

精致钢框架式玻璃幕墙系统在大型场馆幕墙工程中的应用

万忠民

中国一冶集团有限公司，湖北 武汉 430081

DOI:10.61369/ADA.2026010011

摘 要： 精致钢框架式玻璃幕墙系统通过高精度钢龙骨与单元化玻璃板块结合，采用结构性密封与机械化安装工艺，有效解决了大跨度立面施工中常见的变形控制难、防水性能弱等问题。该系统具有抗风压性强、气密性高、视觉通透性好等优势，有效提升建筑外观完整性与使用耐久性。本文结合大型场馆项目，从系统构造设计、性能特点、施工工艺及质量控制等方面展开分析，为同类工程提供参考。

关 键 词： 精致钢框架式幕墙；大型场馆；钢结构龙骨；玻璃面板；施工技术

Application of Exquisite Steel-Frame Glass Curtain Wall System in Curtain Wall Projects of Large Venues

Wan Zhongmin

China First Metallurgical Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430081

Abstract： The exquisite steel-frame glass curtain wall system combines high-precision steel mullions with unitized glass panels, employing structural sealing and mechanized installation techniques. This effectively addresses common challenges in large-span facade construction, such as difficulty in deformation control and weak waterproofing performance. The system offers advantages such as strong wind pressure resistance, high airtightness, and excellent visual transparency, effectively enhancing the architectural appearance integrity and service durability. This paper analyzes the system from the perspectives of structural design, performance characteristics, construction techniques, and quality control, based on large venue projects, providing references for similar engineering endeavors.

Keywords： exquisite steel-frame curtain wall; large venues; steel structural mullions; glass panels; construction techniques

一、工程概况

中原高铁港数字展贸城项目位于河南省郑州航空港区，总建筑面积52.74万平方米，展厅幕墙最高高度达25.25米。其中东西立面二层采用精致钢框架式玻璃幕墙系统，竖向龙骨采用250×110×18mm精致钢立柱，横向采用同规格钢横梁，玻璃配置为8HS+2.28PVB+8HS（三银LOW-E）+12Ar+8HS+2.28PVB+8HS夹胶中空超白玻璃，最大板块尺寸达4466×1916mm，单块重量约0.684吨。系统通过精细化节点设计与工厂预制化生产，实现现场高效装配。



图1 精致钢框架玻璃示意图

二、统性能特点深度分析

（一）结构稳定性与抗风压性能

系统以高强度精致钢龙骨为核心，通过多维度设计保障极端环境下的安全性：

抗风压性能：实验室检测达2级标准（承受1.678kN/m²风压），关键措施包括：立柱间距≤4.5m，有限元优化截面惯性矩；连接节点“刚性+柔性”结合——底部用L150×100×12mm镀锌角钢+M20不锈钢螺杆连预埋件，顶端用Φ50（40Cr）销轴柔性连接，兼顾传力可靠性与变形适应性。

抗震性能：满足《建筑抗震设计规范》GB50011-2010（0.3g水平地震作用），设“主龙骨+连接构件”两道防线；螺栓孔为长圆孔（允许±30mm位移），有效吸收地震能量。

温度变形适应性：针对郑州-10℃~40℃年温差，横梁与立柱“一端刚性、一端柔性”连接（横梁间距2m，一端用10mm钢槽柔性连接），预留伸缩空间以吸收温度应力。

（二）密封与节能性能

水密性能：水密性能：达786Pa（超国标），通过四道密封防

线实现：①板块搭接物理阻水；②三元乙丙胶条（寿命20年）；③硅酮结构胶内部密封；④等压腔+导排水系统排微量水。

气密性能：3级（ $1.2 \geq q_A \geq 0.5$ ），100Pa压差下单位面积空气渗透量 $\leq 1.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ；开启扇用多点锁闭系统，确保密封压力均匀。

节能性能：传热系数 $K \leq 1.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，遮阳系数0.44，可见光透射比 ≥ 0.6 。核心措施：三银LOW-E玻璃阻红外线、16mm氩气层（纯度 $\geq 90\%$ ）、暖边间隔条（线性传热系数 $\leq 0.12 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ）、尼龙66隔热条分离室内外型材。

（三）安全与耐久性

防雷设计：符合《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010，用 $40 \times 4 \text{ mm}$ 镀锌扁钢作引下线（间距 $\leq 18 \text{ m}$ ），接地电阻 $< 1 \Omega$ ；连接点防腐处理，确保长期有效。

防火性能：层间设1.5mm镀锌钢板+100mm防火岩棉（密度 $\geq 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ ）封堵，耐火极限2小时；缝隙用防火密封胶填塞，防烟雾蔓延。

耐久性能：设计使用年限25年，密封胶/胶条用耐老化材料；钢材氟碳喷涂（膜厚 $\geq 40 \mu\text{m}$ ），通过4000小时中性盐雾试验；玻璃均质处理，自爆率 $< 0.1\%$ 。

防护性能：符合《建筑玻璃应用技术规程》JGJ113-2015，室内侧夹胶玻璃碎片合规；可承受30m/s风速飞射物冲击。

（四）光学与声学性能

光学性能：可见光透射比 $\tau_v \geq 0.6$ ，色彩还原指数 $R_a \geq 90$ （满足展览建筑自然采光需求）；太阳得热系数 $SHGC=0.44$ ，平衡热舒适性与空调能耗。

声学性能：空气声隔声量 $R_w \geq 35 \text{ dB}$ ，通过中空玻璃阻声波、型材空腔填吸音材料、弹性密封接缝实现中低频噪声隔绝。

三、施工工艺流程及要点

鉴于本文着重介绍精致钢框架玻璃幕墙系统安装的相关关键技术工序，其他幕墙系统工艺流程这里不做重点描述。

（一）施工工艺流程

测量放线→转接件安装与校正→精致钢龙骨安装→玻璃面板安装→密封与防水→清洁验收

（二）施工工艺要点

1. 施工前准备与测量放线

施工前的准备工作直接影响整个工程质量，必须严格按照标准流程执行。

测量基准建立：使用Leica TCA20全站仪建立测量控制网，精度要求：角度测量 $\pm 1''$ ，距离测量 $\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ 。首先与总包单位进行基准点交接，对提供的控制点进行复测，确认无误后引测到施工楼层。控制点采用强制对中标志，避免对中误差。

三维测量放线：采用BIM技术进行测量放样，通过Rhino软件建立幕墙三维模型，导出关键控制点的坐标数据。现场测量时，先放出主体结构轮廓线，再放出幕墙分格线，最后放出转接

件位置线。测量过程中实行“三检制”：施工班组自检、质检员复检、监理单位验收。

误差控制措施：针对大型钢结构工程的变形特点，采取动态测量方法。每天固定时间（避开日照强烈时段）进行测量，记录温度变化对结构的影响。测量数据实时输入BIM模型，指导后续加工和安装。对于超过允许偏差的部位，通过设计变更进行调整。

2. 转接件安装与校正

转接件是连接幕墙与主体结构的关键部件，其安装质量直接影响整个幕墙系统的精度。

安装工艺流程：清理埋件→测量定位→转接件安装→精度复核→最终固定。首先对预埋件进行清理，去除混凝土浆皮和锈蚀，检查埋件位置偏差。对于偏差超过20mm的埋件，采用后补埋件进行补救。

安装精度控制：转接件安装允许偏差为：左右方向 $\pm 3 \text{ mm}$ ，进出方向 $\pm 5 \text{ mm}$ ，标高 $\pm 3 \text{ mm}$ 。安装时使用专用定位模具，确保同排转接件的安装精度。转接件与埋件之间采用三向调节机构，微调完成后立即固定。

防腐蚀处理：所有焊接部位在焊接完成后24小时内进行防腐处理。先打磨焊渣和飞溅物，然后涂刷环氧富锌底漆（膜厚 $\geq 60 \mu\text{m}$ ），再涂刷环氧云铁中间漆（膜厚 $\geq 80 \mu\text{m}$ ），最后涂刷氟碳面漆（膜厚 $\geq 40 \mu\text{m}$ ）。不同金属接触部位采用绝缘垫片隔离，防止电化学腐蚀。

3. 精致钢龙骨安装

龙骨安装是幕墙施工的核心环节，其精度直接决定幕墙的最终效果。

立柱安装工艺：

吊装就位：采用25t汽车吊进行吊装，吊点设置在立柱长度的1/4和3/4处，使用尼龙吊带防止表面损伤。就位时先连接下部转接件，预留调节余量。精度调整：使用经纬仪控制垂直度，水准仪控制标高。垂直度偏差控制在 $H/1000$ 且不超过10mm，相邻立柱标高差 $\leq 3 \text{ mm}$ ，同层立柱标高差 $\leq 5 \text{ mm}$ 。临时固定：调整到位后，用临时支撑固定，然后进行最终焊接。焊接采用CO₂气体保护焊，焊缝等级为二级，焊脚尺寸不小于较薄焊件厚度。

横梁安装工艺：

分段安装：横梁按跨度分三段制作，中间设置伸缩缝。安装顺序自下而上，先安装基准横梁，再以其为基准向上安装。连接节点处理：横梁与立柱采用螺栓连接，连接部位设2mm厚防腐垫片。螺栓紧固使用扭矩扳手，扭矩值控制在 $100 \text{ N} \cdot \text{m} \pm 10\%$ 。平整度控制：横梁安装后，用水准仪检测其水平度，偏差控制在 $\pm 1 \text{ mm}$ 内。相邻横梁高低差 $\leq 1 \text{ mm}$ ，同一立面横梁高低差 $\leq 3 \text{ mm}$ 。

4. 玻璃面板安装技术

玻璃面板安装是幕墙施工的最后环节，也是最重要的视觉表现部分。



图2 精致钢框架幕墙玻璃安装图

安装前准备:

现场复测: 对已安装的龙骨进行全面复测, 包括间距、对角线、平整度等, 确保符合设计要求。材料检查: 检查玻璃板块的规格尺寸、表面质量, 重点检查有无划伤、气泡等缺陷。使用专用检测工具测量玻璃的平整度, 偏差应 $\leq 2\text{mm}$ 。

安装设备准备: 准备曲臂车、真空吸盘等设备, 并进行安全检查。真空吸盘在使用前进行吸附试验, 确保安全可靠。



图3 精致钢框架幕墙玻璃安装图

安装工艺流程:

吊装就位: 使用电动吸盘吸附玻璃, 曲臂车提升至安装位置。吊装过程中设置防摆动装置, 确保平稳就位。就位调整: 先将玻璃板块的下部卡入下部横梁的卡槽内, 然后调整上部位置, 使玻璃与相邻板块的间隙均匀。压板安装: 使用不锈钢压板固定玻璃, 压板与玻璃之间设置弹性垫块。压板螺栓应均匀紧固, 扭矩值控制在 $8\text{--}10\text{N}\cdot\text{m}$ 。密封处理: 安装完成后立即进行打胶密封。打胶前用酒精清洁接缝, 背衬棒安装深度为缝宽的 $1/2$ 。打胶要求饱满均匀, 表面光滑平整。

安装精度控制: 相邻板块接缝宽度偏差 $\leq 1.5\text{mm}$; 相邻板块高低差 $\leq 1.0\text{mm}$; 整幅幕墙竖向垂直度 $\leq 10\text{mm}$; 整幅幕墙水平度 $\leq 3\text{mm}$ 。

5. 密封与防水技术

密封防水是幕墙功能性的关键, 必须严格控制施工质量。

密封材料选择:

结构密封胶: 采用双组份硅酮结构胶, 固化后硬度(邵A) 35–45度, 伸长率 $\geq 150\%$; 耐候密封胶: 采用单组份硅酮耐候胶, 位移能力 $\pm 25\%$, 耐久性通过5000小时老化试验; 密封胶条: 采用三元乙丙橡胶, 硬度 70 ± 5 度, 压缩永久变形 $\leq 25\%$; 打胶工艺控制: 基材处理: 打胶前对基材进行严格清洁, 先用干

净布去除灰尘, 再用酒精擦拭, 最后用保护胶带保护非打胶区域。背衬材料安装: 使用闭孔聚乙烯泡沫棒作为背衬材料, 直径比缝宽大 $20\%\text{--}30\%$ 。安装深度为缝宽的 $1/2$, 确保形成两面粘结。打胶操作: 使用专业打胶枪, 胶嘴切成 45° 斜口, 直径略小于缝宽。打胶时保持均匀速度, 确保胶体饱满无空腔。表面修整: 打胶完成后立即用刮刀修整, 修整角度为 45° , 确保胶缝美观整齐。

防水测试: 幕墙安装完成后进行淋水试验。试验方法: 使用直径 20mm 的水管, 在幕墙表面形成连续水幕, 水压 0.3MPa , 持续时间15分钟。检查室内侧有无渗漏, 发现渗漏点及时处理。

四、关键节点的控制

(一) 测量放线

1) 三维测量控制网的建立: 采用 Leica TCA20 全站仪建立三级测量控制网, 首先与主体结构施工单位进行基准点交接复核, 确认无误后引测到各施工楼层。控制点采用强制对中标志, 避免对中误差, 测量精度要求达到: 角度测量 $\pm 1''$, 距离测量 $\pm (1\text{mm}+1\text{ppm})$ 。在测量放线过程中, 实行“三级验收”制度: 施工班组完成放线后进行自检, 质检员进行复检, 最后报监理单位验收。1) 安装前检查天沟挂带有无变形, 按设计的间距固定天沟挂带, 并检查挂带的各个边是否平齐。天沟对接前将切割口打磨干净, 对接时要注意对缝间隙不能超过 1mm , 先每隔 10cm 点焊, 确认满足要求后方可焊接。焊条型号根据母材确定, 但直径采用 $\Phi 2.5\text{mm}$ 。焊缝一遍成形, 待冷却后将药皮除去。

2) 立体测量定位技术: 针对大型场馆复杂的空间结构, 采用 BIM 技术进行三维测量放样。通过 Rhino 软件建立幕墙精确模型, 导出关键控制点的三维坐标数据。现场测量时, 先放出主体结构轮廓线, 再放出幕墙分格线, 最后精确定位转接件安装位置。测量过程中要特别注意温度变化对钢结构的影响, 选择在气温稳定的时段进行测量, 并记录测量时的环境温度, 以便进行温度修正。严格控制测量偏差, 立面垂直度偏差 $\leq H/1000$ 且不大于 25mm , 相邻两板端部错位 $\leq 6\text{mm}$ 。

(二) 预埋件与转接件

1) 预埋件位置复核与处理: 预埋件安装前, 必须对土建结构进行精确测量, 检查预埋件位置偏差。允许偏差标准为: 中心线偏差 $\leq 5\text{mm}$, 标高偏差 $\pm 3\text{mm}$, 表面平整度 $\leq 1\text{mm}$ 。对于偏差超标的预埋件, 需采取补救措施: 当偏差在 10mm 以内时, 可通过调整转接件位置吸收误差; 偏差在 $10\text{--}20\text{mm}$ 时, 采用现场焊接钢板加长锚筋的方法处理; 偏差超过 20mm 时, 必须采用后置埋件补救。

2) 转接件安装精度控制: 转接件安装采用“测量定位—初步固定—精度调整—最终固定”的四步控制法。安装过程中要重点控制以下指标: 转接件水平位置偏差 $\leq 5\text{mm}$, 倾斜角度 $\leq 1^\circ$, 平面扭转角度 $\leq 1^\circ$ 。转接件与预埋件焊接时, 先每隔 10cm 点焊, 确认满足要求后方可满焊。焊缝要求一遍成形, 焊脚尺寸不小于较薄焊件厚度, 焊接完成后及时清除药皮并进行防腐处理。

（三）精致钢龙骨安装

1) 立柱安装控制：立柱安装采用“从下至上、先中间后两边”的安装顺序。首先安装基准立柱，以其为基准向两侧扩展。立柱安装前，在柱身标注中心线，安装时使中心线与测量控制线重合。立柱连接采用插接方式，插接长度不小于250mm，插接间隙控制在4-6mm。安装过程中使用激光经纬仪实时监测垂直度，偏差控制在H/1000且不超过10mm。

2) 横梁安装控制：横梁安装采用“从上至下、分段安装”的方法。首先安装基准横梁，以此为标准向下逐层安装。横梁与立柱连接采用柔性连接，一端固定一端滑动，允许温度变形。横梁安装要严格控制水平度，使用水平仪检测，偏差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内。相邻横梁接头处要留设5-8mm的伸缩缝，并用密封胶填充。

（四）玻璃面板安装

1) 安装前准备工作的控制：玻璃安装前必须完成以下准备工作：对龙骨安装质量进行最终验收，测量数据达标后方可进行玻璃安装；检查玻璃板块的规格尺寸、表面质量，对有划伤、崩边等缺陷的板块予以更换；清洁安装部位，确保无灰尘、油污等污染物；准备专用安装工具，包括真空吸盘、电动葫芦等，并进行安全检查。

2) 安装过程精度控制：玻璃面板安装采用“先试装后固定”的方法。首先将玻璃板块吊装至安装位置，进行试安装，检查板块间缝隙是否均匀，相邻板块平整度是否符合要求。调整合格

后，正式安装固定。安装过程中要重点控制以下指标：相邻板块接缝宽度偏差 $\leq 1.5\text{mm}$ ，相邻板块表面高低差 $\leq 1.0\text{mm}$ ，整幅幕墙竖向垂直度 $\leq 10\text{mm}$ ，横向水平度 $\leq 3\text{mm}$ 。

五、结论

中原高铁港项目采用精致钢框架幕墙系统，以高精度冷弯钢型材+超白中空玻璃为核心，通过榫卯拼接集成，聚焦大型场馆“超大跨度承载、复杂曲面适配、极端环境耐候、工业化高效建造”需求，破解四大痛点：耐候钢+双层LOW-E玻璃，阻断热交换与冷桥；工厂预制保障型材公差 $\pm 1\text{mm}$ 级；柔性节点（抗震橡胶垫）允许面板/框架温变、风荷载下伸缩，规避应力集中；抗风抗震超设计、防水密封双道设防、模块化运维（局部快速更换）。

系统兼具轻量化（降主体荷载）、高强度（抗风抗震）、耐腐蚀（延运维）、低碳环保（钢可循环）属性，满足大型场馆“无柱大空间、标志性表皮”的功能审美诉求；通过工业化建造压缩工期、减少污染，造型可塑性适配折线形表皮，全面提升工程品质与全生命周期价值。

工程落地实现“结构安全冗余高、外观质感优、性能指标超设计预期”，为同类大型场馆幕墙提供“工业化建造+绿色性能+艺术造型”深度融合的示范范式。

参考文献

[1] 建筑玻璃应用技术规程 JGJ113-2015.

[2] 建筑装饰装修工程质量验收标准 GB50210-2018.