钢结构工程中高强螺栓连接副施工质量控制研究

叶海登

江西核电有限公司 江西 九江 332000

【摘　要】：高强螺栓连接副属于钢结构工程的重要受力构件，施工质量关乎结构整体的安全。本文根据现行规范要求和工程实践，从进场复验、摩擦面处理、施拧工艺三个方面入手，对高强螺栓连接副施工质量控制要点进行系统的分析。对常见的质量问题进行统计分析，找出扭矩系数超差、摩擦面抗滑移系数不够、终拧扭矩偏大等质量问题的出现规律，用具体的工程案例来检验质量控制措施的效果。经过研究发现，严格执行进场复验制度、规范摩擦面处理工艺、分阶段施拧并加强扭矩检测，可以将高强螺栓连接施工合格率提高到较高的水平。本文所提出质量控制措施可以给类似钢结构工程提供借鉴。

【关键词】：钢结构；高强螺栓连接副；施工质量控制；扭矩系数；抗滑移系数

DOI:10.12417/2705-0998.26.14.014

引言

随着钢结构建筑在工业厂房、超高层建筑、大跨度空间结构等领域的广泛应用，高强螺栓连接副作为钢结构节点的主要连接方式，施工质量也越来越受到工程界的关注。高强螺栓连接副依靠预紧力在连接板件之间产生摩擦力来传递荷载，具有安装方便、受力性能好、可拆换等特点。但是由于材料管理不规范、施拧工艺不当、检测不到位等原因，造成预紧力不够、节点滑移、螺栓松动等问题，给结构安全埋下隐患。本文根据规范条文和工程实践，对高强螺栓连接副施工全过程质量控制要点进行梳理，用数据统计和案例分析的方式提出可操作的质量控制措施。

1 高强螺栓连接副施工质量控制关键环节

1.1 进场复验与存储管理

高强螺栓连接副进场时应按批进行复验，复验项目为扭矩系数和预拉力。大六角头高强螺栓连接副的扭矩系数平均值应为 0.110～0.150，标准差不大于 0.010。扭剪型高强螺栓连接副应复验紧固预拉力，保证在标准值的 0.95～1.05 倍之间。同一批号、同一规格、同一热处理工艺的连接副为一个检验批，每批取 8 套做测试。高强螺栓复验工作必须委托具有相应资质的第三方检测机构进行，检测全过程保留影像记录和原始试验台账，试验样品应随机从进场批次中抽取，不得人为挑选试样导致检测结果失真。检测报告上应标明批号、规格、生产厂家和试验环境的温湿度，环境温度波动太大会直接影响扭矩系数测定的精度，当环境条件超出规范允许范围时应停止试验。所有进场资料包括产品合格证、出厂检验报告、第三方复验报告等必须全部归档，资料不全或者复验不合格的批次需要进行退场处理，不得降级使用。

存储管理上连接副应保持出厂状态，按批号分库存放，露天堆放时必须垫高并遮盖防潮。螺栓、螺母、垫圈要配套使用，不得混批。施工前如果发现螺栓生锈或沾染油污，应进行清理并重新复验扭矩系数，合格后方可使用。库房内部要进行温湿度监测，安装除湿设备，控制环境相对湿度，降低螺栓表面的电化学锈蚀风险，货架分区设置明显的标识，区分不同规格、批次的产品，避免领用时出现混批错拿的情况。材料领用实行限额领料制度，按照当日施工计划发放，未用完的螺栓连接副当天退回库房，不能长期堆放在施工现场。现场管理人员应当定时检查存放区的包装是否完好无损，发现有包装破损、受潮锈蚀等状况时，立即对之进行隔离存放，不得将其投入到安装之中。不同批次的连接副理化性能不一样，混批使用会使得预拉力离散性增大，节点受力不均，给钢结构整体带来安全隐患。

1.2 摩擦面处理与抗滑移系数控制

摩擦面抗滑移系数属于高强螺栓摩擦型连接的主要设计参数。连接构件的接触面一般用喷砂、抛丸或砂轮打磨的方法去除氧化皮、锈蚀、油污等。出厂状态下栓接板面抗滑移系数最小值不小于 0.55，进场架设前复验值不小于 0.45。施工前应根据构件材质、加工工艺选择合适的摩擦面处理方式，喷砂、抛丸工艺适用于大面积工厂化预制构件，处理后表面粗糙度均匀稳定；砂轮打磨多用于现场局部修补，打磨方向应垂直于构件受力方向，避免顺向打磨形成滑移通道。抗滑移系数试样应与构件同工艺、同批次同时制作，试样的加工及处理条件要与实体构件一致，以保证检测结果能真实反映工程实际工况。抗滑移试验应在构件出厂前一起进行，保留试样，以便于现场发生争议时可以复检对比。

摩擦面处理完成后要进行保护，防止涂刷油漆、沾染油污或者焊接飞溅物附着。安装前如果发现摩擦面有浮锈、油污，应先做打磨处理再检测抗滑移系数。喷砂处理后的摩擦面暴露时间不能超过规范规定的时限，否则会引发表面返锈，抗滑移系数下降。构件转运、堆放时，在摩擦面间加设隔离垫块，防止互相磕碰造成表面损坏，吊装时吊点位置避开栓接摩擦区，防止钢丝绳油污污染摩擦面。在施工现场焊接作业时设置防火隔离设施，用防火挡板进行隔离，防止焊渣飞溅到摩擦面上。构件拼装就位后应及时进行高强螺栓初拧、终拧工作，减少摩擦面的露天暴露时间。如果因为工序延误造成摩擦面出现薄层

浮锈，不能立即安装，需要使用钢丝刷或者角磨机轻轻打磨，打磨完毕后再取样检测抗滑移系数，检测合格后才能进行螺栓安装，以保证节点的摩擦传力性能达到设计要求。

1.3 施拧工艺与扭矩控制

高强螺栓施拧分初拧、终拧两阶段，大型节点初拧与终拧之间应增加复拧工序。初拧扭矩应取终拧扭矩的 50%左右，保证连接板件紧密贴合。终拧扭矩按公式计算确定，即终拧扭矩=扭矩系数×施工预拉力×螺栓公称直径。施工预拉力一般取设计预拉力的 1.1 倍，来补偿预拉力损失。施拧顺序从刚度大的地方到刚度小的地方推进，防止连接板件变形。初拧和终拧应于同一日进行，防止由于连接板件之间进入杂物或者温度变化影响预拉力的稳定性。终拧完成后要及时做标记，防止漏拧或者重复施拧。

表 1 施拧工艺与扭矩数据

螺栓公称直径	设计预拉力 kN	施工预拉力 kN	终拧扭矩参考值 N·m
M16	100	110	约 190
M20	155	170	约 370
M22	190	210	约 500
M24	225	250	约 650
M27	275	300	约 900
M30	330	360	约 1180

注：终拧扭矩取扭矩系数平均值 0.13，现场施工时以现场复验扭矩系数值为准。

2 施工质量常见问题分析

2.1 扭矩控制类问题

终拧扭矩偏差超标的最常见问题。主要原因就是施工单位没有根据现场复验的扭矩系数来计算终拧扭矩，而直接采用经验值。不同的厂家、不同的批号的连接副扭矩系数不一样，混用会造成预拉力离散性增大。电动扳手长时间使用没有定期校准，扭矩输出精度降低，也是造成偏差的原因之一。

漏拧或者重复施拧都属于扭矩控制类问题。大型节点螺栓数量多，如果不能及时做好施拧标记，就容易造成遗漏。重复施拧会造成预拉力大于设计值，造成连接板件局部压陷，长期使用预拉力损失增大。

2.2 摩擦面处理类问题

摩擦面抗滑移系数不够是又一类常见的问题。摩擦面处理之后如果不立即安装，长时间暴露在空气中会形成浮锈，表面摩擦系数降低。施工过程中防护不当，焊接飞溅物、防腐涂料或者油污附着在摩擦面上，都会使抗滑移效果明显下降。

打磨方向不规范也会对连接性能造成影响。打磨方向与构件受力方向垂直时，摩擦面的有效接触面积减小，抗滑移系数不能达到设计要求。构件运输堆放时摩擦面受到磕碰变形，也会造成板件密贴效果不好。

2.3 安装操作类问题

螺栓丝扣外露数量不足属于安装过程中经常出现的问题。连接板厚度、螺栓长度选配不合理，会造成终拧后丝扣外露少于两扣，使螺母不能得到充分的啮合。

螺栓孔错位强行扩孔属于常见问题。构件制作精度不够或者现场拼装偏差过大时，如果采用气割扩孔或者强行冲打就位，就会破坏螺栓孔壁以及板件的受力性能。用铰刀扩孔，扩孔范围根据设计确定。高强螺栓被用作临时安装螺栓、初拧终拧不在同一天完成等都会影响到连接质量。

3 工程案例与质量控制效果

3.1 工程概况

该工业厂房钢结构工程主体为门式刚架结构，总用钢量约为 850 吨。梁柱节点全部用 10.9 级 M24 高强螺栓连接副，共约 4200 套。施工期间属于春季多风季节，对于摩擦面的防护要求较高。

3.2 质量控制实施过程

施工前编制专项方案，材料进场按批号抽 8 套复验扭矩系数，合格后入库。构件摩擦面做喷砂处理，处理后的 48 小时内安装完毕，防止产生浮锈。

施拧使用定扭矩电动扳手，分为初拧和终拧两道工序。初拧扭矩取终拧扭矩的 50%左右，保证板件紧密贴合。终拧按节点中心向边缘顺序进行，初拧和终拧在同一天内完成。每班次作业前对扳手做扭矩校核。

3.3 检测结果与效果分析

施工完毕后按照规范要求对高强螺栓连接副进行抽样检测，主要检测项目及结果见下表。

表 2 主要检测项目及结果

检测项目	规范要求	实测平均值	合格率
扭矩系数平均值	0.110~0.150	0.128	100%
扭矩系数标准偏差	≤0.010	0.006	100%
抗滑移系数	≥0.45	0.52	100%
终拧扭矩抽检	0.9~1.1 倍设计值	0.98 倍	98.5%
丝扣外露数量	2~3 扣	符合要求	99.2%

该工程高强螺栓连接施工最后验收合格率为 98.5%，没有出现节点滑移或者螺栓松动等质量问题。同一批次的未严格执行质量控制流程的工程，终拧扭矩抽检合格率一般为

85%-90%，摩擦面抗滑移系数不合格率为 15%左右。因此，严格按进场复验、规范施拧工艺、加强过程检测来提高高强螺栓连接施工质量。

4 质量控制优化措施

4.1 材料进场与存储管理优化

建立连接副批号管理台账，每批进场材料编号，注明生产厂家、批号、规格、复验数据、使用部位。施工严格按照批号领取，防止不同批次的材料混用造成扭矩系数的差异。储存保持库房应通风、干燥，离地存放符合防潮要求的连接副。

材料进场时除了复验扭矩系数外，还要对螺栓、螺母、垫圈的外观质量进行检查，保证螺纹完好、无锈蚀、无磕碰损伤。连接副应保持出厂配套状态，螺栓、螺母、垫圈不得跨批次互换。库房内设有温湿度记录仪，梅雨季增加除湿装置，防止螺纹锈蚀导致扭矩系数不稳定。施工余料及时退库，不得露天堆放过夜。领用时实行双人复核制，核对批号、规格、数量，保证发放无误。

4.2 摩擦面处理与防护优化

采用摩擦面工序交接验收，安装前质量检查员对摩擦面进行检查确认无油污、无浮锈后方可拼装。喷砂处理过的摩擦面在规定时间内安装完毕，超过规定时间的要重新检测抗滑移系数。安装时用遮挡措施防止焊接飞溅物污染摩擦面。

摩擦面处理工艺应根据设计要求选择，喷砂处理后要及时用毛刷清除表面的浮灰，用干丝布擦去残留的砂粒。处理合格的摩擦面设明显的标志，与未处理面分开。构件运输、吊装时摩擦面两侧用专用防护板遮挡，防止钢丝绳直接接触摩擦面造成划伤。现场焊接作业时，在摩擦面附近设防火挡板，防止焊渣飞溅附着。雨天或者空气湿度大时停止摩擦面处理工作，处理过的构件没有安装的用防雨布遮盖，防止表面结露影响抗滑移效果。

4.3 施拧工艺与设备管理优化

定扭矩电动扳手每三个月校准一次，维修后重新校准。施拧人员必须经过培训考核合格后才能上岗，不得使用普通扳手代替定扭矩扳手终拧。施拧顺序为节点刚度中心向边缘施拧，防止板件产生附加应力。

施拧作业前根据现场复验的扭矩系数计算出每批螺栓的终拧扭矩值，书面交底到每一位操作人员。初拧后用油漆笔在螺母侧面做标记，终拧后用不同的颜色油漆再次标记，便于区分和检查。大型节点增加复拧工序，复拧扭矩等于初拧扭矩，消除初拧过程中板件密贴造成的预拉力损失。电动扳手使用中注意电池电量变化，电量不够时及时更换，避免扭矩输出变小造成施拧质量不合格。当施拧环境温度小于零度时，用方法来提高连接副温度，防止低温造成扭矩系数变化。

4.4 质量检测与追溯管理优化

终拧后根据规范要求对扭矩进行抽检，不合格的及时分析原因并整改。抽检记录同施工日志对应存档，达到质量可追溯的目的。对节点螺栓编号登记，出现问题时可以迅速找到施工班组和作业人员。

扭矩抽检用经过校准的扭矩扳手，检查时在螺母拧紧方向慢慢加扭矩，当螺母转一小圈时就记录扭矩值。实测扭矩应控制在设计终拧扭矩的 90%～110%之间，超出范围的螺栓应及时补拧或更换。抽检比例按规范要求执行，每个节点抽检数量不小于螺栓总数的 10%且不少于 2 个。建立质量问题台账，对不合格螺栓的位置、原因及处理结果进行记录，并对质量趋势进行汇总分析，有针对性地改善施工工艺。工程竣工后将全部复验报告、检测记录、施工日志等整理归档，作为竣工验收及以后运维的技术依据。

5 结论

高强螺栓连接副施工质量控制属于钢结构工程质量管理的重要部分。扭矩系数、预拉力、抗滑移系数是三项主要的控制指标，分别对应材料复验、施拧工艺、摩擦面处理这三个重要的环节。工程实践证明，严格实行进场复验制度、规范摩擦面防护、分阶段施拧并加强扭矩检测，可以提高高强螺栓连接施工合格率。施工单位要创建起材料进场到竣工验收的全过程质量控制体系，保证高强螺栓连接副的施工质量达到结构安全标准。

参考文献：

[1] 彭勇,彭云,罗国军,等.高强螺栓高可靠性连接施工控制要点研究[J].四川建筑,2025,45(5):206-207.

[2] 黄道富.钢结构建筑施工中高强螺栓连接技术[J].中国建筑金属结构,2025,24(9):61-63.

[3] 陈丽娟,周强华.钢结构栈桥施工中高强螺栓连接技术的应用[J].交通世界,2022,(32):153-155.

[4] 赵伟.高强螺栓连接技术用于钢结构栈桥施工工艺浅析[J].四川水泥,2022,(4):117-119.

[5] 王智文.腐蚀环境下摩擦型高强螺栓连接承载力研究[D].苏州科技大学,2021.