



第05章

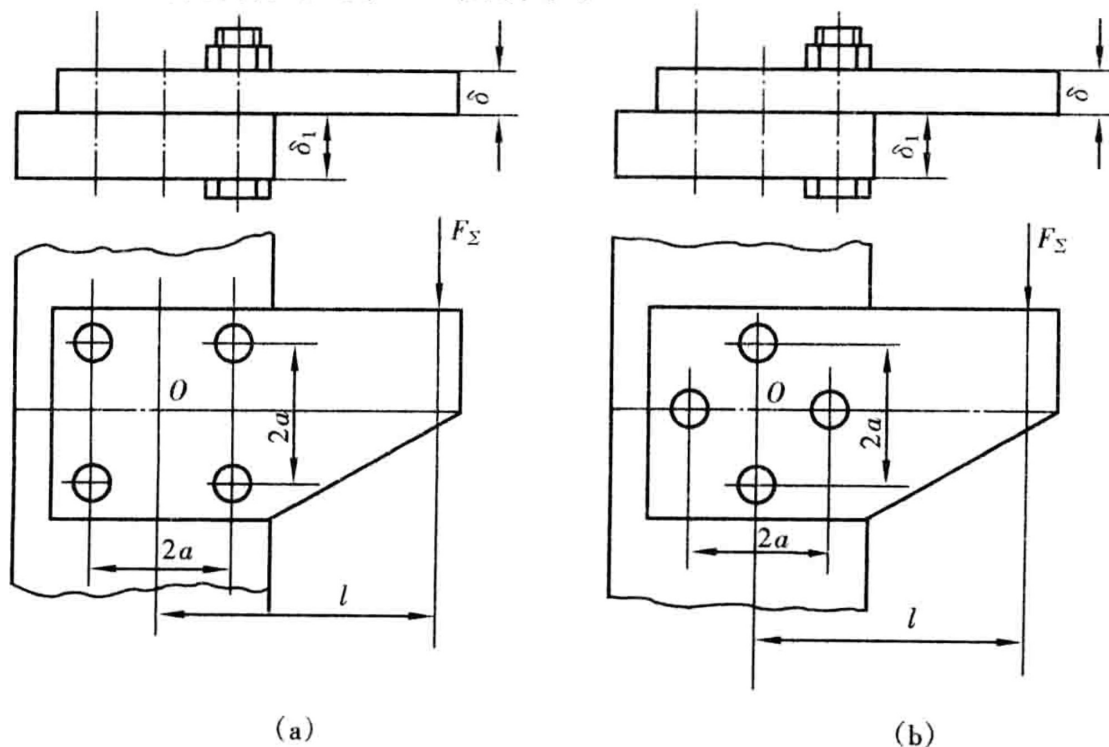
连接及连接件

习题课

宋超阳

南方科技大学

例 8-1 一厚度 $\delta=12$ mm 的钢板用 4 个螺栓固联在厚度 $\delta_1=30$ mm 的铸铁支架上, 螺栓的布置有(a)、(b)两种方案, 如例 8-1 图所示。



例 8-1 图

已知: 螺栓材料为 Q235, $[\sigma]=95$ MPa, $[\tau]=96$ MPa, 钢板 $[\sigma_p]=320$ MPa, 铸铁 $[\sigma_{p1}]=180$ MPa, 接合面间摩擦系数 $f=0.15$, 可靠性系数 $K_f=1.2$, 载荷 $F_Z=12000$ N, 尺寸 $l=400$ mm, $a=100$ mm。

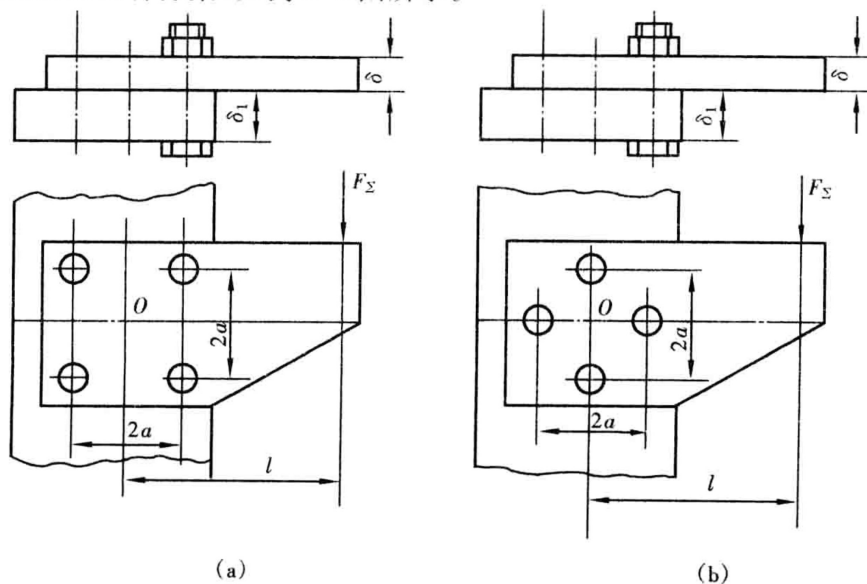
(1) 试比较哪种螺栓布置方案合理?

(2) 按照螺栓布置合理方案, 分别确定采用普通螺栓连接和铰制孔用螺栓连接时的螺栓直径。

解题分析

- 螺栓组连接受横向载荷和旋转力矩共同作用的典型例子
 - 解题时，首先要将作用于钢板上的外载荷 F_{Σ} 向螺栓组连接的接合面形心简化，得出该螺栓组连接受横向载荷 F_{Σ} 和旋转力矩 T 两种简单载荷作用的结论

例 8-1 一厚度 $\delta=12\text{ mm}$ 的钢板用 4 个螺栓固联在厚度 $\delta_1=30\text{ mm}$ 的铸铁支架上，螺栓的布置有(a)、(b)两种方案，如例 8-1 图所示。

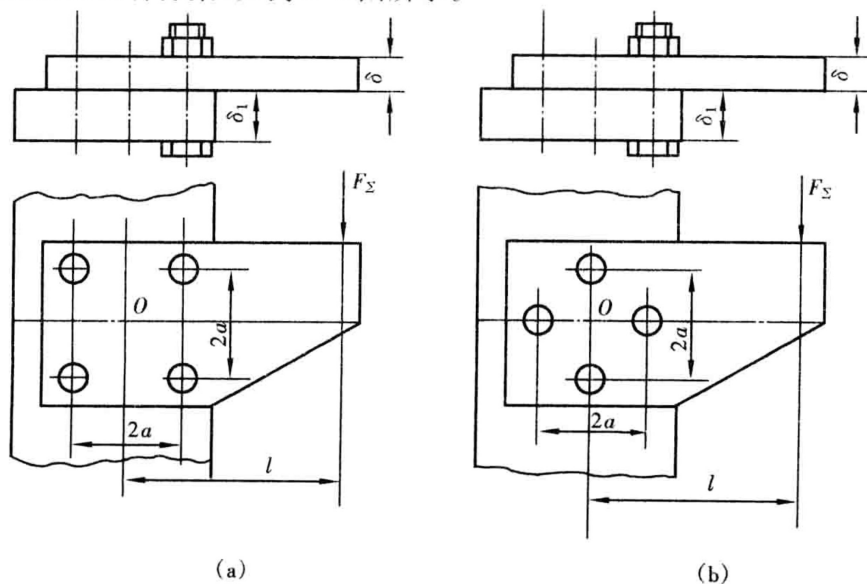


例 8-1 图

解题分析

- 然后将这两种简单载荷分配给各个螺栓，找出受力最大的螺栓，把该螺栓承受的横向载荷用矢量叠加原理求出合成载荷
 - 在外载荷与螺栓数目一定的条件下，对于不同的螺栓布置方案，受力最大的螺栓所承受的载荷是不同的
 - 显然使受力最大的螺栓承受较小的载荷是比较合理的螺栓布置方案

例 8-1 一厚度 $\delta=12\text{ mm}$ 的钢板用 4 个螺栓固联在厚度 $\delta_1=30\text{ mm}$ 的铸铁支架上，螺栓的布置有(a)、(b)两种方案，如例 8-1 图所示。

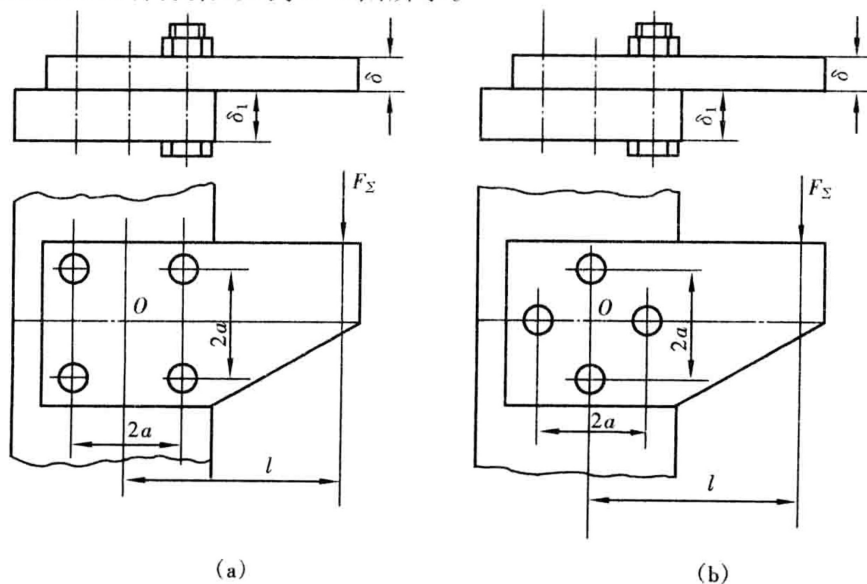


例 8-1 图

解题分析

- 若螺栓组采用铰制孔用螺栓连接，则靠螺栓光杆部分受剪切和配合面间受挤压来传递横向载荷
 - 其设计准则是保证螺栓的剪切强度和连接的挤压强度
 - 可按相应的强度条件式，计算受力最大螺栓危险剖面的直径

例 8-1 一厚度 $\delta=12\text{ mm}$ 的钢板用 4 个螺栓固联在厚度 $\delta_1=30\text{ mm}$ 的铸铁支架上，螺栓的布置有(a)、(b)两种方案，如例 8-1 图所示。

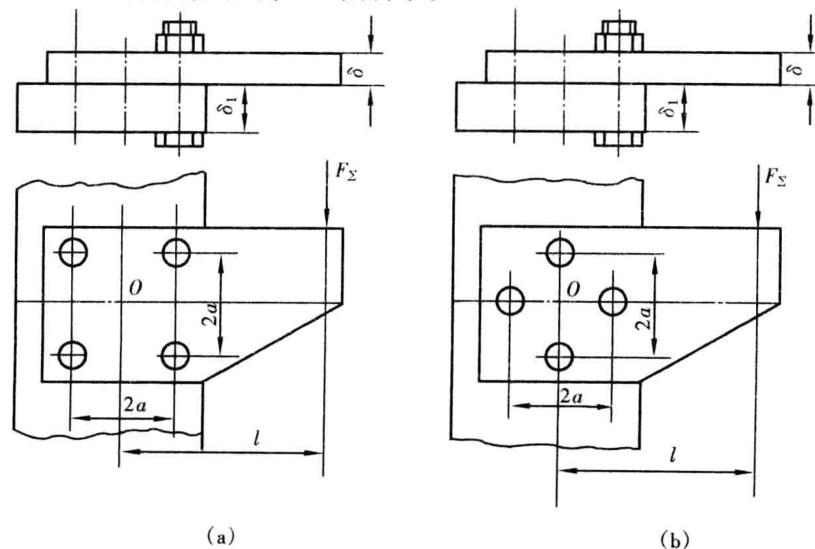


例 8-1 图

解题分析

- 若螺栓组采用普通螺栓连接，则靠拧紧螺母使被连接件接合面间产生足够的摩擦力来传递横向载荷
 - 在此情况下，应先接受力最大螺栓承受的横向载荷，求出螺栓所需的预紧力；然后用只受预紧力作用的紧螺栓连接，受拉强度条件式计算螺栓危险剖面的直径 d_1 ；最后根据 d_1 查标准选取螺栓直径 d ，并根据被连接件厚度、螺母及垫圈厚度确定螺栓的标准长度。

例 8-1 一厚度 $\delta = 12 \text{ mm}$ 的钢板用 4 个螺栓固联在厚度 $\delta_1 = 30 \text{ mm}$ 的铸铁支架上，螺栓的布置有 (a)、(b) 两种方案，如例 8-1 图所示。



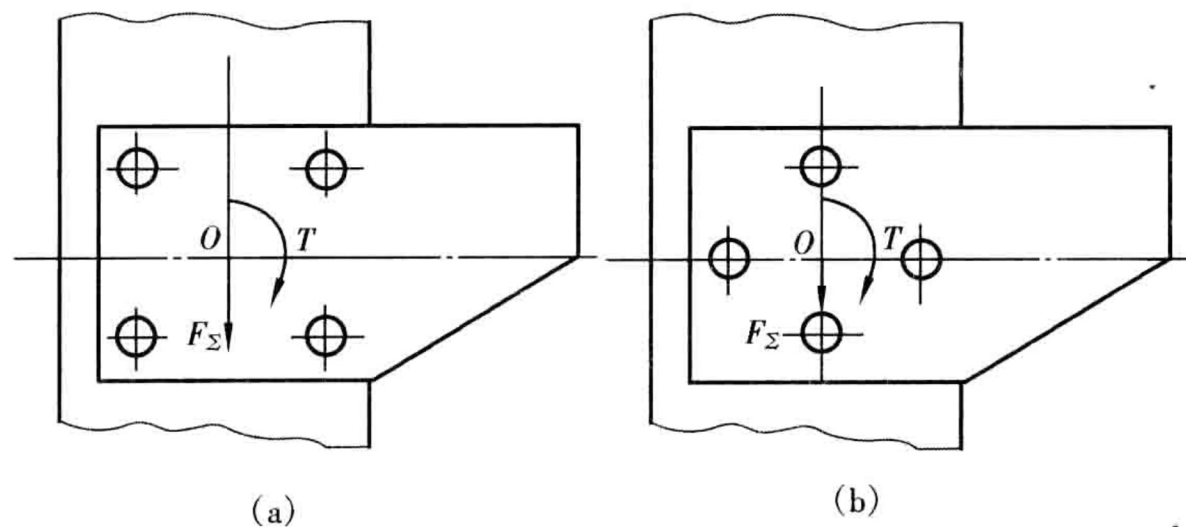
例 8-1 图

解题要点

1. 螺栓组连接受力分析

(1) 将载荷简化。

将载荷 F_{Σ} 向螺栓组连接的接合面形心 O 点简化, 得一横向载荷 $F_{\Sigma} = 12000 \text{ N}$ 和一旋转力矩 $T = F_{\Sigma} \cdot l = 12000 \times 400 \text{ N} \cdot \text{mm} = 4.8 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$, 如例 8-1 图解(一)所示。



例 8-1 图解(一)

(2) 确定各个螺栓所受的横向载荷。

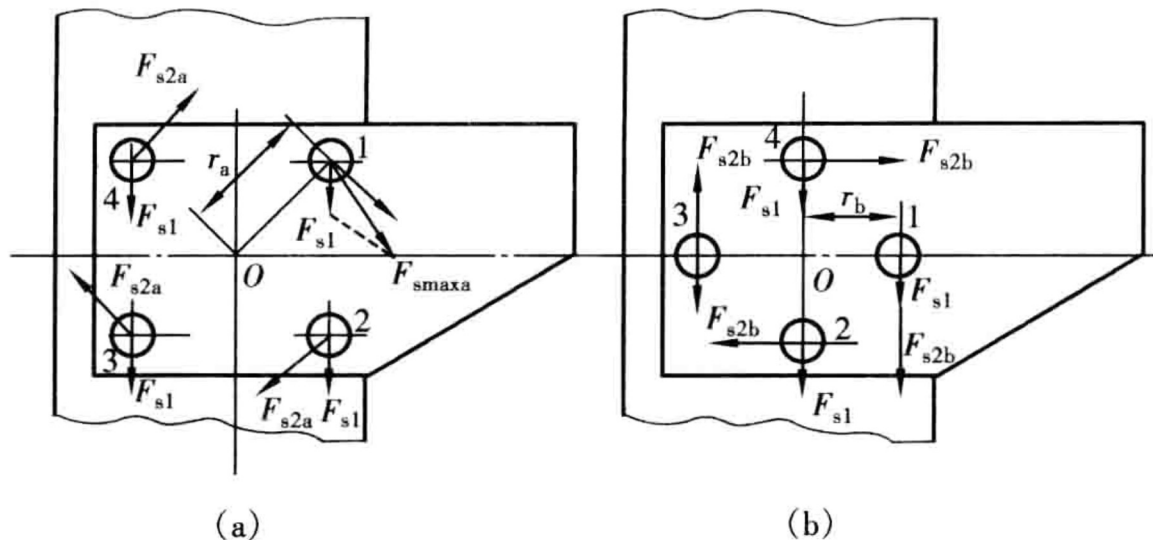
在横向力 F_{Σ} 作用下,各个螺栓所受的横向载荷 F_{s1} 大小相同,与 F_{Σ} 同向。

$$F_{s1} = F_{\Sigma}/4 = 12000/4 \text{ N} = 3000 \text{ N}$$

而在旋转力矩 T 作用下,由于各个螺栓中心至形心 O 点距离相等,所以各个螺栓所受的横向载荷 F_{s2} 大小也相同,但方向各垂直于螺栓中心与形心 O 的连线(见例 8-1 图解(二))。

对于方案(a),各螺栓中心至形心 O 点的距离为

$$r_a = \sqrt{a^2 + a^2} = \sqrt{100^2 + 100^2} \text{ mm} = 141.4 \text{ mm}$$



例 8-1 图解(二)

所以

$$F_{s2a} = \frac{T}{4r_a} = \frac{4.8 \times 10^6}{4 \times 141.4} \text{ N} = 8487 \text{ N}$$

由例 8-1 图解(二)(a)可知,螺栓 1 和 2 所受两力的夹角 α 最小,故螺栓 1 和 2 所受横向载荷最大,即

$$\begin{aligned} F_{s\max a} &= \sqrt{F_{s1}^2 + F_{s2a}^2 + 2F_{s1} \cdot F_{s2a} \cos\alpha} \\ &= \sqrt{3000^2 + 8487^2 + 2 \times 3000 \times 8487 \times \cos 45^\circ} \text{ N} = 10820 \text{ N} \end{aligned}$$

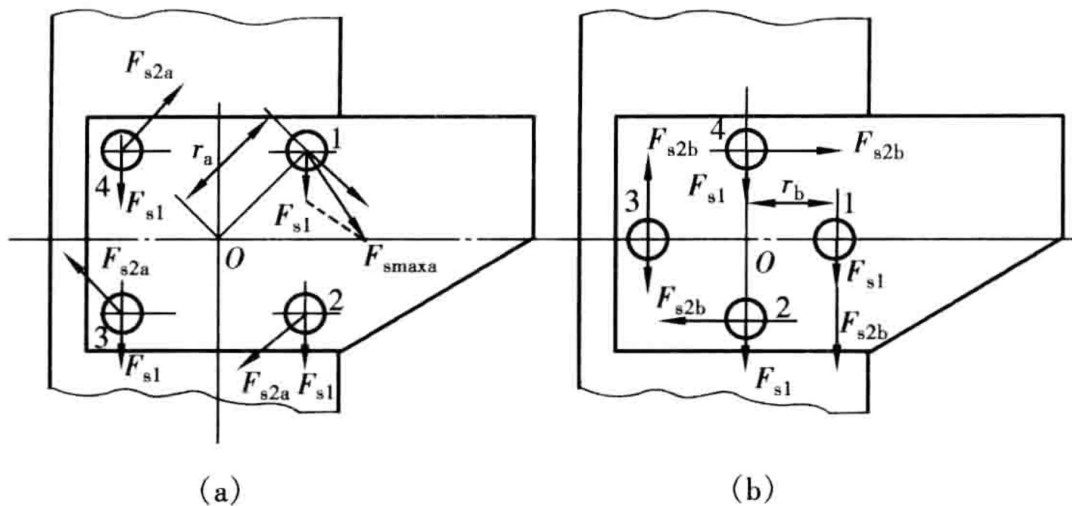
对于方案(b),各螺栓中心至形心 O 点的距离为

$$r_b = a = 100 \text{ mm}$$

所以
$$F_{s2b} = \frac{T}{4r_b} = \frac{4.8 \times 10^6}{4 \times 100} \text{ N} = 12000 \text{ N}$$

由例 8-1 图解(二)(b)可知,螺栓 1 所受横向载荷最大,即

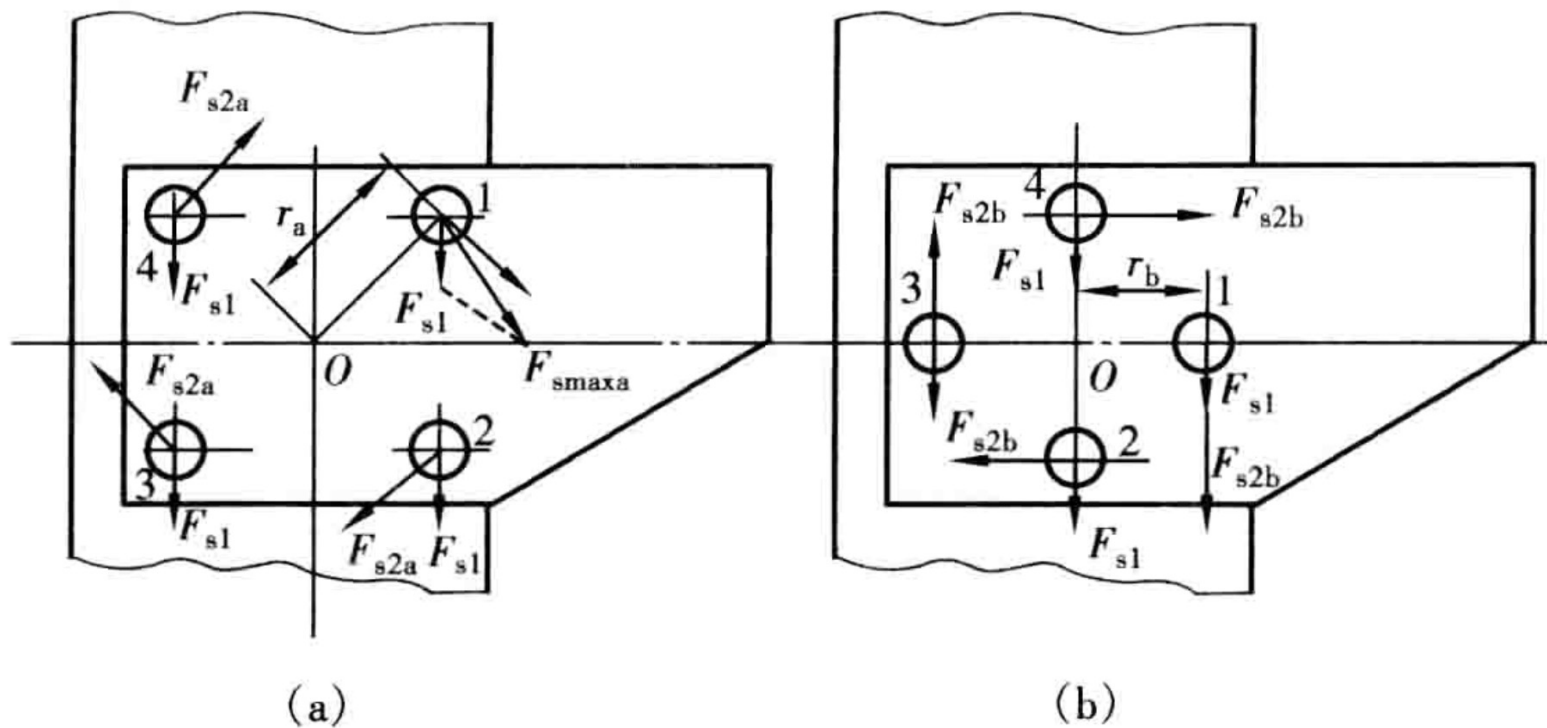
$$F_{s\max b} = F_{s1} + F_{s2b} = (3000 + 12000) \text{ N} = 15000 \text{ N}$$



例 8-1 图解(二)

(3) 两种方案比较。

在螺栓布置方案(a)中,受力最大的螺栓 1 和 2 所受的总横向载荷 $F_{smaxa} = 10820 \text{ N}$;而在螺栓布置方案(b)中,受力最大的螺栓 1 所受的总横向载荷 $F_{smaxb} = 15000 \text{ N}$ 。可以看出, $F_{smaxa} < F_{smaxb}$, 因此方案(a)比较合理。



例 8-1 图解(二)

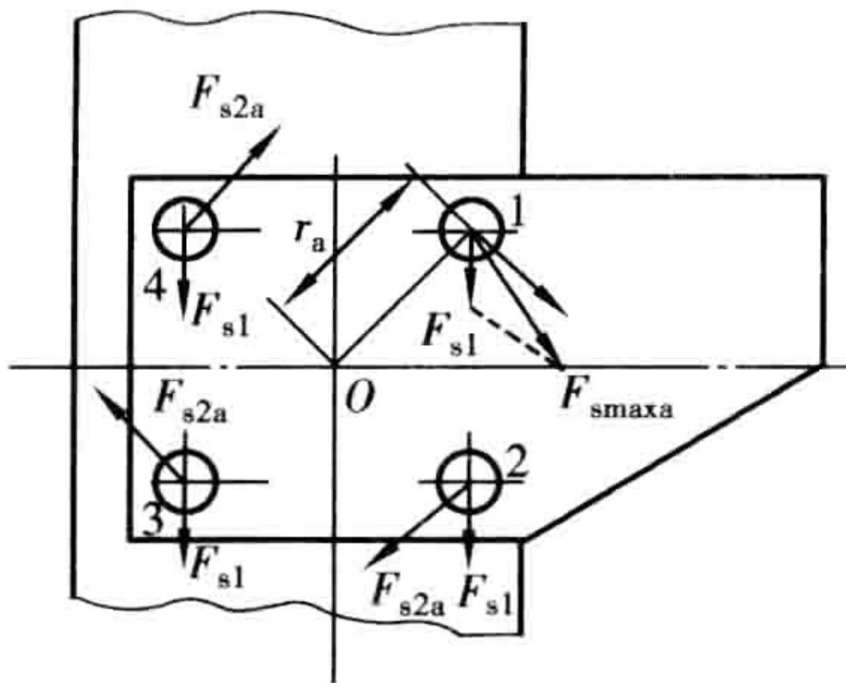
2. 按螺栓布置方案(a)确定螺栓直径

(1) 采用铰制孔用螺栓连接。

① 因为铰制孔用螺栓连接是靠螺栓光杆受剪切和配合面间受挤压来传递横向载荷,因此按剪切强度设计螺栓光杆部分的直径 d_s 。

$$d_s \geq \sqrt{\frac{4F_s}{\pi[\tau]}} = \sqrt{\frac{4 \times 10820}{\pi \times 96}} \text{ mm} = 11.98 \text{ mm}$$

取 M12×60($d_s = 13 \text{ mm} > 11.98 \text{ mm}$)。



② 校核配合面挤压强度。

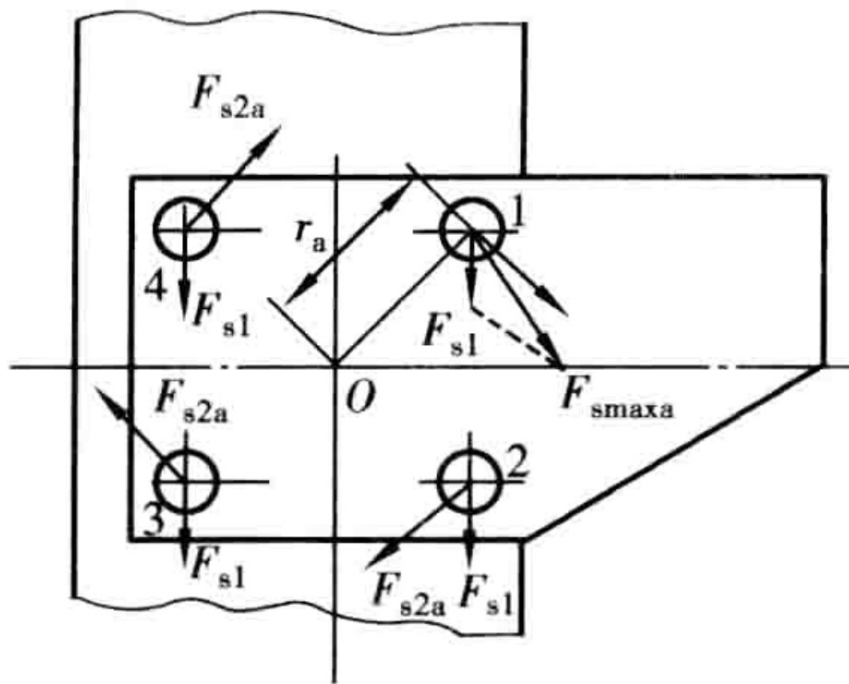
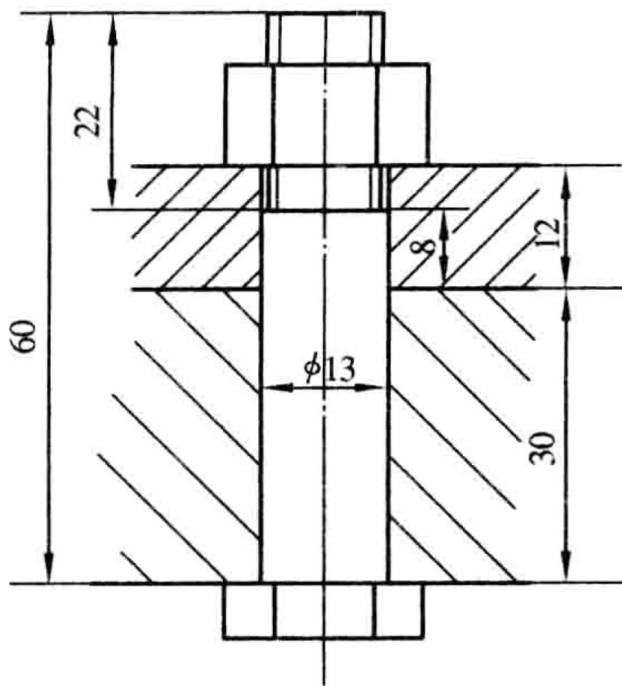
按例 8-1 图解(三)所示的配合面尺寸,有
螺栓光杆与钢板孔间

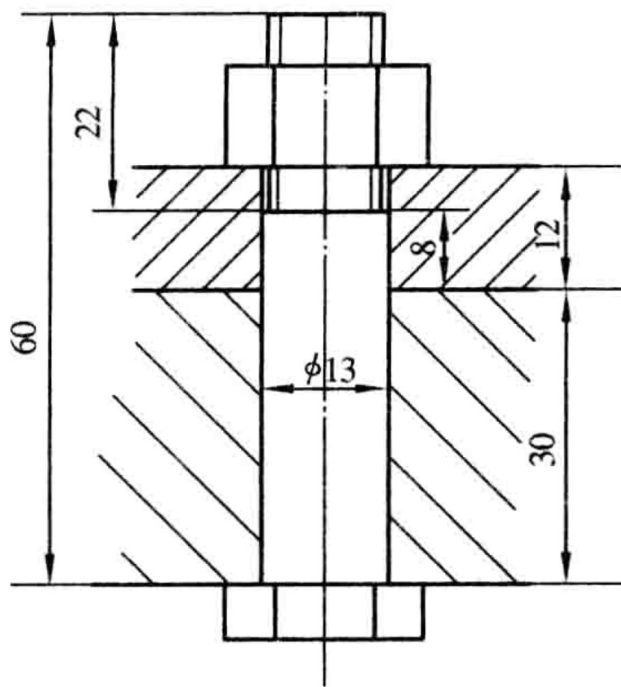
$$\sigma_p = \frac{F_s}{d_s h} = \frac{10820}{13 \times 8} \text{ MPa} = 104 \text{ MPa} < [\sigma_p] = 320 \text{ MPa}$$

螺栓光杆与铸铁支架孔间

$$\sigma_{pl} = \frac{F_s}{d_s \delta_1} = \frac{10820}{13 \times 30} \text{ MPa} = 27.7 \text{ MPa} < [\sigma_{pl}] = 180 \text{ MPa}$$

故配合面挤压强度足够。





(2) 采用普通螺栓连接。

因为普通螺栓连接是靠预紧螺栓在被连接件的接合面间产生的摩擦力来传递横向载荷,因此首先要求出螺栓所需的预紧力 F' 。

由 $fF' = K_f F_s$, 得

$$F' = \frac{K_f F_s}{f} = \frac{1.2 \times 10820}{0.15} \text{ N} = 86560 \text{ N}$$

根据强度条件式可得螺栓小径 d_1 , 即

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F'}{\pi [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 86560}{\pi \times 95}} \text{ mm} = 38.84 \text{ mm}$$

取 M45 ($d_1 = 40.129 \text{ mm} > 38.84 \text{ mm}$)。



ME303: 机械设计

2022年秋季

谢谢~

宋超阳
南方科技大学