

附件 2

新体育中心工程（施工）II 标段

一、基本情况

（一）项目概况

新体育中心工程（施工）II 标段项目位于厦门市翔安区东部体育会展新城片区刘五店社区，基地东南侧为东界西路，西侧为滨海花园大道，西北侧和东北侧为体育路。地块总用地面积 15.41 万 m²，总建筑面积 23.04 万 m²，容积率为 0.641。项目主要功能包含体育、文体综合演艺、群众戏水娱乐、全民健身等。新体育中心定位为举办国际大型体育赛事的主场馆，全民活动的主要场所，可用于举办国际、国家级综合性体育赛事。

本项目装配式建筑的建筑面积合计 16.63 万 m²，其中体育馆装配式建筑面积 11.38 万 m²、游泳馆装配式建筑面积 5.25 万 m²，结构体系为装配式混合结构。



图 1 项目航拍图

(二) 参建单位

建设单位：厦门市体育局

代建单位：厦门路桥投资发展有限公司

设计单位：中国建筑设计研究院有限公司

东南大学建筑设计研究院有限公司

杭州中联筑境建筑设计有限公司

深化设计单位：中国建筑第四工程局有限公司

施工单位：中国建筑第四工程局有限公司

监理单位：福建光正工程项目管理有限公司

二、项目应用的装配式建造技术及特点

项目装配式建造概况：体育馆、游泳馆为装配式建筑，其结构体系为装配式混合结构，主体结构部分的分值不低于 30 分，围护墙和内隔墙部分的分值不低于 10 分，技术创新的分值不低于 5 分，装配率不低于 50%。

项目通过预制装配式清水混凝土看台、钢结构、ALC 轻质隔墙、幕墙、金属屋面等装配式构件的集成应用，来实现项目的装配式建造。

(一) 预制清水混凝土看台板建造技术

本工程预制装配式清水混凝土看台板，主要应用于体育馆及游泳馆看台区域。类型包括了预制看台板及预制台阶，共计 2800 余个预制构件。

预制看台板的应用原因主要包括下列几点，首先是响应住建部绿色、低碳、循环的建设发展方式方针，积极在项目建设过程中应用装配式技术。其次是通过预制构件的高效安

装，缩短关键工序的施工时间，为项目的顺利交付提供助力。最后是通过预制清水混凝土的构件特点一次成型，缩减了面层处理工序，提高构造成品质量的统一性，打造项目质量创优亮点。

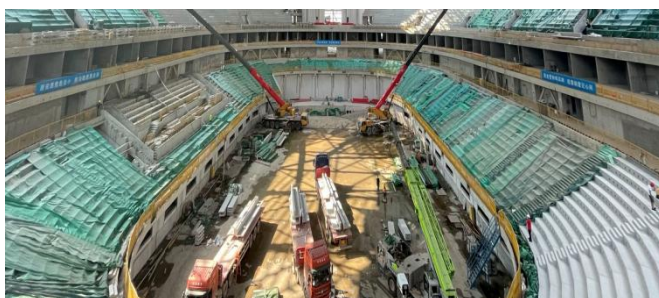
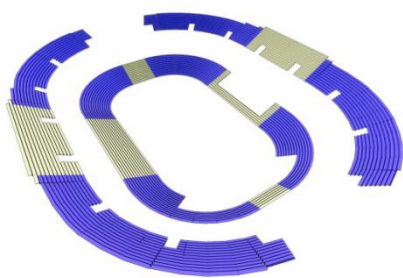


图 2 体育馆预制看台板示意图 图 3 体育馆预制看台板现场吊装实景图

该项技术的应用主要包括了，**BIM** 技术深化设计与信息化管理：**BIM** 技术实现多专业一体化设计，优化节点和标准化构件。利用“**BIM**+二维码”管理构件全过程。高精度伸缩性钢模板设计：创新伸缩性钢模板调节机制，满足多样看台板施工。研发一体化预埋件定位装置，提高定位精度。正交试验优化清水混凝土配合比：正交试验设计快速获得清水混凝土配合比，利用 **Image Pro-Plus** 评价其外观质量。

（二）装配式钢结构施工技术

本工程钢结构施工，主要应用于主体的钢屋盖及部分劲性框架结构。其中比赛馆屋盖为 **117m** 大跨度钢网壳结构划分为内网壳和外网壳两部分。内网壳主要包括倒三角管桁架、平面桁架、双曲网壳三部分，外网壳主要为双曲网壳钢架。游泳馆屋盖钢网壳主要分为张弦网壳和双曲网壳两部

分。张弦网壳由 90 米大跨度张弦梁组成，双曲网壳主要由网壳斜梁和网壳斜柱组成。

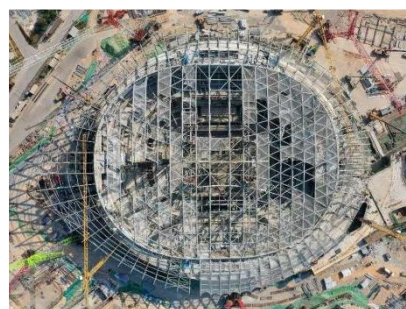
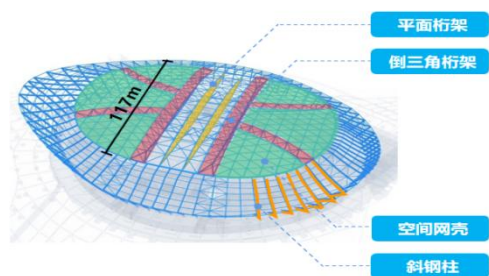


图 4 体育馆钢屋盖示意图

图 5 体育馆钢屋盖现场吊装实景图

钢结构施工过程中运用了一种设有地下室的体育场馆异形网架混合施工技术，系指在体育馆主体结构带有一层地下室的前提下，钢屋盖的安装分别采用整体提升和原位拼装的施工方法。该技术规避了上部重型结构和大型机械对场内地下室顶板的集中作用，保证主体结构的稳定性和安全性；场芯上方钢屋盖采用地面拼装、液压提升，减小高空作业频率，提高构件安装准确性，缓解大型机械设备使用压力；原位拼装将支撑胎架设置在看台斜梁上，块体占地面积小，可实现与其他专业交叉作业施工，同时大部分网壳结构能够实现点对点安装，作业时间灵活，节省大量堆场范围。该技术将两种钢结构安装方案相结合，与采取单一方案相比较，节省了大量人材机投入，缩短了工期成本，降低了钢结构总造价。

（三）预制双曲幕墙工程安装技术

本工程外围护墙均采用幕墙形式进行防护，幕墙形式包括铝单板幕墙及双层钢化玻璃幕墙。其中体育馆幕墙面积 47422 m²，游泳馆幕墙面积 35185 m²。整体造型呈双曲外倾，

施工定位及高精度安装难度较高。



图 6 体育馆幕墙效果图



图 7 体育馆幕墙安装完成实景图

我司通过总结多个复杂异型设计的玻璃幕墙施工经验，针对外形设计复杂，节点形式多样，定位及安装精度要求高，外倾角度大的双曲异型玻璃幕墙安装问题，创新提出异型双曲点支式玻璃幕墙高精度安装施工技术。运用 BIM 技术进行玻璃幕墙深化设计，建立玻璃幕墙参数化模型，分别对幕墙玻璃、驳接爪、龙骨进行深化设计，将玻璃幕墙构件分段深化，具体到每一节点，以适应该特殊外立面设计造型。应用三维扫描技术提前发现钢结构卸载造成的安装点位误差。在玻璃下料前采用铝板预拼装，以确保玻璃幕墙安装的可行性。使用特殊角钢与新型吊装幕墙玻璃吸盘装置提高玻璃幕墙定位与安装的精确度。解决了异型双曲点支式玻璃幕墙安装精度低的难题。

三、项目实施情况

（一）预制清水混凝土看台板建造技术

1. 施工工艺流程

大型装配式清水混凝土预制看台工业化生产施工工艺流程见下图

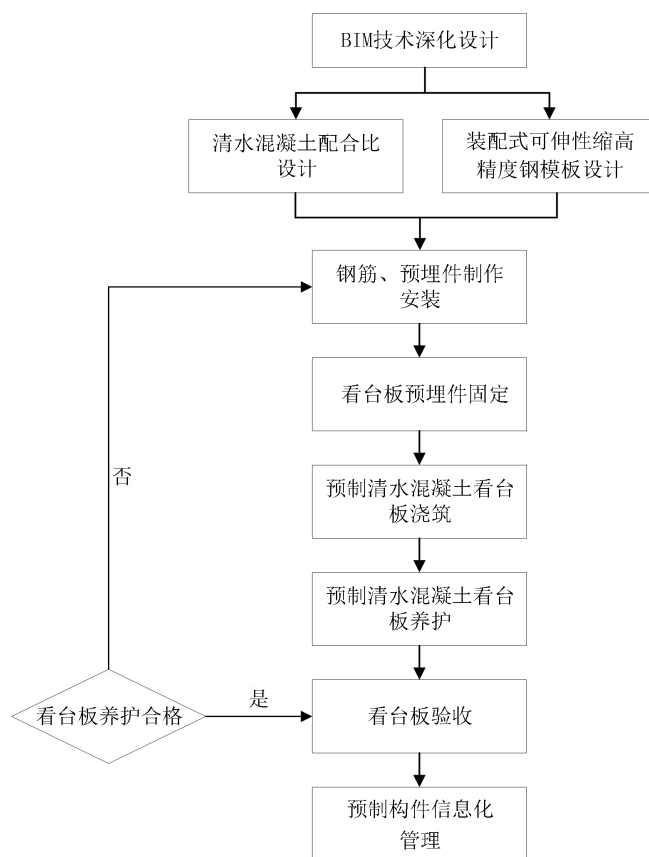


图 8 工艺流程图

2. 装配式清水混凝土预制看台生产施工要点

(1) BIM 技术深化设计

通过采用 **BIM** 技术对看台板与其他专业进行三维建模，检查各专业间的交叉碰撞问题，优化不同专业间的整体部署，协调看台板与其他专业的施工。根据主体结构中支撑看台板梁的位置，对看台板进行合理分割，最大限度形成标准化构件，确保构件满足工厂化生产。采用 **BIM** 技术对看台板支撑节点进行深化设计，连接节点应能进行三个方向的微调以保证看台板安装精度和质量标准的要求。

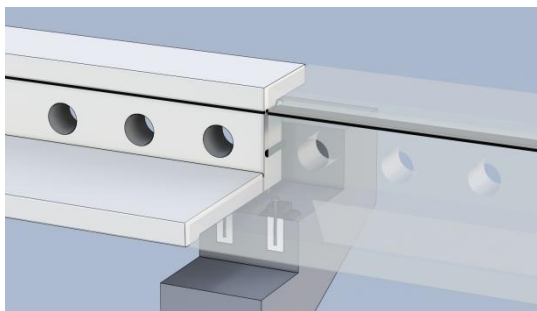


图 9 BIM 深化看台板连接节点



图 10 看台板连接节点

(2) 装配式可伸缩高精度钢模板设计

曲线型预制清水混凝土看台板内侧及外侧曲率不同，看台板进行分块后，形成多重标准尺寸的看台板，为满足不同类型尺寸看台板的施工要求，看台板施工采用装配式可伸缩性高精度钢模板。根据看台板的深化结果，调整板侧模位置控制看台板构件长度，满足不同跨度看台板的生产需求。看台板梁侧模立于滑轨上，可沿着滑轨进行定向移动，满足不同看台板梁截面宽度的生产，并为钢筋笼入模提供充足的作业空间。

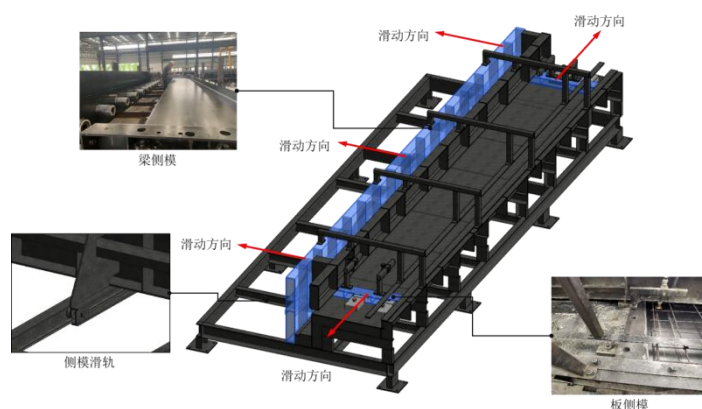


图 11 装配式可伸缩高精度钢模板结构示意图

(3) 预制清水混凝土看台板浇筑

浇筑前做好计划和协调准备工作，按照混凝土配合比设计进行混凝土厂内加工，在整个墙体施工中水泥应为同一厂

家，同一品种，同一强度等级，同一批号，保证混凝土表面观感一致，质感自然。生产过程严格控制好预拌混凝土的质量，保证混凝土性能的均一性。混凝土必须连续浇筑，施工缝须留设在明缝处，避免因产生施工冷缝而影响混凝土的观感质量。掌握好混凝土振捣时间，以混凝土表面呈现均匀的水泥浆、不再有显著下沉和大量气泡已上冒时为止。为减少混凝土表面气泡，宜采用二次振捣工艺，第一次在混凝土浇筑入模振捣，第二次在第二层混凝土浇筑前再进行，顶层混凝土一般在 0.5h 后进行二次振捣。



图 12 混凝土浇筑实景图

（4）预制清水混凝土看台板养护

为了有效地达到混凝土清水效果，并加快模板周转，应采用蒸汽养护。构件成型后用苫布将构件严密包裹，通汽养护。构件外露表面应采取措施防止冷凝水携带杂质污染颜色。蒸汽管道布置在模板两端，每端各一根，对于长度板长大于 10m 的看台板需在模板中间增设一根。要避免蒸汽直吹构件，尽量使蒸汽在构件周围均匀循环。看台板采用统一的蒸养制度：静停 1h+升温 3h+恒温 6h+降温 6h；升温速度控

制在 15℃/h；最高温度 60℃；出模的构件温度与大气气温不应超过 20℃。测温工作应有专人负责，每小时测温 1 次。

（5）预制构件信息化管理

看台板验收合格后，对看台板进行信息化管理。本工程的装配式清水混凝土预制看台板几何尺寸种类多，体量大，预留卡槽较多，施工周期长，安装精度要求非常高。预制清水混凝土看台属预制工业化加工构件，具有唯一性，构件工厂化加工部分工序需隐蔽验收。项目对看台板的管理采用信息化管理技术，经检验合格的构件产品，按规则编号，码放构件场地平整、坚实、排水性好，相同型号的平板堆垛码放，每垛不得超过 3 块，T 型板要制作专用堆放区，采用二维码形式对构件从生产到装配完成的信息进行记录，形成实时查询、责任溯源的看台板信息化管理模式。



图 13 构件码放



图 14 看台板二维码信息管理

（二）装配式钢结构施工技术

1. 施工工艺流程

体育馆异形网架混合施工工艺流程见下图

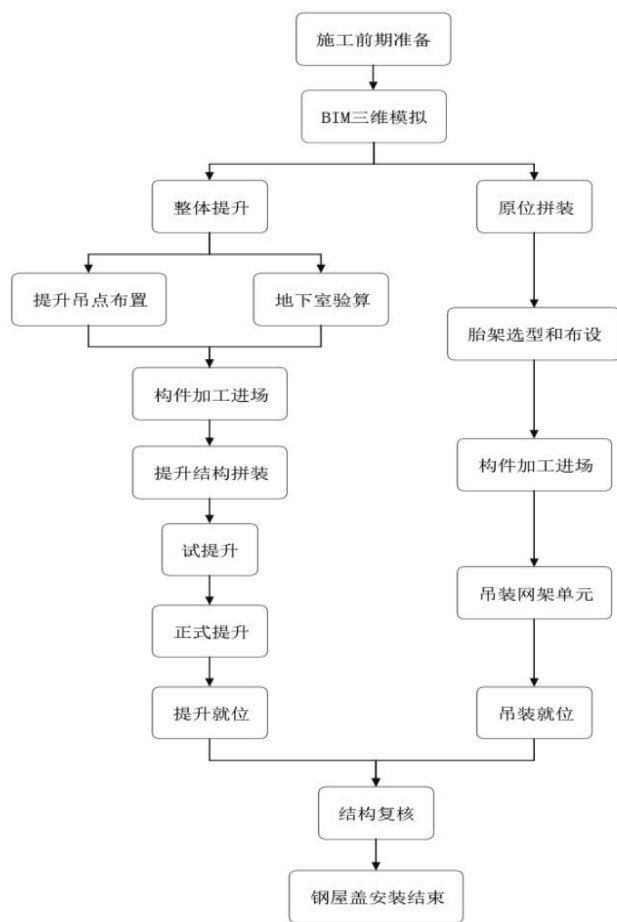


图 15 工艺流程图

2. 体育馆异形网架混合施工要点

(1) BIM 三维模拟

根据设计图纸,利用 **BIM** 完成钢结构所有内容的三维建模,包括:检查节点设计,跟踪管理物料,模拟现场施工,优化施工部署等。实现对杆件和节点的施工优化,确保在加工制作和安装过程中的合理性,提高加工效率和安装精度。

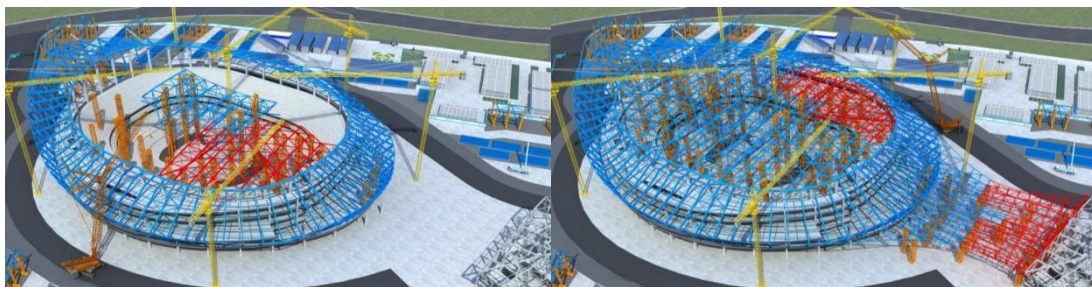


图 16 BIM 三维模拟施工现场示意图

(2) 吊点选择、地下室结构模拟计算

基于 AutoCAD 设计图纸和 BIM 三维模型，采用 Midas Gen 和 ANSYS 对提升的重要节点、提升装置和地下结构进行分析验算。

钢屋盖采用倒三角管桁架和平面桁架相结合，圆管杆件数量多，节点支管相贯斜交，在提升节点避免焊接支管数量较多的条件下，依据钢屋盖的受力、变形、形状、重量以及提升空间的限制，通过分区试点模拟计算，得到提升状态的结构变形受力与使用状态最相近的四个吊点位置。

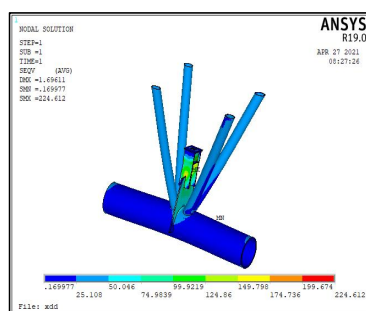


图 17 吊点应力图

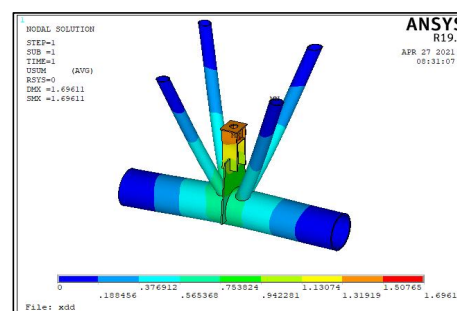


图 18 吊点变形图

(3) 提升构件拼装就位

地面拼装构件倒三角桁架，拼装流程如下：

地面放线，胎架就位→吊装下弦杆及一侧上弦杆就位→嵌补安装腹杆构件→吊装另一侧上弦杆就位→嵌补安装腹杆→吊装横向联系杆件。



图 19 提升构件拼装实景图

（4）静置检查、监测结构

在分级加载过程中，每一步分级加载完毕，均应暂停并检查加载前后的变形情况以及主体结构的稳定性等情况。当分级加载至结构即将离开拼装胎架时，可能存在各点不同时离地，此时应降低提升速度，并密切观察各点离地情况，必要时做“单点动”提升。确保钢结构离地平稳，各点同步。

桁架结构单元离开拼装胎架约 100mm 后，利用液压提升系统设备锁定，空中停留 2 小时以上做全面检查。用测量仪器检测各吊点的离地距离，计算出各吊点相对高差。通过液压提升系统设备调整各吊点高度，使结构达到水平姿态。

（5）正式提升

以调整后的各吊点高度为新的起始位置，复位位移传感器。在提升过程中，以 10 米/小时左右的速度向上提升。

（6）提升就位

结构提升至设计位置后，暂停；各吊点微调使桁架各层弦杆精确提升到达设计位置；液压提升系统设备暂停工作，保持结构单元的空中姿态，主桁架中部分段各层弦杆与端部分段之间对口焊接固定；安装斜腹杆后装分段，使其与两端已装分段结构形成整体稳定受力体系。



图 20 钢屋盖场芯提升就位

(三) 预制双曲幕墙工程安装技术

1. 工艺流程

异型双曲玻璃幕墙工艺流程见下图

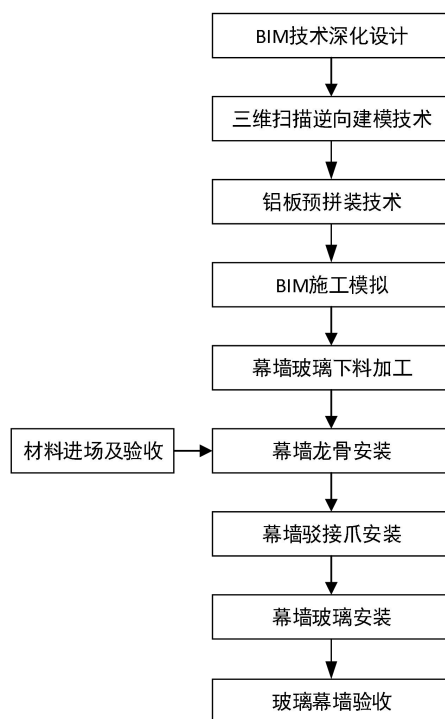


图 21 施工工艺流程图

2. 异型双曲玻璃幕墙施工要点

(1) BIM 技术深化设计

运用 Rhino&Grasshopper 软件结合幕墙招标图纸及设计院提供的表皮模型，创建幕墙工程参数化模型，使构件的幕墙模型能够最大限度地贴合建筑效果且满足幕墙设计及加工要求。

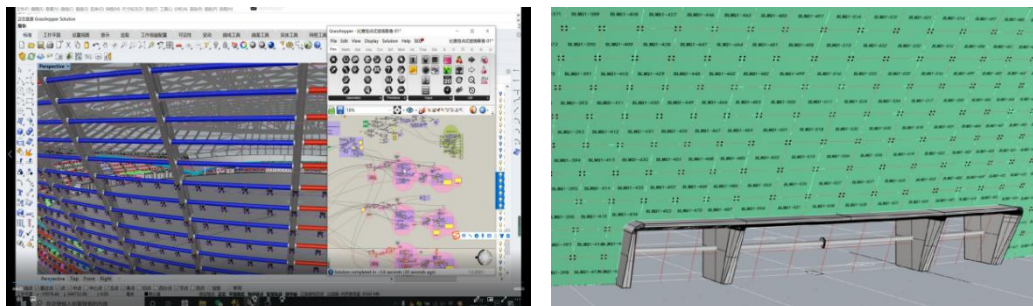


图 22 点式玻璃幕墙参数化建模

（2）三维扫描逆向建模技术

幕墙骨架依附在结构外围大跨度七字柱上，考虑到钢结构施工误差及整体卸载后的变形，为保证幕墙的高精度安装，拟建专业扫描团队，扫描现场钢结构模型，逆向建模交付设计团队，进行二次建模，导出各个构件坐标点指导现场施工，实现模型与现场尺寸同步。



图 23 BIM 技术幕墙龙骨深化

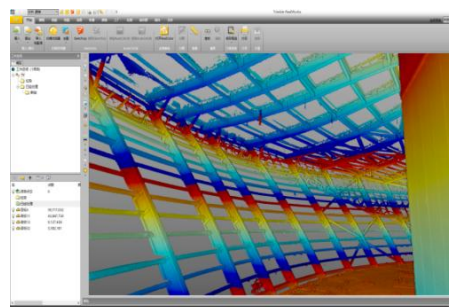


图 24 幕墙龙骨扫描成果

（3）幕墙玻璃下料加工

在完成 BIM 深化设计与施工模拟，优化玻璃幕墙构件信息后，依据犀牛+Grasshopper 进行模型分析，生成材料清单，含编号、尺寸、坐标检测数据等构件信息，通过软件得到不规则曲面各空间坐标。实现模型到工厂的精准加工。



图 25 玻璃加工厂加工图

（4）幕墙龙骨安装

竖向主钢龙骨通过转接件与主体钢结构进行连接。双曲

异型玻璃幕墙龙骨依附于主体钢结构上，主体钢结构经卸载后产生的变形将造成幕墙龙骨的变形，进而造成固定于龙骨上的幕墙玻璃产生应力破坏。为释放幕墙龙骨随钢结构变形产生的应力形变，在连接幕墙竖向主钢龙骨与主体钢结构柱时，采取焊接及螺接两种形式。



图 26 幕墙龙骨现场安装图

（5）幕墙玻璃安装

为保证幕墙玻璃的顺利安装，应事先做好计划及协调准备工作，根据实际情况及工程进度计划要求安排好人员，做好幕墙玻璃进场验收工作，玻璃表面不得出现裂纹、破损与划痕，玻璃面板及其孔洞边缘倒棱与磨边工序、玻璃边长尺寸、对角线差及钻孔位置应达到玻璃幕墙工程技术规范要求。

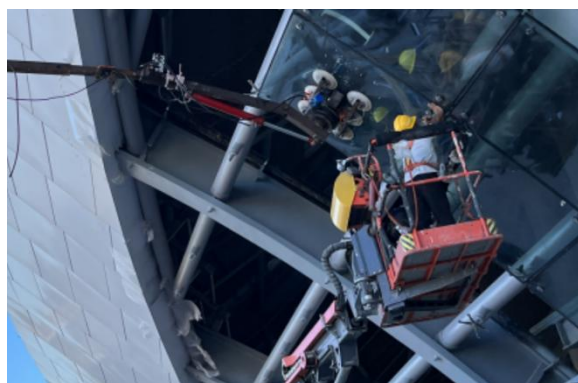


图 27 幕墙玻璃现场安装图

四、应用成效

（一）预制清水混凝土看台板建造技术应用成效

1. 科技成果：

本技术已授权实用新型专利 2 项：一种预制混凝土构件模板固定装置（专利号：ZL202220747328.X）；一种清水混凝土看台板预埋件的定位装置（专利号：ZL202220800004.8），受理发明专利 1 项：一种 T 型预制清水混凝土看台板加工模具；（专利号：202211138343.5），受理实用新型专利 2 项：一种可调节 L 型预制清水混凝土看台板安装模板体系（专利号：202222480506.4）；一种预制清水混凝土看台板加工设备（专利号：202222484890.0）。

2. 经济效益：

（1）优化后清水混凝土看台板的生产费用

单块看台板已知一次使用量为 10 m^2 ，每平方米钢模板价格为 700 元，若模板可使用 20 次，补损率为 5%，施工损耗为 5%，装配式可伸缩性高精度钢模板单次使用费用为：542.06 元。单块看台板体积约 1.3 m^3 ，清水混凝土单价为普通钢筋混凝土单价的 1.2 倍，单块清水混凝土看台板的钢筋混凝土费用为：1404 元。优化后可减少看台板支模、二次装修、看台板构件管理人工费，单块清水混凝土看台板的人工费约为普通混凝土看台板的 0.5 倍，即单块清水混凝土看台板的人工费为：400 元。每立方米的看台板其他单价为 80 元，单块看台板体积约 1.3 m^3 。优化后其他费用为： $80 \times 1.3 = 104$

元。综上所述，看台板的造价为：436.1 万元

（2）优化前清水混凝土看台板的生产费用

单块看台板已知一次使用量为 10 m^2 ，每平方米木模板价格为 300 元，若模板可使用 5 次，补损率为 15%，施工损耗为 15%，装配式可伸缩性高精度钢模板单次使用费用为：810.75 元。单块看台板体积约 1.3 m^3 ，单块清水混凝土看台板的钢筋混凝土费用为：1170 元。单块普通混凝土看台板的人工费为 800 元，每立方米的其他价为 100 元，单块看台板体积约 1.3 m^3 。优化前其他费用（含二次装饰费）为： $100 \times 1.3 = 130$ 元。综上所述，看台板的造价为：518.1 万元

两者相比较，采用本技术产生的效益是： $518.1 - 436.1 = 82$ 万元

（二）装配式钢结构施工技术应用成效

1. 科技成果：

本技术已获国家知识产权局受理 1 项发明专利及 2 项实用新型专利：一种设有地下室结构的体育馆钢屋盖提升施工方法及机构（专利号：202210751873.0），一种设有地下室结构的体育馆钢屋盖提升机构（专利号：202221672510.X），一种钢结构提升节点固定装置（专利号：202221819723.0）

本技术经广东省建筑业协会鉴定委员会鉴定该成果达到了国内先进水平。

2. 经济效益：

采用本技术的成本：场芯地下室顶板拼装后整体提升方

式为采用 2 台 100t 汽车吊场芯整体拼装后提升，构件周转使用 80t 汽车吊 2 台，场芯整体桁架拼装及提升胎架约 820t。整体提升费用为 769 元/t；采用整体提升安装方式工期为 70 天（2.3 个月）。场芯地下室顶板整体提升措施费：1004.2 万元

采用原位拼装施工方法：场外大型履带吊进行高空原位拼装需采用 2 台 800t 履带吊进行高空原位吊装，及 4 台 100t 汽车吊进行场外单段桁架拼装，内网壳场芯提升桁架需格构式支撑胎架约 680t，场外单段桁架拼装格构式支撑胎架约 110t，800t 履带吊场外行走区域需拓宽、经方案计算铺设碎石路面需 7500m³；采用原位拼装安装方式工期为 75 天（2.5 个月）。场外大型履带吊高空原位拼装措施费：1215.1 万元

经上述两项技术效益对比得出，节省成本： $W1-W2 \approx 210.93$ 万元

同时，体育馆钢屋盖内网壳采用整体提升比原位拼装可节省 5 天工期，具体经济效益计算如下：本工程每日管理人员工资及机械费用等约 2.6 万元/日，则工期节约费用约为： $2.6 \text{ 万} \times 5 = 13$ 万元。

综上所述，新体育中心（施工）II 标段体育馆内网壳整体提升节约成本产生的经济效益为： $210.93 \text{ 万元} + 13 \text{ 万元} = 223.93 \text{ 万元}$ 。

（三）预制双曲幕墙工程安装技术应用成效

1. 科技成果：

本技术经过广州市科技查新咨询中心国内查新得出：未见国内有与本项目查新点相同的文献报道，本成果具有新颖性。此外，本技术已获国家知识产权局授权 1 项实用新型专利：一种吊装幕墙玻璃的吸盘装置，申请号 ZL202222619191.2；受理 1 项发明专利：一种吊装幕墙玻璃的自动纠偏安装装置，申请号 2022112016836.8。该技术关键技术经广东省科技成果鉴定，鉴定委员会认为该成果达到了国内领先水平。

2. 经济效益：

采用铝板预拼装技术，在玻璃交接靠近孔位处使用胶垫，可减少因安装点位误差造成的原料损耗。预计可降低 7% 的玻璃损耗量，即可降低 $4200 \times 0.07 = 294$ 块玻璃损耗，节约玻璃成本： $4200 \times 1.5 \times 0.07 = 441$ 万元。应用新型玻璃吸盘吊装装置代替吸盘车，创新的吊装装置结构较为简单，使用灵活，可减少吊装过程 2% 的玻璃损耗量，即节约费用 $4200 \times 1.5 \times 0.02 = 126$ 万元。应用一套新型玻璃吸盘吊装装置，应用新型玻璃吸盘吊装装置安装该项目的玻璃幕墙机械费用共计 252 万元；若采用吸盘车进行幕墙玻璃吊装，应用吸盘车安装该项目的玻璃幕墙机械费用共计 396 万元；因此，本施工技术可降低施工成本 $396 - 252 = 144$ 万元。综上所述，异型双曲点支式玻璃幕墙高精度安装施工技术应用用于新体育中心工程（施工）II 标段项目中共节约成本 $441 + 126 + 144 = 711$ 万元。