

BIM系统与3D扫描组合技术在异型幕墙的应用

白鹏飞 刘建利

北京建筑大学, 中国·北京 100044

摘要: 本文以西安“一带一路”文化交流中心项目风帆曲面异型幕墙为实际工程载体, 围绕 BIM 多软件协同体系与三维激光扫描组合技术展开实操应用研究。结合项目从前期建筑造型设计深化、现场结构实测、逆向建模校核, 到单元板块拆分、工厂加工出图、现场胎架组装、超大板块吊装安装的全施工流程, 梳理这套组合技术在异型曲面幕墙空间定位、精度控制、碰撞排查、装配化施工中的实操方法。在实践中将 BIM 系统与 3D 扫描技术结合运用, 能很好适配渐变弧面、自由曲面类非标异型幕墙的设计与施工痛点, 大幅提升深化效率、加工精度与施工进度, 最大程度还原建筑师外立面艺术造型效果, 可为同类复杂异型幕墙工程提供实操参考与应用借鉴, 为建筑工程提供了理论支撑与实践参考。

关键词: 异型曲面风帆幕墙; 三维激光扫描; BIM 多软件协同; 单元式装配施工

Application of BIM System Combined with 3D Scanning Technology in Irregular Curtain Walls

Bai Pengfei, Liu Jianli

Beijing University of Architecture, China Beijing 100044

Abstract: This article takes the Xi'an "Belt and Road" Cultural Exchange Center project's sail-shaped curved special-shaped curtain wall as a real engineering case, focusing on practical applications of the BIM multi-software collaborative system combined with 3D laser scanning. The study covers the full construction process, from early architectural form design development, on-site structural measurements, reverse modeling verification, to unit panel segmentation, factory processing drawings, on-site temporary frame assembly, and installation of oversized panels. It sorts out practical methods for using this combined technology in spatial positioning, accuracy control, collision checking, and modular construction of special-shaped curved curtain walls. In practice, combining the BIM system with 3D scanning can effectively address design and construction challenges of gradient curves and freeform non-standard curtain walls, significantly improving development efficiency, processing accuracy, and construction progress, while best preserving the architect's exterior design effect. This can provide practical guidance and references for similar complex special-shaped curtain wall projects, offering both theoretical and practical support for architectural engineering.

Keywords: Special-shaped curved sail curtain wall; 3D laser scanning; BIM multi-software collaboration; Modular assembly construction

0 引言

当前公共建筑外立面设计愈发注重形态表现力, 异型曲面幕墙的应用场景持续增加, 但其非标准化的造型也对幕墙单位落地实施提出了更高要求——传统二维图纸无法完整表达曲面空间关系, 人工放线与散拼施工的精度、效率均难以满足项目需求, 亟需数字化技术体系支撑复杂幕墙的全流程落地。

面对这类复杂异型幕墙的设计与施工难题, 势必对幕墙施工单位的施工技术、施工效率、施工质量、和组织统筹协调的要求不断提升, 面对此发展趋势直接面临挑战或

最核心的就是幕墙深化设计能力技术的提升。仅仅依靠单一的 BIM 软件或传统施工方法已难以胜任。行业实操中常用 Revit+Rhino+Grasshopper 组合搭建完整 BIM 系统, 再搭配三维激光扫描技术形成数字化解决方案, 把幕墙造型深化、节点设计、材料提料、工厂加工、现场实测校核、装配化安装全流程串联起来。尤其适合现场工况复杂、主体结构存在偏差、工期紧张的异型幕墙项目, 通过激光扫描+BIM 系统组合还原现场实际结构、深化外立面造型、拆分施工单元板块的分格、规避碰撞返工, 真正实现建筑设计效果的精准落地, 更加赋能建筑设计效果及项目施工安装。

1 项目背景

本文研究依托西安“一带一路”文化交流中心项目外帷幕风帆曲面幕墙工程，整个外立面为流线型风帆双曲造型，整体幕墙面积达 32000m²，造型渐变复杂、曲面弧度无规律，属于典型大跨度、超大单元、非标异型幕墙（图 1“长安乐”项目大面封闭后实景图）。风帆幕墙主桁架龙骨为 180*8mm 的无缝钢管，次龙骨为 89*6mm 无缝钢管，呈丝带扭曲布置。风帆幕墙系统面材为铝合金型材构件，单块面积 0.5m²，主要分布在歌剧院、音乐厅、多功能厅、电影院；二为梭形构件，主要分布在传媒中心。共计乐符和梭形构件 67777 个，不锈钢爪件 135554 个。



图1 “长安乐”项目大面封闭后实景图

本项目有几个突出施工难点：一是外立面为连续顺滑风帆曲面（远眺犹如蛋壳包裹主体建筑），无标准分格、无固定弧度，常规二维设计无法完成深化；二是主体土建钢结构本身也是弧形造型，现场实际结构与理论图纸存在一定尺寸偏差，高空点位多、作业面复杂，传统全站仪逐点放线难度大、成本高、效率低；三是幕墙板块体量超大，277 个单元板块，最大单块板块高度 21m、宽度 7m、重达 15 吨，单块面积达 140m²，高空散拼焊接很难控制精度和工期，必须采用工厂分段加工、现场胎架组装、整体吊装就位的装配化施工模式；四是钢结构安装、焊接完成后存在不均匀沉降和微小变形，若等结构全部完工再进行幕墙深化和材料下单，完全满足不了项目工期要求，需要提前穿插施工、同步校核调整。

针对以上难点，项目全程采用 BIM 多软件系统结合 3D 激光扫描技术，从造型找形、现场实测、建模分格拆分、有限元受力验算，到加工出图、现场组装、吊装全流程数字化管控，顺利解决了复杂造型落地、结构偏差修正、超大板块安装、工期紧张等核心问题。

2 BIM 与 3D 扫描组合技术施工全流程应用

2.1 BIM 三款软件组合分工及实操逻辑

本项目 BIM 系统核心由 Revit、Rhino、Grasshopper 三款软件搭配组合使用，各司其职、前后衔接，形成适配

异型幕墙的完整深化流程，三款软件各自优势和分工十分明确：

Rhino（犀牛）：是异型幕墙造型设计的核心工具，软件曲面建模能力强、操作轻便、造型自由度高，能还原风帆双曲外立面顺滑表皮形态，但由于其输出模型仅包含几何属性，无法承载幕墙构件参数、工程量与节点构造信息，因此仅作为前端造型表皮的生成工具，后续构造深化与出图环节转入 Revit 平台完成。

Revit：是 BIM 落地应用的核心载体，侧重标准化建模、节点深化、施工图出图、工程量统计和多专业协同。模型自带完整建筑工程信息。

Grasshopper（蚂蚱）：作为 Rhino 参数化插件，不用编写复杂代码，依靠节点逻辑就能自动完成异型幕墙分格排布、渐变板块划分，主要负责复杂风帆幕墙的智能化找形、分格优化和面板数据提取。

三款软件形成固定实操流程：

第一步 Rhino+Grasshopper 造型分格：用 Rhino 拉出风帆顺滑双曲表皮，借助 Grasshopper 自动完成渐变分格、板块排布，完成基础几何造型搭建；

第二步 Revit 深化落地：将 Rhino 建好的曲面模型导入 Revit，完善幕墙骨架、转接件、节点构造，生成施工图纸、加工图纸和材料清单，同时开展各专业碰撞检查；

第三步数据联动落地施工：Revit 输出正式施工图纸，Rhino+Grasshopper 导出异型板块精准坐标数据给到工厂加工，现场依据 BIM 坐标结合全站仪定位安装。

2.2 引入三维激光扫描的必要性及现场实测方法

现场采用激光 3D 扫描的原因：

针对本项目高空弧形钢结构点位多、作业平台搭设成本高的特点，采用三维激光扫描替代传统全站仪逐点放线方案（标定幕墙与主体结构牛腿、转接件的连接点位），单站扫描即可覆盖大范围结构面，无需高空贴片打点，也不受昼夜光线条件限制，同时有效降低了人工测量的累计误差。完美解决复杂弧形结构实测难、放线难、偏差难把控的痛点。（详见图 2 现场三维激光扫描）

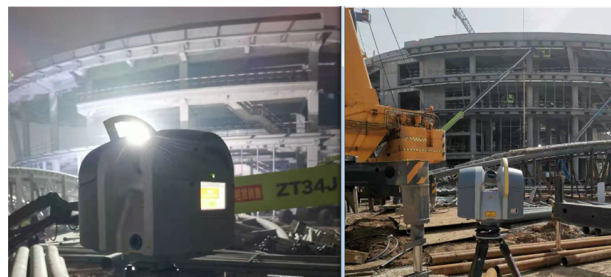


图2 现场三维激光扫描

2.3 扫描数据处理与逆向建模、碰撞校核

完成现场三维扫描并整合点云数据后,按标准化流程(依次开展工作流程为:3D 扫描环梁→逆向建模生成桁架环梁→逆向建模生成钢单元立柱→重生模型得到胎架定位点→重生模型得到控制定位点)开展建模与校核工作:分段扫描前事先统一项目基准控制点,依托扫描生成的现场实际结构模型,开展逆向建模工作:由 3D 扫描土建钢结构环梁逆向生成桁架环梁模型,再依次重构风帆幕墙的钢单元立柱桁架。

通过实际现场结构模型与理论 BIM 模型逐一对比,同时利用 Rhino 再对幕墙外立面表皮进行板块划分,确定分格逻辑和表皮交点;

接着分析幕墙表皮与主体结构的间距,开展初步碰撞检测,对各构件进行分区,针对钢结构环梁与土建主体、幕墙支撑钢单元与环梁、支撑单元与风帆幕墙板块、单元自身钢牛腿等关键部位逐一做碰撞检查,生成正式碰撞报告。精准找出结构偏差位置,明确哪些龙骨需要微调、哪些点位需要重新复测、哪些构件可直接按理论尺寸下单加工。

结合比对结果,项目借助 BIM 模型将复杂风帆外立面深化为装配式双曲单元系统,把整体幕墙再分类梳理风帆板块,区分实体建模板块、结合碰撞结果拆分为若干小型装配单元,依托 BIM 平台整合设计、建模、出图、加工优化风帆桁架与主体建筑钢结构环梁之间的牛腿支座,严格把控支座加工精度,为后续龙骨安装、风帆板块及环梁包封的铝板饰面现场顺利安装打下基础。从源头避免后期图纸修改、钢构件作废、现场返工整改等情况。输出工厂标准加工件、现场微调构件;同步完善钢构件挂接角度、航空障碍灯定位等辅助建模信息,完成单元体整体建模与统一编号。

2.4 BIM 模型拆分、受力验算与工厂加工出图

传统高空分段散拼焊接方式,很难控制焊接精度和施工质量,还会拉长工期、增加高空作业安全风险。加上钢结构完工后存在沉降和微小变形,项目借助 BIM 模型将复杂风帆外立面深化为装配式双曲单元系统,把整体幕墙拆分为若干小型装配单元,依托 BIM 平台整合通过参数化自动提取图纸编号信息,建立构件(风帆骨架及风帆片)数据库,实时更新分类,确保全套图纸完整无误后再下发工厂生产。

针对风帆小单元幕墙加工组装特性编制了基于 Rhino 软件的装配图出图程序组,参数化导出装配图,建立幕墙

单元的 3D 构造模型,明确风帆单元各个构件的空间关系;在模型中导出通用直观的装配图,并将装配构件信息按批次输出,将 32000m² 外立面风帆幕墙划分为 26 个批次,277 个单元板块,其中最大风帆幕墙单元板块尺寸:高度 21m,宽 7m,重 15 吨,面积 140m²,就被分割后的风帆单元板块,还需选取薄弱板块通过迈达斯 Midas Gen 有限元力学模型分析,确定模块龙骨内力大小,对复杂曲面风帆幕墙钢龙骨支撑体系进行受力变形分析,计算其荷载及内力位移等,验算幕墙钢龙骨体系的变形,调整优化钢龙骨与钢环梁及牛腿的连接节点,确保大单元板块转接部分精确定位,旨为实现幕墙结构的安全稳定及外立面美观流线顺滑问题。

2.5 现场可调胎架组装施工

为适配超大单元板块装配化施工,项目现场布设 20 多套移动式可调胎架,投入 30 多个作业班组、配置 20 台全站仪同步开展组装精度校核,保障施工进度与组装质量。

2.6 超大幕墙单元板块吊装与就位安装

风帆幕墙单元在胎架组装验收完成后,采用汽车吊进行整体吊装,吊点位置专门设置吊装桁架,减少起吊过程中板块变形。采用双机起吊,空中直立,水平翻转,机 1 摘钩(单元下端吊钩),机 2 旋转吊臂,运转给吊装安装的机 3,可以吊装组装风帆幕墙单元点距距离安装位置水平距离 24 米范围的帆幕墙单元。

安装就位阶段,搭配 10 吨电动葫芦或手动葫芦辅助微调,配合两台登高车开展高空作业,为控制吊装就位与焊接摘钩节奏,制定专项安装控制措施:单元下端左右支座采用 2 台 10 吨电动葫芦临时拉结固定;上端设置 3 个圆管牛腿支座,待中间支座满焊、两侧支座焊缝完成 1/2 后,即可汽车吊摘钩。

3 应用效益与施工经验总结

3.1 应用效益

节约人力与时间成本:依托 BIM 参数化建模、自动分格、批量出图,替代大量人工手绘分格、二维制图工作,设计优化、图纸审核、数据解析效率大幅提升,相比传统二维设计模式,节省大量设计和现场放线人力投入。

减少材料损耗:全程以 BIM 实体模型为依据直接对接工厂定制加工,构件尺寸、角度、分格数据精准无误,从源头避免因图纸表达不清、尺寸偏差导致的构件作废和材料浪费。

提升现场施工管控水平:管理人员全程依托 BIM 模

型 +3D 扫描实测数据开展现场交底、进度管控、精度验收, 施工流程更直观, 偏差问题提前预判、提前整改, 整体施工管理精细化程度显著提升。

保障造型还原与工程品质: 通过 3D 扫描修正主体结构偏差、BIM 优化分格与节点、有限元受力验算、装配化组装吊装, 最大程度还原建筑师风帆曲面艺术造型, 外立面流线顺滑、安装精度达标, 顺利实现精品工程建设目标。

3.2 施工应用经验

强化多方协同配合: BIM 与 3D 扫描组合技术不是单一专业工作, 需要设计、深化、工厂加工、现场施工、测量多团队联动配合, 全程参与模型搭建、数据校核、方案优化, 保证信息统一、衔接顺畅。

夯实数字化技术应用能力: 异型幕墙施工必须熟练掌握 Rhino 造型、Grasshopper 参数化、Revit 深化、三维扫描逆向建模等实操技能, 结合有限元受力分析、碰撞检查等工具, 才能真正解决复杂工程实际问题。

合理统筹资源穿插施工: 针对大体量、复杂造型异型项目, 要提前规划软硬件、班组、设备资源, 利用 BIM 提前完成深化和下料, 不等主体结构完全完工就同步穿插幕墙施工, 在保证质量的前提下抢工期、提效率。

4 结语

总结来说, 西安“一带一路”文化交流中心风帆曲面异型幕墙项目, 全程采用 BIM 多软件协同 + 三维激光扫描组合技术, 完全贴合异型幕墙从设计深化、现场实测、逆向校核、分格拆分、工厂加工, 到胎架组装、超大板块吊装安装的完整施工顺序。

3D 激光扫描有效解决了弧形主体结构实测难、人工放线误差大、高空作业受限的问题, 通过逆向建模精准修

正结构偏差; BIM 系统则实现了曲面造型智能化分格、节点深化、碰撞排查、受力验算和装配化施工落地, 提前规避设计、加工、施工各环节返工隐患。整套技术组合完美攻克了本项目造型复杂、单元体量超大、工期紧张、安装精度要求高的多重难题, 实现了复杂曲面幕墙全流程数字化、装配化智能建造。

本次项目积累的 BIM 与 3D 扫描组合应用实操经验, 可直接为同类型渐变弧面、自由曲面、超大单元异型幕墙工程提供成熟的施工思路和技术参考, 也为建筑异型幕墙数字化设计与装配化施工推广应用提供了实践支撑。

参考文献:

- [1] 沈程, 张成, 吕文睿等. 基于三维扫描与 BIM 的复杂异形幕墙施工技术[J]. 施工技术 (中英文), 2025, 54(23):32-35.
- [2] 王剑锋. BIM+3D 激光扫描技术在异形幕墙设计中的应用[J]. 江西建材, 2022(11):176-177+180.
- [3] 卢锋, 肖宇锋, 吴云浦. BIM+ 三维扫描技术在异型钢结构幕墙施工中的应用研究[J]. 建筑技术, 2026, 57(2):248-251.
- [4] 罗利, 蔡金生, 张峰等. BIM+3D 激光扫描技术辅助异型曲面铝板幕墙施工工艺[J]. 绿色建筑与智能建筑, 2024(8):43-46.
- [5] 秦国成, 任志平, 张兴志等. BIM 结合三维激光扫描技术在异形幕墙设计上的应用[J]. 测绘科学技术学报, 2019,36(5):518-522.

作者简介: 白鹏飞, 男, 工程师, 就职北京江河幕墙系统工程有限公司, 北京建筑大学经管硕研 2025 级 (在读)。

刘建利, 女, 教授, 北京建筑大学硕士研究生导师。