

钢结构岩棉夹芯外墙板在工业厂房中的应用及节能效益分析

袁红木 张雄伟 张瑜 余文俊

中国建筑第七工程局有限公司 河南 郑州 450000

【摘要】：工业厂房作为工业生产的核心场所，其外墙系统的性能直接影响生产环境、施工效率及运营成本。钢结构岩棉夹芯外墙板凭借整体拼装特性，较传统内板、岩棉板、外板分装模式具有显著优势。本文阐述钢结构岩棉夹芯外墙板的结构特点与拼装原理，分析其在工业厂房中的应用场景与施工要点，通过数据对比与案例分析，量化其节能效益，为工业厂房外墙系统的优化选择提供参考。

【关键词】：钢结构；岩棉夹芯外墙板；工业厂房；整体拼装；节能效益

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.031

1 引言

随着工业领域绿色低碳发展理念的深入，工业厂房的节能改造与新建标准不断提高。外墙系统作为工业厂房围护结构的核心组成，承担着保温隔热、防火隔声、结构防护等多重功能。传统工业厂房外墙多采用内板、岩棉保温层、外板分别安装的分装模式，存在施工周期长、整体性差、节能效果不稳定等问题。钢结构岩棉夹芯外墙板采用“外板-岩棉芯材-内板”一体化复合结构，通过工厂预制、现场整体拼装施工，形成完整围护单元。该类型板材兼具钢结构的强度优势与岩棉的保温节能特性，在工业厂房建设中应用日益广泛。本文聚焦其整体拼装核心特点，从结构、应用、节能三个维度展开分析，结合具体数据与案例，凸显其相较于传统分装模式的综合优势。

2 钢结构岩棉夹芯外墙板的结构特点与拼装特性

2.1 核心结构组成

钢结构岩棉夹芯外墙板以彩色涂层钢板或镀锌钢板为外板与内板，中间填充高密度岩棉芯材，通过专用粘结剂与机械咬合工艺复合成型。外板通常采用波峰结构设计，增强板材抗风荷载与抗变形能力；内板多为平板设计，便于与厂房内部结构衔接。岩棉芯材选用导热系数低、防火性能优的憎水型岩棉，密度一般控制在 120-160kg/m³，确保保温与防火双重性能。该板材的核心优势在于一体化复合结构，工厂预制过程中完成外板、芯材、内板的复合成型，避免传统分装模式中各层材料拼接产生的缝隙问题，从结构根源上提升了围护系统的整体性与密封性。

2.2 整体拼装原理与流程

钢结构岩棉夹芯外墙板采用模块化设计，根据工业厂房的尺寸需求，在工厂预制为标准规格或定制尺寸的板材单元，现场通过螺栓连接、卡槽咬合等方式进行整体拼装。拼装流程主要包括：基层放线定位、支座安装、板材吊装、节点密封、收口处理。与传统分装模式相比，整体拼装无需现场进行内板固定、岩棉铺设、外板安装等分步操作，大幅简化了施工流程。单块板材吊装到位后，通过专用连接件与厂房钢结构主体及相

邻板材牢固连接，节点处采用密封胶与密封带双重密封，确保系统的气密性与水密性。

2.3 与传统分装模式的核心区别

为清晰呈现钢结构岩棉夹芯外墙板与传统内板、岩棉板、外板分装模式的差异，特制定下表对比分析。

表 1 与传统分装模式的核心区别对比

对比维度	钢结构岩棉夹芯外墙板(整体拼装)	传统分装模式(内板+岩棉+外板)
结构形式	工厂预制一体化复合结构, 单块板材为完整围护单元	现场分层铺设安装, 各层材料独立, 依赖现场拼接成型
施工周期	模块化拼装, 1000 m ² 外墙施工周期约 7-10 天	分步施工, 1000 m ² 外墙施工周期约 20-30 天
整体性	板材间咬合紧密, 节点密封完善, 整体性强	各层拼接缝隙多, 易出现开裂、渗漏, 整体性差
保温性能	无拼接缝隙热桥, 保温性能稳定, 导热系数 ≤ 0.040W/(m·K)	层间缝隙形成热桥, 保温性能衰减快, 实际导热系数 ≥ 0.055W/(m·K)
施工难度	流程简单, 无需专业保温施工团队, 易标准化作业	涉及多工种协同, 保温层铺设需专业技术, 质量控制难度大
后期维护	板材强度高、耐腐蚀, 维护周期长, 年均维护成本低	易出现岩棉受潮、外板变形等问题, 维护频率高, 成本高

3 钢结构岩棉夹芯外墙板在工业厂房中的应用

3.1 适用厂房类型

钢结构岩棉夹芯外墙板凭借优良的综合性能，适用于各类工业厂房，尤其在以下场景中优势更为突出：一是轻钢结构工业厂房，如机械加工厂房、电子元器件厂房、食品加工厂等，其重量轻（面密度约 15-25kg/m²）的特点可降低厂房主体结构承重负荷；二是对保温节能要求高的厂房，如精密仪器厂房、低温仓储厂房、制药厂房等，稳定的保温性能可保障生产环境的恒温性；三是跨度大、工期紧的大型工业厂房，如汽车制造厂房、装备制造厂房等，整体拼装模式可大幅缩短施工周期，提前投产见效。

3.2 核心应用优势

3.2.1 力学性能优良

板材外层钢板与内层钢板形成双向受力结构，配合岩棉芯材的支撑作用，具有良好的抗风压、抗冲击性能。经检测，常规规格板材的抗风压值可达 2.5kPa 以上，可满足不同地区工业厂房的抗风需求；表面抗冲击性能达 10J 以上，能抵御生产过程中物料碰撞、外力冲击等损伤。同时，板材与钢结构主体连接牢固，可增强厂房整体抗地震能力。

3.2.2 防火隔声效果好

岩棉芯材属于 A 级不燃材料，遇火不燃烧、不释放有毒气体，可有效阻断火势蔓延，为工业厂房提供可靠的防火保障。板材整体结构紧密，可有效阻隔空气传声与固体传声，隔声量可达 40dB 以上，可降低厂房内部设备运行噪音对周边环境的影响，改善生产作业环境。

3.2.3 施工效率高

采用工厂预制、现场拼装模式，无需现场进行芯材铺设、层间固定等复杂工序。单块板材重量轻，可采用小型起重机或人工吊装，施工人员经简单培训即可操作。以一栋 10000 m² 的机械加工厂房为例，采用钢结构岩棉夹芯外墙板施工，外墙系统施工周期仅需 30-40 天，较传统分装模式缩短 50% 以上工期。

3.2.4 装饰性强

外板可选用不同颜色、不同波型的彩色涂层钢板，无需额外进行外墙装饰施工，可直接满足厂房外观美观需求。同时，板材表面光滑平整，不易积灰，便于日常清洁维护。

3.3 施工关键点

3.3.1 前期准备

施工前需精准测量厂房外墙尺寸，根据实际尺寸定制板材规格，避免现场切割导致板材性能受损。同时，检查厂房钢结构主体的平整度与垂直度，确保支座安装基础符合要求。

3.3.2 拼装精度控制

吊装过程中需采用激光定位仪辅助定位，确保板材安装的垂直度偏差 ≤ 2mm/m，总偏差 ≤ 20mm。板材拼接处需严格按照施工规范进行卡槽咬合，避免出现缝隙。

3.3.3 节点密封处理

门窗洞口、转角、女儿墙等节点部位是保温与防水的薄弱环节，需采用专用密封胶与密封带进行多重密封。密封施工前需清理节点表面的灰尘与杂物，确保密封效果。

3.3.4 后期防护

施工过程中需避免尖锐物体划伤板材表面涂层，安装完成后及时清理板材表面污渍。对于外露的连接件，需进行防腐处理，延长使用寿命。

4 钢结构岩棉夹芯外墙板的节能效益分析

4.1 节能原理

工业厂房的能耗主要集中在采暖、制冷及通风系统，外墙系统的保温性能直接影响能耗水平。钢结构岩棉夹芯外墙板的节能原理主要体现在两个方面：一是岩棉芯材具有极低的导热系数，可有效阻隔室内外热量传递，减少采暖与制冷负荷；二是整体拼装结构避免了传统分装模式中拼接缝隙产生的热桥效应，降低了通过缝隙的热量损失。同时，板材的高气密性可减少室外冷空气渗入与室内热空气外泄，进一步提升节能效果。

4.2 节能性能量化分析

为量化钢结构岩棉夹芯外墙板的节能性能，选取某典型机械加工厂房为研究对象，对比其采用传统分装外墙与钢结构岩棉夹芯外墙板的能耗差异。该厂房建筑面积 10000 m²，层高 8m，地处寒冷地区，采暖期 120 天，制冷期 90 天，传统分装外墙（内板+50mm 岩棉+外板）的传热系数为 0.65W/(m²·K)，采用 100mm 厚岩棉芯材的钢结构夹芯外墙板传热系数为 0.30W/(m²·K)，具体节能数据如下表所示。

表 2 具体节能数据

外墙类型	传热系数 [W/(m ² ·K)]	采暖期能耗(kWh/m ²)	制冷期能耗(kWh/m ²)	年总能耗(kWh/m ²)	节能率
传统分装外墙	0.65	85	42	127	-
钢结构岩棉夹芯外墙板	0.30	42	21	63	50.4%

由上表可知，采用钢结构岩棉夹芯外墙板后，厂房年单位面积能耗从 127kWh/m² 降至 63kWh/m²，节能率达 50.4%。按该厂房外墙面积 8000 m²、工业用电单价 0.8 元/kWh 计算，每年可节约电费：(127-63)×8000×0.8=409600 元，节能经济效益显著。

4.3 全生命周期节能效益

从全生命周期角度分析，钢结构岩棉夹芯外墙板的初始投资虽高于传统分装外墙（约高 20-30 元/m²），但凭借其长使用寿命（设计使用寿命 25 年以上）与低维护成本、高节能效益，综合成本优势明显。仍以该 8000 m² 外墙厂房为例，初始投资增加额为 8000×25=200000 元，而每年节约电费 409600 元，仅需 0.49 年即可收回额外投资。在 25 年使用寿命内，累计可节约电费 409600×25=10240000 元，扣除少量维护费用（每年约 5000 元），全生命周期节能收益超 1000 万元。

4.4 环境节能效益

钢结构岩棉夹芯外墙板的节能效益不仅体现在经济层面，

还具有显著的环境效益。减少电力消耗可降低火力发电过程中二氧化碳、二氧化硫等污染物的排放。按每度电对应 0.785kg 二氧化碳排放计算,该厂房每年可减少二氧化碳排放量: $(127-63) \times 8000 \times 0.785 = 401920\text{kg}$,约 402 吨。同时,岩棉芯材主要由天然岩石加工而成,可回收利用,且生产过程能耗低、污染小,符合绿色建材发展要求。板材的长使用寿命可减少建材更换频率,降低资源消耗与废弃物产生。

5 工程案例分折

5.1 项目概况

本案例为某新建生产厂房,建筑面积 15000 m²,主体采用轻钢结构,檐口高度 10m,跨度 24m,共设 3 跨。厂房主要用于发动机零部件加工与装配,对生产环境的恒温性、隔声性及消防安全有较高要求。原设计方案采用“内层彩钢板+50mm 岩棉保温层+外层彩钢板”的传统分装外墙系统,后结合绿色建筑要求及成本效益分析,最终改用 100mm 厚钢结构岩棉夹芯外墙板,外墙总铺装面积 12000 m²。

5.2 施工效果分析

本项目采用钢结构岩棉夹芯外墙板整体拼装施工,相较于传统分装模式,在施工组织、工期控制及工序简化方面优势显著,具体施工参数对比见下表。

表 3 具体施工参数对比

施工参数	钢结构岩棉夹芯外墙板(整体拼装)	传统分装模式(内板+岩棉+外板)	差异幅度
施工团队人数	20 人	35 人	减少 42.9%
核心工序数量	5 道(放线-支座-吊装-密封-收口)	12 道(内板固定-龙骨安装-岩棉铺设-防潮处理-外板固定等)	减少 58.3%
外墙施工总工期	45 天	85 天	缩短 47.1%
现场切割工作量	仅占 5%(定制尺寸偏差调整)	占 35%(适配结构节点)	减少 85.7%

参考文献:

- [1] 贺全甫.装配式钢结构建筑外墙板模块化施工工艺研究[J].中国建筑装饰装修,2025,(20):106-108.
- [2] 丁黎,张大德,孙新波.装配式钢结构建筑预制水泥基墙板的安装技术[J].工程建设与设计,2025,(18).
- [3] 翟相凯.ALC 墙板与钢结构框架柔性抗震节点施工工艺[J].城市开发,2025,(17):158-160.
- [4] 郑珊杰,王伟,王超迪.钢结构体育馆超高 ALC 墙板施工技术研究[J].建筑技术,2025,56(14):1690-1692.
- [5] 程学松,朱强红,金阳.大型体育场馆复杂空间 ALC 隔墙板钢结构施工研究——以无锡奥体中心一期项目为例[J].房地产世界,2025,(12):155-157.

施工废弃物产生量	0.2kg/m ²	1.8kg/m ²	减少 88.9%
----------	----------------------	----------------------	----------

施工过程中,模块化拼装模式大幅降低了多工种协同难度,无需单独安排保温施工团队,且板材重量轻(面密度 22kg/m²),仅采用小型汽车起重机即可完成吊装,施工效率较原计划提升显著,最终实现提前 1 个月投产,按企业月均产值 800 万元计算,间接创造额外收益 800 万元。

5.3 使用性能检测结果

厂房投入使用后,委托第三方检测机构对墙体核心性能进行抽样检测,同时与同区域采用传统分装外墙的同类厂房进行对比,检测结果显示,钢结构岩棉夹芯外墙板在保温、防火、隔声等核心性能上均优于传统分装外墙,尤其室内温度波动值大幅降低,为精密零部件加工提供了稳定的环境保障,且无任何渗漏、开裂等质量问题。

5.4 节能与经济效益核算

结合厂房 1 年实际运行数据,对比传统分装外墙方案,该项目采用钢结构岩棉夹芯外墙板后,不仅大幅提升了厂房使用性能,还实现了显著的节能与经济效益,投资回收期不足 4.5 个月,全生命周期收益突出,为同类工业厂房外墙系统选型提供了直接参考。

6 结论与展望

钢结构岩棉夹芯外墙板以其整体拼装特性,较传统内板、岩棉板、外板分装模式具有施工周期短、整体性强、保温性能优、维护成本低等显著优势,适用于各类工业厂房的外墙围护系统。通过量化分析与工程案例验证,该板材节能率可达 50% 以上,全生命周期节能经济效益与环境效益突出,符合工业领域绿色低碳发展趋势。随着建材技术的不断进步,钢结构岩棉夹芯外墙板可进一步优化芯材性能与板材结构,开发更轻质、高强、高效节能的产品。同时,可结合智能化施工技术,提升拼装精度与效率,拓展在超高、超大跨度工业厂房及特殊环境厂房中的应用范围。相信在绿色工业发展政策的推动下,钢结构岩棉夹芯外墙板将在工业厂房建设中发挥更加重要的作用。