

高密度水泥纤维板在幕墙施工中的关键技术及质量控制

李建国 张明明 徐郑伟 彭双全 熊 雄
中建六局交通建设有限公司 浙江杭州 311302

摘 要：水泥纤维板幕墙作为现代建筑围护系统的重要组成部分，其力学性能、安装工艺及质量控制直接影响建筑的安全性与耐久性。本文从材料选型、安装技术、防渗漏设计及施工管理等方面系统分析关键技术，并提出材料质量验收、施工过程监控、成品保护及验收标准等质量保障措施，为工程实践提供参考。

关键词：水泥纤维板幕墙；力学性能；安装工艺；防渗漏设计；质量保障

一、水泥纤维板的力学性能分析

水泥纤维板是幕墙系统中最核心的承力构件之一，它的力学性能直接决定了结构安全边界和工程应用的可行性。由材料本构特性可知，纤维增强机制使板材具有优良的抗弯韧性并利用纤维桥接效应可以有效地抑制动态风荷载下裂纹扩展，它的抗弯强度一般可达12~25MPa，可以达到常规硅酸钙板的水平，特别是高密度配方时，可以通过纤维掺量和分散工艺的调整达到抗冲击性能成倍增长。板的弹性模量变化范围从6到12GPa不等，呈典型的非线性应力应变关系，极限荷载阶段显示了明显的塑性变形能力，给连接节点设计带来了冗余安全空间。连接节点力学方面，穿透式螺栓连接的剪切破坏模式受板材层间剪切强度制约，需通过优化螺栓直径与间距参数（如螺栓间距 $\leq 600\text{mm}$ ）避免局部应力集中；背栓连接依赖于锚固深度和孔壁摩擦力的共同作用，其拉拔承载力与孔径公差（ $\pm 0.2\text{mm}$ ）和板材密度呈正相关，因此需要通过三维有限元模拟来验证节点的疲劳寿命。在环境耦合效应的影响下，板材的冻融循环耐久性（25次循环后质量损失 $\leq 5\%$ ）和湿热老化性能（在80℃和95%RH的加速试验条件下，强度的保留率达到或超过85%）共同构成了其全寿命周期力学稳定性的基础，并通过动态风压-地震作用耦合加载试验，进一步揭示了多场耦合作用下板的非线性响应机理，为结构极端工况安全评估提供数据支持。

二、水泥纤维板幕墙施工关键技术

1. 材料性能与选型要求

水泥纤维板幕墙的材料性能需与建筑功能、环境条件及荷载特征深度适配，板材的密度与纤维分布直接影响力学性能，高密度板材（ $\geq 1.4\text{g/cm}^3$ ）因纤维交织密

度更高，抗弯强度可达20MPa以上，适用于高层建筑及风压较大区域；而普通密度板材（ $1.2\sim 1.4\text{g/cm}^3$ ）虽强度稍低，但自重轻、施工便捷，更适配低层或装饰性幕墙。连接节点的适配性需重点考量，穿透式连接要求板材厚度 $\geq 8\text{mm}$ ，以保障螺栓锚固力；背栓连接则需板材厚度 $\geq 12\text{mm}$ ，且孔壁纤维完整性需通过超声波无损检测验证，避免因开孔导致局部强度衰减。环境适应性方面，沿海高湿区需选用吸水率 $\leq 10\%$ 的憎水型板材，并验证其抗盐雾腐蚀能力；寒冷地区则需通过-40℃低温冲击试验，确保板材在冻胀循环下无分层开裂。此外，板材的燃烧性能需符合建筑防火规范，A级不燃材料适用于超高层建筑，而B1级难燃材料需配合防火封堵构造，以延缓火势蔓延。

2. 安装方式选择与工艺控制

（1）穿透式连接

穿透式连接通过机械螺栓贯穿板材与龙骨形成刚性约束，其力学性能依赖于螺栓直径、间距及板材厚度协同设计，螺栓直径需与板材孔径严格匹配（公差 $\leq \pm 0.2\text{mm}$ ），过盈配合易引发纤维撕裂，间隙配合则削弱抗剪承载力。螺栓间距通常 $\leq 600\text{mm}$ ，以分散风荷载作用下的集中应力，转角区域需加密至400mm以避免应力突变。板材厚度需 $\geq 8\text{mm}$ 以保证螺栓锚固深度，过薄板材易在螺杆挤压下产生层间剥离。连接处需加装EPDM橡胶垫片，通过弹性变形补偿板材热胀冷缩位移，同时隔离电化学腐蚀介质。安装后需抽检螺栓扭矩值（误差 $\leq \pm 5\%$ ），并采用红外热成像仪检测接触面密度，确保荷载传递路径连续性。

（2）背栓连接

背栓连接通过后扩底锚固实现板材与龙骨的无贯穿

固定，其核心在于锚栓与板材孔壁的机械咬合与摩擦力协同作用，背栓孔径需依据板材密度与厚度精准控制，孔深误差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ，过浅易导致锚固力不足，过深则破坏纤维层完整性。锚栓材质宜选用316L不锈钢，其屈服强度 $\geq 550\text{MPa}$ ，可抵御沿海高盐雾环境腐蚀。安装时需采用专用扩孔器，通过扭矩控制确保孔底形成锥形锚固区，单点拉拔承载力需达设计值的1.5倍。连接后需采用内窥镜检测孔壁纤维损伤情况，并通过动态拉伸试验验证节点疲劳寿命（ ≥ 5000 次循环），确保其在风振与地震作用下的稳定性。

三、施工质量的保障措施

1. 材料质量的控制措施

材料质量控制需贯穿采购、验收、存储全流程，构建闭环管控体系。采购环节需核查供应商资质与型式检验报告，重点验证板材的抗弯强度（ $\geq 18\text{MPa}$ ）、吸水率（ $\leq 12\%$ ）及燃烧性能（A级），并要求提供同批次板材的纤维分布密度检测数据。到场验收采用抽样破坏性试验与无损检测结合，随机截取板材进行抗冲击测试（5kg钢球1m自由落体无贯穿），同步采用超声波探伤仪检测内部纤维连续性，缺陷反射波幅 $> 50\%$ 时判定为不合格。存储环境需满足防潮、防晒要求，板材离地堆放高度 $\leq 1.5\text{m}$ ，底部铺设防潮垫层，相邻板材间加垫木方避免层间挤压变形。对于长期存放板材（ > 6 个月），需每月翻垛检查，发现霉斑或分层时立即隔离处置。此外，每批次材料需留存封样件，标注生产日期、检测报告编号等信息，作为施工争议时的质量追溯依据，并建立电子化台账实现全生命周期信息可溯。

2. 施工过程的质量控制

施工过程质量控制需融合动态监测与工序校验机制，确保每道环节符合设计精度要求。板材安装前需对基层龙骨进行三维扫描复核，龙骨平面度误差 $\leq 2\text{mm}/\text{m}$ ，垂直度偏差 $\leq 3\text{mm}/\text{层}$ ，超限时采用激光定位仪与液压千斤顶联合调整，调整后需焊接固定并二次复测。板材就位时采用激光水平仪与靠尺双重校准，相邻板块高

差 $\leq 1\text{mm}$ ，缝宽误差 $\leq \pm 1.5\text{mm}$ ，接缝处加塞0.5mm厚镀锌钢垫片消除累积误差。连接节点施工需严格遵循工艺参数，穿透式螺栓扭矩值控制在 $40\sim 50\text{N}\cdot\text{m}$ ，背栓扩孔深度误差 $\leq \pm 0.5\text{mm}$ ，安装后采用扭矩扳手与内窥镜抽检，合格率需达100%。密封胶施工环境温度需控制在 $5\sim 35\text{℃}$ ，湿度 $\leq 80\%$ ，胶缝宽度与深度比为1:1~2:1，打胶前需用异丙醇清洁基材表面，胶体固化后采用邵氏硬度计检测，硬度值需达30~50HA。对于异形曲面幕墙，需结合BIM模型与现场测量数据实时调整安装参数，每完成5块板材即进行三维拟合分析，偏差 $> 3\text{mm}$ 时需返工处理。此外，每日施工结束后需覆盖防雨布保护未固化部位，并设置警示标识防止踩踏，每层安装完成后需进行淋水试验，模拟暴雨工况（ $\geq 3\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{min})$ ）检测无渗漏方可开展下一工序。

结论

水泥纤维板幕墙施工需从材料选型、安装工艺、防渗漏设计及质量验收等环节严格把控，通过系统化技术管理提升幕墙系统的安全性与耐久性。未来，可结合BIM技术优化安装精度，并推广低迁移率密封胶等新材料，进一步降低后期维护成本。

参考文献

- [1] 莫林, 宁平行. 穿透支承式干挂水泥纤维板幕墙施工技术[J]. 2021.
- [2] 欧安涛. 纤维水泥板幕墙施工技术研究[J]. 中国建筑, 2024(3): 110-113.
- [3] 钱江民. 建筑外墙装饰纤维水泥板幕墙施工技术[J]. 2021.
- [4] 张翼. 探讨建筑外墙装饰纤维水泥板幕墙技术[J]. 爱情婚姻家庭, 2022(4): 0181-0182.
- [5] 谭泽波. 纤维水泥板幕墙穿透式安装关键技术研究[D]. 华南理工大学, 2020.