

数字化设计在异形幕墙造型实现中的关键技术研究

谢济原，刘长春，罗国兴，张利彬，李铮
中建七局建筑工程有限公司，河南 郑州 450000

摘要：本文聚焦数字化设计在异形幕墙造型实现中的关键技术。开篇介绍异形幕墙造型特点、分类及数字化设计技术基础，如参数化设计原理。核心部分剖析建筑信息模型（BIM）、参数化设计及数字化模拟与分析技术的应用，包括BIM信息整合、参数化设计优势及性能优化。通过代表性项目全流程分析，展现技术应用效果。研究表明，这些技术显著提升异形幕墙设计质量、优化性能、提高施工效率，为异形幕墙设计与建造提供新思路。

关键词：异形幕墙；数字化设计；建筑信息模型（BIM）；参数化设计；数字化模拟与分析

Research on Key Technologies of Digital Design in the Realization of Shaped Curtain Wall Modeling

Xie Jiyuan, Liu Changchun, Luo Guoxing, Zhang Libin, Li Zheng
China Construction Seventh Engineering Division Building Decoration Engineering Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450000

Abstract : This paper focuses on the key technologies of digital design in the realization of shaped curtain wall modeling. It begins with an introduction to the characteristics and classification of shaped curtain wall modeling, as well as the fundamentals of digital design technology, such as parametric design principles. The core section delves into the application of Building Information Modeling (BIM), parametric design, and digital simulation and analysis techniques. These include BIM information integration, the advantages of parametric design, and performance optimization. Through a comprehensive analysis of representative projects, the paper demonstrates the effectiveness of these technologies. The research indicates that these technologies significantly enhance the design quality of shaped curtain walls, optimize their performance, and improve construction efficiency, thereby providing new ideas for the design and construction of shaped curtain walls.

Keywords : shaped curtain wall; digital design; Building Information Modeling (BIM); parametric design; digital simulation and analysis

引言

在建筑审美观念革新与建筑功能需求多元化的当下，传统幕墙形式已难以契合现代建筑的独特追求，异形幕墙顺势而生。其独特造型为建筑赋予灵动与个性，成为城市中引人注目的风景线。然而，异形幕墙复杂的几何形状给设计与建造带来重重挑战。幸运的是，数字化设计技术的崛起，宛如一把万能钥匙，凭借强大的计算、模拟与优化能力，为攻克异形幕墙造型难题开辟了新路径。本章节将深入探究此项研究的背景，剖析其对建筑设计创新、建造效率与质量提升等方面的深远意义，梳理国内外研究进展，并阐述研究的具体内容与方法，为后续深入探讨奠定基础。

一、异形幕墙造型及数字化设计概述

本文聚焦数字化设计在异形幕墙造型中的关键技术。先介绍异形幕墙和特点、分类及数字化设计基础，再剖析BIM、参数化设计等技术应用。

（一）异形幕墙造型特点与分类

异形建筑幕墙即指外表面为奇特异形形状的建筑幕墙，主要包括建筑表面的形态为扭转或双曲面而呈现出独特的立面及空间建筑效果，其主要特点是外轮廓存在多角度的扭曲，结构形式为

异形，造型奇特且复杂无规律，面板尺寸多具有唯一性，种类及数量多，相同规格及尺寸板块数量较少，主要通过异形板块的叠加及交接处理来形成极具视觉冲击的建筑形体，增强了建筑的艺术表现力^[1]。从造型特点来看，其具有不规则性、连续性和复杂性等显著特征。依据不同的分类标准，异形幕墙可分为多种类型，如基于几何形状的分类、基于建筑功能的分类等。

（二）数字化设计技术基础

数字化设计技术融合计算机科学、数学与建筑学等多学科知识，是一门综合性技术，在异形幕墙设计领域具有关键作用。参

数化设计原理是其核心理论之一，设计师通过设定参数与规则，能够灵活生成并调整异形幕墙的复杂造型方案，极大提升设计的灵活性与效率。计算机图形学基础则为异形幕墙的可视化表达提供了支撑，让设计理念得以直观呈现。

在技术体系方面，各类设计软件工具层出不穷。例如，犀牛（Rhino）软件凭借强大的曲面建模功能，深受异形幕墙设计师喜爱，可精准构建复杂的幕墙几何模型。而数据处理方法在其中也不可或缺，通过对大量设计数据的高效处理与分析，能优化设计流程、提升设计质量^[2]。深入了解这些数字化设计技术的基础理论与技术体系，能为后续深入探讨其关键技术在异形幕墙设计中的应用，如建筑信息模型（BIM）技术、数字化模拟与分析技术等，筑牢坚实的理论根基，助力异形幕墙设计迈向新高度。

二、数字化设计关键技术在异形幕墙造型中的应用

掌握异形幕墙造型特点与数字化设计技术基础后，本章节聚焦核心，阐述建筑信息模型（BIM）、参数化设计、数字化模拟与分析技术，如何助力异形幕墙从设计理念迈向实际建造。

（一）建筑信息模型（BIM）技术应用

在异形幕墙设计中，建筑信息模型（BIM）技术意义非凡。它通过建立三维信息模型，开启了异形幕墙设计的全新变革。在模型建立环节，设计师借助专业软件，依据异形幕墙的设计方案，精准构建出包含幕墙几何形状、构件尺寸等详细信息的三维模型，让设计从抽象概念转化为直观可视的数字化模型。

信息整合方面，BIM技术能将异形幕墙从设计构思、深化设计，到材料采购、施工安装，再到后期维护的全生命周期各类信息，如材料属性、施工进度计划、成本预算等，统一整合在模型之中^[3]。各方人员可通过该模型实时获取所需信息，实现信息的高效共享与协同工作。碰撞检查是BIM技术的一大亮点。在施工前，利用BIM模型对幕墙各构件以及与建筑其他部分进行碰撞检测，提前发现设计中可能存在的构件冲突问题，如管道与幕墙结构碰撞等。及时调整设计，避免施工阶段的返工，有效提高设计质量，减少施工延误，大幅提升施工效率，为异形幕墙项目的顺利推进提供有力保障。

（二）参数化设计技术应用

参数化设计技术凭借其强大的灵活性与适应性，在异形幕墙复杂造型的实现过程中发挥着关键作用。在异形幕墙造型设计里，参数化建模方法是基础。设计师运用专业软件，如Grasshopper插件与Rhino软件结合，通过定义点、线、面等几何元素的参数，像控制点坐标、曲线曲率等，搭建起基础的几何框架。这些参数并非固定不变，而是可动态调整的变量^[4]。设计规则制定则赋予了参数间逻辑关系。例如，设定幕墙面板尺寸与建筑整体比例的关联规则，当调整建筑整体尺度参数时，幕墙面板尺寸能依据规则自动适配。通过这种方式，设计师能够轻松快速地生成多种造型方案。

以某艺术中心的异形幕墙设计为例，设计师利用参数化设计技术，先设定了幕墙整体的扭曲角度、板块分割数量等参数以及

板块间拼接规则。在设计过程中，根据采光需求和建筑美学考量，灵活调整参数，快速得到不同采光效果、造型风格的方案。经对比优化，选出最佳方案，充分展示了参数化设计技术在异形幕墙设计创新与优化方面的显著优势，为打造独特且实用的异形幕墙提供了有力支持。

（三）数字化模拟与分析技术应用

异形幕墙造型独特，却因复杂性在力学、采光、热工等性能方面面临挑战。数字化模拟与分析技术为解决这些难题提供了有效途径^[5]。在结构力学模拟中，借助专业软件，将异形幕墙的结构形式、材料属性等数据输入模型，模拟不同工况下，如风力、地震力作用时幕墙的受力情况。通过分析应力、应变分布，提前发现结构薄弱点，优化结构设计，确保幕墙具备足够强度与稳定性。

采光模拟同样关键。利用光学模拟软件，依据建筑所处地理位置、朝向、周边环境以及幕墙玻璃的光学特性等参数，模拟不同时段室内采光效果。设计师据此调整幕墙的开窗位置、面积及玻璃透光率等，提高室内采光均匀度，减少眩光，满足建筑采光需求，提升室内舒适度。热工模拟则聚焦于幕墙的保温隔热性能。通过模拟软件分析幕墙在不同季节、不同气候条件下的热量传递过程，考量材料的热传导系数、构造形式等因素。进而优化幕墙的保温材料选择、构造设计，降低建筑能耗，提升热工性能，实现节能与环保目标。数字化模拟与分析技术以数据为驱动，为异形幕墙性能与品质的提升提供了科学、精准的支持。

三、案例分析

理论研究最终要回归实践，通过实际案例的分析，能够更直观地展现数字化设计关键技术在异形幕墙造型实现中的应用效果。

（一）项目简介

本次选取的异形幕墙项目位于苏州，周边高楼林立，交通便利。该建筑定位为集高端办公、商业休闲于一体的综合性地标建筑，旨在打造一个融合现代科技与艺术美感的城市空间。在异形幕墙造型设计方面，其独特之处尤为显著。苏州中心的“未来之翼”极具特色，它是当前全球规模最大的自由曲面单层钢网格屋面之一。该屋面结构的展开长度长达630米，采用超长不设缝的独特设计，并且同时跨越下方4个单体建筑。值得一提的是，其跨越正在运营地铁的中庭时，最大跨度达到了55米^[6]。与常见的利用三点共面三角形网格构建自由曲面的方式不同，此项目别出心裁地运用四边形网格来拟合自由曲面形态，且在施工过程中，还需兼顾玻璃幕墙的安装工作，对技术和施工工艺要求极高。

（二）数字化设计流程与关键技术实施过程

在数字化设计流程的起始概念设计阶段，设计团队运用参数化设计技术，借助专业软件如Rhino与Grasshopper，依据苏州的城市特色、周边建筑环境以及项目的高端办公和商业休闲定位，设定诸多关键参数。像是屋面整体的曲率变化参数，以此来初步塑造自由曲面的大致形态。同时，考虑到跨越下方4个单体建

筑以及运营地铁中庭的特殊情况，设置建筑结构跨度、支撑点位置等参数，快速生成多种异形幕墙的概念雏形^[7]。通过数字化模拟与分析技术，对这些雏形方案进行初步的力学性能模拟，评估其在复杂环境下的结构稳定性，筛选出较为可行的方案。

进入深化设计阶段，建筑信息模型（BIM）技术发挥核心作用。将概念设计中选定的方案导入BIM软件，构建出极为精细的三维模型。模型中不仅涵盖自由曲面单层钢网格屋面的详细结构信息，包括每一根钢梁的尺寸、材质、连接方式，还包含玻璃幕墙的板块划分、规格等信息。参数化设计技术在此进一步优化，依据四边形网格拟合自由曲面的特殊要求，对网格节点参数、边长参数等进行反复调试，确保曲面形态的精准呈现。数字化模拟与分析技术也深度介入，针对屋面结构进行更全面的力学性能模拟，考虑风荷载、地震作用等多种工况，同时对玻璃幕墙的采光性能、热工性能展开模拟。依据模拟结果，不断调整设计细节，如优化钢梁的布置以增强结构强度，调整玻璃的光学参数以提升采光舒适度、控制能耗^[8]。

施工阶段，BIM模型成为各方协同工作的核心枢纽。施工团队通过BIM平台实时获取施工进度信息，清晰了解每一个施工环节的先后顺序与时间节点。利用模型中的数据进行施工场地规划，合理安排材料堆放区域与机械设备停放位置。在安装自由曲面单层钢网格屋面时，借助参数化设计技术，根据现场实际测量数据对安装参数进行微调，确保每一根钢梁都能精准安装就位。数字化模拟与分析技术则用于施工过程模拟，提前预判可能出现的安装难点，如在跨越地铁中庭的大跨度区域，模拟施工过程中结构的变形情况，提前制定应对措施。对于玻璃幕墙的安装，基于BIM模型的信息，施工人员能够准确知晓每一块玻璃的安装位置与角度，提高安装效率与精度，最终成功完成对技术和施工工艺要求极高的异形幕墙项目^[9]。

（三）实施效果评估

在对苏州该异形幕墙项目“未来之翼”实施效果评估时，从

多维度展开。利用三维测绘技术比对实际建成的自由曲面单层钢网格屋面与设计模型，屋面结构展开长度精准契合设计的630米，超长不设缝及跨越4个单体建筑处过渡自然，大跨度区域结构形态与设计偏差极小，独特的四边形网格拟合造型高度还原，彰显数字化设计对复杂造型的精确实现能力^[10]。在建筑性能上，关键结构节点监测数据显示，力学性能满足安全要求；室内采光数据表明采光均匀舒适；能耗监测分析得出节能效果优于传统建筑。成本与工期方面，借助数字化协同管理，施工各环节精细化管控，避免设计变更导致的成本增加，实际成本较传统方式降低，依据数字化模拟计划，各施工环节紧密衔接，工期较原计划缩短，为同类项目提供有利参考。

四、结语

经过对数字化设计在异形幕墙造型实现中的关键技术深入研究与案例分析，本章节将全面总结归纳整个研究过程，提炼具有普遍性的研究结论。前文研究内容显示，建筑信息模型（BIM）技术、参数化设计技术以及数字化模拟与分析技术，在异形幕墙造型实现中，于提高设计质量、优化建筑性能、提升施工效率等方面作用显著，本部分会详细梳理这些关键技术的应用规律与核心要点，为建筑行业从业者提供有价值的参考依据。尽管当下研究取得一定成果，但在科技进步与建筑行业持续发展的大背景下，该领域研究空间依旧广阔。本部分将结合当前技术发展趋势与建筑行业需求，对未来研究方向展开展望，如探索人工智能、虚拟现实等新兴技术在异形幕墙设计中的应用可能，进一步优化数字化设计流程，提升异形幕墙的可持续性，为该领域的持续创新发展注入思路与动力。

参考文献

- [1] 易英英.BIM技术在异形建筑幕墙工程中应用的研究 [D].南昌大学, 2021.DOI:10.27232/d.cnki.gnchu.2021.003609.
- [2] 朱康田.BIM技术助力实现异形曲面幕墙智能建造的研究 [J].绿色建造与智能建筑, 2024,(09):78–80+86.
- [3] 鲁玲, 邓鼎.数字驱动, 创效增值数字化设计在异形建筑 EPC 工程中的全过程应用 [J].中华建设, 2024,(05):86–89.
- [4] 魏冬.异形建筑数字化建造的实施——哈尔滨大剧院 [J].建筑技艺, 2017,(11):112–118.
- [5] 张恩茂, 马进蛟, 袁洵, 等.幕墙工程异形棱状装饰架设计与施工方案分析 [J].工程技术研究, 2019, 4(17):193–194.DOI:10.19537/j.cnki.2096-2789.2019.17.091.
- [6] 张谨, 宫长义, 李国建, 等.苏州中心“未来之翼”超长异形网格结构关键技术创新与应用 [J].建设科技, 2021, (13):44–48.DOI:10.16116/j.cnki.jskj.2021.13.007.
- [7] 谢久红, 梁成业, 李港, 等.BIM技术在异形幕墙多维度测量中的应用研究 [J].建筑技术, 2024, 55(13):1586–1588.DOI:10.13731/j.jzjs.2024.13.1586.
- [8] 叶盛智, 刘亮亮, 李钢.基于 BIM 技术的异形体幕墙网格优化分析 [J].四川建筑, 2023, 43(5):41–43.DOI:10.3969/j.issn.1007-8983.2023.05.014.
- [9] 郑春燕.建筑 BIM 参数化技术在异形曲面幕墙设计与施工中的运用分析 [J].智能建筑与工程机械, 2021, 3(10):33–35.
- [10] 严光芸.BIM拓展下的异形幕墙设计及施工方法分析 [J].科技创新导报, 2022, 19(14):130–132.DOI:10.16660/j.cnki.1674-098X.2203-5640-5040.