

大跨度 C 型料场屋面板弧形施工技术及精度控制 ——以宁波紫霞原料场绿色智能改造项目为例

梁小辉

上海舜宝彩钢结构有限公司, 上海 200941

DOI:10.61369/ERA.2026050028

摘 要 : 本文以宁波紫霞原料场绿色智能改造项目为工程实例, 针对大跨度 C 型全封闭料场弧形屋面板施工中空间定位精度要求高、曲面连续成型难度大、檩条变形易引发安装累积误差、长尺屋面板高空铺设质量控制困难等技术问题展开论述。工程中依靠 BIM 模型和现场测量相结合来建立三维定位基准, 用双控放样方式细化屋面板空间位置控制, 采用上承式可移动高空压板平台实现屋面板原位连续轧制和弧形成型, 结合 TPO 融合瓦弧形节点的防水密封构造, 保证屋面曲面平顺度、结构整体性、防水可靠性。工程应用结果表明, 该技术体系在大跨度、长尺度弧形屋面条件下可以达到较高的施工精度和成型质量, 对同类工业料场屋面工程有较好的参考价值。

关 键 词 : 大跨度 C 型料场; 屋面板; 弧形施工; 精度控制

Construction Technology and Precision Control for the Curved Roof Panels of Large-Span C-Type Material Yards —Taking the Green and Intelligent Renovation Project of Ningbo Zixia Material Yard as an Example

Liang Xiaohui

Shanghai Shunbao Color Steel Structure Co., Ltd., Shanghai 200941

Abstract : This paper takes the green and intelligent renovation project of Ningbo Zixia Material Yard as an engineering example to discuss technical issues encountered in the construction of curved roof panels for large-span, fully enclosed C-type material yards, such as high requirements for spatial positioning accuracy, difficulty in continuous forming of curved surfaces, the potential for installation cumulative errors due to purlin deformation, and challenges in quality control for high-altitude laying of long-span roof panels. The project relies on the combination of BIM models and on-site measurements to establish a three-dimensional positioning reference, refines the spatial positioning control of roof panels through dual-control lofting, utilizes a top-supported movable high-altitude pressing platform to achieve in-situ continuous rolling and arc forming of roof panels, and incorporates a waterproof sealing structure for TPO-integrated tile curved nodes to ensure the smoothness of the roof surface, structural integrity, and waterproof reliability. The results of engineering applications demonstrate that this technical system can achieve high construction precision and forming quality under conditions of large-span and long-scale curved roofs, providing valuable reference for similar industrial material yard roof projects.

Keywords : large-span C-type material yard; roof panels; curved construction; precision control

随着工业原料储运设施向全封闭、绿色化方向发展, 大跨度 C 型料场屋面结构由原来的平面形式逐渐转变为弧形金属屋面体系, 施工质量的好坏直接影响到结构安全、防水性能和使用耐久性。本文以宁波紫霞原料场绿色智能改造项目为背景, 对大跨度 C 型料场弧形屋面板施工中的关键技术及精度控制措施进行总结, 主要分析高空连续轧制、曲面放样控制、弧形节点施工等技术要点, 为类似工程提供技术参考。

一、弧形施工核心技术及难点

(一) 定位精度控制技术及曲面拟合误差难题

大跨度 C 型料场屋面板的弧形结构是复杂的三维空间形态, 每

个屋面板单元在空间中有自己特有的坐标位置和姿态参数。施工过程中, 三维空间定位精度直接决定屋面板安装后整体曲面平顺度和结构受力性能。传统二维测量手段不能满足空间曲面定位的要求, 施工人员需要利用三维激光扫描、BIM 技术建立数字化模型, 把设

计坐标转化为现场可操作的测量控制网。但是实际操作中存在坐标系转换误差、测量仪器精度限制、环境温度变化引起的结构变形等问题。檩条支撑体系在日照下热胀冷缩会造成预设定位点位移，影响屋面板安装基准。曲面拟合过程中，设计图纸的理想化曲面与实际施工中的离散控制点之间存在理论与实践的差距，如何通过有限控制点精准还原设计曲面，是施工技术的核心挑战。施工团队要不断校准测量设备，创建动态监测体系，及时修正定位误差，保证每个屋面板单元在三维空间里准确就位。

（二）弧形模板体系设计与曲面成型质量把控技术

屋面板弧形施工依靠檩条结构来提供支撑和安装基准，檩条结构的安装精度直接影响彩钢压型板铺设后的曲面质量。大跨度

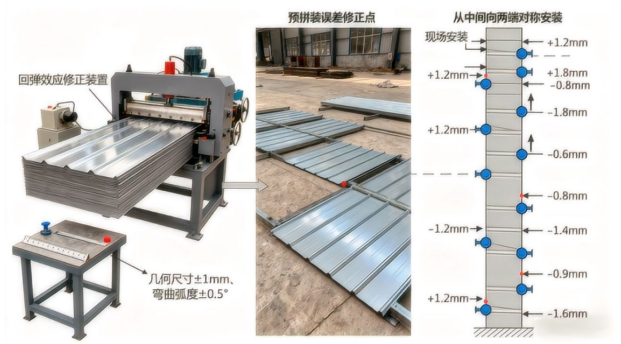
弧形模板体系选型对比表：

支撑类型	灵活性	承载能力	安装难度	成本	适用场景
轻型钢支撑	★★★★☆	★★☆☆☆	★★☆☆☆	低	小曲率、轻荷载曲面
重型钢支撑	★★☆☆☆	★★★★☆	★★★★☆	高	大曲率、重荷载曲面
组合钢支撑	★★★★☆	★★★☆☆	★★★★☆	中	变曲率、中等荷载曲面

（三）弧形板材加工与安装过程中的误差累积控制技术

钢结构上铺设彩钢屋面板施工时，弧形彩钢板加工精度、安装顺序都会对整体结构精度造成较大影响。彩钢板在工厂加工时，由于材料性能、加工设备精度、工艺参数等各方面因素的影响，在弯曲成型的过程中容易产生尺寸偏差、形状误差。彩钢板冷弯时会因为回弹效应造成实际曲率与设计值不符，加工设备模具磨损也会造成彩钢板边缘尺寸偏差。现场安装时各个彩钢板单元的连接顺序及固定方式都会造成误差累积，多跨连续弧形结构首块彩钢板的定位偏差会随着安装进度增大。施工人员要创建起严格的彩钢板加工质量检验体系，对每一块彩钢板的几何尺寸、弯曲弧度展开逐一检测，采取预拼装技术在地面模拟安装过程，提前找出并修正加工误差。安装时应按中间向两端或固定端向自由端对称进行，用测量仪器实时监测每块彩钢板位置偏差，调节与钢结构连接节点的螺栓或垫片，使误差累积在允许范围内，保证整个弧形彩钢屋面板系统精度符合设计要求。

弧形板材加工与误差控制示意图：



C 型料场的弧形屋面板曲率半径大、变截面明显，传统刚性支撑无法适应曲面变化，需要使用可调节式钢支撑或者定制钢檩条。钢构件选型、节点连接设计成为关键技术点，轻型钢构件灵活性好但承载能力小，重型钢构件刚度高但安装难度大，组合钢构件适应性强但成本高。施工时钢构件拼接偏差造成彩钢铺设出现错台、搭接缝隙等缺陷，从而影响曲面光滑度。钢结构支撑体系稳定性在大跨度结构中受到考验，弧形结构侧向力分布不均，容易造成钢构件位移或者变形。施工人员要根据曲面曲率变化来调整钢檩条排布方案，用数字化加工技术提高钢构件制作精度，用有限元分析软件验算支撑体系受力状态，保证钢结构在彩钢铺设过程中稳定，从而实现弧形屋面板高质量成型。

二、项目概况

本工程为宁波紫霞原料场绿色智能改造项目二期，建设地点在宁波钢铁有限公司厂内。施工范围为封闭工程二期料棚屋面及采光板制作安装，玻璃钢格栅板安装。主要工程实物量为，64000 m² 1.2mm 厚 TPO 防水卷材与屋面板融合、64000 m² 0.8mm 厚 YX25-210-840 型屋面板、3500 m² 0.8mm 厚 YX25-210-840 型纵墙墙面板、5000 m² 0.8mm 厚 YX35-125-750 型山墙墙面板、8500 m² 2.0mm 厚 YX25-210-840 型屋面采光带、600 m² 成品玻璃钢格栅板屋顶走道。建筑规模为全封闭 C 型料场，长度 583m、跨度 82m，位于筒仓和封闭混匀料场之间。施工特点和难点是建筑矢高比大，屋面板施工需采取特殊措施，工程量大、工期紧，需集中投入设备和人力，周密组织施工。

三、施工技术及精度控制技术

（一）高空移动轧制与弧形连续性控制技术

承式可移动高空压板平台是大跨度 C 型料场屋面板弧形施工的主要设备。该平台沿料棚外侧轨道行走，直接在高空精准铺设 YX25-210-840 型预制彩板，通过轧机推力和辊轮输送配合，把屋面板连续送到弧形屋面。轧制过程中需要特殊曲率时使用打弯、滚圆装置辅助成型。精度控制中立制依靠多种手段。屋面檩条上设置基准线和中间控制线，基准线垂直于檩条，每 8.4 米（10 块板宽）设一条中间控制线，保证屋面板沿弧形方向的位置偏差在允许范围内。辊轮每隔 6-8 米布置，减少板与檩条的摩擦损

伤,板头起翘处理防止接触变形。当场地受限时轧制长度达到124米的时候,卷扬机辅助延伸向回拉,保证弧形曲线的连续过渡。

高空移动轧制技术示意图:



(二) TPO 融合瓦连接节点密封与弧形适配技术

TPO 融合瓦是由0.8mm 彩钢板和1.2mmTPO 防水卷材复合而成的,弧形施工要兼顾材料特性以及连接精度。物理防腐特性依靠 TPO 卷材的保护膜作用,焊接防渗依靠热风焊接来实现,保证弧形屋面的密封性能。安装时自攻螺丝的布置影响弧形精度。横向沿檩条每波峰设一个,间距210mm;纵向沿弧形方向每道檩条设一道,每平米约7个,山墙端部等抗风薄弱区加密。螺丝配大密封垫圈,保证弧形变形时的密封性。工厂预制彩板搭接处先铺密封条再固定,防止弧形错位造成缝隙。低温时 TPO 材料低温柔韧性能适应弧形屋面温度变形,减少接缝开裂。

(三) 高架平台稳定性与测量控制体系

高架平台架设精度决定弧形施工基准。平台轨道每节12.5米,铺设时轨面找平误差 $\leq 1\%$,轨道梁下垫木间距2米且垫实,中间设角钢撑杆保证间距一致。塔身为10m 高井架结构,四角用 $\phi 16$ 钢丝绳固定,风季稳定性用有限元分析验算。测量控制体系贯穿施工全过程。屋面板安装前,在檩条上用经纬仪测设基准线,作为垂直于檩条的定位基准;每隔8.4米拉设中间控制线,细分单块板位置。施工人员用钢筋软爬梯上下,安全带系在通长安全绳上,保证在弧形屋面移动时测量操作的安全。平台移动和屋面板安装同步进行,每一段校验弧形曲线与设计偏差,用微调轧机参数来修正。

四、项目施工难点及解决措施

(一) 高空弧形屋面檩条偏差下的屋面板安装精度控制难点及解决措施

本次项目施工难点在于大跨度弧形屋面(长度583m、跨距82m)的屋面板安装依靠檩条作为基准载体,现场檩条安装后容易因为跨度大、受力变形而出现立面平整度偏差,如果直接铺设工厂预制的 YX25-210-840 型彩板(单块长度124m),就会造成板体与檩条贴合不紧密,出现局部起翘或者缝隙,影响弧形曲面的连续性以及结构密封性。屋面板沿弧形轨迹铺设时,传统人工放线很难准确地将每块板的空间位置放正,容易产生累积

偏差。

解决措施为先对屋面檩条进行立面平整度复核,用水准仪逐点检测檩条顶面标高,偏差大于3mm 的部位用薄钢板垫片调平,保证檩条表面平顺。放线阶段,以屋面板起始端檩条为基准,用经纬仪测设垂直于檩条的基准控制线,再按8.4m(10块板宽)间距拉设中间控制线,每道控制线对应标注板体搭接位置,细分单块板安装偏差范围($\leq 2\text{mm}$)。屋面板铺设时采用人工配合辊轮输送,沿控制线逐段校准板体位置,保证板肋与檩条准确对齐;固定阶段用带密封垫圈的碳钢自攻螺丝沿檩条方向每波峰设1个固定点(每平米约7个),山墙端部等受力集中处增加1道,保证板体与檩条紧密贴合。施工部署上按照屋面弧形分段推进,每完成20m 跨度后进行曲面平顺度检测,用2m 靠尺检查板面缝隙,及时修正偏差,防止误差累积,保证整体弧形曲面精度。

(二) TPO 融合瓦的弧形适配与密封性能保障难点及解决措施

项目施工难点在于 TPO 融合瓦(0.8mm 彩钢板+1.2mmTPO 卷材)要适应弧形曲面,热压融合板材在弧形安装时容易因为应力集中造成卷材与基板剥离,而且材料热胀冷缩容易破坏接缝密封完整性。

解决措施就是对弧形特性进行优化,用两端固定中间逐点贴合的工艺方法,先将瓦材两端固定在檩条上,然后沿弧形曲面逐渐压实,减小变形应力。自攻螺丝采用带大密封垫圈的碳钢材质,横向间距210mm 沿波峰布置,纵向每道檩条设一道,抗风薄弱处加密,保证弧形变形时仍能紧密贴合。TPO 融合瓦生产流经过基板表面处理、高温热压覆膜、精确冷却定型等工序,保证金属基板与卷材粘结强度,剥离强度 $\geq 2.5\text{N/mm}$,符合 T/CBMCA017-2021 标准。精度控制要求基板与卷材贴合无气泡,接缝错位误差 $\leq 1\text{mm}$,材料耐盐雾性能达到6000h 无锈蚀,耐候性经12000h 氙灯老化测试后剥离强度仍 $\geq 2.0\text{N/mm}$ 。安装前检查彩板涂层耐高温性($\geq 240^\circ\text{C}$),防止加工时爆漆影响粘结力,光板面保护膜要保留到安装前。采光带和 TPO 瓦搭接处用200-300mm 的重叠长度,设置密封胶层,保证弧形过渡处防水连续性。

(三) 高空弧形面连续铺装与长尺板料运输精度控制难点及解决措施

本项目屋面板单块长度为124m,高空弧形面连续铺装容易出现板料偏移、褶皱,长尺板料运输过程中受风力、坡度影响容易产生形变,影响安装精度和效率。

解决办法为上承式可移动高空压板平台,沿料棚外侧铺设轨道,轧机现场高空轧制屋面板并直接输送至屋面,减少板料二次搬运形变。板下每隔6-8m 设辊道辅助输送,端部设卷扬机牵引定位,防止板料与檩条摩擦损伤。精度控制上,屋面檩条上按8.4m 间距设置安装控制线,用经纬仪校准基准线垂直度,保证板料铺装偏差 $\leq 2\text{mm}$ 。工人用钢筋软爬梯上下作业,五点式安全带和双安全绳($\phi 18$ 麻绳)双重防护,作业面和运输通道分区隔离。施工高峰期投入2套屋面板成型机、2个屋面板作业队,同时进行双向铺装,对讲机实时协调压机操作、屋面定位、地面牵引,保

证弧形面连续铺装精度，结构交接后20个工作日内完成全部安装任务。

五、应用效果及经验

（一）应用效果

本项目使用上承式可移动高空压板平台技术，完成了大跨度C型料场屋面板的高空连续轧制和安装，64000㎡屋面及墙面施工效率比传统吊装工艺提高40%，提前5天完成结构交接。TPO融合瓦系统具有物理防腐和焊接防渗的双重优势，剥离强度达到5.09N/mm，耐盐雾性能为6000h无锈蚀，可以满足25年以上不渗漏的设计要求。

弧形施工精度控制效果明显，屋面板波距偏差 $\leq \pm 2.0\text{mm}$ ，侧向弯曲10m测量长度内 $\leq 20\text{mm}$ ，符合GB/T12755-2008标准。安全防护体系保证了45人高峰期作业没有事故，双安全绳加软爬梯组合提高了高空移动效率30%。采光带和玻璃钢格栅板安装同步进行，工程质量合格率100%，满足环保全封闭要求。

（二）经验

宁波紫霞原料场工程实践表明，大跨度C型料场弧形屋面板施工时，高空原位连续轧制技术可以避免长尺板材地面加工、二

次搬运造成的形变，是保证弧形成型质量的主要方法。以檩条为基准建立放样体系，按固定间距设置校核点，可以将整体曲面精度分解到单块屋面板上，有效控制安装误差的累积。檩条立面平顺度影响屋面板贴合质量，在弧形屋面施工前对檩条标高、线形进行复核、修正是保证成型精度的前提。TPO融合瓦施工时，保证彩钢基板耐高温性能，采用适应弧形变形的固定方式，有利于提高复合屋面的粘结可靠性及防水耐久性，在类似大跨度弧形屋面工程中具有较好的适用性。

六、结语

大跨度C型料场弧形屋面板施工属于空间定位精度、曲面成型质量、材料性能适配性要求较高的综合性技术工作，宁波紫霞原料场绿色智能改造项目证明，高空原位连续轧制工艺、双控制线精度放样方法、TPO融合瓦弧形节点构造的协同使用，可以解决大跨度弧形屋面施工中精度控制和防水可靠性问题。相关技术成果给工业料场弧形屋面板施工提供可参考的技术途径，以后可以利用数字化测量和智能成型设备对弧形屋面施工进行精细化、标准化的提高。

参考文献

- [1] 钱艺博, 张宏伟, 李海滨. 大跨度轻钢骨架屋面板(KST板)安装工程关键技术[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(12): 12-14.
- [2] 阳建, 庞慧英, 肖星星, 等. 大跨度弧形金属屋面施工技术研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(08): 33-35.
- [3] 方钟垒, 熊斌, 丁建. 基于标准化组合拼装式钢模具的弧形屋面板施工技术研究[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(05): 40-42.
- [4] 郭健, 郭利伟, 肖星星, 等. 弧形高低跨坡屋面施工要点研究[J]. 工程建设与设计, 2023, (14): 173-175.
- [5] 赵相胜, 高小明, 周博, 等. 提高大跨度钢结构屋面板施工质量的措施[J]. 住宅与房地产, 2020, (30): 186-187.
- [6] 陈鹏, 田启, 殷士权, 等. 大跨度弧形金属屋面板施工技术[J]. 城市住宅, 2020, 27(10): 238-240.