

基于数字孪生的智慧建筑设计方法研究

申洋

中电建新疆勘测设计研究院有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i8.4618

[摘要] 在建筑行业数字化转型背景下,传统设计存在模型静态化、协同差、模拟精度低、后期脱节等短板,难以适配智慧建筑全生命周期需求。以数字孪生为核心,结合BIM、物联网、数据仿真技术,构建全流程虚实耦合的智慧建筑设计体系。通过搭建“物理实体—虚拟模型—数据联动—迭代优化”框架,结合工程数据优化空间布局、能耗设计、机电协同及运维流程。经验证,该方法可有效降低设计冲突率、提升节能率与空间利用率,解决重建轻运维问题,为智慧建筑智能化设计提供参考。

[关键词] 数字孪生; 智慧建筑; BIM技术; 建筑设计; 全生命周期优化

中图分类号: TU201.4 文献标识码: A

Research on Digital Twin-Based Design Methods for Smart Buildings

Yang Shen

PowerChina Xinjiang Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] Against the backdrop of digital transformation in the construction industry, traditional design methods have shortcomings such as static models, poor collaboration, low simulation accuracy, and disconnection from subsequent stages, making it difficult to meet the full life-cycle requirements of smart buildings. Centered on digital twin technology and integrating BIM, the Internet of Things, and data simulation technologies, this paper constructs a smart building design system featuring full-process physical-virtual coupling. By establishing a framework of “physical entity-virtual model-data interaction-iterative optimization,” the proposed approach optimizes spatial layout, energy consumption design, electromechanical coordination, and operation and maintenance processes based on engineering data. The results demonstrate that this method can effectively reduce design conflict rates and improve energy-saving performance and space utilization, while addressing the issue of emphasizing construction over operation and maintenance, thereby providing a reference for intelligent design of smart buildings.

[Key words] digital twin; smart buildings; BIM technology; architectural design; full life-cycle optimization

引言

随着智慧城市推进,智慧建筑成为行业主流,设计从传统造型转向智能化、全生命周期一体化。传统模式以二维图纸、静态BIM为核心,设计与施工运维割裂,模拟与能耗预测依赖经验,存在冲突多、预判不准、改造成本高等问题。数字孪生可实现物理建筑与虚拟模型的实时映射、数据互通与动态迭代,打破传统技术壁垒。本文立足设计痛点,构建基于数字孪生的新型设计方法,通过量化数据验证优势,优化全流程体系,助力智慧建筑设计提质增效与数字化升级。

1 数字孪生与智慧建筑相关理论概述

1.1 数字孪生技术内涵

数字孪生是一种依托三维建模、物联网感知、大数据分析、动态仿真技术构建的虚实融合技术体系,核心是在虚拟空间搭

建与物理实体1:1映射的数字化模型,具备数据实时同步、状态动态模拟、故障预判预警、迭代优化升级的核心能力。区别于传统静态BIM模型,数字孪生模型具备动态性、实时性、交互性、预测性四大特征,可整合建筑空间数据、设备运行数据、环境气象数据、人流能耗数据,实现建筑全生命周期状态的可视化、数字化管控。在建筑设计领域,数字孪生可打破设计、施工、运维的阶段壁垒,将后期运维需求前置到设计阶段,实现建筑设计从“静态成果设计”向“动态过程设计”的转型。

1.2 智慧建筑设计核心要求

智慧建筑是以绿色节能、智能管控、高效运维、舒适宜居为核心目标,融合智能化设备、物联网系统、节能技术的现代化建筑形式,其设计区别于传统建筑,不再局限于结构安全与空间造型,更强调系统性、智能化与可持续性。智慧建筑设计核心要

求包含三点:一是空间智能化布局,适配人流分布、功能分区、智能设备布设需求;二是能耗精细化管理,通过优化围护结构、通风采光、机电系统,降低建筑运行能耗;三是全生命周期协同,实现设计、施工、运维数据贯通,保障建筑后期智能调控、故障预警、高效运维。传统设计模式难以满足多维度、动态化的智慧建筑设计需求,而数字孪生技术可完美适配智慧建筑全流程、精细化的设计管控要求^[1]。

1.3 数字孪生赋能智慧建筑设计的优势

相较于传统设计方法,数字孪生设计体系具备显著技术优势。首先是虚实同步仿真,可实时模拟建筑日照、风环境、室内温湿度、设备运行状态,精准预判设计缺陷,替代传统经验化设计;其次是多专业协同设计,可整合建筑、结构、机电、智能化、节能多专业数据,自动排查管线碰撞、空间冲突、设备适配问题;最后是运维前置设计,将后期运维数据、设备运行规律融入前期设计,提前优化设备布局、管控逻辑与节能方案,大幅降低后期改造与运维成本。同时数字孪生模型可实现数据实时迭代,根据环境变化、使用需求动态优化设计方案,提升建筑适配性与智能化水平。

2 传统智慧建筑设计存在的问题

2.1 设计模型静态化,仿真精度不足

当前多数智慧建筑设计仍采用静态BIM模型,模型仅记录建筑空间、结构、设备的固定参数,无法实现动态数据更新与实时状态仿真。传统能耗、采光、通风模拟多采用固定工况参数,忽略季节变化、人流波动、设备启停的动态影响,模拟数据与实际运行数据偏差较大。传统静态设计模式下,建筑能耗模拟误差较为显著,环境舒适度模拟同样存在较大偏差,导致设计方案与实际服役状态不匹配,出现建成后能耗偏高、采光通风不均、智能设备适配性差等问题。

2.2 多专业协同性差,设计冲突频发

智慧建筑涉及建筑结构、机电安装、智能化系统、节能暖通、消防安防等多个专业,各专业设计相互交叉、关联性强。传统设计模式下,各专业独立设计、分段出图,数据不互通、模型不联动,缺乏统一的协同设计平台。设计过程中极易出现管线碰撞、设备与空间冲突、智能点位布设不合理、系统参数不匹配等问题。传统智慧建筑设计阶段设计冲突缺陷较为普遍,施工阶段因设计问题造成的返工率偏高,严重影响施工进度与工程质量,增加建设成本。

2.3 设计与运维脱节,全生命周期管控缺失

传统建筑设计以竣工交付为最终目标,仅关注前期造型、结构、施工设计,忽视后期运维、设备管控、能耗优化等核心需求。设计阶段未结合建筑后期人流规律、设备运行周期、能耗波动特征开展针对性设计,导致建成后出现智能系统管控滞后、设备运维繁琐、能耗浪费严重、空间利用率低等问题^[2]。同时传统设计无动态数据迭代机制,建筑建成后无法根据使用工况变化优化设计参数,难以实现智慧建筑动态调控、长效运维的建设目标,无法发挥智慧建筑的智能化优势。

3 基于数字孪生的智慧建筑设计体系构建

3.1 总体设计框架

结合智慧建筑设计痛点与数字孪生技术特征,本文构建“三层架构、全流程迭代”的智慧建筑数字孪生设计体系,三层架构分别为物理实体层、虚拟模型层、数据协同层。物理实体层涵盖建筑场地、主体结构、机电设备、智能传感设备、环境工况等实体要素;虚拟模型层依托BIM技术搭建1:1高精度数字孪生模型,包含空间模型、结构模型、设备模型、能耗模型、环境仿真模型;数据协同层整合物联网实时数据、气象数据、设备参数、人流数据、能耗数据,实现虚实数据实时互通、动态仿真、迭代优化。该框架贯穿方案设计、初步设计、施工图设计、施工校核、运维前置全流程,实现智慧建筑一体化、智能化设计。

3.2 核心设计流程优化

基于数字孪生技术重构智慧建筑设计流程,摒弃传统分段式设计模式,形成数据驱动的动态设计流程。第一步为场地数字化建模,通过GIS地理信息采集、三维激光扫描,精准获取场地地形、日照、风向、周边环境数据,搭建场地数字孪生基底模型;第二步为多专业协同建模,各专业基于统一孪生平台同步建模,实时联动更新,系统自动排查设计冲突;第三步为动态仿真优化,基于实时数据开展能耗、采光、通风、设备运行、消防疏散多维度仿真,优化设计参数;第四步为运维前置设计,结合仿真数据预设智能管控逻辑、设备运维方案、节能调控策略;第五步为迭代校核,根据工况数据动态调整设计方案,实现设计方案精准落地。

3.3 数字孪生模型构建流程

数字孪生模型是智慧建筑设计体系的核心载体,其构建需遵循“几何-物理-行为”三层递进的技术路径。第一步为几何模型构建,基于BIM软件建立建筑、结构、机电全专业模型,模型精度达到LOD350以上,确保几何尺寸、设备位置与实际设计参数一致。第二步为物理模型耦合,在几何模型基础上叠加围护结构热工参数、设备性能曲线、照明功率密度等物理属性,形成可用于仿真计算的分析模型。第三步为行为模型嵌入,将空调PID控制策略、照明感应逻辑、人员疏散规律等转化为算法模型,嵌入孪生平台^[3]。三层模型通过统一数据接口关联,经数据校验与模型融合,最终形成与物理建筑高度契合的数字孪生体,为动态仿真与迭代优化提供基础支撑。

4 基于数字孪生的智慧建筑关键设计内容

4.1 空间与功能智能化设计

依托数字孪生模型的动态仿真能力,开展建筑空间与功能精细化设计。通过采集场地日照角度、风向风速、周边遮挡等环境数据,模拟不同季节、不同时段建筑采光、通风效果,优化建筑朝向、开窗位置、户型布局与功能分区。同时结合人流仿真模拟,分析办公、通行、疏散的人流分布规律,优化走廊宽度、电梯布设、功能房间划分,杜绝空间浪费与通行拥堵问题。相较于传统固定布局设计,数字孪生动态仿真设计可精准适配

建筑使用场景,大幅提升建筑空间利用率与使用舒适度,契合智慧建筑以人为本的设计理念。

4.2 机电与智能系统协同设计

针对智慧建筑多系统协同难题,依托数字孪生平台实现机电设备、智能化系统、消防系统的一体化协同设计。搭建机电、弱电、安防、能耗监测全专业孪生模型,系统自动对管线、设备、智能点位进行碰撞检测与空间校核,提前排查管线交叉、设备冲突、点位偏移等设计问题。同时结合设备运行仿真,优化中央空调、新风系统、智能照明、安防监控的布置位置与运行参数,实现各智能系统联动适配。通过虚实协同校验,彻底解决多专业设计脱节、系统适配性差的问题,保障智慧建筑各类智能系统稳定高效运行。

4.3 建筑节能与环境优化设计

以数字孪生动态能耗仿真为核心,开展建筑节能精细化设计。模型实时联动室外气象数据、室内人流数据、设备运行数据,动态模拟建筑冷热负荷、能耗消耗规律,针对性优化围护结构保温隔热性能、门窗节能参数、暖通系统运行模式。通过多次迭代仿真,筛选最优节能设计方案,优化遮阳系统、通风系统布局,实现自然采光、自然通风最大化利用,降低建筑被动能耗。同时搭建能耗预警孪生模型,在设计阶段预设能耗超标预警、智能启停、分区调控功能,实现建筑运行阶段节能自控,大幅提升建筑综合节能水平。

4.4 全生命周期运维前置设计

依托数字孪生虚实互通、动态迭代的优势,打破设计与运维的阶段壁垒,实现运维工作全面前置。在设计阶段录入所有设备参数、型号、运行周期、维保标准,搭建设备运维数字台账;结合仿真数据预判设备高频故障点位、能耗高发时段,提前优化设备布局与管线走向,预留运维检修空间。同时预设智能管控逻辑,实现建筑温湿度、能耗、安防、设备运行的自动监测、预警、调控,让建筑建成后可直接实现智能化、自动化运维,彻底解决传统设计重建设、轻运维的弊端,提升智慧建筑长效运营能力^[4]。

5 设计应用保障措施

5.1 强化数据标准化管控

数字孪生设计的核心是数据,数据精度与标准化程度直接决定设计质量。设计过程中需严格遵循建筑数字化标准,统一模型搭建标准、数据格式、参数口径,确保GIS数据、BIM模型数据、传感监测数据、气象能耗数据互通兼容。建立数据校核机制,对采集的场地数据、设备参数、仿真数据进行逐一对核,杜绝数据偏差、缺失、错乱问题,保障孪生模型与物理建筑高度契合,为动态仿真、迭代优化、智能设计提供精准的数据支撑。

5.2 提升设计人员专业能力

数字孪生智慧建筑设计融合BIM建模、大数据仿真、智能化系统设计等多项技术,对设计人员综合能力要求较高。企业需常态化开展专项培训,重点讲解数字孪生模型搭建、仿真软件操作、多专业协同设计、能耗优化设计等核心技能,提升设计人员数字化设计能力。同时建立师徒帮带、技术交流机制,鼓励设计人员结合工程实际优化设计方法,积累数字化设计经验,打造专业化、数字化设计团队,保障数字孪生设计体系高效落地。

5.3 完善协同设计管理机制

搭建统一的数字孪生协同设计平台,建立多专业同步设计、实时校核、动态更新的工作机制,明确各专业设计职责、流程标准与校核规范。落实设计全过程管控,对方案设计、模型搭建、仿真优化、图纸输出各环节进行严格审核,杜绝设计漏洞与质量缺陷。建立设计迭代机制,根据施工反馈、仿真数据、工况变化持续优化设计方案,形成“设计—校核—仿真—优化”的闭环管控体系,全面提升智慧建筑数字化设计质量。

6 结束语

智慧建筑是建筑行业数字化转型的核心方向,传统设计模式已无法满足智慧建筑精细化、智能化、长效化的建设需求。基于数字孪生虚实映射、动态仿真、数据迭代的技术优势,构建全新的智慧建筑设计方法,有效解决传统设计协同性弱、模拟精度低、运维脱节等痛点。经真实工程数据验证,该设计体系可显著优化建筑性能,降低建设与运维成本。未来,随着数字孪生与人工智能、大数据的深度融合,将进一步推动智慧建筑设计向自动化、精准化升级,为绿色低碳、智慧高效的现代建筑建设提供技术支撑。

[参考文献]

- [1]郑猛.数字孪生的智慧建筑系统平台设计[J].智能建筑与智慧城市,2022(3):140-142.
- [2]米世成.会展场馆基于数字孪生建筑智慧运维系统的应用实践——以某会展中心为例[J].通信与信息技术,2024(3):111-114.
- [3]艾晓燕.数字孪生在建筑智慧运维系统中的应用探讨[J].科技创新与生产力,2024,45(9):36-40.
- [4]李艳,宋晋,卢严.基于数字孪生的绿色低碳建筑管理平台设计与实现[J].现代信息科技,2025,9(3):146-152.

作者简介:

申洋(1991—),男,汉族,陕西人,本科,中级工程师,研究方向:从事水利、水电、新能源及城市建设的建筑设计和景观生态设计工作。