

基于 BIM 技术的铝模板现浇楼梯一次浇筑成型 施工技术研究

申定龙, 刘学勇, 卢文培, 刘坤
中煤第三建设(集团)有限责任公司, 安徽 宿州 234000
DOI:10.61369/ERA.2026100003

摘 要 : 高层现浇楼梯传统模板施工存在成型质量差、修补量大、成本与工期管控难等问题, 依托二维图纸开展铝模施工, 受楼梯变截面复杂节点制约, 易出现配模冲突、浇筑缺陷等问题, 无法实现一次免修补成型。以高层住宅工程为依托, 融合 BIM 数字化技术, 整合参数化建模、多专业碰撞检测、4D 施工仿真、可视化交底与数字化验收手段, 优化楼梯铝模构造、支撑体系与浇筑工艺, 同步优化防滑条一体浇筑成型构造、成品保护前置管控措施, 构建铝模楼梯一次浇筑成型施工体系。工程实践表明, 该技术可有效解决踏步错台高低差超标、踢面倾斜不垂直、缺棱掉角、梯板梯梁交接漏浆、粘模脱皮、踏步起砂麻面等楼梯施工质量通病, 大幅提升楼梯一次成型合格率, 缩减人工修补成本与施工工期, 减少材料损耗与建筑垃圾, 可为同类高层现浇楼梯精细化施工提供技术借鉴。

关 键 词 : BIM; 铝合金模板; 现浇楼梯; 一次浇筑成型; 深化设计; 4D 施工模拟; 防滑条一体成型; 成品保护

Research on One-Pour Forming Construction Technology of Cast-In-Place Stairs With Aluminum Formwork Based on BIM Technology

Shen Dinglong, Liu Xueyong, Lu Wenpei, Liu Kun
China Coal No.3 Construction (Group) Co., Ltd., Suzhou, Anhui 234000

Abstract : The traditional formwork construction of cast-in-place stairs in high-rise buildings suffers from poor forming quality, extensive repair work, and difficulties in cost and construction schedule control. When aluminum formwork construction is carried out relying on two-dimensional drawings, restricted by complex joints of variable-section stairs, formwork matching conflicts and pouring defects tend to occur, and one-time repair-free forming cannot be realized. Based on a high-rise residential project, BIM digital technology is integrated, including parametric modeling, multi-disciplinary collision detection, 4D construction simulation, visual technical disclosure and digital acceptance. The aluminum formwork structure, support system and pouring process of stairs are optimized. Meanwhile, the integrated pouring structure of anti-skid strips and pre-control measures for finished-product protection are improved, and a construction system for one-pour forming of aluminum-formwork stairs is established. Engineering practice shows that this technology can effectively eliminate common construction quality defects of stairs such as excessive height difference of step staggering, inclined and non-vertical risers, edge chipping, slurry leakage at joints between stair slabs and stair beams, formwork sticking and peeling, as well as sanding and pitting on step surfaces. It greatly improves the qualification rate of one-time forming of stairs, reduces manual repair costs and construction periods, and cuts down material loss and construction waste. It can provide technical reference for the refined construction of similar high-rise cast-in-place stairs.

Keywords : BIM; aluminum alloy formwork; cast-in-place stairs; one-pour forming; detailed design; 4D construction simulation; integrated forming of anti-skid strips; finished-product protection

一、研究背景及意义

相较于传统木模板刚度不足、周转次数低、成型缺陷多、后期修补成本高的弊端，铝合金模板凭借精度高、可循环、绿色低碳等优势已广泛应用于高层住宅施工，但现浇楼梯变截面、复杂节点多，依托传统二维图纸开展铝模深化配模存在空间表达不足、构件易碰撞、排气振捣构造缺失、支撑布设不合理等问题，导致楼梯混凝土难以一次浇筑成型、踏步错台高低差超标、踢面倾斜不垂直、缺棱掉角、梯板梯梁交接漏浆、粘模脱皮、踏步起砂麻面等质量通病多发、成型合格率偏低，制约铝模施工质量与效率优势^[1-2]。BIM 技术具备三维建模、碰撞检测、4D 仿真与数字化管控能力，可实现施工方案前置优化与风险预控，现有研究多集中于墙体、梁板铝模优化，针对楼梯复杂节点、防滑条一次带出、成品保护及一次成型成套施工技术的系统性研究较为欠缺。基于此，本文结合工程实际，依托 BIM 技术开展楼梯铝模深化优化与浇筑工艺改进研究，同步配套浇筑同步成型防滑条、全流程成品保护措施，解决传统施工经验化、缺陷多、返工量大的问题，对提升现浇楼梯成型质量、缩短工期、降低成本、实现精细化绿色施工具有重要工程应用价值与推广意义。

二、工程应用效益分析

（一）工程概况

本研究依托某高层住宅建筑群工程开展实证应用，项目整体包含 12 栋 33 层剪力墙结构住宅，属于典型标准化高层住宅工程，建筑标准层统一采用全铝合金模板施工体系，契合现阶段绿色建筑与高效建设的行业发展要求。项目标准层每层对称布置 2 部现浇板式楼梯，楼梯结构集成梯段踏步、休息平台、梯梁，变截面节点构造复杂、成型精度要求高，浇筑阶段需同步一体成型踏步防滑条，成型后成品保护管控难度大，是现场质量管控的重难点部位。为精准量化 BIM 数字化优化工艺的应用价值，本次研究设置对照组与试验组开展对比分析，其中 1#、2# 楼栋采用传统二维施工图纸深化铝模施工工艺，依托经验化配模与现场管控模式施工；3#~12# 楼栋全面应用本文研发的 BIM 数字化深化 + 4D 仿真优化 + 一次浇筑成型成套施工技术，配套防滑条预埋一体成型构造、BIM 前置成品保护方案，在同等施工条件、班组配置、材料规格前提下，系统采集两类工艺的施工质量、工期、成本、安全及环保数据，完成多维度效益量化分析，研究数据具备真实性与工程代表性。

（二）成型质量效益对比

现有研究表明，传统二维图纸指导下的铝模楼梯施工，因空间可视化缺失、构造优化不足、振捣排气体系不完善、防滑条后置施工、成品保护措施缺失，极易引发踏步错台与高低差超标、踏步棱角破损、缺棱掉角、踏步面起砂麻面、踢面倾斜不垂直、梯梁与梯板交接处漏浆、粘模、表面脱皮、防滑条安装错位空鼓等质量通病，导致楼梯一次成型合格率偏低，后期需大量人工修补打磨、二次处理防滑条，严重影响混凝土成型观感与结构精

度^[3]。本文通过 BIM 参数化深化、多专业碰撞检测、踏步防滑条一体成型构造优化、4D 浇筑仿真模拟、前置成品保护方案推演，从设计源头规避施工缺陷，有效解决传统工艺质量管控痛点^[4-5]。为直观对比工艺优化效果，本次研究对两组楼梯标准层楼梯施工质量进行全覆盖抽检，重新编制质量缺陷频数统计表，核心质量指标数据统计结果如表 1 所示。

表 1 新旧施工工艺楼梯成型质量指标对比

检测指标	传统二维铝模工艺	BIM 数字化优化工艺	提升效果
踏步一次成型合格率	85.83%	98.70%	提升 12.87%
每层修补工序耗时	1.2h	0.1h	削减 91.7% 修补人工投入
每层综合缺陷平均数量	11.6 处	1.1 处	缺陷数量降低 90.5%
踏步错台、高低差超标率	14.17%	1.30%	尺寸偏差问题大幅减少
踢面倾斜、垂直度超标缺陷数	3.2 处 / 层	0.2 处 / 层	缺陷降低 93.75%
梯梁梯板交接漏浆、粘模脱皮缺陷	2.8 处 / 层	0.3 处 / 层	缺陷降低 89.3%
缺棱掉角、踏步起砂麻面缺陷	3.6 处 / 层	0.6 处 / 层	缺陷降低 83.3%
防滑条错位、空鼓返修率	12.6%	0.9%	防滑条成型缺陷大幅降低

表 2 传统工艺楼梯质量缺陷频数统计表（单标准层平均）

缺陷类型	单层出现频数	缺陷占比
踏步错台、高低差超标	3.2	27.6%
踢面倾斜、立面不垂直	2.9	25.0%
梯梁梯板交接漏浆、粘模脱皮	2.4	20.7%
缺棱掉角、踏步棱角破损	1.8	15.5%
踏步起砂麻面、气泡聚集	1.3	11.2%

表 3 BIM 优化工艺楼梯质量缺陷频数统计表（单标准层平均）

缺陷类型	单层出现频数	缺陷占比
踏步错台、高低差超标	0.3	27.3%
踢面倾斜、立面不垂直	0.2	18.2%
梯梁梯板交接漏浆、粘模脱皮	0.3	27.3%
缺棱掉角、踏步棱角破损	0.2	18.2%
踏步起砂麻面、气泡聚集	0.1	9.0%

施工重难点重写：

本项目现浇铝模楼梯施工核心重难点分为三大类：

1. 浇筑成型精度管控难点：楼梯梯段变截面连续变化，传统二维图纸无法直观校核踏步标高、踢面垂直度，配模时支撑间距、锁模力度无统一标准，极易出现踏步高低差、错台、踢面向内 / 向外倾斜；梯梁与梯板交接阴角位置模板密封措施缺失，振捣过程易出现漏浆、粘模，拆模后表面脱皮、麻面气泡集中。

2. 踏步边角与防滑条成型难点：踏步阳角无专用加固构造，浇筑振捣侧压力易造成棱角破损、缺棱掉角；传统防滑条多后期水泥砂浆粘贴，易出现空鼓、错位、脱落，人工二次施工工作量大，观感差。

3. 混凝土成品保护管控难点：楼梯拆模后人员通行、材料转运频繁，无前置防护方案易磕碰棱角、划伤踏步面层；传统施工仅后期简单覆盖防护，破损后修补难度大，增加修补成本。

BIM 优化配套措施：

1. 在 BIM 模型中增设踏步阳角加固铝模压条、梯梁梯板阴角密封企口构造,提前模拟振捣排气通道,减少气泡、漏浆;

2.BIM 参数化建模内嵌防滑条一体成型铝模卡槽,实现混凝土浇筑同步带出防滑条,取消后置粘贴工序;

3. 通过 4D 施工模拟推演拆模、转运、上人全流程,在模型中预设踏步护角、面层覆膜、通道围挡等成品保护构件,同步编入可视化交底文件,班组严格按模型防护方案执行。

(三) 工期、经济、安全与环保综合效益分析

结合相关研究成果可知,BIM 技术与铝模施工的深度融合,可实现施工方案前置优化、资源精准配置、工序高效衔接,同步集成防滑条一体浇筑、成品保护标准化措施,有效弥补传统施工经验化管控的短板,在工期压缩、成本降耗、安全提质、绿色施工等方面具备显著综合优势^[6]。本文结合项目实测数据,从四大维度完成效益系统性分析:

1. 工期效益显著提升。传统二维铝模施工模式下,楼梯存在配模偏差、浇筑缺陷多、返工修补频繁、防滑条后置二次施工、成品破损反复修复等问题,单标准层楼梯支模、浇筑、打磨修补、防滑条施工全流程施工周期约 1.5d。本文 BIM 优化工艺通过虚拟预拼装消除配模误差,依托 4D 仿真确定标准化浇筑工序,实现楼梯整体一次浇筑、防滑条同步成型,配套前置成品保护减少后期修复,单标准层楼梯施工工期缩短 0.5d。单栋 33 层楼栋累计节约施工工期 16.5d,有效加快标准层流水施工节奏,提升主体结构整体施工效率,契合高层住宅高效建造的施工需求。

2. 经济效益持续降耗。传统铝模施工依赖人工经验配模,非标构件数量多、现场切割损耗大、返工人工成本高,防滑条后置施工额外增加砂浆与人工投入,资源浪费问题突出^[2]。基于 BIM 参数化建模与虚拟预拼装技术,可精准匹配楼梯变截面节点尺寸,优化模板构件排布方案,项目铝模非标构件用量减少 22%,模板现场切割损耗降低 18%,大幅减少铝材耗材浪费。同时,工艺优化后每层楼梯修补、打磨、防滑条施工人工投入减少 1.1 工日,10 栋楼栋累计节约人工 363 工日,有效降低项目人工成本与材料损耗,提升工程整体经济效益。

3. 绿色环保效益突出。铝合金模板本身具备高周转、可回收、低污染的绿色建材优势,搭配 BIM 数字化精准施工体系,可彻底摒弃传统楼梯施工大面积抹灰修补、防滑条砂浆粘贴工艺,大幅减少砂浆、腻子等建筑垃圾产生量^[7]。精准配模有效规避铝材无效损耗,实现建材资源高效利用,降低施工过程中的环境污染,完全契合清水混凝土免抹灰施工的行业发展趋势,具备良好的生态推广价值。

4. 施工安全风险可控。高层楼梯施工属于高空高危作业,传统施工方案交底模糊、工序管控无序,易引发高空坠落、物体打击等安全隐患;同时成品破损后修补作业增加高空操作频次。本文通过 BIM 4D 施工仿真模拟,提前识别模板吊装、高空支模、混凝土浇筑、拆模转运等交叉作业风险点,结合移动端三维可视化交底,同步明确成品保护围挡、临时通行通道设置标准,规范班组标准化操作,大幅降低现场返工频次与高空作业风险,实现施工安全前置预控,提升项目安全管控精细化水平。

三、技术推广应用难点与优化对策

(一) 技术落地应用难点

结合现有 BIM 铝模应用研究及本项目落地实践来看,现阶段 BIM 数字化一次浇筑成型技术在高层楼梯施工中的规模化推广,仍存在技术适配性、人员专业性、产业链协同性等多重痛点^[8],具体难点如下:一是现场施工人员数字化素养不足,一线班组长期依赖传统施工经验,对 BIM 三维模型查阅、节点识图、数字化交底、防滑条一体成型构造、模型内成品保护方案的接受度与熟练度较低,导致数字化管控工艺落地存在偏差;二是楼梯变截面踏步等非标节点参数化建模流程繁琐,防滑条卡槽、阳角加固件等配套构件无标准化族库支撑,重复建模工作量大,制约施工前期深化效率;三是产业链数据协同断层,铝模加工厂家与施工单位 BIM 数据对接不规范,模型尺寸、构件编码无法直接转化为工厂加工图纸,易出现建模与加工信息错位,引发构件加工偏差。

(二) 针对性优化解决对策

针对上述技术落地难点,结合知网同类工程研究成果与项目实操经验,建立适配现场的数字化落地保障体系,提出针对性优化对策:一是构建分层化 BIM 培训与驻场指导机制,针对管理人员、施工班组开展差异化专项培训,重点讲解防滑条一体成型构造、踏步成品保护模型方案、错台垂直度控制节点,制作简易图文、动画交底手册,普及 BIM 模型识图与数字化施工要点,同时配置专职 BIM 技术员驻场指导,及时解决现场应用难题,提升全员数字化施工能力;二是搭建标准化参数化构件族库,整合本项目及同类高层住宅楼梯变截面踏步、防滑条卡槽、阳角加固压条等模型,建立可复用的 BIM 族库体系,后续同类项目可直接调用修改,大幅缩短建模深化周期,提升前置设计效率;三是统一 BIM 数据加工标准,规范模型尺寸标注、构件编码、图纸导出格式,打通“BIM 建模—工厂加工—现场施工”数据传输通道,将防滑条一体成型、密封防漏浆、成品保护配套构件同步纳入加工清单,实现全链条数据无缝对接,彻底消除信息偏差与加工误差,保障数字化施工体系高效落地。

四、施工优化效果分析

本文依托高层住宅实体工程,系统开展 BIM 技术赋能铝模楼梯一次浇筑成型施工技术研究,通过理论分析、仿真模拟、工程实证,得出如下结论:

第一,传统二维图纸深化的铝模楼梯施工模式存在明显技术短板,空间可视化缺失导致配模不合理、支撑体系失衡、排气振捣与密封构造缺失、防滑条无一体成型措施、无前置成品保护方案,引发踏步错台高低差超标、踢面倾斜不垂直、缺棱掉角、梯板梯梁交接漏浆粘模、踏步起砂麻面气泡聚集等多重质量通病,后期修补、防滑条二次施工、破损修复工序大幅增加工期与成本投入,施工精细化程度难以满足现代高层住宅建造要求。而依托 BIM 三维参数化协同建模、多专业碰撞检测与 4D 施工仿真技术,可在施工前置阶段完成踏步排气、阴角密封、防滑条一体卡

槽、阳角加固、成品保护通道围挡等专项优化，从设计源头规避各类成型缺陷。

第二，BIM 数字化技术与封闭式铝模楼梯一次浇筑成型工艺的融合应用，可实现楼梯梯段、休息平台、梯梁整体一次性浇筑成型，同步一体带出踏步防滑条，彻底摒弃传统二次补浇、防滑条后置粘贴与大面积修补工序，工程实测楼梯踏步一次成型合格率由 85.83% 提升至 98.70%，大幅降低踏步错台高低差、踢面垂直度超标、漏浆粘模、缺棱掉角、表面气泡麻面等各类质量缺陷发生概率，有效解决行业内铝模楼梯成型质量不稳定的核心难题。

第三，该数字化施工体系具备多维综合效益，可有效压缩标准层施工工期、降低铝材损耗与人工修补、防滑条施工成本，同步减少建筑垃圾排放、规避高空施工安全风险，配套标准化成品保护措施进一步降低后期修复投入，契合绿色建造、高效建造、安全建造的行业发展理念，适配高层标准化住宅现浇楼梯施工场景，工程推广适用性极强。

第四，通过 BIM 模型集成铝模构件、钢筋排布、支撑布设、防滑条成型构造、成品保护措施、质量验收等全流程数据，构建了可追溯的数字化质量管控闭环，推动楼梯施工从传统经验化管控向数字化、精细化、标准化管控转型，为同类现浇铝模楼梯数

字化施工管控提供了可靠参考。

五、结束语

本文构建的 BIM + 铝模楼梯一次浇筑成型施工体系，已在高层住宅工程中实现良好落地应用，配套防滑条一体浇筑、BIM 前置成品保护措施有效解决现场高频质量问题，但数字化、智能化升级仍有较大提升空间。后续研究可依托现有技术体系，融合物联网感知、数字孪生、人工智能等前沿技术，进一步完善智能化施工管控体系：一是搭建数字孪生动态管控平台，在铝模支撑体系内置微型应变传感器，实时采集混凝土浇筑全过程模板应力、形变数据，实现施工过程动态监测、风险实时预警，提升施工管控的智能化水平；二是引入 AI 智能配模算法，基于标准化楼梯构件库自动匹配最优配模方案，自动完成踏步防滑条、阳角加固等异形配件深化与碰撞优化，大幅降低人工建模工作量，提升前置深化效率；三是拓展全链条数字化应用，将 BIM 模型与质量验收、成品保护巡检、资料归档、成本核算系统深度联动，实现楼梯施工全生命周期数字化管控，进一步推动建筑铝模施工技术向智能化、标准化、绿色化方向迭代升级。

参考文献

- [1] 蒋东艳, 吴迪, 张健, 等. 基于 BIM 的铝合金模板配模及深化设计研究 [J]. 施工技术, 2022, 51(17): 48-52.
- [2] 钟鸣, 张双喜. BIM 技术在高层铝模楼梯施工中的应用 [J]. 四川建材, 2021, 47(01): 98-99.
- [3] 郑杰. 高层建筑铝模板楼梯一次成型质量提升措施 [J]. 工程质量, 2024, 42(08): 72-76.
- [4] 李海峰. 4D-BIM 施工仿真技术在铝模工程中的应用研究 [J]. 施工技术, 2023, 52(09): 102-106.
- [5] 王守贞. 现浇整体式混凝土楼梯施工质量控制 [J]. 建筑技术开发, 2020, 47(06): 55-56.
- [6] 住房和城乡建设部. JGJ/T 486-2020 铝合金模板应用技术标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
- [7] 黄轩安, 史月霞, 陈可楠, 等. 基于 BIM 技术的装配式建筑全过程信息化管理与数字化建造方法研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2022, 14(01): 45-60.
- [8] 赵亚锋. 基于 BIM 技术的某项目楼梯铝模施工方案设计 [J]. 绿色建筑与智能建筑, 2025(02): 113-115.