

钢结构节点连接技术研究

郭啸

临沂市规划建筑设计研究院集团有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17135

[摘要] 本文聚焦钢结构节点连接技术,阐述其技术体系与理论基础,包括核心功能及主流连接技术工作机理。分析螺栓、焊接、栓焊混合连接技术的性能及经济性。探讨新型连接技术研发方向与性能验证方法。研究节点连接设计优化原则、施工质量控制要点及服役期维护加固策略。旨在为钢结构节点连接技术的研发、设计、施工及维护提供全面参考,推动钢结构行业技术进步与可持续发展。

[关键词] 钢结构; 节点连接; 力学性能

中图分类号: TU391 **文献标识码:** A

Research on Steel Structure Joint Connection Technology

Xiao Guo

Linyi Planning and Architectural Design Research Institute Group Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on steel structure joint connection technology, elaborating on its technical system and theoretical foundation, including core functions and the working mechanisms of mainstream connection technologies. It analyzes the performance and economic efficiency of bolted, welded, and bolted-welded hybrid connection technologies. The development directions and performance verification methods for new connection technologies are explored. The study also examines design optimization principles for joint connections, key points for construction quality control, and maintenance and reinforcement strategies during the service period. The aim is to provide comprehensive references for the research, design, construction, and maintenance of steel structure joint connection technology, promoting technological progress and sustainable development in the steel structure industry.

[Key words] Steel Structure; Joint Connection; Mechanical Performance

引言

钢结构因强度高、自重轻等优势在建筑领域广泛应用,节点连接作为钢结构关键部分,直接影响结构安全与性能。当前,钢结构节点连接技术多样,但不同技术各有优劣,且随着建筑结构日益复杂,对节点连接技术提出更高要求。在此背景下,深入研究钢结构节点连接技术,分析主流技术性能,探索新型技术方向,优化设计与质量控制,对提升钢结构工程质量、保障结构安全可靠具有重要意义。

1 钢结构节点连接技术体系与理论基础

1.1 节点连接的核心功能

钢结构节点连接作为钢结构体系的关键组成部分,核心功能体现在传递荷载、保证结构整体性、适应变形协调及提供装配便捷性四个方面。在荷载传递过程中,节点需将梁、柱等构件承受的轴力、弯矩、剪力等有效传递,确保力的合理分配,避免局部应力集中导致结构破坏。保证结构整体性要求节点连接使各独立构件形成协同工作的整体,提升结构抗侧移、抗倾覆

等整体性能,尤其在地震、强风等极端荷载作用下,需维持结构稳定^[1]。适应变形协调是指节点需具备一定的变形能力,协调构件间因温度变化、荷载作用产生的变形,减少附加应力。提供装配便捷性则针对施工环节,合理的节点设计能简化安装流程,缩短施工周期,降低施工难度,同时为后续维护检修提供便利,这些功能相互关联,共同保障钢结构体系的安全可靠运行。

1.2 主流连接技术的工作机理

钢结构主流连接技术的工作机理围绕力的传递路径和构件协同作用展开,不同技术通过独特方式实现节点的稳定连接。螺栓连接通过螺栓杆与螺栓孔的配合传递力,受拉螺栓依靠预紧力使被连接件产生夹紧力,利用摩擦力传递剪力;受剪螺栓则通过螺栓杆直接承受剪力和挤压传递荷载,其工作机理核心是预紧力形成的摩擦效应与螺栓杆的承载能力结合。焊接连接通过高温熔化焊条或焊丝与母材,冷却后形成焊缝,使构件成为整体,工作机理是焊缝金属与母材的冶金结合,焊缝将荷载直接传递,其承载能力取决于焊缝的强度、尺寸及焊接质量。栓焊混合连

接融合两者优势,关键部位采用焊接保证刚性和承载力,次要部位采用螺栓连接简化安装,工作机理是通过合理分配焊接与螺栓的受力,既确保节点核心区域的稳定传递,又提升施工灵活性,三种技术的机理均以荷载有效传递和结构稳定为核心。

2 主流钢结构节点连接技术的性能分析

2.1 螺栓连接技术性能研究

螺栓连接技术的性能体现在力学性能、施工性能及耐久性等方面。力学性能上,其抗拉强度和抗剪强度取决于螺栓材质、规格及预紧力控制,高强度螺栓通过精准预紧形成的摩擦型连接,抗剪承载力显著高于普通螺栓,在反复荷载作用下,摩擦面的抗滑移系数稳定,能有效抵抗疲劳破坏。施工性能方面,螺栓连接无需复杂的现场焊接设备,装配流程标准化,安装速度快,且便于拆卸调整,尤其适用于预制装配式钢结构,能大幅缩短现场施工周期。耐久性上,螺栓表面的镀锌、镀铬等防腐处理可有效抵抗大气腐蚀,但若预紧力不足或密封不当,易出现松动和锈蚀问题,影响长期性能。在低温环境下,高强度螺栓的韧性良好,承载力下降幅度较小;高温环境下,螺栓材质的强度会随温度升高而降低,需采取隔热措施。螺栓连接的性能受施工工艺影响较大,扭矩扳手的精准度、摩擦面的处理质量均直接决定连接的可靠性,合理选择螺栓规格和施工工艺可充分发挥其性能优势。

2.2 焊接连接技术性能研究

焊接连接技术的性能核心体现在承载能力、刚性及适应性,同时存在施工质量波动大的特点。承载能力方面,焊缝与母材形成的冶金结合使节点具有良好的整体性,抗拉、抗压及抗剪承载力高,尤其在承受大荷载的重型钢结构中,焊接连接能通过增大焊缝尺寸提升承载性能,适用于节点核心受力区域。刚性方面,焊接连接为刚性连接,节点变形量小,能有效保证结构的整体刚度,减少结构在荷载作用下的位移,适用于对刚度要求高的框架结构^[2]。适应性上,焊接可根据构件形状灵活施工,能实现复杂节点的连接,满足特殊结构的设计需求,且不受构件尺寸和安装空间的过多限制。但焊接连接施工受环境影响大,低温、潮湿环境易导致焊缝出现气孔、裂纹等缺陷;焊接过程中产生的残余应力会降低节点的疲劳性能,需通过焊后热处理消除。焊接质量依赖操作人员技能,需严格把控焊接工艺参数和探伤检测环节,确保焊缝质量符合要求。

2.3 栓焊混合连接技术性能研究

栓焊混合连接技术结合螺栓连接与焊接连接的优势,性能表现为力学性能均衡、施工灵活性高及适应性强。力学性能上,该技术通过焊接连接承担节点核心荷载,利用焊缝的高承载力和刚性保证节点稳定,同时通过螺栓连接辅助传递部分荷载,减少焊缝的应力集中,在反复荷载作用下,螺栓能吸收部分能量,提升节点的疲劳性能。与单一连接技术相比,栓焊混合连接的刚度介于螺栓连接与焊接连接之间,既能满足结构对刚度的基本要求,又具备一定的变形协调能力,避免刚性过大导致的脆性破坏。施工灵活性方面,螺栓连接可用于构件的临时固定和初步定位,简化焊接操作的对位流程,降低焊接施工难度,尤其在大型

钢结构安装中,能有效提升现场施工效率。适应性上,栓焊混合连接适用于多荷载工况的复杂节点,可根据节点不同部位的受力特点,合理分配螺栓与焊接的范围,在高层钢结构、大跨度空间钢结构中应用广泛。但该技术需精准设计螺栓与焊缝的受力分配,施工中需同时把控螺栓预紧力和焊缝质量,确保两者协同工作。

2.4 不同连接技术的经济性对比

不同钢结构节点连接技术的经济性需从材料成本、施工成本、维护成本及生命周期成本综合考量。材料成本方面,螺栓连接的螺栓尤其是高强度螺栓单价较高,大用量场景下材料成本占比大;焊接连接主要成本为焊条、焊丝等耗材,单价较低,但需配套焊剂等辅助材料;栓焊混合连接材料成本介于两者之间,取决于螺栓与焊缝的用量比例。施工成本上,螺栓连接施工速度快,人工成本低,无需大型焊接设备,设备投入少;焊接连接对操作人员技能要求高,人工成本高,且需焊接设备、探伤设备等,设备投入大,施工周期长;栓焊混合连接施工成本受施工流程影响,螺栓定位可降低焊接人工成本,但需兼顾两种工艺的管理成本。维护成本方面,螺栓连接易出现松动锈蚀,后期维护频率高,维护成本高;焊接连接整体性好,维护频率低,但焊缝缺陷修复成本高;栓焊混合连接维护成本需结合两种连接的损耗情况,整体低于单一螺栓连接。从生命周期成本看,焊接连接在长期使用中成本优势明显,螺栓连接适用于短期使用或需频繁拆卸的场景,栓焊混合连接在复杂结构中经济性最优。

3 新型钢结构节点连接技术研发与应用

3.1 新型连接技术的研发方向

新型钢结构节点连接技术的研发方向聚焦于提升装配效率、增强结构性能、降低环境影响及适配新型结构形式。提升装配效率方向,研发重点为模块化连接和快速锁定技术,通过设计标准化的连接模块,实现构件的工厂预制与现场快速拼接,减少现场施工工序,如螺栓球节点的改进型设计,采用自定位结构提升安装精度和速度^[3]。增强结构性能方向,针对极端荷载工况,研发具有高韧性、高抗疲劳性能的连接技术,如采用纤维增强复合材料与钢材复合的连接节点,提升节点的抗腐蚀和抗冲击性能;同时开发可恢复功能的连接技术,在地震作用后通过简单调整即可恢复节点性能。降低环境影响方向,研发环保型连接材料和工艺,减少焊接过程中的废气排放,推广无焊连接技术,如采用机械咬合式连接替代部分焊接工序;同时研发可循环利用的连接节点,便于钢结构拆除后的构件回收利用。适配新型结构形式方向,针对大跨度空间结构、高层模块化钢结构等新型结构,研发专用连接技术,如大跨度索膜结构中的新型锚接节点,提升节点的承载效率和空间适应性;针对装配式钢结构,研发兼具刚性和柔性的连接技术,满足模块化施工的需求。

3.2 新型连接技术的性能验证

新型钢结构节点连接技术的性能验证需通过室内试验、数值模拟、现场实测及长期服役监测多维度开展,确保技术的可靠性和适用性。室内试验方面,开展静力加载试验测试节点的抗

拉、抗压、抗剪承载力及刚度,通过反复加载试验评估疲劳性能,在高低温、湿热等模拟环境下进行耐久性试验,检测节点在不同环境下的性能衰减规律;针对抗震需求,进行拟静力试验和振动台试验,验证节点的抗震性能和耗能能力。数值模拟方面,采用有限元分析软件建立节点的精细化模型,模拟不同荷载工况下节点的应力分布、变形特征及破坏机理,与室内试验结果对比校准,优化节点设计参数;通过参数化分析研究节点尺寸、材料性能等对连接性能的影响,为技术推广提供数据支撑。现场实测方面,在实际工程中选取典型节点进行安装过程监测,记录安装精度、施工难度及工期数据;在结构投入使用后,对节点的应力状态、变形情况进行实时监测,验证节点在实际服役条件下的性能表现。长期服役监测方面,建立节点性能长期数据库,跟踪监测节点在多年服役过程中的腐蚀、疲劳等性能变化,评估节点的使用寿命,为维护策略制定提供依据,多维度的性能验证确保新型连接技术满足工程应用要求。

4 钢结构节点连接的设计优化与质量控制

4.1 节点连接的设计优化原则

钢结构节点连接设计优化有五项核心原则。安全可靠是首要原则,要确保节点在各种荷载下承载力达标,有足够安全储备,极端荷载下避免先于构件破坏,合理选连接形式与材料提升抗破坏力。受力合理要求设计符合力的传递路径,减少应力集中,优化几何形状,均匀传力,合理分配各部位受力。施工便捷强调适配现场条件,简化工序,减少高空作业与复杂焊接,采用标准化构造提升效率与精度。经济适用要在满足性能前提下,优化构造,减少材料用量,降低成本并兼顾后期维护。绿色环保注重可持续性,选用环保材料,减少能耗与污染,设计可循环利用构造,提升钢结构回收利用率。

4.2 施工质量控制要点

钢结构节点连接施工质量控制分三环节。施工准备时,把控材料质量,检验螺栓、焊条等,核查证明与报告;预处理构件连接部位,清理杂质,打磨坡口与摩擦面。过程控制中,螺栓连接控制预紧力精度,抽样检测;焊接连接执行评定参数,控制温度防裂纹,多层焊接层间清理探伤;栓焊混合连接协调顺序,先螺栓固定再焊接。验收检测时,用无损检测全面检查焊缝;对螺栓连

接进行扭矩和抗滑移系数测试;测量节点尺寸与安装精度,合格后进入下道工序。

4.3 服役期间的维护与加固

钢结构节点连接服役期需建立常态化监测机制,依损伤类型精准维护加固,确保性能达标。维护核心有三:一是定期检查,制定年度计划,用目视、超声波检测等方法,重点查焊缝开裂、螺栓松动、构件锈蚀等,极端荷载后增加频次,及时发现隐患。二是腐蚀防护,针对不同环境采取措施,潮湿、沿海等腐蚀严重区域,定期除锈、涂漆,用防腐密封胶密封螺栓连接部位防水侵入^[4]。三是松动处理,及时紧固松动螺栓,更换失效螺栓,保证预紧力,清理焊缝开裂缺陷后补焊修复。加固依损伤程度和性能要求选方案:承载力不足,可增大焊缝、增螺栓、外包混凝土或粘贴钢板;刚度不足,增设加劲肋、换刚性连接;疲劳损伤,焊补、打磨焊缝或粘贴纤维增强复合材料。加固施工严格遵循规范,完成后检测性能,确保效果达标。同时建立维护加固档案,为后续管理提供参考依据。

5 结束语

钢结构节点连接技术对钢结构建筑的发展至关重要。通过对主流连接技术的性能剖析、新型技术的研发探索以及设计优化与质量控制的研究,对其有了更全面深入的认识。未来,应持续加大研发投入,不断优化节点连接技术,提升其性能与经济性。同时,严格把控设计与施工质量,做好服役期维护加固,以保障钢结构建筑在全生命周期内的安全稳定运行,推动钢结构建筑行业迈向更高水平。

[参考文献]

- [1]贾睿.装配式钢结构建筑墙板连接节点施工技术研究[J].河南建材,2025(4):117-119.
- [2]张亮.高层建筑钢结构节点连接技术优化与试验研究[J].河南建材,2023(10):30-33.
- [3]魏超.钢结构框架外挂ALC墙板节点连接技术研究[J].建筑机械化,2024,45(12):102-106.
- [4]张月,马春盛.对建筑钢结构节点连接技术的研究[J].中国房地产业,2025(19):182-185.