

UHPC保温装饰一体板的制备及其应用前景分析

黄建¹, 吴健¹, 曹亚然², 曾科¹

¹中能建装配式建筑产业发展有限公司, 广东 深圳

²北京科技大学绿色低碳钢铁冶金全国重点实验室, 北京

收稿日期: 2023年10月26日; 录用日期: 2024年3月21日; 发布日期: 2024年3月29日

摘要

本文制备了一种由高性能水泥基材料和保温材料复合组成的UHPC保温装饰一体板, 其中胶凝材料饰面层采用白色硅酸盐水泥、白硅灰、偏高岭土的三元胶凝组成体系, 结构层采用普通硅酸盐水泥、硅灰、粉煤灰的三元胶凝组成体系, 钢纤维选用端钩型镀铜微纤维, 掺量为2.0%。制备的性能优良的UHPC保温装饰一体板具有坍落扩展度为860~910 mm的优良工作性能, 28天抗压强度和抗折强度分别为126~138 MPa和17~23 MPa。在此基础上, 总结了UHPC保温装饰一体板的安装和施工工法, 分析了其技术特性和在装配式建筑中的应用案例。研究表明, UHPC保温装饰一体板强度高、重量轻、保温性能好, 且施工方式简单, 应用范围广, 具有良好的应用前景。

关键词

UHPC, 保温装饰, 一体板, 装配式建筑

Analysis of Preparation and Application Prospect of UHPC Insulation Decorative Integrated Board

Jian Huang¹, Jian Wu¹, Yaran Cao², Ke Zeng¹

¹China Energy Engineering Prefabricated Construction Industry Development Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

²State Key Laboratory of Green Mild Steel Iron Metallurgy, University of Science and Technology Beijing, Beijing

Received: Oct. 26th, 2023; accepted: Mar. 21st, 2024; published: Mar. 29th, 2024

Abstract

In this paper, a kind of UHPC insulation decoration integrated board made of high-performance cement-based materials and insulation materials was prepared. The cementing material finishing layer was composed of white Portland cement, white silica ash and metakaolin, and the structural layer was composed of ordinary Portland cement, silica ash and fly ash. The structure layer is composed of ordinary Portland cement, silica fume and fly ash. The end hook type copper-plated microfiber was selected for steel fiber, and the content was 2.0%. The prepared UHPC insulation decoration integrated board with excellent performance has excellent working performance of slump expansion of 860~910 mm, 28-day compressive strength and flexural strength of 126~138 MPa and 17~23 MPa, respectively. On this basis, the installation and construction methods of UHPC insulation decoration integrated board are summarized, and its technical characteristics and application cases in prefabricated buildings are analyzed. The research shows that UHPC insulation decoration integrated board has high strength, light weight, good insulation performance, simple construction method and wide application range, and has a good application prospect.

Keywords

UHPC, Insulation Decoration, Integrated Board, Prefabricated Buildings

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前我国建筑保温方式主要采用外墙外保温体系,这类保温体系主要是由聚苯板(EPS板或XPS板)、聚苯颗粒、发泡聚氨酯(现场发泡或成品发泡板)、泡沫玻璃、保温岩棉等保温材料作为保温层,通过粘贴或机械锚固等方法将保温材料固定到建筑物的围护结构上,然后在其表面再进行防水、抗开裂等处理并进行表面装饰施工[1]。虽然外墙外保温系统技术在很短的时间内取得了令世界瞩目的成就,但在推广应用过程中由于质量控制不稳定等一系列问题,导致了外墙外保温工程空鼓、开裂、渗水、脱落、着火等质量安全问题时有发生,给工程质量带来很大的安全隐患。

为应对以上问题,国内出现了以真石漆、水泡水、氟碳漆、大理石、花岗岩为饰面的保温装饰一体板,虽然在一定程度上缓解了以上问题,但是真石漆、水泡水涂料等号称室外使用寿命能达到10年,但实际使用5~8年就需要再次维护、翻新;即便是室外使用寿命能达到15年的氟碳涂料也仅能涂装成各种建筑单色[2]。

根据《国务院关于印发“十三五”节能减排综合工作方案的通知(国发[2016]74号)》“到2020年,城镇绿色建筑面积占新建建筑面积比重提高到50%。实施绿色建筑全产业链发展计划,推行绿色施工方式,推广节能绿色建材、装配式和钢结构建筑。强化既有居住建筑节能改造,实施改造面积5亿平方米以上,2020年前基本完成北方采暖地区有改造价值城镇居住建筑的节能改造”。如果按目前国内每年新建房屋及厂房20亿平方米计算,一体化墙板使用量如果能达到20%(目前不足1%),则每年市场容量可达400亿元人民币。另外,实施5亿平方米既有居住建筑节能改造,则年均市场容量可达100亿元。可见,未来五年,保温装饰一体化墙板每年将创造500亿级的大市场,成为了一个新兴的朝阳产业[3]。

针对上述各类外墙保温体系的缺陷,中能建装配式建筑产业发展有限公司研发团队研发出了一种新型UHPC保温装饰一体板,它的上层(装饰层)为UHPC材料,具有强度高、厚度薄、耐候性好、装饰效果多样化等特点,下层为保温层,可使用市场上大多数有机、无机类保温材料通过粘贴复合而成保温装饰一体化板,再通过干挂方式固定于装配式建筑外墙上,施工方式简单,无安全隐患,而且有较长的使用寿命,发展前景广阔,本文主要从制备工艺、技术特点与工程应用方面对装饰板进行了详细的介绍。

2. 技术方案

装饰保温一体化板顾名思义是指将保温防火材料与UHPC材料饰面板通过独特工艺复合而成的一种新型环保建材,产品采用流水线标准化、模块化制作,集保温、防火、装饰功能一体化,能实现施工装配化,绿色环保的目的。工厂模块化生产,现场粘结锚固施工。保温装饰板主要由两层材料组成,面层为加入各种辅助材料形成的装饰层,底层为防火保温材料。安装采用专用的粘结砂浆+锚固件的双重紧固结构与基层外墙板粘贴,板与板之间的缝隙采用耐候性硅酮弹性密封胶进行密封处理。

2.1. 原材料

胶凝材料饰面层采用白色硅酸盐水泥、白硅灰、偏高岭土的三元胶凝组成体系,结构层采用普通硅酸盐水泥、硅灰、粉煤灰的三元胶凝组成体系;骨料选用质地坚硬、洁净的粗、细级配集合的浅色石英砂,钢纤维选用综合性能较好的端钩型镀铜微纤维;保温材料可选用A级或者B1级防火保温材料。原材料及其技术性能要求见表1。

Table 1. Raw materials and technical performance requirements

表 1. 原材料及技术性能要求

材料品种	规格型号	主要技术性能要求
白水泥	P.W52.5	3 d抗压强度40.5 MPa, 28 d抗压强度63.2 MPa, 比表面积420 m ² /kg, 白度 ≥ 85
白硅灰	不加密	SiO ₂ 含量 ≥ 98%, 28 d活性指数107%
偏高岭土	800目	需水量比 ≤ 135
普通硅酸盐水泥	P.O42.5	3 d抗压强度27.6 MPa, 28 d抗压强度50.8 MPa, 比表面积380 m ² /kg
硅灰	不加密	SiO ₂ 含量 ≥ 98%, 28 d活性指数107%
粉煤灰	二级	45 μm筛余10%, 28 d活性指数88%
石英砂	20~325目	纯适应砂, 20~40目、40~70目、325目按7:3.5:1紧密堆积比例混合
钢纤维	Φ0.2 × 13 mm	端钩型, 长径比65, 抗拉强度 ≥ 2850 MPa
PP纤维	6 mm	抗拉强度 ≥ 1400 MPa
减水剂	高性能聚羧酸	固体含量40.4%, 减水率 > 35%
颜料	铁系无机颜料	铁系无机颜料
纤维网格布	5 × 5 mm	耐碱玻纤, 容重100 g/m ²
保温材料	保温材料	防火等级A级或B1级, 导热系数 ≤ 0.4 W/m.k

2.2. 装饰板组成

2.2.1. 装饰层

装饰层是由先进水泥基高性能复合材料UHPC制备而成的外墙装饰挂板,这种高性能水泥基材料的主要组成有有机胶凝材料、活性掺合料、级配砂、增强纤维及其他辅助材料等,包括饰面层和结构层,它具有强度高、厚度薄、吸水率低、耐候性好等优点。它的主要技术性能如表2所示。

Table 2. Technical properties of decorative layer (UHPC)
表 2. 装饰层(UHPC)的技术性能

技 术 指 标	抗压强度	1240 MPa
	抗折强度	18~20 MPa
	吸水率	<2%
	基板厚度	10~12 mm
	耐久性能	与建筑同寿命

2.2.2. 保温层

保温层按住建部实施最新节能设计要求选用保温芯材，同时兼顾客户需求采用防火等级为 A 级或者 B1 级防火保温材料，如下：

燃烧性能为 A 级的保温材料：岩棉、玻璃棉、泡沫玻璃、泡沫陶瓷、发泡水泥、闭孔珍珠岩等。膨胀玻化微珠板、膨胀珍珠岩板和泡沫玻璃板等无机保温板。

燃烧性能为 B1 级的保温材料：特殊处理后的聚苯板(XPS 或 EPS)，特殊处理后的聚氨酯(PU)、酚醛、胶粉聚苯粒等。

2.3. 装饰板的构造

UHPC 装饰板的装饰保温集成一体化是通过 UHPC 装饰层与保温层直接粘结形成，并以连接件加强装饰层与保温层之间的粘结性能，这种构造方式便于装饰板可以在工厂进行反打工艺的工业化生产。装饰板的构造如图 1 所示。

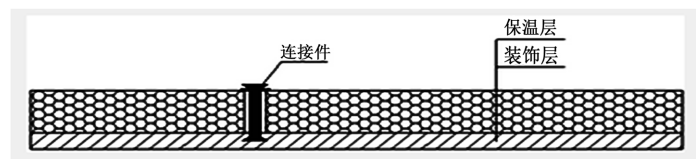


Figure 1. Structure diagram of decorative board
图 1. 装饰板的构造图

2.4. 配合比及性能测试

2.4.1. 配合比设计

UHPC 装饰板对 UHPC 流动性要求较高，在 UHPC 配合比设计时，重点考虑了工作性能，确保达到自密实混凝土填充性 SF3 的坍落扩展度要求(760~850 mm)。钢纤维对 UHPC 的增强作用较好，但钢纤维的掺入对工作性能不利，笔者经试验研究发现，当钢纤维体积掺量在 2.0%~3.0%时，UHPC 具有较好的力学性能，也能满足工作性能要求。本项目所制备的 UHPC 装饰板对 UHPC 的力学性能要求也较高，通过试验最终确定钢纤维掺量为 2.0%。UHPC 配合比见表 3。

Table 3. UHPC mix ratio of decorative layer
表 3. 装饰层 UHPC 配合比

	材料	白水泥	白硅灰	偏高岭土	石英砂	PP 纤维	外加剂	水	无机颜料
饰面层	单方用量 (kg/m ³)	750	100	150	1200	1.35	20	180	2.65
	材料	普硅水泥	硅灰	粉煤灰	石英砂	钢纤维	外加剂	水	
结构层	单方用量 (kg/m ³)	700	100	150	1150	157	20	171	

2.4.2. 性能分析

根据表 3 的 UHPC 配合比及制备流程, 制备了 UHPC 产品, 产品技术性能见表 4。由表 4 可见, 本技术方案制备的 UHPC 在结构层和饰面层均具有优良的工作性能, 较高的抗压强度和抗折强度, 饰面层吸水率、抗冲击性能及抗冻融性合格。其中, 其具有坍落扩展度为 860~910 mm 的优良工作性能, 28 天抗压强度和抗折强度分别为 126~138 MPa 和 17~23 MPa。

Table 4. UHPC performance test table

表 4. UHPC 性能测试表

	工作性能		抗压强度(MPa)		抗折强度(MPa)		吸水率	抗冲击性	抗冻融性
	坍落度(mm)	扩展度(mm)	7 d	28 d	7 d	28 d			
饰面层	305	910	116.4	138.4	14.8	17.6	0.85	≥10 次	≥200 次
结构层	290	860	105.9	126.5	19.6	23.4			

2.5. 制备流程

第一步, 模具组装; 采用玻璃钢组合式模具, 底模尺寸为 1220 × 2420 mm, 边模尺寸为 30 mm (高于装饰板厚度 10~15 mm), 模具组装完成后应清扫干净, 使用高压气枪吹扫灰尘, 为防止污染装饰面, 底模刷涂清水型无机脱模剂。

第二步, 浇筑饰面层; 搅拌制度: 投入胶凝材料、无机颜料和石英砂→搅拌 30~45 s→加入 1/2 水和减水剂→搅拌 1~2 min→加入剩余水→搅拌 3~5 min, 至 UHPC 砂浆拌合物具有一定流动性→保持继续搅拌, 同时均匀投入 PP 纤维→继续搅拌 1~2 min, 至 PP 纤维分散均匀。

第三步, 铺设网格布; 沿装饰板纵向铺设耐碱玻璃纤维网格布, 边缘距离模具约 20 mm, 网格布搭接宽度 10~20 mm, 铺设完成后使用滚筒将网格布压入 UHPC 浆料中, 振动 5~10 s, 以使 UHPC 浆料气泡排出和流动均匀。

第四步, 浇筑结构层; 搅拌制度: 投入胶凝材料和石英砂→搅拌 30~45 s→加入 1/2 水和减水剂→搅拌 1~2 min→加入剩余水→搅拌 3~5 min, 至 UHPC 砂浆拌合物具有一定流动性→保持继续搅拌, 同时均匀投入钢纤维→继续搅拌 2~3 min, 至钢纤维分散均匀。UHPC 浆料浇筑完成后振动 5~10 s。

第五步, 养护和表面处理; 采用蒸汽养护 + 自然养护的组合养护方式, 养护制度: 静停 6 h, 蒸汽养护 10 h (60℃, 湿度 ≥ 90%), 出养护窑后以翻转机将装饰板翻转 180°使装饰面朝上, 自然养护 7~14 d, 表面水渍干燥后刷涂防护剂以提高装饰板耐污性能, 经切割机切割、包装后堆码入库。

3. UHPC 保温装饰板的安装工艺

施工工艺流程包括: 墙体基层处理→现场测量、弹线分格→粘锚装饰板→锚固件安装固定→密封胶填缝→去膜清理。基层墙体的外侧用水泥砂浆找平。找平层与基层墙体的粘接强度不低于 0.3 MPa, 并且粘结界面脱开面积应不大于 50%。基层墙体应达到《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204-2002)、《砌体工程施工质量验收规范》(GB 50203-2002)要求, 当基层墙体的平整度不符合要求时, 可采用 1:3 水泥砂浆找平, 并在基层施工验收完毕, 门窗框及附设管线设备安装就位之后进行。

装饰板在找平层的基层墙体上, 采用以粘为主、粘锚结合或干挂的方式将装饰层固定在基层上, 板缝采用填缝材料封填, 并用硅酮密封胶嵌缝密封。目前装饰板在传统建筑或节能改造建筑中主要采用粘锚(或粘挂)结合的安装工艺, 为了进一步提高装饰板的整体安全性, 使用锚固件, 紧扣装饰层, 再次将装饰板与墙体牢固地连接在一起。这种工艺施工便捷, 比起干挂工艺, 不仅节约龙骨的成本, 而且安全牢

固，为高层建筑的外墙保温装饰提供了全方位保障。在装配式建筑中，UHPC 装饰板还可以采用反打工艺，施工效率大大提高。施工安装的节点构造图如图 2 所示。

在粘锚装饰板方面，程序如下：

- 1) 装饰板粘结面上应涂刷界面砂浆；在界面砂浆表干后，再披刮胶粘剂。
- 2) 装饰板可采用条粘法和点框粘法粘贴，并优先采用条粘法。
- 3) 粘贴装饰板应从勒脚部位开始，自下而上，沿水平方向铺设粘贴。
- 4) 保证装饰板粘贴的平整度、垂直度。每贴完一块，应及时清除挤出的砂浆；板间的缝隙要一致。

在锚固件安装定位方面，程序如下：

- 1) 根据排版图确定的锚固件位置钻孔，钻孔深度为锚固深度再加上 10 mm，并随即清理钻孔灰尘。
- 2) 装饰板粘贴完毕后即可进行锚固件安装，锚固件进入混凝土基层的有效锚固深度应大于等于 25 mm，进入砌体墙体基层的有效锚固深度应大于等于 50 mm。
- 3) 将锚固件固定于墙体上，并拧紧膨胀锚栓，胶粘剂未干前，锚栓预拧不应过紧，胶粘剂干燥 24 h 后拧紧。

在填缝处理方面，程序如下：

- 1) 装饰板板缝处理在胶粘剂干燥后进行。处理前应清洁其周边部位，在板缝中注入聚氨酯泡沫或嵌入聚苯乙烯泡沫条，后再挤注硅酮密封胶。
- 2) 挤注前在板缝两侧饰面层上贴美纹纸，挤注时枪嘴伸入缝隙内约 4 mm，缓慢移动连续进行不得出现空穴或气泡。
- 3) 挤注密封胶后应顺一个方向立即进行胶缝的修刮平整，不可来回往复移动，以免裹入空气形成气泡，然后揭下美纹纸。

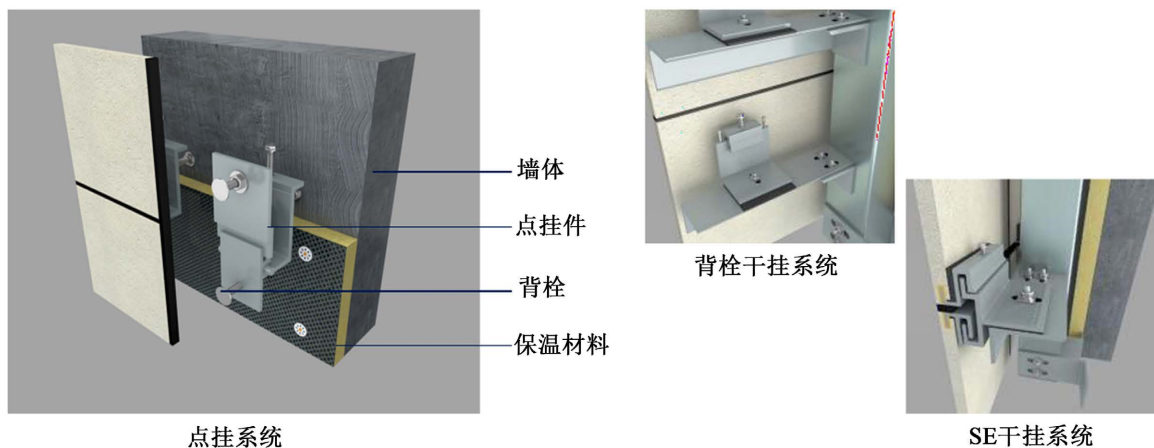


Figure 2. Installation node construction diagram
图 2. 安装节点构造图

4. 工程实例及应用前景分析

4.1. 工程应用情况

长沙中民筑友科技产业园项目，占地 400 亩，项目总投资 15 亿元，产业园所有建筑外墙保温体系都将采用装饰板，目前已在产业园办公大楼、研发楼、食堂及宿舍楼等多个建筑体大量应用，应用总面积超 10,000 平方米。产业园装饰板应用实例见图 3、图 4。

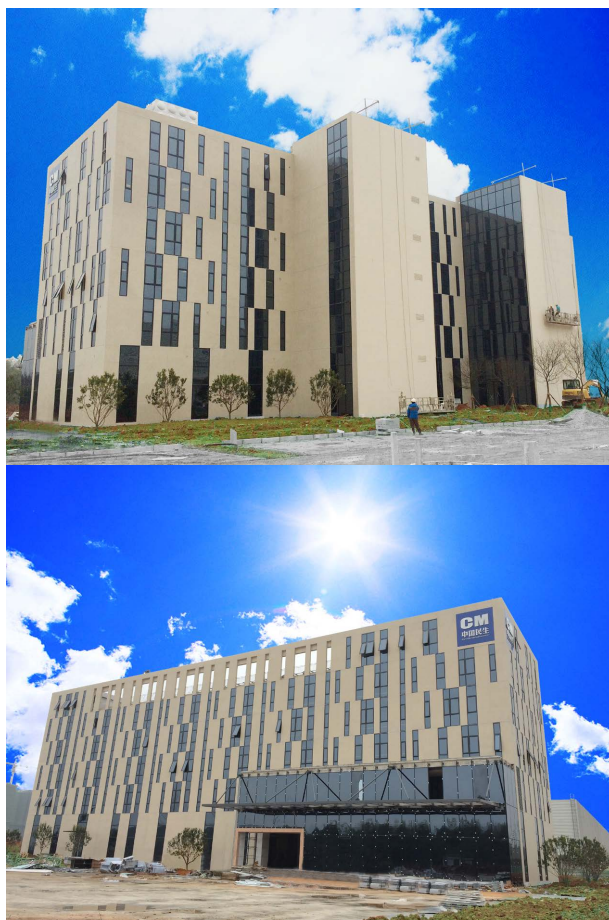


Figure 3. Canteen, dormitory and office building of industrial park
图 3. 产业园食堂、宿舍及办公大楼



Figure 4. Corner of the gate of industrial park
图 4. 产业园大门一角

4.2. 技术特点分析

UHPC 装饰板按照 65% 建筑节能要求进行热工设计, 采用高强度、闭孔细胞结构的保温防火芯材, 导热性低而稳定, 具有极佳的保温隔热性能, 不受温度、湿度的变化影响。

装饰板的饰面为 UHPC 材料, 可塑性极强, 通过调整配方和经过特性工艺处理, 装饰板能提供个性化的元素, 改变单一素色的局面。采用装饰板可使设计风格更多, 色彩的多样性、纹理的变化性, 可以叠加组织成任何想要的美丽图案, 从外观上拓展了建筑师的设计空间。

装饰板的饰面层厚度仅为 5~8 mm, 容重仅为 12~15 Kg/m², 最大程度减轻了建筑外墙的负荷, 轻质的优点很大程度地降低了地震对建筑物的影响, 采用粘接与锚固相结合的方式, 杜绝饰面层与保温层剥离的隐患, 极大地提高了施工的安全性, 安装快速, 也同时大幅度消减了质量隐患、安全隐患。由于饰面基材采用具有超高强度的 UHPC 材料与保温防火材料粘接一体化后, 其板面抗冲击性、抗弯强度、抗形变性能良好, 抗震抗裂, 坚固安全。装饰板的饰面层全部使用无机材料, 抗紫外辐射能力极强, 适用于对耐紫外性能要求高的环境, 使保温系统的功能和使用寿命达到与建筑物同寿命的要求。系统耐候 50 年, 成本降低 50%。

由于采用工厂模块化生产, 简化了现场安装。装饰板施工是传统涂装模式中现场繁杂的作业环节, 如施工工艺需要二十几道工序简化为三道工序。

环保节能将成为企业发展的主题, 绿色消费成为主导建筑消费市场的主流观念, 因此满足绿色消费的需求, 发展高性能、高技术生态建筑, 不仅要从建筑外观效果, 还要从整体设计和制造过程, 减少对环境污染, 给人们营造舒适的环境。UHPC 保温装饰板一体板的饰面板是采用流水线自动化在工厂生产, 每分钟能生产 40~50 米, 生产效率高, 质量易控制。饰面板 UHPC 材料为无机材料, 无辐射、无污染、绿色环保, 对人体和环境没有任何污染, 同时很大程度上减少了建筑垃圾。

4.3. 技术经济性分析

传统保温装饰体系多采取保温层加涂料、保温层加瓷砖、保温层加真石漆、保温层加干挂石材等方式。与装饰板相比, 采取保温层加涂料、保温层加真石漆的方式, 初期成本较低, 但后期维护与维修成本大; 采取保温层加瓷砖方式, 投资成本相当, 但施工复杂, 特别是瓷砖自重大, 有剥落和安全隐患; 采取保温层加干挂石材方式, 初期投资约为装饰板的两倍, 而后期维护费用基本相当[4]。

虽然装饰板的初次投入成本略高, 但就长期综合成本来看, 装饰板的耐用期为 25 年以上, 保温节能高达 65% 以上, 工效提高一倍, 工期缩短一半, 综合成本却下降 30~70%, 在全使用寿命周期内, 整体成本适中。

5. 结语

本文制备了由无机材料装饰层复合制备的 UHPC 保温装饰一体板, 其中胶凝材料饰面层采用白色硅酸盐水泥、白硅灰、偏高岭土的三元胶凝组成体系, 结构层采用普通硅酸盐水泥、硅灰、粉煤灰的三元胶凝组成体系, 钢纤维选用端钩型镀铜微纤维, 掺量为 2.0%。制备的性能优良的 UHPC 保温装饰一体板具有坍落度为 290~305 mm 以及扩展度为 860~910 mm 的优良工作性能, 28 天抗压强度和抗折强度分别为 126~138 MPa 和 17~23 MPa; 饰面层吸水率为 0.85, 抗冲击性能及抗冻融性合格。

研究表明, 装饰板比起其他类型的保温装饰一体化板有天然的优势, 克服了有机板先天的缺陷, 解决了保温不防火及防火不保温的尴尬局面, 使得外墙保温实现保温防火同步的目标, 同时装饰效果非常好, 满足设计师对安全和用户装饰的需求。

参考文献

- [1] 全鹏. 聚氨酯硬泡保温装饰一体化复合板在建筑保温装饰中的应用[J]. 建筑节能与绿色建筑, 2014(10): 86-87.
- [2] 王庆辉, 徐向飞, 朱宝旭, 隋玲玲. 保温装饰一体化板在辽宁省的应用[J]. 保温结构一体化, 2015(21): 42-44+47.
- [3] 范一菁. 保温装饰一体化板的特点及应用[J]. 科技资讯, 2014, 12(19): 187.
- [4] 陈立. 外墙保温装饰一体化板的应用与施工[J]. 福建建材建筑, 2010(6): 62-63.