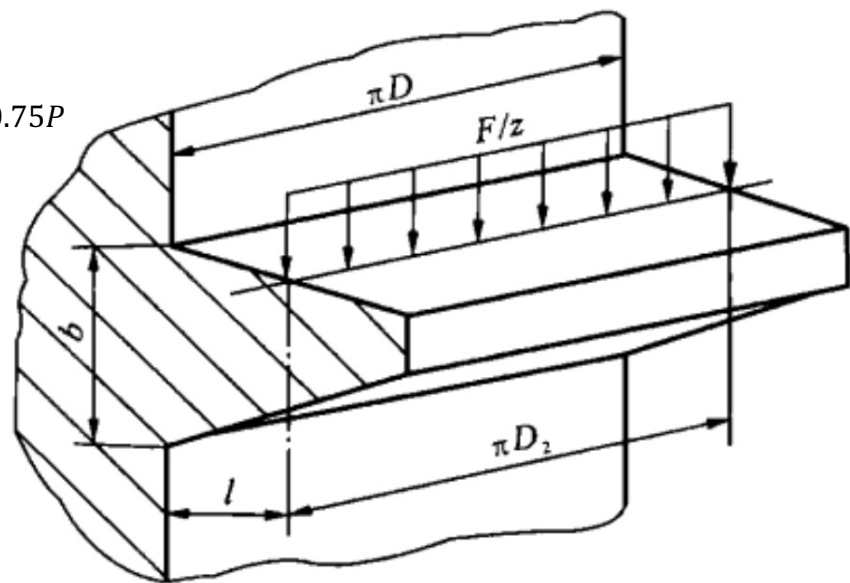


图 10-25 螺母螺纹圈的受力

滚动螺旋传动简介

- 滚动螺旋传动又称滚珠丝杠副，其螺旋副间的滚动体绝大多数为滚珠

□ 螺母与螺杆上都制有螺旋槽，装配好后就组成一个完整的螺旋滚道，滚珠就装填在这个滚道中

□ 螺母螺纹的进出口用导路连起来，当螺杆或螺母回转时，滚珠从一端进入，经另一端进入导路，再返回到入口处，形成螺旋循环滚珠链

□ 这样，因滚珠夹在螺杆与螺母之间，使螺旋副成为滚动摩擦，提高了传动效率和传动精度

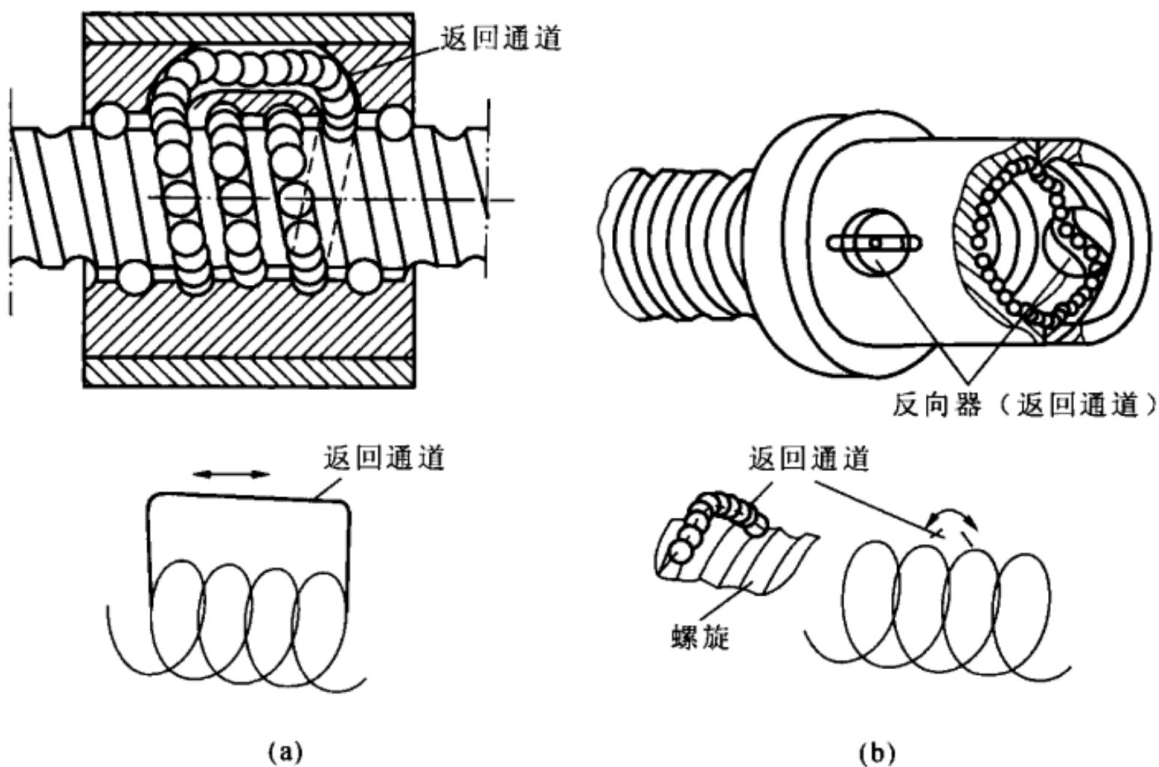


图 10-26 滚珠螺旋传动

(a) 外循环; (b) 内循环

滚动螺旋传动简介

• 滚动螺旋传动

- 具有传动效率高，启动力矩小，传动灵敏、平稳，工作寿命长等优点，在机床、汽车、拖拉机、航空等机械中应用较广
- 但制造工艺比较复杂，特别是长螺杆更难保证热处理及磨削工艺质量，它的刚性和抗振性能较滑动螺旋传动差

外循环的
导路为一
导管，滚
珠在回路
中经导路
时离开螺
杆表面

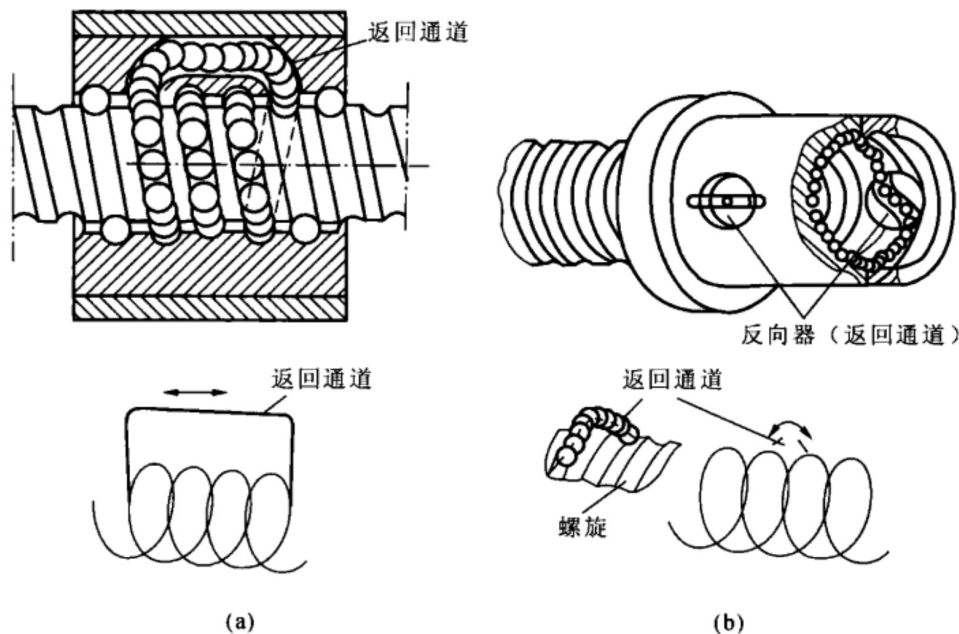


图 10-26 滚珠螺旋传动

(a) 外循环; (b) 内循环

- 内循环时，在螺母上开有侧孔，孔内镶有反向器，将相邻两圈螺纹滚道沟通起来，滚珠通过反向器越过螺杆牙顶进入相邻螺纹滚道，形成一个循环回路
- 一个循环回路里只有一圈滚珠，设有一个反向器
- 滚珠在整个循环过程中不离开螺旋表面

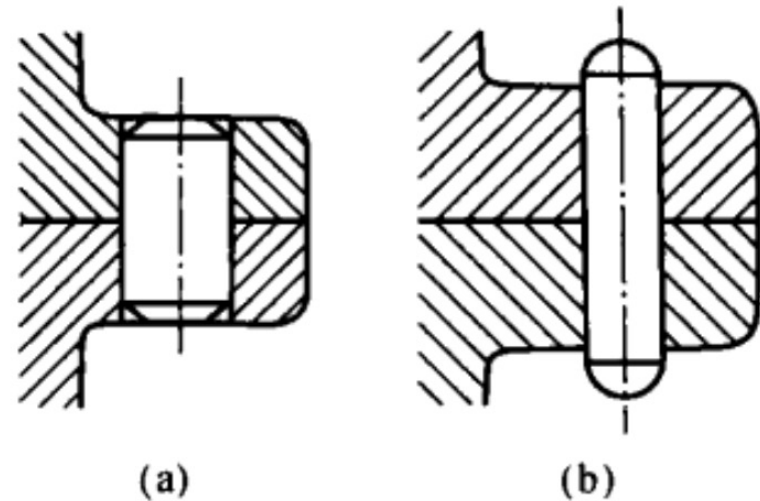


图 10-27 定位销

(a) 圆柱销；(b) 圆锥销

销连接

销的基本形式是圆柱销和圆锥销

销主要用于定位，即固定零件之间的相对位置，是组合加工和装配时的辅助零件

传递扭矩或安全装置

- 用于轴与毂的连接或其他零件的连接，传递不大的载荷
- 还可作为安全装置

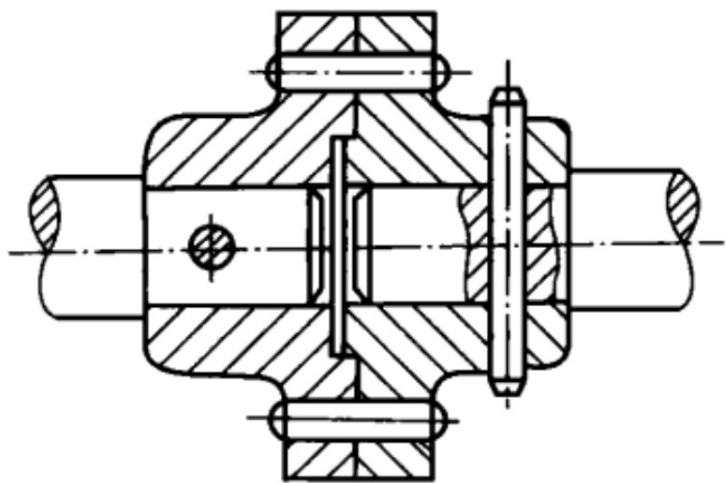


图 10-28 连接销

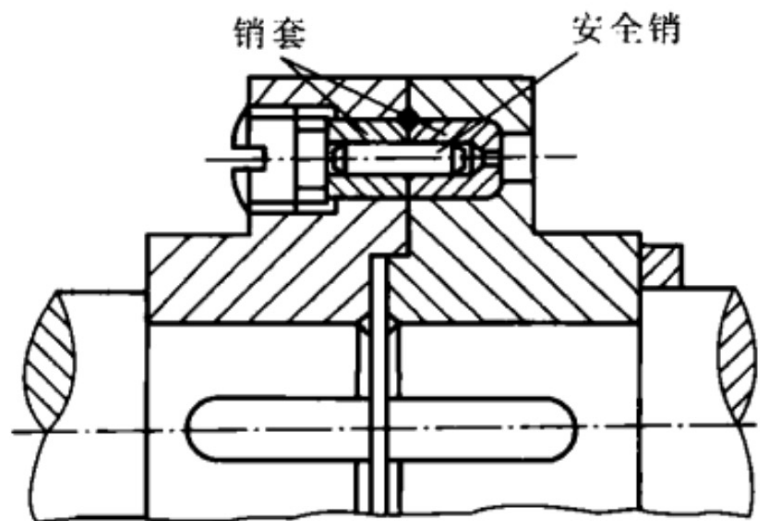


图 10-29 安全销

- 圆柱销利用微量过盈固定在销孔中，多次装拆会降低定位精度
- 圆锥销有1:50的锥度，可自锁，靠锥面挤压作用固定在销孔中，定位精度高，安装也较方便，可多次装拆

槽销、弹性圆柱销

- 槽销用弹簧钢滚压或模锻而成，槽常有三条
 - 沿销全长的平行直槽；沿销全长的楔形槽
 - 一端为短楔槽及中部为短凹槽的槽等
- 槽销压入销孔后，它的凹槽即产生收缩变形，借助材料的弹性而固定在销孔中，销孔无须较光，可多次装拆，多用于传递载荷，对于受振动载荷的连接也适用
 - 有些场合，槽销可代替键和螺栓等使用

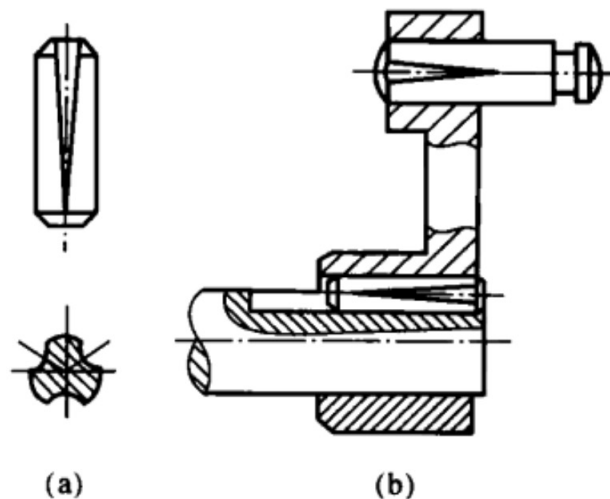


图 10-30 槽销

- 弹性圆柱销
 - 由弹簧钢带卷制成的纵向开缝的圆管，借助于弹性，均匀挤紧在销孔中，对销孔精度要求较低，可多次装拆，用于有冲击振动的场合
 - 但刚性较差，不适用于高精度定位

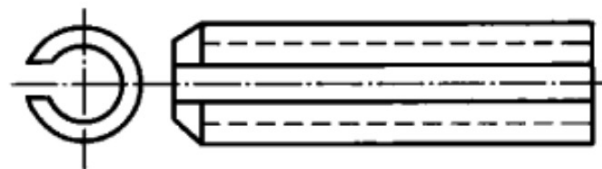


图 10-31 弹性圆柱销

开口销

- 开口销
 - 一种防松零件，用于锁紧其他紧固件

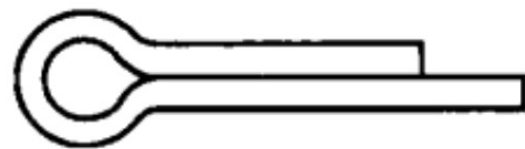


图 10-32 开口销

- 销的类型可根据工作要求选定
 - 用于连接的销，其直径可根据连接的结构特点，按经验或规范确定，必要时再进行强度校核，一般按剪切和挤压强度条件计算定位
- 销通常不受载荷或只受很小的载荷，直径可按结构确定
 - 销在每一被连接件内的长度约为销直径的1~2倍
 - 安全销的直径按过载时被剪断的条件确定。为避免安全销在剪断时损坏孔壁，可在销孔内加销套

焊接与胶接

通过加热或加压，或两者并用，使两工件产生原子间结合的加工工艺和连接方式，称为焊连接，简称焊接。利用胶接剂在连接结合处产生结合力而使两被连接件连接在一起的连接方式，称为胶接

焊接的应用

- 焊接的应用非常广泛，既可用于钢、铸钢、铸铁、有色金属以及镍、锌、铅等金属材料，也可用于塑料等非金属材料
 - 在机械制造中，焊接多用于件数少，或者要求结构轻或交货期短的非标准设备的毛坯
 - 在石油化工、船舶、建筑、航空、航天、海洋工程各部门，焊接是主要的连接手段，在半导体器材和电子产品中焊接更是不可缺少
 - 由于采用焊接结构，产品具有成本低、生产周期短、成品率高、可靠性好、重量轻等优点，所以，焊接在工业各部门中得到了广泛应用
- 焊接的种类很多
 - 若按焊接过程的特点分类，可分为熔焊、压力焊、钎焊等
 - 较为重要的有熔焊中的电弧焊、电渣焊、激光焊和钎焊等

熔焊：电弧焊

- 操作灵活，适用范围广，连接强度高，特别是埋弧焊（熔剂层下自动电弧焊）发明后，电弧焊的生产率和焊接质量均得到大大的提高
 - 因此，这种焊接是目前用得最多的接焊接机一种焊接方法

- 电弧焊主要适用于以下情况：

- (1) 在金属构架、容器和壳体结构的制接焊接机造中，用焊接代替铆接
- (2) 有些铸造的机械零件用焊接件代替
- (3) 某些巨型或形状复杂的零件，为了减少制造时的困难，将零件分开制造，然后再用焊接的方法，将它们连接起来

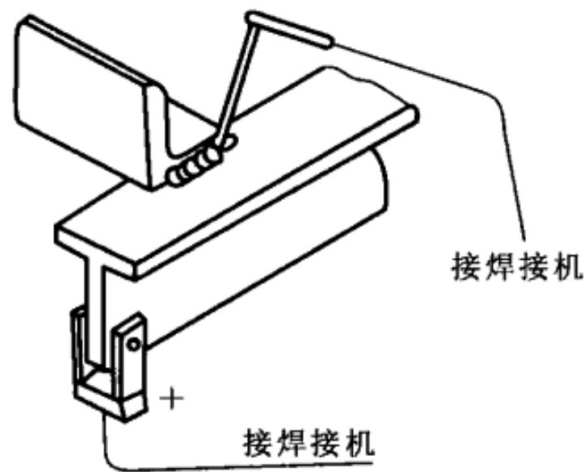


图 10-33 电弧焊

- 根据被焊工件的相对位置，焊接接头的基本形式可分为

- 对接、搭接和正交接（包括T形和L形）

- 焊件接头处形成的焊接缝称为焊缝

- 常见的焊缝大体可分为对接焊缝和填角焊缝两类
- 对接焊缝用于对接接头，填角焊缝用于搭接、正交接头
- 根据与载荷方向的相互关系，填角焊缝有端焊缝、侧焊缝、斜焊缝和混合焊缝之分

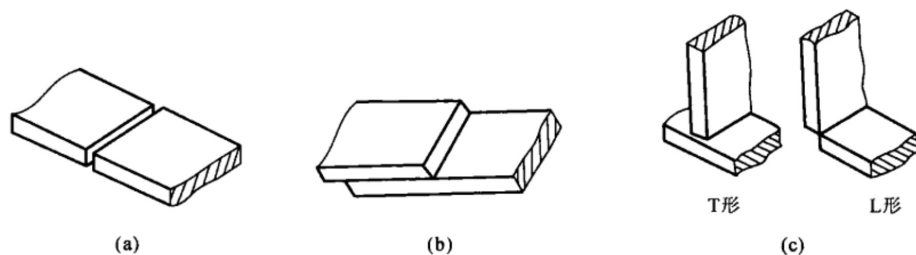


图 10-34 接头的基本形式
(a) 对接; (b) 搭接; (c) 正交接

- 为了保证接头的质量，焊接前，要在工件接口处预制出各种坡口不同的接头和坡口对应着不同的焊缝式样

熔焊：电渣焊

- **电渣焊**：利用电流通过液态熔渣时所产生的电阻热来熔化电极及焊件而实现焊接的一种熔化焊接法。电渣焊适合大厚度焊件的焊接，生产率高，变形小，焊缝的化学成分比较容易控制，而且很少发生夹渣和气孔。但焊接后，焊件要进行正火处理。
- **激光焊接**：激光技术是现代的高科技之一，具有其他焊接方法所不可能具有的优点
 - (1) 特别适用于薄板焊接，对于激光焊来说，板厚超过1mm就算是厚板了。对于厚板激光焊接，目前大部分采用的是CO₂激光器
 - (2) 焊缝窄，热量输入特别小，这对因过热晶粒长大变脆的铁素体钢和18Cr不锈钢的焊接是非常合适的
 - (3) 焊缝的深宽比（熔深与焊道宽度之比）大。
 - (4) 与熔化极惰性气体保护焊相比，在金属焊缝中没有溶解氧和溶解氮的问题
 - (5) 可以高速焊接
- 特别要说明的是，用激光产生热量完成钎焊，更是具有很多优点，它是现代电子原器件生产中的一项重要技术

钎焊

- 钎焊是利用熔点比两被连接件的材料低的钎料和母材一同加热，在母材不熔化的情况下，使钎料熔化并润湿、填充两被连接件接头处的间隙，形成钎缝，将被连接件连接起来的焊接方法。在钎缝中钎料与母材相互溶解和扩散，从而得到牢固的结合
 - 用烙铁加热焊锡和电器元件的接头，使接头连接起来而组装电器，就是一种钎焊
- 按钎料的熔化温度和钎焊接头强度的不同，钎焊可分为硬钎焊和软钎焊两种。
 - 硬钎焊中钎料的熔点在450℃以上，软钎焊中钎料的熔点在450℃以下
 - 硬钎焊的接头强度比软钎焊要大
- 在进行钎焊时，首先要注意可焊性问题，钎焊过程的可焊性包括两个方面：
 - 原则可焊性：取决于钎料与母材界面上所进行的物理化学过程（原则上讲，在钎焊下要把构件焊接起来，钎料与母材的交界处需要形成晶间或晶内结合），取决于这一过程的结果能否形成不可分离的钎焊接头
 - 工艺可焊性：指用一定的方法得到牢固钎焊接头的可能性。因而，在设计钎焊时，首先要注意两被连接件材料能否用钎焊焊起来，其次是考虑什么样的钎料才能钎焊，然后再考虑选用什么样的工艺方法
- 钎焊与熔焊相比
 - 由于焊接时加热温度较低，焊件的组织 and 机械性能变化较小，变形较小，接头平整光滑，外表美观，可连接不同的材料，生产率高
 - 钎焊在各工业部门得到了一定的应用，在无线电、仪表制造业中钎焊在许多情况下还是唯一有效的连接方法

胶接：胶接的特点及应用范围

- 胶接一般是不可拆连接。连接具有方法简便、无须复杂设备、变形小、接头应力分布均匀等特点
- 一般胶接接头还具有良好的密封性、电绝缘性和耐腐蚀性
- 胶接既适用于非金属材料，也适用金属材料，不仅适用于同种材料相胶接，而且适用于异种材料相胶接
 - 在焊接中通常这是困难的
- 机械制造业中，胶接主要用于以下几个方面
 - ①大型结构件的连接
 - ②金属切削刀具的制作
 - ③模具的制造
 - ④紧固与密封件胶接
 - ⑤设备维修时破损件的修复

胶接：胶接剂

- 根据使用目的，胶接剂可分为
 - ①结构胶接剂；②非结构胶接剂；③其他胶接剂
- 根据工艺特点，胶接剂又可分为以下五种
 - ①反应型胶接剂；②热熔型胶接剂；③溶液型胶接剂；④乳液型胶接剂；⑤压敏型胶接剂
- 胶接剂的主要性能是
 - 胶接强度（如耐热性、耐腐蚀性、耐老化性等）
 - 固化条件（如温度、压力、保持时间等）
 - 工艺性（如涂布性、流动性、有效储存期等）
 - 其他特殊性能（如防锈等）
- 胶接剂的机械性能，随着胶接件的材料、环境温度、固化条件、胶层厚度、工作时间、工艺水平等的不同而异
- 胶接剂的选择原则，主要是针对胶接件的使用要求和环境条件
 - 从胶接强度、工作温度、固化条件等方面选择胶接剂的品种，
 - 并兼顾胶接的特殊要求（如防锈等）和工艺上的方便
- 此外，如
 - 对于受一般冲击、振动的胶接件，宜选用弹性模量小的胶接剂
 - 对于在循环变应力条件下工作的胶接件，应选用膨胀系数与胶接件材料的膨胀系数相近的胶接剂等

胶接：胶接工艺

(1) 胶接件胶接表面的制备胶接表面需经除油处理、机械处理和化学处理，以便清除表面油污和氧化层，改善表面粗糙度，达到最佳胶接表面状态

- 表面粗糙度一般应为Ra1.6~3.2，过高或过低都会降低胶接的强度

(2) 胶接剂的配制因大多数胶接剂是多组分的，在使用前应按规定的程序，正确地配方比例，妥善配制

(3) 涂胶采用适当的方法涂布胶接剂（如喷涂、刷涂、浸渍、贴膜等），以保证厚薄合适，均匀无缺和无气泡等

(4) 清理在涂胶装配后，清除胶接件上多余的胶接剂，如产品允许在固化后进行机械加工或喷丸时，这一步可在固化后进行

(5) 固化根据胶接件的使用要求、接头形式、接头面积等，恰当选定固化条件，使胶接域固化

(6) 质量检验对胶接产品主要是进行X光超声波探伤、放射性同位素或激光全息摄影等无损检验，以防止胶接接头存在严重缺陷

胶接：胶接接头

- 抗剪切和抗拉伸能力强，而抗扯离和抗剥离能力弱

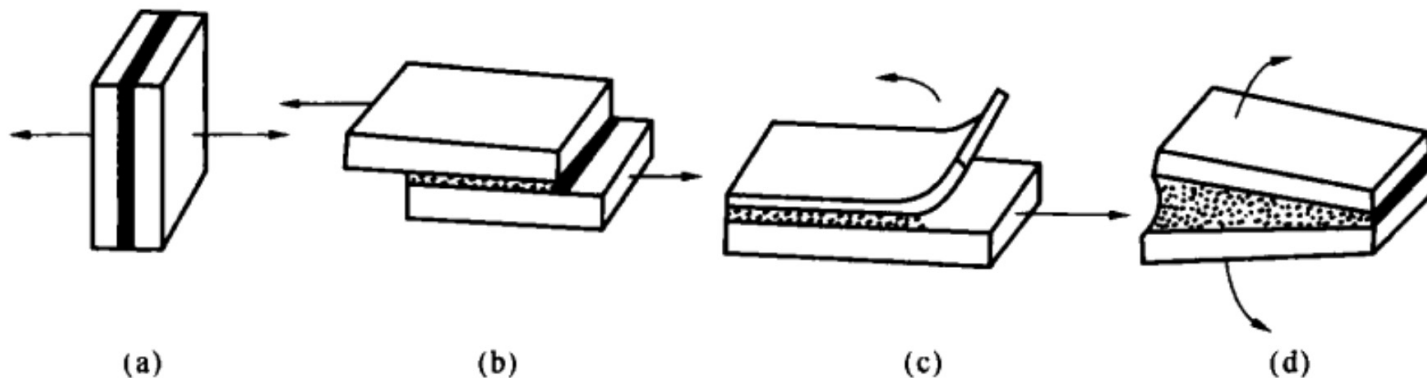


图 10-35 胶接接头的受力状况
(a) 拉伸；(b) 剪切；(c) 剥离；(d) 扯离

- 胶接设计时要注意：
 - ①针对胶接件的工作要求正确地选择胶接剂
 - ②合理地选择接头的形式
 - ③恰当选取工艺参数
 - ④尽量使胶层应力分布均匀些，对于搭接接头，可采用适当的结构形式
 - ⑤避免胶缝承受扯离、特别是剥离载荷，从结构上应适当采取防止剥离的措施，以防止从边缘或拐角处脱缝
 - ⑥当有较大的冲击和振动时，应在胶接面间增加玻璃布层等缓冲减振材料



ME311 | 机械设计

2023年秋季

谢谢~

宋超阳
南方科技大学