

螺栓润滑对高强度螺栓扭矩系数影响的试验研究

黄明亮, 谭秋平, 罗鑫伟, 秦中正, 刘镇琦

株洲时代新材料科技股份有限公司 湖南株洲 412007

摘要: 高强度螺栓在采用扭矩法紧固时, 由于扭矩系数的离散, 产生夹紧力大小不同。在有较高夹紧力要求的场合下, 扭矩系数对螺栓联接性能有较大的影响。通过对比试验, 在相同试验情况下, 对螺栓进行不同程度的润滑, 测得不同情况下扭矩系数, 探究螺栓润滑对螺栓扭矩系数的影响。结果表明: 在对螺栓头部与连接件的接触面及螺纹部分均进行润滑的情况下, 螺栓的扭矩系数更小、更稳定。

关键词: 高强度螺栓; 扭矩系数; 螺栓润滑

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.08.007

高强度螺栓指强度等级在8.8级及以上的螺栓。由于其较高的性能表现, 常被用于高精度、高载荷或一些特殊的连接中^[1]。

目前行业内的螺栓紧固常见的方法是扭矩法、转角法、扭矩斜率法及拉伸法^[2]。最常采用的安装紧固方法是扭矩法, 即将螺栓紧固至对应紧固力矩从而达到要求的紧固效果。扭矩法的主要优点是操作简单, 易于工艺实现。在工艺设计时, 确定连接件所需的夹紧力, 通过测量扭矩系数, 便可计算出对安装时对螺栓应施加的紧固力矩。

在实际操作中, 螺栓扭矩系数通常是一个统计量, 通过实际测量及统计方法计算的一个值, 每个螺栓的扭矩系数在计算值上下的范围内浮动。在螺栓表面涂抹相应的润滑脂润滑油可降低扭矩系数, 相同扭

矩下产生的夹紧力变大。同时, 润滑可以提升扭矩系数的稳定性^[3]。本文在不同润滑状态下对螺栓扭矩系数进行测量, 确定不同润滑状态对扭矩系数的影响, 为螺栓联接工艺在设计时提供参考。

理论分析

扭矩系数 K 是根据测试数据计算出来的, 国标GB/T 16823.3-2010计算公式为

$$K=T/fd \quad (1)$$

式中 T ——螺栓紧固力矩, 单位为 $N \cdot m$;

F ——夹紧力, 单位为 kN ;

d ——螺纹公称直径, 单位为 mm 。

通过式(1)可以得出, 由于 d 为螺栓公称直径, K 决定了紧固力矩 T 转化成夹紧力 F 的比例, 在相同的紧

固力矩下， K 值不同产生的夹紧力 F 会有不同。同时，对于 K 的计算，只需测量紧固力矩 T 及夹紧力 F 。

根据紧固件行业内共识，影响扭矩系数的重要因素为摩擦，其中主要包括螺纹副的摩擦及螺栓头与支撑面的摩擦。螺纹摩擦与支撑面摩擦消耗占紧固扭矩的大部分。相关结论表明^[4]：螺栓头部/螺母在支撑面的摩擦消耗约占紧固力矩的45%~50%，螺纹摩擦消耗约占35%~40%，通过螺纹转化为夹紧力的仅占10%~20%。

影响摩擦系数的因素很多，摩擦系数的波动则很可能导致相同条件下两个螺栓的夹紧力不同。若在相关摩擦面涂抹润滑脂，则会降低摩擦系数并使得摩擦系数更加稳定，从而降低扭矩系数，改善扭矩系数离散性。

试验研究

为了进一步探究润滑对扭矩系数的具体影响，根据上述螺栓摩擦的理论分析，对螺栓头部与支撑面接触部分及螺栓螺纹润滑可以改善扭矩系数的离散性。

在本次试验中确定三种润滑状态：不润滑，即螺栓不进行润滑，直接与螺纹孔连接；螺纹润滑，即只对螺栓的螺纹进行润滑，一般称半润滑；螺纹加支撑面润滑，即螺栓头部与支撑面接触部分及螺栓螺纹都进行润滑，一般称全润滑，如图1所示。在这三种润滑状态下测量螺栓的扭矩系数，探究润滑方式对扭矩系数的具体影响。

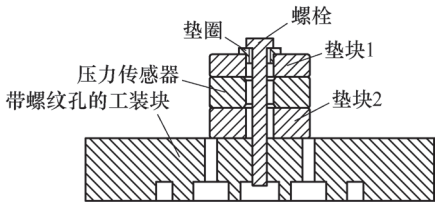


图1 润滑状态示意

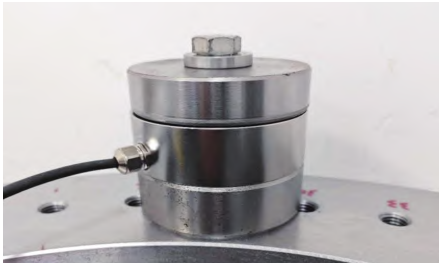
1.试验设备及结构

螺栓夹紧力的测量采用压力传感器，其圆柱中间留有通孔，方便螺栓从其中穿过，将夹紧力均匀施加在压力传感器上。压力传感器量程为200kN，精度为0.2kN。紧固力矩使用扭矩扳手控制，精度±3%。本文

选择M12-10.9级螺栓进行测试，润滑脂为某品牌螺栓专用润滑脂。试验结构如图2所示。



a) 测试装置剖面



b) 测试装置实物

图2 测试试验

2.试验方法

查询国标GB/T3098.1-2000，M12-10.9级螺栓保证载荷为70kN。本文根据实际应用情况，选定扭矩系数的测定时夹紧力的范围为螺栓保证载荷的50%~80%，即载荷范围为35~56kN。

根据测试数据，不润滑状态下选择在80N·m、90N·m的紧固力矩下，半润滑和全润滑选择70N·m、80N·m的紧固力矩下，测得夹紧力 F 来计算扭矩系数（见图3~图5）。

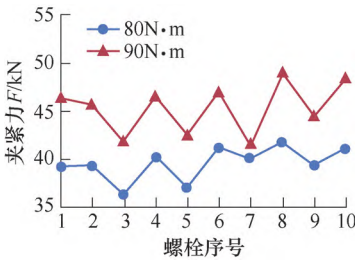


图3 不润滑状态下螺栓夹紧力

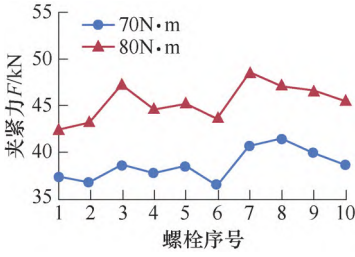


图4 半润滑状态下螺栓夹紧力

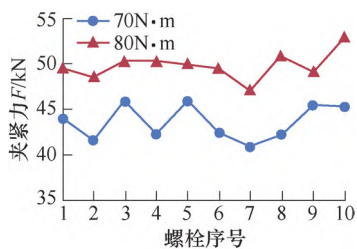


图5 全润滑状态下螺栓夹紧力

3.试验数据及分析

根据测得数据，计算螺栓在两个紧固力矩下的平均扭矩系数，得出扭矩系数（见表1和图6）。

表1 不同润滑状态下螺栓扭矩系数

螺栓序号	润滑状态		
	不润滑	半润滑	全润滑
1	0.1660	0.1570	0.1337
2	0.1667	0.1567	0.1389
3	0.1818	0.1462	0.1298
4	0.1637	0.1521	0.1355
5	0.1785	0.1495	0.1302
6	0.1609	0.1567	0.1362
7	0.1741	0.1404	0.1422
8	0.1567	0.1414	0.1345
9	0.1694	0.1447	0.1321
10	0.1586	0.1487	0.1275

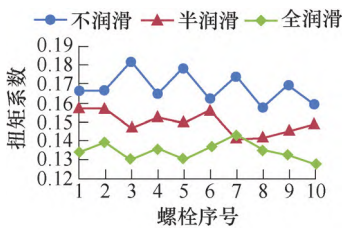


图6 M12－10.9级螺栓扭矩系数分布

选择标准标准偏差对扭矩系数测量值进行比较，见表2。

表2 扭矩系数标准差

	润滑状态		
	不润滑	半润滑	全润滑
标准差	0.0079	0.0059	0.0042

由表2可知，对标准差进行比较：不润滑最大，半润滑次之，全润滑最小。这表明在全润滑的情况下，扭矩系数的测量值更加集中。在测得相应的扭矩系数后，实际操作达到的夹紧力会接近计算设计的夹紧力，也会使各个螺栓之间的夹紧力更接近，夹紧力分布更均匀。

结语

1) 螺栓润滑可以改善扭矩系数的离散性，在相同的紧固力矩下，各螺栓产生的夹紧力更集中，在多螺栓联接的情况下，夹紧力会更均匀。

2) 螺栓润滑会降低扭矩系数，在相同的紧固力矩下，螺栓产生的夹紧力更大。在采用不同润滑时，应提前测量相关扭矩系数，再设计紧固力矩，以获得准确的夹紧力，达到预期的紧固效果。

综上所述，螺栓润滑有助于提升螺栓联接的效果，有助于获得更加准确的夹紧力。使用扭矩法紧固螺栓，为避免产生的夹紧力过大或过小，对扭矩系数进行测量是必要的。

参考文献：

[1] 马晓飞.风电机组用高强度螺栓连接质量管理[J].河南科技，2023，42（9）：44-48.

[2] 杨光，张辽远，张百慧，等.高强度螺栓扭矩系数影响因素的实验研究[J].沈阳理工大学学报，2019，38（6）：59-63.

[3] 杨光，张辽远，张百慧，等.润滑对高强度螺栓扭矩系数的影响[C].中国航天第三专业信息网第四十届技术交流会暨第四届空天动力联合会议论文集——S06材料、工艺与制造相关技术，2019.

[4] 赵海川，王晶.关于风电螺栓扭矩系数与摩擦系数的探讨[J].风能，2010（9）：54-56. **AUTO1950**