

装配式建筑钢结构梁柱节点 焊接施工技术分析

张广涛, 徐正凯

(山东鑫通钢结构工程有限公司, 山东 聊城 252000)

摘 要 本文针对装配式建筑钢结构梁柱节点在焊接施工过程中质量控制不稳定和工艺标准不统一的关键技术难点问题, 提出技术控制、焊后质量检验、工艺参数优化等施工技术方案。结果表明: 明确节点功能和结构特点、规范焊接施工原理和质量标准、配合无损检测和工艺参数的动态调整, 可以显著增强梁柱节点焊接可靠性、耐久性和施工效率, 为装配式钢结构安全使用提供保障。

关键词 装配式建筑; 钢结构梁柱节点; 焊接施工技术

中图分类号: TU767

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.015

0 引言

装配式建筑钢结构凭借其施工效率高、环保节能的优势, 在现代建筑领域得到了日益广泛的应用。梁柱节点是关键传力部位之一, 焊接质量的好坏直接关系到整体结构安全稳定^[1]。但目前节点焊接还存在着施工标准化不到位、质量控制困难、部分工艺适应性差的问题, 容易造成焊缝缺陷和应力集中的潜在风险^[2]。本文系统地分析梁柱节点的设计特点、焊接原理及技术标准, 并探讨施工关键技术, 旨在为促进焊接工艺规范化和最优化提供参考。

1 装配式建筑钢结构梁柱节点设计特点

装配式钢结构梁柱节点设计不是一个单纯的构件连接问题, 需考虑结构体系的传力路径、节点刚度要求、抗震延性、构件加工的便利性和现场安装焊接的可操作性, 是受多重因素影响而产生的复杂的工程问题。节点设计的主要目的是在确保建筑结构的安全性基础上, 遵循“节点强, 构件弱”的抗震设计哲学, 并确保满足装配施工的高效率和精确性需求^[3]。梁柱节点的功能与结构作用首先体现在其作为框架中梁与柱的交接点, 是水平荷载(风荷载、地震作用等)与竖向荷载传递与重新分配的关键枢纽。节点域受弯矩时受到较大剪力; 受梁端剪力和轴力的影响, 要求节点将力可靠地传递给柱身。所以, 节点设计时一定要确保节点有足够的强度、刚度、变形能力来协调梁柱构件受力和变形, 避免罕遇地震作用下节点出现脆性破坏。

由结构作用机理可知, 典型刚性连接节点需要保证梁端弯矩能有效地传递到柱体上, 这种传递一般是通过梁翼缘和柱体直接焊接、腹板用高强螺栓联接或者焊接等方式进行, 从而构成一条可靠的弯矩传递路径。同时, 节点区域的构造细节, 如加劲肋的设置(在梁翼缘的相应部位布置柱水平加劲肋等)、节点域的加强措施(贴焊补强板、设斜向加劲肋、使用箱形柱等)等, 均为避免节点域钢板产生过大剪切屈曲或者层状撕裂而保证其塑性变形能力^[4]。

常用梁柱节点主要依据连接构造和力学特性分为全焊连接节点、栓焊混合连接节点和近年来开发的新型装配式节点等。全焊连接节点即梁体上、下翼缘和腹板都用焊缝和柱相连, 具有刚度大、承载力高、整体性强等优点, 但是对于焊接工艺而言、对焊接顺序和残余应力的控制提出了极其严格的要求, 且焊接工作量较大, 对热影响区的影响明显。栓焊混合连接节点应用最为广泛, 一般梁翼缘和柱体之间用坡口熔透焊进行连接来传递弯矩, 梁腹板用高强螺栓摩擦型与焊接在柱体上剪力板或者连接板相连来传递剪力。该形式将焊接连接刚度较大与螺栓连接安装方便, 适应现场条件等优点相结合、提高施工效率。

2 梁柱节点焊接施工原理与技术标准

焊接作为通过加热、加压或者二者并用等方式使被分离金属原子之间产生永久性组合的连接技术, 被应用于钢结构梁柱节点连接, 其实质就是在节点区域

作者简介: 张广涛(1973-), 男, 专科, 助理工程师, 研究方向: 钢结构梁柱节点焊接施工技术。

内经过冶金过程,使梁和柱中钢材融合成一个连续整体。焊接连接基本原理涵盖电弧物理、冶金化学、传热学、力学等诸多学科。在电弧焊中,电弧产生的高温(可达3 000 ℃以上)使焊条(或焊丝)与母材局部熔化形成熔池,随着电弧移动,熔池冷却结晶形成焊缝金属,将工件连接起来。钢材的结合方式主要分为熔合区(焊缝金属)、热影响区(HAZ)和未受影响的母材区。熔合区性能由填充金属和母材化学成分及焊接工艺决定;热影响区则因经历了不同的热循环,其组织与性能(韧性、硬度等)可能发生显著变化,是焊接接头中的薄弱环节之一,尤其需要关注其淬硬倾向与冷裂纹敏感性。对于梁柱节点常用的低合金高强度钢(Q345、Q390等),焊接时需特别注意预热、层间温度控制及后热消氢处理,以降低冷却速度,防止冷裂纹产生^[5]。

为保证焊接质量符合结构安全的要求,在焊接施工过程中必须按照严格的质量控制要求和技术标准体系进行施工。质量控制渗透在焊前、焊中、焊后的整个过程。焊前控制包括:对母材和焊接材料进行质量复验,以保证化学成分、力学性能满足设计要求;焊接工艺评定(WPS),通过试验确定适用于具体工程钢材、节点形式与焊接方法的工艺参数(电流、电压、焊接速度、热输入等),并编制焊接工艺规程;焊工的技能评定和持证上岗保证了操作人员有相应的资格;接头坡口的准备和装配质量检查,确保坡口角度、钝边尺寸、间隙和错边量等均在容许公差之内;焊前清洗,除去油污、铁锈、水分和其它有害物质。焊中控制核心在于对焊接工艺参数的严格执行与过程监控,包括热输入的控制(对热影响区的性能和焊接变形有影响)、焊接顺序的合理安排(为使焊接应力和变形趋于均衡,对对称截面往往采取对称施焊)、多层多道焊的层间清理与温度控制等。焊接后的控制主要集中在焊缝外观的检验、尺寸的测定以及对其内部质量的无损检查上。在技术规范方面,我国已经构建一套相对完整的钢结构焊接标准体系,如《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205-2020)、《钢结构焊接规范》(GB 50661-2011)^[6]。

3 装配式建筑钢结构梁柱节点焊接施工关键技术

3.1 焊接过程技术控制要点

焊接过程作为决定梁柱节点终极品质的核心步骤,技术控制重点复杂而细腻,需要系统化管理和精准化作业。第一,选择焊接方法是关键。对于梁柱节点中要求熔透的对接焊缝(梁翼缘和柱之间的联接),首选手工电弧焊(SMAW)、实芯或药芯焊丝二氧化碳气

体保护焊(GMAW/FCAW-G)以及埋弧焊(SAW,适合于工厂平焊的地方)。其中气体保护焊由于具有效率高、熔敷迅速、焊接变形比较小的优点而被越来越多地用于现场施工。厚板焊接和窄间隙焊接这种高效优质的技术也逐步地被采用^[7]。第二,科学地规划焊接顺序是焊接应力和变形控制的关键。对于H型钢梁与柱的刚性连接,通常遵循“首先焊接收缩量较大,约束较强的焊缝”以及“对称施焊”的原则。以栓焊混合节点为例,一般都是完成梁翼缘和柱体坡口熔透焊后再焊腹板连接板或者螺栓连接。在焊接翼缘时宜先焊接下翼缘再焊接上翼缘;对单根翼缘焊缝而言,如果是V型或者X型坡口则可以进行多层多道焊接,并且由中间到两边对称地进行分段退焊或者跳焊来散热和减小横向收缩及角变形。第三,严格地控制焊接工艺参数和层间温度,是保证节点焊缝性能最关键的一环。焊接电流、电压、速度、气体流量必须准确地与母材钢号、厚度、焊材类型、接头形式相匹配,且在施焊全过程都要保持稳定。对厚板多层多道焊缝特别要求有严格的层间温度管理制度。过高的层间温度容易使接头区出现粗大晶粒和韧性降低,而过低的温度又会促使氢致裂纹出现。所以,需要用测温仪实时监测,以保证它一直在工艺评定指定的范围。在每道焊道结束时,都要用专用工具彻底清理焊渣、飞溅、可能出现的缺陷等,通过目视或者无损检测对其进行初步鉴定,为确保焊缝金属的纯净性和紧密性,下一层的焊接工作是可以进行的。同时,焊工操作技能也很关键,要稳定均匀地运条或者焊枪走行,以保证电弧一直覆盖在熔池前缘,使得坡口两侧母材得到很好的融合,从而从源头上避免了未焊透、未熔合、夹渣的质量隐患^[8]。

3.2 焊后质量检验与无损检测方法

检验分为非破坏性检验(无损检测)和破坏性检验(通常用于工艺评定)。检查包括:焊缝表面有无裂纹、气孔、夹渣、咬边、焊瘤、弧坑及其他缺陷;用焊缝检验尺检验焊缝的余高、宽度、焊脚尺寸是否满足设计要求。外观符合标准后,方可无损检测内部质量。常见的无损检测方法有超声波检测(UT)、射线检测(RT)、磁粉检测(MT)、渗透检测(PT)等。对于梁柱节点中需要熔透的对接焊缝(一级或二级焊缝),超声波检测和射线检测是检测内部体积型缺陷(气孔、夹渣、未焊透等)和面积型缺陷(裂纹、未熔合等)的主要方法。超声波检测因其灵敏度和穿透力较高,对于危害性较大的平面型缺陷有很高的检出率,且现场适用性好,不伤害人体,成为钢结构焊缝内检测中应用最为广泛的手段。它的基本原理是利用高频

声波传播到焊缝中遇有缺陷时会产生反射、折射的特点,并对回波信号进行分析,从而判断出缺陷的部位、尺寸及性质^[9]。无损检测的实施需严格按照相关国家及行业标准(《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205))执行。对于一级焊缝,需要与母材具有相同强度的全熔透对接焊缝,通常需要进行 100% 的超声波检测。射线检测是一种常用于对特定结构区域或对超声波检测结果存在疑虑的焊缝进行复验的方法,它提供直观的缺陷影像记录,但是对于裂纹等面状缺陷在特定方向上的检测灵敏度可能会受到限制,而且还存在辐射安全管理的特殊需求。另外,磁粉检测和渗透检测多应用于焊缝表面和近表面缺陷检测。磁粉检测对铁磁性材料具有很好的适用性,可以有效地检测出表面裂纹和未熔合现象;渗透检测方法特别适合于检测各类金属材料表面的开口缺陷。在梁柱节点区域,常在焊后及重要工序(矫正、加载等)后,对焊缝热影响区及母材进行磁粉或渗透抽检,以排除表面微裂纹。所有无损检测都要由具有相应资格的人来进行操作和评价。当检测发现超标缺陷后,须按核准的返修工艺清理和补焊,返修部位和受灾面积须再检测至合格。

3.3 焊接工艺选择与工艺参数控制

选择焊接工艺和精准控制工艺参数是确保梁柱节点焊接质量和性能的科学基础,决策须以焊接工艺评定和大量工程实践数据为依据,且能得到试验优化验证。针对装配式钢结构常用钢材(Q235、Q345、Q390等)和典型节点形式(栓焊混合节点的全熔透对接焊等),工艺选择与参数控制研究至关重要。以一个实际工程项目中厚度为 20 mm 的 Q345B 钢梁的翼缘与柱的 V 型坡口对接焊接为案例,使用药芯焊丝二氧化碳气体保护焊(FCAW-G)来进行工艺的优化实验。试验设计若干组工艺参数组合系统地研究焊接电流(I),电弧电压(U),焊接速度(v)和层间温度(Ti)等工艺参数对焊缝成形、力学性能、缺陷率等性能的影响。实验数据显示,在焊接电流维持在 220 ~ 260 A、电弧电压范围为 28 ~ 32 V、焊接速度介于 25 ~ 35 cm/min,以及预热和层间温度维持在 100 ~ 150 °C 之间的条件下,能够生成形状优良、内部质量出色的焊缝。在特定的参数组合条件下,对焊接试样进行无损检测(UT+RT),结果显示焊缝的一次性合格率高达 99.2%,这明显超过常规参数组大约 95% 的合格率。取合格样品进行力学性能测试,数据表明焊缝金属抗拉强度均值 565 MPa,满足母材标准值 1.15 倍多;夏比 V 型缺口在 -20 °C 时,冲击功均值达到 78 J,大大高于规范中不少于 34 J 的

规定;接头在 180° 弯曲试验中没有产生裂纹。显微硬度测试表明:热影响区的最大硬度值应控制在 HV320 的范围内,从而有效地减少冷裂的风险。进一步的焊接变形测量表明,通过优化焊接顺序(采用双人对称施焊)与参数(控制在较小热输入 25 kJ·cm 左右),由梁翼缘对接焊产生的柱翼缘外翘变形量由平均 3.5 mm 降低至 1.2 mm 范围内,大大减少了后续修正的工作量^[10]。

4 结束语

通过对装配式钢结构梁柱节点焊接施工工艺进行系统的分析发现,在焊接过程中严格把控工艺要点、合理选取工艺参数,通过运用超声波和射线等多种无损检测技术,能够显著降低气孔和未熔合等缺陷的出现,从而将焊缝的合格率提升至 98% 或更高。未来需对智能焊接机器人及自动化监测系统应用于装配式钢结构梁柱节点焊接进一步探究,从而促进施工精度和效率的提高以及工艺控制智能化的升级改造。

参考文献:

- [1] 杨德成,魏晓东,王冠,等. 钢结构焊接施工技术中焊缝缺陷检测试验[J]. 安装,2025(12):70-72.
- [2] 谢杭波. 钢结构工业厂房建筑主体与基础施工关键技术分析[J]. 石材,2025(12):70-72.
- [3] 陈昌远,贾马,王振江,等. 大跨度裙房钢结构施工技术研究[J]. 工程建设与设计,2025(22):130-132.
- [4] 柯友华. 口岸建筑钢结构屋盖吊装焊接施工技术研究[J]. 中国建筑金属结构,2025,24(18):16-18.
- [5] 高德禄,孔令平. 自动焊接技术在装配式钢结构梁柱节点焊接施工中的应用[J]. 今日制造与升级,2025(09):86-89.
- [6] 张可辉. 大型公共建筑钢结构梁柱节点焊接施工技术研究[J]. 建设科技,2025(09):73-75.
- [7] 杨清茹. 装配式建筑钢结构梁柱节点焊接施工技术[J]. 城市开发,2025(08):144-146.
- [8] 琚金建,杨小三,廖明生. 装配式建筑钢结构梁柱节点焊接施工技术研究[J]. 建设机械技术与管理,2024,37(06):112-114.
- [9] 金威. 装配式钢结构梁柱节点焊接施工技术研究[J]. 中国建筑金属结构,2024,23(11):15-17.
- [10] 周予启,詹必雄,任耀辉,等. 复杂弧形劲性钢结构综合施工技术研究与应用[DB/OL]. 中建一局集团建设发展有限公司,2025-03-10. <https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=OLEU9YGvHk1aUajIKsyhpnxldO234BZA7-caj9PIdTU9qsi1M2LzRhpiaYMPXIDLVI1JyZ98YgQqNtSfvn38s2XWDZiPPDhWljwqbOJkQaau9jw1MQDNB7BLDfRwcfFfw0sLkXKMaQKsH31Xk0Bjo4b9HVYbVQPd5xO4MLzwckSxp5gGheMyfg=&uniplatform=NZKPT&language=CHS>.