

高强度螺栓连接施工扭矩控制偏差对钢结构节点承载力的影响分析

王一霖

迁安市九江线材有限责任公司 河北 迁安 064400

摘要: 本研究对高强度螺栓连接施工扭矩控制偏差对钢结构节点承载性能的影响进行了系统分析,系统分析高强度螺栓连接的工作原理及其在扭矩控制中的关键地位,依托理论剖析、实证调研与数值仿真方法,剖析扭矩控制偏差产生的原因及其背后的科学原理,施工人员操作存在不规范之处,扭矩扳手测量精度未能达到标准,探讨该研究对钢结构节点剪切、拉伸及疲劳性能等承载能力方面的作用机理,扭矩控制误差显著降低了钢结构节点的承载能力,增强建筑结构安全隐患的潜在威胁,基于科研成果构建针对性的管理措施体系,优化施工管理,提高工程质量水平,提升钢结构的安全稳定性水平,为工程实施提供必要的参考性指引。

关键词: 高强度螺栓; 扭矩控制偏差; 钢结构节点; 承载力

1 引言

在现代建筑行业,在众多建筑结构材料中,钢结构凭借其高强度、低重量、快速施工及可循环利用等特性脱颖而出,该技术在全球范围内得到了广泛的认可与采纳,直插云霄的摩天楼群,进入规模庞大的体育场馆及工业厂房等建筑群,钢结构遍布各处 [1]。于钢制结构体系构成部分内,节点连接是保障结构完整性与稳定性的核心要素,具有不可替代的作用,高强度螺栓连接技术系一种普遍采用且至关重要的结构件连接方法,该装置凭借施工简易性、连接的可靠性以及可拆卸性等优势脱颖而出,钢结构工程领域,其应用范围极为广泛 [2]。

2 高强度螺栓连接的工作原理及扭矩控制的重要性

2.1 高强度螺栓连接的工作原理

高强度的螺栓连接技术主要分为摩擦型和承压型两大类,摩擦型高强度螺栓连接方式,其剪力的传递主要依靠被连接件接触面间的摩擦力机制,其工作原理基于摩擦力公式,摩擦力以 F 表示,摩擦系数 μ 是表征物体接触面摩擦特性的物理量, N 为螺栓预先设定的紧固力数值,在常规操作规程内,连接件彼此间未出现相对滑动迹象,能量传递的机制中,外力借助摩擦力得以实现传递,面对剪切力的挑战,承压型高强度螺栓的连接节点展现出其结构设计的创新性,初始阶段与摩擦型模式呈现出一致性,借助摩擦力实现力的传递,当施加的外力突破摩擦力的临界点,连接部件之间将出现相对位移,螺栓杆与孔壁实现物理接触,螺栓杆承受剪切力与孔壁承受压力协同抵御外部作用力,不论何种类型归属,螺栓的预紧力构成了维系连接性能稳定性的关键性参数,通过精确控制施工扭矩,实现预紧力的有效施加 [3]。

2.2 扭矩控制的重要性

精确扭矩控制是实现高强度螺栓连接质量保证的核心要素,适宜的扭矩能够确保螺栓达到预定的设计预紧力值,必须保证连接部件紧密贴合无间隙,确保施加恰当的摩擦

力,以实现荷载的顺畅传递,进而保障钢制结构节点在承载性能与结构稳定性方面满足设计标准。若扭矩值偏低,螺栓的预紧力未达到工程实施标准中的预定要求,连接部件之间的摩擦阻力呈现下降趋势,荷载作用下,节点滑移现象是可能发生的,降低建筑结构的剪切承载水平,甚至触发结构整体稳定性的根本动摇,若扭矩量级超出规范界限,紧固件在承受超限拉力作用下存在断裂的风险,或许引起连接元件的变形程度超过其设计极限,该行为将极大地降低节点承载性能的可靠性,扭矩控制偏差对结构疲劳寿命的维持存在潜在威胁,由于长期反复荷载的反复作用,结构材料过早地进入了疲劳破坏的临界状态,高强度螺栓连接质量的实现,离不开对施工扭矩的严格限制,进而构成钢结构稳定可靠运行的核心环节 [4]。

3 高强度螺栓连接施工扭矩控制偏差的原因分析

3.1 施工人员因素

扭矩控制成效受施工人员操作技艺及责任感的双重制约,部分施工人员或许未接受充分的专业技能培训,对高强度螺栓连接施工工艺及其扭矩控制要点的理解不够透彻,操作扭矩扳手阶段,拧紧作业未能精确按照既定的扭矩标准值实施,拧紧作业实施阶段,可能遭遇力度分布不均、作业速度过快或过慢等情形,实际扭矩施加值与设计扭矩要求不一致,出现偏差现象,若干施工人员在职业责任感的培养上存在缺陷,在项目进度压力下,扭矩控制的重要性往往被忽视,实施扭矩扳手参数的适度调节,或许未对拧紧螺栓执行规定的扭矩检查程序,此类动作往往引起扭矩调节误差的频繁显现 [5]。

3.2 扭矩扳手因素

扭矩扳手的精确性与可靠性对扭矩控制精确性的达成具有直接影响,在施工实施阶段,在长期使用周期内,部分扭矩扳手可能因未实施定期校准而存在潜在误差,该测量结果所反映的精确度水平有所降低,市面上部分扭矩扳手的质量标准未达到预定要求,诸如刻度误差、传动机构

损耗等情形,实际施加的扭矩与既定目标值将出现不一致,各式各样的扭矩扳手类型,诸如指针式、表盘式以及数显式等不同显示机制的分类,在操作流程及精确度属性上,存在一定程度的差异,若施工人员未能充分认知扭矩扳手的功能特性,操作过程中亦易出现扭矩控制误差现象。

4 高强度螺栓连接施工扭矩控制偏差对钢结构节点承载力影响的研究方法

4.1 理论分析

构建力学分析模型,依托材料力学与结构力学的相关理论体系,探讨扭矩控制误差与高强度螺栓预紧力之间的内在关系及其影响因素,研究预紧力偏差对钢结构节点在抗剪、抗拉及疲劳性能等方面的承载能力影响规律,运用摩擦力理论公式,结合螺栓受力平衡的数学关系,探讨在各式扭矩控制误差条件下的推导模型,节点承受剪切与拉伸力极限的理论计算公式推导及解释,从理论角度揭示了扭矩控制误差对节点承载力作用机理的内在逻辑。

4.2 实验研究

构建并实施一套针对特定研究目标的实验体系,制备出不同扭矩控制误差的高强度螺栓连接试验件,构建钢结构节点在实际受力环境下的力学响应模型,对实验设施实施多样化载荷,诸如单调的静力荷载、周期性的荷载等,对测试件在加载阶段所表现出的变形、滑移及破坏模式等行为进行系统分析,对荷载-位移曲线及螺栓预紧力变化等关键数据进行了细致的测量分析,从实验结果中提取,研究扭矩控制偏差对钢结构节点承载性能的具体影响及其量化分析,以实验手段验证理论分析,并借助数据资料给予佐证。

4.3 数值模拟

采用先进的有限元分析程序,构建高精度、高强度螺栓连接的钢结构节点模拟模型,在模型设计阶段,需对螺栓、连接件的材料特性、几何形态、接触特性及扭矩控制偏差等关键要素进行综合考量,采用数值模拟技术,对节点在各类荷载条件下的应力分布及应变状态进行精确的数值模拟与结果解读,对节点承受负荷的极限及其潜在的破坏形式进行预测。数值模拟技术以其高效率、灵活性以及出色的可重复性等显著优势而备受推崇,擅长对各类复杂工况进行模拟并实施深入分析,理论探讨与实验验证相得益彰,全面系统地对扭矩控制偏差对钢结构节点承载力的影响进行深入研究,以揭示其内在规律。

5 高强度螺栓连接施工扭矩控制偏差对钢结构节点承载力的影响

5.1 对节点抗剪承载力的影响

施工扭矩控制过程中显现出数值上的不一致性,螺栓预紧力不足成因的探讨与解析,连接部件间的摩擦阻力值降低至一定水平,在经历剪切力施加的瞬间,节点相对滑

动现象的易发性呈现增长态势,进而降低了节点剪切承载力的水平,基于理论层面的剖析与实证研究的探讨,实验数据表明,螺栓预紧力与结构抗剪承载能力之间存在近似正比的关系。扭矩控制偏差作用下,螺栓预紧力降低至既定比例,节点对剪切应力的抵抗能力将明显下降,若扭矩偏差引发预紧力下降至原值的80%,在若干特定阶段,节点剪切承载力的预期降低幅度预计在30%至40%之间,扭矩控制误差可能引起螺栓承受力分布的不均,对节点整体抗剪性能的进一步降低,在多螺栓组装的连接点之内,若干紧固件预紧力未达到设计预定的最小值,在经历剪切力影响的阶段,该批螺栓将首先出现滑移现象,实现其他螺栓承受更大剪切应力的效果,加快节点破坏作用的加速步伐。

5.2 对节点抗拉承载力的影响

论述承受拉伸作用的钢结构连接节点的结构稳定性,高强度螺栓的预紧力是保证其结构安全与可靠性的关键要素,在普遍环境下,螺栓的预紧作用可有效缓解部分拉应力,实现连接件间的紧密接触效果,共同抵御外部冲击,在施工扭矩控制过程中,若出现偏差,螺栓预紧力将超过设计要求,当螺栓所受拉力超过其设计屈服强度时,存在断裂的风险,由此引发其承载能力的退化。扭矩控制偏差现象若出现,将造成预紧力未能达到设计规定的紧固要求,受拉力作用的情境中,连接元件之间可能过早地出现间隙现象,集体抵御拉力效果欠佳,此举亦将引起节点抗拉承载力的相应降低,螺栓预紧力因扭矩控制偏差而偏离设计预定值 $\pm 15\%$ 的误差区间,节点在抗拉性能方面的预期减弱为10%至20%,拉力工况对结构安全性的破坏作用明显加剧。

5.3 对节点疲劳性能的影响

在长期经受重复荷载的钢结构构造体内,结构使用寿命的延长,离不开对节点疲劳性能的深入研究与优化,对高强度螺栓连接施工扭矩控制偏差对节点疲劳性能的显著影响进行探讨,扭矩控制误差引发的螺栓预紧力分布不均或偏低,节点在反复荷载的连续施加中承受,部分区域应力集中现象的加剧趋势不容忽视,螺栓与连接构件间的接触状态持续呈现出动态调整的特征,由此促进了疲劳裂纹的起始与扩展速率的提升。实验结果证实,与扭矩控制节点精确度较高的情形相匹敌,扭矩控制偏差较大的节点,其疲劳寿命的缩短比例介于30%至50%,在桥梁等工程实体中,此类结构需承受连续的车辆荷载压力,若高强度螺栓连接作业中扭矩控制值不符合预定标准,节点在反复应力作用下更容易产生疲劳破坏效应,桥梁安全运营面临重大威胁。

6 减小高强度螺栓连接施工扭矩控制偏差及提高节点承载力的措施

6.1 加强施工人员培训与管理

对施工人员实施高强度螺栓连接技术的专业培训与考

核,使其对施工工艺、扭矩控制规范和质量标准等专业知识有系统性的掌握,本培训内容需全面介绍扭矩扳手的使用方法、操作技巧、常见故障及其处理途径,增强施工人员责任担当的教育力度,增强对施工质量关键性的认知水平。建立一套全面的施工人员素质评估体系,高强度螺栓连接作业的资格仅对考核合格者开放,施工实施阶段,增强现场管理力度,设立专项监督小组,对施工人员操作进行全程跟踪与审查,立即对不规范行为进行纠正与规范落实,实施严格的扭矩控制措施,保障施工质量。

6.2 规范扭矩扳手的使用与管理

选用性能可靠、精度符合标准之扭矩扳手,亦应定时实施校准与维护程序,参照施工技术规范与各类扭矩扳手的型号特性实施,拟定周密的作业规程,本文对扭矩扳手的调整设定、操作规范及其使用过程中应遵守的注意事项进行深入剖析,在每次实施扭矩扳手操作的前期阶段,对该对象进行核实,必须维持设备在正常的工作条件内运行。在各类机械操作中,频繁启用的扭矩扳手,建议对校准周期实施缩短计划,维护其测量精度的稳定可靠,实施扭矩扳手使用操作档案的规范化管理,对每次操作所耗时间、操作者身份、校准状态及拧紧螺栓的相关技术指标进行详实记载,追求扭矩扳手应用活动的可追溯性及其管理工作的规范化。

6.3 严格控制螺栓及连接件质量

在购置高强度螺栓及其相关联的连接部件阶段,筛选信誉卓著、品质上乘的供货单位,务必保证该产品之质量与既定标准及设计规范相吻合,对入场螺栓及连接部件实施严密的质量审查程序,对外观进行审视、对尺寸进行量度、对力学性能进行试验等多个程序。涉及表面瑕疵、螺紋精度不符合要求、材料性能未达规定的不合格产品,坚决执行退换货的既定程序,在储存与运输各阶段,采纳科学合理的防护措施,实施有效措施,保障螺栓与连接件不受损伤、腐蚀及变形,施工前工程质量必须得到有效维护,防止任何质量下降。

结论

高强度螺栓在钢结构工程连接技术中占据核心位置,施工扭矩控制偏差对钢结构节点承载性能有显著影响,对扭矩控制偏差起因的深入挖掘,通过运用理论剖析、实证探究及数值仿真等多元化研究手段,对其作用机理进行了深入探讨,扭矩控制偏差问题对钢结构节点承载性能产生负面影响,主要体现在抗剪、抗拉及疲劳性能等关键指标的降低,对结构稳固性的威胁程度极高。努力实现扭矩控制偏差的最小化,增进节点承载强度,为提高施工质量,必须从施工人员培训、扭矩扳手操作规范、螺栓及连接件质量监控、施工环境优化以及施工过程质量检测与控制等方面入手,实施全方位的强化管理,在工程实施阶段,高强度螺栓连接施工扭矩控制环节需给予充分重视,对施工质量实施全面监控,实施钢结构安全运行与可靠性监控体系,助力钢结构产业迈向健康可持续发展的新阶段,在工程技术领域不断实现突破的今天,进一步对高强度螺栓连接的性能优化措施及其质量控制技术进行深入研究显得尤为迫切,促进钢结构工程领域技术进步,构筑坚实的技术后盾。

参考文献

- [1] 陈孟率. 钢结构节点高强度螺栓连接分析[J]. 科技创新与应用, 2012(06Z):1. DOI:CNKI:SUN:CXY.0.2012-15-203.
- [2] 冯永辉. 考虑螺栓超欠漏拧的钢结构端板连接节点滞回性能分析[D]. 武汉理工大学, 2012. DOI:10.7666/d.y2100137.
- [3] 刘廷勇, 张爱林, 李久林. 全装配大跨度空间钢结构预应力-高强度螺栓连接节点性能研究[J]. 工业建筑, 2024, 54(8):44-53. DOI:10.3724/j.gyjzG24022208.
- [4] 周晨, 周浩, 厉彦军, 等. 钢结构连接节点点的高强度螺栓施工方法:CN202111671211.4[P]. CN202111671211.4[2025-04-17].
- [5] 侯兆新, 龚超, 梁梓豪, et al. 温度对高强度螺栓连接节点承载性能影响的试验研究[J]. 钢结构(中英文), 2021, 36(1):10. DOI:10.13206/j.gjgs20081803.