

装配式结构与铝模精度偏差与接缝处理控制技术研究

夏 宇 王锦培 胡显勇
中建五局土木工程有限公司 湖南 长沙 410000

摘 要：随着建筑工业化进程的加速，装配式结构与铝合金模板（铝模）一体化施工技术因其高效、节能、环保等优势，逐渐成为建筑领域的主流发展方向。然而，装配式结构与铝模在交接位置的拼接精度控制以及接缝漏浆与渗漏问题，成为制约该技术广泛应用的关键技术瓶颈。本文从理论层面深入剖析装配式结构与铝模交接位置的精度偏差成因，系统梳理接缝漏浆与渗漏的技术难点，提出基于尺寸结构优化的拼接精度提升方法，以及基于多级防渗体系的接缝漏浆控制技术，并结合国内外前沿研究成果与行业发展趋势，为装配式结构与铝模一体化施工技术的标准化、精细化发展提供理论支撑与实践指导。

关键词：装配式结构；铝合金模板；精度偏差；接缝处理；尺寸优化；防渗控制

1 引言

装配式建筑通过工厂化预制构件与现场装配化施工相结合，实现了建筑生产方式的工业化转型；铝合金模板以其高强度、轻量化、可循环利用等特性，成为现浇混凝土结构施工的优选模板体系。二者结合形成的装配式结构与铝模一体化施工技术，理论上可实现“外墙免抹灰、内墙薄抹灰”的精细化施工目标，显著提升建筑质量与施工效率。然而，实际工程中，装配式构件与铝模的交接位置存在尺寸公差累积、空间定位偏差等问题，导致接缝处出现错台、漏浆、渗漏等质量缺陷，严重影响结构安全与建筑耐久性。因此，系统研究装配式结构与铝模的精度偏差控制与接缝处理技术，对推动建筑工业化高质量发展具有重要理论价值与现实意义。

2 装配式结构与铝模交接位置精度偏差的技术难点分析

2.1 交接位置拼接精度控制难点

装配式结构与铝模的交接位置涉及预制构件与现浇模板的协同工作，其拼接精度受设计、生产、施工全链条因素影响，具体表现为以下技术难点：

2.1.1 多源尺寸公差累积

装配式构件的尺寸偏差主要来源于模具磨损、混凝土收缩、脱模工艺等因素。例如，预制墙板边缘脱模深度标准应 $\leq 2\text{mm}$ ，若模具使用次数超过50次，脱模深度可能增至3-4mm，导致构件与铝模的对接面不平整；预埋套筒尺寸偏差需控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内，否则将影响螺栓连接精度，进而导致拼接错台。铝模的加工误差则源于型材切割、焊接变形、组装精度等环节。根据《铝合金模板技术规程》（JGJ386-2016），异形转角模需通过6h连续性250kN循环拉力试验验证焊缝质量，以确保模板刚度

满足设计要求^[1]。然而，实际加工中，若焊接参数控制不当（如电流过大、焊接速度过快），焊缝可能产生裂纹或变形，导致模板尺寸偏差超限。当装配式构件与铝模的尺寸公差未在设计中统筹考虑时，公差累积效应将显著放大拼接误差。例如，某项目预制梁高度偏差+3mm，铝模对应位置偏差-2mm，二者叠加后接缝宽度达5mm，远超规范要求的 $\pm 3\text{mm}$ 限值。

2.1.2 空间定位协调性不足

装配式构件的吊装精度受塔吊性能、测量仪器精度、施工环境等因素制约。例如，高层外墙预制墙板拼接需采用高密度定位螺栓网格（每片构件设置7行 $\times$ 5列的定点式连接装置），边连接边用工业相机拍摄微变形图谱数据建立点云模型，以实现毫米级定位精度。然而，铝模的安装调平通常依赖传统水准仪与线坠，其定位精度（ $\pm 2\text{mm}$ ）难以与装配式构件的高精度定位匹配，导致二者在空间坐标系中存在错位风险。此外，施工环境（如风速、温度）也会影响定位精度。研究表明，当风速超过5m/s时，塔吊吊装构件的摆动幅度可达200mm，显著增加拼接难度；当温度每升高10℃时，铝模的热膨胀变形量可达0.2mm/m，需通过温度补偿算法修正定位数据。

2.1.3 动态变形适应性差

混凝土浇筑过程中，铝模在侧向压力作用下可能产生弹性变形，而装配式构件因已硬化，变形量可忽略不计。若铝模支撑体系未根据混凝土侧压力分布进行动态校准，例如在首层楼面铝模支护时埋设压力计监测模块弹性模量数值波动范围，建立单构件应变成像数据档案，则铝模变形可能导致与装配式构件的接缝宽度超限，引发漏浆问题。

2.2 墙阴角、平台板阴角接缝漏浆控制难点

墙阴角、平台板阴角等局部位置因几何形状复杂、施工空间受限,成为接缝漏浆的高发区域,其控制难点主要体现在以下方面:

2.2.1 几何构造复杂性

阴角部位通常涉及预制构件与铝模的L型或T型拼接,接缝呈三维空间曲线分布。例如,预制凸窗与铝模的拼缝需同时控制水平与竖向位移,若铝模阴角模的转角半径与构件倒角不匹配(如构件倒角为R10,而铝模转角为R15),或背楞加固间距过大(如 $>600\text{mm}$),将导致接缝处混凝土浇筑时浆液外渗。此外,阴角部位的钢筋密集(如梁柱节点区钢筋直径 $\geq 25\text{mm}$),也增加了铝模安装与混凝土振捣的难度,易形成施工冷缝,加剧漏浆风险。

2.2.2 施工操作空间受限

阴角区域因构件遮挡,铝模安装、调平、加固等操作难度显著增加。例如,叠合板与卫生间搭接位置因钢筋密集、现浇层厚度较小(通常 $\leq 60\text{mm}$),铝模底部需增设竖向支撑以防止漏浆,但狭窄空间内支撑件的安装与固定易受干扰,导致加固效果不稳定^[2]。此外,阴角部位的铝模拼接通常采用角码连接,若角码数量不足(如每米接缝仅设置2个角码)或螺栓未拧紧,也会导致接缝处密封失效。

2.2.3 材料相容性不足

装配式构件与铝模的材质差异(混凝土与铝合金)导致二者热膨胀系数、弹性模量等物理性能不匹配。在温度应力或混凝土收缩作用下,接缝处可能产生微裂缝,为浆液渗漏提供通道。例如,预制剪力墙与现浇混凝土结合面若未设置键槽或压槽(键槽深度宜为20-30mm,宽度宜为50-70mm),仅依赖密封胶封堵,在长期荷载作用下易出现粘结失效。研究表明,当结合面剪应力超过 1.5MPa 时,普通密封胶的粘结强度可能下降50%,导致渗漏风险显著增加。

3 装配式结构与铝模尺寸结构优化方法

3.1 基于模数协调的尺寸匹配设计

为解决装配式构件与铝模的尺寸公差累积问题,需从设计阶段建立模数协调体系,具体方法包括:

3.1.1 构件尺寸模数化

根据铝模的配板模数(通常为 50mm),对装配式构件的凸窗高度、梁截面高度等关键尺寸进行优化。例如,将降板位、墙梁交接位置的小尺寸构件调整为模数化尺寸(如将原设计高度为 2850mm 的凸窗调整为 2900mm),避免因构件尺寸过小导致铝模无法设置免抹灰企口(企口宽度宜 $\geq 30\text{mm}$),从而减少接缝处理难

度。此外,构件尺寸模数化还可提高模具的通用性,降低生产成本。

3.1.2 预留调整间隙

在图纸深化阶段,结合装配式构件的安装偏差(如垂直度允许偏差 4mm),为铝模加工尺寸预留调整间隙。例如,在与预制构件相连接的铝合金模板边缘设置 10mm 间隙,安装时用海绵条填充,既可吸收尺寸偏差,又能防止漏浆。海绵条的压缩率宜控制在20%-30%,以确保密封效果。此外,对于关键节点(如梁柱节点),可采用可调节式铝模,通过螺栓调节模板位置,进一步降低拼接误差。

3.1.3 标准化节点设计

针对墙阴角、平台板阴角等复杂节点,开发标准化连接构造。例如,将剪力墙间小于 600mm 的墙垛、小于 300mm 的门垛采用混凝土现浇一次成型,避免预制构件与铝模的拼接;将防火门门垛、门连窗等部位设计为整体预制,减少现场拼缝数量。标准化节点设计可简化施工工艺,提高施工效率。

3.2 基于BIM的协同设计与施工模拟

利用BIM技术建立装配式构件与铝模的三维模型,通过碰撞检测与施工模拟优化尺寸匹配,具体步骤如下:

3.2.1 多专业模型集成

将建筑、结构、机电等专业的BIM模型集成于统一平台,重点检测装配式构件与铝模的空间冲突。例如,通过BIM分析发现预制凸窗的预留螺栓孔洞与铝模板对接设计标准不一致时,可提前调整孔洞尺寸或铝模加工图纸,避免现场二次开孔。此外,BIM模型还可集成构件生产、运输、安装等信息,实现全生命周期管理^[3]。例如,在预制构件中嵌入晶体芯片标签,记录预埋件参数、质检员信息等数据,通过扫描标签可追溯构件全生命周期信息,为尺寸偏差分析提供数据支持。

3.2.2 施工过程模拟

模拟混凝土浇筑过程中铝模的变形与装配式构件的应力分布,优化支撑体系布局。例如,在首层楼面铝模支护时,通过BIM模拟确定压力计的埋设位置与监测频率,根据实时数据动态调整模板加固密度,确保浇筑过程中接缝宽度始终控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内。此外,BIM模拟还可优化混凝土浇筑顺序与振捣方式,减少施工冷缝与漏浆风险。

3.2.3 数字化交付与追溯

将BIM模型与构件生产、施工验收数据关联,建立质量追溯体系。例如,在预制构件中嵌入晶体芯片标签,记录预埋件参数、质检员信息等数据,通过扫描标签可

追溯构件全生命周期信息，为尺寸偏差分析提供数据支持。此外，数字化交付还可实现施工过程的可视化管理，提高沟通效率。例如，通过移动端APP实时查看BIM模型与施工进度，及时发现并解决问题，确保工程质量。

4 装配式结构与铝模接缝漏浆与渗漏优化控制技术

4.1 多级防渗体系构建

针对墙阴角、平台板阴角等漏浆高发区域，构建“构造防水+材料密封+工艺控制”的多级防渗体系，具体措施如下：

4.1.1 构造防水设计

在预制构件与铝模的接缝处设置内高外低的企口构造，利用混凝土自身坡度防止浆液外渗。例如，预制外挂墙板底部设置50mm×5mm的压槽，室外一侧分设两道企口（企口高度宜为10mm与20mm），形成双重防水屏障；叠合板与卫生间搭接位置增设90mm宽现浇板带，提高接缝处混凝土密实度。此外，对于关键节点（如梁柱节点），可采用止水钢板或遇水膨胀止水条等附加防水措施，进一步增强防渗性能。

4.1.2 材料密封优化

选用高弹性、耐老化的密封材料，并严格控制施工工艺。例如，预制凸窗拼缝处采用改性硅酮建筑密封胶（MS-R-25LM），打胶深度不少于15mm，底部设置PE棒作为背衬材料，防止密封胶三面粘结导致开裂；铝模拼接处粘贴双面胶或专用密封橡胶条，通过压扣加固将拼缝挤死，减少混凝土浇筑时的浆液渗漏^[4]。此外，密封材料的施工环境温度宜控制在5-35℃之间，相对湿度宜 < 85%，以确保密封效果。

4.1.3 工艺控制强化

通过标准化施工流程减少人为因素导致的漏浆风险。例如，在叠合板吊装前，要求班组对铝模进行全面调平（尤其是板带位置），调平过程需管理人员旁站验收；吊装完成后采用高频振动棒（频率 ≥ 12000次/分钟）降低激振力，避免因振动过大导致铝模变形；在墙阴角处增设竖向紧固片（间距 ≤ 300mm），通过拉结上下预制墙板提高整体刚度，防止接缝处错台。此外，混凝土浇筑时应分层振捣（每层厚度 ≤ 500mm），避免过振或漏振，确保混凝土密实度。

4.2 动态监测与智能预警技术应用

引入物联网、传感器等技术，实现接缝状态的实时

监测与预警，具体方法包括：

4.2.1 三维扫描监测

在混凝土浇筑阶段，采用三维激光扫描仪实时捕捉铝模的变形数据，设定±3mm的红黄蓝三级位移警戒线。当变形量超过黄色警戒线时，系统自动发送预警信息至施工管理人员，提示调整浇筑速度或加固模板；超过红色警戒线时，立即停止浇筑并启动应急加固方案。三维扫描监测具有高精度、非接触等优点，可实时反映铝模变形情况，为施工决策提供数据支持。

4.2.2 智能芯片追溯

在预制构件与铝模的接缝处嵌入温湿度传感器或应变片，实时监测密封胶的固化温度（需 ≥ 28℃）或接缝张紧力变化。例如，通过接触式温湿度检测仪验证预埋钢筋套管内灌注硅烷密封胶的固化条件，确保密封效果；当应变片检测到接缝处应力异常时（如应力超过设计值的20%），系统自动标记风险区域，指导后续修补作业。智能芯片追溯可实现接缝状态的实时监控与历史数据查询，为质量追溯与维护提供依据。

结语

装配式结构与铝模一体化施工技术的精度偏差控制与接缝处理是建筑工业化关键技术瓶颈。本文从尺寸结构优化与多级防渗体系构建提出系统性方案，通过多种手段提升了拼接精度与接缝防渗性能。未来研究可进一步探索：新材料应用，如研发自愈合密封材料、形状记忆合金模板等提升接缝性能；机器人施工，开发相关装备减少人为误差；全生命周期管理，结合数字孪生技术建立数据平台，精准预测与快速响应质量问题，降低全生命周期成本。

参考文献

- [1]马凯,谢靖,冉鹏,等.预制构件与铝模间防漏浆以及预制构件防渗漏技术研究[J].工程建设与设计,2023,(21):199-201.
- [2]王伟,刘斌.装配式叠合板铝模工艺高效施工研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(06):34-36.
- [3]杨涛,周杰,廖道明,等.装配式建筑中铝模爬架一体化技术的应用[J].四川水泥,2025,(03):114-116.
- [4]冯玮杰,苏金鸿,占奕,等.铝模在装配式住宅中的精细化控制技术[J].施工技术(中英文),2024,53(14):97-101.