

DOI: 10.7672/sgjs2025200049

飘带造型玻璃幕墙精制钢龙骨施工技术

付勇,郝乐,龚正华,张书斌,何伟
(中建装饰绿创科技有限公司,湖北 武汉 430070)

[摘要] 为解决西安泾河文化艺术中心项目立面复杂飘带造型玻璃幕墙系统施工难题,保证安装精度并加快履约进度,创新采用精制钢免焊连接替代传统焊接固定方式,设计多维度栓接调节节点;利用三维激光扫描与 BIM 技术快速复测主体结构偏差,并在模型中完成碰撞、空腔检查;结合现场吊装承载力及运输限制,合理划分装配式单元尺寸,将焊接拼装前移至工厂,材料进场后即可整体吊装就位。实际应用表明,精制钢免焊连接从源头上避免了焊接变形,确保了基层精度;与普通铝合金龙骨相比,竖龙骨仍为插芯连接,横龙骨由弹簧销钉改为精制钢免焊不锈钢螺栓连接;配合三维激光扫描、BIM 及装配式施工技术,显著提升了测量与安装效率,保证了内饰及幕墙外观的完美呈现。

[关键词] 幕墙;精制钢;免焊连接;三维激光扫描;建筑信息模型;测量;安装

[中图分类号] TU758

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)20-0049-05

Construction Technology of Finished Steel Keel for Ribbon-shaped Glass Curtain Wall

FU Yong, HAO Le, GONG Zhenghua, ZHANG Shubin, HE Wei
(China State Decoration Green Innovation Science & Technology Co., Ltd.,
Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: In order to solve the construction problem of the complex ribbon-shaped glass curtain wall system on the facade of Xi'an Jinghe Culture and Art Center project, ensure the installation accuracy and accelerate the progress of performance, the finished steel weld-free connection is innovatively used to replace the traditional welding fixation method, and the multi-dimensional bolted adjustment joint is designed. The 3D laser scanning and BIM technology are used to quickly retest the main structure deviation, and the collision and cavity inspection are completed in the model. At the same time, combined with the on-site lifting bearing capacity and transportation restrictions, the size of the assembly unit is reasonably divided, and the welding assembly is moved forward to the factory. After the material enters the field, it can be lifted in place as a whole. The practical application shows that the weld-free connection of finished steel avoids welding deformation from the source and ensures the accuracy of the base layer. Compared with the ordinary aluminum alloy keel, the vertical keel is still plug-in connection, and the horizontal keel is changed from spring pin to welded-free stainless steel bolt connection. Combined with 3D laser scanning, BIM and prefabricated construction technology, the efficiency of measurement and installation is significantly improved, and the perfect appearance of interior and curtain wall is guaranteed.

Keywords: curtain wall; finished steel; weld-free connection; 3D laser scanning; building information modeling (BIM); measuring; installation

1 工程概况

西安泾河文化艺术中心项目位于陕西省西咸

新区泾河新城,主要由图书馆、剧院及高线云廊组成(见图1),总建筑面积5.67万m²,建成后将成为西安北部区域发展的全新引擎,助力泾河新城向吸引创新产业及人才的国际化现代都市迈进,成为打

造城市绿色、文化空间的重要组成部分。主体结构采用钢框架体系,建筑高度 47.5m,共 5 层;立面飘带造型的玻璃幕墙系统复杂,其基层龙骨拟采用经特殊工艺处理的高品质合金钢(以下简称“精制钢”)。

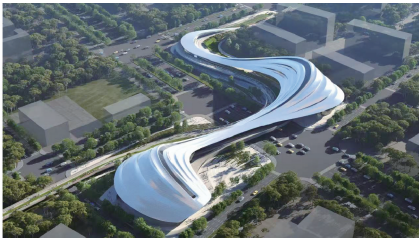


图 1 项目效果
Fig. 1 Effect of the project

2 幕墙系统介绍

西安泾河文化艺术中心项目采用多种类型幕墙系统(见图 2),包括玻璃幕墙、蜂窝铝板幕墙、铝合金百叶幕墙、铝合金格栅幕墙及直立锁边金属屋面等。WT-01 飘带造型玻璃幕墙系统分布在地下 1 层、1,2 层(见图 3)。这种明框玻璃幕墙系统采用约 1 500mm 宽、5 000mm 长面板,水平方向分格尺寸约为 1 600mm,而高度方向分格尺寸约为 6 500, 7 800,5 700mm。面板采用 8mm+1.52PVB+8mm 三银 Low-E+12Ar+8mm+1.52PVB+8mm 保温膜超白双夹胶中空钢化玻璃,这种配置不仅提供了卓越的保温性能,还确保了玻璃的高透光率和安全性。背板则采用 2mm 厚铝板,而基层则采用精制钢龙骨,此设计使整个幕墙系统在三维空间内呈现出内倾外倒、双曲、扭转的复杂形态。此外,钢立柱及横梁龙骨系统随幕墙造型变化作相应调整,以确保结构完整性与美观性。

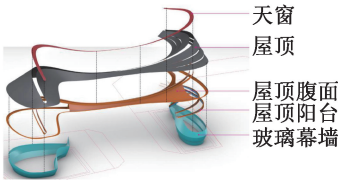


图 2 幕墙系统分布
Fig. 2 Distribution of curtain wall system

3 精制钢免焊连接系统设计

国内仅极少数精制钢生产厂家的加工精度已接近或达到国外水平,而大多数厂家在焊接变形控制方面仍有不足,针对异形精制钢的加工研究更为稀缺。加工精度不足不仅影响外观,还会显著降低幕墙气密、水密等性能。因此,幕墙现场免焊施工渐成趋势。据此,对飘带造型玻璃幕墙的基层龙骨



图 3 WT-01 飘带造型玻璃幕墙
Fig. 3 WT-01 ribbon-shaped glass curtain wall

进行设计优化,提出异形精制钢免焊连接系统。与常规铝合金龙骨相比,竖龙骨均采用插芯连接;铝合金横梁主要采用弹簧销钉连接;精制钢横梁则采用免焊设计,采用不锈钢螺栓将钢角码与构件紧固连接,可有效传递幕墙荷载,因而具有连接可靠、可拆卸、安装方便等优点。精制钢免焊设计节点如图 4 所示。

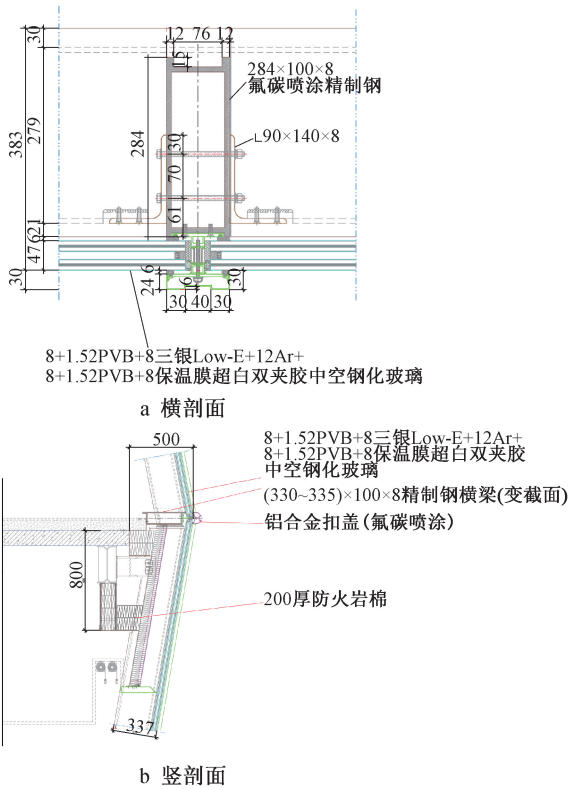


图 4 精制钢免焊设计节点
Fig. 4 Weld-free design joint of finished steel

利用先进数控加工设备与技术,精确制造符合设计要求的精制钢构件;通过现场实体样板安装与调试,验证龙骨截面尺寸、跨度及倾斜角度与理论模型的匹配度,从而确定最佳截面、跨度及扭转角度,最终形成适用于复杂飘带造型玻璃幕墙的精制钢免焊连接系统。该系统在满足构件安全要求的

同时,有效避免了现场焊接变形及焊缝二次处理造成的色差,确保幕墙外观效果(见图5)。

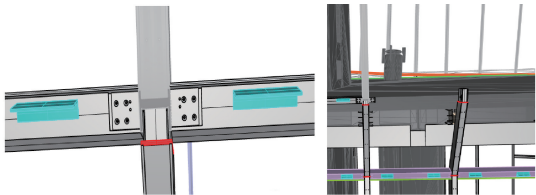


图5 精制钢免焊连接系统节点效果

Fig.5 Effect of finished steel weld-free connection system

4 快速建造关键技术

4.1 快速测量反尺技术

飘带造型玻璃幕墙生根于主体结构,幕墙自身难以吸收钢结构产生的偏差,故对已建成主体结构的测量及纠偏成为幕墙施工关键工序。传统方案是在结构上粘贴反射片,采用全站仪进行测量,以点位数据验证偏差。

然而,随着建筑造型日益复杂、装配式技术普及,以及幕墙 BIM 设计的成熟,该类测量方式逐渐暴露出可实施性差、数据转换与分析效率低且易出错等问题。随着国内三维激光扫描仪的成熟与普及,其特有的“所见即所得”测量模式及由此生成的 BIM 点云成果已逐步发挥作用。然而,扫描信息庞杂、有效信息遴选工作量大、点云难以直接成线成面等问题,仍限制了其推广应用。在此背景下,创新性地将 Grasshopper 参数化编程技术与三维激光扫描仪相结合,既发挥了扫描仪快速反尺的优势,又通过提前编写的参数化程序,对扫描点云进行第一时间自动批量化分析运算(见图6),实现了现场的快速反尺。

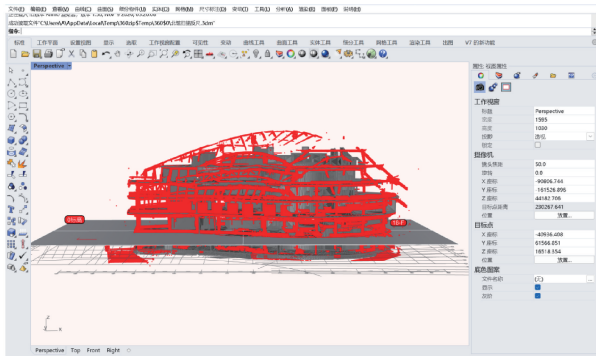


图6 Grasshopper 参数控制偏差分析

Fig.6 Analysis of parameter control deviation in Grasshopper

4.2 BIM 技术应用

为整个项目建立 BIM 模型(见图7),针对飘带造型玻璃幕墙的基层精制异形钢构件,结合三维激

光扫描结果进行结构空腔检查、碰撞检查及安装精度校核,确认存在较大结构偏差并对幕墙施工造成影响的位置,将这些偏差部位以可视化方式标记于 BIM 模型,为结构整改及模型调整提供依据,从而使下料模型更贴近现场实际。通过分析扫描点云与幕墙玻璃面板、龙骨间的冲突区域,优化幕墙完成面,为飘带造型玻璃幕墙基层精制钢及弯弧玻璃的下料加工提供依据,并辅助设计师对整体吊装板块单元进行合理划分。最大玻璃尺寸为 1 500mm×5 100mm,重 612kg;最大基层钢架尺寸为 5 500mm×6 500mm,重 1.6t。安装阶段为板块现场定位安装提供定位坐标。

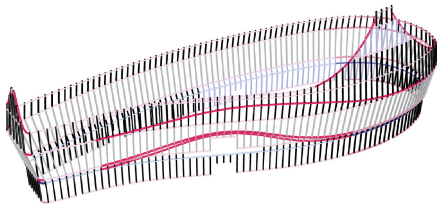


图7 精制钢三维模型

Fig.7 3D model of finished steel

4.3 精制钢材料加工及运输

1)构件加工。精制钢构件在加工厂内采用先进数控设备与工艺制作,确保加工精度和表面处理质量。加工过程严格按设计图纸及工艺要求执行,对切割、钻孔、弯曲、焊接等各道工序实施质量控制,确保误差处于允许范围内。对于需免焊接的部位,采用高精度钻孔设备加工,并进行孔径、孔位检测,以保证连接精度与可靠性。

2)单元组装。装配式单元在加工厂设置组装场地,将精制钢构件按设计要求进行组装。操作为:①对构件进行清理和检查,去除表面油污、铁锈等杂质,检查构件尺寸和连接部位精度是否符合要求;②根据构件连接方式,将构件组装成整榀单元,在组装过程中,使用特制组装工装和定位夹具,确保构件连接位置准确无误。

3)精制钢单元工厂组装变形控制。精制钢单元组装精度直接决定飘带造型玻璃幕墙施工品质,组装过程中单元构件焊接变形最难控制。可采取如下措施:①选取合适的焊接工艺和参数,控制焊接热量输入,避免温度过高导致变形;②控制焊接顺序和方法,避免集中焊接和过度局部受热,采用分段焊接方法可减小变形,选择适当的焊接顺序和方法也可减小变形;③特制适当的支撑和夹具,有效抑制变形的产生,保持焊接部件形状稳定;④在焊接过程中,定期检查焊接部件形态和尺寸,及时

调整焊接参数和方法,以确保焊接变形得到控制;
⑤对于异形构件,采用三维扫描仪进行扫描(见图 8),将扫描结果与 BIM 模型进行对比,核验构件实体与模型的重合度,确保构件各处偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。

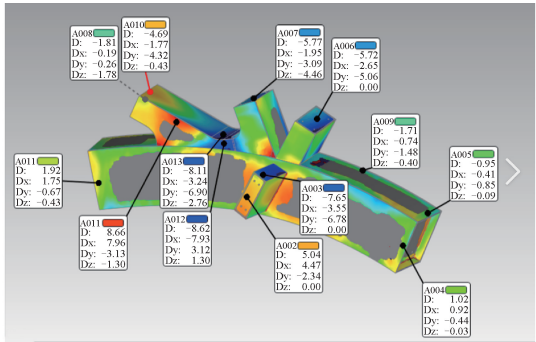


图 8 三维激光扫描数据(单位:mm)

Fig.8 3D laser scanning data(unit:mm)

4) 构件运输。精制钢构件出厂前需在其表面包裹 1 层 $>5\text{mm}$ 厚软质保护,用胶带进行缠绕固定;然后再用保护膜整体缠绕,角部需加厚。装车运输时,根据构件造型在底部加设托架,防止运输过程中产生变形。

4.4 精制钢装配式施工

1) 吊点设置与吊具选择。根据构件重心位置和形状特点,合理设置吊点,确保构件在吊装过程中保持平衡和稳定。吊点数量和位置应经过计算和模拟分析确定,避免因吊点设置不当而导致构件发生变形或损坏。同时,根据构件自重和吊点布置,选择合适吊具,如吊钩、钢丝绳等,并对吊具强度和安全性进行核算,确保其能承受构件自重和吊装过程中的冲击力。

2) 吊装顺序规划。根据建筑结构特点和施工条件,合理规划精制钢构件吊装顺序。一般遵循先下后上、先主后次、先内后外的原则,即先吊装首层精制钢龙骨,最后吊装顶层构件。在吊装过程中,应考虑构件自重、长度、起吊半径、吊装高度及现场障碍物等因素,制订详细的吊装路线和方案,确保吊装作业安全、高效进行。

3) 构件起吊与就位。在进行构件起吊前,再次检查吊具、索具、吊装设备及构件连接情况,确保一切正常后,缓慢启动吊装设备,将构件平稳吊离地面。在起吊过程中,保持构件垂直状态,避免发生倾斜和晃动。当构件吊运至安装位置上方时,通过调整吊装设备位置和角度,使构件吊点与安装位置预设吊点对齐,然后缓慢下放构件,直至构件准确就位。在构件就位过程中,利用临时支撑和微调装

置对构件位置和垂直度进行调整,使其符合设计要求。构件就位后,立即对连接节点进行固定。对于不锈钢螺栓连接节点,使用扭矩扳手拧紧螺栓,确保螺栓预拉力达设计要求,从而保证节点连接强度和刚度。在连接节点固定过程中,应进行严格的质量检查,确保每个节点连接质量符合要求。现场安装采用全站仪全程定位跟踪。板块安装前,先用角铁制作控制辅助支架,并将辅助控制点设于板块 4 个角;每块板块在初定位及满焊后均须二次复测定位。现场以每 10 个分格为 1 个控制区,然后进行三维激光扫描复测,确保安装误差不累积。

4) 后补构件安装。整体单元板块吊装完成后,再进行板块间补杆,补杆时严格控制拼接处缝隙。如杆件存在偏差且无法满足安装要求,则现场进行微调;若变形过大,直接返厂处理。

5) 质量检查与验收。在精制钢免焊接整体吊装过程中,建立严格的检验制度,对每道工序进行质量检验。检验内容包括构件加工质量、组装质量、吊装过程中构件变形与损伤、连接节点安装质量等。检查人员使用先进检测设备和工具,对施工质量进行量化检测与评估,及时整改质量问题,确保施工质量符合设计及规范要求。精制钢安装节点效果如图 9 所示。



图 9 精制钢安装节点效果

Fig.9 Installation joint effect of finished steel

4.5 玻璃幕墙面板安装

安装前检查基层平整度,确保平直、无变形、无刮痕及污垢。玻璃吊至安装位置后人工辅助调整,标准为横平、竖直、面平。室外调整完成后,须检查室内所有应平整部位的平整度及各部件尺寸是否符合设计要求;确认无误后,利用压块固定。安装压块时,须按设计要求在指定位置钻孔并紧固,手电钻钻咀规格 $\leq \phi 4.2$,采用不锈钢机械螺栓紧固,压块间距 $\leq 300\text{mm}$,端部间距 $\leq 200\text{mm}$ 。压块须一次压正压紧,杜绝松动。接缝两侧先粘贴保护胶带,按工艺要求完成净化处理后立即注胶;注胶后使用专用刮胶板去除多余胶体并修整,随后撕除保护胶带并清理胶缝两侧。胶缝与基材黏结应牢固、无孔隙,表面平整光滑、洁净无污染。玻璃幕墙安

装效果如图 10 所示。

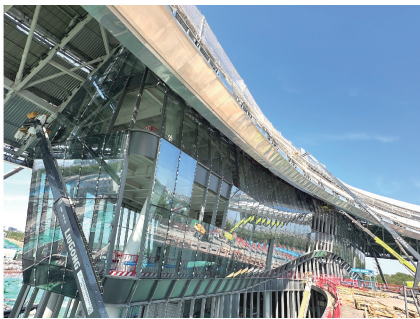


图 10 玻璃幕墙安装效果

Fig. 10 Installation effect of glass curtain wall

5 结语

复杂异形场馆的飘带造型玻璃幕墙系统以精制钢为基层龙骨,创新设计免焊连接节点,并借助三维激光扫描与 BIM 技术实现快速反尺。结合装配式施工,具有诸多优势:①保证了结构质量,从设计源头避免了焊接变形和残余应力等问题,确保了构件精度与力学性能,整体吊装采用先进吊装技术及定位措施,实现构件精准就位和可靠连接,从而提升结构整体稳定性,减少后期维护与加固工作;②采用快速扫描与装配式施工技术,实现现场作业前置,将大量高空焊接作业转移至工厂,保证基层加工、组装与安装的质量和效率,显著加快施工进度,实现快速建造并带来良好的经济与社会效益。

参考文献:

[1] 权清鹏. 大跨度精致钢玻璃幕墙节能降耗技术及应用[J]. 建筑机械化,2024,45(6):128-131.
QUAN Q P. Energy saving and consumption reducing technology and application of largespan exquisite steel glass curtain wall[J]. Construction mechanization,2024,45(6):128-131.

[2] 李骏,张超群,甄赛,等. 大跨度精致钢玻璃幕墙施工技术研究与应用[J]. 建筑·建材·装饰,2024(16):79-81.
LI J,ZHANG C Q,ZHEN S,et al. Research and application of construction technology of long-span exquisite steel glass curtain wall [J]. Building materials & construction & decoration, 2024(16):79-81.

[3] 张锦. 简析幕墙钢构件焊接质量控制要点[J]. 装饰装修天地,2019(18):85.
ZHANG J. Brief analysis on key points of welding quality control of curtain wall steel members [J]. Decoration refurbishment chntre,2019(18):85.

[4] 孙康华. 建筑玻璃幕墙设计策略与成本优化路径分析[J]. 中国建筑装饰装修,2025(2):144-146.
SUN K H. Design strategy and cost optimization path analysis of building glass curtain wall [J]. Interior architecture of China, 2025(2):144-146.

[5] 姜亚龙. 建筑装饰工程中玻璃幕墙施工关键技术[J]. 石材, 2025(2):70-72.
JIANG Y L. Key technology of glass curtain wall construction in architectural decoration engineering[J]. Stone,2025(2):70-72.

[6] 冯志娟. 玻璃幕墙施工技术的要点与注意事项[J]. 河南建材,2025(2):134-136.
FENG Z J. Key points and precautions of glass curtain wall construction technology[J]. Henan building materials,2025(2):134-136.

[7] 郑平. 玻璃幕墙施工技术在建筑装饰工程中的应用[J]. 建筑·建材·装饰,2025(3):196-198.
ZHENG P. Application of glass curtain wall construction technology in architectural decoration engineering [J]. Building materials & construction & decoration,2025(3):196-198.

[8] 赵西安. 幕墙工程钢横梁和钢立柱的焊接问题[J]. 建筑技术,2011,42(4):300-303.
ZHAO X A. Welding problem of steel transverse beam and steel column in curtain wall engineering[J]. Architecture technology, 2011,42(4):300-303.

[9] 叶良生,李海祥,袁吉. 应用于幕墙领域的复杂钢结构快速返尺及整改技术[J]. 建筑施工,2023,45(2):307-309.
YE L S,LI H X,YUAN J. Rapid back gauge and rectifi cation technology of complex steel structure applied in curtain wall field[J]. Building construction,2023,45(2):307-309.

[10] 黄亚文,陈镇北,丁天盛,等. 一种用于幕墙龙骨安装的 C 型卡槽组合式预埋板免焊接施工技术[J]. 中国建筑装饰装修,2023(13):58-60.
HUANG Y W, CHEN Z B, DING T S, et al. Welding-free construction technology of C-shaped clamping groove combined embedded plate for curtain wall keel installation [J]. Interior architecture of China,2023(13):58-60.

[11] 李林蔚,林丹. 基于 BIM 技术的装配式建筑施工应用策略研究[C]//2024 人工智能与工程管理学术交流会议论文集,2024.
LI L W, LIN D. Research on application strategy of prefabricated building construction based on BIM technology [C]// Proceedings of the 2024 Academic Exchange Conference on Artificial Intelligence and Engineering Management, 2024.

[12] 龙春林. 基于 BIM 技术的装配式钢结构建筑施工技术应用研究[J]. 建材与装饰,2025,21(4):13-15.
LONG C L. Research on application of construction technology of assembled steel structure building based on BIM technology[J]. Construction materials & decoration,2025,21(4):13-15.

[13] 赵新雨,王琦,杨智睿. 建筑幕墙绿色节能设计策略——以雄安中绿新时代广场为例[J]. 城市建筑空间, 2025, 32 (3): 31-35.
ZHAO X Y, WANG Q, YANG Z R. Green and energy—saving design strategy of building curtain wall: taking Xiong’an Zhonglǔ New Era Square as an example [J]. Urban architecture space, 2025, 32 (3): 31-35.