



同濟大學  
TONGJI UNIVERSITY

# 钢结构基本原理

## 钢结构的连接

王伟教授

MP: 13917324286

Office: 土木大楼A726a

E-mail: [weiwang@tongji.edu.cn](mailto:weiwang@tongji.edu.cn)

<http://www.sals.org.cn/teaching/teaching.htm>

同济大学建筑工程系

## 第5节

# 高强螺栓连接的构造和计算

# 一、高强螺栓的分类与构造

- (1) 高强螺栓的分类
- (2) 高强螺栓和普通螺栓的对比
- (3) 高强螺栓的排列与构造要求

# (1) 高强螺栓的分类

按材质  
分类

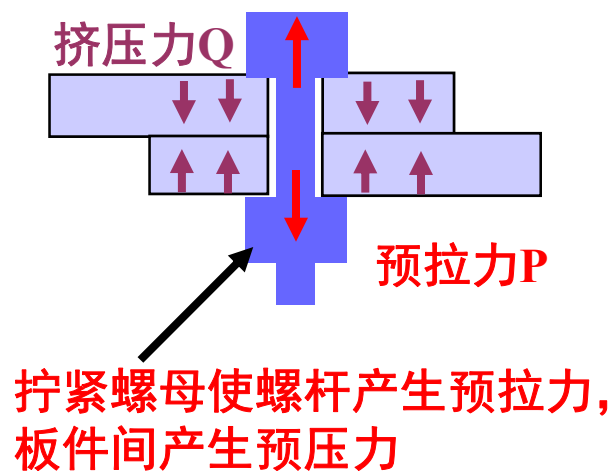
强度等级	采用钢材	强度指标(热处理后)
8.8 级	45号钢, 40B钢	$f_u^b \geq 830\text{MPa}$ , $f_y^b/f_u^b = 0.8$
10.9 级	20MnTiB钢, 35VB钢	$f_u^b \geq 1040\text{MPa}$ , $f_y^b/f_u^b = 0.9$

按施工方法  
分类

	施工方法
大六角头 (8.8级、10.9级)	扭力扳手
扭剪型 (10.9级)	拧断梅花头

## 第5节 高强螺栓连接的构造和计算

# 大六角头高强螺栓



## 第5节 高强螺栓连接的构造和计算

# 扭剪型高强螺栓



# (1) 高强螺栓的分类

按受力特征分类 →

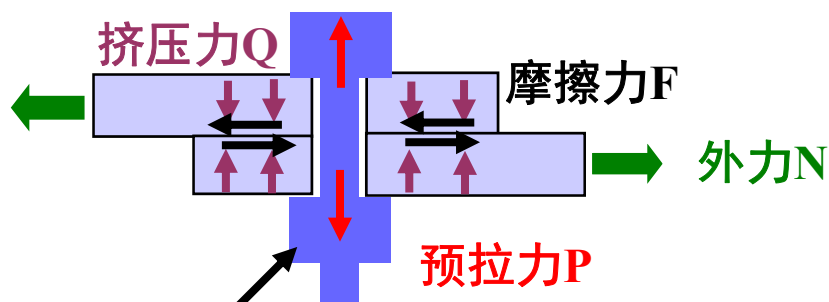
	承载力 极限状态	安装孔 孔径 $d_0$ (mm)	应用 特点
摩擦型	外力达到摩擦力	$d_0 = d + 1.5 \sim 2.0$	剪切变形小，耐疲劳， 动载下不易松动
承压型	外力超过摩擦力 螺栓承剪，孔壁承压	$d_0 = d + 1.0 \sim 1.5$	承载力比摩擦型大， 剪切变形大，一般不 用于直接动载情况

## 第5节 高强螺栓连接的构造和计算

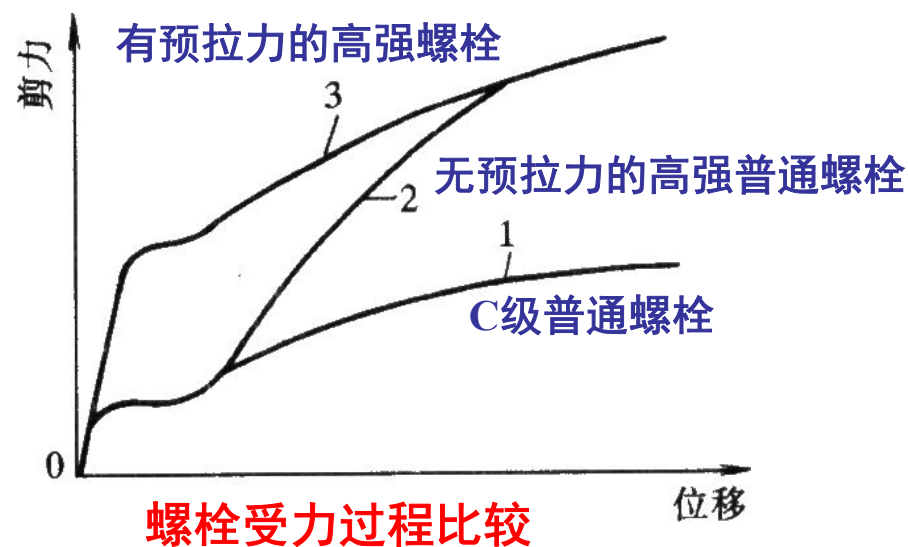
参阅 § 8.7.1

### (2) 高强螺栓和普通螺栓的对比

螺栓	(摩擦型)高强螺栓	(C级)普通螺栓
材料	材质好，强度高	材质一般，强度低
传力方式	依靠连接板件摩擦传力	螺杆受剪、孔壁承压
变形	连接变形小，螺栓不易松动	连接变形大，螺栓易松动
安装	需专门扳手施加规定预拉力	一般常用扳手，手感拧紧



拧紧螺母使螺杆产生预拉力，板件间产生预压力

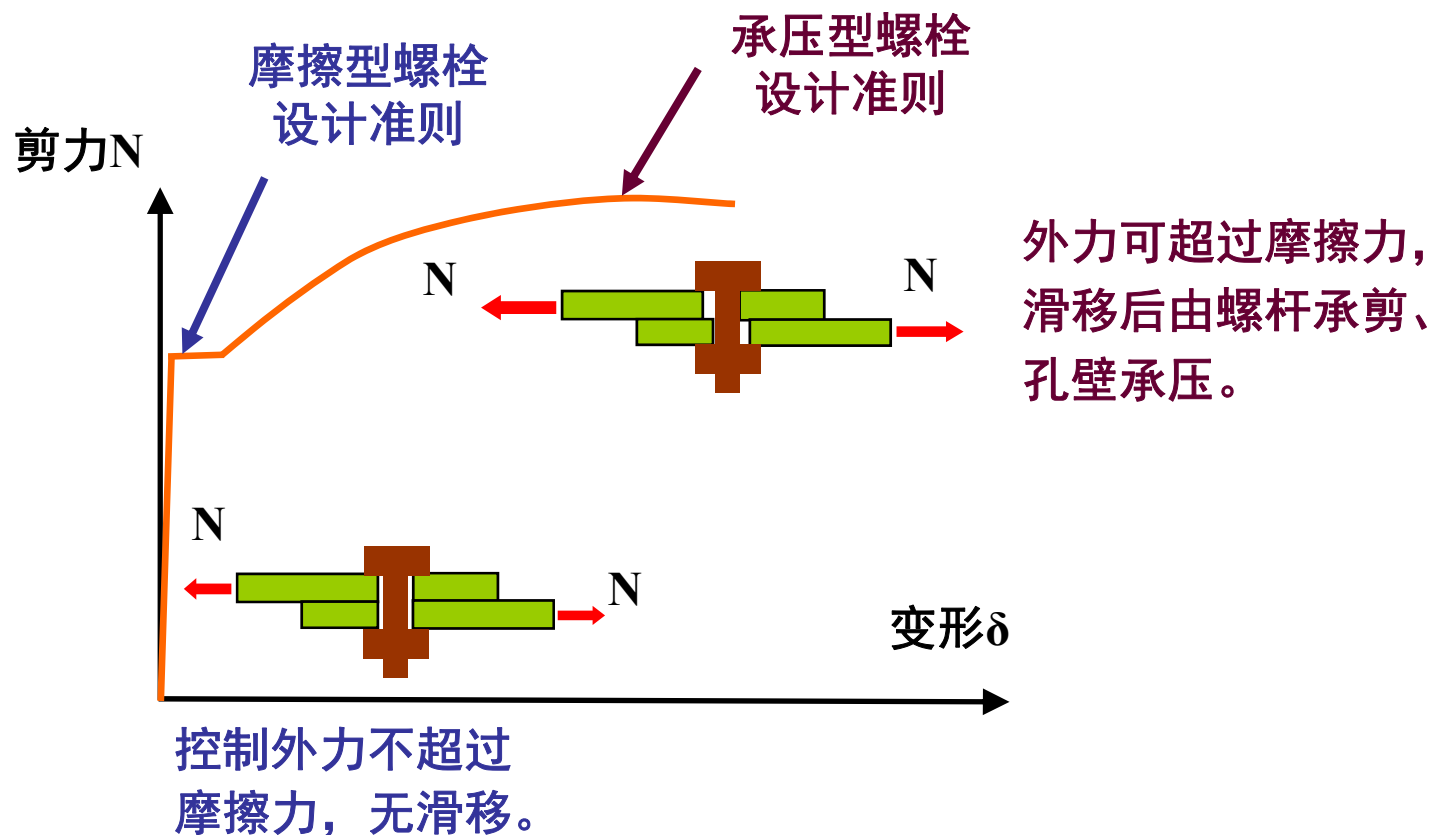




## (3) 高强螺栓的排列与构造要求

与普通螺栓相同

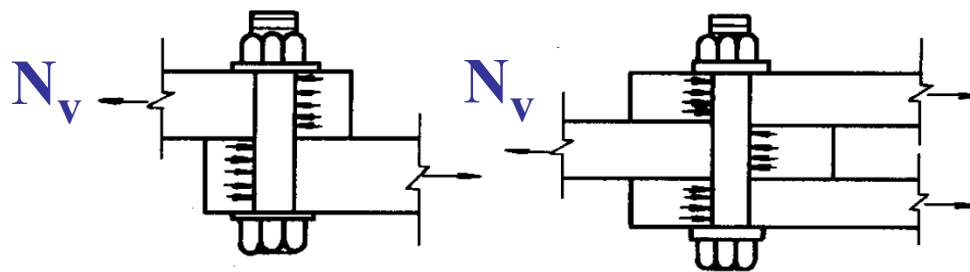
## 二、高强螺栓的抗剪设计准则



## 三、**摩擦型**高强螺栓的承载力

- (1) 单个螺栓的抗剪承载力
- (2) 单个螺栓的抗拉承载力
- (3) 单个螺栓的拉-剪承载力

# (1) 单个螺栓的抗剪承载力



单剪面  $n_f=1$

双剪面  $n_f=2$

一个摩擦型高强度螺栓的抗剪承载力

$$N_v^b = 0.9 n_f \mu P$$

抗力分项系数的倒数

传力摩擦面数

抗滑移系数

预拉力



验算

一个螺栓所受剪力

$$N_v \leq N_v^b$$

是否还需验算孔壁承压？

## (2) 单个螺栓的抗拉承载力

抗剪设计准则：无滑移 => 控制最大拉力，防止松动。

一个摩擦型高强度螺栓的抗拉承载力

$$N_t^b = 0.8 P$$

↓  
预拉力

← 防止受拉后出现板件脱开和螺栓松弛（基于试验结果）

验算

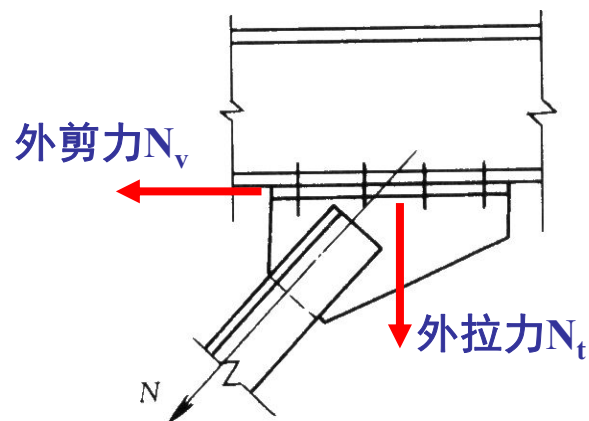
一个螺栓所受拉力

$$N_t \leq N_t^b$$

← 可控制连接贴紧，不松动

# (3) 单个螺栓的拉-剪承载力公式

一个摩擦型高强度螺栓  
同时受剪、受拉时  
承载力计算



$$\frac{N_v}{N_v^b} + \frac{N_t}{N_t^b} \leq 1$$

$N_v^b = 0.9n_f \cdot \mu \cdot P$        $N_t^b = 0.8P$

## 四、承压型高强螺栓的承载力

- (1) 单个螺栓的抗剪承载力
- (2) 单个螺栓的抗拉承载力
- (3) 单个螺栓的拉-剪相关公式

# (1) 单个螺栓的抗剪承载力

和普通螺栓计算相同

一个承压型高强螺栓的螺杆受剪承载力

$$N_v^b = n_v \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot f_v^b$$

剪面数                  螺杆直径                  承压型高强螺栓  
抗剪设计强度

【注意】公式中采用螺杆截面，而不是有效截面。  
原因是什么？

一个承压型高强螺栓的孔壁承压承载力

$$N_c^b = d \cdot \left( \sum t \right) \cdot f_c^b$$

同一受力方向的承压  
构件的较小总厚度                  承压型高强螺栓  
承压设计强度



# (1) 单个螺栓的抗剪承载力

**【思考】** 如何正确理解螺栓的承压强度？

(1) 承压强度  $f_c^b$  是母材的还是螺杆的？

(2) 查阅附表2-6，比较各种螺栓的承压强度，与哪些因素有关？

(3) 为什么普通螺栓和高强螺栓的承压强度不同？

# (1) 单个螺栓的抗剪承载力

和普通螺栓计算相同

单个承压型高强螺栓的抗剪设计承载力

$$[N]_{\text{v}}^{\text{b}} = \min \left\{ N_{\text{v}}^{\text{b}}, N_{\text{c}}^{\text{b}} \right\}$$

验算


单个螺栓所受剪力  $N_{\text{v}} \leq [N]_{\text{v}}^{\text{b}}$

## (2) 单个螺栓的抗拉承载力

和普通螺栓计算相同

$$N_t^b = \frac{\pi}{4} \cdot d_e^2 \cdot f_t^b$$

螺栓有效直径  $\swarrow$   $\searrow$  承压型高强螺栓抗拉设计强度


$$N_t^b = A_e * 0.48 f_u^b$$

【思考】该值恰好与摩擦型高强螺栓的抗拉承载力相同，二者概念是否相同？

$$P = 0.6075 f_u^b \cdot A_e$$



$$N_t^b = 0.8P$$

## (2) 单个螺栓的抗拉承载力

### 承压型高强螺栓抗拉设计强度的取值

**10.9级**  $f_u^b = 1040 \text{ MPa}$

$$f_y^b = 0.9 * f_u^b = 930 \text{ MPa}$$

$$f_t^b = 0.48 * f_u^b = 500 \text{ MPa}$$

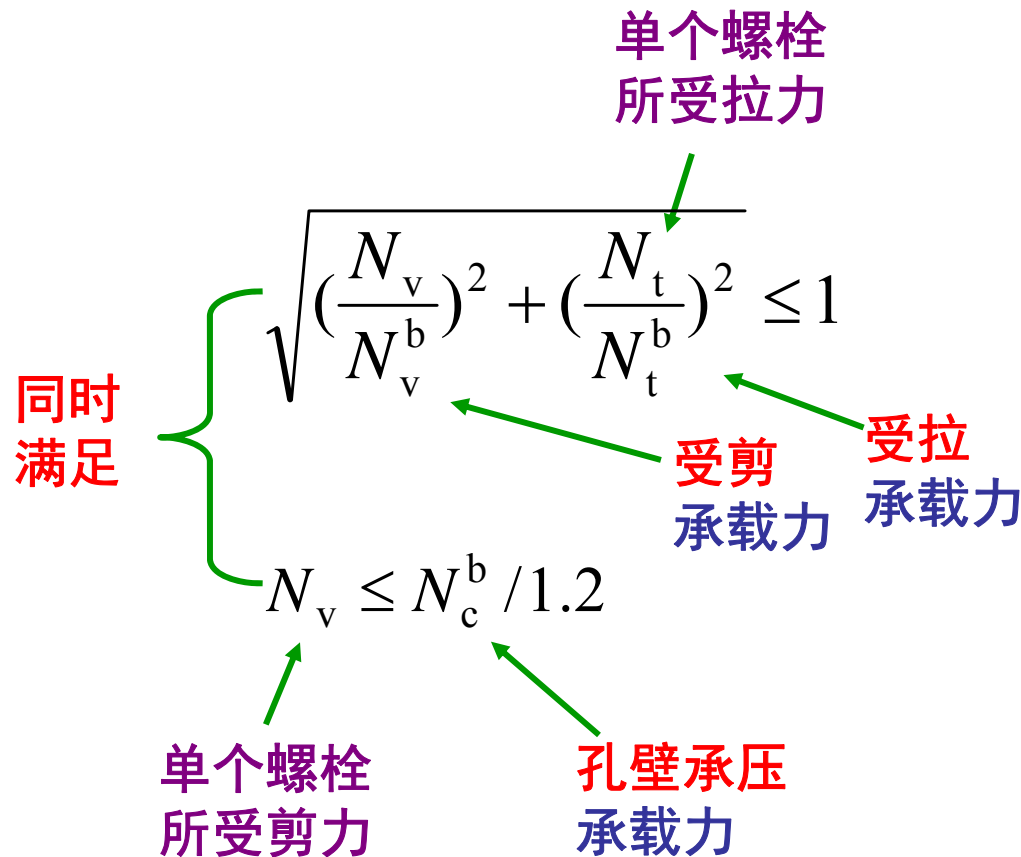
**8.8级**  $f_u^b = 830 \text{ MPa}$

$$f_y^b = 0.8 * f_u^b = 660 \text{ MPa}$$

$$f_t^b = 0.48 * f_u^b = 400 \text{ MPa}$$

# (3) 单个螺栓的相关公式

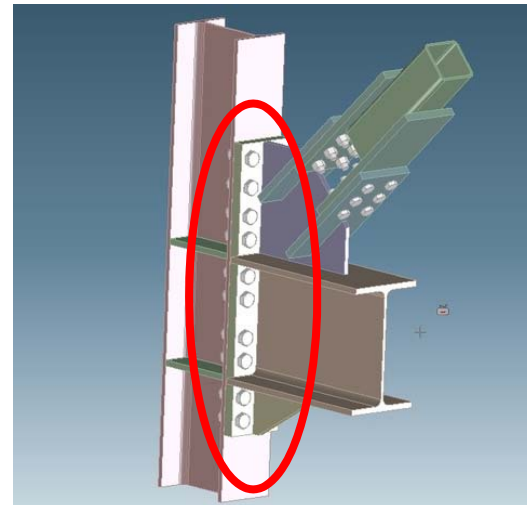
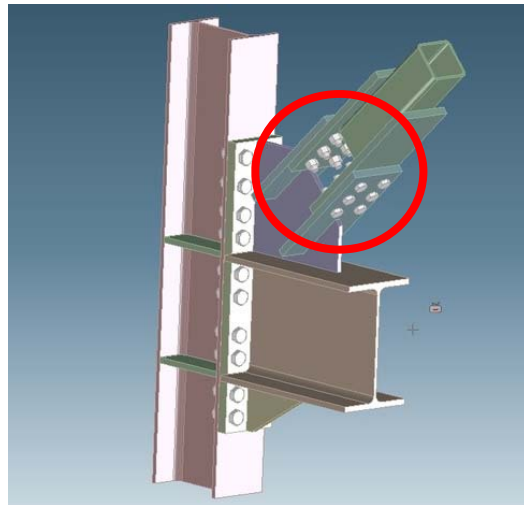
规范相关公式（基于试验数据的经验公式）



该验算方法和普通螺栓的验算方法有什么不同？为什么？

## 五、**摩擦型**高强螺栓群的计算

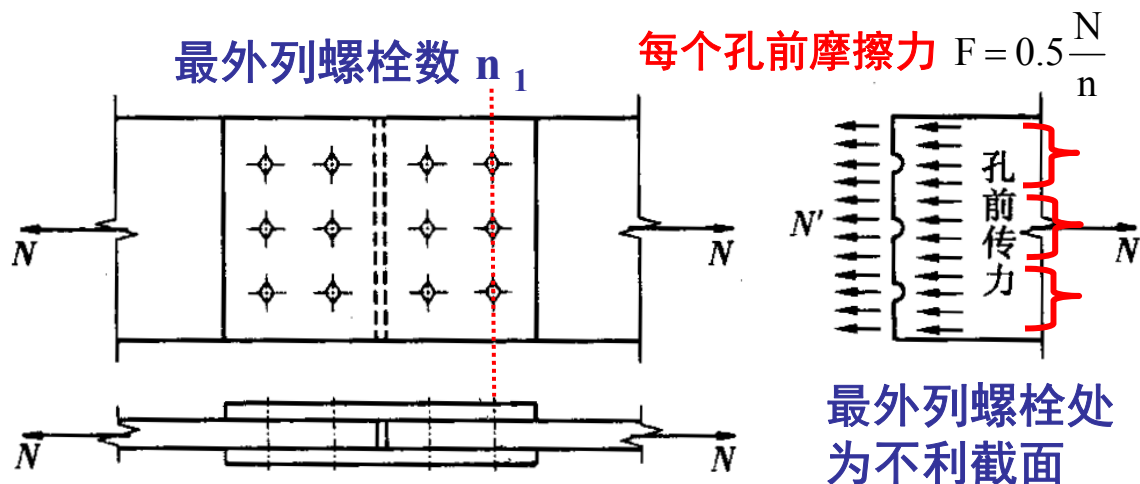
- (1) 轴向剪力作用下的螺栓群
- (2) 弯矩作用下的螺栓群
- (3) 弯矩、轴力和剪力作用的螺栓群



# (1) 轴向剪力作用下的螺栓群

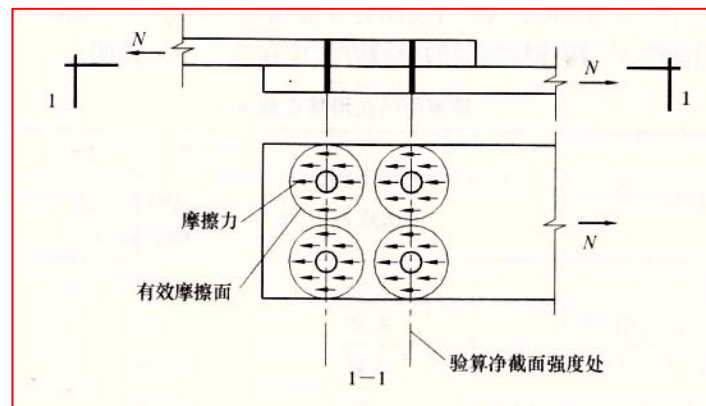
钢板搭接，承受剪力  $N$

共  $2n$  个螺栓



螺栓抗剪验算

$$N_v = \frac{N}{n} \leq N_v^b = 0.9 n_f \mu P$$



# (1) 轴向剪力作用下的螺栓群

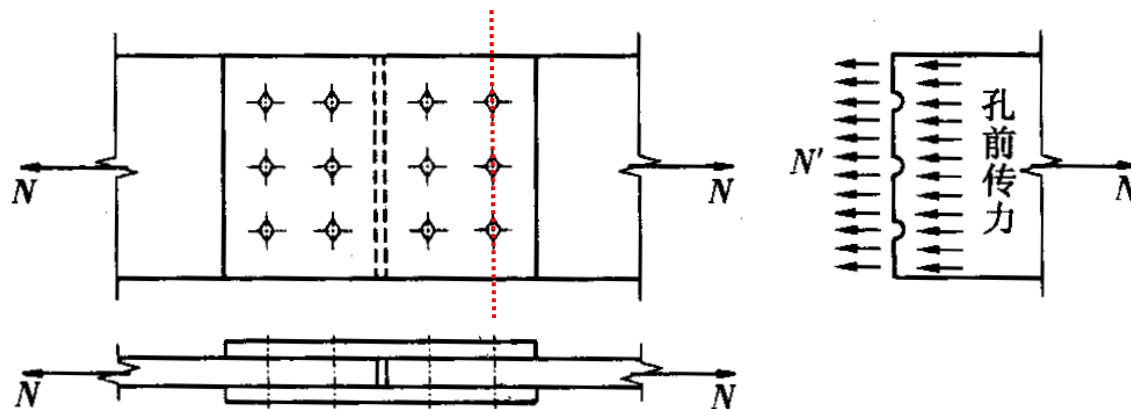
## 钢板净截面抗拉强度验算

净截面受力  $N' = N - n_1 F = N - n_1 0.5 \frac{N}{n} = N \left( 1 - 0.5 \frac{n_1}{n} \right)$

↗ 最外列螺栓数  
↘ 节点一端螺栓总数

验算  $\sigma = \frac{N'}{A_n} \leq f$

↗ 钢材抗拉或抗压设计强度  
↘ 钢板净截面积



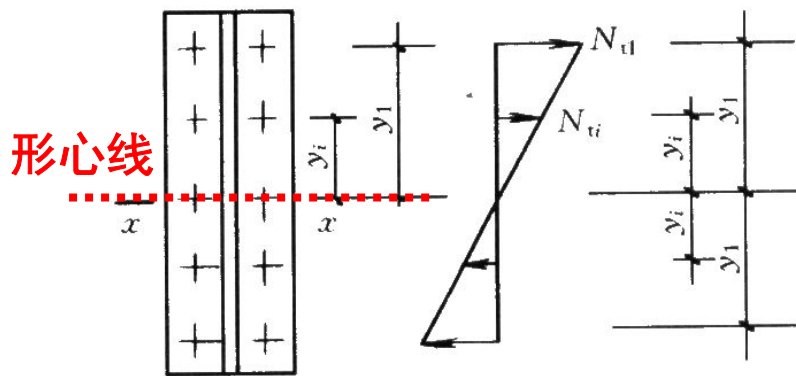
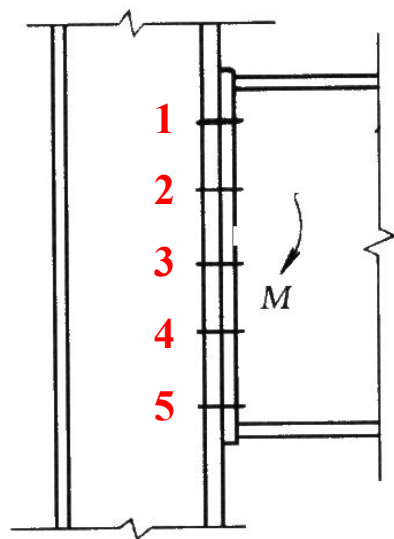
是否还需验算毛截面强度？



## (2) 弯矩作用下的螺栓群

承受弯矩  $M$

若端板与柱翼缘板间保持紧密接触，  
则可假定中和轴位于螺栓群形心处！



验算最上一排螺栓

$$N_{t1} = N_{\max} = \frac{My_1}{m \sum y_i^2} \leq N_t^b = 0.8 P$$

## (2) 弯矩作用下的螺栓群

中和轴位置有两种假定：

1) 同济大学：中和轴在螺栓群形心

理由：螺栓最大拉力不允许超过  $0.8 P$ ，被连接钢板始终受压，只是压力大小变化而已

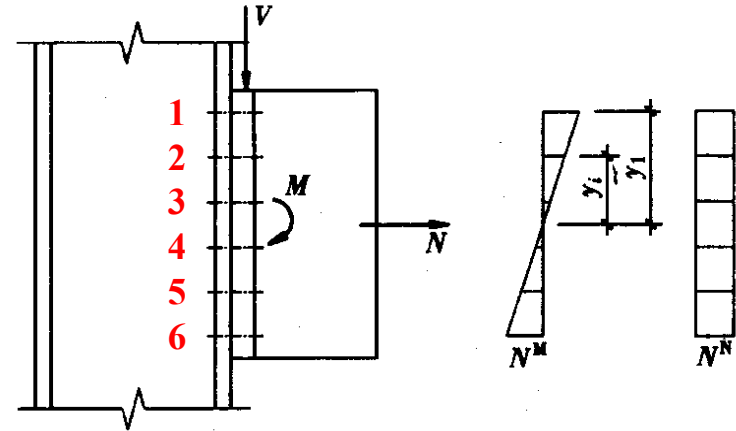
2) 陈绍蕃教材：中和轴位置与普通螺栓群一样

试验校核：受力较小时接近假定1)，较大时偏向假定2)

# (3) 弯矩轴力剪力作用下的螺栓群

受弯矩  $M$ 、拉力  $N$ 、剪力  $V$  作用

无论有否拉力  $N$ ，  
总是绕螺栓群形心线旋转！



剪力  $V$

$$N_{v1} = \frac{V}{n}$$

弯矩  $M$   
拉力  $N$

$$N_{t1} = N_{\max} = \frac{N}{n} + \frac{My_1}{m \sum y_i^2} \leq N_t^b = 0.8 P$$

验算

$$\frac{N_{v1}}{N_v^b} + \frac{N_{t1}}{N_t^b} \leq 1$$

$$N_v^b = 0.9 n_f \cdot \mu \cdot P$$

$$N_t^b = 0.8 P$$

# 计算步骤和要点总结

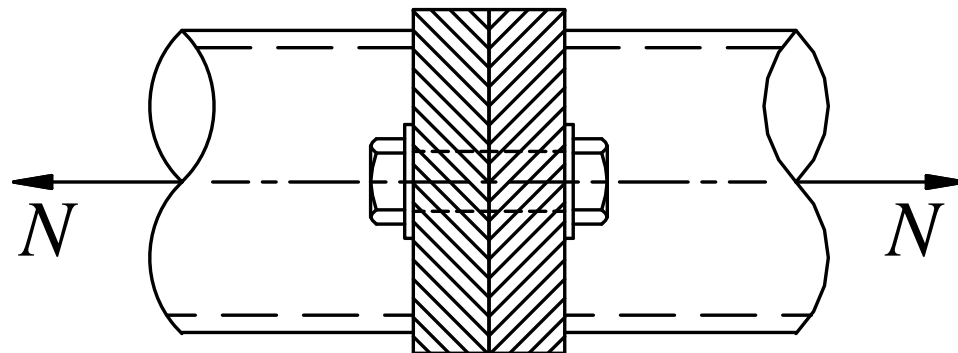
- 1 确定计算截面上的内力（荷载效应）  
注意点：防止内力漏项（轴力、弯矩、剪力、扭矩）
- 2 计算单个螺栓的承载力（抗剪、抗拉）
- 3 对轴力、剪力均分到每个螺栓，  
对弯矩、扭矩则是“各个击破”
- 4 确定单个螺栓所受的复合内力
- 5 对最不利螺栓进行强度验算

## 课堂思考题

### 【思考】

如图所示的高强螺栓连接，预拉力为 $P$ 。外荷载为 $N$ 。

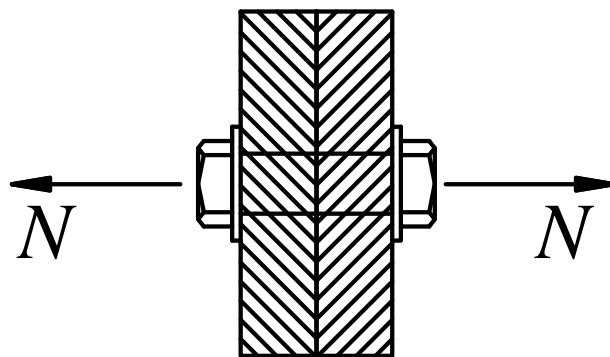
- (1) 高强螺栓的内力是否为 $P+N$ ？
- (2) 当 $N=P$ 时，连接面是否会被拉开？
- (3) 定性画出螺栓拉力和外力 $N$ 之间的关系曲线，以及变形和外力之间的关系曲线。
- (4) 如果螺栓预拉力为零，曲线有何变化？



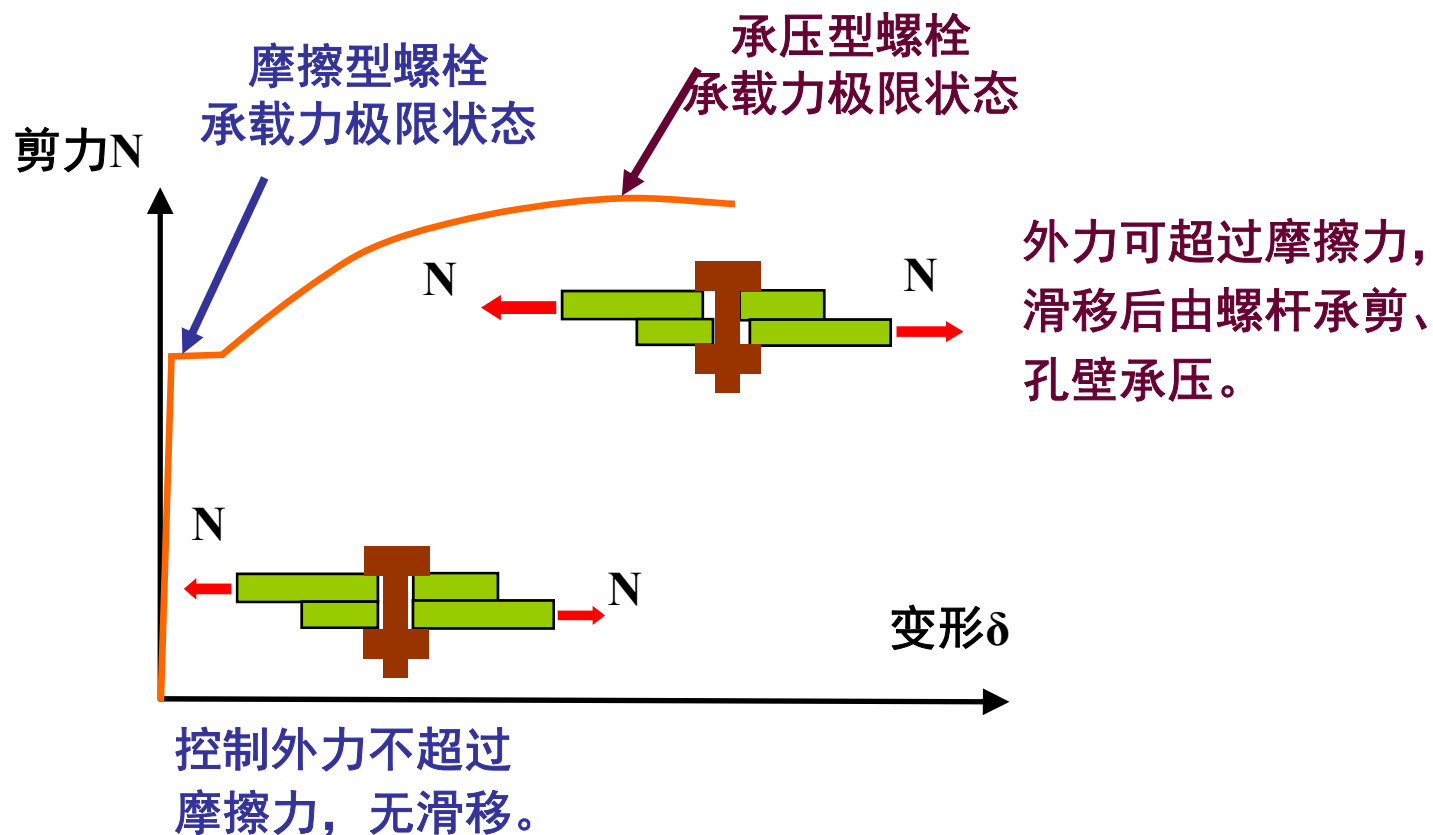
# 课堂思考题

## 【课后思考】

如图所示的高强螺栓连接，预拉力为 $P$ 。外荷载为 $N$ 。  
该情况下的螺栓内力与前述情况是否有差别？



# 高强螺栓的受力特征



## 高强螺栓的受力特征

**摩擦型高强螺栓：**

仅靠摩擦力传递剪力。

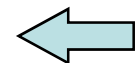
**承压型高强螺栓：**

初始靠摩擦力传递剪力，

板件间摩擦力被克服后，靠螺杆受剪和孔壁承压抗剪。

抗剪承载力大于摩擦型高强螺栓；

剪切变形大于摩擦型高强螺栓。





# (1) 单个螺栓的抗剪承载力

## 高强螺栓设计预拉力的确定

$$P = 0.9 \times 0.9 \times 0.9 f_u^b \cdot A_e / 1.2 = 0.6075 f_u^b \cdot A_e$$

- (1) 拧紧螺栓时扭矩产生的剪应力将降低螺栓的抗拉强度，故除以系数1.20（1.20通过试验得到）。
- (2) 施工时一般超张拉5%~10%，以保证预拉力。
- (3) 考虑螺栓材质的不均匀性，引进系数0.9。
- (4) 由于预拉力P是根据 $f_u$ 而不是 $f_y$ 计算的，故再引进一个安全系数0.9。

# (1) 单个螺栓的抗剪承载力

## 高强螺栓的设计预拉力 P (kN)

螺栓的性能等级	螺栓公称直径(mm)					
	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8 级	80	125	150	175	230	280
10.9 级	100	155	190	225	290	355

# (1) 单个螺栓的抗剪承载力

## 摩擦面的抗滑移系数 $\mu$

在连接处构件接触面的处理方法	构件的钢号		
	Q235 钢	Q345 钢、Q390 钢	Q420 钢
喷砂(丸)	0.45	0.50	0.50
喷砂(丸)后涂无机富锌漆	0.35	0.40	0.40
喷砂(丸)后生赤锈	0.45	0.50	0.50
钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.30	0.35	0.40

- 注意：
- (1) 承压型高强螺栓连接的摩擦面仅要求清除油污及浮锈
  - (2) 高强螺栓连接接触面的处理方法应在施工图中注明

