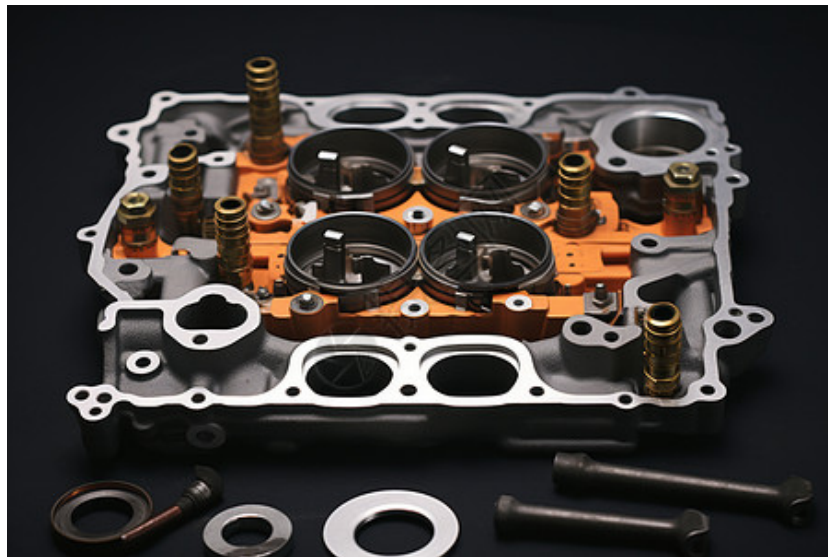
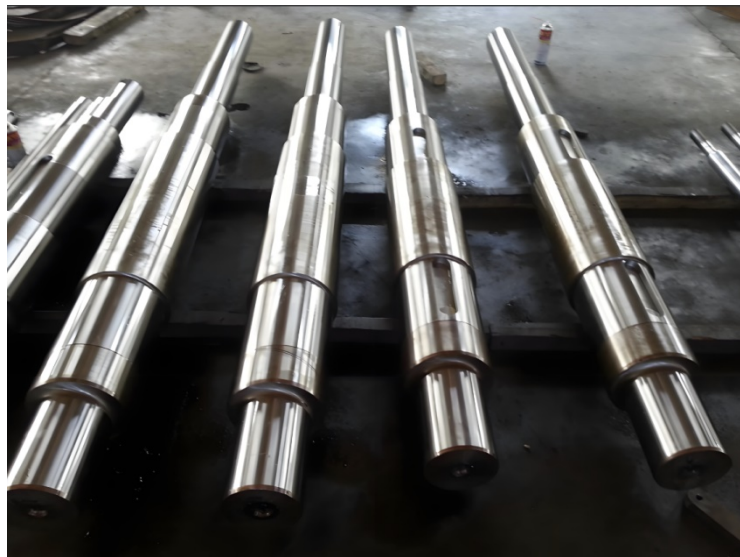


第二章 轴向拉伸与压缩 剪切与挤压（六）

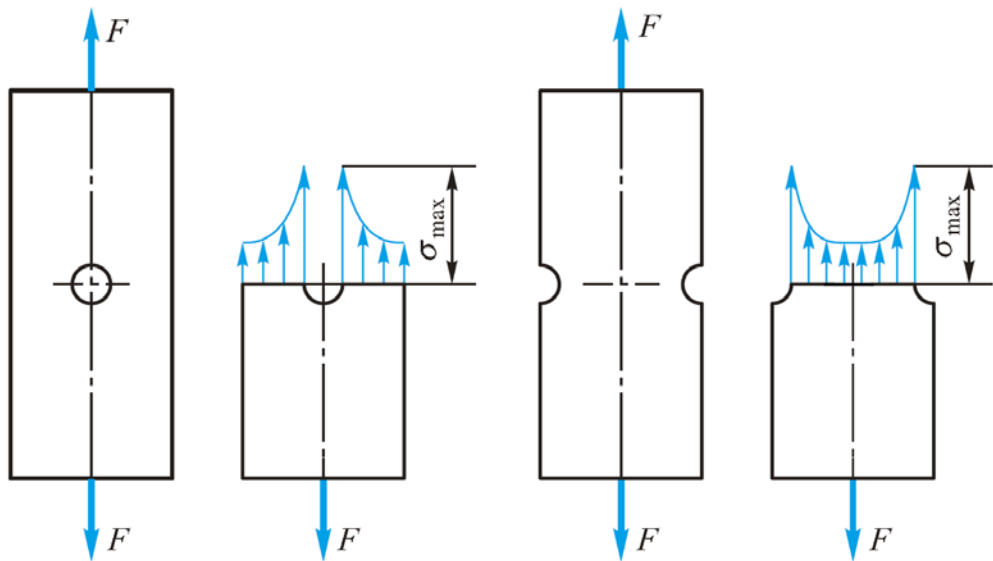
第 7 讲

§ 2.12 应力集中的概念

工程实际中，经常会遇到截面突然改变的杆件，有些零件因实际需要必须有切口、切槽、油孔、螺栓孔等。



因杆件外形突然变化，而引起局部应力急剧增大的现象，称为**应力集中**。



理论应力集中因数：

$$K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma}$$

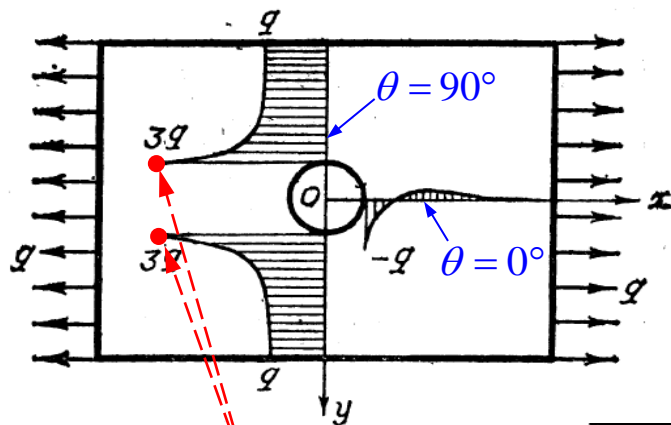
σ_{\max} — 截面上的**最大应力**

σ — 截面上的**平均应力**

K 反映了应力集中的程度，
是一个大于1 的因数！

截面尺寸变化越急剧、角越尖、孔越小，应力集中的程度就越严重！

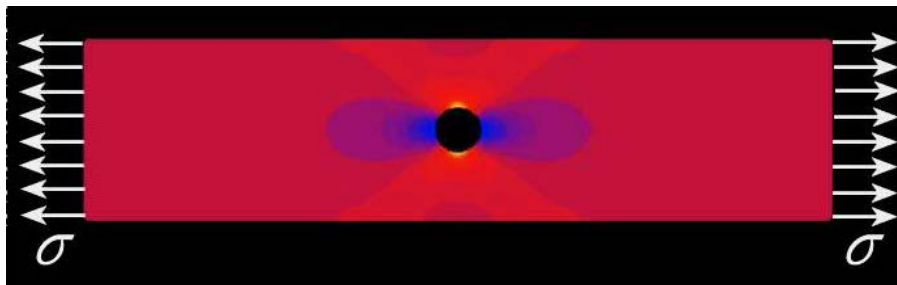
应力集中因数的大小（含小圆孔的无限大平板）



$$r = a: \sigma_{\theta} = 3q$$

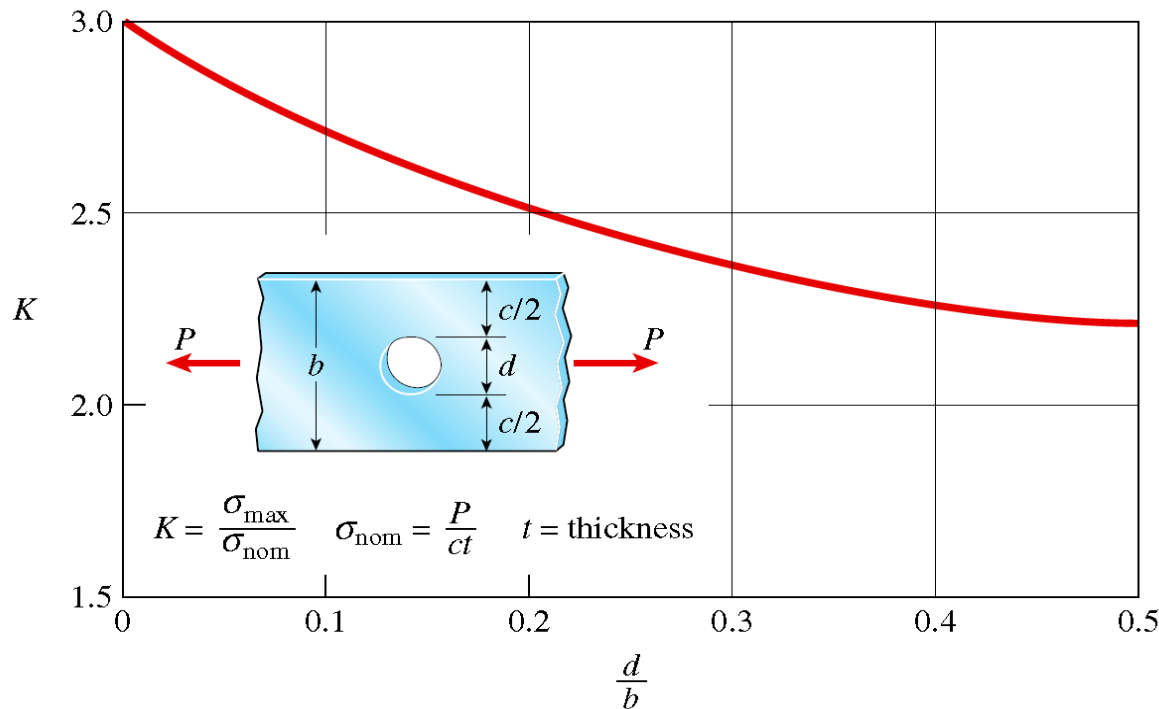
$$\theta = 90^{\circ}: \sigma_{\theta} = q \left(1 + \frac{1}{2} \frac{a^2}{r^2} + \frac{3}{2} \frac{a^4}{r^4} \right)$$

$$\theta = 0^{\circ}: \sigma_{\theta} = -\frac{q}{2} \frac{a^2}{r^2} \left(3 \frac{a^2}{r^2} - 1 \right)$$



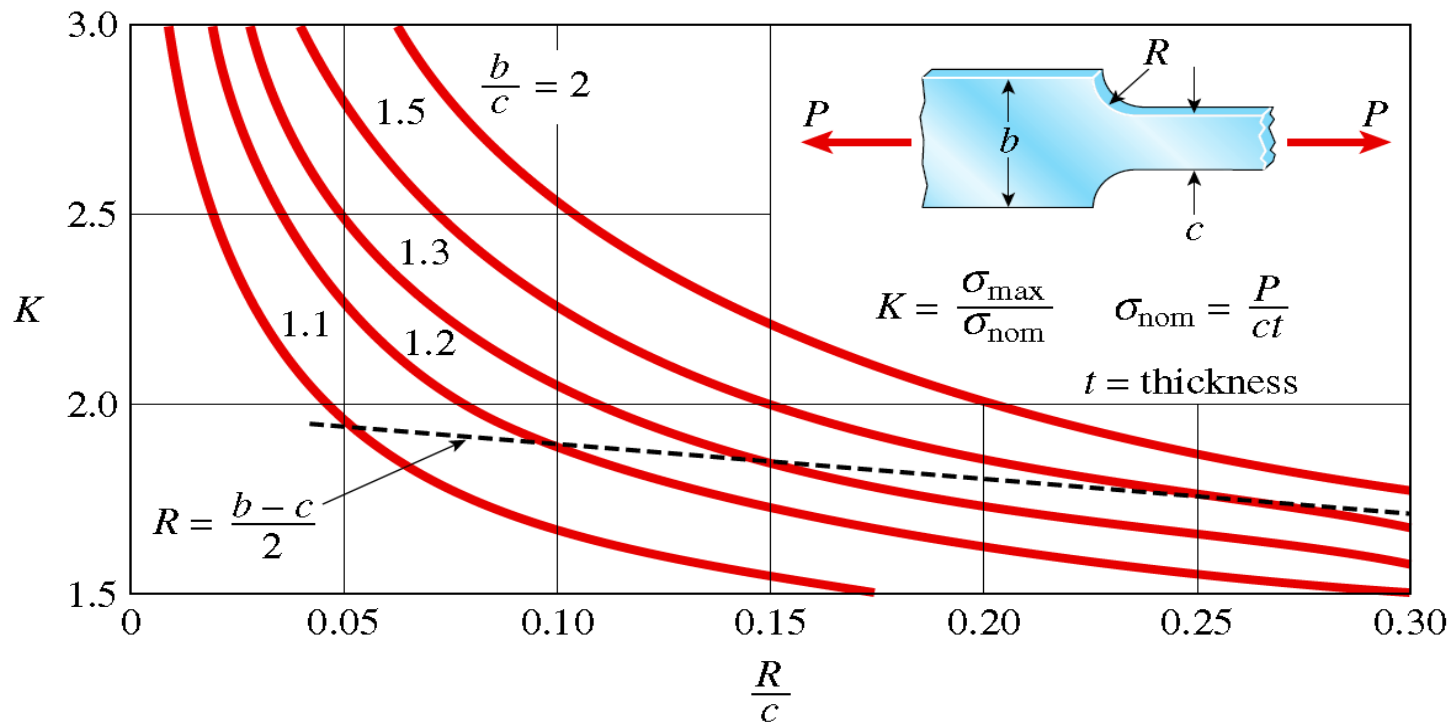
有限元方法（Finite element method）

含圆孔的有限宽度平板的应力集中❶



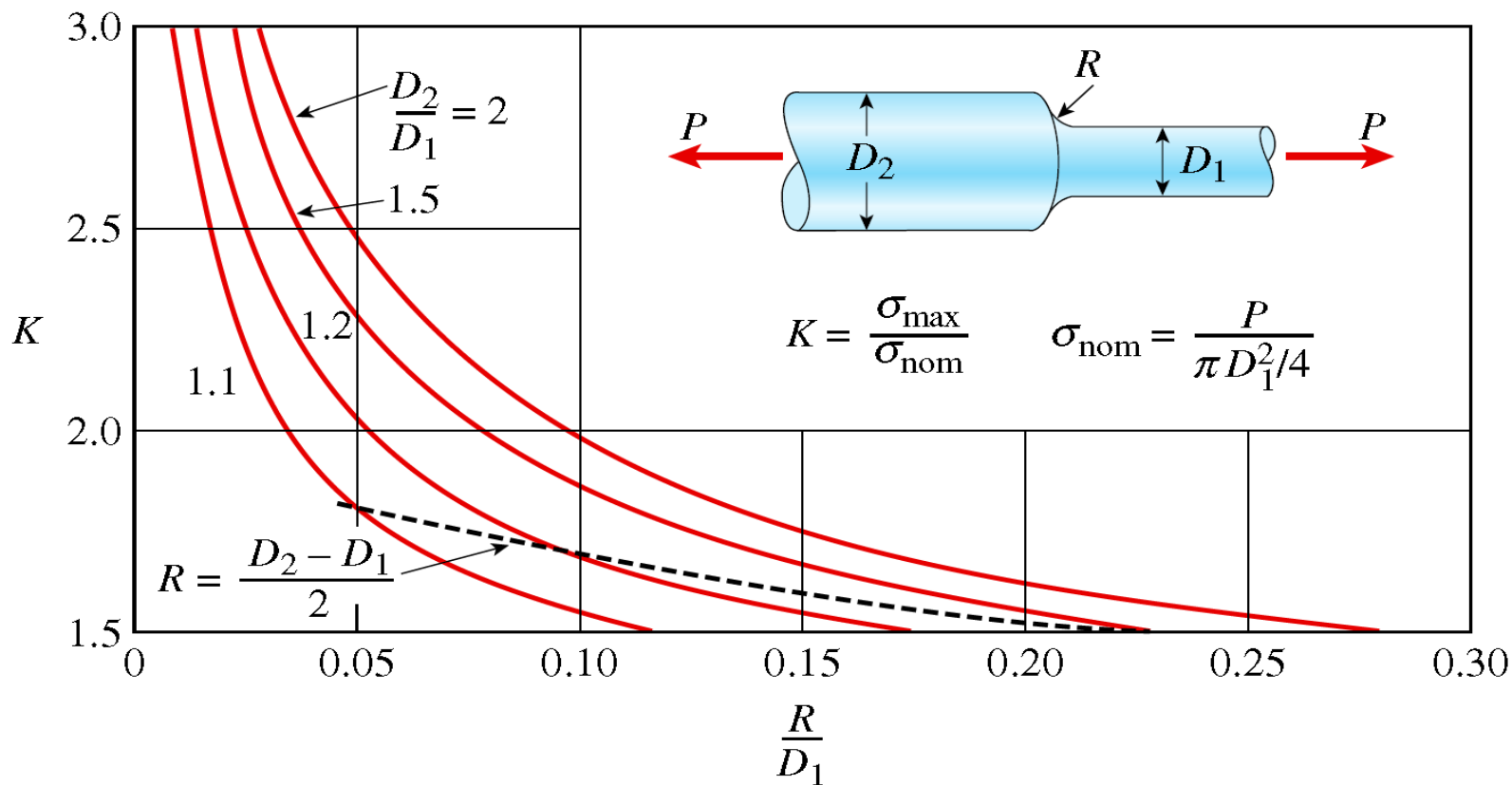
应力集中因数随 d/b 的增大而减小！

不同大小的截面过渡区域也有应力集中—板材



b/c 给定时: R/c 越大, 应力集中因数越小!

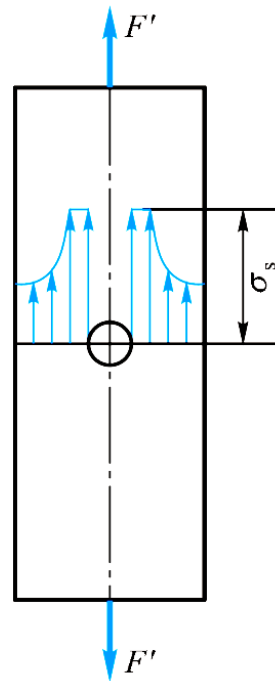
不同大小的截面过渡区域也有应力集中—棒材



D_2/D_1 给定时: R/D_1 越大, 应力集中因数越小!

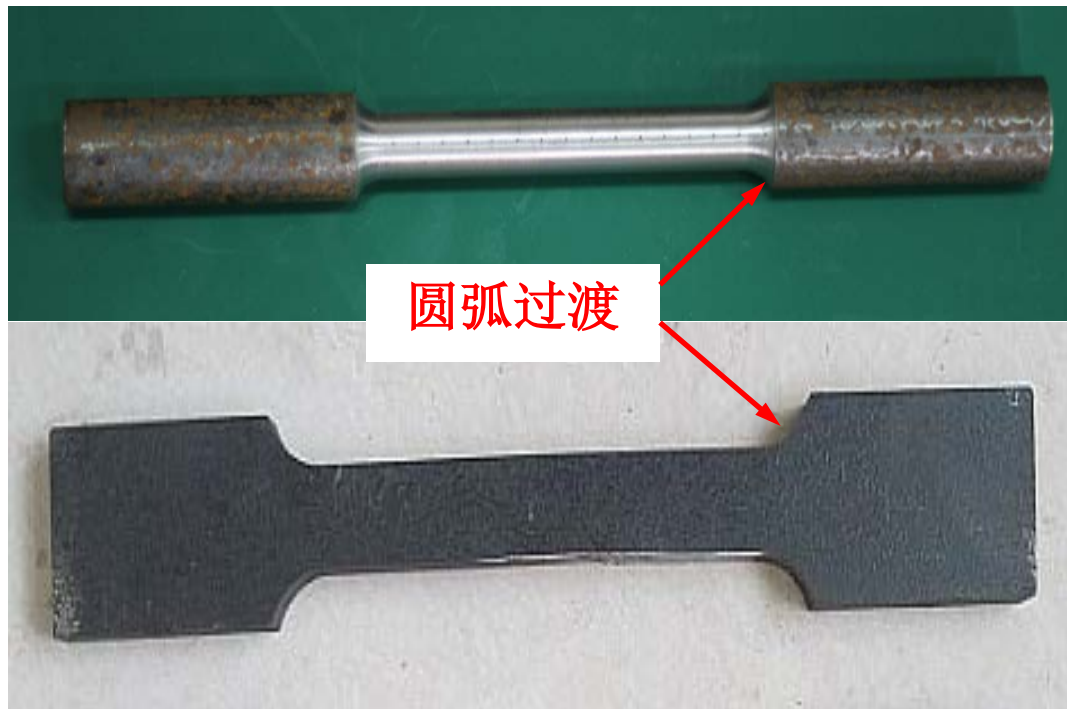
⏮ 各种材料对应力集中的敏感程度并不相同。

塑性材料有屈服阶段，当局部的最大应力达到屈服极限 σ_s 时，该处材料的变形可以继续增长，而应力不再增大，增加的力就由截面上尚未进入屈服的材料来承担，使截面上的应力逐渐趋于平均，降低了应力不均匀程度。因此，在静载荷情形，塑性材料对应力集中不敏感，可以不考虑。



对于脆性材料，没有屈服阶段，当载荷增加时，应力集中处的最大应力一直增大，并首先达到强度极限 σ_b ，从而导致构件的破坏。因此，即使在静载荷情形，脆性材料应考虑应力集中的影响。

应力集中现象的处理和应用



零件上应尽量避免带尖角的孔和槽，阶梯轴的轴肩处要用圆弧过渡！



§ 2.13 剪切和挤压的实用计算

工程中**多个构件的连接**是很常见的（特别是钢结构工程），此时除了研究被连接件的强度外，**连接件本身的强度**也非常重要。



索与杆连接



索与锚固件连接



吊装工程

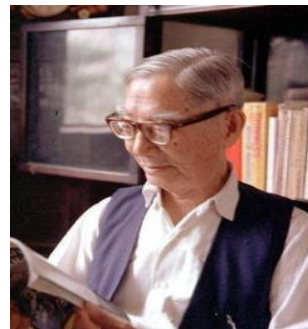
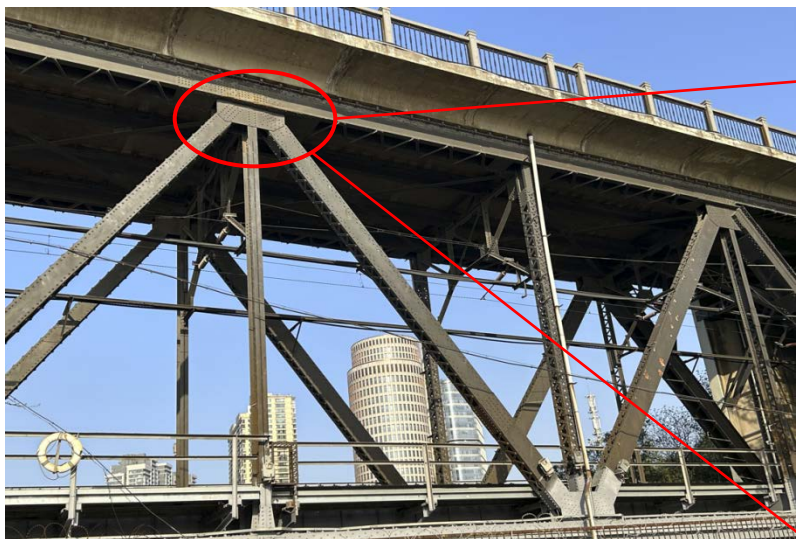


常见的连接方式:

1. 铆钉连接

钱塘江大桥 1937年9月26日建成

我国自行设计、建造的第一座双层铁路、公路两用桥。



茅以升

(1896-1989)

“中国桥梁之父”



2. 螺栓连接



3. 销连接



4. 键连接

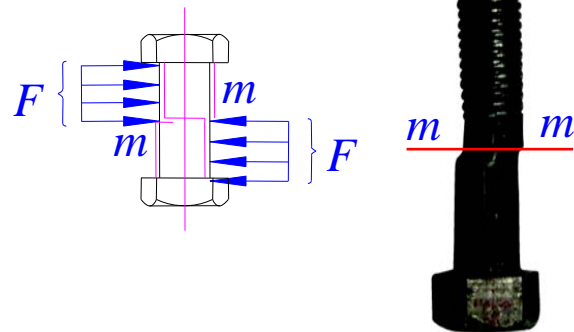
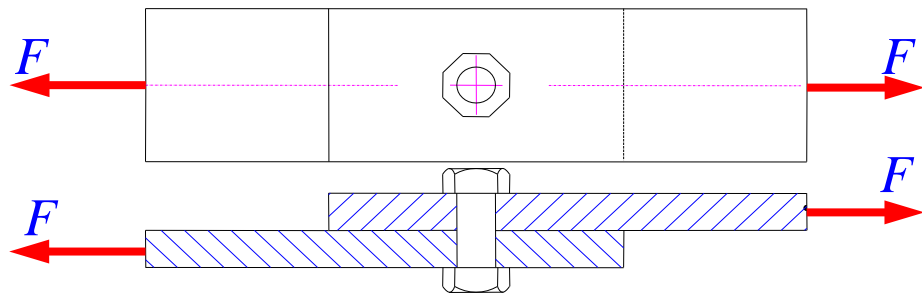


键用来连接轴和装在轴上的转动零件，如齿轮、皮带轮、联轴器等，起传递扭矩的作用。

连接件的特点

因连接件的本身尺寸很小，而其变形往往比较复杂，在工程设计中，通常按照连接破坏的可能性，采用实用算法。

以螺栓(或铆钉)连接为例



实验表明, 连接件的破坏可能性有:

- 1) 螺栓在两侧与钢板接触面的压力 F 作用下, 将沿 m - m 截面被剪断;
- 2) 螺栓与钢板在相互接触面上因挤压而使连接松动;
- 3) 钢板在受螺栓孔削弱的截面处被拉断。

其他的连接也都有类似的破坏可能性。

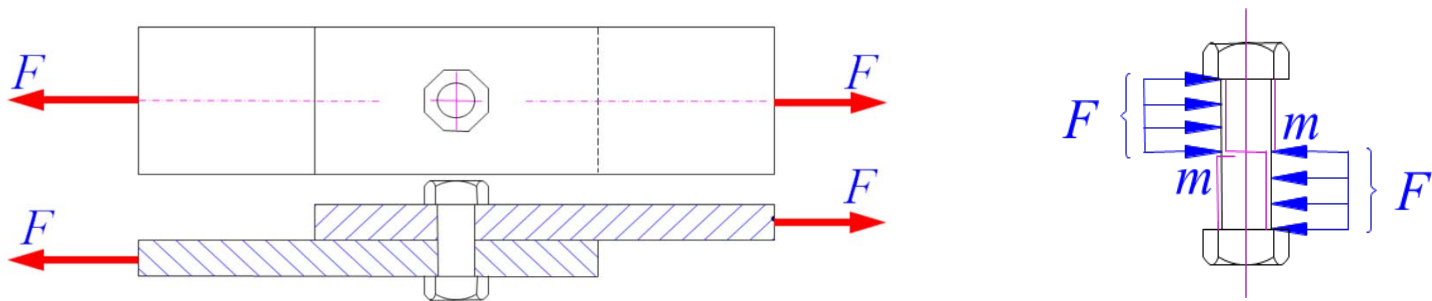
这类问题的处理方法：

在局部面积上的受压称为挤压或承压，是相当复杂的问题。工程上对螺栓连接的强度计算，均采用直接实验为依据的实用计算。

工程实用计算方法

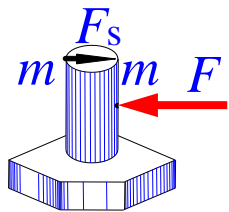
- ① 按照破坏可能性
- ② 反映受力基本特征
- ③ 简化计算

一、剪切的实用计算



剪切的特点是：作用于构件某一截面两侧的力，大小相等、方向相反且相互平行，使构件的两部分沿这一截面（剪切面）发生相对错动的变形。

杆件将沿两侧外力之间、与外力作用线平行的截面 m - m 发生**相对错动**，这种变形形式为**剪切**。 m - m 截面发生**剪切变形**，称为**剪切面**。



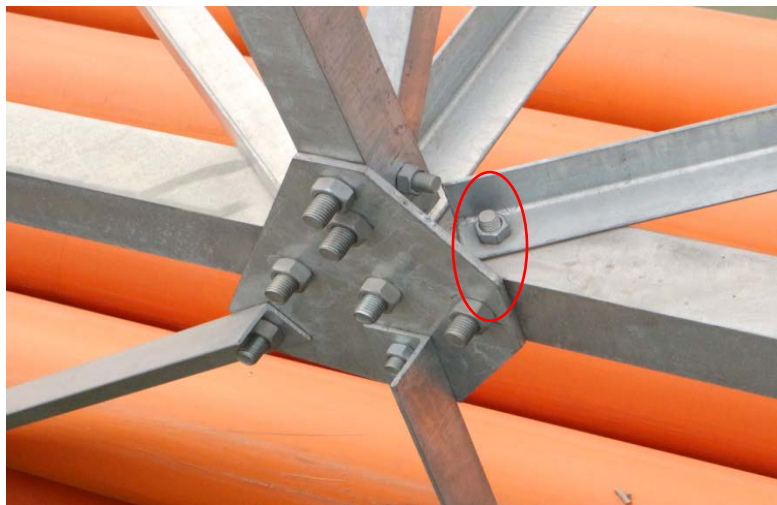
截面法：可得剪切面上的内力，即**剪力** F_s 。

在剪切实用计算中，假设剪切面上**各点处的切应力相等**，得剪切面上的名义切应力和剪切的强度条件

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

A_s —剪切面面积

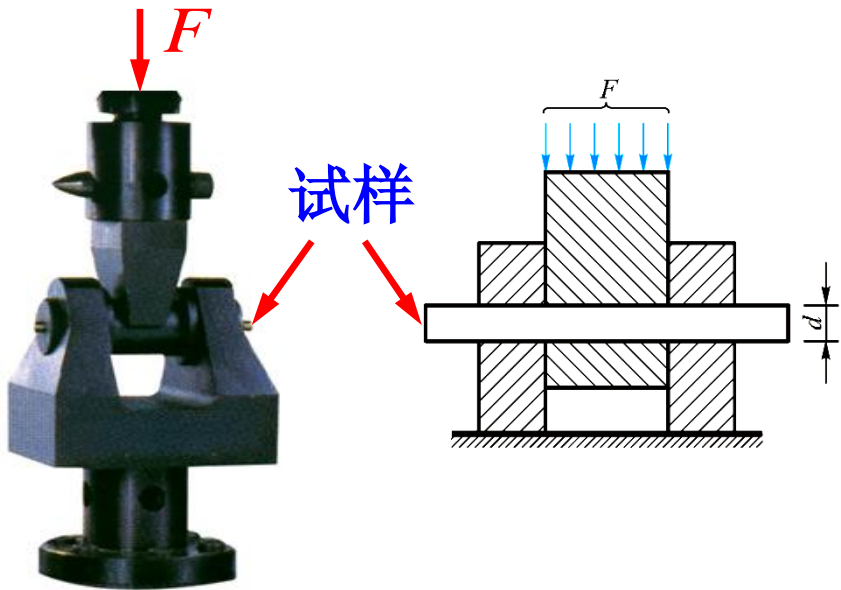
对大多数的连接件(或连接)来说，剪切变形及剪切强度是主要的。



注意 连接件计算中，连接件材料的许用切应力 $[\tau]$ 是通过剪切试验，按得到的剪切破坏时材料的极限切应力，再除以安全因数，即得 $[\tau]$ 。

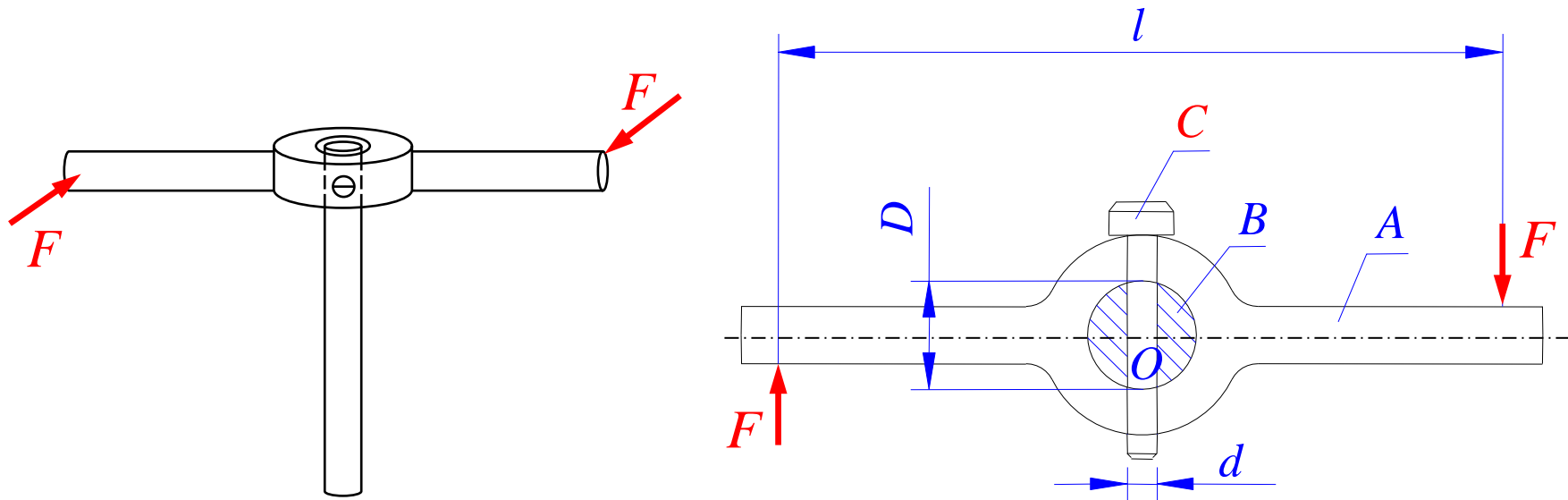


剪切试验装置

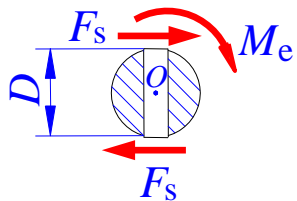


剪切试验

例1 图示的销连接中，构件A通过**安全销C** 将力偶矩传递到构件B。已知**最大荷载为** $F=2\text{kN}$ ，加力臂长 $l=1.2\text{m}$ ，构件B的直径 $D=65\text{mm}$ ，销的极限切应力 $\tau_u=200\text{MPa}$ 。试求安全销所需的直径 d 。



分析



解：取构件B和安全销为研究对象，
受力分析如图

平衡条件： $\Sigma M_O = 0: F_s D = M_e = Fl$

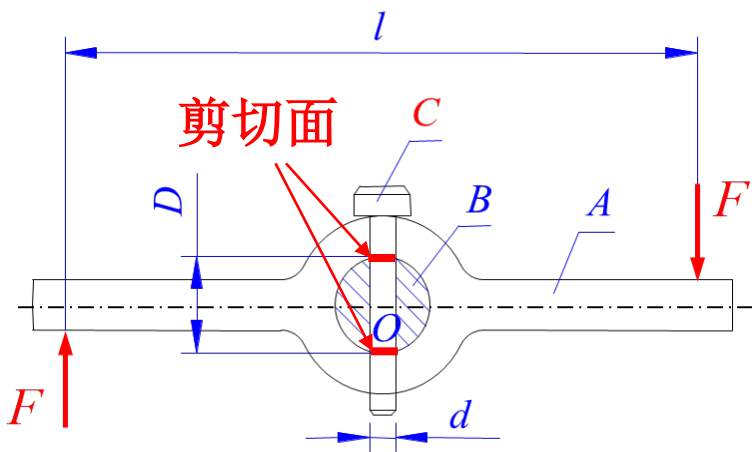
得剪力： $F_s = \frac{Fl}{D} = 36.92\text{kN}$

当安全销横截面上的切应力达到其极限值时，
销被剪断。剪断条件为

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{F_s}{\pi d^2 / 4} \geq \tau_u$$

解得

$$d \leq \sqrt{\frac{4F_s}{\pi \tau_u}} = 0.0153\text{m} = 15.3\text{mm}$$



$F=2\text{kN}$, $l=1.2\text{m}$

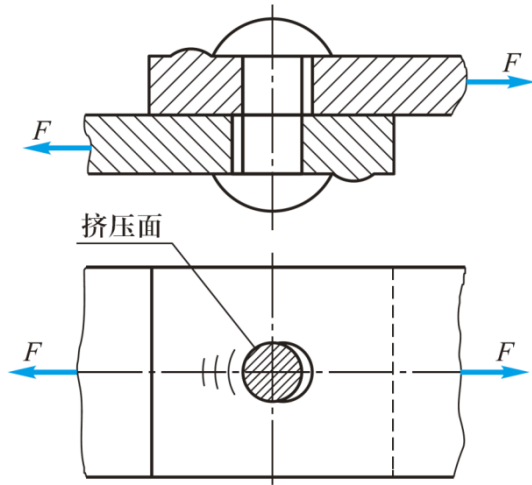
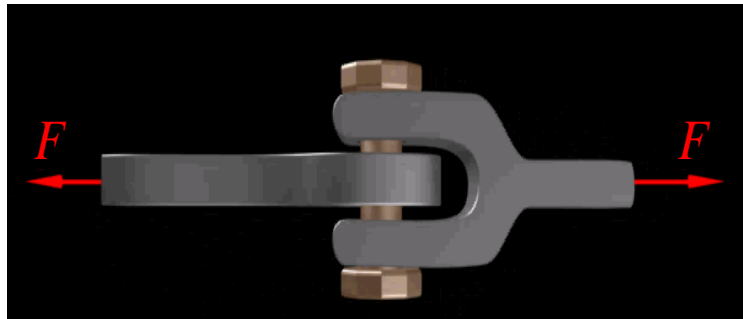
$D=65\text{mm}$, $\tau_u=200\text{MPa}$

二、 挤压的实用计算

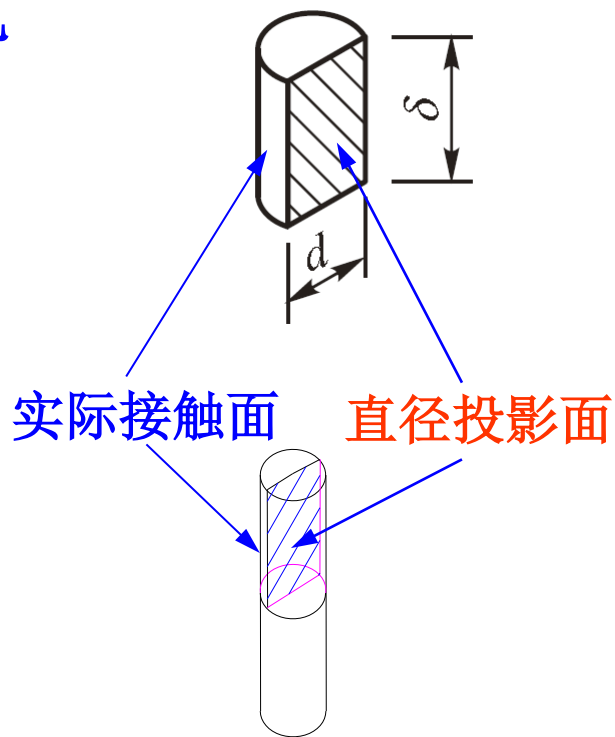
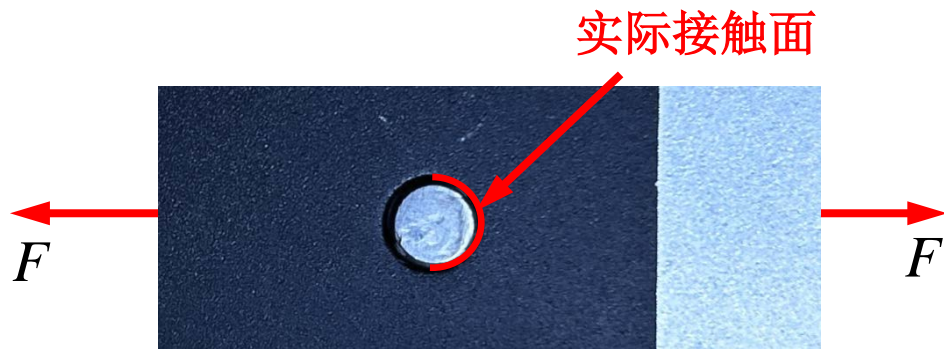
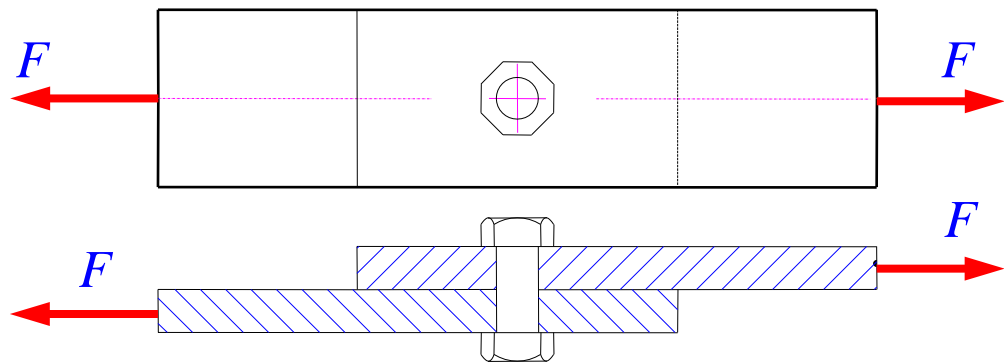
螺栓连接中，在螺栓与钢板相互接触的侧面上，将发生彼此间的局部承压现象，称为**挤压**。

在接触面上的压力，称为**挤压力** F_{bs} 。

挤压力过大，可能引起螺栓压扁或钢板在孔缘**压皱**，从而导致连接松动而**失效**。



实际情形的受力情况



实际的挤压面是半个圆柱面

在实用计算中，挤压应力 $\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}}$

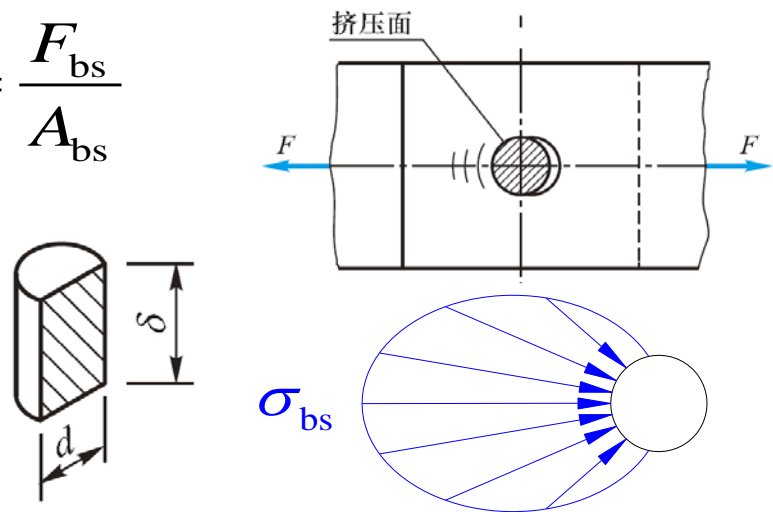
对于接触面是圆柱面情形， A_{bs}
为直径平面面积 $A_{bs} = bd$

对于接触面是平面情形， A_{bs} 即
为接触面面积

挤压强度条件： $\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}} \leq [\sigma_{bs}]$

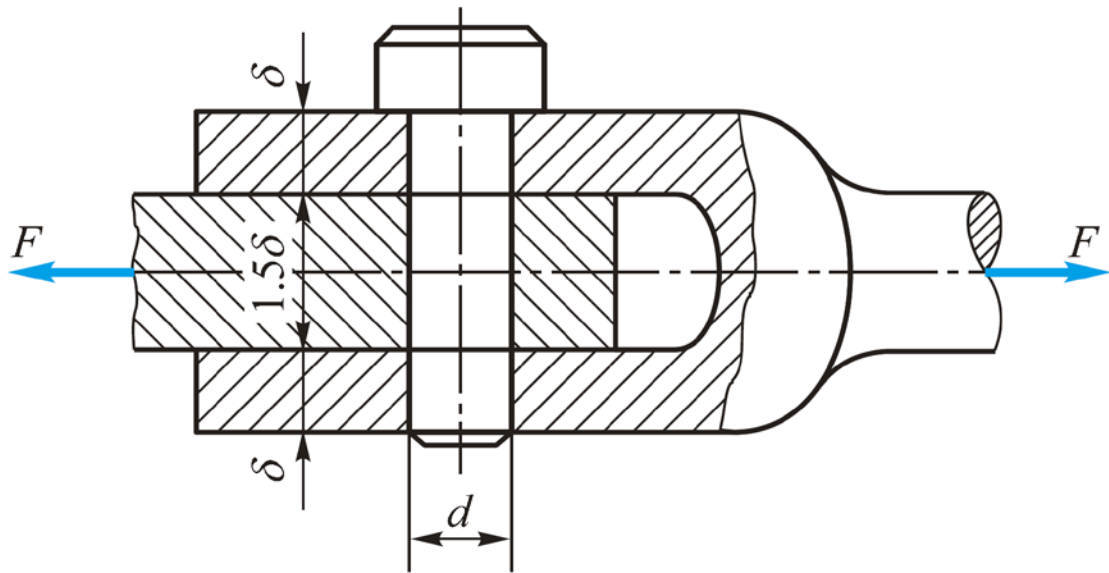
$[\sigma_{bs}]$ ——许用挤压应力。是通过试验，按名义挤压应力公式得到的极限挤压应力。

注意 挤压应力是在连接件和被连接件之间相互作用的，
因此应校核许用挤压应力较低的材料挤压强度。



圆柱面上实际压应力的分布

例2 销连接如图。已知 $F=18\text{kN}$, $\delta=5\text{mm}$, $d=15\text{mm}$, 材料许用切应力 $[\tau]=60\text{MPa}$, 许用挤压应力 $[\sigma_{bs}]=200\text{MPa}$, 试校核销连接的强度。



$F=18\text{kN}$, $d=15\text{mm}$, $\delta=5\text{mm}$

$[\tau]=60\text{MPa}$, $[\sigma_{bs}]=200\text{MPa}$

解：（1）剪切强度校核

$$F_s = \frac{F}{2} = 9\text{kN}$$

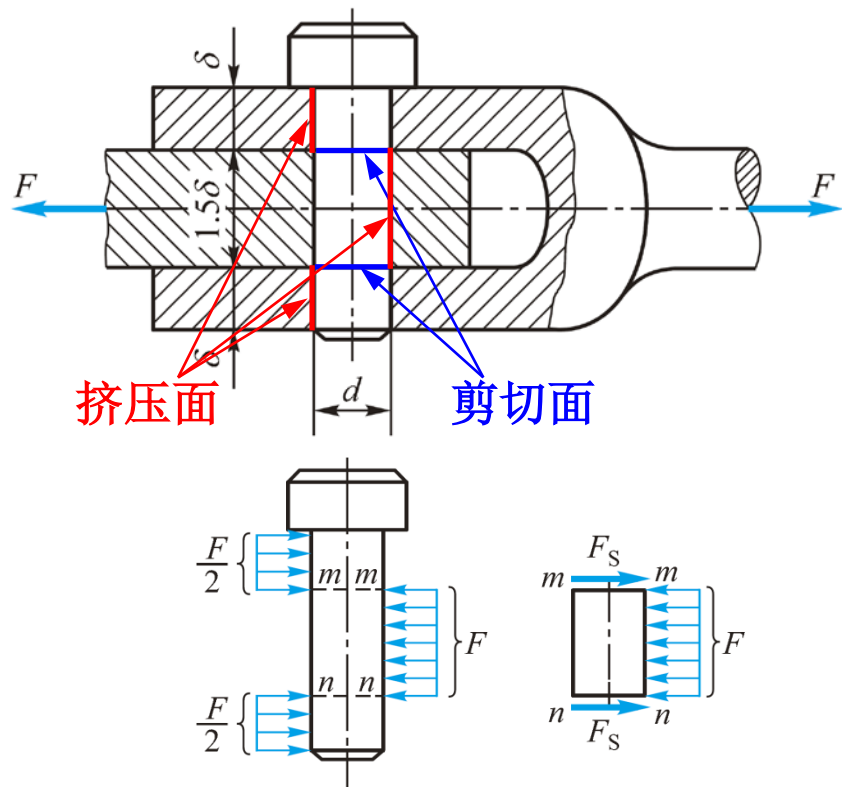
$$\tau = \frac{F_s}{A} = \frac{9 \times 10^3}{\frac{\pi}{4} \times 15^2} = 50.9\text{MPa} < [\tau]$$

（2）挤压强度校核

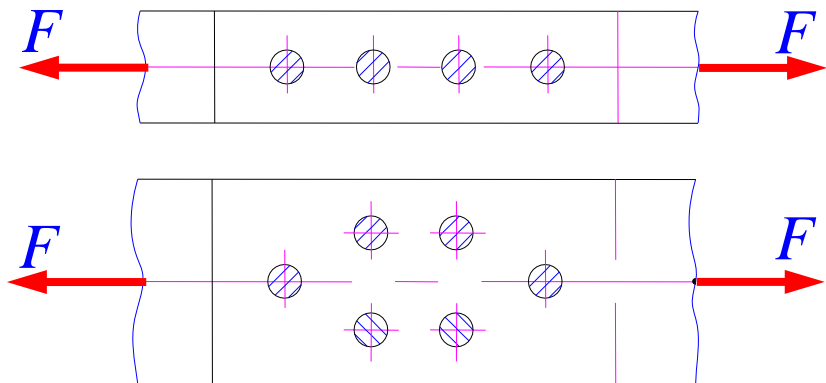
$$\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}} = \frac{F}{1.5\delta d}$$

$$= \frac{18000}{1.5 \times 5 \times 15} = 160.0\text{MPa} < [\sigma_{bs}]$$

综上，销连接满足强度要求。



三、铆钉组连接的计算



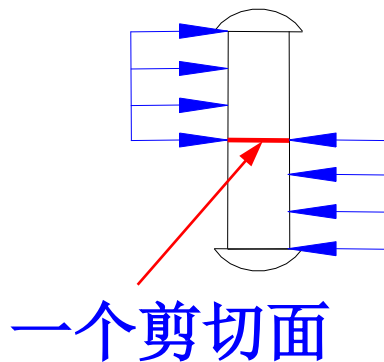
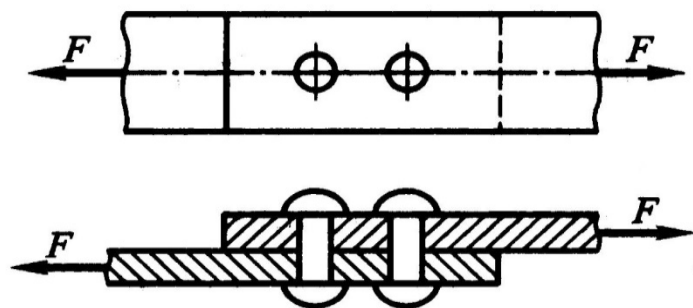
在铆钉组的计算中假设：

- 1) 无论铆接的方式如何，均不考虑弯曲的影响。
- 2) 若外力的作用线通过铆钉组横截面的形心，且同一组内各铆钉的直径相同，则每个铆钉的受力也相同。

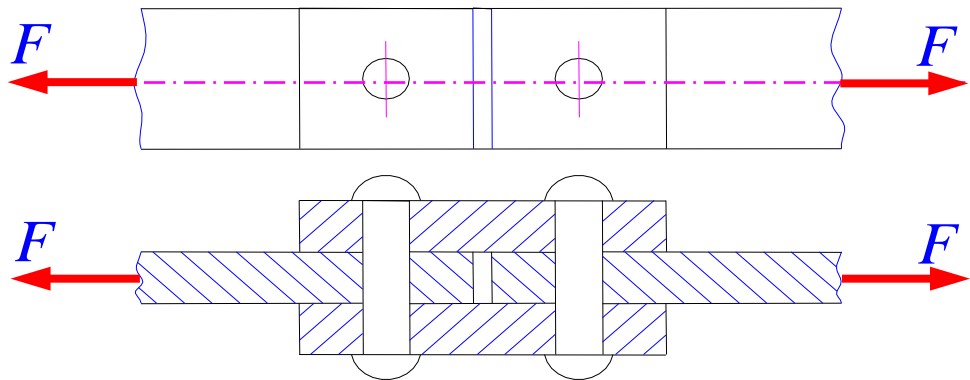
每个铆钉的受力为 $F_1 = \frac{F}{n}$

连接方式

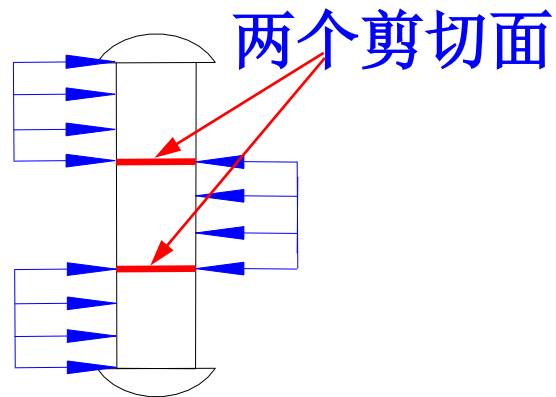
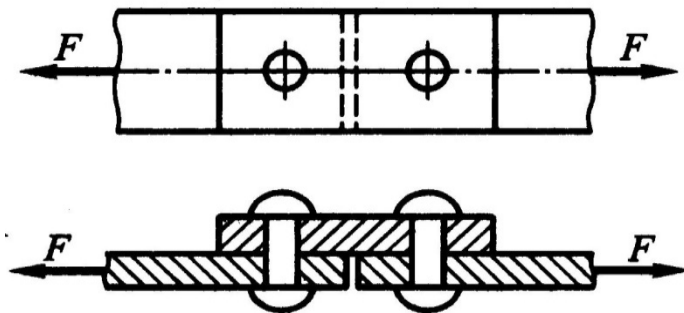
搭接



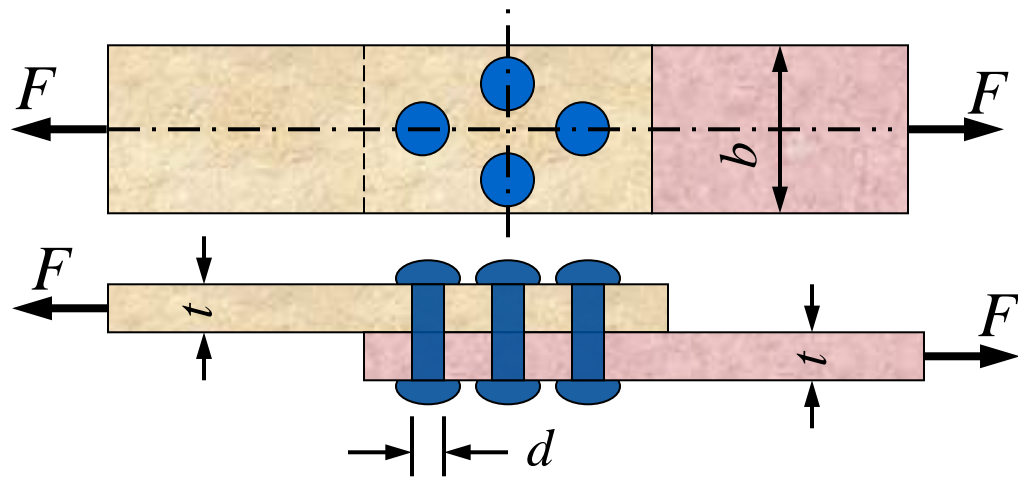
双盖板对接



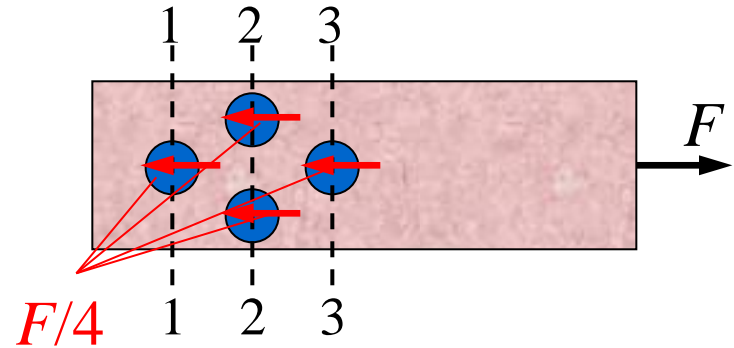
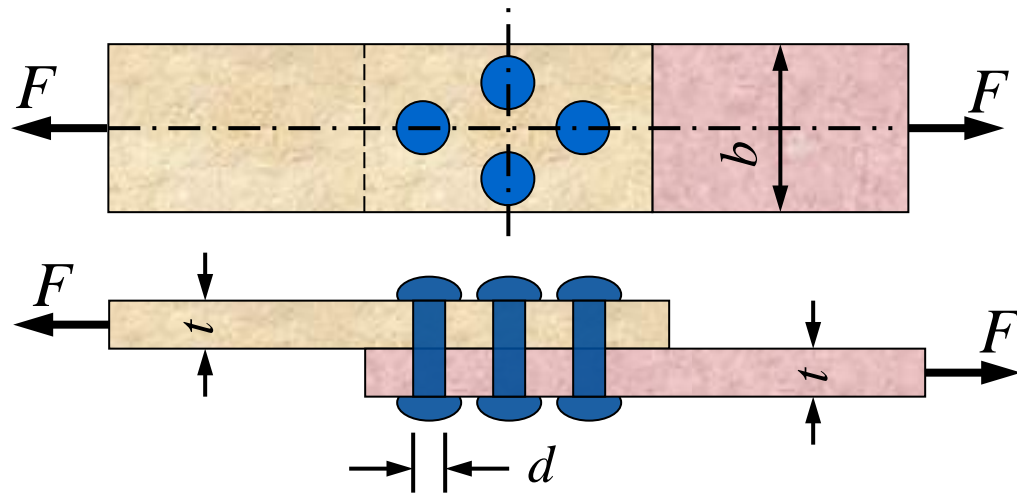
单盖板对接



例3 一铆接头如图所示，受力 $F=110\text{kN}$ ，已知钢板厚度为 $t=1\text{cm}$ ，宽度 $b=8.5\text{cm}$ ，许用应力为 $[\sigma]=160\text{MPa}$ ；铆钉的直径 $d=1.6\text{cm}$ ，许用切应力为 $[\tau]=140\text{MPa}$ ，许用挤压应力为 $[\sigma_{bs}]=320\text{MPa}$ ，试校核铆接头的强度。（假定每个铆钉受力相等）



解：①受力分析



$$F_s = F_{bs} = \frac{F}{4}$$

②螺栓的剪切和挤压强度条件

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{\frac{1}{4} \times F}{\frac{1}{4} \times \pi d^2} = \frac{110 \times 10^3}{3.14 \times 16^2} = 136.8 \text{MPa} \leq [\tau]$$

$$\sigma_{bs} = \frac{F_{bs}}{A_{bs}} = \frac{\frac{1}{4} \times F}{td} = \frac{110 \times 10^3}{4 \times 10 \times 16} = 171.9 \text{MPa} \leq [\sigma_{bs}]$$

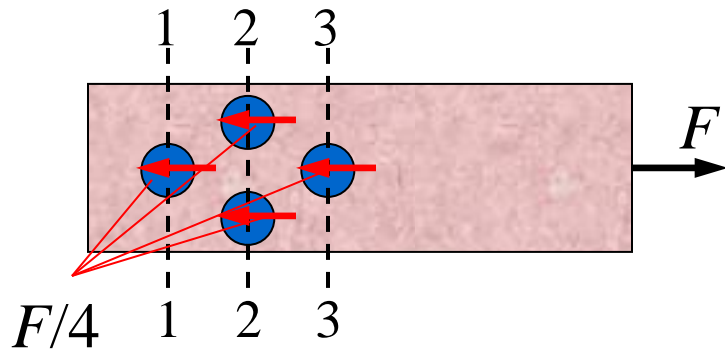
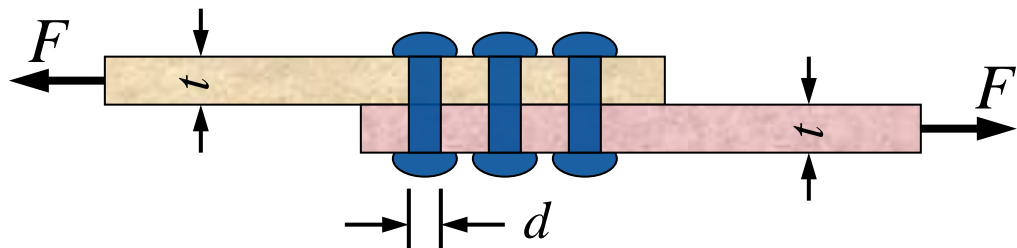
$$F=110\text{kN}, t=1\text{cm}$$

$$b=8.5\text{cm}, d=1.6\text{cm}$$

$$[\sigma] = 160 \text{MPa}$$

$$[\tau] = 140 \text{MPa}$$

$$[\sigma_{bs}] = 320 \text{MPa}$$



③钢板的强度条件（不考虑应力集中的影响）

危险截面：3-3和2-2两个截面

$$\text{3-3面: } \sigma_{3-3} = \frac{F}{t(b-d)} = \frac{110 \times 10^3}{10 \times (85-16)} = 159.4 \text{MPa} \leq [\sigma]$$

$$\text{2-2面: } \sigma_{2-2} = \frac{\frac{3}{4}F}{t(b-2d)} = \frac{\frac{3}{4} \times 110 \times 10^3}{10 \times (85-2 \times 16)} = 155.7 \text{MPa} \leq [\sigma]$$

$$F=110\text{kN}, t=1\text{cm}$$

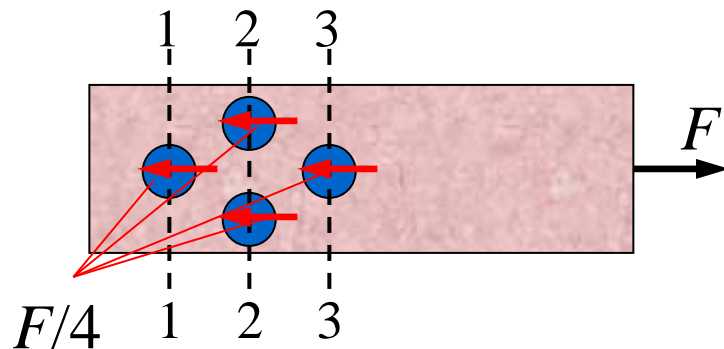
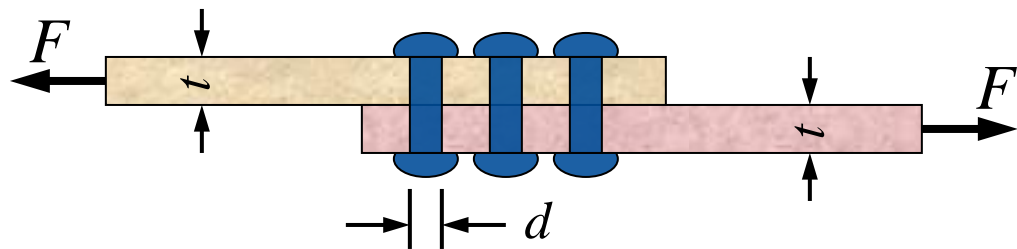
$$b=8.5\text{cm}, d=1.6\text{cm}$$

$$[\sigma]=160\text{MPa}$$

$$[\tau]=140\text{MPa}$$

$$[\sigma_{bs}]=320\text{MPa}$$

综上，接头安全。



谢 谢！

作业

P. 75-76: 2.62、2.63

P. 77: 2.68

对应第6版的序号: P. 71-72: 2.58、2.59; P. 73: 2.64

下次课 第三章 扭转