

PFC聚合物泡沫混凝土材料助力好房子建设

王月霞¹ 祁磊² 王威² 钟金星³ 高晓玲³ 孙亚茹⁴

1. 北京市建筑设计研究院股份有限公司 北京 100045

2. 山东济创新材料科技有限公司 山东 枣庄 277101

3. 河北津西新材料科技有限公司 河朔 唐山 064302

4. 山东德友建设有限公司 山东 枣庄 277101

摘要: PFC聚合物泡沫混凝土以其独特闭孔多泡结构,实现了轻质高强、耐水火、隔声等多项优越性能,加之良好可加工性,在建筑工业化背景下,有强大应用潜能。本文从常用建材缺陷、当下应用困境入手分析,围绕PFC材料替代优势,阐述建设实践中,该种新建材对解决既有问题的贡献、应用效益分析,全方位论证其对好房子建设的助力。

关键词: 高集成;易加工;外围护;轻质隔声;体系应用

1 引言

节能降碳、消防安全、绿色建造逐年加码,质量提升、防水保温使用年限、利废要求不断提高,标准提升遭遇市场下滑、利润降低,降本与提质矛盾突出。此背景下,开展缺项建材摸排,按需挖掘替代材料,将材料研发、制品研发、设计应用无缝衔接,才能突破既有禁锢,寻到好的解决方案。

泡沫混凝土类材质由于独特物理结构,新改良措施的加持下获得了卓越建树,田磊等人^[1],吕雪森等人^[2]提出了新材料研究成果,王新泉等人^[3]很早认识到泡沫混凝土的独特优势,并提出工程应用策略。建筑隔声方面,张泽焕等人^[4]也提到泡沫混凝土创新应用做法。

2 因适合的建材缺失引起的房屋建造困境

审视当前的房屋建设实践,发现当前面临的主要问题有:

1) 保温材料节能性能与防火要求相矛盾,好的保温体系解决方案欠缺:有机保温热工性能卓越但燃烧性能差,多场景应用受限。岩棉易吸湿变形广受诟病,其薄抹灰体系多地禁用。常见A级无机保温制品,如膨胀珍珠岩、无机保温砂浆因热工性能不足,随节能要求提升保温层越发厚重,材料松散引发剥落破损,很难适用于I、II、VI、VII类气候区。石粉改性聚苯颗粒保温制品名义燃烧性能A2,当阻燃成分添加不足时,燃烧性能不达标,添加过量则影响热工性能,已在多地受限。三明治墙PC构件因制造安装精度难控,装配过程调平难,不能实现

安装后免抹灰,修补找平耗费更多用工,60mm厚钢筋混凝土外页单平米重超150kg,仅靠保温连接件与主体结构相连,增大质量风险;飘窗等部位构件形态复杂,构件连接处漏水隐患大。保温免拆模板多采用水泥聚苯颗粒作防火保护层,仅能减少部分模板,安装后还需抹灰找平,外部装饰构件与主体结构衔接更为麻烦。目前广泛适用、好用的外墙保温体系仍缺位。

2) 非承重外围护墙欠缺适宜材料:混凝土空心砌块、加气混凝土砌块、ALC等占据市场多年,但缺陷显而易见:砌体类功效低,不符合工业化原则;蒸压加气类易吸湿涨缩引起裂缝。缺替代材料使多地仍以“高精砌块”名义允许砌筑墙应用。ALC应用时须做内部穿筋、洞口八字脚扁钢加强、表面满铺及拼缝处搭接玻纤网格布、两道防水等繁琐措施^[6],未能真正简化工序,实为无奈过渡性措施。尚有“全砼外墙”,铝模全现浇应用,为理清受力逻辑,以“拉缝”构造作为措施,即以塑料隔片分开受力与非受力,塑料件易老化降解,成为渗漏隐患。多地提出外墙“非砌筑、非现浇”,ALC外,水泥聚苯颗粒夹心复合水泥压力板墙、陶粒混凝土墙得以广泛应用,但此类墙材均存在吸水性、软化系数性能缺陷,适宜外墙材料一直缺位。

3) 轻质高强易加工成型且不惧水火的材料欠缺:居住建筑外立面造型日渐复杂,装饰部件常用做法有聚苯包水泥壳线脚、GRC或发泡陶瓷部件、局部出挑小板加砌筑等。但聚苯线脚防火受限,GRC重量大、价格高,发泡陶瓷磕碰难修补,挑板加砌筑施工繁琐复杂,该应用场景下适宜材料欠缺。

4) 成型精度高、与传统天然饰面易粘结牢固的材料欠缺:如《建筑围护结构完全解读》^[5]所提建筑外观做法

通讯作者: 王月霞,女,本科,高级工程师,一级注册建筑师,主要从事绿色低碳建筑、新建材应用及建筑工业化领域的技术研究、产品研发和工程实践。邮箱:22964303@qq.com。

纷繁多样，好房子建设要避免低质涂料瓷砖应用，对装饰幕墙给予容积率奖励等鼓励措施，但住宅建筑轮廓多变、节能要求高，幕墙体系难应用。贴砖掉落风险高应用受限，替代做法“砖幕墙”造价高、构造复杂；涂料仿砖饰面耐久性差。少量瓷砖、石材、岩板陶板反打案例，因混凝土成型精度不足导致完成精度不达标；粗骨料反打时易砸坏装饰材料、成品率低，为减少损失块材饰面被分割为较小规格，难满足设计需求。饰面体系选用困境折射到实践中，突出表现为商品房公建化立面趋雷同——大面积窗、金属饰面板及金属线条大量应用，成本不低且另有隐患：玻璃窗比实墙热工性能、隔声性能差，非透光部位须采用衬墙做法，外窗安装于墙外，安装精度要求高，安装缝隙处理不当、施工精度不足易渗漏。

5) 质轻且隔声性能优越的材料欠缺：新《住宅项目规范》要求分户墙空气声隔声达50DB，为此山东直接出台“分户墙需采用厚度不小于200mm的现浇钢筋混凝土墙”，但从结构受力、现场建造等多方面考虑，现浇钢筋混凝土厚墙并非最优选，如此一刀切相当于对建筑设计又上一道枷锁。

6) 建筑内部有水房间隔墙、需挂重物的隔墙、轻墙转角部位、大洞口两侧小的实体墙段缺少适宜材料，轻墙管线埋设难一体化实施：内墙通常用多种材料，一般位置用ALC，管井墙用砌块，有水房间用陶粒混凝土.....挂重物部位提前按钢筋混凝土墙设计或增设钢架。轻墙转角部位、大洞口两侧、< 300mm小墙段常留钢筋浇短混凝土段^[7]。未应用装配式装修的轻墙，管线安装后开槽、后埋线，ALC埋线补缝后还须静置时日。内墙拼接、小墙段连接、开槽埋线、静置维护等细节耗费工时多、工期长^[8]。

3 PFC 轻质混凝土特性与制品优势分析

传统建材在防火、防水、强度（特别是吸水后的保留强度）、隔声性能、吊挂力、生产形态、成型精度等几方面存在不足，针对以上，济创新材创制出PFC轻质混凝土材料，采用专利树脂发泡剂、物理发泡工艺获得了指标提升。PFC材料相较于铝粉化学发泡的ALC和双氧水化学发泡的传统泡沫混凝土，其内部闭孔，气孔更均匀、细密，无串孔及未起泡部分，具更高的强度和更低吸水率。

PFC材料因发泡制剂及制备方法特殊性，类似于田磊等人的材料制备机理^[9]，差异为气孔均匀、密闭，且具坚韧气泡核，干密度650KG/m³的PFC外墙制品，检测抗压强度可达7MP，体积吸水率5%左右，软化系数0.95

(ALC制品软化系数不足0.5)，干燥收缩值0.29mm/mm。

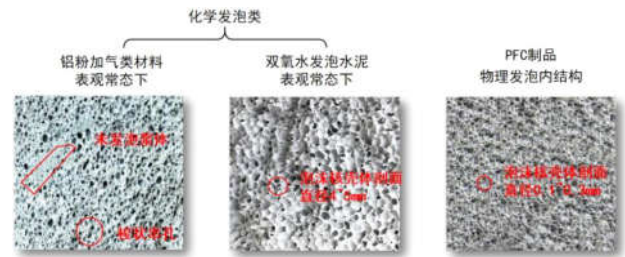


图1 不同发泡机理的建材内部结构比较

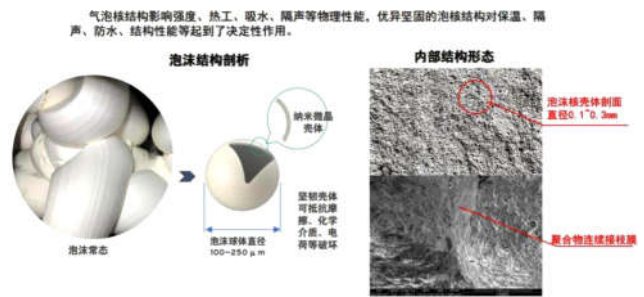


图2 PFC内部结构形态分析

PFC耐火性能卓越，燃烧性能A级，100mm厚试件3小时炉内燃烧实验背火面平均温度温升69.2℃，最高点温度温升74℃，持续长时间灼烧后，背火面温升呈稳定状态。

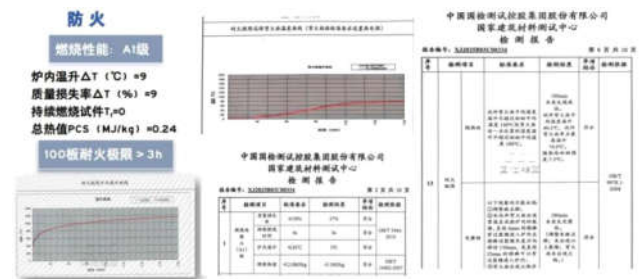


图3 PFC燃烧性能检测

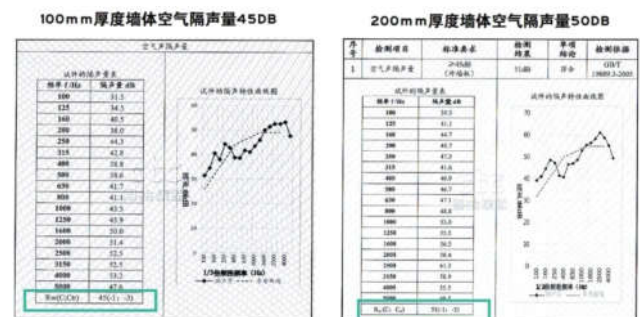


图4 PFC隔声检测报告情况

PFC因其独特坚韧壳体密闭气泡核结构，声波传入后，引起气泡核壳体变形、回弹，在这一过程中实现能量削减，达成轻质材料隔声的特殊技能。100mm厚干密度650KG/m³的外墙制品空气声隔声量可达45DB，200mm厚的同容重制品空气声隔声量可达50DB，该指标等同于同厚度现浇钢筋混凝土墙体。

PFC无粗骨料,和易性绝佳,其构件常温常压养护,适合工厂预制,预埋件、辅材可在生产过程中植入,实现定制化;成型过程干缩少,精度易控制,反打块材饰面更便利,反打后拉拔实验显示,饰面与PFC基墙间粘结力达0.5MP以上。

PFC可应用于外围护节能墙;可替代保温免拆模板和三明治墙有机保温保护层,实现免二次施工和减重;低容重PFC可作为III、IV、V类气候区保温隔热材料(容重低于 $250\text{KG}/\text{m}^3$ 时导热系数低至 $0.08\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以下);可用于外装饰部件,无惧水火,与建筑等寿命,与常用建材连接方便、可靠;与高强混凝土面层组合或反打块材饰面,可实现装饰一体化;高隔声性能,可用于分户墙等高隔声环境;可用于有水房间,卫生间应用无需反坎;可依需定制带洞口墙体,洞口两侧、转角部位、挂重物墙体无需特殊处理;可带管线一体化预制;承重非承重集中于同一部件制造安装,可实现一二次结构同步实施。

4 应用实践与收效

PFC已于多项目应用,石家庄中海正太玖里PFC分户墙平整无瑕,尺寸偏差 $<0.5\text{mm}$,整墙重1.6T,构件不出筋,单片墙10分钟内装完。单面4点支撑,两端支铝模后浇捣,拆模墙体无变形移位,PC与PFC衔接处平整光滑无漏浆。(墙下局部卫生间反坎可优化以PFC替代)。



图5 中海项目PFC分户墙现场应用情况

中海丽金府内墙全用PFC制品,验证非承重内墙与一次结构同步实施,验证内墙安装减少裁板、拼装、局部加强、衔接处构造柱后浇、管线后开槽、埋线后静置等多重繁琐工序。中海后续项目拟开展涵盖外围护墙体的全面一二次结构同步实施验证。

PFC承接生产企业津西新材料自建钢结构二层样板房、多层厂房,采用PFC三明治外墙(300mm厚,传热系数0.196)、PFC内墙,验证钢结构与PFC衔接、装配式装修与PFC衔接。

PFC模拟寒冷地区单层带内院民宿建造方案,七度区75节能标准,框架短肢剪力墙承重,建筑面积 180m^2 ,内外墙及坡屋面基板均采用PFC,外墙大面为涂料饰面,局部反打陶砖;内部有必要墙体、管线、基本洁具、炊

具,含基础、上人屋面、金属双坡屋面,综合造价单方约 $2000\text{元}/\text{m}^2$ 。



图6 津西自建钢结构二层样板房

5 未来展望

PFC建筑工业化领域市场推广才启动不久,当前的实践仅为浅尝辄止,随着越来越多业内人士参与,未来从制品开发、体系研发到创新应用,定会有不断突破。展望几个领域,可以想见如下愿景:

1) 提供防火、防水、隔声、轻质、节能多优势集一身的新建材,应对多项标准提升后外围护、外保温、分户墙、有水房间内墙、飘窗及挑阳台等复杂部件、户外暴露构件等多部位解决方案;

2) 为钢结构提供了围护及填充墙高性价比解决方案;

3) 应用于拆除重建项目:高精度集成墙将施工过程最大化堆叠,一二次结构同步、主体与装饰同步,建设工期极大缩减,降低住户周转费用,不惧既有住宅套型多样化难题,对比MIC方案,具高性价比;

4) PFC不同容重制品组合应用,提供低层建筑高性价比解决方案;

5) PFC现浇设备拓展后,用于各类非受力节点的弥合补缝,各类有保温隔热减重找坡需求的垫层作业等。

PFC凭空出世带来了混凝土材料的超级兄弟,弥补其相对轻量化低强度的场景应用,在建设领域开启无数可能。这一项补缺同时也为房子建设提供了及时雨,相信不久的将来,PFC建材将在四好建设领域大展拳脚!

参考文献

[1]田磊,等.Simple Fabrication of Concrete with Remarkable Self-Cleaning Ability, Robust

Superhydrophobicity, Tailored Porosity, and Highly Thermal and Sound Insulation[J].ACS Applied Materials & Interfaces,2019,11(47):44134-44145

[2] 吕雪森,等.3D superhydrophobic lightweight foam concrete designed via in-situ foaming and self-assembled silicone microfilms [J].Chemical Engineering Journal,2023,478:147390-147390

[3] 张泽焕,等.Seismic performance of new composite

concrete block bearing wall with good sound insulation[J]. Construction and Building Materials,2025-05-09

[4] 王新泉,等.泡沫混凝土材料特性与工程应用[M];北京,科学出版社,2022.03

[5] 罗贤志,等.钢结构框架外挂ALC墙板节点性能分析及改进措施研究[J].建筑结构,2023,53(21):92-100

[6] Jenny Lovell.建筑围护结构完全解读/建筑设计经典译丛[M].南京,江苏凤凰科学技术出版社,2019.