

Study on construction technology optimization and quality control of exterior wall insulation system in ultra-low energy consumption buildings

Kun Cao Yating Fan

Shaanxi Coal Industry Chemical Construction (Group) Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

This study systematically investigates the construction process optimization and quality control of ultra-low energy consumption building exterior wall insulation systems. By analyzing core requirements for thermal insulation performance, thermal bridge elimination, and air tightness, it focuses on improving key techniques including substrate preparation, full adhesive method for insulation boards, and node sealing. Consequently, a comprehensive quality control system has been established, covering pre-construction material acceptance and design review, real-time monitoring of construction processes with on-site supervision at critical nodes, and post-construction physical inspection with performance evaluation. The research demonstrates that systematic optimization of construction techniques combined with rigorous quality control throughout the process serves as the critical pathway to ensure ultra-low energy consumption building exterior wall insulation systems achieve designed performance while enhancing overall energy efficiency and durability.

Keywords

building exterior wall; insulation system; construction technology

超低能耗建筑外墙保温系统施工工艺优化及质量控制研究

曹琨 范雅婷

陕西煤业化工建设（集团）有限公司，中国·陕西 西安 710000

摘要

本文系统研究超低能耗建筑外墙保温系统的施工工艺优化与质量控制。通过分析其对保温性能、无热桥和气密性的核心要求，重点探讨了基层处理、保温板满粘法、节点密封等关键工艺的改进措施，进而，构建了一套涵盖事前材料验收与方案审查、事中工序实时监控与节点旁站、事后实体检验与性能测评的全过程质量控制体系。研究表明，通过施工工艺的系统性优化与全过程严格的质量控制，是保障超低能耗建筑外墙保温系统实现设计性能、提升建筑整体能效与耐久性的关键路径。

关键词

建筑外墙；保温系统；施工工艺

1 引言

随着我国“双碳”战略的深入推进，发展超低能耗建筑已成为建筑领域实现节能减排目标的重要方向。外墙保温系统的保温性能、气密性及无热桥构造是决定超低能耗建筑最终能耗水平的重要因素。但传统的施工工艺及质量控制方法很难满足超低能耗建筑的高要求，热桥控制不够严格、气密层不够连续、节点处理不够精细等，这势必会导致现场施工后的效果和原计划的设计存在出入。针对此现象，应该对外墙保温系统的施工工艺做出改进，并构建出更加完善、精准的过程质量控制体系，这也是推动超低能耗建筑规模化、

高质量发展的关键所在。本研究旨在系统探讨超低能耗外墙保温系统的施工工艺优化措施与质量控制方法，为提升工程实践水平提供理论依据与技术支持。

2 超低能耗建筑外墙保温系统理论基础与核心要求

2.1 超低能耗建筑的基本原理与性能指标

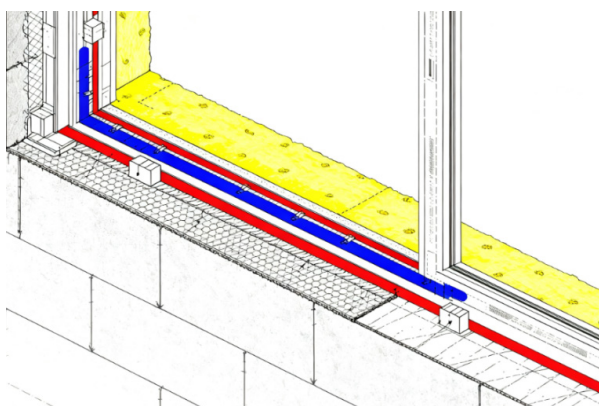
超低能耗建筑作为一种前沿的建筑理念，其基本原理在于通过被动式优先的设计策略，最大限度地降低建筑在供暖、制冷方面的能源需求，其核心并非依赖复杂的主动式能源系统，而是首先打造一个性能卓越的建筑本体。在这一框架下，超低能耗建筑具有明确的定义与量化性能指标，它并非一个定性概念，而是由严苛的能耗指标与室内环境参数共同界定，例如其年度供暖、制冷及一次能源消耗量需显著低

【作者简介】曹琨（1996-），男，中国陕西岐山人，本科，助理工程师，从事建筑工程研究。

于国家或国际现行节能标准的规定值，同时必须确保室内具有恒温、恒湿、高舒适度且空气清新的健康环境。为实现这一能耗目标，作为建筑外壳的围护结构必须具备极高的热工性能，其中外墙保温系统尤为关键，其性能直接由传热系数 K 值衡量，该数值必须达到极低水平，远低于常规节能建筑的要求，从而有效阻隔室内外热量传递，减少热损失，成为构筑超低能耗建筑的基石^[1]。

2.2 超低能耗外墙保温系统的核心性能要求

系统应具备高热工性能，即保温层要有极低的导热系数，足够的厚度使整个传热系数降到很低程度，无热桥是保证其高性能的重要前提条件，必须采用精细的构造及施工方法，将门窗洞口、结构连接节点等部位的热流通道消除干净，避免出现局部能量的消耗以及可能出现的凝结结露问题，如图一所示。除了需要与建筑本身形成高气密性的构造以外，在保温层外面还要有一层连续的气密层，并且所有的接口、穿孔处都是密封的，如此一来，就不会产生不受控制的空气渗透，造成多余能源的消耗、舒适度降低等问题。此外，系统的水密性、耐久性也是决定系统能否长时间有效工作的一个必要条件，要能够防雨、防水蒸气渗透进来，并要经得起温差变化和风荷载等长期的作用的影响，不能让其发生性能衰减和材料破坏。系统的结构安全性和防火性能都应当是有足够保障的，只有保温系统和基层墙体有足够好的结合能力，才能抵御外来的冲击和压力，另外，所有材料特别是保温材料的燃烧性能等级应当满足国家规定的防火要求，才能够长期给人们提供安全保障。这四方面的要求缺一不可，共同组成了优秀超低能耗外墙保温系统的要求^[2]。



(图1：无热桥设计关键要点的图解)

3 超低能耗外墙保温系统关键施工工艺优化研究

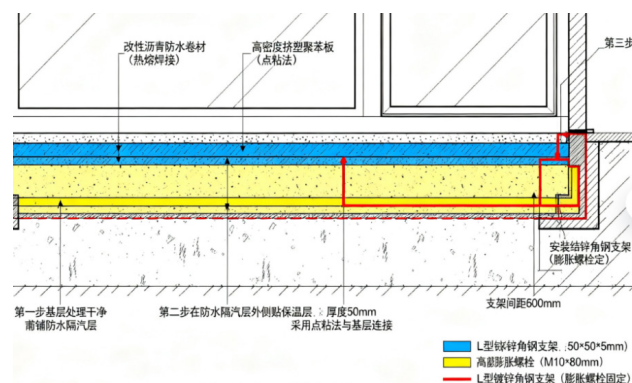
3.1 施工工艺优化方案设计

施工工艺的优化设计是确保超低能耗外墙保温系统从设计图纸转化为高质量实体的核心环节。优化的首要前提是精细化基层处理与验收标准，必须确保墙体基层达到极高的

平整度与垂直度，并具有足够的强度与清洁度，为此需制定远比常规建筑更严格的验收标准，为后续保温层的平整、密实粘贴奠定坚实基础。在此基础上，保温板粘贴工艺的优化选择至关重要：相较于易产生空腔的“点框法”或“条粘法”，超低能耗建筑更推崇采用“满粘法”甚至“双满粘法”，即在基层和保温板背面均满涂粘结砂浆，以最大化粘结面积，确保系统稳定性并有效减少板后空气层形成的热桥。同时，错缝粘贴与缝隙处理工艺必须强化，要求保温板严格错缝排版施工，并对产生的板缝使用发泡聚氨酯或专用保温填缝料等弹性密封材料进行严密填塞，从而将板缝处的热损失和开裂风险降至最低。此外，锚固工艺需进行精准化设计，依据建筑高度、部位及保温材料特性，科学计算并确定锚栓的类型、规格、数量、锚固深度及布设位置，确保其作为粘结的有效补充，既能提供足够的安全保障，又避免因锚栓盘过大或安装不当而引入额外的热桥点。这一系列环环相扣的工艺优化，共同构成了实现高性能保温系统的关键施工技术保障。

3.2 特殊与复杂节点的工艺优化

特殊与复杂节点的精细化处理是超低能耗外墙保温系统实现高性能目标的决定性环节。对于门窗洞口周边，需采用“防水隔汽-保温-结构性连接”一体化施工工艺，通过预粘贴防水隔汽膜、将保温板材精准切割包裹至窗框外侧并辅以专用密封材料，实现保温层、气密层与窗体的连续闭环，从根本上杜绝该部位的能量泄漏隐患，如图2所示。在阳台、勒脚、屋顶等热桥敏感部位，必须实施严格的断热桥处理工艺，例如采用结构性断桥连接件将悬挑构件与主体结构隔离，或在勒脚处确保保温层向下延伸至冻土线以下并做妥善保护，形成完整无间断的保温包裹。对于所有穿墙管线与支架，其安装工艺的核心在于无热桥与气密性双重保障，需预先规划路径，使用专用的密封套管或预制构件，并在安装后采用弹性密封胶对内外两侧进行严密封堵，确保围护结构的完整性不受破坏。这些关键节点的工艺优化，是将理论上的无热桥、高气密性设计转化为现实成效的核心技术措施^[3]。



(图2：门窗洞口周边一体化施工工艺的图解)

4 超低能耗外墙保温系统全过程质量控制体系构建

4.1 事前控制：材料与准备阶段的质量控制

事前控制作为超低能耗外墙保温系统质量管理的第一道防线，其成效直接决定了后续施工的质量上限与风险等级，因此必须建立在远超常规建筑的严格标准之上。首先，对保温系统所有组成材料的进场验收与性能复测是确保系统性能的物理基础，绝不能仅依赖于厂商提供的合格证明，而必须建立严格的抽样送检制度，重点对保温材料的导热系数、密度、尺寸稳定性，以及粘结砂浆、抹面胶浆的抗拉强度、压折比等关键指标进行实验室复验，从源头上杜绝性能不达标材料流入施工现场，这是实现设计热工指标的根本前提。其次，施工方案与技术交底的深度与针对性审查是连接设计与施工的关键桥梁，审查工作必须确保施工方案并非流于形式的通用文本，而是深度融合了本项目具体结构形式、节点特点及超低能耗特殊要求的定制化指南，技术交底则需采用可视化、可操作的方式，将无热桥构造、气密性保障等抽象要求转化为每个工种、每道工序的具体操作指令，确保设计意图被一线人员准确理解。最后，施工人员的专业技能培训与考核是提升“人”这一核心要素可靠性的必要手段，应组织针对超低能耗建筑理念、特殊工艺要求（如满粘法、气密层处理）和常见质量通病的专项、实操性培训，并实施严格的考核上岗制度，确保每一位作业人员都具备实现精细化施工所需的知识与技能，从而为打造高质量的外墙保温系统提供最坚实的人力保障^[4]。

4.2 事中控制：施工过程的关键质量控制点

第一项管控要点：基层处理质量的全面检查，在保温层施工前需要使用靠尺、激光仪进行全数或高比例抽检测量，通过观察、敲打的方式检查基层墙面平整度和垂直度、表面牢固度及洁净度，清理掉表面所有的浮灰、油渍等影响粘结效果的污染物，给保温系统的底层固定提供一个坚实稳固且规整的受力面；另外对保温层施工过程要全程进行跟踪监测，应用专业检查工具对保温层粘结砂浆的铺贴面积、分布均匀情况进行随机抽查检验是否达到了满粘或双面满粘的要求；检查保温板之间拼接缝是否有密实的错缝现象，并将缝隙用发泡密封材料填充严实；对已经粘贴好的板面，继续用靠尺对其进行检查平整度情况；按设计图检查锚栓类型、规格、深度、数量及设置是否满足断热桥要求，保证固定机械的安全可靠。紧随其后的抹面层与增强网铺设质量控制同样关键，必须严格控制抹面胶浆的批刮厚度，确保其均

匀一致，并将增强网完全压入胶浆之中，重点监督网布之间的搭接宽度是否足够且在门窗洞口等应力集中部位进行了加强处理，从而形成一层连续、完整、具有良好抗裂性能的保护层。对于门窗洞口周边、阴阳角、系统端头以及所有穿墙管线等关键节点的施工，必须实行严格的旁站监理，即质量管理人员在现场全程监督其细部构造施工，并辅以高清影像资料对每一处隐蔽工序进行记录存档，这不仅能够即时纠正偏差，更形成了可追溯的质量责任链条，确保所有优化工艺措施在最重要的部位得到不折不扣的执行，将质量隐患彻底消除在工序进行之中^[5]。

4.3 事后控制：成品检验与性能测评

事后控制阶段通过成品检验与性能测评，对完工的外墙保温系统进行最终验证。首先是外观与尺寸偏差检验，检查墙面是否平整、无裂缝空鼓等缺陷。进而进行现场实体检验，通过抽样进行粘结强度拉拔试验和锚栓锚固力试验，以量化数据验证系统与基层连接的牢固性与安全性。最终，建筑整体热工性能与气密性测评提供了最综合的评估，红外热像法可检测外墙隐蔽的热工缺陷，而建筑气密性测试结果则直接反映了保温系统在各类节点处的气密施工质量。对这些最终性能的分析，能够逆向印证施工工艺与全过程质量控制的成效，完成质量管理的闭环。

5 结语

综上所述，超低能耗建筑外墙保温系统的成功实施，是一项对施工工艺与质量管理均提出极致要求的系统工程。超低能耗建筑外墙保温系统的成功实施，依赖于精细化施工与全过程质量控制的紧密结合。本研究通过工艺优化和质量体系构建，证实这是实现系统高性能的关键。未来可进一步探索新型材料和智能监测技术在质量控制中的应用，为超低能耗建筑的推广提供更有效路径。

参考文献

- [1] 李莉.建筑施工过程中双层复合外墙保温技术应用[J].陶瓷,2025,(08):128-130.
- [2] 徐智坤,刘论文.建筑外墙保温系统施工技术及其质量控制研究[J].陶瓷,2025,(08):198-199.
- [3] 张立鼎.住宅超低能耗建筑外墙保温系统质量问题与防治措施[J].居舍,2025,(22):77-79+85.
- [4] 杨小慧.绿色节能视角下新型保温隔热材料在房建工程中的应用[J].陶瓷,2025,(07):99-101.
- [5] 何诗军.自适应保温系统在绿色建筑外墙设计中的应用研究[J].建设科技,2025,(13):92-94.