

The Application and Challenges of Digital Technology in Transportation Building Design

Yi Liu

Shandong Provincial Transportation Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

Abstract

Against the backdrop of global smart city construction, the rapid development of transportation networks has helped cities move towards higher stages. Transportation infrastructure constitutes a key node of urban comprehensive transportation networks, and its design complexity and functional integration have significantly increased. Referring to the data information stated in the “National Comprehensive Three dimensional Transportation Network Planning Outline”, taking 2023 as the watershed, the annual growth rate of large comprehensive passenger transport hubs in China will reach 12%. This design needs to coordinate the planning of multiple functions such as transportation transfer, commercial services, ecological landscape, etc., forming a comprehensive system. Faced with complex requirements such as dynamic simulation of crowds and multi system collaborative optimization, traditional design methods have encountered great challenges.

Keywords

digital technology; Transportation architecture design; Data fusion; Intelligent decision-making; Standard system+

数字化技术在交通建筑设计中的应用与挑战

刘意

山东省交通规划设计院集团有限公司, 中国 · 山东 济南 250000

摘要

在全球智慧城市建设的背景下, 交通网络的迅猛发展助力城市迈向更高阶段, 交通基础设施构成城市综合交通网络的关键节点, 其设计复杂性及功能集成度均有显著增强, 参照《国家综合立体交通网规划纲要》所载明的数据信息, 以2023年为分水岭, 大型综合客运枢纽年均新增数量增长速度达到12%, 本设计需统筹规划交通换乘、商业服务、生态景观等多元功能, 形成综合体系, 面对人群动态模拟以及多系统协同优化等复杂需求, 传统设计方法遭遇了极大的挑战。

关键词

数字化技术; 交通建筑设计; 数据融合; 智能决策; 标准体系+

1 引言

随着智慧城市与交通网络协同发展需求的提升, 数字化技术在交通建筑设计领域展现出重要价值。本文系统梳理 BIM、数字孪生、参数化设计等技术在空间流线优化、多系统集成、运维管理等环节的应用现状, 发现存在数据异构性突出、跨专业协同不足、技术融合深度欠缺等核心问题。研究表明, 通过构建全周期数字协同平台、建立多维度智能决策模型、完善技术标准体系三大策略, 可有效提升交通建筑功能适配性与运营效率。

2 数字化技术在交通建筑设计中的驱动价值

在新型城镇化进程深化与交通强国战略实施的双重历史阶段, 2023 年度, 综合客运枢纽建设数量实现显著增长,

累计超过 450 座, 交通基础设施建设成果显著, 面对功能性需求量的不断上升, 传统设计模式逐渐暴露出其固有的局限性与不足之处, 数字化技术促进了信息模型的多维构建与拓展, 开展信息资源的深度分析与价值挖掘, 对交通建筑流线冲突及空间结构差异性进行了有针对性的高效处理。通过对机场的规划布局与实施步骤分析, 充分揭示了 BIM 与 GIS 技术的先进性意义, 旅客步行行程较原定路线缩短了 15 个百分点, 实现旅行行程的高效执行升级, 空间优化领域的发展离不开数字技术的核心支撑。

建筑科学同计算机科学的交汇融合, 催生了参数化设计、性能模拟等创新设计手段的问世, 交通设施在城市节点体系中占据核心地位, 是城市发展的关键支撑。需对城市轨道交通、商业服务、生态景观等十二个专业系统实施全面的系统化统筹与布局, 数字化信息平台为多专业数据实时核对技术的升级提供技术动力, 推动设计流程的全面升级, 实施流程再造, 实现开发周期缩短 30% 例如, 某中央车站现代

【作者简介】刘意 (1987-), 男, 中国山东莱西人, 本科, 高级工程师, 从事建筑与景观设计研究。

化改造项目,采纳数字协同设计技术,对规划与实施进行了全面革新,在项目实施初始阶段,项目执行阶段,总计识别出132个管线冲突案例,积极采取措施,彻底消除因返工引起的数千万美元经济损失^[1]。

3 数字化技术在交通建筑设计中的现实挑战

3.1 技术集成层

数据标准化面临碎片化困境,专业软件在数据交换上普遍面临格式兼容的挑战,结构计算模型与能耗模拟系统间存在高达78%的数据无法直接引用。系统间逻辑耦合度偏低,某总部基地建设项目对外呈现其施工图,BIM模型与消防系统数据交互的匹配达成率仅为0.62%

3.2 应用实践层面

专业协同障碍探讨,设计研究院的调研分析揭示,建筑与交通工程师对数字化工具的应用存在较大差异,其重合度未达到30%,暴露了技术适配性的偏差现象,某铁路枢纽的早期数字模拟中,未对大跨度屋盖的风振效应进行充分分析与探讨,导致施工阶段结构补强成本增加23%。

3.3 制度保障层面

现有的标准体系正显现出一种滞后的发展趋势,参照《交通建筑设计规范》现行版所进行的统计工作,数字化要求中,条款的占比为12%,验收环节存在未被充分揭示的盲点,分析某国际机场扩建项目所采用的数字模型的设计理念,项目质量检验依旧按照既有的二维图纸规范标准执行^[2]。

4 数字化技术在交通建筑设计中的优化路径

4.1 构建全周期数字协同平台

4.1.1 标准化数据中枢建设

采用IFC(行业基础类)开放性标准的构建基础,设计支持多源异构数据整合的综合性数据中心,采用分散式数据湖架构方案,融合建筑信息模型、地理信息系统、物联网传感设备等共计12种数据资源,利用数据清洗引擎,对数据冗余及格式不一致问题进行自动化的整治与优化,通过对交通枢纽工程实施进度跟踪,实施设立统一数据集散中心,将建筑结构计算模型与暖通空调模拟数据的匹配度从42%提高至89%^[3]。

4.1.2 跨专业协同机制创新

开发轻量级模型转换的软件中继平台,实现与Revit、Tekla、Catia等业界领先软件的无损数据互通,实施语义映射技术路径,自动实现建筑构件属性(诸如梁柱截面尺寸)与结构分析参数(例如弯矩承载力)的相互映射,某火车站建设实施项目,采用Unity3D引擎,该团队构筑了高效的可视化协同作业系统,实现了五十六万个构件的即时互联互通,本系统采用了分布式计算集群模式,对多专业碰撞检测技术进行升级,效率提升效果显著,提升比例达到四倍,机电管线相互冲突现象累计达2438起,施工返工成本降低至

3200万元,提升成本管理水平^[4]。

4.1.3 智能合规性审查体系

开发一套包含238项强制执行标准的自动化审核软件,涉及防火分隔区域、疏散路径宽度以及无障碍设施设计等方面的核心标准,本系统依托规则引擎技术,实现智能化数据处理与优化,可实时对照设计模型与规范条文,以验证其合规性,自动生成符合法规要求的合规性审查资料,某综合交通枢纽自实施该系统投入实施阶段,将消防审批流程的时限由原先的14天大幅精简至3小时以内,设计错误比率降低了72个百分点。

4.1.4 区块链赋能的版本控制

在平台构建中采用联盟链技术支撑系统,构建一种去中心化的版本管理模型,每次设计修订均需记录并生成带有时间戳、修订者信息及修订内容的不可篡改区块,实现全流程的跟踪与可查证性,我们建设项目的实施进度快,该技术显著缩短了设计变更审批流程,将平均所需时间从5个工作日精简至8小时,版本回滚操作效率增长90%。

4.2 建立智能决策支持系统

4.2.1 数字孪生体构建

构建以“物理实体、虚拟模型、服务系统”为核心的三维数字孪生架构体系,处于数据底层架构范畴,将建筑信息模型、实时客流监测、气象环境数据等28个数据源进行综合,开发12TB容量规模的动态数据库平台,国际机场的数字孪生系统成功集成了8000个物联网节点,每秒可对两万条数据流进行实时处理,实现高速数据处理,对航站楼内部温湿度及二氧化碳浓度实施毫米级精度的实时监测。

4.2.2 混合智能算法开发

对运筹优化算法与深度学习技术进行交叉融合,构建多目标决策的复合模型体系,研究交通建筑在空间优化方面的特定挑战及其对策,实施基于NSGA-II算法的多目标优化系统的实施,同步提升人流量管理效率(目标一)、能源消耗标准(目标二)、建筑成本控制(目标三)等相互冲突的优化目标,雄安火车站设计实施阶段进展分析,通过对车站通行通道布局进行了147次迭代,以优化其布局结构,方案实施后,旅客步行距离缩短18%,空调系统初始投资额降低至原计划的15%。

4.2.3 动态仿真与预测预警

研制采用长短期记忆网络技术的客流量预测模型,本模型输入维度涉及历史客流量、气象预警、突发事件等多个方面,共15项指标,本模型在杭州西站交通枢纽的实际应用中展现出显著成效,确保在早高峰时段内,客流预测的误差率控制在7%以下,采用动态调控技术对安检通道启停进行智能化管理,构建基于计算流体动力学(CFD)与EnergyPlus的联合仿真模块,探讨极端天气现象对室内热环境影响的预测性分析,实施通风系统技术升级与综合性能优化措施。

4.2.4 闭环反馈控制机制

形成“监测—分析—决策—执行”的全闭环控制机制，以某智慧照明工程为示范，实时分析候车厅人流量及自然光照强度数据，自动化调节系统对 LED 灯具的亮度实施动态调控，电力消耗量累计达到 280 万千瓦时，该系统可实现设备故障数据的自动录入运维知识库，塑造一个持续改进的决策闭环回路体系。

4.3 完善技术标准体系

4.3.1 基础标准制定

基础标准构成了数字化技术体系构建的稳固基石，应在顶层设计阶段明确统一的技术规范要求，本项工作的核心目标是制定《交通建筑数字化设计通用规范》，着力攻克 BIM 模型信息粒度及跨阶段数据交互难题，关于建筑信息模型（BIM）的详细程度（LOD）分级规范的研究，应具体细化模型在不同发展阶段的精度要求。以 LOD400 等级为实验参照面，在几何精度范畴内（如构件尺寸误差控制在 1 毫米以内）之外，模型必须完整呈现非几何属性的全集：构件所用材料必须明确标示钢材牌号及混凝土强度等级等相关生产数据；机械设备安装作业需参照既定的工艺参数进行绑定，螺栓拧紧力矩数值、焊接接头种类；预制构件在运输过程中应标明明确的定位坐标及吊装作业顺序指引。属性参数的强制性规定细则说明，该设计数据已实现与施工深化及预制加工的直接对接应用，部分高铁站建设是按照既定计划有序进行，施工图纸中构件参数的缺失比率由 12% 显著降低至 3.5%，预制柱的安装精度要求达到 ± 2 毫米的误差标准以内，通过现场焊接工艺的优化，返工率实现了 82% 的显著下降，数据交互的基础准则亟须对格式进行具体化说明，IFC 文件采用的标准化结构化数据存储原则，采取有效措施避免数据在多种软件平台间交换时因兼容性问题而丢失。

4.3.2 应用标准细化

实施标准应针对设计、施工、运维等环节，编制具有可操作性的具体实施指南，制定全面覆盖的技术规范，研究协同设计领域的创新实践与案例分析，按照现行标准，BIM 模型的轻量化率必须达到 85% 及以上，对非必要几何细节进行剔除并对纹理贴图实施优化处理，保障移动设备端实时数据加载及用户交互的流畅性。一些改造与扩建项目正在实施中，经过轻量化处理，该模型在移动端的加载时间由原先

的 12 秒大幅缩减至 3 秒，设计团队可利用平板电脑对问题进行实时标记，并将相关信息同步至云端数据库，施工模拟规范中明确规定，四维进度模型需与物资供应链信息实现深度融合，混凝土施工进度安排应与搅拌站的生产能力信息相衔接，钢筋运输进度应与物流车辆全球定位系统数据保持一致，由此达到资源优化配置的目的。该枢纽项目已采用该标准进行操作，施工进度延误比例成功下降至 42%，钢筋的损耗比率实现了从 5.3% 到 1.8% 的显著降低，在智慧运维技术实施的特定场合，按照现行标准，电子设备档案应包含二维码标识、维修历史、故障特征库等 12 类核心信息，系统运维人员能够通过扫描二维码便捷地获取三维模型、调整部件参数以及回溯历史维护视频，深圳机场采纳该标准，设备故障排查效率提升至 70%，航站楼照明设施维修服务响应时长已由原先的 45 分钟缩短至 12 分钟。

5 结语

数字化技术正在重构交通建筑设计范式，本研究通过系统分析技术特征与应用瓶颈，提出具有实操价值的解决方案。实践证明，数字协同平台的构建可突破专业壁垒，智能决策系统的建立能提升设计科学性，而标准体系的完善则为行业转型提供制度保障。当前技术应用已从单点突破转向系统集成，未来需重点关注数字孪生与元宇宙技术的深度融合，探索虚实交互的运维新模式。随着 6G 通信与量子计算等新基建的推进，交通建筑设计将实现从“数字赋能”到“数智驱动”的跨越，为构建人本化、人性化的综合交通体系提供技术支撑。

参考文献

- [1] 路宽,李华祥,张伟龙.基于MBD模型的轨道交通产品数字化研发关键技术[J].电力机车与城轨车辆,2025,48(01):103-107.
- [2] 钱卫中.上海轨道交通视频监控系统高清数字化技术方案[J].中国新通信,2025,27(02):4-6.
- [3] 陈佳,王靖晶,陈祥令.数字化转型下的轨道交通全生命周期管理: BIM技术与数字孪生的协同应用[J].人民公交,2024,(22):76-78.
- [4] 郑伟涛,赵恒.城市轨道交通数字化转型的关键要素与策略研究: 以信息化思维、数据应用及智能技术为驱动[J].人民公交,2024,(19):88-91.