

# WPC 高分子建筑模板清水砼施工技术

杨青戈

(中铁十二局集团第七工程有限公司, 湖南 长沙 410004)

**摘要** WPC 高分子建筑模板 (Wood-Plastic Composite Building Formwork) 依托复合结构优势, 在清水砼施工中具备优良脱模效果、高周转率与环保特性, 成为钢模板与竹胶合板模板的重要替代。结合工程实践研究表明, 其支撑强度与平整度控制模型能有效保障施工质量, 清水砼表面平整度误差  $\leq 2$  mm/m, 模板周转次数超 50 次, 成本较竹胶合板降低 38%, 显著提升了施工的经济性与绿色化水平, 为清水砼工程高质量、低成本建设提供有益参考。

**关键词** WPC 高分子建筑模板; 清水砼; 模板支撑系统强度计算技术

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.01.001

## 0 引言

清水砼对模板的平整程度、刚性、脱模性能和耐用性有着极高的要求。竹胶合板模板周转次数达不到 10 次, 易造成蜂窝麻面现象且对环境造成污染; 钢模板虽具备较高刚度, 但存在自重较大、能耗偏高且易生锈的问题。以 PE/PP 为基础物质的 WPC 模板, 添加 30% ~ 50% 植物纤维与改性助剂后经挤出工艺成型, 既具有耐候性能, 又具备刚性, 每立方米质量处于 1 100 ~ 1 300 kg 范围, 具有可回收性, 已应用于楼板、剪力墙、桥梁等清水砼项目, 但仍需进一步改良与推广。

## 1 WPC 高分子建筑模板材料性能

### 1.1 基础物理力学性能

WPC 高分子建筑模板的物理力学性能直接影响清水砼的施工质量。经实验室测试与工程实地测量, 关键参数如下: 把密度调控到  $1\ 200 \pm 50$  kg/m<sup>3</sup> 的范围, 与传统钢模板相比, 重量减轻 84.6%, 极大地降低了吊装与安装时的能耗; 静曲强度达 18 MPa 及以上, 弹性模量达 2 500 MPa 及以上, 可用于跨度 2.4 m 及以下的清水混凝土楼板模板支撑; 24 小时浸泡后吸水率不超过 3%, 和竹胶合板模板 (吸水率  $\geq 15\%$ ) 相比大幅降低, 能防止因模板吸水变形致使的砼表面平整度误差; 脱模阻力被控制在 0.8 N/mm<sup>2</sup> 以内, 不使用脱模剂就能达到顺利脱模效果, 减少对混凝土表面的污染。实测住宅项目数据表明, 采用 18 mm 厚的 WPC 模板浇筑 C30 清水混凝土楼板时, 模板最大挠曲度达 1.2 mm, 低于规范所设限值 ( $L/250$ , 其中 L 代表支撑跨度), 证实其力学性能可靠。

### 1.2 耐候性与耐久性

由于清水砼施工中模板需长时间暴露在高温、潮湿、紫外线照射的室外环境中, 因此开展 WPC 高分子模板专项耐久性试验, 经过 70 °C 高温、时长 1 000 小时的老化试验后, 静曲强度保留率达到或超过 85%, 弹性模量留存率达 80% 以上; 经过 -30 °C 低温环境下 50 次冻融循环测试后, 未出现开裂与分层状况, 力学性能的损失比率  $\leq 12\%$ ; 经 500 小时盐雾试验后, 表面无锈蚀, 可用于沿海地区清水砼工程<sup>[1]</sup>。对模板表面实施 UV 固化涂层处理, 抗紫外线老化能力大幅增强, 经 6 个月室外暴晒, 表面色差值  $\Delta E$  不超过 2, 可防止因模板褪色引发清水砼表面出现色差。例如: 开展跨海大桥墩柱建造工作时, WPC 模板经 3 个月室外应用后, 表面状况依旧良好, 所浇筑清水砼墩柱表面色泽差异小, 符合清水砼外观质量验收标准。

### 1.3 模板规格与适配性

WPC 高分子建筑模板借助标准化挤出成型方法, 能制造多种规格的产品来契合不同清水砼构件。常见规格和对应的适配场景见表 1, 模板宽度大多为 1 220 mm, 长度可根据构件的具体尺寸进行定制化设计, 厚度需按照构件荷载与支撑跨度合理选定; 竖向构件如剪力墙、柱等, 推荐优先采用 15 ~ 18 mm 厚的模板; 针对楼板、梁这类水平结构。由于要承载混凝土自重与施工负载, 应选用厚度为 18 ~ 22 mm 的模板, 模板拼接缝隙采用企口式构造, 缝隙宽度不超过 0.3 mm, 与专用密封胶条搭配运用, 能切实杜绝砼浇筑时的漏浆问题。在办公楼剪力墙施工中, 采用企口拼接的 WPC 模

作者简介: 杨青戈 (1981-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: WPC 高分子建筑模板清水砼施工技术。

表1 WPC 高分子建筑模板规格与适配性参数表

模板厚度 (mm)	模板宽度 (mm)	常用长度 (mm)	适配清水砼构件类型	支撑跨度 限值 (m)	每平方米 重量 (kg)
15	1 220	2 440、3 000、3 600	剪力墙、柱 (截面尺寸 ≤ 600 mm)	1.8	18.30
18	1 220	2 440、3 000、4 200	楼板 (厚度 ≤ 150 mm)、 梁 (截面高度 ≤ 500 mm)	2.4	21.96
22	1 220	3 000、3 600、4 800	大跨度梁 (截面高度 500 ~ 800 mm)、 桥梁盖梁	3.0	26.84

板未产生一处漏浆的现象,清水砼墙面外观质量评分达95分。

## 2 WPC 高分子模板清水砼施工关键技术

### 2.1 模板支撑系统强度计算技术

WPC 高分子模板支撑系统需要承受混凝土自身重量,要经科学运算明确支撑间距和立杆规格,杜绝模板变形或者坍塌。按照材料力学梁的相关理论,创建WPC 模板支撑强度计算的模型,主要公式如下。

#### 2.1.1 模板最大弯矩计算公式

$$M_{\max}=(q \times L^2)/8 \quad (1)$$

式(1)中: $M_{\max}$ 代表模板跨中的最大弯矩值; $q$ 代表模板所承受的线荷载,单位为kN/m, $q$ 的计算方式为:(混凝土自身重量与构件厚度的乘积加上施工活荷载)和模板宽度相乘的结果; $L$ 表示模板支撑所形成的跨度长度。

#### 2.1.2 模板抗弯强度验算公式

$$\sigma=(M_{\max} \times 10^6)/(W \times \gamma^x) \leq [\sigma] \quad (2)$$

式(2)中:模板实际承受的抗弯应力用 $\sigma$ 表示,应力单位是MPa; $W$ 代表模板的截面抵抗矩,单位为 $\text{mm}^3$ ,若为矩形的截面, $W=(b \times h^2)/6$ , ( $b$ 为模板宽度, $h$ 是模板的厚度); $\gamma^x$ 为截面塑性发展系数,取值1.05;  $[\sigma]$ 表示WPC 模板可承受的抗弯强度(确定取值为18 MPa,按照材料性能参数加以确定)。

#### 2.1.3 支撑立杆稳定性验算公式

$$N/(\phi \times A) \leq [f] \quad (3)$$

式(3)中: $N$ 代表立杆所受的轴向力, $N=q \times L \times L_s$  ( $L_s$ 立杆横向间距);  $\phi$ 代表立杆稳定系数,该系数由立杆长细比决定,如 $\phi 48 \times 3.5$ 规格的钢管,长细比 $\lambda$ 是100时, $\phi$ 取值0.638);  $A$ 代表立杆截面的面积( $\text{mm}^2$ ),规格是 $\phi 48 \times 3.5$ 的钢管,其 $A$ 的数值为489  $\text{mm}^2$ ;  $[f]$ 指代立杆材料能够承受的抗压强度许可值。

在住宅楼板的清水混凝土施工作业中,采用厚度为120 mm的楼板和18 mm厚的WPC 模板,经计算得出 $q$ 的值为 $(24 \times 0.12 + 2.5) \times 1.22 = 6.87 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,设定支撑跨度为1.2 m,把数据代入公式(1),得到最大弯矩

$M_{\max}=(6.87 \times 1.2^2)/8=1.237 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ;  $W=(1220 \times 18^2) \div 6=65880 \text{ mm}^3$ ,把该结果代入公式(2),得到 $\sigma=(1.237 \times 10^6)/(65880 \times 1.05)=17.8 \text{ MPa} \leq 18 \text{ MPa}$ ,达到强度要求;设置立杆横向距离为1.2 m,经计算 $N$ 值, $N=6.87 \times 1.2 \times 1.2=9.89 \text{ kN}$ ,  $\phi=0.638$ ,把这些数值代入公式(3)算出, $9.89 \times 10^3/(0.638 \times 489)=31.5 \text{ MPa} \leq 215 \text{ MPa}$ ,支撑系统具备稳定性。

### 2.2 清水砼浇筑与脱模控制技术

在清水混凝土施工期间,浇筑工艺的合理程度直接关联着成型品质与表面视觉效果。由于WPC 高分子模板特性,施工期间要科学调整浇筑参数。砼运输至入模阶段,一般运用泵送手段进行浇筑,让砼供应连贯稳定。为使混凝土于模板中均匀散布并密实成型,应将坍落度控制于160 ~ 200 mm范围。若坍落度过小,振捣不能实现混凝土的密实效果,容易出现蜂窝麻面现象;若混凝土坍落度超出合理范围,会使混凝土自由流动能力过强,使模板侧压力增大,甚至造成模板形变。切实管控坍落度是保证质量的核心,按照构件形式对浇筑速度,需依据构件样式适当调节。针对竖向构件,竖向构件的浇筑速率应控制为不超过0.5 m/h,而水平构件的浇筑速率应把控在 $\leq 1.5 \text{ m/h}$ 。以剪力墙施工为例,施工时采用分层浇筑技术,每层高度设置成500 mm,同时配合插入式振捣器开展工作,把单点振捣的时间限定在20 ~ 30秒,振捣棒的插入间隔不超过400 mm。通过以上途径,切实规避了混凝土离析、泌水以及局部胀模等质量问题,保障了结构整体密度与成型效果。

结合WPC 模板的导热能力对脱模工艺加以优化。由于WPC 模板导热系数仅为0.35 W/(m·K),与钢模板相比,混凝土中保温效果更好,使养护温度提升3 ~ 5 °C,进而使脱模周期缩短<sup>[2]</sup>。在竖直构件施工时,混凝土浇筑12 ~ 16小时便可安全脱模;在水平构件施工时,砼强度达到设计强度的75%才可脱模,在正常温度状况下大概是24 ~ 36小时。为进一步减少表面受损概率,脱模过程应选用专用吸盘装置,杜绝采用硬性工具撬

动,防止清水砼表面出现缺陷。实际工程监测结果表明,运用该方法完成脱模后,清水砼表面的破损比例可控制到 0.5% 以下,较传统钢模板 3% 以上的破损率大幅降低,既提升了清水砼外观质量,还增加了 WPC 模板的周转时长。具体见图 1。

### 2.3 模板周转与维护技术

通过出色的物理学特性与耐候表现,在清水砼施工中可实现多次周转。为使其耐用性能充分发挥且延长使用期限,需搭配科学的维护管理手段。脱模操作结束后,需立即开展模板清理工作,一般采用高压水设备进行冲洗操作,冲洗水压应控制在 0.8 MPa,从而高效去除表面附着的残余砼浆与颗粒物。若未及时开展清理工作,模板表面的残留混凝土会硬化,影响后续砼浇筑的平整程度与外观表现。在完成清洗操作后,应对模板表面及企口缝的完整性进行细致检查,若存在局部划痕或磨损,应运用专用的腻子开展修补工作。修补工作结束后,应把模板表面平整度的误差限制在 1.5 ~ 2 mm/m,保障后续施工质量不受干扰。

WPC 模板同样要开展科学管理。模板存放需采用水平堆叠形式,将堆叠高度把控在 1.5 m 内,底部需均匀布置木方,间隔不大于 600 mm,以此分散模板自身

重量,防止长时间受力引发局部变形。存放环境需维持干爽通风,防止因潮湿情况造成企口缝磨损程度加深或局部出现变形现象,进而有效延长模板的使用期限。针对实际工程项目中的 18 mm 厚 WPC 模板,实施长期周转性能的追踪监测,前 30 次使用期间,模板的静曲强度和弹性模量大体维持稳定,未出现显著衰减,清水砼表面平整度的误差稳定控制在 1.5 ~ 2 mm/m 区间。在经历 50 次周转后,静曲强度降低到 16.2 MPa,降幅约达 10%;弹性模量降低到 2 300 MPa,下降幅度约 8%,不过依旧符合施工规范标准。到第 55 次周转的节点,由于企口缝磨损状况显著,拼接部位存在漏浆隐患,已不适宜继续投入使用。相较于传统竹胶合板模板仅能使用 10 次影响便报废,WPC 模板寿命提升约 4.5 倍,极大地提升了经济效益和施工效率,还体现出优良的绿色环保特性<sup>[3]</sup>。

## 3 WPC 高分子模板清水砼施工应用效果分析

### 3.1 施工质量效果

挑选 3 个运用 WPC 高分子模板的清水混凝土项目,开展砼表面质量与结构性能的检测,检测所得结果见表 2。三个项目清水砼的表面平整度误差均 ≤ 2 mm/m,垂直度的误差 ≤ 3 mm/2 m,达到了清水砼质量验收标准;

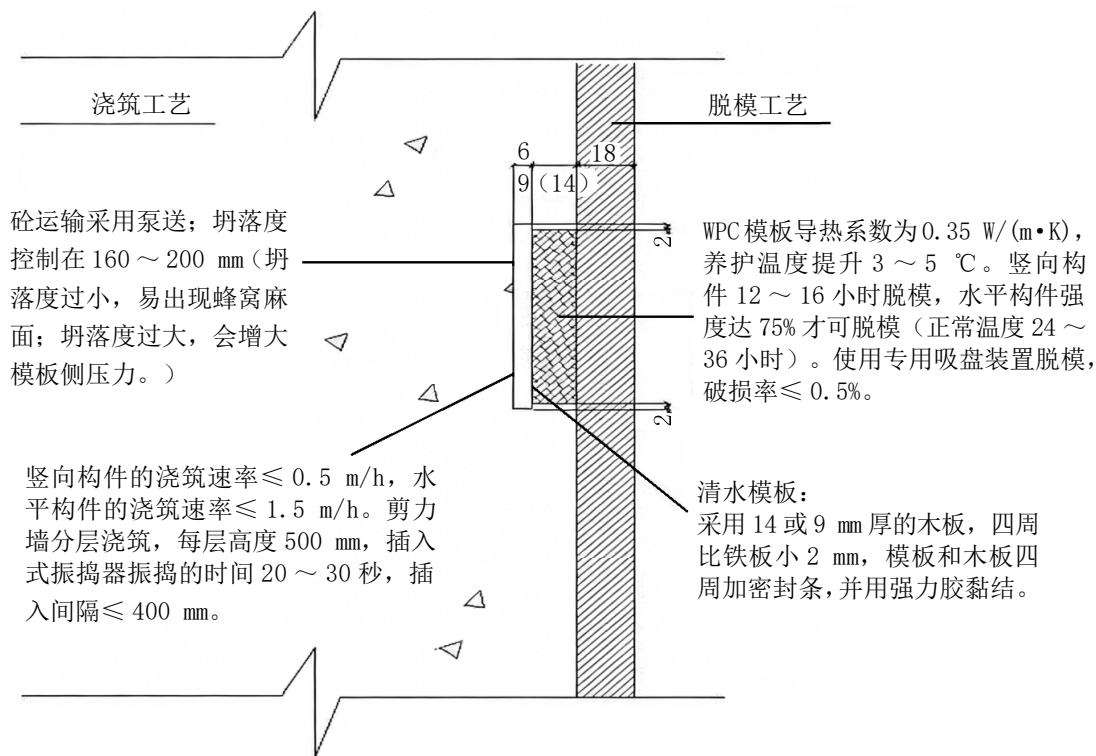


图 1 WPC 模板清水混凝土施工工艺要点

表2 WPC高分子模板清水砼施工质量检测表

项目类型	检测指标	规范要求	实测值(项目1: 住宅楼板)	实测值(项目2: 办公楼剪力墙)	实测值(项目3: 桥梁墩柱)
表面平整度	误差(mm/m)	≤3	1.8	1.5	2.0
垂直度	误差(mm/2m)	≤4	2.5	2.2	3.0
表面缺陷率	(%)	≤2	0.8	0.5	1.0
砼抗压强度	达标率(%)	100	100	100	100
强度标准差	(MPa)	≤3.0	2.2	2.0	2.5

表面存在的蜂窝、麻面、色差缺陷,其比率都≤1%,大大低于传统模板施工时≥5%的缺陷率;清水砼抗压强度实现百分百达标,同时强度离散程度低,证明了WPC模板可提升清水砼质量<sup>[4]</sup>。第三方检测办公楼剪力墙清水砼,表面平整度最佳评分为98分,荣膺“省级优质工程”称号。

### 3.2 施工效率效果

WPC高分子模板质量轻盈、安装便利,可有效提高施工效率。安装WPC模板时,一块规格为18mm×1220mm×2440mm的WPC模板,重量仅21.96kg,只需两名工人就能够轻松搬运,每日每组的安装面积可达80~100m<sup>2</sup>,和传统钢模板(安装速率40~60m<sup>2</sup>/天·班组)相比,提高了66.7%;运用专用卡扣开展模板拼接工作,拼接单缝耗时不超1分钟,而竹胶合板模板采用钉子拼接,拼接时间每缝不少于3分钟,节省了66.7%。

住宅项目由3栋18层的楼构成,运用WPC模板开展清水砼楼板与剪力墙施工,与同户型采用竹胶合板模板的项目相比,施工周期减少15天,人工成本从85元/m<sup>2</sup>降到63元/m<sup>2</sup>,降低了22元/m<sup>2</sup>,主要原因在于WPC模板安装效率高,不用频繁更换,竹胶合板模板每栋楼需更换2~3次,WPC模板仅需换一次。

### 3.3 经济与环保效果

从全寿命周期成本考量,WPC高分子模板虽起步单价较高(大概120元/m<sup>2</sup>,竹胶合板模板大概60元/m<sup>2</sup>,钢模板大概200元/m<sup>2</sup>),不过因其周转频次多,单位面积的成本明显降低:若WPC模板实现50次周转,每平方米成本为120元/m<sup>2</sup>÷50次=2.4元/m<sup>2</sup>·次;当竹胶合板模板周转次数达到10次时,每单位面积所产生的成本为60元/m<sup>2</sup>÷10次=6元/m<sup>2</sup>·次;钢模板周转次数为30次的情况下,每平方米成本为200元/m<sup>2</sup>÷30次≈6.67元/m<sup>2</sup>·次。经项目计算表明,运用WPC模板后,清水砼模板工程的总成本与竹胶合板模板相比降低了38%,与钢模板相比降低了49%。

从环保角度看,废弃的WPC模板可回收再利用,再利用率高达90%,每1万平方米WPC模板可使木材消耗减少约50m<sup>3</sup>,等同于保护10棵成年树木,大约可减少8t建筑垃圾;生产期间不释放甲醛(甲醛含量≤0.1mg/L),满足《室内装饰装修材料 胶粘剂中有害物质限量》(GB18583-2008)标准规定,相较于竹胶合板模板(甲醛含量≥1.5mg/L),环保性更佳。项目所用WPC模板报废后,均由专业厂家回收处理,达成“零废弃”状态,被授予“绿色施工示范项目”认证<sup>[5-6]</sup>。

## 4 结束语

在清水砼施工中,WPC高分子建筑模板展现出卓越性能:竖向和水平构件可满足密度、强度与耐候性的要求,通过支撑强度计算模型,可有效防止变形,工程应用中将挠度控制在1.2mm以下;经改良的浇筑及脱模工艺使混凝土表面平整度误差控制在2mm/m以下、缺陷率控制在1%以下,模板可循环使用50次以上,使施工质量与效率大幅提升;相较于竹胶板,其单位面积成本下降了38%,回收比例达到90%,既具备经济效益,又具有环保效益。未来应持续改良材料配比与智能安装工艺,扩大其在大跨度、重荷载构件中的应用范围。

## 参考文献:

- [1] 毛冰慧.装配式建筑铝模板施工技术要点[J].模型世界,2024(36):118-120.
- [2] 解云霞.木塑复合材料在装配式建筑中的应用[J].合成材料老化与应用,2022,51(04):133-134,154.
- [3] 王志强.现浇混凝土顶板铝框塑料模板与支撑快拆体系技术分析[J].安徽建筑,2024,31(06):47-48.
- [4] 吕绕英.木塑复合材料在绿色建筑中的应用[J].塑料工业,2023,51(03):208.
- [5] 周丽红.木塑复合材料在建筑中的应用[J].砖瓦,2021(01):45-46,48.
- [6] 程明,赵保伟,刘乾,等.建筑混凝土模板支撑体系施工技术分析[J].砖瓦世界,2025(23):94-96.