

双曲面不锈钢屋面一体化安装技术研究

刘智存

上海建工集团股份有限公司 上海 200080

【摘要】：随着主题乐园建筑造型日益复杂化，双曲面不锈钢屋面因兼具艺术表现力与功能性而广泛应用，但其异形结构施工难度大、传统分段安装易导致渗漏。本研究旨在开发一种双曲面不锈钢屋面一体化安装技术，解决不锈钢构件加工与安装不到位影响外立面呈现效果的问题。通过 BIM 三维建模精准拟合曲面形态，结合三维扫描定位技术优化板件分割；创新采用工厂预制集成的方式，将不锈钢板、防水、保温、机电管线等隐藏与屋面内部的构件进行整合，于工厂完成安装及验收，运输至现场后整体安装。该技术实现了复杂曲面屋面的高精度、高效率、高可靠性一体化施工，为主题乐园类建筑提供重要技术支撑。

【关键词】：双曲面；金属屋面；一体化安装技术；主题乐园；BIM；三维扫描

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.043

0 引言

主题乐园建筑因其独特的艺术造型需求，双曲面不锈钢屋面逐渐成为实现流线形态与功能融合的关键技术载体。然而，异形金属屋面的复杂曲面特性导致传统施工模式面临多重挑战：施工精度不足易造成外观接缝错位，分层式安装工艺引发防水与结构稳定性隐患，多专业交叉施工效率低下。为此，本研究提出双曲面^[6]不锈钢屋面一体化安装技术体系^[1]，通过 BIM 三维建模与三维扫描技术^[2-5]实现曲面形态精准解析，创新采用工厂预制集成模块化方案，将饰面、保温、防水及管线系统在加工阶段整合为标准化单元^[3]。经预安装验证后，模块化单元整体运输至现场进行装配化施工，有效规避传统工艺中的工序冲突与质量波动。工程实践表明，该技术显著提升曲面屋面的整体性与施工可控性，为主题乐园类建筑实现艺术表现与工程质量的协同优化提供技术路径。

1 工程概况

某大型主题乐园的扩建项目，总建筑面积约为 11518.11 平方米，其中游乐设施单体的建筑面积为 10080.72 平方米，建筑高度为 14.1 米。其室外巴士站为独立单体，屋面上下均为 1.5mm 双曲面不锈钢，材质为 316L；内部结构为根据其造型制作的造型钢结构，普遍为弯弧方钢管，材质为 Q355B；整个屋盖外轮廓尺寸为 7147*3254*1274mm。

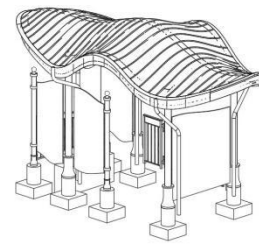


图 1 巴士站屋面及结构轴测图

2 施工技术难点

2.1 造型复杂

为实现将电影中的复杂场景具象化的目标，该屋面造型极为复杂，且均为双曲面，较大的面积及曲率转换较多使其无法通过一体化压铸加工实现；

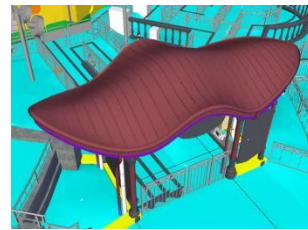


图 2 巴士站 BIM 模型

2.2 内部构造完备，现场操作难度大

该屋面虽然尺寸只有 7147*3254*1274mm，但是内部构造完备，防水层、保温层、机电管线、主题灯光、主题颜色均有配备；同时考虑到上下表面不锈钢施工完成后，还需要在其上方施工不规则的不锈钢半圆，现场通过搭设脚手架和人工焊接去实现的难度极大。

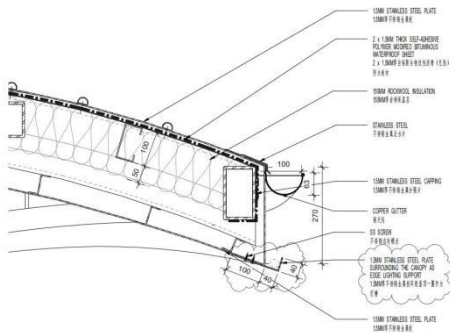


图3 巴士站构造细部节点

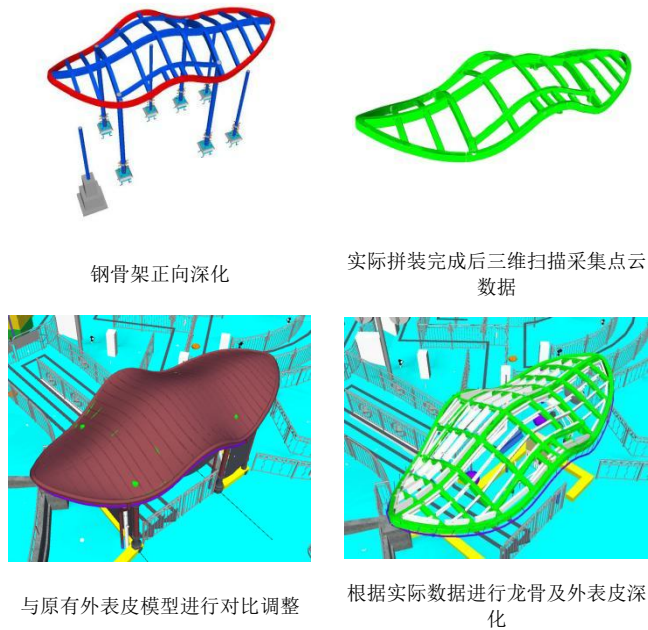
2.3 允许加工及安装误差极小，且均为非常规构件

屋面内部的钢结构，外部的不锈钢板，不锈钢半圆装饰条，极小的加工和安装误差，都有可能后续施工的失败。

3 解决方案

3.1 三维扫描结合 BIM 模型优化

为解决钢结构骨架及不锈钢曲面的加工及安装误差对后续工序的影响，本项目采用了：（1）正向模型深化出图→（2）钢结构加工厂整体焊接出厂→（3）三维扫描采集实际钢结构骨架点云数据→（4）录入三维扫描数据并对理论外表皮及龙骨模型进行调整→（5）通过 SolidWorks 软件将调整过的外表皮及龙骨模型进行分块深化→（6）通过 SolidWorks 模型导入不锈钢加工机器→（7）不锈钢曲面分块加工。



3.2 工厂预制集成拼装，现场整体吊装

为解决该屋面内部复杂构件及施工工序现场操作复杂的问题，本项目采用了工厂预制集成拼装，现场整体吊装的方式，

即将完整的钢骨架、保温层、防水层、机电管线、部分主题灯具、不锈钢外表面、不锈钢装饰条于加工厂拼装完成，整体运输至施工现场，并通过吊车吊运至指定对接位置，只需将四根钢柱对接焊接完成，即可完成原来现场极为复杂的工序。



图5 加工厂整体拼装过程照片



图6 现场整体吊装照片

3.3 不锈钢双曲面化零为整

为解决不锈钢双曲面屋面因为面积较大及曲率转换使较多无法一次加工成型的问题，综合考虑不锈钢板的厚度、加工机械尺寸等问题，本项目采用将不锈钢外立面通过三维扫描得到实际钢构数据后，使用 Solidworks 将整个双曲面屋面外立面（含吊顶）分割为 128 块 600mm*600mm 不同曲率的不锈钢小分块，再通过连续焊接及打磨^[4]，实现对电影场景的完美复刻。

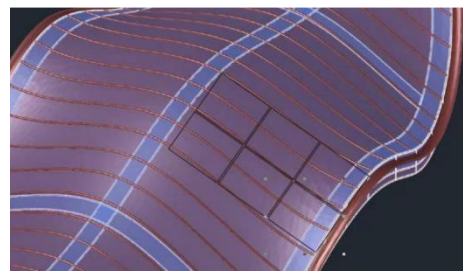


图7 不锈钢板块分块模拟图

4 结语

本研究针对主题乐园双曲面不锈钢屋面施工中的复杂造型、多专业交叉及精度控制难题，提出了一套基于 BIM 与三维扫描的一体化安装技术体系。通过实践验证，该技术实现了

以下核心成果:

研究表明, BIM 三维建模与三维扫描的精准拟合可有效解决异形曲面加工与安装误差问题, 而工厂预制集成模块化方案(整合饰面、防水、保温及管线系统)显著提升了施工效率与质量。该技术原理适用于所有复杂曲面金属屋面工程, 尤其对艺术造型要求高的主题乐园建筑具有普适性。

与传统分段安装相比, 本研究通过“工厂预装+现场整体

吊装”模式避免了多专业交叉冲突, 理论与实用价值:

理论上, 该技术为异形建筑提供了“设计-加工-安装”全流程数字化解决方案; 实用上, 其将施工周期缩短, 且杜绝了传统工艺的渗漏隐患, 为类似工程提供了可复用的技术路径。

建议: 未来可探索机器人自动化焊接技术以提升曲面拼接效率, 并建立模块化运输的动态变形数据库, 进一步推动该技术在超大型曲面建筑中的应用。

参考文献:

- [1] 朱言灯,宋鉴,费舒琦.钢结构屋面一体化设计施工技术在高铁路站房工程中的研究与应用[J].建筑施工,2025,47(04):544-547.
- [2] 王晓哲,王元清,曾卓,等.基于激光跟踪仪的曲面不锈钢建筑定位精度测量方法[J].钢结构(中英文),2025,40(09):57-63.
- [3] 李振海.建筑保温与结构一体化体系施工工艺研究[J].中国建筑装饰装修,2024,(19):177-179.
- [4] 韩庆,汤亮,张乐乐,等.某机场航站楼双曲面连续焊接不锈钢金属屋面施工技术[J].建筑技术,2024,55(04):404-407.
- [5] 刘永军,高荣玺,李天民,等.曲面金属屋面整体测量放线技术研究[J].砖瓦,2025,(02):159-161.
- [6] 姜树仁,董学朋,王常霖,等.沿海地区高铁站房双曲面幕墙及金属屋面施工技术研究[J].建设科技,2020,(05):36-43.