

浅析自动化设备安装大跨度彩瓦技术

王兆华 吴亨炳

宁波钢铁有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 大跨度彩瓦安装中, 自动化设备的应用显著提升施工效率与精度。通过采用可调节式定位机构、双向气缸导向系统及同步带轮驱动切割装置, 实现彩瓦自动居中、曲面贴合切割, 减少人工干预。结合高空散装或分条安装法, 配合全站仪空间测控技术, 确保大跨度结构下彩瓦安装的曲面弧度准确, 有效解决传统工艺中定位难、切割精度低等问题, 推动大跨度彩瓦工程向智能化、高效化发展。

关键词: 自动化; 设备安装; 大跨度彩瓦技术

引言: 在建筑行业不断追求高效、优质与创新的当下, 大跨度建筑结构日益增多, 其屋面彩瓦安装工程面临诸多挑战。传统安装方式依赖大量人力, 不仅效率低下, 且在大跨度场景下, 难以保证彩瓦安装的精度与质量, 易出现拼接不紧密、曲面弧度偏差等问题。自动化设备的出现为这一难题提供了新解。深入研究自动化设备安装大跨度彩瓦技术, 对提升施工效率、保障工程质量、推动建筑行业技术革新具有重要的现实意义与广阔的应用前景。

1 大跨度彩瓦结构特性与施工难点

1.1 结构特性分析

(1) 几何形态: 除双曲线方程参数化设计(曲率半径30-120m)外, 宁波紫霞原料场绿色智能改造项目二期封闭工程采用C型全封闭料场结构, 长度583m、跨距82m、弧长约130m, 屋面呈半球形设计, 最高矢高42.8m, 矢高比显著大于常规项目。该异形结构既满足原料场封闭环保需求, 又需通过球面力学优化平衡荷载, 适配大跨度储料空间的功能需求, 同时对施工精度提出更高要求。(2) 材料性能: 彩钢瓦导热系数 $\leq 0.041W/(m \cdot K)$, 保温隔热性能优异; 抗风压等级达12级, 适配宁波沿海地区强风环境, 配合C型料场球面拱肋设计增强结构抗风刚度, 减少强风对屋面的掀翻力。材料轻质特性可减轻半球形屋面承重, 涂层防腐性延长料场使用寿命, 同时采光板采用透光率 $\geq 85\%$ 的聚碳酸酯材质, 兼顾节能与料场照明需求。(3) 连接节点: 采用“T”码+自攻螺钉复合连接体系(单节点承载力 $\geq 5kN$), 针对宁波项目半球形屋面, 在节点处增设弹性密封垫层, 提升球面衔接部位的防水性能, 避免沿海潮湿环境下节点渗漏; 玻璃钢格栅板安装采用卡扣式连接, 单块承载力 $\geq 3kN$, 适配料场检修通道的承重需求, 同时便于后期维护更换。

1.2 施工核心挑战

(1) 空间定位难题: 宁波项目半球形屋面(矢高

42.8m) 檩条需基于球面参数进行三维坐标计算, 较双曲线结构增加2个空间弧度参数, 全站仪定位偏差需控制在 $\pm 2mm$ 内。球面曲率变化导致檩条间距随半径动态调整(间距偏差 $\pm 8mm$), 需通过BIM模型细化分区定位, 避免累积误差影响采光板与彩板的衔接精度。(2) 构件调节精度: 因矢高比大, 檩条垂直度偏差需严格控制在 $H/1500$ (H 为屋面高度), 顶面标高误差 $\leq 3mm$ 。半球形屋面顶部构件安装需克服高空作业难题, 跨度82m的檩条安装需增设临时支撑点(每10m设1个), 防止构件失稳^[1]。(3) 安装顺序约束: 宁波项目需遵循“从底部向顶部”的环形施工逻辑, 核心是通过底部环形基准线校准控制球面精度。同时因工程量大(屋面及墙面彩板面积超4.5万 m^2), 需协调3组施工机械同步作业, 避免高空交叉施工冲突, 且需匹配玻璃钢格栅板与彩板的安装进度, 确保通道功能同步实现。(4) 环境适应性挑战: 沿海地区风力大(瞬时风速可达10级), 需在施工中实时监测风速, 风速超6级时暂停高空作业, 同时需采取防风固定措施, 防止未固定彩板被强风掀动。

2 自动化设备技术体系构建

2.1 硬件系统组成

(1) 智能测控设备: 除徕卡TS60全站仪(测角精度 $0.5''$ 、测距精度 $0.6mm$)外, 针对宁波项目球面结构, 增设三维激光扫描仪(扫描精度 $\pm 0.1mm$), 对半球形屋面关键部位进行全域扫描, 生成点云数据辅助定位。同时部署风速监测仪(测量范围 $0-30m/s$), 实时反馈风力数据, 为高空作业提供安全依据。(2) 机械执行装置: 除六轴工业机器人(重复定位精度 $\pm 0.02mm$)外, 重点配置上承式可移动高空压板平台设备, 该设备包含轧辊机(压型速度 $15m/min$)、操作台(远程控制距离 $50m$)、出料架(承重 $500kg$)、行走轨道组(轨道间距 $3m$), 可在高空直接将钢卷压制成W型彩瓦, 同步沿轨道输送至安装位置^[2]。(3) 物联网传感器: 除光纤光栅应变传感器外,

在宁波项目球面屋面部署倾角传感器（测量范围 $\pm 90^\circ$ ，精度 $\pm 0.1^\circ$ ），实时监测檩条安装角度偏差；在移动高空压板平台上安装位移传感器（精度 $\pm 0.05\text{mm}$ ），控制平台行走位置精度，确保彩瓦输送就位准确。

2.2 软件系统架构

(1) BIM建模平台：基于Revit+Dynamo构建参数化模型时，针对宁波项目C型料场，将球面结构拆解为24个环形施工区段，完成5000+构件（含彩板、采光板、玻璃钢格栅板）的自动编号与信息集成。通过模型预演移动高空压板平台的行走路径，避免与其他施工机械碰撞。(2) 路径规划算法：采用改进A*算法时，结合宁波项目环形施工逻辑，优化移动高空压板平台的轨道行走路径，减少平台空驶距离40%；同时为六轴机器人规划“环形递进”式彩板固定路径，适配球面安装需求^[1]。(3) 数字孪生系统：在宁波项目中新增风速预警模块，当监测风速超阈值时，系统自动触发设备停机指令；同时集成移动高空压板平台的运行数据，实时展示设备位置、压型速度、彩板铺设进度，实现施工全过程可视化管控。

3 自动化设备安装大跨度彩瓦关键技术实施路径

3.1 空间定位技术

(1) 全站仪+激光扫描联合测控：宁波项目以料场中心基准点为原点建立球面坐标系，在底部环形基准线布设36个控制点，采用全站仪进行定位，每完成1个环形区段的檩条安装，即通过三维激光扫描仪扫描比对，将环形偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 内。(2) RFID标识系统：为宁波项目的彩板、采光板、玻璃钢格栅板分别植入RFID标签，存储构件安装区域、坐标参数、固定方式等信息，移动高空压板平台作业时，通过射频读写器自动识别构件类型，确保W型彩瓦与球面区段匹配。(3) 移动平台定位控制：上承式可移动高空压板平台通过行走轨道组实现定位，轨道铺设时以BIM模型中的环形基准线为依据，采用全站仪校准轨道标高（偏差 $\leq 1\text{mm}$ ），平台行走时通过位移传感器实时调整位置，确保彩瓦输送至指定安装点。

3.2 构件调节技术

(1) 液压同步顶升：针对宁波项目球面顶部檩条安装，采用4台液压千斤顶（单点顶升力300kN）对称布置，同步精度控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ ，顶升过程中通过倾角传感器实时监测檩条姿态，避免球面构件受力变形。(2) 移动平台微调：上承式可移动高空压板平台配备伺服驱动调节机构，可实现 $\pm 50\text{mm}$ 范围内的横向微调，适配球面曲率变化，确保彩瓦压制后与檩条精准对接，减少现场裁切损耗。(3) 磁力吸附装置：在六轴机器人末端加装磁力吸附模块（吸附力3000N），针对宁波项目大尺寸彩板

（单块面积 20m^2 ），通过多点吸附确保搬运过程中板材平整，避免球面安装时彩板起皱^[4]。

3.3 安装质量控制技术

(1) 自攻螺钉自动拧紧：针对宁波项目球面彩板，采用带扭矩反馈的自动化拧紧设备（扭矩范围 $20\text{--}30\text{N}\cdot\text{m}$ ），结合球面弧度调整螺钉角度，确保每颗螺钉紧固力均匀，避免节点渗漏。(2) 密封胶自动涂覆：在移动高空压板平台上集成涂胶系统，针对球面搭接缝（宽度 $15\text{--}20\text{mm}$ ），自动调节涂胶量（ $0.5\text{--}1\text{ml/mm}$ ），确保胶层连续均匀，提升沿海地区屋面防水性能^[5]。(3) 实时影像监测：在宁波项目料场周边布设8台4K高清摄像头，覆盖球面屋面全域，AI分析终端重点识别彩板搭接偏差、螺钉漏拧等问题，识别准确率达99%，确保大工程量下的安装质量。

4 工程应用案例分析

4.1 宁波紫霞原料场绿色智能改造项目二期封闭工程

4.1.1 项目概况

本工程为筒仓及封闭混匀料场间的C型全封闭料场，长度583m、跨距82m、弧长约130m，屋面呈半球形（最高矢高42.8m），需完成屋面及墙面W型彩板（0.8mm厚）、聚碳酸酯采光板（10mm厚）、玻璃钢格栅板（50mm厚）安装，总工程量超4.5万 m^2 。项目地处沿海（瞬时风速可达10级），面临矢高比大、风力强、工程量大等挑战，核心依赖上承式可移动高空压板平台实现自动化施工（如图1）。

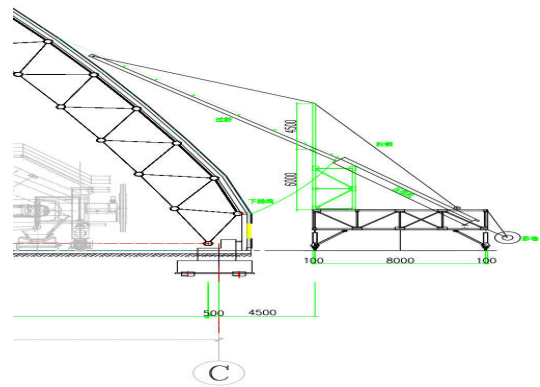


图1 上承式可移动高空压板平台装置架设示意图

4.1.2 技术实施

(1) 移动平台部署：沿环形轴线铺3组轨道（每组130m，间距20m），平台集成轧辊机（压型速度 15m/min ）与出料架（承重500kg），实现彩板“压制-输送-安装”一体化，日施工 800m^2 。(2) BIM与监测协同：Revit模型拆解24个环形区段，预演规避3处施工冲突；部署风速仪（ $0\text{--}30\text{m/s}$ 量程）与倾角传感器（ $\pm 0.1^\circ$ 精度），风速超6级自动停机，全站仪+激光扫描控偏差 $\pm 2\text{mm}$ （如图2）。(3) 智能安装：彩板用带扭矩反馈设备（ $20\text{--}30\text{N}\cdot\text{m}$ ）

固定，平台集成涂胶系统（0.5-1ml/mm涂量）；格栅板用 卡扣连接，RFID标签追溯构件信息。



图2 上承式可移动高空压板平台装置施工实例图片

4.1.3 实施效果

（1）精度达标：檩条垂直度偏差 $\leq H/1500$ ，彩板搭接偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，水密测试无渗漏；（2）效率提升：较传统模式效率提200%，工期缩25天；（3）成本优化：人工成本降65%（300万→105万），材料损耗率降至0.8%，安全事故率为0。

4.2 技术经济性对比

指标	传统方法	自动化技术	提升幅度
人工成本	300万元	105万元	-65%
材料损耗率	3.8%	0.8%	-78.9%
安全事故率	2.1%	0%	-100%
质量返工率	5.7%	0.5%	-91.2%
工期（天）	90	65	-27.8%

结束语

自动化设备在大跨度彩瓦安装中的应用，是建筑行业技术进步的重要体现。通过自动化设备精准的定位、高效的切割与智能的安装操作，不仅大幅提升了施工效

率，更有效保障了安装质量，解决了传统安装方式在大跨度场景下的诸多难题。随着科技持续发展，自动化安装技术将不断完善与升级。未来，我们有理由期待其能在更复杂、更大型的建筑项目中发挥关键作用，推动建筑行业向智能化、工业化方向稳步迈进。

参考文献

- [1]李兵兵.狭小施工空间下大跨度钢结构施工技术研究[J].建筑科技,2024,8(1):84-87.
- [2]何巍巍.大跨度钢结构施工技术及BIM应用研究[J].建筑与装饰,2024(13):118-120.
- [3]李朋.大跨度钢结构桥梁吊装施工技术研究[J].交通世界,2024(27):103-105.
- [4]叔涛,尚艳坤,马耀忠.大跨度钢结构安装关键技术研究[J].港口航道与近海工程,2024,61(S1):85-88.
- [5]邓斌.大跨度钢结构现场安装施工技术[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(2):85-86.