

上节课内容回顾

安全因数法的 稳定性条件

$$|\sigma| = \frac{|F_N|}{A} \leq \frac{\sigma_{cr}}{[n_{st}]}$$

$$n_{st} = \frac{F_{cr}}{|F_N|} = \frac{\sigma_{cr}}{|\sigma|} \geq [n_{st}]$$

求解过程：

- 1、结构分析，确定受压杆压力（轴力 F_N ）；
- 2、计算压杆惯性半径 i ，确定柔度 λ （最大柔度 λ_{max} ）；
- 3、计算 λ_p 和 λ_s ，并与最大柔度比较，确定压杆类型；
- 4、选用适当的临界应力公式计算 σ_{cr} 及 F_{cr} ；
- 5、代入稳定性条件中。

第十五章 联接件的强度

- 联接件的实用算法
- 实用算法应用

学前问题：

- 何为实用计算？
- 联接件的强度有几方面？

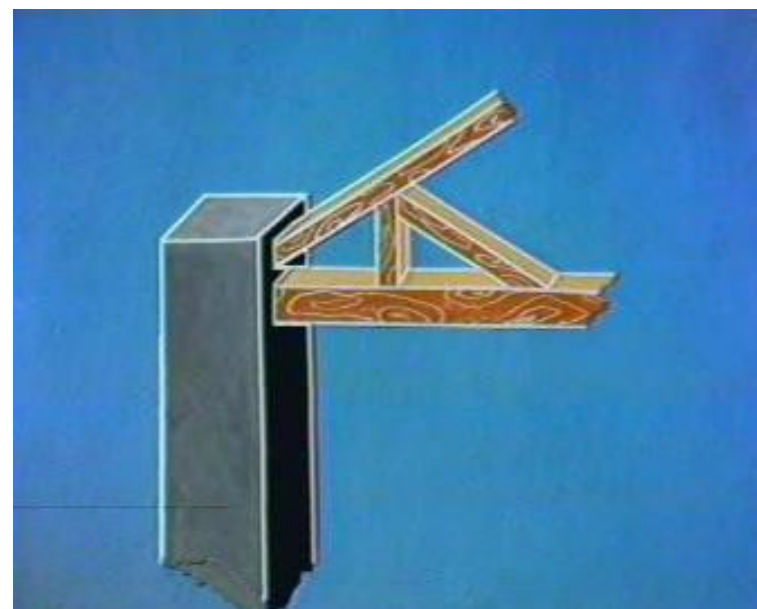


西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



航天航空学院--力学中心

15-1 联接件的实用算法



15-1 联接件的实用算法



- 工程上经常遇到联接件，如两钢板之间的铆钉联接、齿轮和轴之间的键联接、木结构中的榫联接和连轴器等。

- 这些构件都不是细长杆件，其变形较为复杂，并非单一的基本变形，应力分布也比较复杂。所以通过理论分析进行精确计算十分困难。

15-1 联接件的实用算法

在工程实际，对其受力及应力分布作出合理假设，这种简化计算方法称为**实用算法**。实践证明，这样设计的联接件是安全可靠的。

第一步：根据联接件实际破坏情况

- 对受力、应力分布进行简化和假设
- 建立“名义应力公式”
- 计算联接件的名义工作应力

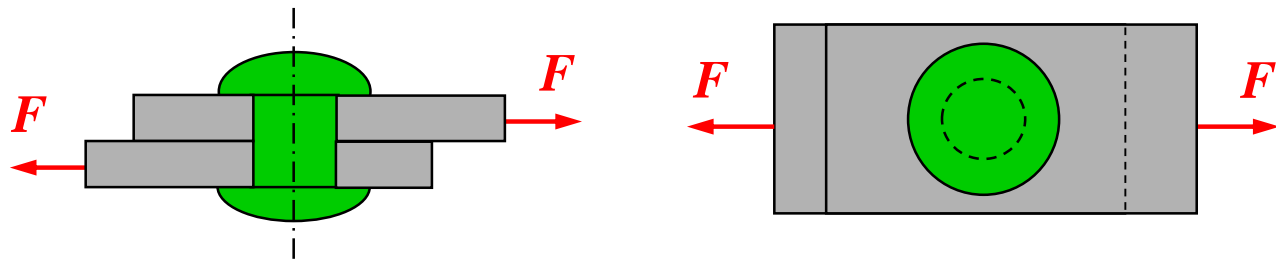
第二步：对同类联接件进行破坏试验

- 得到极限载荷
- 按“名义应力公式”计算名义极限应力
- 考虑安全因数，得到名义许用应力

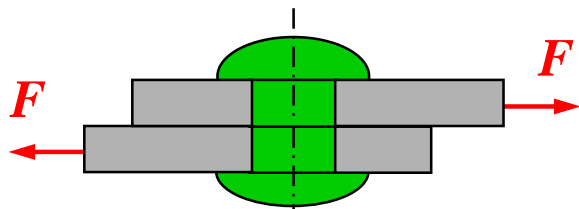
第三步：强度校核：名义工作应力 \leq 名义许用应力

15-1 联接件的实用算法

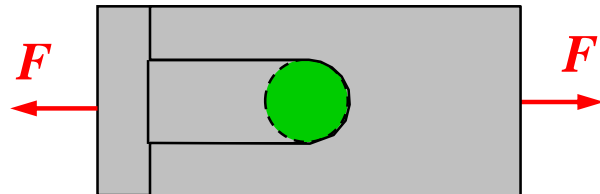
以铆钉联接为例，
说明联接件可能的
破坏形式：



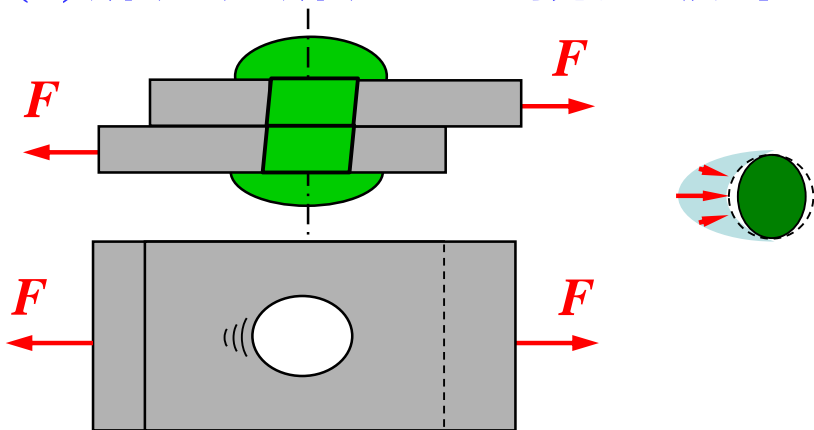
(1) 铆钉的剪切破坏



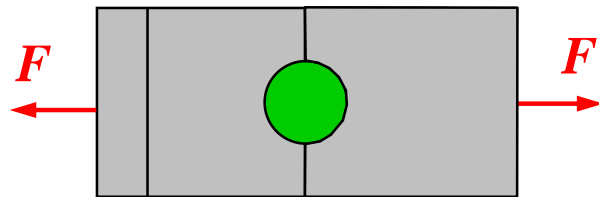
(2) 联接板的剪切破坏



(3) 铆钉、铆钉孔的挤压破坏



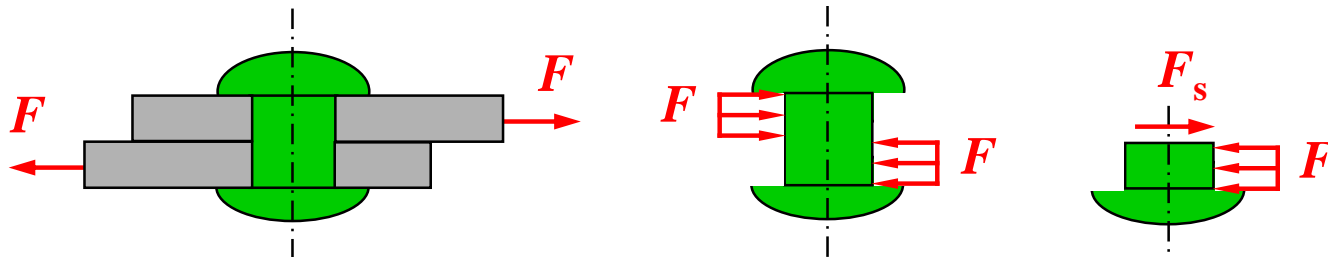
(4) 联接板的拉断



15-1 联接件的实用算法

一、剪切破坏

铆钉联接



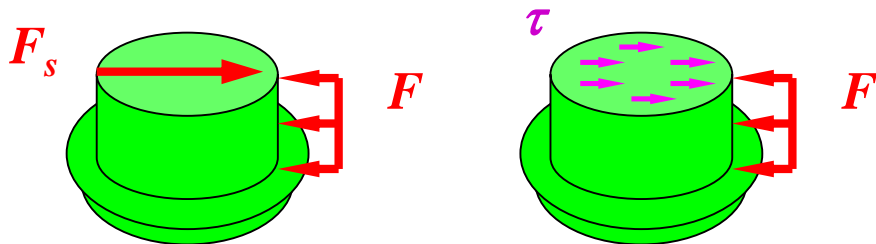
受力特点：外力垂直于轴线，等值反向，相距较近。

$$F_s = F$$

变形特点：截面沿外力的方向产生相对错动。

剪切变形

实用计算方法：由于剪力在截面上分布复杂，精确的切应力很难得到，因此假设剪力在截面上均匀分布



$$\tau = \frac{F_s}{A_s}$$

名义工作切应力

15-1 联接件的实用算法

名义许用切应力

名义极限切应力 $\tau^0 = \frac{F_s^0}{A_s}$

名义许用切应力 $[\tau] = \frac{\tau^0}{n}$

与名义切应力相同的算法

n 为安全因数

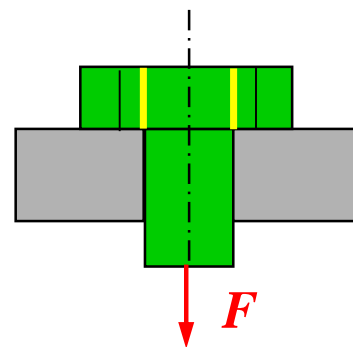
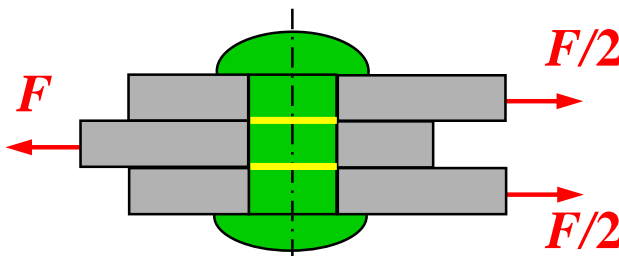
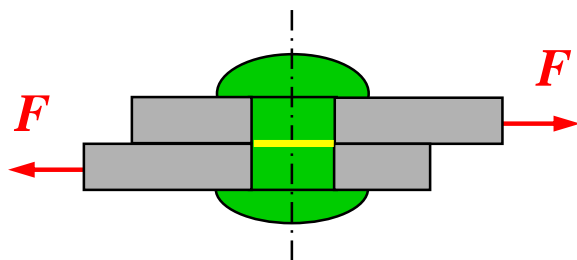
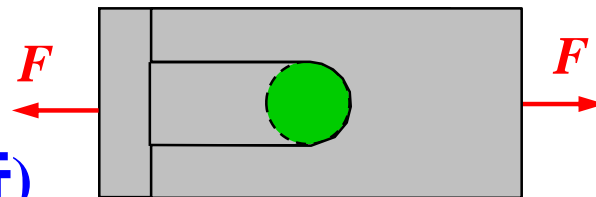
$$[\tau] = 0.6 \sim 0.8[\sigma]$$

剪切强度条件:

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \leq [\tau]$$

注意:

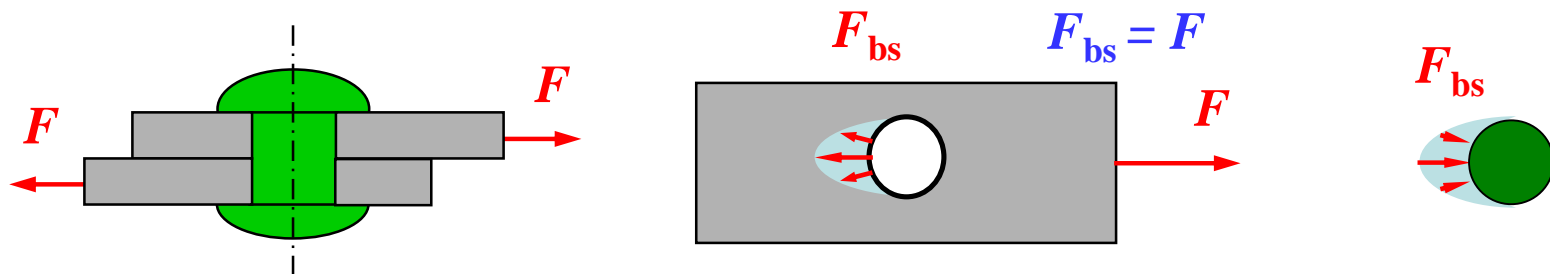
- 1、正确确定剪力(受力平衡)
- 2、正确确定剪切面(与外力平行)



15-1 联接件的实用算法

二、挤压破坏

在联接件和被联接件之间产生了较大压力，造成联接件或被联接件产生局部塑性变形，这种作用称为**挤压**。



构件在发生剪切作用的同时一般要伴随挤压作用。

挤压破坏：当压力过大时，铆钉或板接触处将产生塑性变形或压溃。

联接件和被联接件相互挤压的接触面称为挤压面，接触面上的作用力称为挤压力（用 F_{bs} 表示）。

15-1 联接件的实用算法

实用计算方法:

假设挤压力在挤压面上均匀分布。

$$\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}} \leq [\sigma_{bs}]$$

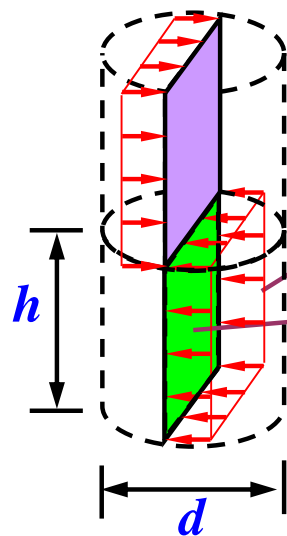
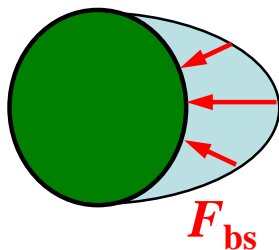
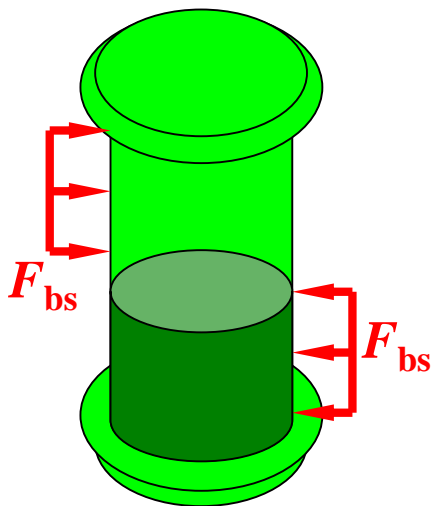
σ_{bs} 挤压应力

F_{bs} 挤压力

A_{bs} 挤压面面积

$[\sigma_{bs}]$ 许用挤压应力

$$[\sigma_{bs}] = 1.7 - 2.0[\sigma]$$



实际挤压面
计算挤压面
(与外力垂直)

$$A_{bs} = dh$$

15-1 联接件的实用算法

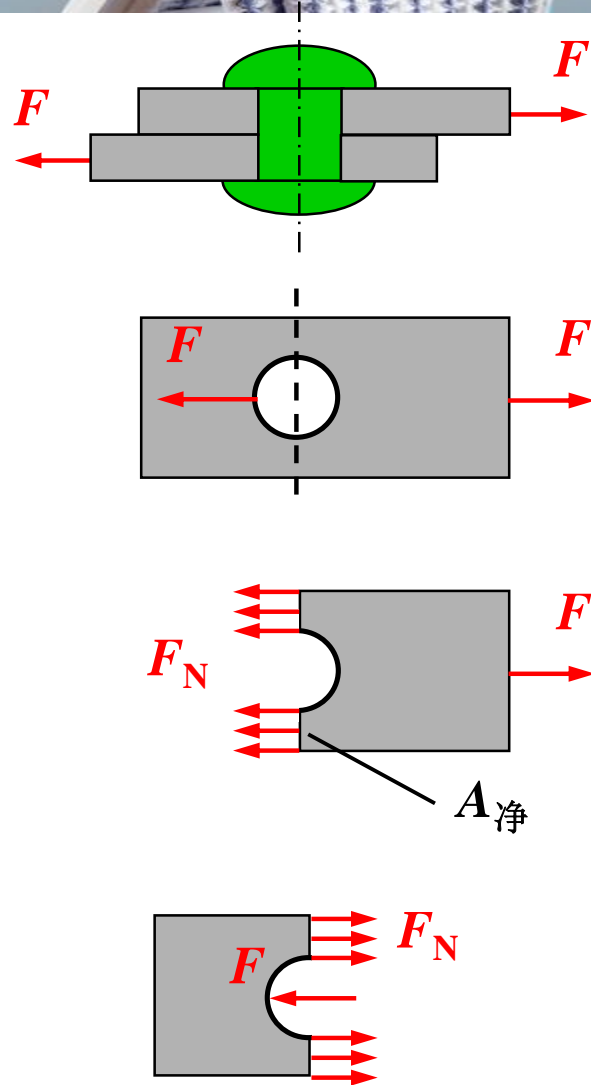
三、拉伸破坏

$$F_N = F$$

忽略孔边的应力集中现象，并假设轴向拉力在净面积上均匀分布。

$$\sigma = \frac{F_N}{A_{\text{净}}} \leq [\sigma] \quad A_{\text{净}} = (b - d)t$$

在开孔或局部削弱的地方，除了拉伸变形，有可能还伴有弯曲或扭转变形，需要具体分析。



15-1 联接件的实用算法

- 为了保证联接件的使用安全，必须同时对其进行剪切、挤压和拉伸三个方面的强度校核。

联接件强度计算步骤：

1、剪切强度计算

确定剪切变形的构件、剪切力、剪切面面积

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \leq [\tau]$$

2、挤压强度计算

确定挤压变形的构件、挤压力、挤压面面积

$$\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}} \leq [\sigma_{bs}]$$

3、拉伸强度计算

确定局部削弱处的拉力、净面积

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{净}}} \leq [\sigma]$$

15-2 实用算法应用

键的强度计算

外力

$$F = F' = \frac{m}{r}$$

1、剪切强度

剪力

$$F_s = F = \frac{m}{r}$$

剪切面面积

$$A_s = bL$$

剪切强度

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{m}{rbL} \leq [\tau]$$

2、挤压强度

挤压力

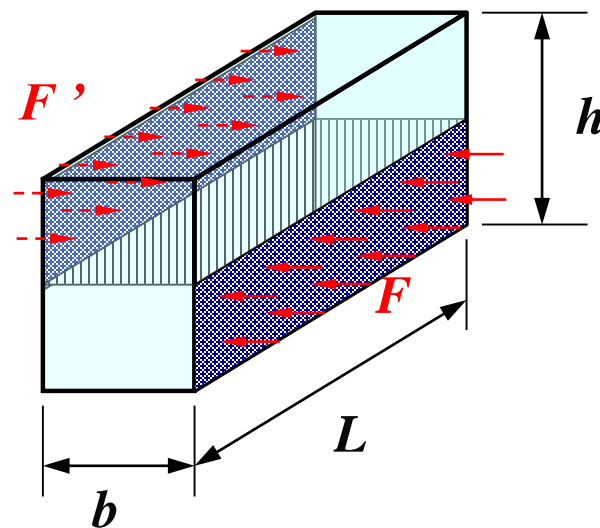
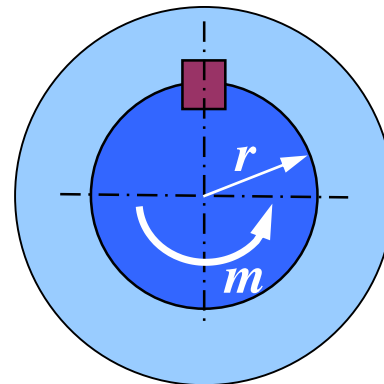
$$F_{bs} = F = \frac{m}{r}$$

挤压面面积

$$A_{bs} = \frac{Lh}{2}$$

挤压强度

$$\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}} = \frac{2m}{rhL} \leq [\sigma_{bs}]$$



15-2 实用算法应用

木榫结构的强度计算

1、剪切强度

剪力

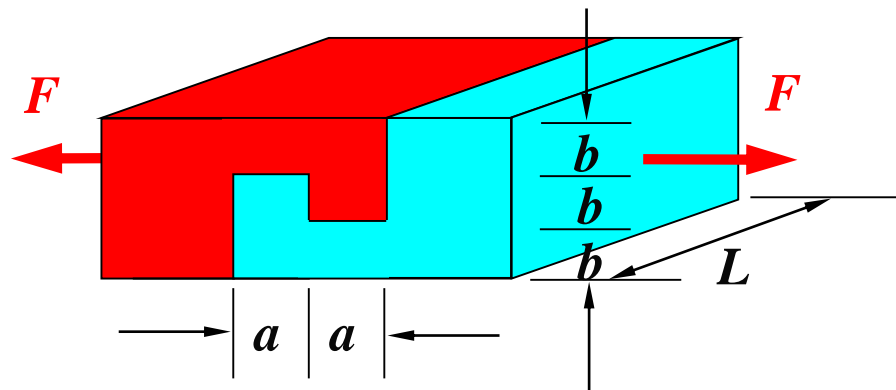
$$F_s = F$$

剪切面面积

$$A_s = aL$$

剪切强度条件

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F}{aL} \leq [\tau]$$



2、挤压强度

挤压力

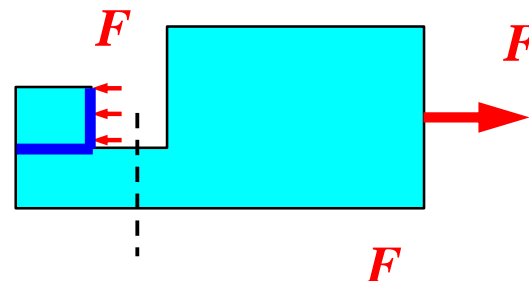
$$F_{bs} = F$$

挤压面面积

$$A_{bs} = bL$$

挤压强度条件

$$\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}} = \frac{F}{bL} \leq [\sigma_{bs}]$$



3、拉伸+弯曲强度

轴力

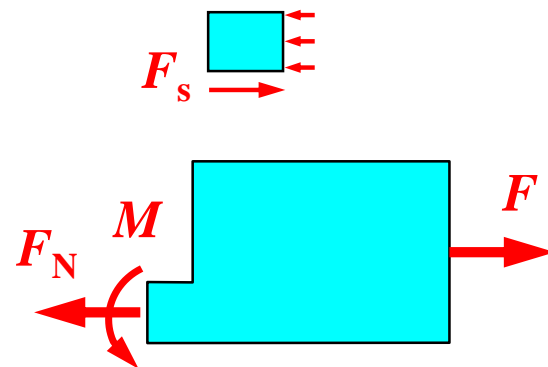
$$F_N = F$$

弯矩

$$M = Fb$$

拉伸+弯曲强度条件

$$\sigma = \frac{F}{bL} + \frac{6Fb}{b^2L} \leq [\sigma]$$



若下边缘有约束，则不会发生弯曲变形！

15-2 实用算法应用

例15-1 已知螺栓的受力如图，螺栓材料的许用切应力是许用拉应力的0.6倍，许用挤压应力是许用拉应力的2倍，试确定螺栓头高度、直径与螺栓直径之间的合理关系。

解： (1) 剪切强度：

$$F_s = F \quad A_s = \pi d H \quad \tau = \frac{F}{\pi d H} \leq [\tau]$$

(2) 挤压强度：

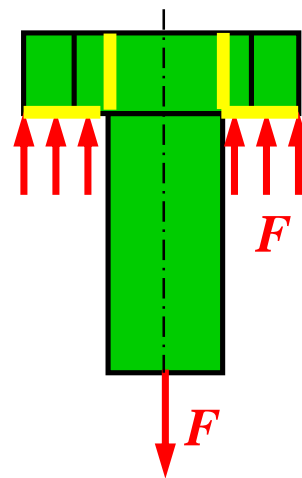
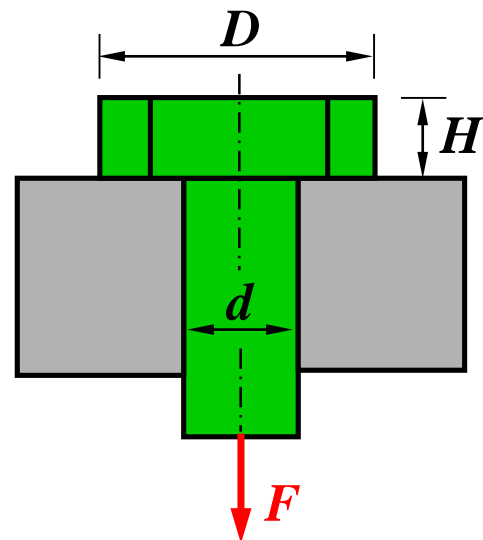
$$F_{bs} = F \quad A_{bs} = \pi(D^2 - d^2) / 4 \quad \sigma_{bs} = \frac{4F}{\pi(D^2 - d^2)} \leq [\sigma_{bs}]$$

(3) 拉伸强度：

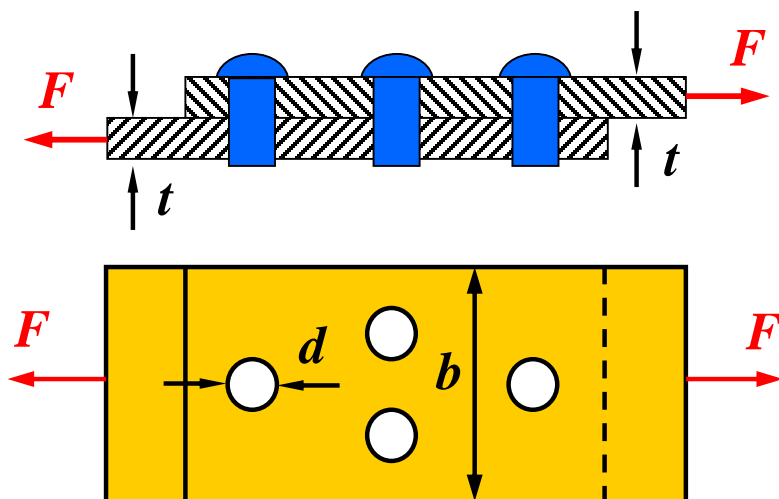
$$F_N = F \quad A = \pi d^2 / 4 \quad \sigma = \frac{4F}{\pi d^2} \leq [\sigma]$$

(4) 进行比较：

$$H = \frac{5}{12} d \quad D = \frac{\sqrt{6}}{2} d$$

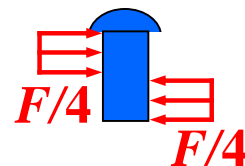


15-2 实用算法应用



例15-2 已知: $F=80\text{kN}$, $t=10\text{mm}$, $b=80\text{mm}$, $d=16\text{mm}$, 板 $[\sigma]=160\text{MPa}$, 销钉的 $[\tau]=120\text{MPa}$, $[\sigma_{bs}]=340\text{MPa}$, 试校核联接件强度。

解: (1)销钉剪切强度校核:



$$F_s = \frac{F}{4} \quad A_s = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F}{\pi d^2} = 99.5\text{MPa} \leq [\tau]$$

(2)销钉挤压强度校核: $F_{bs} = \frac{F}{4} \quad A_{bs} = dt$

$$\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}} = \frac{F}{4dt} = 125\text{MPa} \leq [\sigma_{bs}]$$

(3)板的拉伸强度校核:

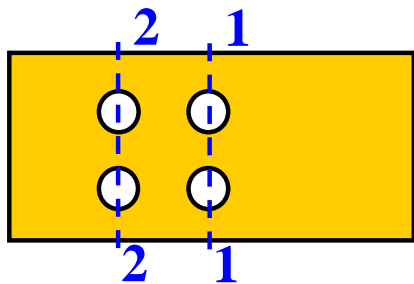
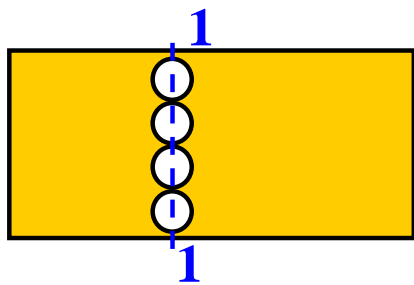
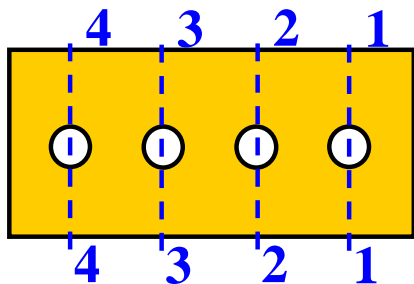
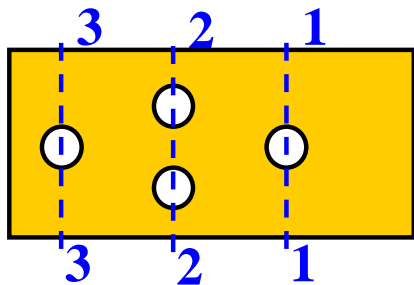
$$F_{N1} = F \quad F_{N2} = \frac{3F}{4} \quad F_{N3} = \frac{F}{4}$$

$$\sigma_1 = \frac{F_{N1}}{A_1} = \frac{F}{t(b-d)} = 125\text{MPa} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_2 = \frac{F_{N2}}{A_2} = \frac{3F}{4t(b-2d)} = 125\text{MPa} \leq [\sigma]$$

综上, 联接件安全

15-2 实用算法应用



讨论：哪种工程方案最好？

分析：四种情况的剪切、挤压强度不变

(一)
$$\sigma_1 = \frac{F}{t(b-d)} = 125\text{MPa}$$

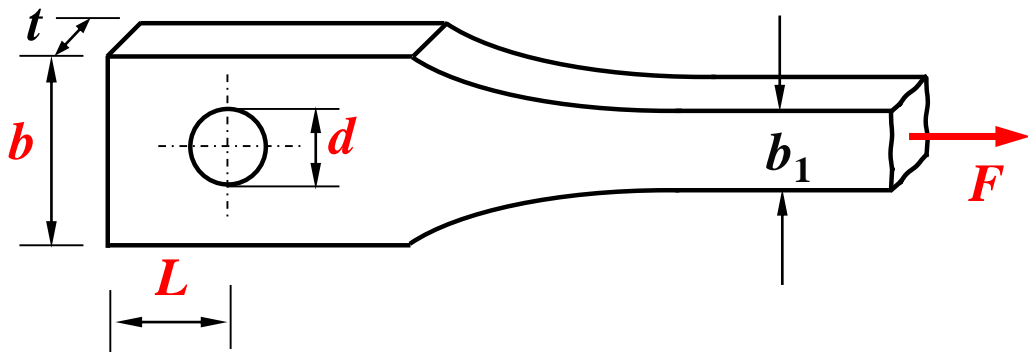
$$\sigma_2 = \frac{3F}{4t(b-2d)} = 125\text{MPa}$$

(二)
$$\sigma_1 = \frac{F}{t(b-d)} = 125\text{MPa}$$

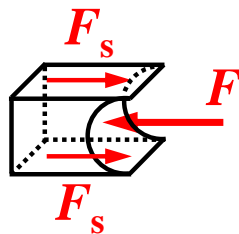
(三)
$$\sigma_1 = \frac{F}{t(b-4d)} = 500\text{MPa}$$

(四)
$$\sigma_1 = \frac{F}{t(b-2d)} = 167\text{MPa}$$

15-2 实用算法应用



例15-3 已知: σ_b 、 b_1 、 t 、 $[\sigma_{bs}]$ 、 $[\sigma]$ 、 $[\tau]$, 设计试件的尺寸: L 、 d 、 b 。



解: (一) 最大拉力

$$F = tb_1\sigma_b$$

(二) 剪切强度

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{tb_1\sigma_b}{2tL} \leq [\tau]$$

$$L \geq b_1 \frac{\sigma_b}{2[\tau]}$$

(三) 挤压强度

$$\sigma_{bs} = \frac{F}{A_{bs}} = \frac{tb_1\sigma_b}{td} \leq [\sigma_{bs}]$$

$$d \geq b_1 \frac{\sigma_b}{[\sigma_{bs}]}$$

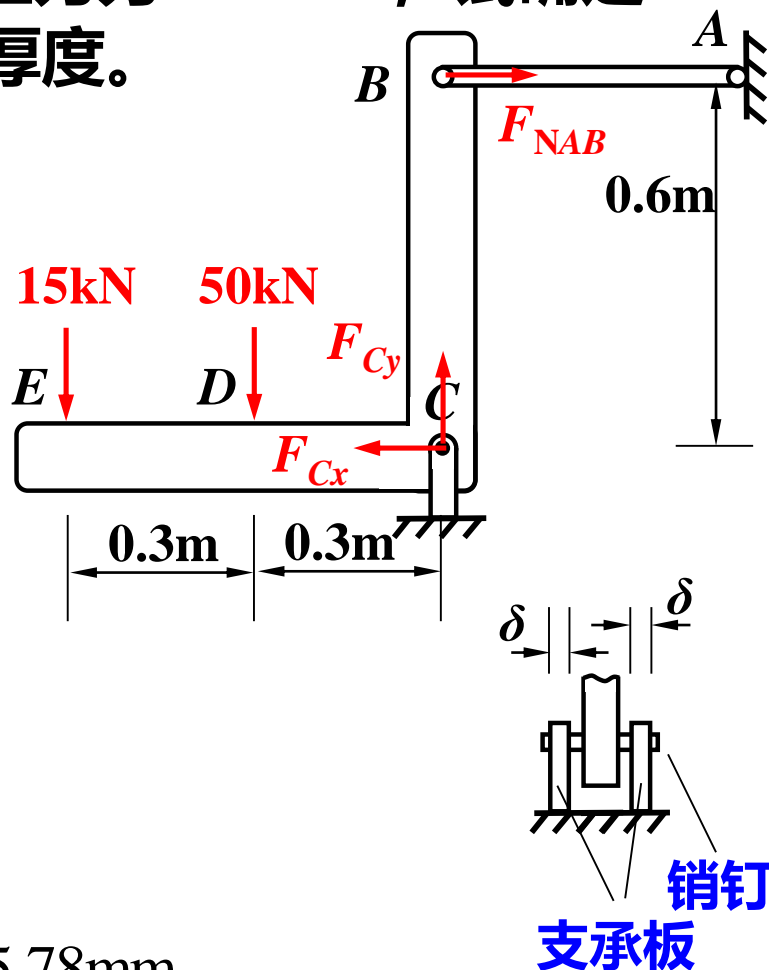
(四) 拉伸强度

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{净}}} = \frac{tb_1\sigma_b}{t(b-d)} \leq [\sigma]$$

$$b \geq b_1 \frac{\sigma_b}{[\sigma]} + b_1 \frac{\sigma_b}{[\sigma_{bs}]}$$

解：受力分析 $F_{NAB} = 40\text{kN}$

$$F_{C_x} = 40\text{kN} \quad F_{C_y} = 65\text{kN} \quad F_C = 76.3\text{kN}$$

$$\sigma_{AB} = \frac{F_{NAB}}{A} = \frac{4F_{NAB}}{\pi d_{AB}^2} \leq [\sigma] \quad d_{AB} = 16.8\text{mm}$$
$$\tau = \frac{F_C}{2A} = \frac{2F_C}{\pi d^2} \leq [\tau] \quad d = 22.0\text{mm}$$
$$\sigma_{bs} = \frac{F_c}{2A_{bs}} \leq [\sigma_{bs}] \quad A_{bs} = \delta d \quad \delta = 5.78\text{mm}$$


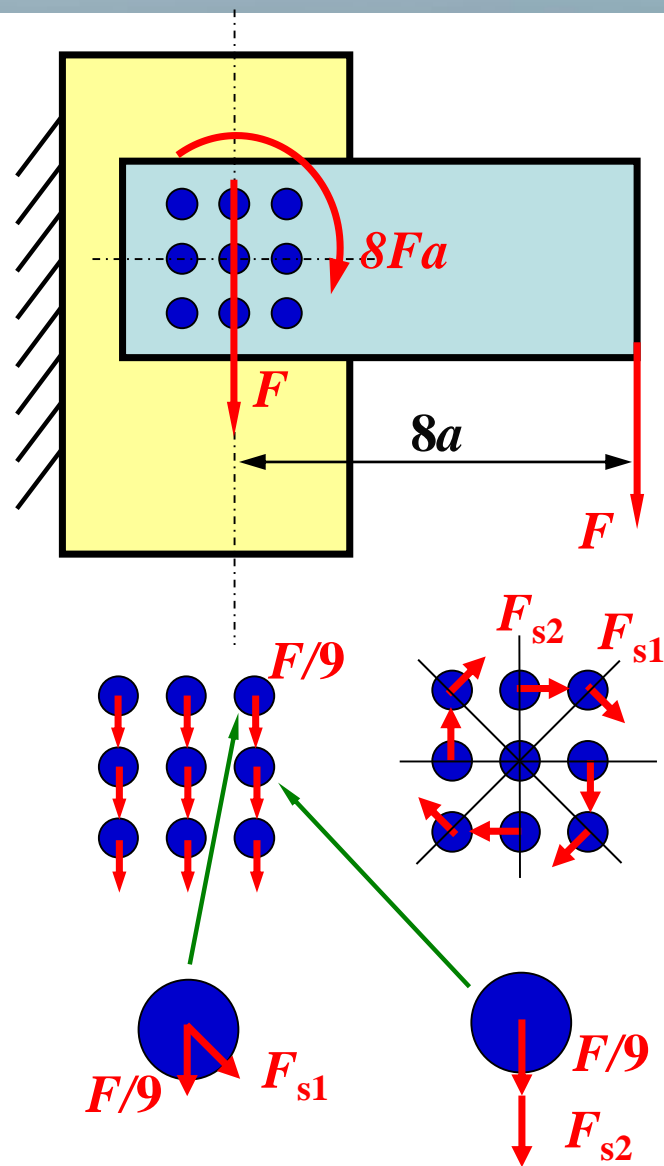
15-2 实用算法应用

课外题：铆钉间距为 a ，直径为 d ，受到 F 作用。求铆钉内的最大剪切应力。

解：受力分析

(1)若一集中力作用在铆钉群形心，则每个铆钉受力相同；

(2)若一集中力偶作用在铆钉群形心，则铆钉受力与其离形心距离成正比，方向与其至形心连线垂直。



$$\begin{cases} 4(F_{s1} \times \sqrt{2}a + F_{s2} \times a) = 8Fa \\ \frac{F_{s1}}{F_{s2}} = \sqrt{2} \end{cases}$$

$$F_{s1} = \frac{2\sqrt{2}F}{3} \quad F_{s2} = \frac{2F}{3}$$

$$F_s = \sqrt{\left(F_{s1} \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 + \left(\frac{F}{9} + F_{s1} \times \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{61}}{9} F$$

$$F_s' = F_{s2} + \frac{F}{9} = \frac{7}{9} F$$

$$\tau_{\max} = \frac{F_s}{A} = \frac{4\sqrt{61}F}{9\pi d^2} = \frac{1.1F}{d^2}$$

学前问题：

- **何为实用计算？**
- **联接件的强度有几方面？**



第十五章的基本要求



1. 了解实用计算的概念;

2. 熟练掌握联接件的强度计算。

今日作业

15-2、15-8



请预习

第十二章 “动载荷”

