

新型保温隔热材料在工业建筑围护结构中的施工工艺探讨

赵宏丽

河南省豫西建设工程有限责任公司 河南 三门峡 472399

摘要：随着“双碳”战略目标的深入推进及工业节能标准的不断提升，工业建筑围护结构的保温隔热性能已成为实现绿色低碳发展的关键环节。传统保温材料在导热系数、防火性能、耐久性及施工便捷性等方面已难以满足现代工业建筑的综合需求。本文系统梳理了当前主流的新型保温隔热材料（包括气凝胶、真空绝热板、石墨聚苯板、硬泡聚氨酯复合板等）的技术特性与适用场景，重点分析其在工业建筑围护结构（屋面、外墙、地面）中的施工工艺流程、关键技术要点及质量控制措施。同时，探讨了不同材料在实际应用中可能面临的挑战，并提出优化建议。研究表明，科学选材、精细化施工与全过程质量管控是保障新型保温隔热材料发挥最佳性能的核心要素，对推动工业建筑节能减排技术升级具有重要意义。

关键词：新型保温隔热材料；工业建筑；围护结构；施工工艺；节能；气凝胶；真空绝热板

引言

工业建筑作为能源消耗的重要载体，其运行能耗占全社会总能耗的比例持续攀升。其中，围护结构热损失是造成工业厂房、仓库、车间等建筑能耗居高不下的主要原因之一。传统保温材料如岩棉、普通聚苯板（EPS）、挤塑聚苯板（XPS）等虽广泛应用，但在极端工况（如高温、高湿、腐蚀性环境）下易出现老化、吸水、变形等问题，导致保温性能衰减，甚至引发安全隐患。近年来，以低导热系数、高防火等级、轻质高强为特征的新型保温隔热材料不断涌现，为工业建筑节能改造与新建项目提供了技术支撑。然而，新材料的应用不仅涉及材料本身的性能参数，更关键在于其施工工艺是否成熟、可靠、可复制。施工不当极易导致热桥效应、空鼓脱落、接缝渗漏等质量问题，严重削弱保温系统的整体效能。因此，深入研究新型保温隔热材料在工业建筑围护结构中的施工工艺，对于提升建筑能效、延长建筑寿命、降低运维成本具有重要的理论价值与实践意义。

1 新型保温隔热材料的技术特性与分类

1.1 气凝胶绝热材料

气凝胶被誉为“改变世界的十大新材料之一”，其纳米多孔网络结构赋予其极低的导热系数（常温下可达 $0.013\text{--}0.020\text{W/(m\cdot K)}$ ），远低于传统材料。目前应用于建筑领域的主要是一氧化硅气凝胶复合毡或板。其优势在于超薄、轻质、防火A级、憎水性强，适用于空间受限或对重量敏感的工业建筑部位（如设备管道保温、屋面夹层）。但其成本较高，机械强度较低，需复合增强

层使用。

1.2 真空绝热板（VIP）

真空绝热板由芯材（如气相二氧化硅、开孔泡沫）和高阻隔薄膜封装抽真空制成，导热系数可低至 $0.004\text{--}0.008\text{W/(m\cdot K)}$ ，保温效率是传统材料的5–10倍。适用于冷库、洁净厂房等对保温性能要求极高的工业建筑。其缺点在于一旦破损即失效，且边缘存在热桥效应，施工中需严格保护板面完整性，并采用专用密封胶带处理接缝。

1.3 石墨聚苯板（SEPS）

在普通EPS基础上添加石墨微粒，通过反射红外辐射降低热传导，导热系数约为 0.033W/(m\cdot K) ，较普通EPS降低约10%–15%。同时具备B1级阻燃性能、尺寸稳定性好、成本适中等优点，广泛用于工业厂房外墙外保温系统^[1]。施工工艺与传统EPS类似，但需注意避免阳光直射导致表面粉化。

1.4 硬泡聚氨酯复合板（PUR/PIR）

硬泡聚氨酯现场喷涂或预制板材具有优异的整体性和粘结性，导热系数 $0.022\text{--}0.027\text{W/(m\cdot K)}$ ，兼具保温、防水、结构加固功能。PIR（聚异氰脲酸酯）为改性产品，耐火性能提升至B1级。适用于大跨度工业厂房屋面及冷库墙体，可实现无缝连接，有效消除热桥。但对基层平整度要求高，且需专业设备施工。

1.5 其他材料

还包括相变储能材料（PCM）、纳米反射隔热涂料、发泡陶瓷板等。PCM通过相变潜热调节室内温度波

动，适用于昼夜温差大的地区；纳米涂料则通过高反射率降低太阳辐射得热，常用于金属屋面。

2 工业建筑围护结构特点与保温需求

工业建筑围护结构在形式与功能上与民用建筑存在显著差异，其保温设计必须充分考虑实际使用需求。首先，工业厂房普遍具有大跨度、高空间、大面积的特点，单层厂房跨度常达24至36米，墙体高度超过8米，这对保温材料的大面积连续施工能力提出了更高要求。其次，不同类型的工业建筑内部环境差异极大，如铸造车间存在持续高温，食品加工厂湿度极高，化工厂则可能含有腐蚀性气体，这些特殊工况要求保温材料不仅具备良好的热工性能，还需在化学稳定性、耐湿性、耐老化性等方面表现优异^[2]。此外，大量工业建筑采用轻钢结构体系，屋面荷载能力有限，因此轻质保温材料更具优势。最后，工业建筑的设计使用年限通常超过30年，且后期维护困难，这就要求保温系统具备长期耐久性，避免因材料劣化导致频繁维修或更换。综上所述，新型保温材料的选用不能仅关注单一性能指标，而应基于全生命周期视角，综合评估其在特定工业场景下的适用性与经济性。

3 新型保温隔热材料在工业建筑围护结构中的施工工艺

3.1 屋面系统施工工艺

工业建筑屋面面积大、暴露时间长，对保温材料的耐候性、抗压性和防水性要求较高。

3.1.1 真空绝热板（VIP）屋面施工

真空绝热板导热系数可低至 $0.004\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，仅为传统保温材料的 $1/5\text{--}1/10$ ，特别适用于对保温厚度有严格限制的工业屋面。其标准施工流程为：基层清理→找平层施工→防水层铺设→VIP板铺设→接缝密封处理→保护层施工。（1）基层处理：基层必须坚实、平整、干燥，无浮灰、油污及尖锐凸起物，以免刺穿VIP板表面的高阻隔铝塑复合膜，导致真空失效。（2）板缝控制：VIP板应采用错缝铺贴方式，相邻板块接缝宽度不得大于2mm，避免形成热桥。切割时应使用专用工具，严禁暴力敲击^[3]。（3）密封工艺：所有板缝需先用专用密封胶填充，再覆盖宽度不小于80mm的铝箔胶带进行双重密封，确保气密性。（4）保护层选择：为防止后续施工或设备安装对VIP板造成机械损伤，保护层宜选用轻质混凝土（容重 $\leqslant 1200\text{kg}/\text{m}^3$ ）或纤维增强水泥板，厚度一般为30–50mm，并设置分格缝以释放应力。

3.1.2 硬泡聚氨酯喷涂屋面施工

硬泡聚氨酯（SPF）具有现场成型、无缝连接、保温

防水一体化等优点，适用于异形屋面或复杂节点处理。施工流程为：基层处理→底涂喷涂→聚氨酯现场喷涂→表面修整→防护涂层施工。（1）环境控制：施工环境温度宜控制在 $10\text{--}35^\circ\text{C}$ ，相对湿度低于85%。湿度过高易导致泡沫开裂或闭孔率下降。（2）分层喷涂：为避免因反应放热过快引起烧芯或收缩，应分层喷涂，每层厚度不超过15mm，间隔时间不少于10分钟，总厚度按设计要求（通常为40–80mm）。（3）后处理要求：喷涂完成后24小时内严禁人员踩踏或堆放物料；表面应打磨平整，并涂刷耐紫外线、耐老化的防护涂层（如丙烯酸、硅丙或氟碳涂料），以延长使用寿命。

3.2 外墙系统施工工艺

工业建筑外墙常面临温差大、风荷载强、腐蚀性气体侵蚀等问题，保温系统需兼顾热工性能与结构安全性。

3.2.1 石墨聚苯板（SEPS）薄抹灰外墙外保温系统

SEPS是在普通EPS中添加石墨颗粒，使其导热系数降至 $0.033\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下，并具备更好的阻燃性和尺寸稳定性。其典型施工流程为：墙体基层处理→弹线定位→粘结砂浆配制→板材粘贴（满粘或条粘）→锚栓固定→抹面砂浆施工→网格布嵌入→面层饰面。（1）粘结要求：粘结面积不得小于60%，门窗洞口、阴阳角等应力集中区域应采用满粘法，并增设加强网。（2）锚固措施：锚栓数量不少于6个/ m^2 ，高层或风压较大区域应增至8–10个/ m^2 ；锚栓有效锚固深度不小于50mm（混凝土基层）或25mm（砌体基层）。（3）抗裂构造：耐碱网格布搭接宽度 $\geq 100\text{mm}$ ，阴阳角处加设L型角网，防止开裂。抹面层厚度控制在3–5mm，过厚易产生干缩裂缝。（4）饰面选择：推荐使用柔性或弹性涂料，避免刚性饰面（如瓷砖）因基层变形而脱落。

3.2.2 气凝胶复合毡外墙内保温施工

气凝胶被誉为“固体烟雾”，导热系数低至 $0.013\text{--}0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，且防火等级可达A级。该工艺主要用于既有工业厂房改造，无需改变建筑外观，施工便捷。施工流程为：墙面清理→防潮层施工（如需要）→气凝胶毡粘贴或机械固定→接缝密封→饰面层施工。（1）材料特性应对：气凝胶毡质地脆、易碎，搬运和裁剪需轻拿轻放，建议在施工现场预裁，减少高空作业风险^[4]。（2）防潮与密封：若室内湿度较高（如食品、制药车间），应在基层增设防潮层；所有接缝必须用专用铝箔胶带或硅酮密封胶封闭，杜绝空气对流造成的热损失。（3）透气性饰面：饰面层宜选用硅藻泥、透气型乳胶漆等材料，保持墙体“呼吸”功能，防止保温层内部结露、霉变，影响耐久性。

3.3 地面保温施工工艺

工业地面常承受重型设备、叉车频繁通行及化学介质侵蚀，保温系统需兼具保温、承重、防潮和抗裂性能。常用材料包括挤塑聚苯板（XPS）、聚异氰脲酸酯板（PIR）和发泡陶瓷板。标准施工流程为：素土夯实→防潮层（PE膜）→保温板铺设→混凝土垫层浇筑→面层施工。（1）基层处理：素土压实系数 ≥ 0.93 ，表面平整度误差 $\leq 10\text{mm}/2\text{m}$ ，避免局部应力集中导致保温板断裂。（2）防潮隔离：铺设0.2–0.3mm厚高密度聚乙烯（HDPE）防潮膜，搭接宽度 $\geq 150\text{mm}$ ，并用胶带密封，防止地下水汽上渗。（3）保温板铺设：XPS或PIR板应错缝铺设，拼缝严密，缝隙 $\leq 2\text{mm}$ ；边角处采用专用填缝条或发泡胶处理。发泡陶瓷板虽强度高，但成本较高，适用于高温或防火要求严苛区域。（4）混凝土施工：垫层混凝土强度等级不低于C20，厚度通常为80–150mm。振捣时应使用平板振动器，严禁振捣棒直接接触保温板，以免造成破损或位移。（5）伸缩缝设置：在柱边、墙边及大面积区域（ $> 6\text{m} \times 6\text{m}$ ）设置伸缩缝，缝宽10–20mm，内填弹性密封材料，防止因热胀冷缩或干缩引起开裂。

4 施工质量控制与常见问题防治

4.1 质量控制要点

新型保温材料的施工质量直接决定其长期节能效果。从材料进场开始，就必须严格执行验收制度，核对出厂合格证、型式检验报告，重点查验导热系数、燃烧性能等级、尺寸偏差及吸水率等关键指标。基层处理是后续施工的基础，墙面或屋面必须平整、干燥、无油污，必要时进行拉拔试验以验证其粘结强度是否达标。施工环境亦不可忽视，尤其是聚氨酯喷涂、粘结砂浆固化等工序，对温度、湿度有明确要求，需实时监测并记录。在施工过程中，应建立工序交接检查机制。例如，SEPS板粘贴后需检查粘结面积是否达标、板面是否平整；锚栓安装后需抽查数量与入墙深度；抹面层施工需控制厚度均匀性，避免局部过厚导致开裂。对于VIP等高敏感材料，更应设立专项巡检制度，确保无破损、无漏封。成品保护同样重要，保温层施工完成后应设置明显警示标识，协调后续工序避免交叉作业损伤。

4.2 常见问题及防治措施

表1 常见问题及防治措施

问题类型	成因分析	防治措施
空鼓脱落	基层处理不当、粘结剂配比错误、锚固不足	加强基层拉毛处理，严格按比例配制砂浆，增加锚栓密度
接缝热桥	板缝未错开、密封不严	采用阶梯式错缝，使用专用密封胶带或发泡胶填充
渗漏	防水层破损、节点处理不到位	加强檐口、女儿墙、穿墙管等细部防水处理
表面开裂	抹面层过厚、网格布搭接不足、温差应力	控制抹面层厚度 $\leq 5\text{mm}$ ，网格布满铺搭接，设置分格缝

5 结语

新型保温隔热材料以优异热工性能和多功能特性，改变着工业建筑围护结构节能格局。但材料先进性不等于工程实效，其性能发挥依赖科学施工工艺与全过程质量管控。结果显示，材料选择要结合工业建筑功能、环境与结构特点，避免“一刀切”；施工过程要精细管理，涵盖基层处理等各环节；质量控制应贯穿材料进场等全流程，形成闭环。展望未来，在“双碳”目标下，工业建筑保温技术将向功能复合化等方向发展，多功能围护系统成研究热点。同时，要加快制定新型材料专项施工与验收规范，推动BIM技术应用，加强专业化施工队

伍培养，实现新型保温材料价值转化，为工业建筑绿色低碳转型提供有力支撑。

参考文献

- [1]周树东.大型工业建筑保温节能综合施工技术及应用研究.河南省,郑州一建集团有限公司,2021-09-16.
- [2]李俊锋,王怡,孟晓静,等.工业建筑围护结构防热性能优化研究[J].建筑热能通风空调,2019,38(09):34-38.
- [3]柴燕.基于传热性能模型的工业建筑材料密封保温隔热节能优化[J].液压气动与密封,2023,43(06):26-30.
- [4]周辉.工业建筑围护结构节能评价与绿色改造技术.北京市,中建工程产业技术研究院有限公司,2019-07-01.