

建筑设计中“形式追随功能”理论的现代演绎与实践

王金凤 刘琳曼

中国五洲工程设计集团有限公司 北京 100053

摘要: 本论文聚焦建筑设计中“形式追随功能”理论的现代发展,深入探讨其在技术层面的创新演绎与实践应用。通过构建功能驱动的建筑形态生成技术体系,建立建筑系统功能集成度量化评价模型,研究高性能建筑功能载体制造技术,开展建筑功能系统的数字孪生验证,以及探索功能可持续性增强技术,系统揭示该理论在当代建筑设计中如何借助先进技术实现功能与形式的深度融合,为现代建筑设计的创新发展提供理论与技术支撑。研究表明,多学科技术的交叉应用使建筑功能与形式的协同达到新高度,推动建筑向智能化、可持续化方向发展。

关键词: 形式追随功能; 建筑设计; 技术创新; 功能集成; 数字孪生; 可持续性

引言: 19世纪末,路易斯·沙利文提出“形式追随功能”理论,打破古典建筑形式至上观念,强调功能主导形态,为现代建筑发展奠基。早期实践中,该理论推动建筑师以功能为核心,打造简洁实用建筑。但随着城市化、社会需求变化及科技进步,现代建筑面临使用效率、环境适应等复杂功能需求,同时计算机、材料等领域技术突破带来新机遇。因此,这一理论亟待在现代技术环境下重新诠释,以实现建筑功能与形式的深度融合。

1 功能驱动的建筑形态生成技术体系

1.1 多目标优化算法与形态生成

在建筑设计的实践中,传统形态生成方式常陷入顾此失彼的困境,难以统筹兼顾使用效率、结构刚度与能耗平衡等多元功能需求。多目标优化算法的出现,为破解这一难题开辟了新路径。其中,NSGA-II算法作为经典代表,通过模拟自然进化中的选择、交叉、变异过程,在相互冲突的目标间探寻最优解集。其核心的非支配排序策略,能依据个体间的支配关系进行分层筛选,优先选取非支配个体,保障解集在目标空间内均匀分布且收敛。

对于异形曲面建筑,NURBS参数化建模与有限元网格协同技术发挥着关键作用。NURBS模型凭借控制点与权因子,精准刻画复杂曲面形态,其参数化特性便于设计师灵活调整。在与有限元网格协同运作时,NURBS模型可直接转换为分析网格,获取结构应力、位移等数据后,再反馈优化形态,形成“建模-分析-优化”的闭环。此外,生成式设计中的功能拓扑关系编码技术,借助空间邻接矩阵与图论算法,将功能逻辑转化为数学模型,

依需求自动生成多样化建筑形态拓扑结构,极大拓展了设计可能性。

1.2 动态功能需求的形态响应机制

现代建筑使用场景日趋复杂多变,这要求建筑结构必须具备主动适应功能需求的能力。形状记忆合金(SMA)凭借独特的形状记忆效应与超弹性,成为可变形建筑结构的核​​心材料。SMA驱动系统利用马氏体相变原理,高温时处于塑性良好的奥氏体相,低温转变为马氏体相后经外力变形,加热又可恢复原状,从而实现结构形态的可控调整。

4D打印技术在3D打印基础上融入时间维度,通过对打印材料编程,使其在温度、湿度等环境刺激下发生形态变化。在临时建筑领域,该技术可预先设定材料变形程序,满足不同阶段功能需求,显著提升建筑适应性与资源利用率。磁流变液(MRF)作为智能材料,其流变特性受磁场控制。MRF阻尼器在建筑中兼具振动控制与形态调节功能,通过改变磁场强度调整粘度抑制振动,或精准控制磁场实现结构形态微调,为建筑动态功能响应提供了高效解决方案。

2 建筑系统功能集成度量化评价模型

2.1 功能耦合度评估指标

建筑作为复杂系统,其结构、设备、围护等子系统的协同程度直接关乎整体性能。基于熵权法的协同度计算模型,以信息熵理论为根基,通过量化各子系统的熵值确定权重,进而科学评估子系统间协同程度。信息熵表征数据无序性,熵值越低,指标信息含量越高,对系统评价的影响力越大。该模型能够精准剖析子系统间的相互作用关系,为建筑系统设计的优化升级提供量化依据。

空间句法分析在评估空间功能混合度方面独具优

第一作者简介: 王金凤(1987年—),女,汉族,陕西省榆林市人,大学本科,工程师。

第二作者简介: 刘琳曼(1992年—),女,汉族,河北省石家庄市人,硕士研究生,工程师。

势,其核心概念视域整合度可衡量空间在整体系统中的可达性与可视性。通过计算视域整合度,并与实际使用强度关联分析,能够精准判断空间功能布局是否合理,深度挖掘空间使用规律,为优化空间功能混合程度提供数据支撑。

建筑性能衰减预测模型融合蒙特卡洛模拟与材料疲劳寿命曲线,对建筑长期使用中的性能演变进行预测。蒙特卡洛模拟通过随机抽样处理不确定性因素,模拟性能变化;材料疲劳寿命曲线描述循环荷载下的疲劳损伤规律。两者结合,可准确预测建筑各系统在不同阶段的性能衰减趋势,为建筑维护、更新决策提供科学参考。

2.2 功能冗余度设计标准

在建筑关键功能系统设计中,功能冗余度是保障系统可靠性与安全性的核心策略。关键功能系统遵循N+1冗余配置准则,在消防疏散、能源供应、结构安全等关键领域,除正常运行设备外,额外配置备用单元。这种配置方式可在主系统故障时快速切换,确保关键功能不间断运行。

基于可靠性理论的功能模块备份策略,运用故障树分析(FTA)等方法,对分布式能源系统等复杂功能系统进行可靠性评估。以系统故障为顶事件,逐层剖析致障因素及逻辑关系构建模型,通过计算基本事件概率与重要度,锁定关键功能模块并制定备份方案,提升系统整体可靠性。

极端工况下的建筑韧性评估框架,针对地震、火灾、洪水等灾害场景,构建涵盖结构抗灾性能、功能维持时间、灾后恢复能力等多维度的评估体系。通过模拟分析与实验验证,评估建筑在极端情况下的功能响应,为防灾减灾设计提供指导,保障建筑在极端条件下维持关键功能,守护人员生命安全与基本生活需求。

3 高性能建筑功能载体制造技术

3.1 3D打印建筑的功能化构造

3D打印技术革新了建筑功能化构造路径。连续碳纤维增强复合材料梯度打印工艺,通过精准调控碳纤维铺设方向、含量及打印层厚,实现构件力学与热工性能的梯度变化。在建筑结构关键受力处增加碳纤维含量、优化铺设角度,可显著提升承载能力;于隔热保温区域调整材料配方与打印参数,有效增强热工性能,达成功能与性能的深度集成。

微胶囊相变材料(PCM)挤出式打印技术,将PCM封装于微胶囊,借助3D打印设备精准控制其在构件中的分布。PCM在温度波动时发生相变,通过吸放热调节室内温度。该技术实现PCM均匀分布与精确控制,相比传

统材料,大幅提升建筑热能存储密度与温度调节效能。

嵌入式传感网络原位集成利用3D打印逐层堆积特性,将应变、温度、湿度等传感器预埋于构件内部。经合理规划传感器布局与通信线路,实现多参数同步监测,避免后期安装对结构的破坏,为建筑健康监测与智能运维提供实时数据支撑。

3.2 智能功能表皮的制造技术

智能功能表皮是建筑与环境交互的核心载体。电致变色玻璃柔性电极喷涂工艺,采用溶液喷涂或物理气相沉积法制备电极,通过电压调控电致变色材料氧化还原状态,实现0-70%透光率动态调节。该技术可依光线强度与用户需求自动调光,优化采光同时降低照明与空调能耗。

形状记忆聚合物(SMP)百叶4D打印成型,利用SMP形状记忆特性编程变形条件与形态。打印时精准控制材料成分、结构及工艺参数,使百叶在太阳辐射、温度变化下5秒内快速响应,自动调整角度,平衡遮阳与采光,提升室内舒适度和能源效率。

压电陶瓷发电地板模块化组装基于压电效应,将人行荷载转化为电能。受压时压电陶瓷产电,经结构与电路设计实现电能收集存储。模块化设计便于安装维护与功能扩展,15W/m²的能量回收效率为建筑提供绿色能源,可驱动小型设备或补充照明用电。

4 建筑功能系统的数字孪生验证

4.1 虚拟调试技术体系

数字孪生技术为建筑功能系统的调试和优化提供了全新途径。基于Unity3D的机电系统数字孪生平台,通过建立机电设备的三维模型,并集成设备运行数据、控制逻辑等信息,实现对机电系统运行状态的实时映射,映射误差控制在3%以内。在虚拟环境中,可模拟不同工况下机电系统的运行情况,提前发现设备安装冲突、控制逻辑错误等问题,进行虚拟调试和优化,减少现场调试时间和成本,提高项目实施效率。

HIL(硬件在环)测试中的功能逻辑验证方法,将实际的PLC(可编程逻辑控制器)程序与虚拟的建筑功能系统模型进行交互仿真。在测试过程中,PLC程序控制虚拟模型的运行,虚拟模型的反馈数据又作为PLC程序的输入,形成闭环测试系统。通过这种方式,能够全面验证建筑控制系统的功能逻辑正确性,确保实际系统运行的稳定性和可靠性。

建筑气密性的CFD-实验联合验证流程,结合计算流体力学(CFD)模拟和现场压力测试实验,对建筑气密性进行精确评估。CFD模拟可在设计阶段预测建筑的气流分布和压力变化,指导建筑围护结构设计;现场压力

测试则通过实际测量获取建筑的气密性能数据。将两者结果进行对比分析,能够准确评估建筑气密性,为优化建筑节能设计提供依据。

4.2 使用后评估(POE)数据挖掘

使用后评估是了解建筑实际使用效果、优化建筑设计的重要环节。WiFi指纹定位与空间使用热力图关联模型,利用WiFi信号的强度和分布特性,通过机器学习算法建立指纹数据库,实现对人员在建筑空间内位置的精确定位,定位精度达0.5m,采样频率1Hz。将定位数据与空间使用热力图相结合,可直观展示建筑空间的使用强度和热点区域,为分析空间使用效率、优化空间功能布局提供数据支持。

眼动追踪技术通过记录用户在建筑空间中的视线移动轨迹和停留时间,分析视线停留时间与功能需求的匹配度,评估建筑空间设计是否符合用户认知和使用习惯。该技术可用于发现空间设计中的不合理之处,如视线遮挡、功能标识不清晰等问题,为改进建筑空间设计提供参考。

机器学习驱动的设施故障预测算法,利用LSTM(长短期记忆)神经网络对电梯运行数据等设施运行数据进行分析。LSTM神经网络能够有效处理时间序列数据,学习设施运行数据中的长期依赖关系和变化规律。通过对大量历史数据的训练,建立设施运行状态预测模型,提前识别设施运行中的异常情况,预测故障发生概率,实现设施的预防性维护,降低维护成本,提高设施运行可靠性。

5 功能可持续性增强技术

5.1 建筑碳汇功能强化技术

在应对全球气候变化的背景下,建筑碳汇功能强化技术具有重要意义。藻类生物反应器立面通过构建光生物反应器系统,利用藻类的光合作用吸收大气中的CO₂。优化光生物反应器流场均匀性设计,可提高藻类的光照效率和生长速率,进而提升CO₂吸收速率。在建筑设计中,将藻类生物反应器与建筑立面相结合,不仅能够实现建筑碳减排,还可形成独特的生态景观。

直接空气捕获(DAC)装置与建筑通风系统的集成方案,通过优化通风系统设计和DAC装置的运行参数,实现高效的CO₂捕获和低能耗运行。DAC装置采用吸附剂或吸收剂捕获空气中的CO₂,与建筑通风系统集成后,可利用建筑通风气流输送空气,减少单独运行所需的能耗,降低40%的运行成本,同时实现建筑内部空气质量改善和碳减排双重目标。

碳化混凝土再生技术通过纳米SiO₂改性增强,在保证混凝土力学性能的前提下,加速混凝土的碳化过程。纳米SiO₂能够填充混凝土孔隙,改善其微观结构,提高碳化反应速率和深度,促进混凝土对CO₂的吸收。该技术不仅实现了建筑材料的再生利用,还增强了混凝土的碳汇能力,推动建筑行业的可持续发展。

5.2 城市微气候调节功能

城市微气候调节功能是提升城市宜居性的关键。相变材料(PCM)蓄冷路面通过在路面材料中添加PCM,利用其相变潜热特性吸收和释放热量。在白天高温时段,PCM吸收热量发生相变,降低路面温度;夜间则释放热量,使夜间地表温度降低3-5℃,有效缓解城市热岛效应。

喷雾降温系统的水雾粒径控制技术对降温效率起着决定性作用。通过优化喷头结构和喷雾参数,将索特平均直径D32优化至20μm,使水雾在空气中具有合适的蒸发速率和扩散范围。较小的水雾粒径能够增加水的表面积,提高蒸发效率,从而实现高效降温。

垂直森林建筑的冠层气动阻力模型,通过CFD模拟与风洞试验相结合的方法,研究植物冠层对气流的阻力作用。CFD模拟可在不同尺度和工况下分析冠层气动特性,风洞试验则用于验证模拟结果的准确性。通过建立准确的冠层气动阻力模型,为垂直森林建筑的植物配置、结构设计提供理论依据,有效调节建筑周边风速和气流分布,改善城市微气候环境。

结语

本论文深入探究“形式追随功能”理论在现代建筑设计中的创新实践,多学科技术融合推动建筑功能与形式深度交融,显著提升建筑智能化、可持续化水平。但建筑技术迭代迅速,人工智能、量子计算等新兴技术带来新机遇与挑战。未来需持续深化跨学科协同,创新理论与技术体系,以应对动态多变的社会需求,推动建筑行业向更高质量、更可持续的方向迈进。

参考文献

- [1]王澍.生态与功能的共生:宁波博物馆的设计实践[J].建筑学报,2019(7):36-43.
- [2]李振宇.形式追随共享:当代建筑的新表达[J].人民论坛·学术前沿,2020(4):54-61.
- [3]张永和.折叠空间:参数化设计中的功能拓扑重构[J].时代建筑,2021(3):42-47.
- [4]青锋.被误解的“形式追随功能”——沙利文有机功能主义思想溯源[J].建筑史学刊,2024,5(1):12-21.