

工业厂房钢结构围护系统施工技术研究

丁海华

美联钢结构建筑系统（上海）股份有限公司，上海 201613

DOI:10.61369/ERA.2026070013

摘 要： 工业厂房钢结构围护系统的施工质量直接关系到建筑的结构安全性、耐久性及使用功能。以帕科（江苏）环保装备科技有限公司厂房建设项目为工程依托，结合大跨度门式刚架结构特点，对工业厂房钢结构围护系统的关键施工技术进行系统研究。重点分析屋面与墙面围护系统安装工艺、采光带及节点密封处理、滑移支座温度应力释放以及超长板吊装与就位控制等关键技术，并针对超长屋面板热变形控制、复杂洞口收边平直度及高压环境下抗风揭与防水协同等施工难点提出相应技术措施。工程实践表明，所采用的施工技术能够有效提高围护系统的整体稳定性、防水性能及施工精度，为类似工业厂房钢结构围护系统施工提供了可参考的工程经验。

关 键 词： 工业厂房；钢结构；围护系统；施工技术

Research on Construction Technology of Steel Structure Envelope System for Industrial Buildings

Ding Haihua

USAS Building System (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201613

Abstract： The construction quality of the steel structure envelope system in industrial buildings directly relates to the structural safety, durability, and functional performance of the building. Based on the factory construction project of Paco (Jiangsu) Environmental Protection Equipment Technology Co., Ltd., this study systematically explores key construction techniques for the steel structure envelope system in industrial buildings, considering the characteristics of large-span portal frame structures. It focuses on analyzing critical technologies such as the installation processes for roof and wall envelope systems, sealing treatments for skylights and nodes, temperature stress relief for sliding supports, and the hoisting and positioning control of extra-long panels. Additionally, it proposes corresponding technical measures to address construction challenges, including thermal deformation control of extra-long roof panels, straightness of edge finishes around complex openings, and the synergy between wind resistance and waterproofing in high wind pressure environments. Engineering practice demonstrates that the adopted construction techniques effectively enhance the overall stability, waterproofing performance, and construction precision of the envelope system, providing valuable engineering experience for similar steel structure envelope system constructions in industrial buildings.

Keywords： industrial buildings; steel structure; envelope system; construction technology

引言

工业厂房是现代工业生产的主要场所，它的建筑性能以及施工效率十分重要。钢结构围护系统是厂房的“外衣”，它担负着抵御自然环境、保证内部生产环境稳定的最基本功能，在建筑美学、节能环保、快速建造等方面起着越来越重要的作用。因此，对钢结构围护系统施工技术进行深入的研究，对于提高工程质量、保证结构安全、缩短建设周期有重大的理论意义和工程价值。

一、钢结构围护系统的特点

部环境稳定的屏障。

钢结构围护系统主要是由屋面、墙面和连接构造组成，具有明显的技术优势。轻质高强特性大大降低主体荷载和基础造价。二是高度装配化实现工厂预制和现场快速拼装，受气候影响小，工期短。第三，系统采用合理的节点构造及密封装置，具有良好的防水防风性能。四现代围护系统集保温、隔声、防火于一体，可以满足工业建筑节能、环保、安全生产的要求，是保证厂房内

二、项目概况

帕科（江苏）环保装备科技有限公司建设项目位于江苏沭阳瑞声路和友福路交汇处。项目总建筑面积为54146 m²，包括单层多跨门式刚架结构的厂房和多层钢框架结构的办公楼。钢结构重量约为1800吨，主要使用 H 型钢柱、箱型柱、十字型钢柱和 H

型钢梁。屋面围护系统为 LSIIIplus 板, 墙面围护系统为 PBR1026 墙面板。

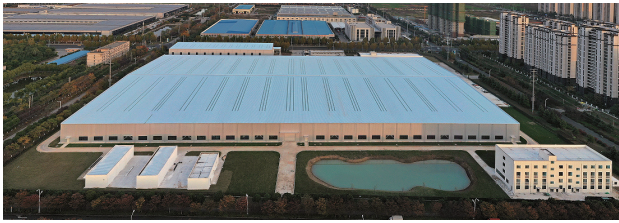


图1 项目概况图

三、钢结构围护系统施工技术

(一) 屋面围护系统安装工艺

对于帕科项目的屋面大跨度以及上海沿海台风多发的情况, 安装的核心就是保证锁缝的质量和排水坡度。施工前对檩条的精度进行严格的复核, 间距误差不大于5mm, 顶面平整度误差不大于3mm/m, 清除焊渣等杂物防止刺破防水层。屋面板铺设必须按照“从檐口到屋脊”的单向推进原则进行, 第一块板用全站仪精确找正, 保证和轴线平行, 消除累积误差。由于项目使用直立锁缝体系, 取消了传统的自攻钉穿透固定方式, 全程用电动锁缝机械咬合, 锁缝深度控制在15~20mm之间, 每5m抽测咬合强度, 保证抗风揭性能。考虑到极端天气的影响, 在屋面坡度大于5%的地方设置防滑构造, 坡度大于15%的处搭设专用作业平台。安装时不得用脚直接踩踏波峰, 应设置临时走道板保护层。完工后进行全覆盖淋水试验, 重点检测锁缝、搭接缝和天沟节点, 保证屋面整体平整度偏差 $\leq 8\text{mm}/20\text{m}$, 达到“零渗漏”的要求, 为厂房内部精密生产提供可靠的屏障。

(二) 墙面围护系统安装工艺

墙面系统施工主要解决大面积墙板垂直度控制、企口咬合严密性的问题, 满足帕科项目对外观高标准的要求。施工以钢柱校正结果为依据, 二次复核墙面檩条垂直度($\leq 2\text{mm}/\text{m}$)和间距。用激光投线仪建立高精度三维控制网, 水平和垂直控制线间距加密到1.5m。安装顺序严格按自下而上、自左向右进行, 板间企口搭接宽度控制在100~150mm之间, 保证气密性。固定方式为限位螺钉, 钉位距板边不小于15mm, 防止应力集中造成板面变形。对项目门窗洞口多的情况, 实行“预排版”制度, 洞口周边留出50mm的精切余量, 用专用切割设备保证切口无毛刺。施工时采用“三块一检”, 每安装3~5块板后用2m靠尺检测平整度, 偏差 $\leq 3\text{mm}/\text{m}$, 累计垂直度偏差 $\leq 10\text{mm}$ 。转角处用定制的全一体化转角件, 内部填充耐候密封胶(厚度3~5mm), 外部压接金属盖板, 保证转角线条顺直、防水可靠, 提高整体建筑美学效果。

(三) 采光带及特殊节点密封处理技术

采光带及节点处理为帕科项目防水的薄弱之处, 用多重密封、柔性连接的方式应对结构微变形。采光带选型必须与屋面波形相匹配, 裁剪时留出 $\geq 200\text{mm}$ 搭接量, 搭接面用打磨去氧化层后, 用丁基胶带和结构胶两道密封。先铺宽度 $\geq 50\text{mm}$ 、厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ 的丁基胶带, 再辅以不锈钢螺钉加防水垫圈固定(间

距 $\leq 300\text{mm}$)。屋脊、檐口等关键节点用定制泛水板, 贴合度要达到95%以上, 基层涂刷界面剂后打连续密封胶, 杜绝断点。阴阳角处做折边处理, 内部填高弹性发泡材料, 外面盖金属盖板压实, 适应结构微变形。安装完毕后主要检查采光带和屋面板之间的高差, 小于等于2mm, 防止积水产生苔藓。所有节点完成之后做30分钟的连续淋水试验并建立密封材料养护档案, 定期回访检查以保证长期防水效果, 符合厂房全生命周期使用要求。

(四) 滑移支座与热胀冷缩应力释放措施

由于帕科项目厂房长度大、昼夜温差造成的明显热胀冷缩效应, 应力释放是防止板面起拱或者撕裂的重要手段。采用承载力大于设计值1.2倍的专用滑移支座, 安装基面找平误差 $\leq 2\text{mm}$ 。支座用螺栓固定在檩条上, 使它可以在板材纵向自由滑动, 留出50~100mm的伸缩余量来适应极端温差。屋面板和支座用浮动式夹具固定, 留有3~5mm的活动间隙来消除刚性约束。对跨度大于60m的通长板, 在跨度的1/3处设应力释放节点, 用分段搭接和滑动压条相结合的方式, 使板材自由伸缩。施工过程中设置温度和伸缩的监测点, 安装时记录环境温度, 根据温度变化及时调节滑移间隙(偏差 $\pm 5\text{mm}$)。完工后用拉力计检测滑移阻力, 定期检查支座磨损情况, 保证结构在热胀冷缩循环中一直保持无应力状态, 防止温度应力积累造成连接件疲劳破坏, 保证围护系统长久安全。

(五) 通长板吊装与就位控制技术

帕科项目存在超长通长板(部分超过80m)垂直运输、水平就位的难题, 必须制订专项吊装方案。因此工程不再使用单点起吊, 采用多台吊车协同、超长扁担的方式, 每隔3~5米设一道吊带, 保证受力均匀, 防止板材自重产生塑性变形。垂直运输时板材端部用槽钢加固防止下垂。水平转运使用自制轨道小车, 由远及近分段推运到安装位置, 防止二次搬运损伤涂层。屋面就位采用“暗扣锁缝”, 全程无明钉, 从根本上消除漏水隐患。就位前在檩条上弹设精度 $\leq 1\text{mm}$ 的定位线, 铺设防滑垫层保护层。利用牵引绳微调姿态, 使就位偏差 $\leq 3\text{mm}$, 然后做临时固定(间距 $\leq 300\text{mm}$)。完工后检测板材直线度 $\leq 5\text{mm}/20\text{m}$ 、与檩条贴合度, 无空鼓, 保证超长板材在风荷载作用下稳定, 体现工业化施工的精度和效率。

(六) 收边泛水及洞口精细化施工方法

收边泛水系统直接关系到建筑外观质量、细部防水效果, 也是帕科项目创建精品工程的重要环节。所有泛水件都用与主材同质的彩钢板定制加工, 精度误差 $\leq 2\text{mm}$, 保证颜色一致。屋面檐口用L型泛水板, 下口搭接 $\geq 150\text{mm}$, 上口螺栓固定间距 $\leq 400\text{mm}$ 。屋脊用V型泛水板覆盖, 双侧搭接不小于200mm, 加锁缝和密封双重防护。门窗洞口做“定制化转角”, 泛水件和板材搭接 $\geq 100\text{mm}$, 转角处准确折边填嵌弹性密封材料, 保证与窗框无缝对接。墙面和屋面交接处的泛水要严格按照坡度进行施工, 不能出现倒坡积水的情况。固定螺钉都带有防水垫圈, 排列整齐一致, 具有实用性和美观性。完工后对泛水件平整度($\leq 3\text{mm}/\text{m}$)、胶缝连续性进行全面检查, 对洞口周边做专项防水试验, 保证功能性和美观性的统一, 塑造出符合国际标准的现代化厂房形象, 提高企业的品牌价值。

四、项目难点与解决对策

（1）超长屋面板热变形控制与安装精度保障

本项目屋面使用通长的 LSIIIplus 板，单块板长达86米，属于超长构件。上海地区昼夜、季节温差大，根据钢材热膨胀系数计算得出该长度板材在极端温差下理论伸缩量为70mm以上。采用传统的固定支座，巨大的温度应力会造成板面起拱、锁缝撕裂、支座拉脱等破坏防水的严重后果。另外屋面设计坡度只有5%，排水冗余度低，对板面平整度、搭接顺直度要求很高，微小的安装累积误差就会造成积水死角，产生渗漏隐患。

解决办法就是全面采用动态滑移支座系统。檩条上设置专用滑移底座，屋面板底部有长圆孔与之连接，板材可自由沿纵向伸缩，最大单向伸缩量为76.3mm，全部释放温度应力。施工时严格控制支座定位精度，保证滑动面清洁无焊渣，不得强行拉压板材，保持其自然状态铺设。为了解决低坡度安装精度的问题，采用预冲孔和对称安装的工艺方法，工厂端用数控预冲孔消除现场钻孔误差，安装时从一端山墙基准线开始向另一侧对称推进，实时监测累积偏差。同时设置环境温度检测装置，在极端高温或者低温的时候停止工作，在屋脊和檐口处留出足够的伸缩余量，保证系统长期处于热循环中的零应力、零渗漏的状态。

（2）复杂墙面门窗洞口直线度与收边平直度控制

帕科项目厂房功能分区繁杂，墙面门窗洞口数量众多并且分布零散，部分洞口尺寸非标，造成围护板材切割量大、拼接缝多。PBR1026墙面板板型较大，对基层檩条平整度、安装垂直度要求很高。如果洞口放线基准不一致或者板材切割精度不够，很容易造成洞口周围板缝歪斜、收边件不能贴合，出现波浪形变形或者错台的现象。它不但会改变建筑外观的挺拔感，在接缝处还会造成渗水通道，不能达到高标准工业厂房观感和防水的要求。

解决办法是采用“三维精测+工厂预制+样板引路”全过程控制的方式。首先用全站仪和激光投线仪建立高精度三维控制网，对所有的洞口进行二次复测放线，把水平、垂直基准误差控制在5mm以内。其次推行深化设计前置，根据实测数据对每一块异形板进行电脑排版和编号，洞口切割和收边件都在工厂用数控设备精准预制，杜绝现场手工切割带来的毛刺和尺寸偏差。安装阶段严格按照划线就位制度执行，所有螺钉孔位按照弹线位置布置，保证钉距一致、横平竖直。转角、收边处用专用数控折弯角件进行无缝过渡。建立“一洞一验”的工作机制，每个洞口施工完毕后立即对直线度和平整度进行复核，发现偏差立即纠正，保证墙面整体线条流畅、收边平直。

（3）高抗风压与一级防水性能的协同实现

项目处在沿海高压区，设计极限风荷载为2.9kPa，给围护结构的结构连接强度带来很大考验。传统的外露钉连接方式，在强风吸力的作用下容易出现松动或者脱落的情况，并且钉孔处也是天然的渗漏隐患点。同时项目要达到一级防水标准，在强风暴雨耦合工况下，雨水可以在风压的作用下逆向渗透进搭接缝或者节点内部。怎样才能在保证支座可以自由的热胀冷缩滑动的情况下，给它提供足够的抗风揭阻力，并且解决毛细渗水的问题，这

就是高抗风、高防水性能的协同核心矛盾。

解决办法就是创建起一个“机械锁缝、多重密封、结构加强”的立体防护体系。屋面系统采用隐藏式直立锁缝构造，用电动锁缝机做540°高强度机械咬合，把板肋变成受力整体，大大提高了抗风揭能力。同时在锁缝内打双层耐候密封胶，阻止毛细水的渗透。滑移支座集成专利抗风夹设计，用机械互锁来限制板材的向上位移，在保证纵向滑移的同时提供很大的抗风固定力。对采光带、屋脊、檐口等薄弱部位采取“丁基胶带满粘+防水铆钉加固+泛水板覆盖”三重密封技术，泛水件搭接长度按高压风况加长。墙面板企口处加设止水槽，外露紧固件均配三元乙丙耐候垫圈。所有的密封作业都在干燥的环境下进行，完工后用模拟台风暴雨工况的淋水试验来检验系统的稳定性，在极端气象条件下。

五、心得体会

组织帕科环保装备项目钢结构工程施工，体会到了系统思维加细节控制才是攻克技术难题的关键。86米超长屋面板施工过程中，滑移支座准确设置以及温度监测及时调整，使我对结构变形控制有了一种新的认识，那就是结构变形控制要兼顾设计原理和现场工况。复杂洞口收边施工中，采用“工厂预制+激光放线”相结合的方式，很好地解决了平直度偏差的问题，说明工业化预制对质量的提高起到了关键的作用。高压风和防水协同时，多层密封工艺和淋水试验必须严格执行，才能保证节点处理是防水抗风的防线。本次实践更进一步地证明了施工不仅仅是技术的运用，而应该加强各个环节之间的协调，只有理论联系实际，才能构建起安全可靠的工业围护系统。

六、结束语

工业厂房钢结构围护系统高效建造要综合屋面墙面安装、节点密封、热变形控制、吊装就位、收边处理等施工环节，系统整合轻质高强、装配化程度高、功能集成性强等特点。利用滑移支座消除温度应力、电动锁缝保证防水密封、限位螺钉控制板面平整、全过程精度复核等技术措施，可以提高施工质量。围护系统施工还要进一步将BIM技术、智能监测、标准化工艺融合起来，由原来的“经验作业”向“精准建造”转变，使安全、耐久、美观和高效建造的目标有机地结合起来，为工业建筑高质量发展提供强有力的科技支持。

参考文献

- [1] 李渊. 大跨度门式轻钢结构单层厂房施工关键技术[J]. 建筑机械, 2025, (04): 108-112.
- [2] 刘承. 钢结构厂房屋面围护结构安装及屋面防渗施工技术分析[J]. 安徽建筑, 2025, 32(03): 60-62.
- [3] 姚远东, 熊建东. 钢结构厂房中框架结构和围护结构的关键节点安装技术[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(02): 58-60.
- [4] 郑进忠. 装配式钢结构在大跨度厂房建筑的技术应用[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(12): 143-145.
- [5] 黄艳, 王东. 开合式建筑钢结构厂房的关键节点设计与施工技术研究[J]. 四川水泥, 2024, (10): 140-142.