

本期问题由全国工程勘察设计大师、中国五矿集团建筑领域首席技术专家、国家钢结构工程技术研究中心总工程师侯兆新解答。

大师问题:建筑金属屋面在什么情况下进行抗风揭性能检测?检测结果如何评价?

1 在什么情况下进行抗风揭性能检测?

对于下列情况之一,金属屋面系统应按现行国家标准 GB 50205—2020《钢结构工程施工质量验收标准》附录 C 的规定进行抗风性能检测,检测结果应符合设计要求。即:

- 1) 建筑结构安全等级为一级的金属屋面;
- 2) 防水等级 I、II 级的大型公共建(构)筑物金属屋面;
- 3) 采用新材料、新板型或新构造的金属屋面;
- 4) 设计文件提出检测要求的金属屋面。

2 金属屋面系统抗风揭性能检测要求

金属屋面系统抗风揭性能检测采用实验室模拟静态、动态压力加载法。金属屋面系统抗风性能检测应符合下列规定:

- 1) 金属屋面系统应包括金属屋面板、底板、支座、保温层、檩条、支架、紧固件等。
- 2) 对于强(台)风地区(基本风压 $\geq 0.5 \text{ kN/m}^2$)的金属屋面和设计要求进行动态风载检测的建筑金属屋面,应采用动态风载检测。
- 3) 金属屋面系统抗风揭性能检测应选取金属屋面中具有代表性的典型部位进行检测,被检测屋面系统中的材料、构件加工、安装施工质量等应与实际工程情况一致,并应符合设计和相应技术标准的要求。
- 4) 金属屋面典型部位的风荷载标准值 w_s 应由设计单位给出,检测单位应根据设计单位给出的风荷载标准值 w_s 进行检测。

3 金属屋面静态压力抗风揭检测结果评价

以下情况之一应判定为试件的破坏或失效,破坏或失效的前一级压力值应为抗风揭压力值 w_u 。

- 1) 试件不能保持整体完整,板面出现破裂、裂开、裂纹、断裂以及固定件的脱落;
- 2) 板面撕裂或掀起及板面连接破坏;
- 3) 固定部位出现脱落、分离或松动;
- 4) 固定件出现断裂、分离或破坏;
- 5) 试件出现影响使用功能的破坏或失效(如影响使用功能的永久变形等);
- 6) 设计规定的其他破坏或失效。

检测结果的合格判定应符合式(1)要求。

$$K = w_u / w_s \geq 2.0 \quad (1)$$

式中: K 为抗风揭系数。

4 金属屋面动态压力抗风揭检测结果评价

动态风荷载检测一个周期次数为 5000 次,检测应不小于一个周期。以下情况之一应判定为试件的破坏或失效:

- 1) 试件与安装框架的连接部分发生松动和脱离;
- 2) 面板与支承体系的连接发生失效;
- 3) 试件面板产生裂纹和分离;
- 4) 其他部件发生断裂、分离以及任何贯穿性开口;
- 5) 设计规定的其他破坏或失效。

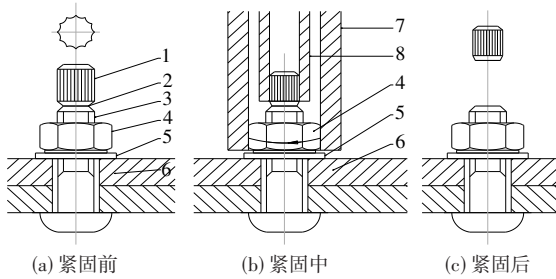
检测结果的合格判定应符合下列要求:

- 1) 动态风荷载检测结束,试件未失效;
- 2) 继续进行静态风荷载检测至其破坏失效,满足 $K = w_u / w_s \geq 1.6$ 要求。

读者问题:在扭剪型高强度螺栓连接副紧固原理中,极限抗剪切强度是抗拉强度的 0.77,当时用的材料是 20MnTiB,且针对的是 M24 及以下的螺栓。那么,对其他材料比如 35VB 和 35CrMo 制作的 M27/30 的螺栓,0.77 还准确吗?

1 扭剪型高强度螺栓连接副紧固方法

扭剪型螺栓的紧固采用专用电动扳手,扳手的扳头由内外两个套筒组成,内套筒套在梅花头上,外套筒套在螺母上,其紧固过程如图1所示。梅花卡头承受紧固螺母所产生的反扭矩,内外套筒输出扭矩相等、方向相反,螺栓切口处承受纯扭剪。当加于螺母的扭矩增加到切口扭断力矩时,切口断裂,拧紧结束。所以施加给螺母的最大扭矩即为切口的扭断力矩。



1—梅花头;2—断裂切口;3—螺栓螺纹部分;4—螺母;5—垫圈;6—被紧固的构件;7—外套筒;8—内套筒。

图1 扭剪型螺栓紧固过程

Fig. 1 Torque-shear type bolt tightening process

2 梅花头切口扭断力矩

由材料力学可知,扭剪型高强度螺栓连接副梅花头切口扭断力矩 M_b 为:

$$M_b = W\tau_b = \frac{\pi}{16} d_0^3 \tau_b \quad (1)$$

其中 $W = \frac{\pi}{16} d_0^3$

式中: W 为材料断面系数, mm^3 ; τ_b 为扭矩极限强度,MPa; d_0 为切口底径,mm。

3 施加在螺母上的扭矩值以及预拉力值

根据专用扳手的原理,施加在螺母上的扭矩值其实就是梅花头切口扭断力矩值。目前国内扭剪型高强度螺栓用20 MnTiB钢制造,由试验可知,20 MnTiB钢在相同热处理条件下, τ_b 是一个变异不

大的常数,且 $\tau_b = \sqrt{1/3} f_u = 0.577 f_u$ (f_u 为抗拉强度),并且当回火温度增加或减少 10°C 时,相同切口直径的扭断力矩相应减少 $10\sim 20\text{ N}\cdot\text{m}$,因此,将热处理时的回火温度的误差控制在 $\pm 10^\circ\text{C}$ 以内,将切口直径 d_0 的加工误差控制在 0.1 mm 以下,且把切口扭断力矩作为拧紧螺栓的控制扭矩,这与精度良好的扭矩扳手(误差小于 $30\text{ N}\cdot\text{m}$)相比大体相当。

因扭剪型高强度螺栓加于螺母上的扭矩 M_k 等于切口扭断力矩 M_b ,即:

$$M_k = M_b = KdP = \frac{\pi}{16} d_0^3 \tau_b \quad (2)$$

则预拉力为:

$$P = \frac{0.15 d_0^3 f_u}{Kd} \quad (3)$$

4 对其他材料的螺栓,0.77是否适用?

从上面的公式可以看到系数0.77是怎么来的。根据第四强度理论,弹性状态下,仅承受扭矩(纯剪切)荷载时, $\tau_b = \sqrt{1/3} f_u = 0.577 f_u$ 。而从开始出现塑性变形到极限状态,扭矩会增加 $1/3$ 。0.77就是由 $0.577 \times 4/3$ 得到的,这是一个考虑了极限状态的系数。

基于材料力学特性的普适性,对于采用35VB或35CrMo材料制造的M27/M30规格螺栓,其强度比取值0.77仍具有较好的工程适用性。然而GB/T 3098.13—1996《紧固件机械性能 螺栓与螺钉的扭矩试验和破坏扭矩 公称直径 $1\sim 10\text{ mm}$ 》(等同采用ISO 898-7:1992)规定,10.9级螺栓的极限抗扭强度与抗拉强度之比下限为0.79。但从标准文本来看,0.79这个数值不能直接外推至M10以上的大直径螺栓。

其实,0.77和0.79都是工程经验值,0.79适用于M1~M10规格的紧固件。在扭剪型螺栓的实际生产中,通过精细化管控梅花头削弱截面直径(d_0)的加工公差,可以有效补偿材料本构关系的波动,从而实现终拧扭矩(轴力)的精确控制。

大师信箱|《钢结构(中英文)》读者与大师对话栏目问题征集

为了进一步促进理论创新和实践探索,《钢结构(中英文)》杂志于2025年开始上线“大师信箱”栏目。

读者如在工作和学习中遇到钢结构设计和施工方面的问题,可以通过下述投稿方式寄送至编辑部,编辑部与主创团队将邀请有关专家进行解答,并尽快刊登在杂志中,以向业界输送知识干货和独到见解,帮助