

# 钢网架双曲龙骨叠合施工技术研究

文 / 黄志鹏 广州协安建设工程有限公司

**摘要：**广药白云山生物医药与健康研发销售总部项目作为海珠区生物岛的地标性建筑，通过建筑幕墙的双曲线条及楼面的钢网架结构组合以体现“鱼跃龙门”的设计理念。本文提出的钢网架双曲龙骨叠合施工技术通过犀牛软件三维建模优化制作工艺，对弯曲程度不同的构件进行分类，同时对构件制作后的回弯变形进行规律总结，用预留件值抵消误差，通过增加间断点和改进节点连接方式，利用带长圆孔的套管或扁钢半固定进行误差消除，确保幕墙龙骨的安装精度，为同类型建筑工程异型双曲面龙骨的施工提供一定的参考。

**关键词：**双曲面；钢网架龙骨；异形幕墙

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.025

## 引言

自1851年英国伦敦未工业博览会所建造的“水晶宫”起，经过一个多世纪的演变发展，不断涌现的新工艺、新技术、新材料、新设备，使建筑获得了飞跃的发展，建筑幕墙迎来了高速发展的阶段<sup>[1]</sup>。建筑幕墙作为现代化建筑的特征，世界各地的大型建筑都已经广泛的利用<sup>[2]</sup>。玻璃幕墙作为其现代美学与功能性的重要体现，已从简单的围护结构演变为集复杂造型、高性能、节能环保与智能感知于一体的综合性系统<sup>[3]</sup>。现在的高层建筑不再是千篇一律的玻璃幕墙，而是通过多种材料搭配，点、线、面的结合形成外形结构各异的组合幕墙，造型新颖多变，给人以赏心悦目的建筑艺术效果，使现代化的城市面貌更增添了无穷魅力<sup>[4]</sup>。

弧形玻璃幕墙是现代建筑的关键元素，施工技术直接影响建筑美观与安全<sup>[5]</sup>。建筑信息模型（BIM）技术通过构建包含几何与非几何信息的参数化数字模型，实现了玻璃幕墙的可视化设计、协同化深化与精细化管控<sup>[6,7]</sup>。采用基于三维控制网的构件空间定位，能够有效提升构件准确性和可靠性，提高双曲面造型幕墙的安装精度<sup>[8,9,10]</sup>。

广药白云山生物医药与健康研发销售总部项目由3栋塔楼和附属裙楼组成，塔楼每层均为圆弧型结构，半径随着楼层的增加先增大后减小形成凸肚型结构（每层进缩50-400mm），最后由外玻璃幕墙汇聚成尖顶，尖顶的屋面体系由钢网架、玻璃幕墙及铝板线条等组成，其受力骨架包括钢网架、曲面玻璃幕墙龙骨及铝板线条龙骨，三者叠合构成复合受力体系。

钢网架位于屋面结构楼板上，其基座在屋面结构边梁的反梁上面，外立面近似半圆，底部直径31.6~35.6m，中心点高度13.06~14.95m；曲面玻璃幕墙龙骨与铝板线条龙骨由下至上并在顶部交圈，构件双曲面拼接，沿钢网架立柱形成的半球表面“波形”起伏。如龙骨的偏差大会严重影响到幕墙整体的外观形象，甚至可能因为龙骨挠度偏差导致幕墙体系无法进行安装。



图1 广药项目幕墙造型

## 一、传统双曲龙骨施工技术桎梏

### （一）构件挠度控制困难，制作难度大

构成叠合受力体系的三部分骨架，其中曲面玻璃幕墙龙骨与铝板线条龙骨由下至上并在顶部交圈，构件双曲面拼接，屋面位置“波形”起伏与钢网架骨架固定，部分弯折方向相反；屋面钢网架均由9圈环梁及36根立杆组成，对称网架立杆呈拱形，具有一定挠度；无论是曲面玻璃幕墙龙骨还是钢网架龙骨，均需分段预制；另一方面，由于混凝土结构不可避免出现施工误差，而且双曲面构件对制作以及安装精度要求极高。若不能精准控制预制构件尺寸规格等参数，极易造成后续骨架安装困难，如何测量现场实际数值并将原材预制，使得曲面构件满足挠度及误差要求，这是施工的难点也是施工的重点。

### （二）施工误差难以控制

考虑到主体结构的施工误差、分段预制构件的现场焊接变形引起的误差，如何在现有情况下使构件准确的安装在预定位置，并且偏差值在允许范围内，这需要在构件安装施工中采取必要的调整措施，这同样是本工程的施工重点。

### （三）安装定位需数据支撑

楼面结构为钢结构及幕墙体系，幕墙龙骨没有预埋件能够进行定位的悬臂结构，幕墙玻璃和铝板的制作与

安装均需要严格的数据支撑，较难进行空间定位。如何确定安装位置，保证构件的准确安装，也是施工控制的重点。

二、课题研究目的及意义

研究一种创新的钢网架双曲龙骨叠合施工技术，优化制作工艺，对单向拉弯和双向拉弯的不同构件进行分门别类，采用内弧长和内弧高的数据控制，同时对构件制作后的回弯变形进行规律总结，通过预留值抵消误差，以及制作样板作为胎架，对同规格构件进行指导制作，以理论数据指导和实践数据总结的双重点对构造进行控制。对于安装阶段误差的消除，根据先难后易、先大后小的原则，通过增加间断点和改进节点连接方式，对弯折点突变的位置以及变形较大的位置进行分段，预留间隙，利用带长圆孔的套管或扁钢半固定进行误差消除，确保安装一次合格。

根据特定的施工工艺及控制标准施工，优化幕墙龙骨安装的误差，减少幕墙变形的可能。对比起常规的异型幕墙施工需要多次进行校正调整的缺点，充分发挥幕墙定位定点准确，节省工期，并减少异型安装人工投入及材料损耗，减少施工时间，为后续类似工程提供参考。

三、主要创新点及工艺流程

(一) 关键技术及主要创新点

1. 拉弯钢构件挠度控制施工技术

使用犀牛软件进行建模，控制构件内弧长及内弧高，并预留一定量的钢材回弹值现场进行各拉弯构件进行拉弯加工，并在加工区进行空间放样制作辅助胎架进行构

件焊接固定，确保构件各技术参数准确。有效节约工期，保证构件质量与进度，降低了施工成本。

2. 大体积钢网架分段吊装施工技术

使用大体积钢网架分段吊装施工技术，通过先难后易的方式进行安装，先进行“天地圆环”校准安装，再进行四周立杆的校准并焊接，以得到一个固定的钢框架。最后完成其余立杆及横梁的安装，以确保安装的准确，减少或避免返工，保证质量。

3. 双层钢结构安装施工技术

使用钢网壳作为双曲面玻璃幕墙龙骨的受力基座，先放线固定安装竖向龙骨，在安装横撑龙骨，最后在上面的基础上安装铝板线条的曲面龙骨基座，并在反弯点采用增加分段及套筒连接等措施，降低挠度值以降低龙骨的加工难度，减少安装难度，提高龙骨安装质量。

4. 整体误差控制及双曲面幕墙铝板安装技术

使用整体误差控制及双曲面幕墙铝板安装技术，通过现场使用空间激光扫描仪对现场实际空间参数进行扫描，确认前面步骤所制作安装的构件的误差，并进行现场实际情况的BIM建模，通过对双曲面铝板建模用以抵消此前的误差，并通过建模制作深化设计图，以确保铝板安装的准确及观感质量。减少最终的观感误差，保证质量与进度。

(二) 主要工艺流程

1. 拉弯钢构件挠度控制

(1) 对不同构件进行分类，内弧长和内弧高进行数据控制；

表1 拉弯构件汇总表

项目	曲面方向	单构件	组合构件
1	单向拉弯	钢网壳立柱、环梁玻璃幕墙竖龙骨	铝板龙骨的角钢、方通
2	双向拉弯	玻璃幕墙竖龙骨横梁	铝板龙骨的角钢、方通

(2) 利用犀牛软件进行建模，得出不同弯曲构件的理论数据，结合现场情况，采用内弧长及内弧高进行数据控制，深化加工图。

(3) 进行图纸深化，现场使用的方通及角钢并根据深化图纸减少3~5mm进行下料，断点处利用套管或扁钢螺栓进行连接，降低施工难度。钢网架使用的无缝钢管由工厂进行预制现场进行焊接。

(4) 考虑对钢网架的无缝钢管之间对接时构件端头坡口的契合度及角度进行确认再决定使用哪种焊接加工。

(5) 现场进行拉弯的曲面玻璃幕墙龙骨及铝板桁架龙骨根据材料特性进行双向拉弯，并预留3~5mm的回弯调整值。

(6) 现场根据尺寸及三维坐标在平台上进行一比一放样，制作用于组装焊接检验的胎架。

(7) 使用胎架对构件进行安装焊接，并对其几何尺寸控制检查。

2. 大体积钢网架分段吊装

钢网架吊装遵循先大后小、先难后易的原则进行

吊装。

(1) 在外围结构反梁进行预埋并安装环梁基座。

(2) 屋面搭设阶梯型满堂支撑胎架用于顶部环梁的定位及后续立柱的安装。

(3) 对顶部及底部环梁进行准确定位：分段吊装底部环梁并进行组合焊接，整体吊装顶部环梁。

(4) 立杆采用两种不同规格的无缝钢管，在地面使用大小头连接件进行调整焊接再进行整体吊装，使用步骤(3)中的底部环梁及顶部环梁作为定位标准进行焊接，先焊接四面立杆进行点焊固定，再安装其余的立杆，进行微调定位后满焊固定。

(5) 在立杆进行放线定位，分段对钢网架的横杆进行吊装焊接。

3. 双层钢结构安装施工

(1) 在钢网架结构上放竖向龙骨控制线，并在预定点位焊接支座利用塔吊将竖龙骨起吊至安装位，用螺栓固定牢固。

(2) 在竖向龙骨上测量划定控制点位，塔吊起吊横撑龙骨至预定点位，焊接固定。

(3) 在竖向龙骨上测量划定控制点位，塔吊起吊线条龙骨基座至预定点位，并焊接固定。

(4) 铝板线条龙骨以其基座为受力点，通过焊接固定。对于其反弯点，通过增加分段、套筒连接等措施，降低挠度值。

#### 4. 双曲面幕墙铝板安装

(1) 现场采用瑞士徕卡 RTC360 激光扫描仪对整体进行三维扫描获得构件空间位置。

(2) 根据现场空间数据进行龙骨 BIM 建模。

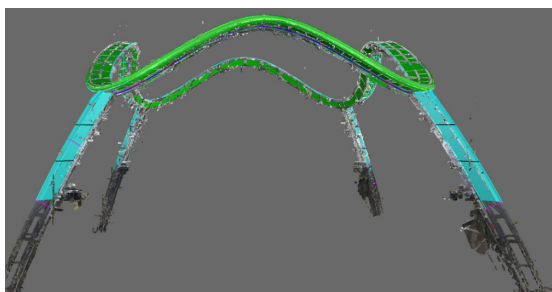


图 2 现场龙骨 BIM 建模

(3) 根据 BIM 建模数据，进行深化设计，绘制幕墙铝板加工图。

(4) 根据深化加工图进行铝板制作并安装。



图 3 幕墙铝板现场安装

### 四、经济、社会效益

#### (一) 经济效益

该技术成果的应用，相对传统的施工方法，现场施工采用部分大型型材工厂加工现场焊接及现场拉弯现场焊接相结合的方式，并根据定位放样制作胎架以确保钢构件挠度准确，有效节约了材料的资金投入及后期因调整构件挠度的人工投入。安装方法采用分段吊装及分段安装的方法，施工质量可靠，节约后期返工修补费用。经测算，该技术应用中屋面叠合龙骨的安装工期比预计工期减少 15%，单个半球形网架节约成本 35000 元，每 5 米铝板幕墙龙骨节约费用 80 元，单栋塔楼铝板龙骨约 750 米，共计 12000 元。现场共三栋塔楼，共节约资金 47000\*3=141000 元。使施工效率得到提高的同时降低施工成本，经济效益显著。

#### (二) 社会效益

经过在工程项目中的实践应用证明，钢网架双曲龙骨

叠合施工技术在施工过程中取得了比较成功的经验。从现场实际来看，采用部分大型型材工厂加工现场焊接及现场拉弯现场焊接结合的方法能形状偏差，现场能够有效减少钢构件材料的挠度偏差；制作胎架进行钢构件加工能够尽量避免龙骨构件分段先定点调整再焊接紧实能够避免安装误差及整体吊装因重力造成的构件变形。解决了全工厂加工或全现场加工产生的各种弊端，如现场安装工作量大、工期长、质量难以控制等。减少后期的返工，增加了材料的利用率，做到了既经济又环保。根据实际工程的应用效果，该技术的应用保证了安装精度和牢固度、降低施工成本和提高施工效率，得到建设单位和监理单位的一致好评。为我司今后其他项目在异型幕墙结构施工中作为参考。

#### 结语

钢网架双曲龙骨叠合施工技术适用于玻璃-铝板复合幕墙龙骨、高空大体积钢结构工程的施工，对外形轮廓非常规的异型钢结构工程能确保实现大型异型钢结构、异型幕墙及其组合结构的高效准确安装，保证施工质量，提高施工速度。同时也能提高施工过程的安全水平，具有较好的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 高利军. 建筑幕墙施工质量控制要点及信息化管理系统构建 [C]// 江西省工程师联合会. 2024 年智能工程与经济建设学术会议论文集 (智能工程与绿色建筑专题). 杭州拱墅建筑装饰, 浙江南方建设工程有限公司; , 2024: 29-32.
- [2] 柯波. 建筑玻璃幕墙施工关键技术的应用实例探究 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, (16): 100-102.
- [3] 王建国, 李青. 超高层建筑幕墙技术发展趋势与研究挑战 [J]. 建筑结构学报, 2022, 43(01): 1-10.
- [4] 严伯元. 高层住宅建筑工程中隐框玻璃幕墙施工技术研究 [J]. 建设机械技术与管理, 2025, (04): 104-106.
- [5] 柯晓菲, 张顺, 龙一方, 等. 浅析建筑弧形玻璃幕墙施工中的关键技术 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (01): 180-182.
- [6] 刘占省, 赵雪峰. BIM 技术在我国建筑领域的应用研究现状与发展趋势 [J]. 图学学报, 2020, 41(01): 1-10.
- [7] 谯久红, 梁成业, 李港, 等. BIM 技术在异形幕墙多维度测量中的应用研究 [J]. 建筑技术, 2024, 55(13): 1586-1588.
- [8] 赵大勇. 莫比乌斯环双曲面异形铝板幕墙施工技术 [J]. 施工技术 (中英文), 2024, 53(18): 93-97.
- [9] 柯晓菲, 张顺, 龙一方, 等. 浅析建筑弧形玻璃幕墙施工中的关键技术 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025, (01): 180-182.
- [10] 连赛赛, 刘小兰, 王剑, 等. 既有建筑隐框玻璃幕墙检测与评价技术发展现状 [J]. 工业建筑, 2025, (07): 79-86.

作者简介: 黄志鹏, 1987 年 04 月, 男, 汉族, 江西九江, 本科, 高级工程师, 研究方向: 建筑施工。