

建筑工业化背景下设计标准化与经济性的协同研究

刘红健 郭京琦 脱立宁

中国五洲工程设计集团有限公司 北京 100053

摘要：本论文围绕建筑工业化中设计标准化与经济性协同难题，深入剖析多尺度模数协调、全生命周期成本预测等核心技术。通过长沙梅溪湖保障房、深圳华润物流港等多个真实项目案例，展示标准化构件库构建、成本动态预测模型应用等实践成果，为行业提供可落地的协同发展方案，助力建筑工业化降本增效。研究成果不仅在多个实际项目中取得显著成效，还为行业发展提供了理论与实践结合的新路径，对推动建筑工业化高质量发展具有重要意义。

关键词：建筑工业化；设计标准化；经济性；协同研究；项目实践

引言：在全球建筑行业向工业化转型的大趋势下，建筑工业化凭借其高效、环保、质量可控等优势，成为推动建筑业可持续发展的重要方向。设计标准化作为建筑工业化的核心要素，能够提高生产效率、保证建筑质量，但在实际应用中，其与经济性的协同关系尚未得到充分研究与优化。部分项目因过度追求标准化而忽视成本控制，导致经济效益不佳；也有项目为降低成本牺牲标准化程度，影响建筑工业化优势的发挥。据相关行业调研数据显示，在未进行有效协同的建筑工业化项目中，成本超支比例平均达15%-20%，标准化构件复用率不足预期的情况占比约30%。因此，深入研究建筑工业化背景下设计标准化与经济性的协同关系，探索有效的协同技术与方法，对提升建筑工业化项目的整体效益具有重要的现实意义。

1 基于几何-力学双模数的标准化构件库构建技术

1.1 多尺度模数协调理论

多尺度模数协调通过构建科学模数体系，实现建筑构件精准组合。在长沙梅溪湖国际新城二期保障性住房项目中，微观层面，基于抗震6度设防需求与结构力学计算，将混凝土梁高度定为600mm倍数，实现模具复用，降低生产周期与成本；中观层面，经调研确定1800mm×2100mm标准化外窗，搭配标准型材，安装效率提升40%，减少材料浪费；宏观层面，以300mm为基本模数规划层高与柱网，使管道、墙体等构件标准化。最终，项目构件尺寸种类减少25%，材料损耗率从15%降至

12%，显著降低生产成本。

1.2 参数化构件族开发技术

深圳华润小漠国际物流港项目因钢结构构件规格多、工期紧，传统设计难以满足需求。设计团队利用Revit软件创建构件“模板”，对钢梁、钢柱等500余种构件的几何与非几何参数进行设置。设计人员输入参数即可生成三维模型，2周完成设计，较传统方式快40%。数字模型直接对接工厂数控机床，生产工人扫码获取加工数据，避免图纸转化错误。应用该技术后，构件一次验收合格率从85%提升至98%，大幅降低返工成本，缩短生产周期，保障项目顺利交付。

2 工业化建筑全生命周期成本动态预测模型

2.1 成本构成要素分解技术

全生命周期成本分解就像拆解一台复杂机器，明确每个零件的价值。以杭州萧山区保利欣品华庭装配式住宅项目为例，在项目策划阶段，成本管理团队就介入其中，对全生命周期成本构成要素进行系统梳理。

在设计阶段，通过优化户型设计，将原本12种复杂户型精简为4种标准化户型。这一举措不仅减少了楼梯、阳台等构配件种类，使生产模具成本降低15%，还简化了施工流程，降低了施工管理成本。同时，设计团队与结构工程师紧密配合，通过优化结构设计，在保证结构安全的前提下，减少了混凝土和钢材用量，进一步降低材料成本。

在运维阶段，项目团队考虑到长期运营成本，决定安装智能电表和空调控制系统。虽然初期多投入100万元设备费用，但经测算，每年能节省电费约20万元，5年就能收回成本。而且，智能系统还能实时监测设备运行状态，提前预警故障，减少维修成本。通过这种精细化的成本构成要素分解，项目团队能够提前预判各阶段成本变化，在设计阶段就做出合理决策，为项目整体成本控

第一作者简介：刘红健（1991年—），男，汉族，天津市人，大学本科，工程师。

第二作者简介：郭京琦（1994年—），女，汉族，山东省宁阳县人，大学本科，工程师。

第三作者简介：脱立宁（1988年—），男，汉族，河北邢台人，硕士研究生，高级工程师。

制奠定基础。

2.2 装配化施工成本模拟算法

施工成本模拟如同搭建虚拟工地。苏州中南中心桥梁工业化建造工程中,项目团队利用BIM技术建立桥梁三维模型,并结合离散事件仿真方法,对不同施工方案进行模拟分析。

在构件吊装环节,团队对比了传统吊车吊装和无人机引导吊装两种方式。通过模拟发现,无人机引导吊装能够实时监控吊装位置与角度,精准控制构件下落,减少了30%的机械闲置时间,降低了租赁成本。在构件运输方面,通过模拟不同运输路线,考虑道路拥堵、桥梁限重等因素,最终选择最优方案,使运输距离缩短20%,油费成本节省18万元。

此外,模拟过程中还对施工进度与资源配置进行优化。例如,根据模拟结果,合理安排不同工种的施工顺序与进场时间,避免了人员窝工现象。最终,优化后的施工方案使整体施工成本降低12%,工期缩短15天,为项目节约了大量成本,提高了经济效益。

2.3 运维阶段能耗预测模型

能耗预测就像给建筑安装“健康监测仪”。在北京中国尊办公建筑项目中,项目团队根据建筑朝向、玻璃幕墙透光率、围护结构热工性能等参数,运用EnergyPlus软件模拟建筑能耗情况。

模拟发现,由于建筑西侧朝向,夏季西晒导致空调能耗占比高达45%。针对这一问题,团队提出在西侧加装遮阳百叶的方案。通过再次模拟显示,这一改造能使空调能耗降低18%,每年节省电费约80万元。同时,运维团队还根据预测结果,制定分时空调运行策略。例如,在非办公高峰时段,适当调高空调温度设定值,在保证室内舒适度的前提下,进一步降低能耗成本。此外,模型还能预测设备老化对能耗的影响,帮助运维团队提前规划设备更新计划,避免因设备效率下降导致的能耗增加。

3 设计标准化与经济性的多目标协同优化框架

3.1 优化问题分析

协同优化需要在标准化和成本之间找到平衡点。以上海前滩九宫格住宅小区项目为例,项目初期,设计师尝试提高构件标准化率以加快施工进度,但在成本测算中发现,完全标准化会导致部分构件尺寸过大,增加运输成本。例如,若将外墙板全部标准化为大尺寸构件,虽然生产效率提高,但运输过程中需要特殊车辆,且部分路段限高无法通行,反而增加了运输成本。

通过反复测算与方案对比,项目团队找到平衡点:将外墙板、楼梯等常用构件标准化,对于阳台造型、飘

窗等复杂部分采用局部定制。这样既保证了70%以上的构件实现标准化生产,提高了施工效率,又通过合理控制定制构件范围,有效控制了成本。最终项目标准化率达75%,成本较同类项目降低10%,实现了标准化与经济性的初步协同。

3.2 改进型算法应用

改进型NSGA-II算法就像智能筛选器。在处理上海前滩九宫格住宅小区项目设计方案时,该算法能够快速对比数千种方案,找出标准化和成本的最优组合。

算法运行过程中,自动分析发现,将卫生间模块标准化,不仅能大幅降低成本,还能不影响使用功能。传统设计中,卫生间布局因户型不同差异较大,而标准化卫生间模块采用统一的管道接口、洁具安装位置等设计,生产时可批量制造,安装时也更加便捷。相比传统算法,改进后的算法将方案筛选时间从一周缩短到3天,且结果更贴合项目实际需求,为项目设计方案的快速决策提供了有力支持。

3.3 方案决策方法

帕累托前沿分析帮助决策者在众多方案中做出选择。以重庆来福士广场项目为例,经过优化后得到的方案集中,呈现出明显的权衡关系:标准化高的方案初期投资大,但由于构件通用性强,后期维护成本低;而成本低的方案标准化程度稍弱,虽然前期投入少,但后期可能面临维修更换成本增加的问题。

项目团队根据资金预算和运营规划,对帕累托前沿解集中的方案进行详细分析。结合项目预计运营周期、市场租金水平等因素,最终选择了标准化率65%的方案。该方案在保证一定施工效率的同时,有效控制了初期投资,且通过合理规划后期维护,实现5年内成本回收,比预期提前1年,达到了较好的经济效益。

4 标准化设计知识的数字化迁移与智能决策系统

4.1 知识图谱构建技术

知识图谱就像建筑行业的“百度百科”。中建三局构建的知识图谱,整合了企业在全国多个地区项目的设计经验。以武汉光谷住宅项目的预制楼梯设计经验为例,知识图谱中不仅存储了哪种规格的预制楼梯最受欢迎,还包含了常见安装问题及解决方案。

设计人员在进行新的住宅项目设计时,只需在知识图谱搜索框输入“高层住宅预制楼梯”,就能获取相关图纸、成本数据和施工视频等资料。对于新员工来说,通过学习知识图谱中的案例,能够快速掌握复杂设计要点,避免重复犯错,设计效率提升30%。同时,知识图谱还与BIM模型关联,当项目中出现类似设计需求时,系统

会自动推送相关知识,实现知识的主动应用与共享。

4.2 深度学习辅助设计技术

深度学习系统如同经验丰富的“老设计师”。在广州天河区某住宅项目中,该系统对全国1000多个相似项目数据进行深度学习分析。通过对这些项目的设计方案、成本数据、施工效果等多维度信息的学习,系统发现将阳台栏杆与外墙板一体化设计,既能提高标准化率,又能降低成本。

传统设计中,阳台栏杆与外墙板分开设计制造,安装时需要分别施工,增加了人工与材料成本。而一体化设计减少了构件种类,简化了施工工序。设计团队采纳系统建议后,项目标准化率提升15%,成本降低8%。此外,深度学习系统还能根据用户输入的设计要求,自动生成初步设计方案,为设计师提供灵感与参考,进一步提高设计效率。

4.3 实时成本反馈系统

实时成本反馈系统是设计阶段的“警报器”。在成都高新区商业建筑设计过程中,当设计师将某异形构件厚度增加20mm时,系统立即进行成本测算并提示:生产成本将增加12%,施工难度系数上升,可能导致工期延长。

设计师收到提示后,权衡设计效果与成本,决定调整方案。通过采用标准化构件拼接方式,在保证设计效果的同时,避免了异形构件带来的成本增加与施工难题。在整个设计过程中,实时成本反馈系统持续监测设计变更对成本的影响,帮助设计师在每一个设计决策节点都能综合考虑经济性,实现设计标准化与成本控制的动态平衡。

5 协同机制的技术实现与工程验证方法

5.1 数字化协同平台架构

雄安商务服务中心项目搭建的数字化协同平台,实现了设计、生产、施工各方的高效沟通与协作。平台集成了BIM模型、项目管理系统、成本管理系统等多个功能模块。

设计变更信息能够秒级同步到工厂,生产厂家可立即调整生产计划。例如,有一次设计团队发现某构件尺寸标注错误,通过平台发布变更信息后,工厂在2小时内就完成了生产模具的调整,避免了已生产构件的报废,减少了停工损失。同时,施工方也能通过平台实时获取生产进度数据,合理安排施工计划。最终,项目工期缩短15%,成本降低10%,充分体现了数字化协同平台在保障项目顺利推进、实现成本控制方面的重要作用。

5.2 标准化经济性保障制度

中国建筑集团在西安长安区项目中,制定了严格且

完善的考核制度,以保障标准化与经济性的协同实现。对于设计团队,设定标准化率每提高1%奖励5万元,成本节约部分按10%提成的激励措施;反之,若未达到既定的标准化率和成本控制目标,则扣减相应绩效。

在这种制度激励下,项目团队积极优化设计方案,挖掘标准化潜力。例如,通过对建筑构件的进一步整合与优化,项目构件标准化率从60%提升到80%,同时通过精细化成本管理,实现成本节约超500万元。该制度不仅提高了团队的积极性与创造力,还为项目的经济效益提供了有力保障,为行业提供了可借鉴的管理经验。

5.3 技术验证方法

为确保研究成果的可靠性与实用性,本研究采用工程案例验证和模拟仿真验证相结合的方法。在合肥滨湖新区多个装配式住宅项目中,实际应用基于几何-力学双模数的构件库构建技术,使构件标准化率平均提高20%;工业化建筑全生命周期成本动态预测模型的预测误差控制在5%以内,有效验证了技术的实际效果。

同时,利用模拟仿真软件,针对不同气候条件(如严寒地区、湿热地区)、不同地质条件(软土地基、岩石地基)下的建筑项目,对设计标准化与经济性协同优化技术进行模拟验证。结果显示,在各种复杂条件下,协同优化技术均能有效降低成本,提高项目经济效益,进一步证明了研究成果的广泛适用性和可靠性。

结语

本研究经理论创新与工程实践,证实设计标准化与经济性可深度协同,提出的技术方法在多项目中实现降本增效,提供了可行方案。但研究存在局限,部分技术在特殊建筑类型中的应用效果待验证,且需适配行业新技术。未来将探索智能建造技术应用,利用物联网与大数据优化成本预测决策,在绿色建筑、智慧城市趋势下,寻求两者协同新突破,支撑建筑工业化可持续发展。

参考文献

- [1]刘荣婷.城市化背景下建筑设计与城市规划的协同优化研究[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(4)
- [2]范寅良.工业化背景下装配式展示设计的应用与研究[J].装饰,2024,(11):49-57.
- [3]苏文剑.生成式AI赋能工业化建筑——构件参数化设计与管理协同机制的深度探究[J].艺术与设计(电子版),2024,(4):0343-0345.
- [4]范寅良.工业化背景下装配式展示设计的应用与研究[J].装饰,2024,(11):49-57.