

高强螺栓抗剪试验

钢结构精品课程教学团队
同济大学建筑工程系
2017.11

1. 理论知识

1.1 高强螺栓的分类

按材质 分类	强度等级	采用钢材
	8.8 级	45号钢, 40B钢
	10.9 级	20MnTiB钢, 35VB钢
按施工方法 分类		施工方法
	大六角头	扭力扳手
	扭剪型	拧断梅花头

1. 理论知识

1.1 高强螺栓的分类

按受力状况分类

受力 特征	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 螺栓承压, 钢板承压	$d_0 = d + 1.0 \sim 1.5$	承载力比摩擦型大, 剪切变形大, 一般不用于直接动载情况

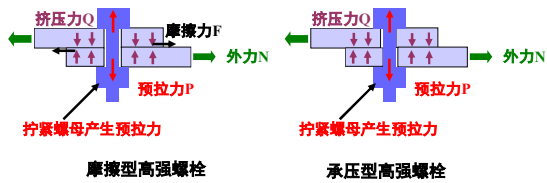
1. 理论知识

1.2 高强螺栓与普通螺栓的对比

螺栓	高强度螺栓	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	螺栓直接传力
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	需专门扳手施加预拉力	一般常用扳手, 手感拧紧

1. 理论知识

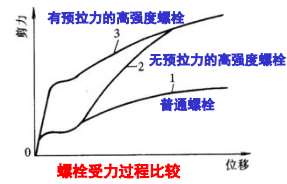
1.2 高强螺栓承载机理



思考：“高强”体现在哪里？

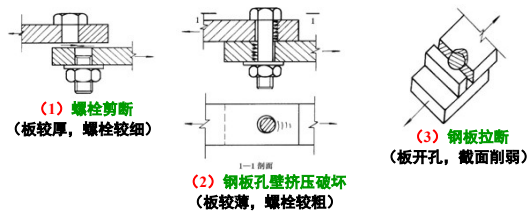
1. 理论知识

1.2 高强螺栓承载机理



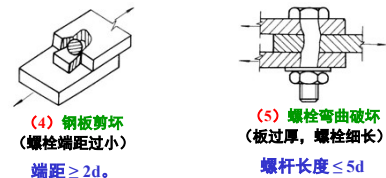
1. 理论知识

1.3 承压型高强螺栓破坏模式



1. 理论知识

1.3 承压型高强螺栓破坏模式

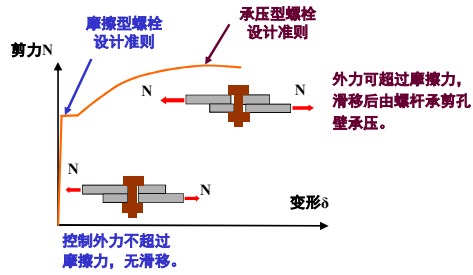


防止螺栓破坏措施

- (1) (2) (3) 通过计算解决
(4) (5) 通过构造解决

1. 理论知识

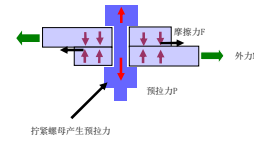
1.4 高强螺栓设计准则



1. 理论知识

1.5 影响摩擦型螺栓抗剪承载力的因素

- 螺栓内预拉力的大小
- 接触面摩擦系数的大小



1. 理论知识

1.6 影响承压型螺栓抗剪承载力的因素

- 与普通螺栓相同
- 螺栓材料强度
- 被连接板件承压强度

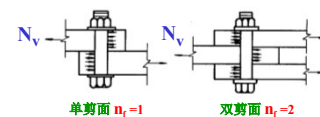
1. 理论知识

1.7 单个摩擦型高强螺栓的抗剪承载力

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

Design criterion: 无滑移。⇒ 无需验算孔壁承压。

摩擦面数 摩擦系数 预拉力



1. 理论知识

高强螺栓预拉力P的确定

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

(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. 理论知识

高强螺栓预拉力P的实现

— 采用扭矩法、转角法和扭剪法扭紧螺母来实现预拉力

— 扭矩法（扭力扳手）

$$T_c = K \cdot (P + \Delta P) \cdot d$$

$$K = 0.11 \sim 0.15$$

高强度螺栓设计预拉力 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

摩擦系数 μ

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

1. 理论知识

1.8 单个承压型高强螺栓的抗剪承载力

和普通螺栓相同

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

剪面数
螺栓直径
螺栓抗剪设计强度

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

同一受力方向的承压构件的较小总厚度
螺栓承压设计强度

1. 理论知识

思考1：如何确定承压厚度？

思考2：正确理解螺栓的承压强度。

- (1) 承压强度 f_c^b 是母材的还是螺栓的？
- (2) 查阅附表2-6，比较各种螺栓的承压强度。
- (3) 为什么各种螺栓的承压强度不同？

2. 试验目的

- 通过试验掌握高强螺栓连接抗剪性能试验方法，包括试件设计、加载装置设计、测点布置、试验结果整理等方法。
- 通过试验观察高强螺栓连接试件在剪力作用下的破坏过程和破坏模式。
- 将理论极限承载力和实测承载力进行对比，验证摩擦型和承压型螺栓的承载力计算公式。

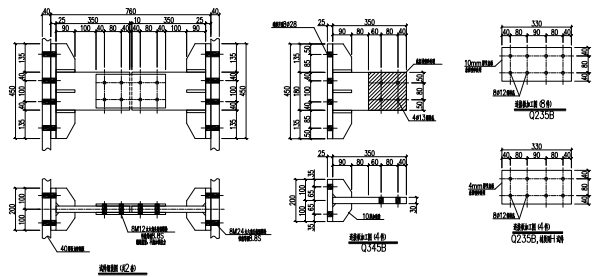
3. 试验设计

3.1 试件设计

- 实现试验目的。
- 考虑加载能力。
- 考虑经济条件。
- 试件设计：
 - 采用8.8级螺栓，规格M12
 - 被连接板厚度30mm，盖板厚4mm/10mm
 - 连接面喷砂处理
 - 钢材牌号：被连接板Q345B，盖板Q235B

3. 试验设计

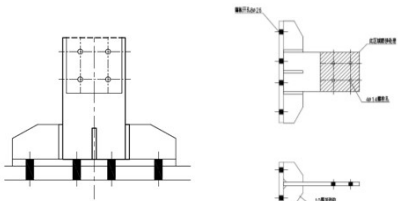
3.1 试件设计



3. 试验设计

3.2 支座设计

一端固定在反力梁上，一端固定在加载梁上
被连接板与端板焊接，连接板与端板之间设置加劲板，
保证端板的刚度，使本连接板内应力分布均匀。



3. 试验设计

3.3 测点布置

- 需要测试那些数据？
- 荷载、应变、变形
- 测点数量合理。
- 测点的布置方便控制试验过程。
- 数据之间可以相互印证。

3. 试验设计

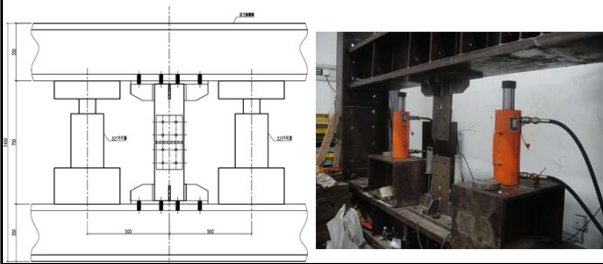
3.3 测点布置



3. 试验设计

3.4 加载装置设计

➤采用千斤顶加载



3. 试验设计

3.5 摩擦型连接承载力估算

$$N_v^b = n_f \mu P \quad n_f = 2$$

根据《钢结构设计规范》

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

3. 试验设计

3.5 承压型连接承载力估算

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

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

$$N_v = \text{Min}(N_v^b, N_c^b)$$

3. 试验设计

■思考：试验中怎么判断连接处于摩擦型阶段还是承压型阶段？

3. 试验设计

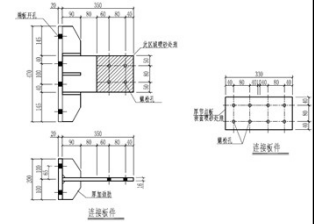
3.6 制定加载制度

- 单调加载
- 加载初期：分级加载
 - 每级荷载约10%*Pu
 - 时间间隔约2分钟
- 接近破坏：连续加载
 - 合理控制加载速率
 - 连续采集数据
- 卸载阶段：缓慢卸载

4. 试验准备

4.1 试件截面实测

- 名义截面和实际截面之间有差别
- 被连接板与连接板件宽度、厚度
- 螺栓孔直径
- 实测3个截面



4. 试验准备

4.2 材料拉伸试验

- 试验前已经准备好
- 钢板
 - 弹性模量E
 - 屈服强度fy
 - 抗拉强度fu
- 螺栓
 - 屈服强度fy
 - 抗拉强度fu

4. 试验准备

4.2 材料拉伸试验



4. 试验准备

4.2 材料拉伸试验

试件编号	屈服强度	抗拉强度	延伸率
1	279	412	31%
2	276	408	32%
3	261	395	32%
4	268	398	32%
5	255	391	34%
6	262	405	32%
平均值	267	402	32%

4. 试验准备

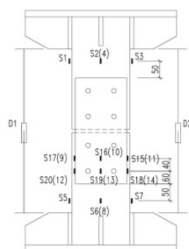
4.3 设备标定

- 已经做好
- 需要标定的设备有
 - 千斤顶
 - 油压传感器
 - 位移计
 - 应变片
 - 数据采集板

4. 试验准备

4.4 检查测点

- 逐个检查测点是否工作正常
- 位移计正负值对应方向



4. 试验准备

4.5 采用实测截面和实测材料特性估算承载力

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

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

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

$$N_v = \text{Min}(N_v^b, N_c^b)$$

4. 试验准备

4.6 试件对中

- 水平放置
- 几何对中
- 应变对中

4. 试验准备

4.7 预加载

- 检测设备是否正常工作
- 检测应变片和位移计
- 压紧试件，消除空隙
- 预加载荷载一般为极限承载力的30%

5. 开始试验

5.1 正式加载

- 分级加载
- 后连续加载
- 绘制 荷载-位移实时曲线
- 绘制 荷载-应变实时曲线

5. 开始试验

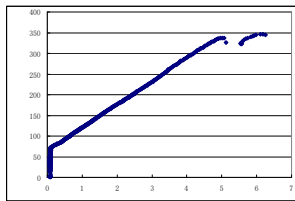
5.2 判断各阶段承载力

- 摩擦型
 - 荷载增加，而滑移几乎不增加
 - 出现滑动，滑移开始增加
- 承压型
 - 荷载—滑移曲线变平
 - 注意拍照

6. 试验结果分析

6.1 数据处理

- 绘制荷载-滑移曲线
- 绘制荷载-应变曲线
- 连接板件内力分布与传递分析



6. 试验结果分析

6.2 实测极限承载力分析

- 和规范承载力公式计算值比较

6. 试验结果分析

6.3 撰写试验报告

- 参考标准格式
- 试验数据会上传公共邮箱
- 提交电子版doc文件和xls文件