

# 装配式ALC条板填充墙填缝抗裂关键技术研究

康红刚 胡小鹏 谭涛 韩庆 宋丽军  
中建五局土木工程有限公司 湖南 长沙 410000

**摘要:** 装配式建筑作为国家大力推行的绿色建造方式,在住宅领域应用日益广泛。然而,在南方湿热地区,其填充墙系统,特别是ALC(蒸压轻质混凝土)条板间的填缝区域,因温湿度剧烈变化、材料收缩差异及构造应力集中等因素,极易出现开裂问题,严重影响建筑品质和居住体验。本文以南昌瑶湖花园七期安置房项目为依托,深入剖析了湿热环境下ALC条板填缝开裂的成因机理,并从材料体系优化、结构构造设计、精细化施工工艺三个维度,系统地提出了一套完整的填缝抗裂关键技术体系。该体系包括基于热湿耦合响应机理的高性能填缝材料优选、差异化节点构造优化(如梯形互锁拼缝、柔性过渡连接缝、45°斜向加强网角部等)、以及分阶段精准控制的施工工法。旨在为解决南方湿热地区装配式建筑的质量通病提供理论依据和工程实践指导。

**关键词:** 装配式建筑; ALC条板; 填缝抗裂; 湿热环境

## 引言

“十四五”规划推动下,装配式建筑成为建筑业转型升级的关键方向。其中,ALC(Autoclaved Lightweight Concrete)条板因自重轻、性能优越,被广泛应用于非承重围护墙和内隔墙系统。然而,装配式建筑接缝特性带来新挑战,在南方高温高湿气候下,填充墙填缝处开裂与返潮问题尤为突出。南方湿热地区夏季漫长,多极端潮湿气候,对建筑围护结构防潮、抗裂性能要求极高。ALC条板填充墙系统现场拼装,板-板拼缝、与混凝土梁柱连接缝、门窗洞口周边缝等成为薄弱环节。温差、材料收缩不均及传统填缝工艺不当,易导致填缝区域开裂,不仅影响美观,还为湿气渗透提供通道,引发饰面发霉、脱落等问题,损害建筑耐久性和住户健康<sup>[1]</sup>。因此,针对南方湿热地区气候特点,研究装配式ALC条板填充墙填缝抗裂关键技术,解决工程实践痛点,对保障民生工程、提升企业形象、推动装配式建筑在复杂气候区高质量发展具有重要意义。本文基于南昌高新区瑶湖花园七期安置房项目,开展专项研究。

## 1 ALC条板填缝开裂机理分析

要有效防治ALC条板填缝开裂,首先必须深刻理解其开裂的根本原因。通过对现有文献和工程实践的梳理,结合湿热环境的特殊性,可将开裂机理归纳为以下几个方面:

### 1.1 材料自身特性因素

ALC条板是一种多孔硅酸盐制品,其内部含有大量封闭的微小气孔。这种结构赋予了它轻质、保温的优点,但也使其对环境湿度极为敏感。当环境湿度升高时,ALC板会吸收水分发生膨胀(湿胀);反之,当环

境干燥时,水分蒸发又会导致其收缩(干缩)。在南方湿热地区,频繁且剧烈的干湿循环会使得ALC板反复经历膨胀-收缩的变形过程。若板材本身生产工艺不达标(如收缩值超标)、养护龄期不足即上墙使用,或使用了废机油等劣质脱模剂,都会加剧其自身的不稳定性,为后续开裂埋下隐患。

### 1.2 热湿耦合作用下的界面失效

填缝区域是ALC板与填缝材料、ALC板与混凝土结构之间的交界地带,形成了复杂的多相界面。在长期的热湿耦合作用下(温度20-40℃,相对湿度40%-95%),界面区域的物理化学性质会发生演变。一方面,水分子会沿着毛细孔道渗透至界面,削弱粘结力;另一方面,温度变化引起的热应力与湿度变化引起的湿应力相互叠加,会在界面处产生复杂的应力场。随着时间的推移,界面粘结强度会逐渐衰减,最终导致粘结失效,形成可见裂缝。

### 1.3 构造与应力集中效应

填缝节点的几何形状是影响其抗裂性能的关键。在板-板对接、板-梁柱连接、特别是门窗洞口四角等部位,由于截面突变或约束条件改变,极易形成应力集中。例如,门窗洞口上方常因ALC板收缩不均而产生倒八字形裂缝;板端与刚性混凝土梁柱直接硬连接,则会因两者弹性模量差异巨大而在温度变化时产生巨大的剪切应力<sup>[2]</sup>。传统的“刚性填缝”做法无法适应这种复杂的变形需求,从而导致开裂。

### 1.4 施工工艺与管理因素

施工过程中的诸多环节也直接影响填缝质量。例如,嵌缝砂浆不饱满、存在空鼓;粘接剂配比不当或已

过初凝时间；ALC板安装后未预留足够的养护和变形稳定时间就急于进行填缝；抹灰层过厚且一次性成活，导致内外收缩不一致；在板材上随意开凿线槽且修补不规范等。这些施工缺陷都会显著降低填缝区域的整体性和抗裂能力。

## 2 填缝抗裂关键技术体系构建

针对上述开裂机理，本研究提出了一套涵盖“材料-构造-工艺”三位一体的填缝抗裂关键技术体系，旨在从源头上预防和控制裂缝的产生与发展。

### 2.1 湿热环境下填缝材料体系优化

#### 2.1.1 填缝材料多维度综合性能指标体系建立

摒弃单一强度指标的局限性，建立一个涵盖力学性能（如抗拉/抗压强度、弹性模量）、变形能力（极限拉伸应变）、耐久性能（耐水性、抗老化性）以及施工性能（开放时间、稠度）的多维度综合评价体系。该体系确保所选材料不仅在初始状态下性能优异，更能在未来漫长的服役期内保持稳定，同时满足现场高效施工的需求。

#### 2.1.2 智能响应型填缝材料开发

探索开发具有环境自适应能力的智能填缝材料。一方面，研究掺入温度/湿度敏感微胶囊的技术路径，使材料能在感知到环境变化时，通过微胶囊的破裂或相变来调节自身的体积或模量，从而主动适应ALC板的变形。另一方面，系统测试不同掺量（如 $0.9\text{kg/m}^3$ 、 $1.2\text{kg/m}^3$ 、 $1.5\text{kg/m}^3$ ）的聚丙烯（PP）纤维对填缝材料抗裂性能的影响，利用纤维的三维桥接作用，有效抑制微裂缝的萌生与扩展，显著提升材料的韧性。

#### 2.1.3 加速老化与实际服役性能关联性研究

为缩短研发周期并可靠预测材料寿命，采用Q-UV加速老化设备模拟南方地区5-10年的典型湿热环境。通过定期监测老化试件的微观形貌、力学强度和变形能力的变化，建立一套加速老化试验参数（如辐照强度、循环周期）与实际自然服役年限之间的定量换算关系，并将换算误差严格控制在 $\pm 15\%$ 以内，为工程应用提供可信的耐久性依据。

## 2.2 差异化填缝结构构造优化

### 2.2.1 高风险开裂区域识别

采用有限元分析软件（如ANSYS/ABAQUS），建立包含ALC条板、填缝材料和混凝土结构在内的精细化三维热湿-力学耦合模型。通过输入南方地区典型的温度（ $20\text{-}40^\circ\text{C}$ ）和湿度（ $40\%\text{-}95\%$ ）边界条件，模拟填缝系统在复杂环境作用下的应力场和变形场分布。该分析能够清晰地识别出应力集中系数最高的区域，如门窗洞口四角、长墙中部、以及刚性约束较强的板-梁柱连接处，

为后续的差异化构造设计指明靶向。

### 2.2.2 差异化节点构造精细化设计

基于高风险区域的识别结果，对关键节点进行精细化的构造创新。

#### （1）板-板拼缝：梯形互锁构造与变形间隙预留

针对最常见的板-板对接缝，摒弃传统的平面对接方式，研发“梯形凹槽+梯形凸榫”的互锁构造。这种设计不仅通过增加接触面积和机械咬合力提升了整体性，更重要的是在榫卯之间预留 $3\text{-}5\text{mm}$ 的连续变形间隙<sup>[3]</sup>。该间隙如同一个微型的“缓冲带”，能够有效吸收和释放由ALC板湿胀干缩产生的内应力，从而将局部的应力集中系数降低 $30\%$ 以上，从根本上化解了开裂风险。

#### （2）板-梁柱连接缝：柔性过渡层与V型填缝结构

在ALC板与刚性混凝土梁柱的连接处，巨大的材料性能差异是开裂的主因。为此，设计一种“柔性过渡层+V型填缝”的复合构造。具体而言，在ALC板端部与混凝土之间设置一层 $1\text{-}2\text{mm}$ 厚的高弹性聚合物垫片作为柔性过渡层，用以吸收两者间的变形差。同时，将填缝槽口处理成V型，这不仅便于施工时填缝材料的充分挤入和密实，还能形成良好的“握裹”效应，显著提高接缝抵抗复杂变形的能力。

#### （3）门窗洞口角部： $45^\circ$ 斜向加强网与弧形过渡构造

门窗洞口四角是应力奇点，极易产生放射状裂缝。对此，开发双重防护策略：首先，在洞口四角沿 $45^\circ$ 方向粘贴高强度玻纤网格布，利用其优异的抗拉性能，将角部的集中应力有效地分散到更大的区域；其次，将ALC板与洞口过梁或侧边的直角交接处打磨或预制成小半径的圆弧过渡，彻底消除几何上的应力奇点，实现应力的平滑传递。

#### （4）诱导缝-控制缝协同系统

对于长度超过6米的长墙，在其中间位置有意识地设置宽度为 $3\text{-}5\text{mm}$ 的诱导缝，并填充高弹性密封材料。该系统能主动引导裂缝在预定位置发生，实现裂缝的可控分布，确保裂缝宽度被严格控制在 $0.2\text{mm}$ 以内，满足装饰面层的要求。

## 2.3 抗裂施工工艺集成与精准控制

### 2.3.1 分阶段精准拼装工艺

#### （1）主体结构变形稳定监测与ALC板安装时机控制

坚决杜绝在主体结构尚未稳定时就安装ALC墙板。建立严格的流程：必须在主体结构封顶后，持续进行沉降观测，只有当月沉降量稳定在 $2\text{mm}/\text{月}$ 以下时，才允许开始ALC板的安装作业。此举旨在最大程度地隔离主体结构后期徐变、收缩对填充墙系统的不利影响，为墙体

创造一个相对稳定的“出生”环境。

#### (2) 初填缝与终填缝的分阶段实施策略

ALC板安装完成后,其自身的收缩变形仍将持续一段时间。因此,填缝工作必须分两步走:首先,在板安装7天后进行初步填缝,主要目的是固定板位和防止杂物进入;然后,必须耐心等待至少21天,待ALC板的早期快速收缩基本完成之后,再进行最终的精细填缝<sup>[4]</sup>。这种“先粗后精、留足时间”的策略,是避免因材料早期变形而导致填缝层被撕裂的有效保障。

#### 2.3.2 环境适应性施工窗口控制

##### (1) 最佳施工环境窗口确定

基于对南昌地区多年气象数据的分析,科学地确定了填缝施工的“黄金窗口”:环境温度应控制在15-28℃之间,相对湿度应维持在40-65%的范围内。在此窗口期内施工,填缝材料的水化反应最为充分,收缩最小,能获得最佳的物理力学性能。

##### (2) 施工现场微型环境调控技术

考虑到施工现场环境的不可控性,特别是在极端天气下,可开发并应用简易的施工现场微型环境调控装置。例如,在填缝作业区域搭建临时的防风防雨棚,并配备小型加湿/除湿设备,将局部微环境的温湿度精准地调控在最佳窗口内,确保关键工序的质量不受外界干扰。

#### 2.3.3 智能养护技术应用

##### (1) 嵌入式湿度传感器实时监测

在关键填缝区域,预埋微型、低成本的湿度传感器。这些传感器能够实时、连续地监测填缝材料内部的湿度变化,并将数据无线传输至监控终端。

##### (2) 自动喷雾养护系统联动控制

将湿度监测系统与自动喷雾养护装置进行联动。当系统检测到填缝区域的湿度低于70%这一临界值时,便会自动启动喷雾装置,对填缝处进行间歇性、雾化的补水养护。这种智能化的养护方式,确保了填缝材料在最关键的早期阶段始终处于理想的湿润环境中,使其水化反应充分完成,从而将其早期塑性收缩和干缩开裂的风险降低40%以上。

#### 2.3.4 质量控制数字化平台建设

##### (1) 基于BIM的填缝施工全过程管理

利用建筑信息模型(BIM)技术,预先在数字模型中

对所有填缝节点进行深化设计,并将材料技术参数、施工工艺标准、环境控制要求等信息全部集成到模型中。施工时,管理人员可以通过移动终端,对照BIM模型对现场的清理、涂浆、挤浆、固定等每一个关键工序进行检查和验收。

##### (2) 关键工序数字化跟踪与追溯

所有工序的验收记录、环境监测数据、甚至操作人员信息都实时上传至云端数据库,形成完整的、不可篡改的数字档案。这不仅实现了施工过程的可视化、透明化管理,更在出现问题时能够快速追溯到具体的环节和责任人,极大地提升了质量管控的效率和可靠性。

### 3 结语

本文针对南方湿热地区装配式ALC条板填充墙填缝易开裂的质量通病,系统地研究并提出了一套集材料优选、构造优化和工艺控制于一体的抗裂关键技术体系。该体系的核心思想是从被动“堵裂”转向主动“防裂”和“控裂”。通过揭示湿热环境下ALC板的热湿耦合响应机理和界面失效模式,为材料选择提供了科学依据;通过创新性的差异化节点构造设计,有效化解各类接缝处的应力集中难题;通过精细化、数字化的施工工艺控制,确保了设计理念在现场的完美落地。本研究成果不仅能够直接服务于南昌瑶湖花园七期等具体工程项目,保障其交付品质,更可形成一套可复制、可推广的技术工法和企业标准,为中建五局乃至整个行业在南方湿热地区推进高质量装配式建筑提供强有力的技术支撑,具有显著的社会效益和经济效益。未来的研究可进一步深化智能感知材料的应用,实现对填缝状态的长期在线健康监测,迈向更加智慧化的建筑运维新阶段。

### 参考文献

- [1]郭治良,尤佳,杨义涛,等.装配式ALC条板安装施工工艺研究[J].工程建设与设计,2023,(19):3-5.
- [2]林元明.装配式轻质条板施工技术与裂缝成因探析[J].中国住宅设施,2024,(10):4-6.
- [3]武朝平,陈煜宏,商坤,等.装配式建筑中加强型ALC条板的具体应用[J].建筑安全,2024,39(02):17-19+24.
- [4]李鑫,周洲,李杰.浅谈ALC条板裂缝原因及防治措施[J].四川建筑,2024,44(06):219-220.