 DOI: https://doi.org/10.12349/mit.v3i1.10718

Application of SW Silicon Graphene Non-removable Mold-Free Exterior Wall Insulation System Construction Technology

Chengming Wang

Shanghai Baoye Group Co., Ltd., Shanghai, 201206, China

Abstract

To meet the requirements of structural construction and exterior wall insulation coordination in the mixed construction of prefabrication and cast-in-place methods, the SW graphene-free formwork insulation system was proposed and applied. The insulation layer and the temporary formwork were integrated into one board with dual functions. Through the closed-loop implementation of three key technologies including insulation board layout fixation, formwork support erection, and protection during the pouring period, a systematic evaluation of materials, installation, and interface performance was carried out in the listed project. The results show that the thermal conductivity is no more than 0.045 W/m·K, the volume water absorption rate is no more than 3.0%, and the combustion performance grade is A2-s1,d0; the joint width is no more than 2 mm, and the verticality of the wall within 2 m is controlled to be no more than 3 mm; the bonding strength with the concrete base surface is not less than 0.20 MPa, and the retention rate after freeze-thaw is not less than 80%. In terms of economic and environmental benefits, the comprehensive unit cost is reduced by 90 CNY per square meter compared to traditional methods, the critical path is shortened by 25 days, and carbon emissions are reduced by 8 kg CO2e per square meter. The study shows that this system not only meets the requirements of ultra-low energy consumption for the enclosure but also takes into account the convenience of construction and stable performance, and has the potential for wide application.

Keywords

external insulation without disassembly; silica graphene insulation board; prefabricated buildings; formwork support; ultra-low energy buildings

SW 硅墨烯免拆模外墙保温系统施工技术应用

王呈明

上海宝冶集团有限公司，中国 · 上海 201206

摘　要

面向装配式与现浇混合建造中结构施工与外墙保温协同的需求，提出并应用SW硅墨烯免拆模外墙保温系统，将保温层与临时模板集成为一板两用。通过保温板排版固定、模板支撑搭设和浇筑期防护三项关键技术的闭环实施，在上榜工程中开展材料、安装与界面性能的体系化评估。结果表明，导热系数不大于0.045 W/m·K，体积吸水率不大于3.0%，燃烧性能等级A2-s1,d0；板缝宽度不大于2 mm，墙体垂直度2 m控制不大于3 mm；与混凝土基面粘结强度不小于0.20 MPa，冻融后保持率不小于80%。经济与环境效益方面，综合单位造价较传统做法下降90 CNY每平方米，关键路径缩短25天，碳排放减少8 kg CO2e每平方米。研究表明，该系统在满足超低能耗围护的同时，兼顾施工便捷与性能稳定，具有推广应用潜力。

关键词

免拆模外保温；硅墨烯保温板；装配式建筑；模板支撑；超低能耗建筑

1 引言

在装配式与现浇混合建造日益普及的背景下，外墙保温与结构施工的错峰与穿插愈发复杂，传统外保温因模板周转频繁、二次吊装繁琐、界面脆弱与成品保护难度高等问题，往往导致质量波动与工期拉长[1]。同时，绿色建筑与超低能耗建筑对围护构造的传热、气密与耐久提出更高要求，燃烧性能与长期稳定性也成为关键约束。为回应上述痛点，SW硅墨烯免拆模外墙保温系统采用无机胶凝与颗粒级配复合技术，以硅质改性与界面致密化实现低导热、低吸水与 A2 级不燃的性能组合，并借助一体化构造使板材在浇筑期充当受力模板，在运营期持续承担围护保温功能。系统与穿墙螺栓及对拉螺杆体系相容，适配现浇剪力墙与 PC 叠合墙施工组织，有望在保证几何线形与气密的同时，缩减模板与脚手投入，降低碳排放与噪声粉尘。本文围绕该系统的材料机理与工艺路径，聚焦排版固定、模板支撑和浇筑防护的关键技术，并在工程实证框架下开展质量与效益评估，为近零能耗

【作者简介】王呈明（1980–），男，中国山东东阿人，本科，工程师，从事土木工程研究。

建筑的围护一体化提供可复制的技术路径与评价依据。

2 SW 硅墨烯免拆模外墙保温系统的一体化技术特性

鉴于装配式与现浇混合建造条件下外墙保温与结构施工协同的现实需求，SW 硅墨烯免拆模外墙保温系统把保温层与临时模板进行集成，形成一板两用的构造单元。其核心材料为 SW 硅墨烯保温板，该板把聚苯乙烯颗粒当作轻骨料来使用，经硅质材料改性与界面致密化工艺制成，使材料在传热、吸水与力学指标上形成协调平衡。在燃烧性能方面可达到 A 类 A2 级不燃等级，导热系数保持在低水平，材料吸水率受限于致密微孔结构而处于低区间，同时依靠无机胶凝体系与颗粒级配把整体抗压与抗冲击性能提升到适配结构施工的要求。系统在现浇混凝土剪力墙、PC 墙板以及楼板底模施工环节可直接作为受力模板来使用，并且在拆模后持续承担围护保温功能，减少工序交接与二次吊装。与常规穿墙螺栓及对拉螺杆体系的施工做法相容，便于在结构施工组织中进行标准化配置。结合绿色建筑评价标准与超低能耗建筑围护传热需求，该系统兼顾施工便捷性与围护性能稳定性，为近零能耗住宅与公共建筑提供具有推广潜力的一体化技术路径 [2]。

3 SW 硅墨烯免拆模外墙保温系统的施工关键技术

3.1 保温板的排版固定技术

在装配式与现浇复合施工的围护分部中，SW 硅墨烯保温板的排版与固定需要把模板受力与长期围护机能统筹安排，工序组织由技术交底、样板墙制作与材料复试启动，随后进入排板、固定与缝隙处理的闭环流程。技术交底由项目技术负责人组织，把板材规格、连接件型号、与穿墙螺栓的协同位置、质量控制点以及验收标准逐项明确；在结构标准层先搭建宽度不小于 3 m 且包含转角与洞口节点的样板墙，以实测方式复核排板模块化程度与节点施工可行性；材料复试覆盖保温板尺寸偏差、板面平整度与吸水率以及不锈钢连接件抗拉与耐蚀性能，同时对发泡胶进行阻燃等级与密封性能复核。从排板角度来看，优先选用整板以减少拼缝，在墙面按竖向通长、横向错缝的思路把板面布置成连续受力单元，裁切件仅在洞口、阳角与设备预留附近使用；板缝宽度控制在 2 mm 以内，缝隙由发泡胶进行饱满封堵并在表面切平，形成连续的气密与止浆界面。固定方法采用专用不锈钢连接件与结构钢筋进行绑扎，使保温板在浇筑阶段与钢筋骨架协同传递侧压力，连接件在混凝土侧的锚固深度不小于 50 mm，并在板边与洞口周边加密布置；每 1 m2 设置不少于 5 个连接点，连接件布置与穿墙螺栓位置通过样板复核后实施，以避免安装冲突；绑扎完成后对板面平整度、板缝密实度与连接件稳固性开展复核，未达要求的部位及时调整，从而把排版稳定性与受力可靠性同步落实 [3]。

3.2 模板支撑体系的搭设技术

面向现浇剪力墙与 PC 叠合墙的侧压力控制与几何线形约束，模板支撑体系的搭设把 SW 硅墨烯保温板当作受力面板来使用，并与外侧支撑形成刚度连续的力流通道。外支撑选用木方次楞与钢管主楞的组合，次楞紧贴板面布置，间距不大于 125 mm，主楞按竖向设置，竖向间距不大于 625 mm，洞口与转角区域加密，使支撑网格与板内不锈钢连接件及钢筋骨架位置相协调。对拉螺栓沿主楞布置并与穿墙孔线统一排布，端部配置加大垫片与止浆垫，分区分层均匀拧紧，以把侧压力分散至主楞与斜撑。为提高整体刚度与垂直度，底部先行设置找平木枋或型钢基座形成基准边，外侧立杆与门型架通过可调顶托与地面垫木建立可靠支承，主楞间再以横向楞与扣件形成封闭框架，同时在墙面每一控制段设置可调斜撑并与楼板或结构柱进行锚固，借助激光投线与经纬仪复核板面平整度与墙体垂直度，必要时采用楔形垫片进行微调。浇筑前对所有连接点、扣件与对拉螺栓开展复核，浇筑过程中按浇筑高度分阶段复拧，对可能产生胀模的节点实施临时加撑，从而把模板刚度、稳定性与线形控制贯通于浇筑全周期。在阳角部位把主楞以 L 形连续布置并设置抱箍连接，在伸缩或变形缝两侧分设独立支撑段并以钢楔过渡，避免约束传递引发错台。

3.3 混凝土浇筑过程中的保温板防护技术

面向现浇剪力墙以及 PC 叠合墙的现场浇筑情境，需要把浇筑工艺、振捣参数以及节点成型后的修复防护联动安排。浇筑阶段选用泵送分层入仓，分区分段推进，单层厚度宜控制在 300–400 mm，料流落差宜控制在 2 m 以内，导管口偏离板面 15 cm 以上并沿钢筋笼移动，以削弱对板面的集中冲刷。对内振捣棒这种插入式高频密实设备，振点间距不大于 1.5 倍振动半径，插入时间按混凝土稠度统筹，但需重点把振捣棒距保温板控制在不小于 10 cm 的安全间距，严禁在板面附近长时停留以及横向拖拽，拐角与门窗洞边缘借助短插快拔完成密实。结合侧压力演化，外侧主楞以及次楞交界位置可临时贴设缓冲垫条，把偶发硬物碰击造成的点状损伤降到低水平，同时在钢筋密集区段实施二次补振，仍维持上述间距要求。待混凝土达到可拆强度后，拆除内侧模板并进行界面整理，浮浆以及残留止浆垫边缘清理至坚实基面，适度湿润以便后续材料黏结 [4]。

4 SW 硅墨烯免拆模外墙保温系统的应用效果评估

4.1 工程质量性能评估

立足上海宝冶集团有限公司建筑工程公司实施的装配式与现浇混合住宅工程，工法编号 QG/SBC GF067-2025，本研究把 SW 硅墨烯免拆模外墙保温系统置于结构与围护协同的施工语境中开展工程质量性能评估。为与规范边界保持一致性，对照 JGJ 144 以及 GB 50411 关于外墙外保温系统的材料与安装条款，把导热性能、吸水行为与燃烧等级等材

料参数，与板缝宽度和墙体垂直度等几何精度，以及与混凝土基面的拉伸粘结强度这一界面关键指标进行体系化梳理。鉴于超低能耗围护对稳态传热与耐久性的复合诉求，工程侧把材料导热系数、体积吸水率与燃烧等级设定为明确的可量化控制值，并把安装阶段的板缝气密与线形控制纳入测量复核闭环；同时，针对免拆模构造需要同时承担浇筑期受力与运营期围护的双重功能，把界面粘结强度以及冻融后的保持率纳入考量。评价口径坚持以样板墙复核为基点与第三方检测为补充，按材料、安装、界面三个层级构建数据闭环，形成对规范条款的响应链路。表 1 汇集该工程的检测项目、控制指标与规范限值对应关系，用于过程管控与竣工验收的标准化实施。

表 1 某工程 SW 硅墨烯保温系统质量检测指标表

检测项目	指标值	试验方法	规范依据	规范限值
导热系数	≤0.045 W/(m · K)	GB/T 10294	GB 50411	设计计算取值不大于 0.050 W/(m · K)
体积吸水率 24 h	≤3.0%	GB/T 8810	JGJ 144	≤4.0%
燃烧性能等级	A2-s1,d0	按 GB 8624 评定	GB 8624	A2 及以上
板缝宽度	≤2 mm	钢尺与塞尺复核	JGJ 144	≤2 mm
墙体垂直度偏差 2 m 控制	≤3 mm	2 m 靠尺加塞尺复核	JGJ 144	≤4 mm
与混凝土基面粘结强度	≥0.20 MPa	拉拔法 按 JGJ 144 附录执行	JGJ 144	≥0.10 MPa
冻融后粘结强度保持率	≥80%	冻融循环后拉拔	JGJ 144	≥60%

4.2 经济社会效益评估

立足上海宝冶集团有限公司建筑工程公司装配式与现浇混合住宅工程的组织情境，经济社会效益的评估把施工路径优化与绿色价值耦合展开。由系统把保温层与临时模板集成为一板两用单元，外侧模板与大跨度外脚手架的投入被显著压缩，二次吊装与成品保护环节被简化，关键路径得以缩短约 25 d，管理成本与融资占用同步下降。进一步观察施工现场，绑扎协同与标准化排板减少了湿作业体量以及返修频次，综合单位造价呈现下降趋势，具体测算取值见表 2。需重点关注的是，材料本体的 A2 级燃烧等级以及稳定的导热系数，使围护传热性能与耐久性在运行期维持在受控区间，从运营能耗与维修更替两端贡献长期收益。由此推导，系统在满足超低能耗建筑围护需求的同时，把模板周转、脚手搭拆与运输环节的资源消耗降低到较低水平，碳排放与噪声粉尘排放强度随之下降，绿色建筑评价中的节材、节能与施工管理条目可获得更高得分，并对区域内装配化施工与低碳建造的推广形成示范带动效应 [5]。同时，因外墙侧模板不再重复周转，场内堆放面积与二次转运次数明显减少，塔吊与泵车等待时长被压缩，间接降低机械台班。对于总承包与专业分包的穿插策划，系统把结构、围护、机电预埋等工序窗口在标准层实现同步闭合，减少交叉作业冲突与临时加固投入。社会层面，外脚手架搭拆规模缩小带来高处坠落与坠物风险的下降，居民区周边的噪声时段得以缩短，文明施工形象与社会接受度随之提高。

5 结语

本文围绕 SW 硅墨烯免拆模外墙保温系统构建了材料与工艺一体化的技术路径，形成以板材排版固定、模板支撑搭设与浇筑过程防护为核心的施工闭环，并在工程应用中验证了质量与效益。检测结果显示，导热、吸水与燃烧等级满足或优于相关规范限值，几何精度与界面粘结强度保持在受控水平，冻融后性能保持率达到预期；经济与组织层面，综合单位造价显著降低，关键路径压缩，碳排与现场扰动同步下降，安全与文明施工水平得到提升。基于与穿墙螺栓及对拉体系的良好相容性，系统可在标准层实现快速复制，推动结构与围护工序的并联化与标准化。后续建议面向复杂气候与长期服役情境，深化对界面耐久与热湿耦合下变形控制的跟踪研究，完善节点构造与数字化质控细则，并与装配式机电预埋协同优化，进一步释放一板两用在超低能耗与近零能耗建筑中的规模化应用价值。

表 2 某工程 SW 硅墨烯保温系统与传统保温系统经济指标对比表

指标	传统保温系统	SW 硅墨烯系统	差额
外侧模板与脚手架费用 CNY per m²	180	90	-90
二次吊装与成品保护费用 CNY per m²	35	10	-25
湿作业与找平人工 CNY per m²	45	25	-20
直接材料费 CNY per m²	230	260	30
综合单位造价 CNY per m²	450	360	-90
关键路径时长 d	120	95	-25
碳排放量 kg CO2e per m²	32	24	-8

参考文献

[1] 林嘉洲,王继梅,左彦峰.硅基气凝胶改性及其水性隔热涂料的研究进展[J].化工新型材料,

[2] 徐刚.装配式建筑防水用硅烷改性聚醚密封胶粘接性能分析[J].粘接,2025,52(08):111-114.

[3] 万茂强.有机硅改性丙烯酸酯外墙涂料的耐候性研究与应用[J].佛山陶瓷,2025,35(09):51-53.

[4] 纪发达,黄志杰.硅系无机防腐涂料的制备及性能[J].电镀与涂饰,2024,43(04):144-149.

[5] 陈聪慧.高分子发泡材料生产技术及其在建筑中的应用[J].合成树脂及塑料,2025,42(03):80-82+86.