

基于BIM技术的建筑幕墙数字化建造技术研究

郝元元

上海市建筑装饰工程集团有限公司 上海 200072

摘要：本文探索建筑信息模型(BIM)技术在复杂幕墙系统建造过程中应用，以上海久事国际马术中心为工程实例，探究BIM正向设计、参数化分格与数据提取、数字化生产施工管理以及可视化质量监控等关键技术。通过构建精确三维模型开发参数化模块实现曲面体系批量处理，并建立全流程数字化管控机制，成功解决异形复杂曲面幕墙设计施工难题。BIM技术能显著提升幕墙工程设计精度、施工效率与质量控制水平，为类似大型公共建筑外立面智能建造提供技术支撑与方法指引。

关键词：建筑信息模型；参数化设计；幕墙分格

引言：随着现代建筑设计向自由曲面发展，复杂幕墙系统设计施工面临诸多挑战。传统幕墙工程方法已难以满足异形曲面、非标准构件精准制造与安装要求^[1]。建筑信息模型凭借三维可视化、参数化设计等特点，为幕墙工程提供全新解决路径。探究聚焦BIM技术在幕墙工程中应用，通过实际工程案例系统探讨BIM支持下幕墙从设计、制造到安装全过程数字化建造技术体系，期望能够提出一套适用于复杂曲面幕墙工程信息化施工方法，为行业实践提供参考。

1 BIM模型正向设计应用

1.1 BIM模型创建方法

建筑幕墙BIM模型创建需遵循先整体后局部原则，采用多软件协同建模策略。先通过Rhino与Grasshopper软件构建建筑几何表皮概念模型，确定基本形体与空间关系；随后运用Revit平台进行深化设计，构建包含构件几何信息、材料属性等完整幕墙体系^[2]。在马术中心项目实践中针对主体建筑Ω形马蹄形状与自由曲面特征，采用NURBS曲线精确描述复杂表面几何形态，并通过控制点调整优化曲面平滑度与连续性。

模型创建过程强调主体结构与幕墙系统间协同关系处理，建立严格三维坐标系与基准点管理机制。针对不同区域幕墙类型（金属屋面、蜂窝铝板、GRC/UHPC板、玻璃幕墙等），分别构建精细模型并确保衔接处理合理；基于云计算平台实现多专业协同建模，通过定期模型整合与碰撞检测及时发现设计冲突并调整优化。此种正向设计方法显著提升模型准确性与一致性，为后续参数化开发与深化设计奠定基础，有效避免传统二维图纸转换三维模型带来误差与效率问题。

1.2 参数化模块开发

参数化模块开发目的在于将复杂幕墙系统拆解为可

控制、可调整、可复用构件单元。基于Grasshopper与Dynamo等可视化编程工具，针对马术中心不同幕墙系统特点，开发具备适应性与灵活性参数化组件库。针对GRC/UHPC系统设计参数包括板块厚度、支撑结构形式与连接方式等；对于蜂窝铝板系统定义面板尺寸、拼接缝隙等控制因素；金属屋面系统则包含坡度、搭接量、防水构造等关键参数。

参数化模块开发采取分层架构策略，底层为几何形态控制，中层为构造节点定义，上层为材料与性能设置^[3]。通过编写自定义脚本实现特殊构件形态生成与优化，如利用环形阵列算法处理复杂交叉点，通过曲面细分算法实现异形板块合理分割。模块间建立明确接口与数据交换标准，确保不同幕墙系统有效衔接。

1.3 批量阵列布局

批量阵列布局技术通过程序化方法实现大量复杂幕墙构件高效排布与管理。针对马术中心幕墙系统标准化率不足10%特点，传统逐一建模方法难以应对。采用参数驱动阵列策略先确定控制曲面与主导曲线，建立参数化UV网格作为定位基准；随后编写阵列算法，根据预设规则自动生成构件布局与分布密度。针对不同区域特征灵活运用线性阵列、环形阵列等技术，确保构件间合理衔接与过渡；系统自动计算各构件空间坐标与方向向量，保证安装位置精确性与整体协调性。

阵列布局过程引入智能优化机制，根据材料规格、加工限制与结构性能多目标约束条件，对布局方案进行迭代优化^[4]。例如GRC/UHPC板块布局考虑尺寸合理性、支撑点分布、重量平衡与安装顺序等因素；金属格栅吊顶系统则优化构件长度变化梯度与连接节点分布。通过可视化反馈技术，设计人员能直观评估不同布局方案效果进行针对性调整；布局完成后系统自动为每个构件分配唯

一标识码，建立从设计到安装全过程可追溯机制。

2 参数化分格及数据提取

2.1 幕墙分格方案

幕墙分格方案期望能够将复杂曲面建筑表皮划分为可加工、可运输、可安装构件单元，是幕墙工程核心技术环节。基于BIM模型采用参数化算法辅助分格决策，综合考虑建筑美学要求、材料性能限制、加工能力约束与施工安装条件。马术中心GRC/UHPC系统采用合理分格策略将自由曲面划分为可控规格板块，每块尺寸控制在6米×3米范围内重量约1.5吨，满足工厂预制与现场吊装条件。分格线设计遵循曲面流线化原则，与建筑主体造型呈现协调美感；算法自动识别曲率变化特征点，在曲率转折处设置分隔避免单块板内曲率变化过大导致加工困难。

分格方案通过数值模拟验证结构性能与施工可行性。针对不同幕墙系统制定差异化分格策略：蜂窝铝板系统采用15毫米开放式或扣条嵌缝处理板块连接；玻璃幕墙系统则根据立面特点设计无肋、精致钢框架或铝合金框架支撑体系；吊顶格栅系统采用适应曲面变化单元化分割。最终方案不只是满足功能性要求，还创造出独特建筑语言体现马术谷设计理念，同时兼顾工程经济性与施工便捷性实现设计美学与工程实践完美融合。

2.2 参数数据提取

参数数据提取是连接设计模型与实际加工制造环节关键桥梁，通过编程方法从BIM模型中精确获取构件制造所需各类数据信息。开发专用数据提取程序，针对不同幕墙构件特点提取几何参数（尺寸、坐标、角度、曲率等）、物理参数（材料、重量、厚度等）以及连接参数（节点类型、固定方式等）。对于GRC/UHPC曲面板块，通过算法分析曲面特征提取控制点坐标与曲率变化率，为数控模具加工提供精确数据；对于金属屋面系统，精确计算各板块弯曲角度与搭接尺寸。

数据提取过程建立严格质量控制机制，通过多重验证确保数据准确性。开发数据可视化工具直观展示提取结果，便于设计人员审核确认；构建标准化数据传输格式与接口协议，实现与下游CAM系统无缝对接。针对特殊构件如GRC曲面交接处、异形转角等，开发补充计算程序深入分析应力分布与变形特性，提供加工控制建议；提取数据按构件类型、安装区域与施工顺序形成结构化数据库，便于生产管理与现场施工参考。

2.3 加工图纸生成

加工图纸生成环节实现从参数化模型到标准化制造文件智能转换，是确保设计意图准确落实关键过程。基于提取参数数据开发自动化图纸生成系统，针对各类幕

墙构件特点设计差异化图纸模板包含几何尺寸、材料规格等完整制造信息；系统自动处理复杂曲面展开问题，将三维形体转换为二维加工图并标注关键控制点、基准线与精度要求。对于GRC/UHPC构件生成包含钢框架详图、预埋件位置、混凝土浇筑工艺等完整加工说明；蜂窝铝板系统则重点表达铝板加工尺寸与云台安装位置；金属屋面系统图纸强调各层材料构造与防水细节。

图纸生成过程融入智能检查机制自动识别加工难点与潜在问题，针对曲率变化较大区域系统自动增加控制点密度与补充说明；对超规格构件提供分段制造与现场拼接指导。加工图纸采用多视图表达方式，包含三维立体图、平面展开图、剖面详图与节点大样全面传达构件特征；而针对标准化程度低特点每套图纸均赋予唯一识别码，与BIM模型保持关联便于后续跟踪与管理。

3 数字化生产和施工管理

3.1 预制构件装配

预制构件装配技术基于BIM模型指导下实现工厂化精准制造与现场高效安装。针对马术中心复杂幕墙系统特点建立全流程数字化预制管理体系，实现从设计到安装全过程无缝衔接。先制定详细预制构件编码规则，按区域、类型、安装顺序建立统一标识体系；随后将BIM模型数据转化为数控加工指令，驱动先进制造设备精准生产。GRC/UHPC板块采用数控模具制作技术，通过五轴加工中心精确铣削模具表面确保曲面精度；蜂窝铝板通过数控折弯与压制成型；金属格栅则采用自动化切割与组装工艺。

现场装配环节基于BIM模型创建详细施工方案，明确安装顺序、临时支撑与固定方法。针对GRC/UHPC等重型板块设计专用吊装工装与定位工具，通过激光定位系统确保安装精度；各类幕墙系统连接节点采用可调整预埋件，预留适当调节量应对现场误差。装配过程借助增强现实技术，将BIM模型投影至实际空间指导施工人员准确安装；而针对约200种幕墙系统交接形式开发专用连接构造与密封措施，确保防水与结构安全；装配完成后进行三维扫描检测，验证实际效果与设计模型一致性。

3.2 智能吊装方案

智能吊装方案是解决超大规格曲面幕墙构件安装关键技术，通过数字化手段实现精准定位与安全操作。马术中心项目面临场地狭小、构件超重等挑战，传统吊装方法难以应对。基于BIM模型开发智能化吊装整体解决方案，包含设备选型、路径规划、操作流程与安全控制多个方面。引进配备先进传感器与控制系统蜘蛛吊设备，能自适应调整吊点位置与受力分布确保异形构件稳

定吊装；同时开发专用的智能控制软件平台，将BIM模型数据与施工现场实时情况结合，形成闭环控制机制，确保吊装过程遵循预设轨迹与定位要求。

吊装方案设计注重精细化与智能化，针对GRC/UHPC等重型板块（6米×3米，重达1.5吨），通过计算确定最佳吊点位置与受力状态避免构件变形损坏；同时规划详细吊装路径，通过算法分析避开上方管道与支撑结构等障碍物。现场实施阶段应用北斗定位系统与激光测距技术，实时监控构件位置与姿态辅助操作人员精准就位。

4 可视化质量监控和进度管理

4.1 三维扫描验收

三维扫描验收技术通过先进测量手段实现幕墙工程质量全方位、高精度评估。针对马术中心幕墙系统复杂曲面特点，传统测量方法难以准确评价实际施工质量。引入高精度三维激光扫描设备对已安装幕墙进行全面扫描，获取点云数据精确表达实际建造状态；同时开发点云处理软件，通过滤波、配准与网格重建等算法将离散点云转化为完整三维模型。

三维扫描验收具备全面性与精确性优势，能发现传统方法难以察觉缺陷。针对检测出问题区域系统自动标记并生成整改建议，指导施工团队有针对性调整。建立动态验收机制通过阶段性扫描比对，追踪整改效果与施工进度；同时构建数字化质量档案记录完整扫描数据与分析结果，形成工程质量数字孪生档案。扫描技术还用于隐蔽工程检查如幕墙连接节点、防水层等关键部位验收，大幅提升质量控制深度与广度；通过三维扫描验收马术中心幕墙工程实现了以数据说话科学质量管理，确保复杂曲面造型精准呈现设计意图，最终工程质量达到国内领先水平，为类似复杂外立面工程提供质量控制新思路与方法借鉴。

4.2 多源数据比对

多源数据比对技术整合各类信息资源，实现幕墙工程全维度质量监控与进度管理。构建集成化数据平台汇聚设计BIM模型、三维扫描结果等多源异构数据，通过统一标准与关联机制形成完整信息链；开发智能比对算法实现不同类型数据综合分析交叉验证。对于幕墙施工进度监控系统将计划模型与实际扫描数据比对，自动计算完成率与偏差生成可视化进度报告。

结论：探究针对复杂曲面幕墙系统设计施工难题，探索了基于BIM技术全过程数字化建造方法。通过上海久事国际马术中心工程实践验证，BIM正向设计与参数化技术能有效解决复杂形体创建与优化问题；数字化提取与转化技术确保设计意图准确传递至制造环节；智能化装配与吊装方案显著提升施工效率与精度；三维扫描与多源数据比对技术实现全方位质量控制。成果形成了一套完整幕墙数字化建造技术体系，为未来类似复杂建筑提供方法借鉴与技术支撑，推动建筑幕墙行业向信息化、智能化方向发展。

参考文献

- [1]吴和坤,姚文武,杨子龙,等. 基于BIM技术的建筑幕墙数字化建造技术研究[J]. 中国建筑装饰装修,2025(5):77-79.
- [2]赵凌宇. BIM技术的工业办公建筑玻璃幕墙施工质量控制[J]. 中国建筑金属结构,2025,24(4):196-198.
- [3]方文鏢,耿怀欣,郑春. 基于BIM的建筑外饰面光伏板与玻璃幕墙装配式施工技术[J]. 工程建设与设计,2024(13):229-231.
- [4]彭秋凡. 基于BIM技术的建筑幕墙工程施工管理[J]. 建设监理,2024(7):45-47,67.