

高山流水式幕墙及复合造型雨棚建造施工技术

王化成 张振恒 杜致尧 孟祥伟 张洪友
中建八局第二建设有限公司 山东 济南 250014

摘要：高山流水式幕墙及复合造型雨棚是现代建筑领域的一项重要创新，它们不仅具有艺术性的外观，还能有效改善建筑性能。采用先进的建筑设计软件，实现高山流水式幕墙的形状和结构优化。采用层叠流动型的设计，体现美观与实用相结合的设计理念。雨棚采用复合材料，结合建筑的实际需要进行设计，确保轻量化和耐候性。使用先进的材料分析工具优化材料的种类及数量，满足所需承受荷载的同时，提高雨棚的结构性能。通过对玻璃幕墙、钢结构龙骨、铝板焊接等材料的高效吊装、精准拼接、精确焊接，辅助各道工序合理进行，最终实现建筑性能和美学价值的结合。

关键词：高山流水式幕墙；复合造型雨棚；施工技术；建筑创新；结构设计；BIM应用

引言

随着科技的进步，时代的发展，人们对建筑造型的个性化、时尚度要求日益提高。对幕墙造型的审美要求与时俱进。而高山流水式幕墙的提出，源于对建筑美学的新思考。通过将建筑外墙设计成层叠流动的形式，仿佛高山上的溪流，不仅使建筑在城市中独具特色，更能与周围环境融为一体。另外复合造型雨棚的涌现，源于对雨棚在建筑中角色的重新思考。通过采用轻量化和耐候性强的复合材料，设计师可以为雨棚赋予更多的造型自由度，实现独特的外观设计。这不仅使雨棚在实际功能上更加出色，同时也提升了建筑整体的美学水平。

我公司针对济南奥体东16号地块开发项目涉及的幕墙构造特点，通过专家研讨、团队创新，总结形成了“高山流水式幕墙及复合造型雨棚施工技术”。

1 工程概况

奥体东16号地块开发项目济南市历下区，本地块为超高层幕墙工程，塔楼主要系统为特殊造型的单元式板块玻璃幕墙，雨棚采用复合式的雨棚。裙楼外立面包含石材幕墙、铝板幕墙、全玻璃幕墙及框架幕墙；裙楼屋面为格栅幕墙。

济南奥体东16号地块开发项目作为济南市地标性建筑，承担着“提升高新、领跑济南”的希冀与使命，交付完成后将成为毗邻济南奥体中心的生态金融城。

2 工程主要特难点及解决途径

2.1 作业面紧凑，工序安排难度大

红线范围较小，周边毗邻既有建筑，材料场地较小，单元体板块室外储存难度较大。最后优化方案，将

组装单元体板块事宜全部在幕墙加工厂车间中进行，组装完成后在运输到现场，现场仅需进行吊装作业。根据实际合理安排板块的加工速度，通过按照实际板块消耗需求调整生产计划，将储存单元体板块的作业面降到最低的同时实现板块安装的效率最大化。



图1 济南奥体东16号地块开发项目效果图

2.2 幕墙材料种类繁多，工程量大，下料困难

在施工图纸中，单元体板块幕墙的总面积为8.4万平方米，板块数量超过11300块，而披肩区域型材每四层需重新开模一次，每个单体型材的开模数量达到72个。在施工过程中，材料的调配和精准定位难度较大，下料也面临一定的困难。为了应对这些挑战，我们采用了BIM可视化技术和建造大模型，对单元体幕墙进行深化设计。这一方法成功解决了几百种不同形状、尺寸和种类的材料优化以及精准下料的难题。

2.3 钢龙骨尺寸大，定位、吊装、焊接困难

由于雨棚结构的复杂造型和主龙骨的大尺寸，定位难度较大。其中，钢龙骨的最长长度可达3米，实现精准定位、快速吊装和高效焊接成为该工程的难点。雨棚结构不仅造型复杂，而且具有悬挑长度长、跨度大的特点，这给施工中的分段分节、高空精确安装和高空焊接带来了较大的挑战。在考虑现有工况、针对安装中的重

作者简介：王化成（1977年—），男，山东济南人，本科，高级工程师，研究方向：建筑幕墙与装饰装修。

难点以及结合悬挑大跨度结构的经验基础上，我们设计了一种适应于复杂结构的施工方法。通过软件控制合理的分段分节，模拟施工过程等理论分析，成功解决了精准定位、快速吊装和高效焊接等施工过程中重难点问题。通过这种方法一方面确保了雨棚结构的安装效率和安全性，另一方面在焊接和落架完成后保持了整体结构的精度控制。成功解决了大尺寸异形钢结构龙骨在空中吊装和拼接中的难题。

3 施工工艺流程

在本项目中，我们首先根据实际现场数据利用软件

数值分析进行了幕墙的优化设计，以在满足结构受力要求的前提下降低材料种类和数量。随后我们使用放线机器对钢龙骨、玻璃幕墙、采光顶幕墙、石材幕墙以及穿孔铝板幕墙进行了准确的放线定位。通过BIM技术实现可视化下料，并对铝合金龙骨、玻璃幕墙、钢结构龙骨、铝板焊接进行高效吊装、精准拼接、精确焊接和快速安装。在施工期间使用了塔式屋面起重机和微型蜘蛛车进行吊装，辅以合理的工序安排，最终成功实现了高山流水式幕墙及雨棚的快速建造施工。

3.1 工艺流程

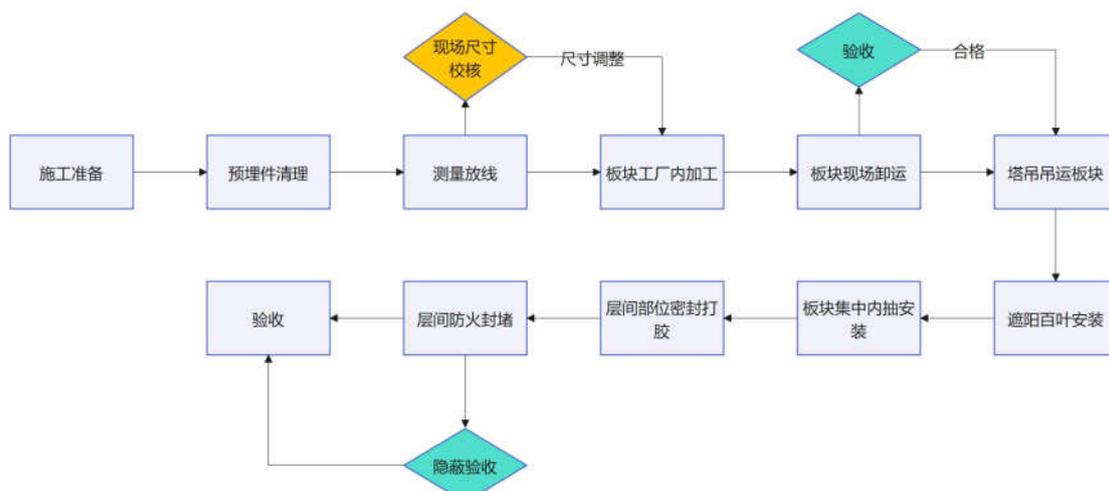


图2 工艺流程图

3.2 操作要点

3.2.1 测量放线施工方法及工艺要求

为确保建筑总体结构符合设计要求且施工过程中避免误差，项目部在施工前必须对主体单位提交的基准点（水平轴线、标高点）进行复测。根据外控制线和标高线，确定幕墙安装的控制分格网。为防止分格与标高出现累积误差，在进行水平分格时，首先复核主体结构柱中心轴线之间的尺寸，并复核主体结构的尺寸。这样的操作确保了精准的幕墙安装，同时避免了误差的累积，保证了建筑总体结构的质量和准确性。

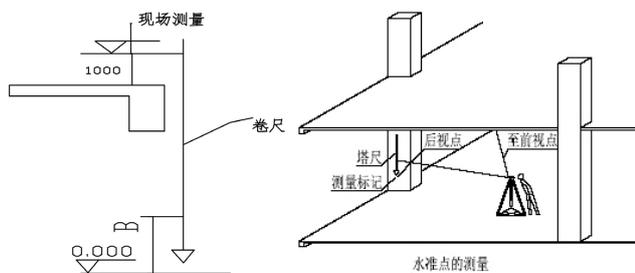


图3 现场水准测量示意图

3.2.2 预埋件及后置埋件施工

本工程预埋件随着主体结构施工进行预埋，我单位施工进场后需要对预埋件安装精度进行复核，对偏差不能满足要求的进行处理。以《金属与石材幕墙技术规范》JGJ133-2001为依据进行复核，预埋件安装要牢固，标高偏差不得大于10mm；位置偏差不得大于20mm。

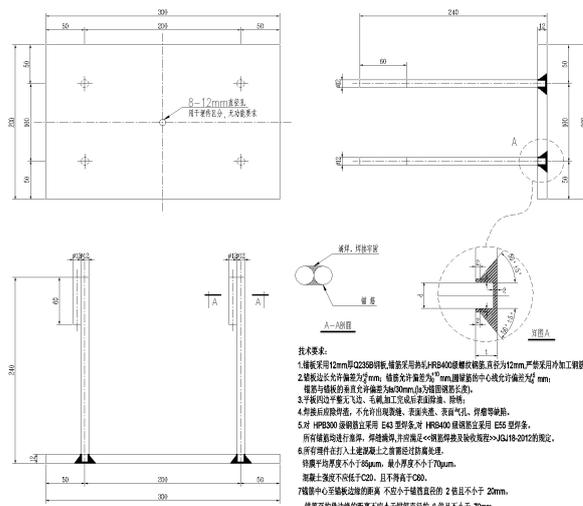


图4 预埋件加工图

1) 埋件上下、左右的检查

在测量放样过程中,预埋件的检查与结构的检查相继展开,测量人员将埋件标高线、分格线均用墨线弹在结构上,依据十字中心线,施工人员用尺子进行测量,检查出埋件左右、上下的偏差。

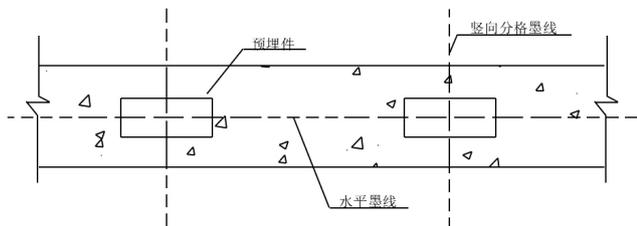


图5 埋件定位偏差复核图

2) 埋件进出检查

埋件进出时,测量放线人员从首层与顶层用钢线检查,一般在15米左右布置一根钢线,为减少垂直钢线的数量,横向使用鱼丝线进行结构检查,检查尺寸计算:理论尺寸-实际尺寸=偏差尺寸。

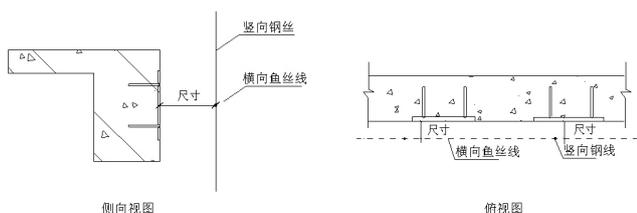


图6 埋件定位偏差复核图

3) 结构偏差处理

预埋件检查完毕后,将记录表整理成册,用尺寸计算的方法对每个埋件尺寸进行分析,依据施工图给定的尺寸,检查结构尺寸是否超过设计尺寸偏差。

3.2.3 单元体安装

1) 可视化下料

通过使用BIM建模技术,我们利用犀牛软件参数进行可视化下料。我们提前对材料进行下单,对加工厂家进行加工交底,以确保材料的加工精度。为了更好地组织工作流程,我们对每个单元体上所需的材料进行编号,利用BIM参数化板块进行提料。对于具有特殊造型的板块,我们采用参数化方法提取每个板块的翘曲值,进行翘曲参数分析。通过平板拟合优化曲面板块,调整划分单元板块,我们成功地进行了参数化提取面板加工图。这一过程实现了自动生成包含数量、加工图号、面积等参数的面板提料单明细表,从而简化了提料的难度,提高了工作效率。

本项目体量大,单元体板块的规格和尺寸非常多,传统提料方法无法满足生产进度要求,故采用参数化方法对材料信息进行批量提取,输出单元板块8万m²,致使

材料加工下单及加工周期缩短近一个月。



图7 龙骨建模提料程序

因此,即使是最微小的部分,我们也一直秉持着与建筑设计相一致的设计理念,这从根本上确保了最终建筑效果的一致性。此外,参数驱动的方法使得可以迅速创建不同规格的幕墙构件,然后通过格式转换,在CAD中进行标注,轻松生成相对应的加工图纸。

2) 板块高精度加工

单元体板块各部分材料根据下单图纸及现场尺寸要求,在生产车间依据排版图上的龙骨编号将成品横、竖龙骨进行组装,每两至三个分格组装成一个单元板,横梁采用闭腔形式,利用不锈钢销钉与立柱进行连接,横梁与立柱连接处要加尼龙垫片防止噪音,竖龙骨与连接件连接采用M12*110不锈钢螺栓,接触处采用防腐垫片防止电化腐蚀,最后安装玻璃面材。拼装好板块后进行精度、垂直度、平整度的测量。

3) 板块运输堆放

合格后将单元体绑扎到板块架子上运输到现场进行堆放。堆放高度不得超过4层,板块底部使用木方垫高。单元板块组装如图所示:



图8 立柱、横梁组装示意图

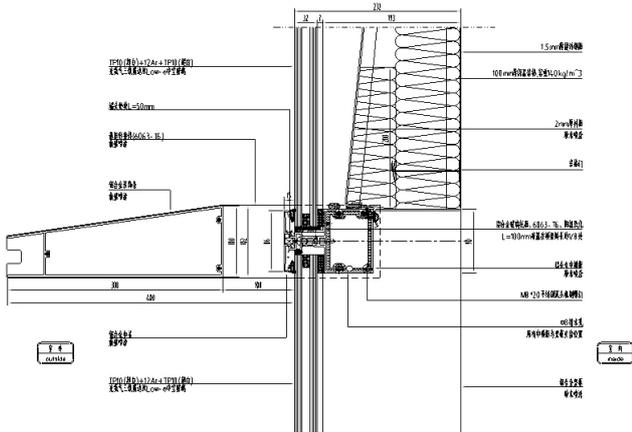


图9 单元体幕墙节点图

4) 板块吊装

单元体板块安装采用直挂式吊装，吊装前在楼层内安装可移动伸缩式单臂吊机，吊机位置位于安装板块楼层上方三至四层处，吊机移动灵活，安拆方便。



图10 可移动伸缩式单臂吊机

吊装前准备吊装用的钢丝绳，吊装钢丝绳一端采用专用防脱钩及卡口与板块上的连接件连接，吊装时在楼内由3人控制板块的吊装姿态，防止起吊板块与室内物体碰撞，在需要安装板块的上层由2人观察板块起吊高度，辅助板块吊装、插接及固定，一人操作吊机根据指令控制吊装高度，整个吊装过程由专人通过对讲机指挥楼上人员安装。

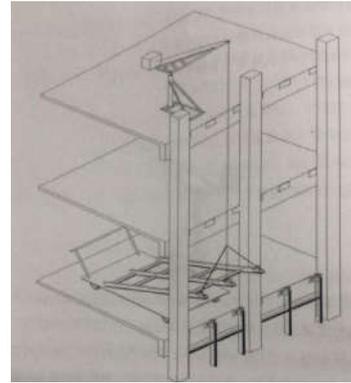


图11 可移动伸缩式单臂吊机吊装

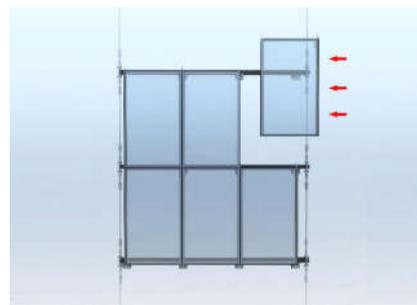


图12 可移动伸缩式单臂吊机吊装组配单元板块

所有临边作业人员必须佩戴安全带，将安全带的挂钩挂在钢丝保护绳上钢丝绳采用 $\Phi 10$ 钢丝绳绕结构一周设置，钢丝绳两端与混凝土柱透过卡扣绕柱一周进行可靠连接，作业人员经过安全技术交底后施工。

3.2.4 复合雨棚的安装

1) 钢龙骨安装

A塔主龙骨采用 $350*150*10$ 镀锌钢方管与预埋板连接。钢方管焊接埋件时采用四面围焊，焊接要求饱满、连续、无夹杂、咬焊等质量缺陷，并及时做防锈处理。现场焊缝连接，焊后去焊渣，并刷涂无机富锌漆3~4遍，保证涂层厚度在 $100\mu\text{m}$ 左右。涂层应均匀，无明显皱皮、流坠、针眼和气泡等。主龙骨施工质量的好坏直接影响到玻璃雨棚的施工质量，所以应严格控制主龙骨的安装质量。

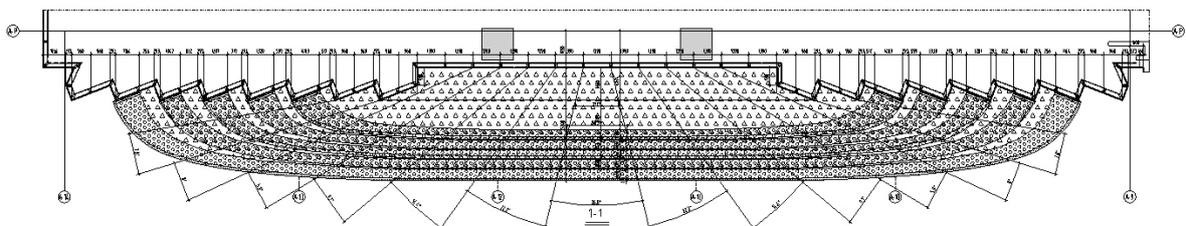


图13 雨篷龙骨布置图

雨篷造型从幕墙平面向外以曲面形式突出，主龙骨需根据造型进行曲线设计保障便于施工的同时达到设计

效果。

2) 横龙骨安装

横龙骨安装要严格控制水平度。因水平度直接影响玻璃、铝板横缝的质量,水平公差应控制在 $\pm 1\text{mm}$ 内,调整好后再满焊,焊缝有效高度不小于 6mm ,焊缝长度不小于 100mm ,焊接要求饱满、连续、无夹杂、咬焊等质量缺陷,并及时做防锈处理。

3) 防腐处理

钢框焊后去焊渣,并涂刷无机富锌漆3~4遍,保证涂层厚度在 $100\mu\text{m}$ 左右。涂层应均匀,无明显皱皮、流坠、针眼和气泡等。

4) 雨篷玻璃安装

首先根据图纸分格,将 5mm 厚镀锌钢托板 $L = 200\text{mm}$,根据放线点位固定与横龙骨上。使用吊车将带有副框的面层玻璃(重 188.7kg)垫 2mm 厚橡胶垫安装钢托位置,利用铝合金玻璃压条(40mm 间距 350mm)固定。

5) 面层打胶

①面层安装完毕后,清理板缝,打底漆防止密封胶与面板粘接不牢,然后进行泡沫条的填塞工作,泡沫条填塞深浅度要一致,不得出现高低不平现象。

②泡沫条填塞后,进行美纹纸的粘贴,美纹纸的粘贴应横平竖直,不得有扭曲现象。

③打胶过程中,注胶应连续饱满,刮胶应均匀平滑,不得有跳刀现象。

4 结语

高山流水式幕墙及复合造型雨棚的建造施工技术是

一项复杂而挑战性的工程,本工程充分运用深化设计资源,优化节点以及对施工过程管理的精准把控,解决了材料精确定位、精准拼接、高效安装等在施工过程中遇到的难题。这是一项综合性高的工程,成功与否取决于项目团队的专业水平、协作能力及对细节的关注。通过科学的规划、精细的执行和全方位的质量控制,可以确保工程的安全、高效、高质量地完成,满足建筑工程对美观性和功能性的高要求。这种类型的建筑工程既是对技术的展示,也是团队协作和创新的结晶。

参考文献

- [1]沈栋,陈正德,张汉泉等.BIM技术在单元体幕墙工程设计施工阶段的应用研究[J].中国建筑装饰装修,2023,(11):172-175.
- [2]张富森.呼吸式扭转折线形单元式幕墙施工技术[J].建筑施工,2022,44(12):2916-2918+2933.
- [3]解成林,郑同琪,李萌.超高层单元式玻璃幕墙施工技术的优化[J].四川水泥,2022,(11):151-153.
- [4]李倍.大跨度悬挑钢雨棚吊装施工技术[J].上海建设科技,2023,(04):40-42+46.
- [5]许立山,朱炜,张跃国等.大跨度空间双曲雨棚结构安装方法[J].钢结构,2019,34(6):89-92.
- [6]刘小春.大型吊挂异形玻璃幕墙施工测量及安装技术研究[J].重庆建筑,2024,23(02):66-68.