

上海市建筑信息模型技术应用与发展报告

Shanghai BIM Technology Application&Development Report

2024



Building
Information
Modeling
附录案例

上海市住房和城乡建设管理委员会

Shanghai Municipal Commission of Housing
Urban-Rural Development and Management

上海市第六届 BIM 技术应用创新大赛获奖项目案例介绍

上海建筑信息模型技术应用推广中心于 2024 年 2 月举办上海市第六届 BIM 技术应用创新大赛。本届大赛聚焦 BIM 技术的深入研究与应用，分设项目案例奖和特别创意奖等，旨在展示上海市 BIM 技术在工程建设各方面推广应用的优秀成果。其中项目案例奖注重成熟型 BIM 关键技术在工程项目中的广泛应用，特别创意奖注重思维模式、高新技术、管理模式等方面的创新创意。

本次发展报告分别从三类奖项中选取了十五个获奖项目案例（详见下表 1-1），其中项目案例奖房建类 6 个、市政类 5 个、特别创意类 4 个，这不仅体现了全上海应用 BIM 技术的深度与广度，还深刻诠释了 BIM 技术在工程建设各阶段的巨大作用与潜力。希望这些案例能够成为行业标杆，发挥引领、示范作用，推动 BIM 更广泛的应用。

表 1-1 收录获奖项目清单

| 序号 | 奖项类型 | 项目名称 | 申报单位 |
|--|---------------|--------------------------|--------------------|
| 1 | 项目案例奖 -房建类 | 安吉“两山”未来科技城文化艺术中心项目（EPC） | 中国建筑第八工程局有限公司上海分公司 |
| | | | 安吉智城建设发展有限公司 |
| 成都科幻馆装饰 EPC 施工全过程数智化建造技术创新与综合应用 | | 上海市建筑装饰工程集团有限公司 | |
| 大型复杂异形双曲面建筑群数字化建设——嘉兴南湖未来广场 | | 嘉兴市交通投资集团有限责任公司 | |
| | | 上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司 | |
| | | 上海建工二建集团有限公司 | |
| 南宁太阳纸业有限公司 525 万吨林浆纸一体化技改及配套产业园项目-制浆及碱回收（一期）工程 | | 中国海诚工程科技股份有限公司 | |
| | | 南宁太阳纸业有限公司 | |
| 上海大歌剧院项目 | | 上海建工四建集团有限公司 | |
| | | 上海建科工程咨询有限公司 | |
| | | 上海市安装工程集团有限公司 | |
| | | 上海市机械施工集团有限公司 | |
| | | 深圳市三鑫科技发展有限公司 | |
| 西安东航空港总部保障基地项目施工阶段基于 BIM 的智慧建造应用 | | 东航资产管理有限公司 | |
| | | 上海宝冶集团有限公司 | |
| 7 | 项目案例奖 | 嘉兴市秀洲区王江泾工业污 | 上海市城市建设设计研究总院（集团） |

| | | | | |
|----|------|---------------------------------------|---|-----------------|
| | -市政类 | 水处理工程总承包 EPC 项目 全过程 BIM 应用 | 有限公司 上海城建信息科技有限公司 | |
| 8 | | 浦东国际机场 T3 航站楼 S32 公路立交改建工程 | 上海市政工程设计研究总院(集团)有 限公司 上海沪申高速公路建设发展有限公司 | |
| 9 | | 浦东机场南区地下交通枢纽 及配套工程数字化勘察与深 基坑群监测 | 上海勘察设计研究院(集团)股份有限 公司 上海顺凯信息技术有限公司 上海机场(集团)有限公司 | |
| 10 | | 上海杨树浦水厂深度处理改 造工程 | 上海城投水务(集团)有限公司制水分 公司 上海市政工程设计研究总院(集团)有 限公司 | |
| 11 | | 上合广场地下空间综合开发 利用及配套基础设施建设工程 | 中建港航局集团有限公司 中建筑港集团有限公司 青岛上合基石投资发展集团有限公司 上海海达通信有限公司 | |
| 12 | | 特别创意奖 | BIM 驱动的工艺数据链在二 结构数字建造中的应用 | 上海建工四建集团有限公司 |
| 13 | | | 基于内装工业化应用场景的 工业设计及数联加工技术 | 上海市建筑装饰工程集团有限公司 |
| 14 | | | 业主牵头的设计施工监理一 体化数字建设模式 | 上海机场(集团)有限公司 |
| 15 | | | 基于高精度点云的智能装饰 出图下单应用创新 | 中建东方装饰有限公司 |

项目案例奖（房建）

一、安吉“两山”未来科技城文化艺术中心项目

1. 项目概况

安吉“两山”未来科技城文化艺术中心项目位于浙江省湖州市安吉县，东至灵峰南路、西临浒溪、北至规划里荣路、南衔安吉国际会展中心。总建筑面积 11.71 万 m²，地下 1 层，地上 3 层，局部 7 层，最大建筑高度 43.67m。项目以挖掘安吉文化内涵和产业特色为目标，围绕美好城市文化生活场景和未来文化产业科技应用场景，布局建设国际会议中心（3000 人）、文化大剧院（1300 座）、工人文化宫、文化馆、青少年、艺术培训中心等承载空间，提供各类公共文化服务，打造集文化表演、文化培训、文化教育、文化体验“四位一体”的文化综合体及文化艺术生态圈。

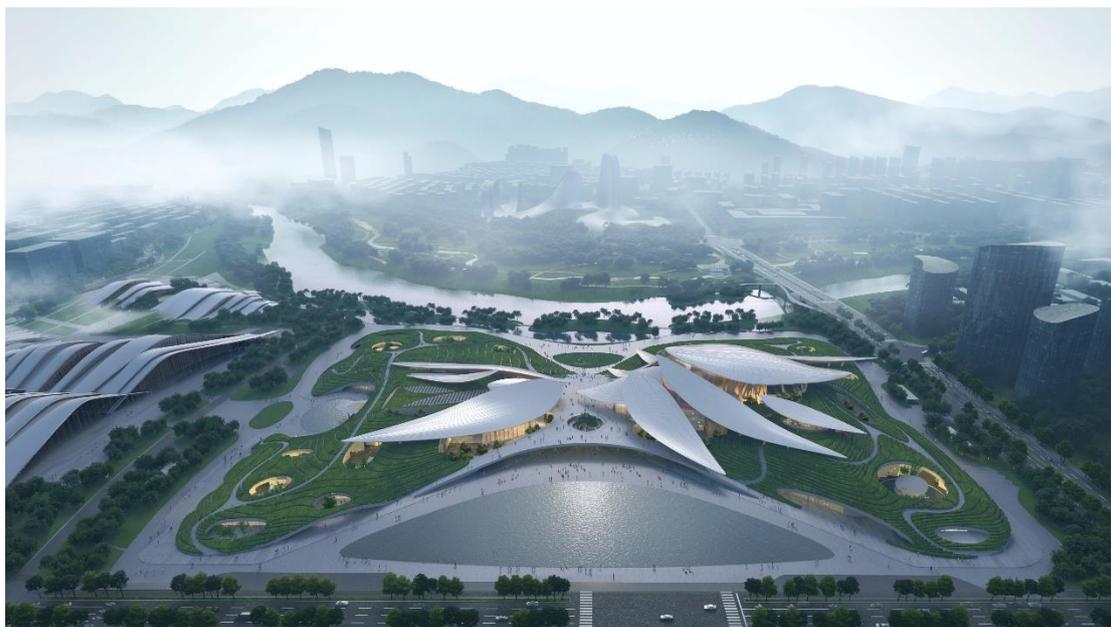


图 1-1 项目效果图

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

项目各专项均为空间双曲造型，且在 25 个月周期内完成设计到竣工过程——决定了

项目的 BIM 开展形式：

- 1) 由 Mad 方案模型指导下的从设计到深化到施工的“一模通用”。
- 2) 采用大量的参数化分析技术进行模型分析、图纸深化、下料加工，“数字化建造”必须脚踏实地。
- 3) 由中建八局牵头组建的 BIM 工作室从正向设计-深化设计-正向施工全过程“陪伴式” BIM 服务。

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

本项目组织架构以中建八局上海公司为主体，抽调各专业分公司成熟 BIM 工程师组建 BIM 工作室，围绕三维方案模型，与方案设计（mad 工作室）、施工图设计（同济设计研究院）、各深化设计、各专项施工单位紧密联系，协同作业，以 Rhino+gh 参数化为把手，攻克双曲复杂形态建筑的设计、施工痛点，服务项目全流程，完成从正向设计-深化设计-施工的全过程“陪伴式” BIM 服务。

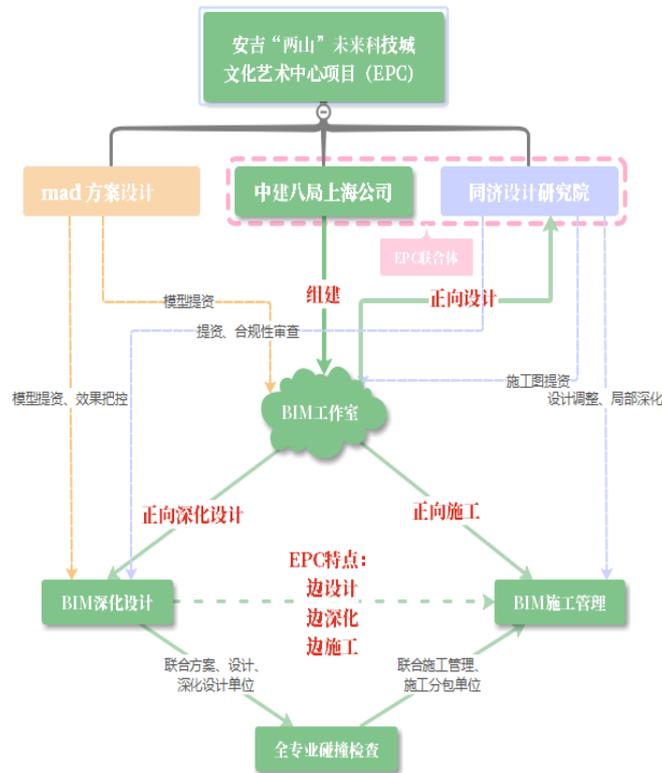


图 2-1 项目组织架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

项目由于参与方众多，存在 EPC 联合体（八局、同济）与方案（MAD）及众多专业分包方，有效的管控与协调是本项目 BIM 工作开展的重要保障。

项目之初就建立起多专业的 BIM 合同管控，落实合同中的模型交付时间、交付标准以及各方专业 BIM 人员配置信息。在 BIM 日常工作开展的过程中，将分参建方人员统一拉入 C8BIM 平台管控系统，各专业模型在平台上实现数据协同共享，专业问题提资、解决实现闭环管控，做到整个设计、施工、运维过程的精细化管理。

2.2.3 BIM 应用环境

结合项目空间曲面多、深化设计单位三维设计软件种类多、相互间提资与交互困难的客观条件，综合 Rhino 与 Revit 软件优势，使用 Rhino inside for revit 插件编写数据交互电池组，搭建无损、实时交互数据流，搭建文件格式转化渠道，以 C8BIM 平台整合全专业设计、深化模型，协调全流程模型正向设计与深化实施。

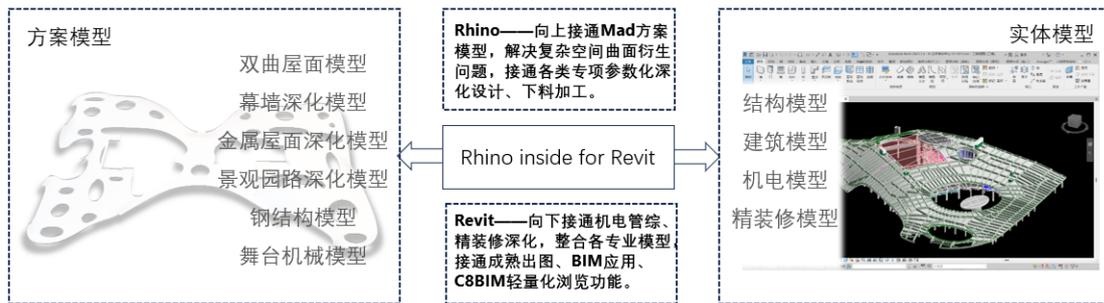


图 2-2 软件环境搭设图

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 双曲茶山 BIM 专项应用

景观茶田位于安吉文化艺术中心的双曲屋面上方，屋面存在大量标高不等的上翻梁，因此茶田的主体基础、园路、覆土、种植、给排水等各类要素均面临较为复杂的条件限制。原景观设计师以平面设计方式出具的景观施工图纸无法切实指导现场施工。

BIM 工作室多次组建专项 BIM 工作营赴设计院驻场办公，通过可视化编程，通过电脑的计算代替手工计算进行屋面景观设计。

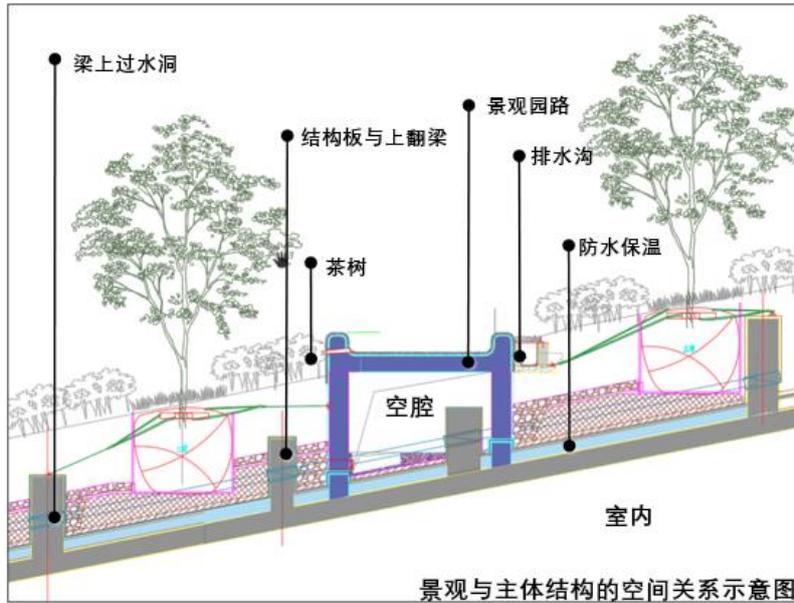


图 3-1 景观与主体结构的空间关系示意

3.1.1 园路参数化设计

位于四裙楼屋面的景观茶田中，设计了供行人穿行游玩的景观园路。CAD 平面设计方法难以平衡园路与其他结构的空间关系，与主体结构碰撞严重。需以反梁空间模型为基础，采用 BIM 正向设计，重构园路标高体系。

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| | |
| <p>屋面双曲反梁高低参差不齐 与园路碰撞严重</p> | <p>园路与景观控制面交接不协调</p> |
| | |
| <p>如贴合园路标高覆土整体调整偏高，超出设计荷载</p> | <p>局部管线从园路下穿行，预留净高不足，需额外考虑</p> |

通过梳理主体结构、水电管线、覆土高度等重要要素对园路的影响条件，编程分析对原有园路进行碰撞检查，排查不利点位，对不满足基础条件、难以施工、不利于施工的园路进行删改和优化，调整园路走向。

编写电池组对园路进行参数化调节，对园路进行整体综合优化(图右)。在空间尺度上避免与主体结构的碰撞，综合考虑园路对覆土、垫层、固土、安全等方面的负面影响，源头降低风险与成本。

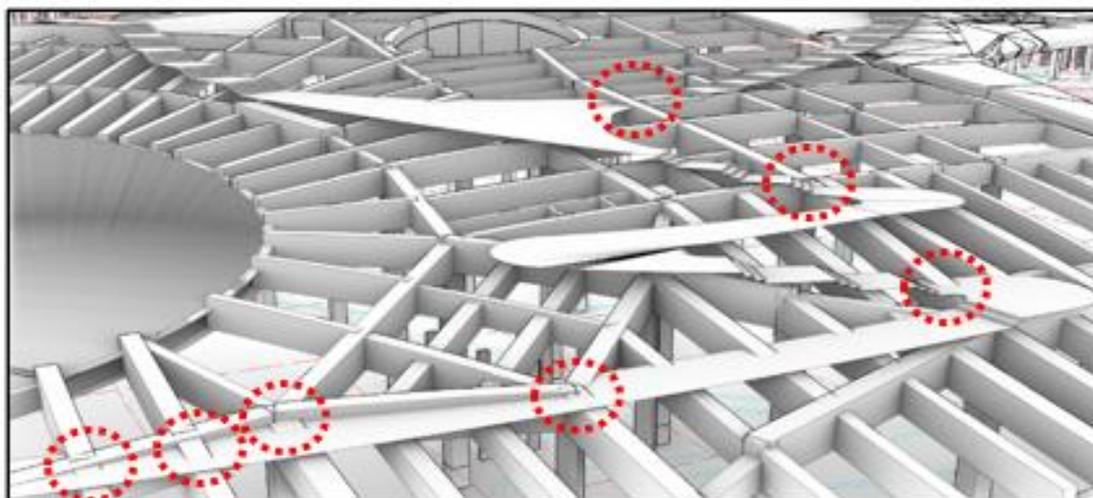


图 3-2 CAD 设计方案与主体结构碰撞

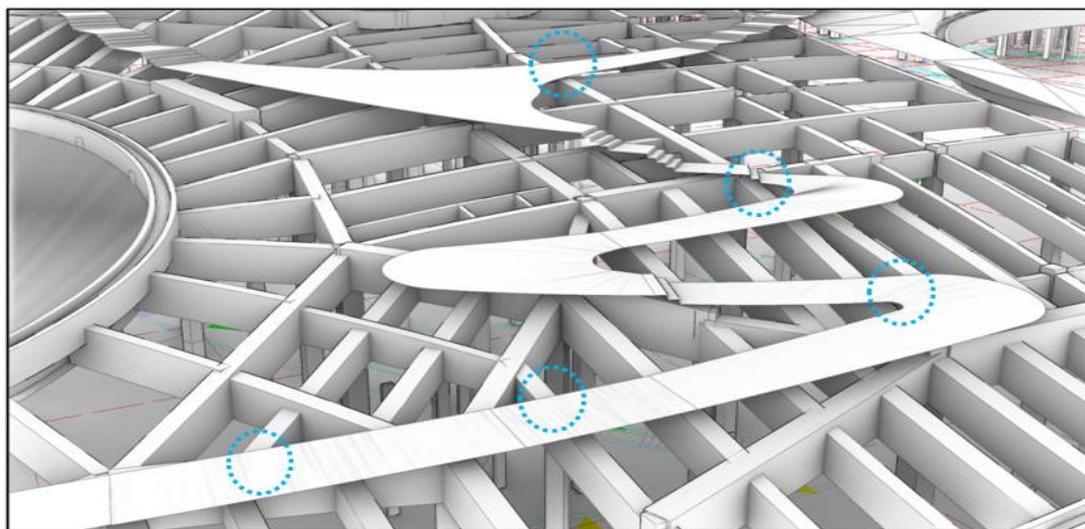
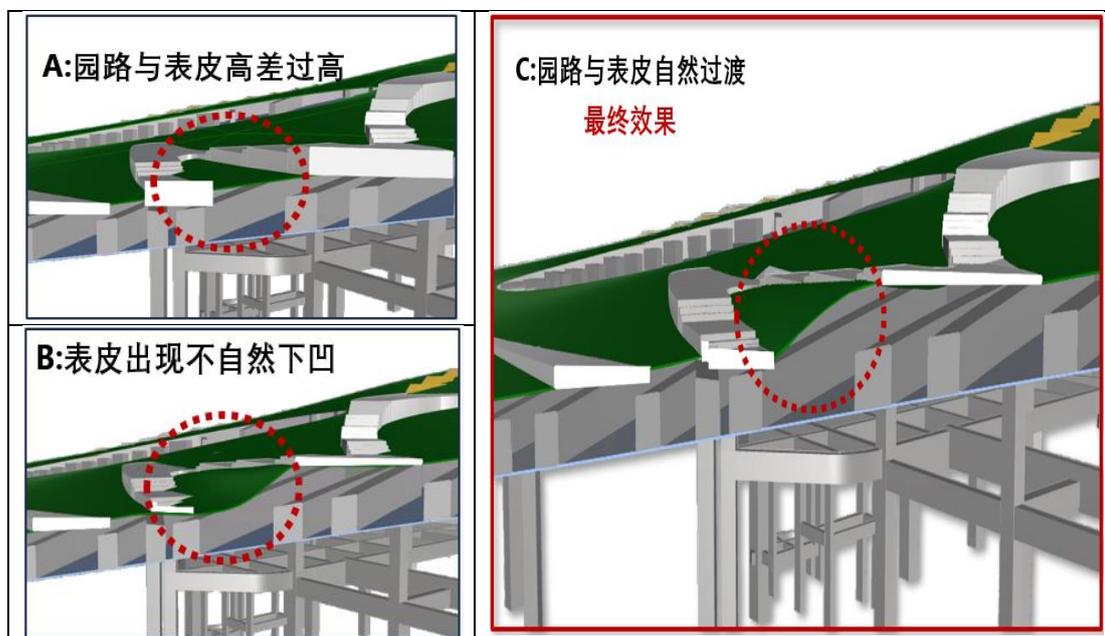


图 3-3 参数化设计综合考虑园路与各方面要素协调

3.1.2 景观控制面表皮分析

原方案设计中的景观控制面与园路交接不顺滑、与钢结构距离过近、靠近庭院洞口

未放坡（为清水下表皮向上偏移 1800mm。因此，采用参数化的方式对整体景观控制面表皮进行调整深化。通过参数化设计实现控制条件的互相制约、协同生效，确定生成景观控制面的最终条件，拟合生成最终的表皮曲面。



3.1.3 XPS 垫层需求厚度分析

XPS 垫层位于屋面上翻梁体系与景观控制面（覆土完成面）中间，起到调节土壤厚度的作用（作为轻质材料控制覆土在 600mm 以下、使覆土完成面表面顺滑）。

依据双曲景观表皮的参数化建模与优化结果，出具 XPS 厚度施工图指导现场施工，节约 XPS 用料面积约 1.4 万平方米（相较于原景观均布方案）。

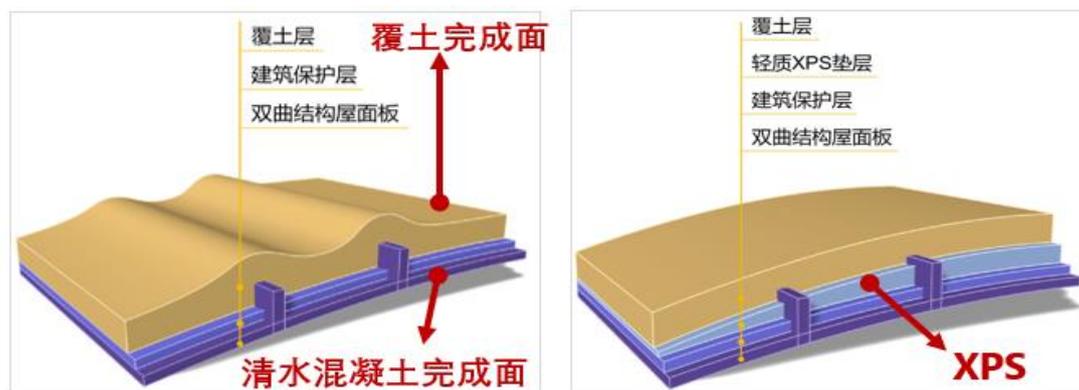


图 3-4 优化 XPS 厚度调整景观控制面

3.1.4 无人机倾斜摄影逆向建模控制屋面曲梁与茶田形态

与双曲清水混凝土、空间钢结构、金属屋面等通过全站仪、三维扫描等方式控制空间曲面形态不同，项目屋面曲梁、双曲茶田种植土的回填缺乏高效的施工指导依据与完

成形态控制手段。

采用无人机倾斜摄影逆向建模，与项目屋面模型进行比对，指导现场对土面高度进行修正。涉及的调整的土方量达到约 7000 立方。

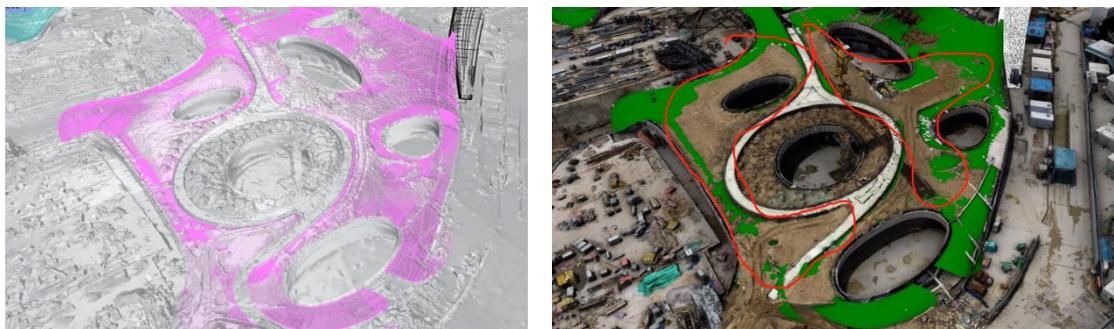


图 3-5 无人机倾斜摄影模型对比

3.1.5 径流、渗排水方案优化

双曲屋面的坡度方向多变，四处分布的反梁对流水产生阻隔，难以判断合理的预埋排水管道的位置与方向。白茶为不耐涝品种，为保障植株生长，屋面的渗排设计尤为重要。

基于 Rhino 电池组模拟真实排水流向，综合考虑反梁对于排水方向的影响进行汇水分析，以此指导排水方案的优化。

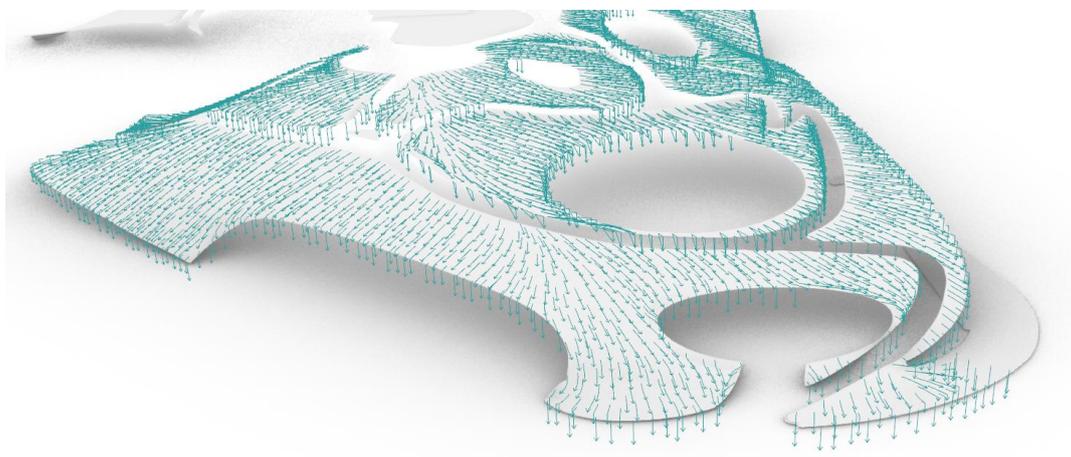


图 3-6 雨水径流模拟

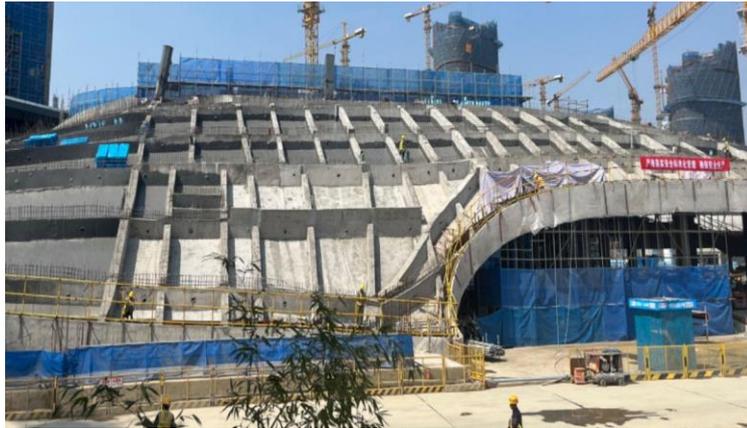


图 3-7 屋面反梁预留排水孔

3.1.6 可视化数字茶田管理

在国家“乡村振兴”政策中关于加强农业基础设施建设、强化农业科技支撑的方针引领下，项目结合安吉地区茶叶种植时面对的复杂种植条件与劳动力不足的双重困境，立项 BIM 课题开发可视化数字茶田管理平台，使项目成为开放式智能茶田种植示范基地，为广大茶农提供“智慧茶园”解决方案。



图 3-8 可视化农田管理平台（界面预览）

3.2 清水混凝土 BIM 专项应用

本项目的现浇清水混凝土主要分布在四裙房的公共空间屋面底板及异形洞口侧边、中央大平台屋面底板、茶田屋面边缘侧板、以及其他暴露于公众视野范围内的部位结构，清水混凝土总面积约 27548.30 m²。

双曲面形态下的清水混凝土深化设计难（禅缝分割效果），现场施工难（龙骨、模板深化加工、曲面形态控制），成形效果控制难（超长清水裂缝控制），参数化方案比选、参数化深化设计、数字化加工贯穿清水混凝土专项实施全流程。

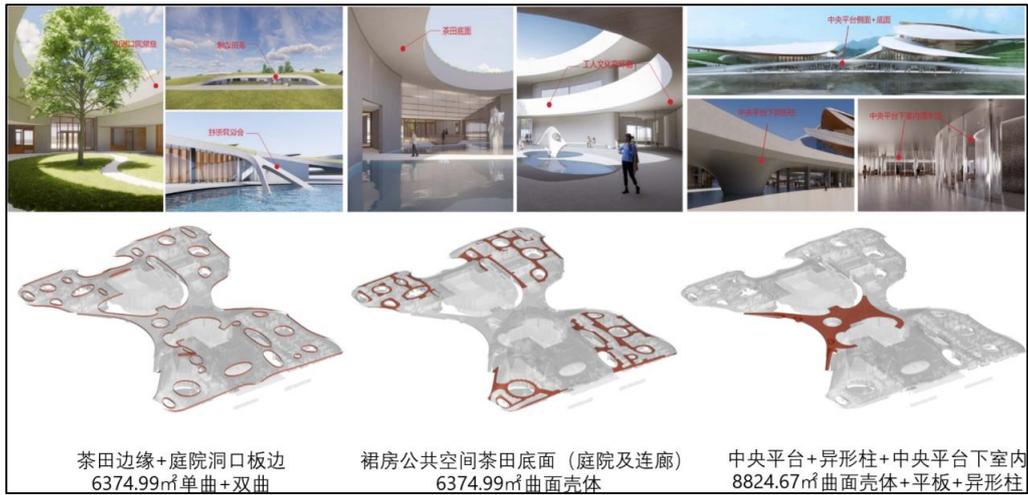


图 3-9 清水混凝土一览

3.2.1 参数化禅缝分割

洞口景观节点区域的屋面及立板禅缝相连，被游客一览无余，最需强调禅缝沿洞口排布的均匀性及放射向外的舒展形态，同时要保证出入口通道处延伸而来的的线性禅缝过渡自然。

在控制了最外环单片宽度的条件下，通过尝试不同的分割形式算法，改变参数动态调整进行比对选型，选择最均匀和谐的方案。

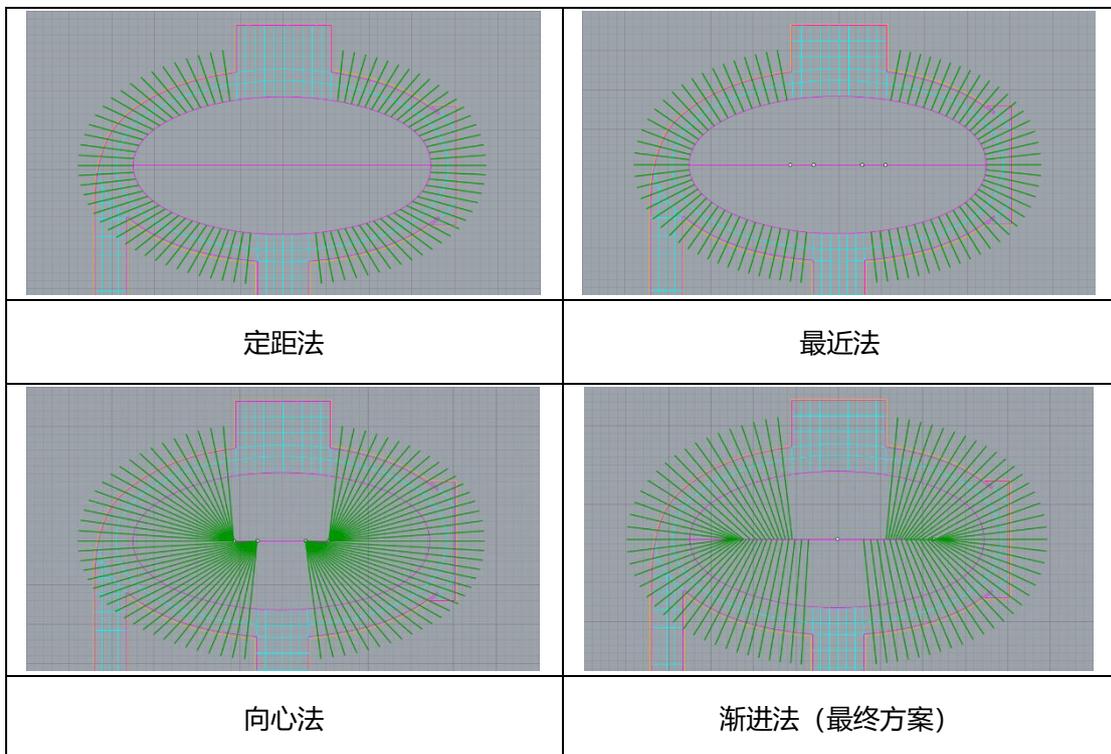




图 3-10 清水混凝土成型效果

3.2.2 模板、龙骨下料深化加工

边角高曲率区域的水面片在保持分缝曲线自然顺直的同时，要考虑高曲率双曲屋面上面片尺寸与平面尺寸的显著差异。将禅缝图层数据导入 gh 参数化平台，动态监控，使用弹力算法将面片展开，通过算法计算曲面与异形面片旋转后是否能够在矩形模板中套料，保证施工可行性。

| <p>弹力算法展开</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>图元名称</th> <th>图元 583</th> <th>图元名称</th> <th>图元 583</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>图元 485</td> <td>板片</td> <td>图元 583</td> <td>板片</td> </tr> <tr> <td>图元 510</td> <td>材料名称</td> <td>材料名称</td> <td>Concrete 1 (Linear Isotropic Model (E=28))</td> </tr> <tr> <td>图元 511</td> <td>三角系数</td> <td>三角系数</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>图元 507</td> <td>刚度系数</td> <td>刚度系数</td> <td>86</td> </tr> <tr> <td>图元 504</td> <td>边界数</td> <td>边界数</td> <td>210</td> </tr> <tr> <td>图元 497</td> <td>边界边数</td> <td>边界边数</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>图元 495</td> <td>边界长度</td> <td>边界长度</td> <td>6440.3589 mm</td> </tr> <tr> <td>图元 412</td> <td>最大内角</td> <td>最大内角</td> <td>(1,000,0.000)</td> </tr> <tr> <td>图元 408</td> <td>运行时间</td> <td>运行时间</td> <td>00:00:00</td> </tr> <tr> <td>图元 413</td> <td>当前步数/总步数</td> <td>当前步数/总步数</td> <td>0 / 1</td> </tr> <tr> <td>图元 472</td> <td>二次曲面拟合成功</td> <td>二次曲面拟合成功</td> <td>no</td> </tr> <tr> <td>图元 466</td> <td>二次曲面拟合失败</td> <td>二次曲面拟合失败</td> <td>no</td> </tr> <tr> <td>图元 581</td> <td>二次曲面拟合成功</td> <td>二次曲面拟合成功</td> <td>no</td> </tr> <tr> <td>图元 582</td> <td>二次曲面拟合失败</td> <td>二次曲面拟合失败</td> <td>no</td> </tr> </tbody> </table> | 图元名称 | 图元 583 | 图元名称 | 图元 583 | 图元 485 | 板片 | 图元 583 | 板片 | 图元 510 | 材料名称 | 材料名称 | Concrete 1 (Linear Isotropic Model (E=28)) | 图元 511 | 三角系数 | 三角系数 | 125 | 图元 507 | 刚度系数 | 刚度系数 | 86 | 图元 504 | 边界数 | 边界数 | 210 | 图元 497 | 边界边数 | 边界边数 | 45 | 图元 495 | 边界长度 | 边界长度 | 6440.3589 mm | 图元 412 | 最大内角 | 最大内角 | (1,000,0.000) | 图元 408 | 运行时间 | 运行时间 | 00:00:00 | 图元 413 | 当前步数/总步数 | 当前步数/总步数 | 0 / 1 | 图元 472 | 二次曲面拟合成功 | 二次曲面拟合成功 | no | 图元 466 | 二次曲面拟合失败 | 二次曲面拟合失败 | no | 图元 581 | 二次曲面拟合成功 | 二次曲面拟合成功 | no | 图元 582 | 二次曲面拟合失败 | 二次曲面拟合失败 | no | <p>面片展开检查</p> |
|--|----------|----------|--|--------|--------|----|--------|----|--------|------|------|--|--------|------|------|-----|--------|------|------|----|--------|-----|-----|-----|--------|------|------|----|--------|------|------|--------------|--------|------|------|---------------|--------|------|------|----------|--------|----------|----------|-------|--------|----------|----------|----|--------|----------|----------|----|--------|----------|----------|----|--------|----------|----------|----|---------------|
| 图元名称 | 图元 583 | 图元名称 | 图元 583 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 485 | 板片 | 图元 583 | 板片 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 510 | 材料名称 | 材料名称 | Concrete 1 (Linear Isotropic Model (E=28)) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 511 | 三角系数 | 三角系数 | 125 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 507 | 刚度系数 | 刚度系数 | 86 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 504 | 边界数 | 边界数 | 210 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 497 | 边界边数 | 边界边数 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 495 | 边界长度 | 边界长度 | 6440.3589 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 412 | 最大内角 | 最大内角 | (1,000,0.000) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 408 | 运行时间 | 运行时间 | 00:00:00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 413 | 当前步数/总步数 | 当前步数/总步数 | 0 / 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 472 | 二次曲面拟合成功 | 二次曲面拟合成功 | no | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 466 | 二次曲面拟合失败 | 二次曲面拟合失败 | no | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 581 | 二次曲面拟合成功 | 二次曲面拟合成功 | no | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 图元 582 | 二次曲面拟合失败 | 二次曲面拟合失败 | no | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

最终的禅缝分割设计方案双曲模型通过弹力算法，在保证精度的前提下进行二维拟合展开，生成可切割的平面面片，并通过 Grasshopper 软件进行整合编号出图，参数化生成下料加工图纸，导入精雕机使用专用的清水混凝土模板进行雕刻，在清水范围向外扩 300mm 范围内在普通模板上额外进行铺设，以达到清水曲面效果。

在确定屋面禅缝分割设计方案后，根据屋面禅缝位置确定立板分缝方案，通过参数化方法确定立板栓孔点位及龙骨排布位置，根据所在位置双曲屋面弧度建立龙骨模型并分层、分段下料，导入精雕机加工，支撑现场施工。

3.3 仿生叶片金属屋面 BIM 专项应用

12 片仿生叶片曲率、高差各不相同，与钢结构桁架、主体建筑、大玻璃幕墙均有空

间交叉：表皮调整难度大、深化设计难度大、计算分析难度大、加工实施难度大。因此，从方案设计、排水分析、曲面调整、分板设计、分板构造深化、单板深化下料、加工运输、现场安装均采用 GH 参数化进行正向设计、深化加工及施工。



图 3-11 仿生金属屋面叶片效果

3.3.1 分板优化

通过 grasshopper 对各种尺寸的金属板分割方案进行对比，以原板拱高小于短边边长的 1/100，拟合后板块翘起值小于长边的 1/100 为限制条件，对分割的双曲金属蜂窝铝板进行平板化、双曲转单曲优化，在保证曲面效果的同时，降低加工成本，提高安装效率。

综合比对分割方案后，最终确定的顶面蜂窝铝板分隔为 1.5*3.2m，底面分隔为 1.5*6.0m。

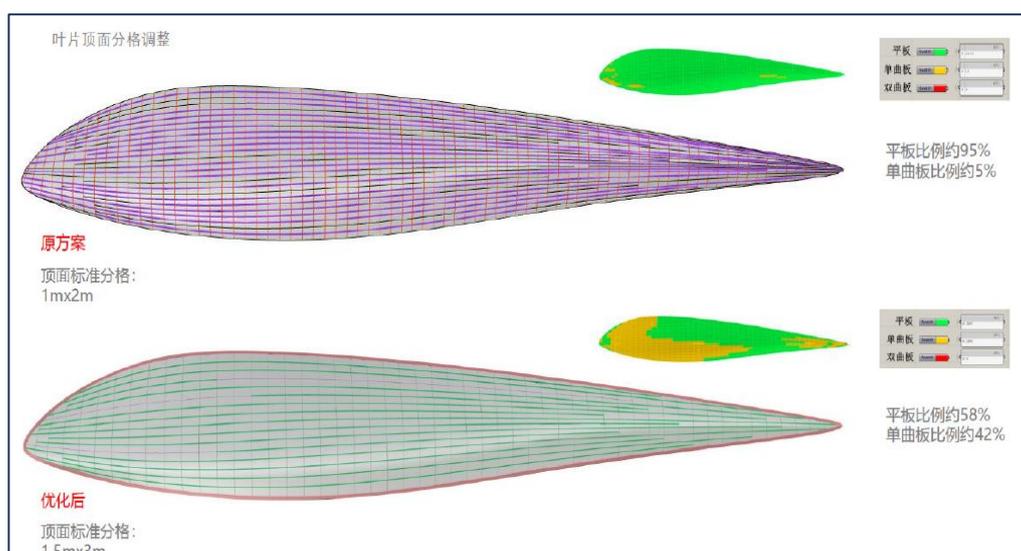


图 3-12 分板优化前后对比



图 3-13 叶片模型与实体样板

3.3.2 排水分析

叶片下方与各类功能房间、室外景观有空间交错，叶片曲面又尤为复杂，因此各个叶片的排水组织具有相当的难度，需要借助 Rhino+gh 逐个叶片进行分析，并有针对性的进行深化设计，使曲面的无组织排水向有组织排水转变。

✧ Step1: 对叶片的排水范围进行划分，区分组织形式

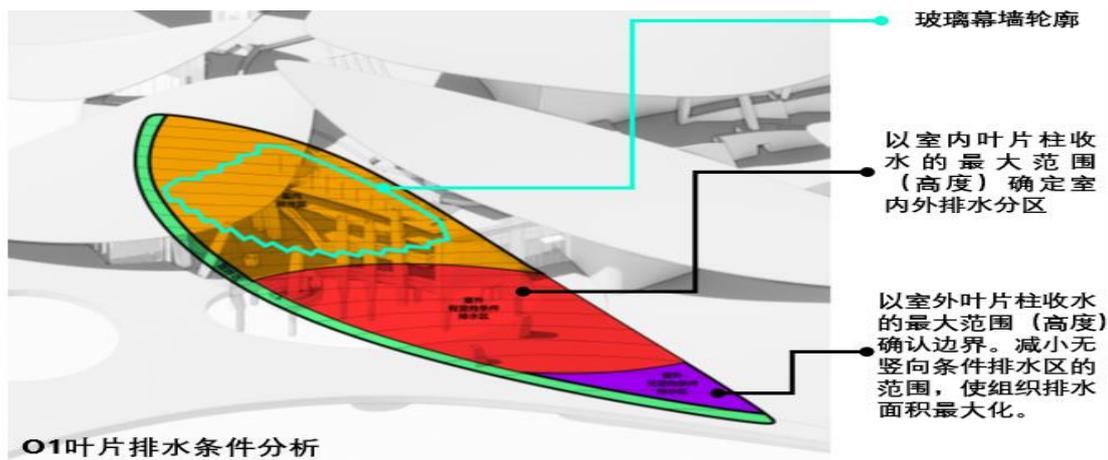


图 3-14 O1 叶片排水分析

✧ Step2: 使用 gh 对叶片表面的流水进行模拟分析

得出可设置管道的最低线位置，根据此原则增减天沟，并增加导流条。以 01 叶片为例：调整天沟与导流条布置后，gh 计算模拟的天沟及檐沟汇水比例提升到 90.66%，管道排水比例提升至 82.5%。

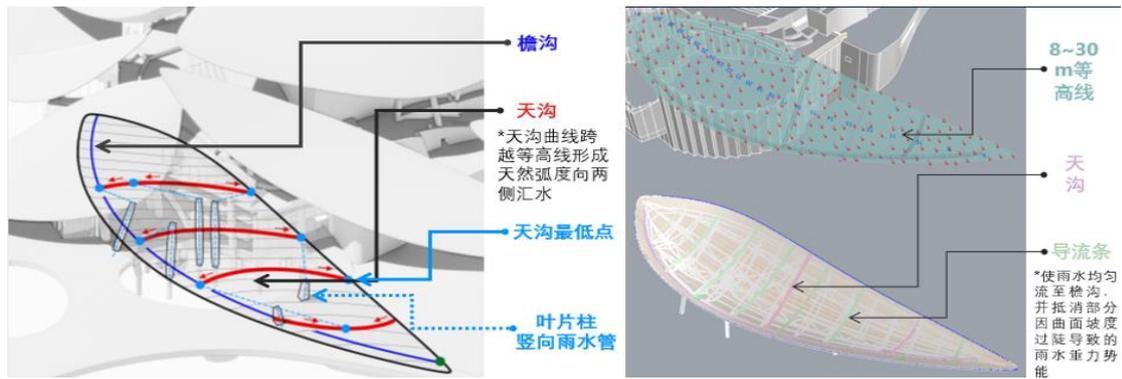


图 3-15 Gh 叶片排水组织逻辑

◇ Step3: 使用 C4d+realflow 对 50 年重现期暴雨下情况的排水情况进行复核

经模拟：原设计的天沟曲度在暴雨及雨水重力势能下失效，尾部呈现无组织喷溅状（上图），比对天沟上拱与下拱下的雨水情况（左图），进一步调整天沟曲线（坡度较大区域天沟下拱收水），并使檐沟在天沟处断开，避免交接处集水井失效，阻挡雨水冲向叶尖。

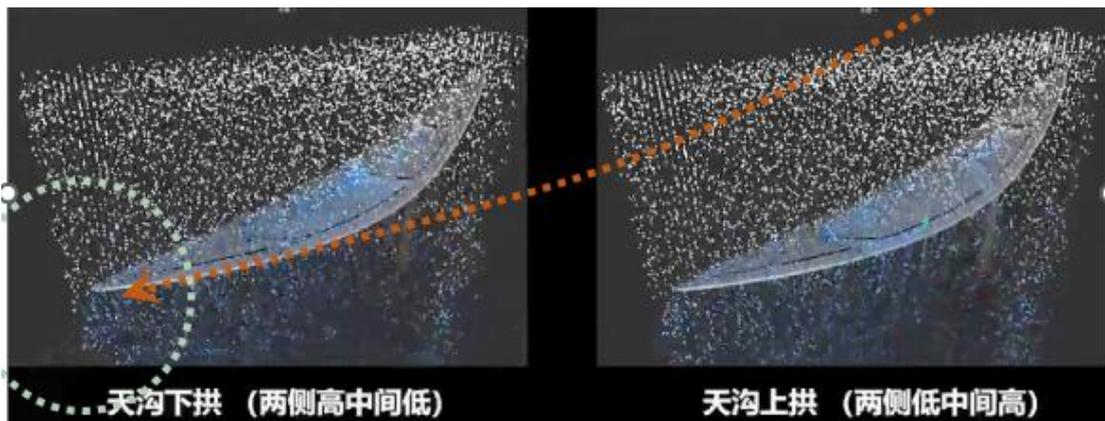


图 3-16 50 年一遇暴雨模拟

3.3.3 C8bim+RFID 物料追踪系统

项目整体金属屋面蜂窝面板达 7000 多个，各个面板均有差异，人工盘点费时费力。项目采用 BIM+RFID 物料追踪系统，对每块板粘贴 RFID 标签，并和协同平台的模型联动，对金属屋面从设计、加工、运输、盘点、安装的全过程进行可视化管理。管理效率直线提升。

采用 Rhino inside Revit 对 3dm 格式的金属屋面构件进行批量化参数赋值，并接通 C8bim 协同平台。通过手持扫描仪，在各个阶段更新模型状态，在轻量化平台上实时浏览。通过位置定位功能，通过手持机的“滴滴”声，可快速定位所需构件位置，提高盘点及安装效率。（已授权发明专利）

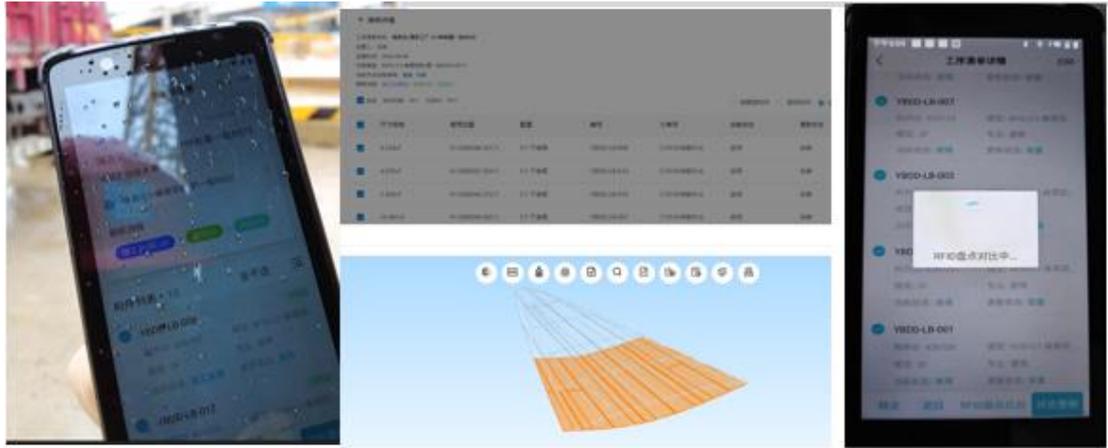


图 3-17 构件进场验收及定位盘点

3.4 仿生叶片金属屋面 BIM 专项应用

本项目大玻璃幕墙分为折线无肋全玻幕墙与平面肋全玻幕墙两个系统，主要分布于大剧院（296 块）、会议中心（193 块）两个单体的主要入口。

其中使用的单块通高 19m 的 low-e 中空夹胶玻璃为全国最高。作为项目单项产值最高（1 亿+）的子项工程，超规格大玻璃的计算、设计、加工、运输、施工组织成为项目实施过程中的一大重点。



图 3-18 玻璃幕墙效果

3.4.1 幕墙高度控制

由于超高玻璃的工艺限制。原设计存在超过 20m 以上的玻璃肋与折线玻璃幕墙，因此在深化设计阶段，通过平台的接入与叶片形态的调整，使幕墙高度压低到限值以下。

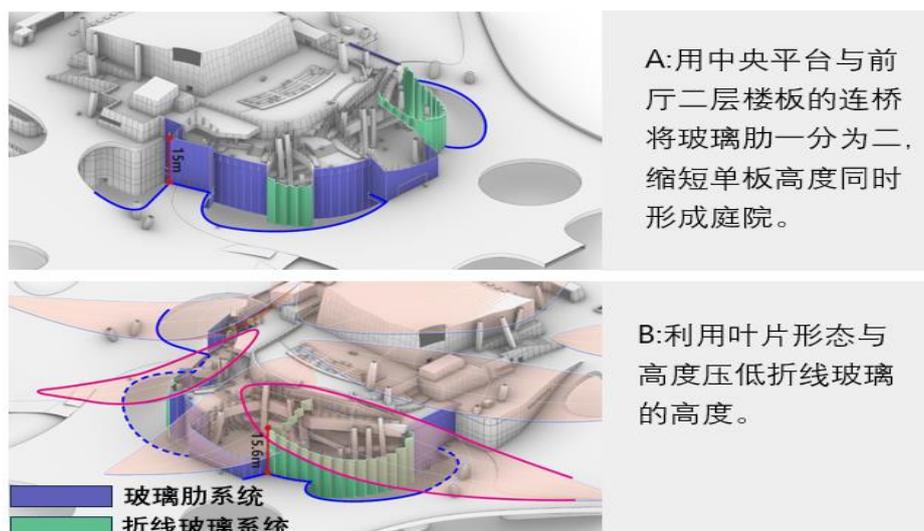


图 3-19 超大玻璃方案深化设计

3.4.2 节点深化

部分折线玻璃顶部深入叶片金属表皮内部,局部叶片内部钢筋桁架与玻璃顶部交错,通过模型对玻璃顶部逐片深化,采用玻璃斜切与平切结合的深化方式,尽量采用平切减少加工难度,无法避免的情况下采用斜切,在保证外观效果的情况下,减少主体结构调整。通过模型深化,对与幕墙交接的各专业点位进行优先处理。

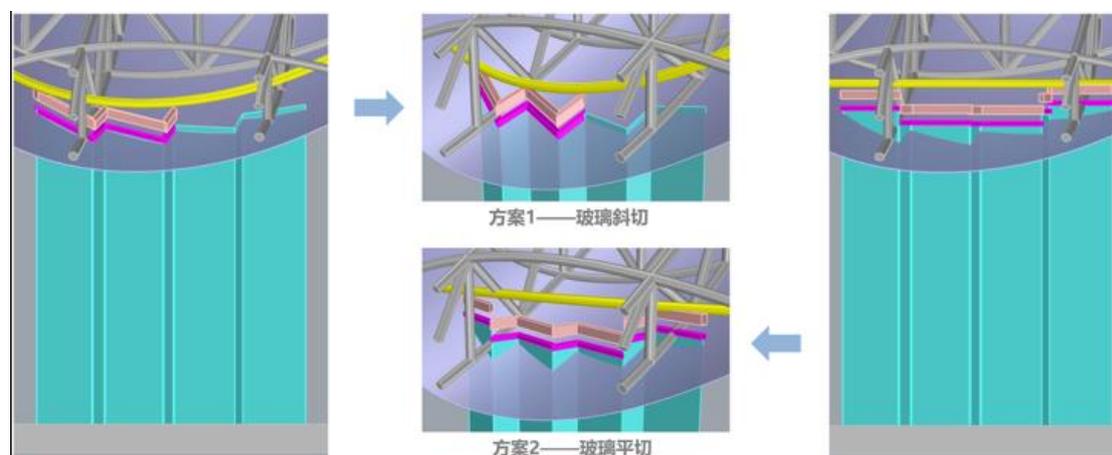


图 3-20 幕墙玻璃节点深化

3.4.3 专项施工模拟

超规格玻璃幕墙对于场地安装的要求较高——运送通高 19m 大玻璃的超长运输车、国内最大的吸盘安装车需要的操作空间较大。使用 BIM 对大玻璃的整体安装流程、施工场地排布、紧前紧后工序进行推衍。



图 3-21 超高玻璃安装施工模拟

3.5 综合机电+舞台机械 BIM 专项应用

3.5.1 机电深化流程和重难点分析

安吉文化艺术中心项目作为集成文化表演、培训、教育、体验等公共服务的公共综合体，涉及机电专业更为庞杂，曲面造型、各类功能构件交错下，空间关系更为复杂，再加之极其严苛的净高要求对项目整体的机电设计、深化设计、施工难上加难。项目配置专业机电 BIM 工程师团队，从设计、深化设计、施工全过程超前服务，做到真正的 BIM 模型正向出图。

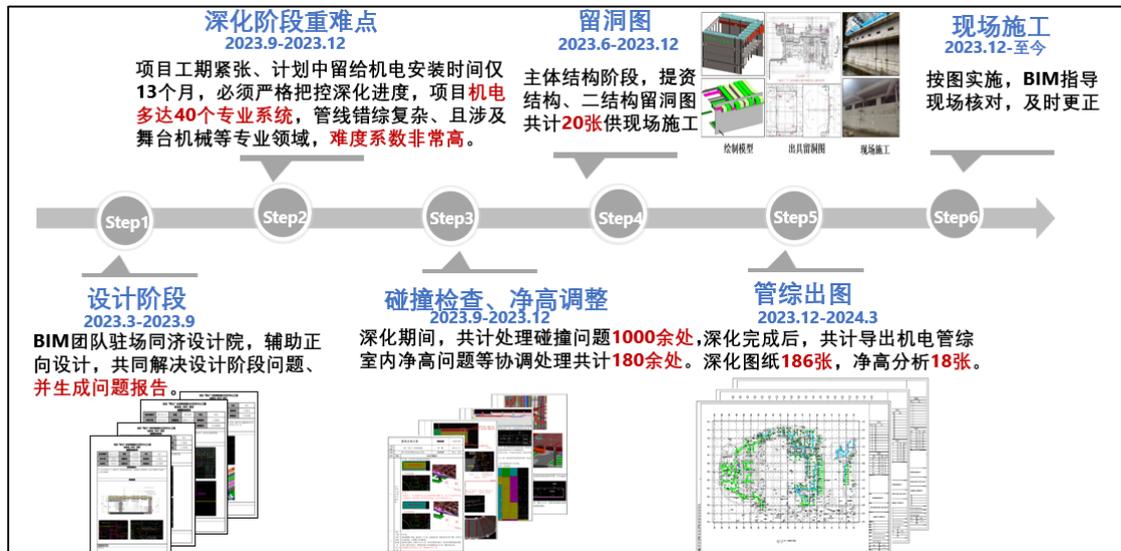


图 3-22 机电深化流程一览

3.5.2 异形曲面下机电管线工艺、管综优化

曲面顶板与曲面吊顶间，机电管线要经过多次翻弯贴合曲面弧顶与异形曲面吊顶，确保室内空间净高的最大化。机电管综深化难度呈指数型增长。同时，在结构净高有限

的情况下，机电管线经过多轮压缩，最大化区域净高。

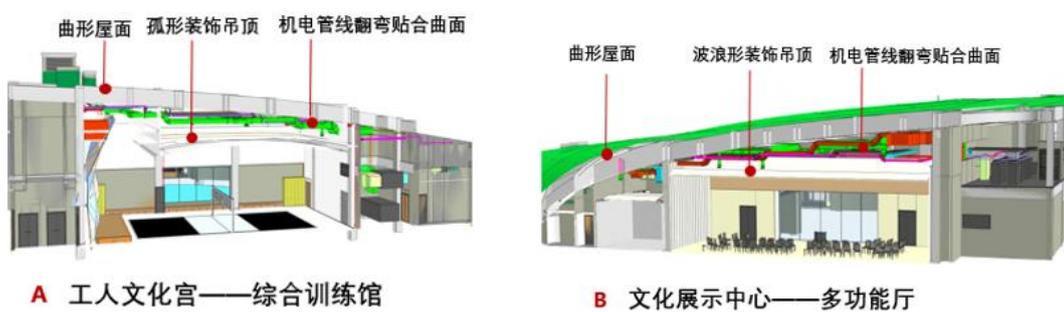


图 3-23 异形曲顶下机电管综

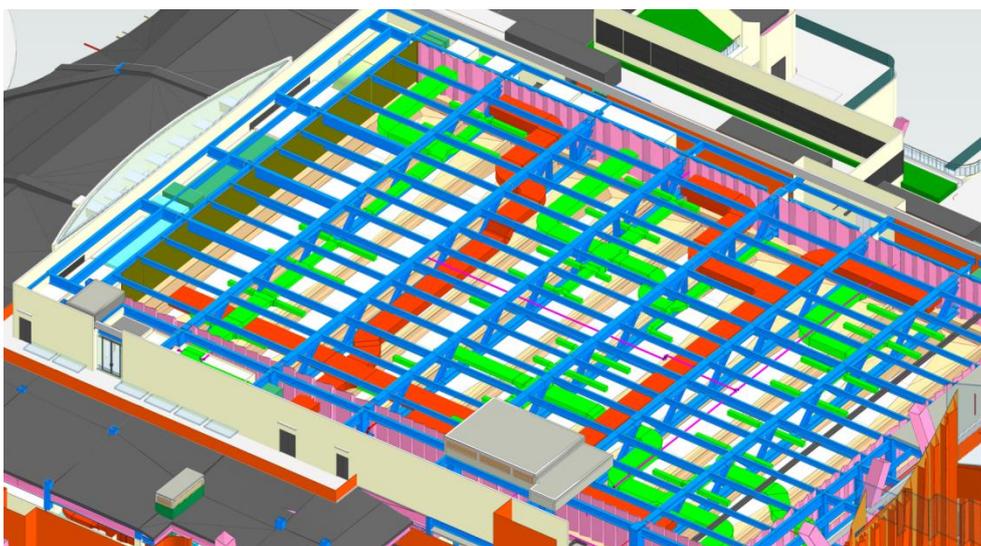


图 3-24 机电管线在钢桁架、马道、吊柱间穿行

3.5.3 舞台机械超前深化

本项目舞台机械深化工作充分前置，针对舞台机械将相关模型进行整体模型碰撞检查，筛查冲突区域和结构条件，主体结构封顶前所有碰撞均解决，三个月完成全部舞台机械安装。

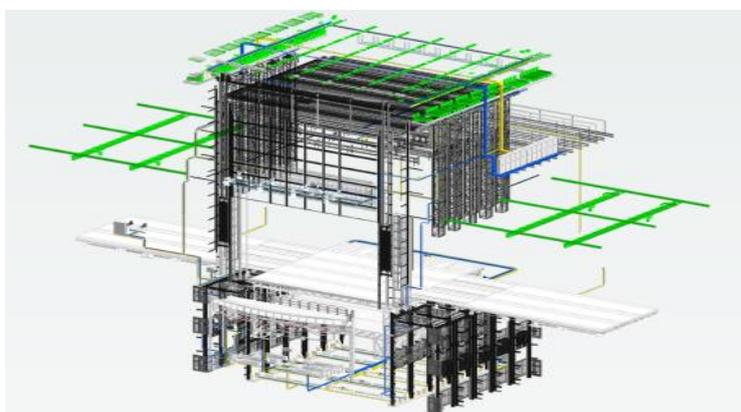


图 3-25 大剧院舞台机械模型

◇ 深化点 1:

原设计在格栅与滑轮层间有一排消防管道，影响舞台机械钢丝绳穿行，协调设计改为下喷淋做法。

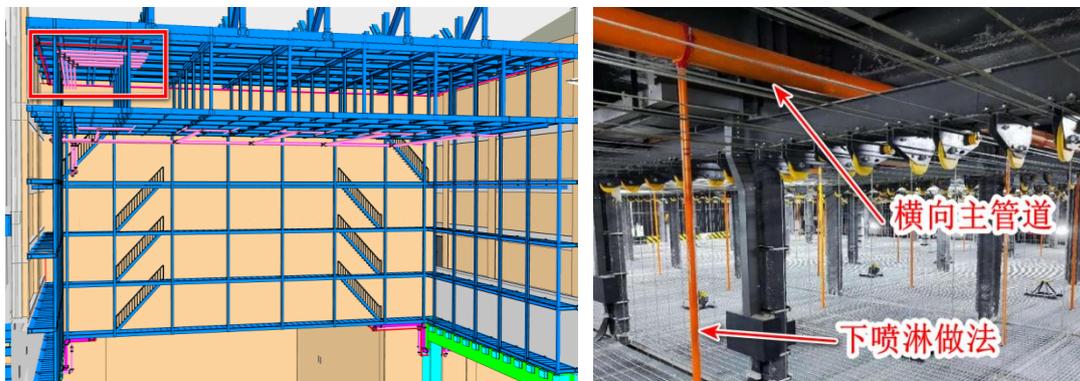


图 3-26 舞台机械与管综模型检查

◇ 深化点 2:

碰撞检查发现艺术教育多功能厅钢结构单位深化模型较设计图减少 10cm 净距(局部深化调整)——调整舞台机械滑轮组设计。

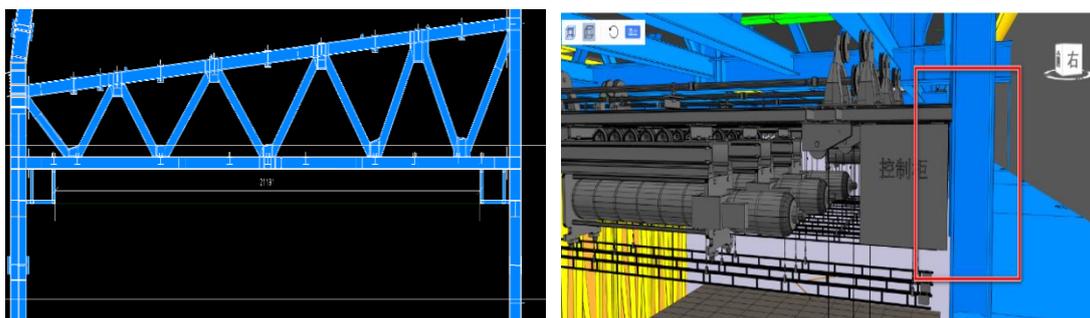


图 3-27 艺术培训舞台机械模型调整

4. BIM 技术应用效益与测算方法

4.1 经济效益

得益于扎实的 BIM 基础深化，全部过程干涉无重大碰撞问题，避免因深化进度紧张、多专业间深化盲区、深化时间交叉导致的深化错误影响现场进度，提高复杂项目专业间问题协调效率。迄今为止的 BIM 工作，以提高工作效率与成品质量为重点，切实保障了紧密工期下复杂结构的无障碍施工。

1) 金属屋面深化加工

在模型排版下料加工方面。通过参数化技术进行排版下料加工，极大地减少原材料

的浪费，提高材料利用率，从而有效控制项目成本。在金属屋面的分板过程中，通过参数化方法可以优化分板方案，减少材料的切割和拼接，从设计源头节约工期约 20 天。

2) 景观茶田深化

对园路参数化调节，避免与主体结构、水电管线碰撞，累计发现 181 处碰撞点，减少返工工期 15 天。数据可视化，优化 xps 垫层厚度，减少不必要的材料浪费，经项目商务测算预计节约材料用量 17.6%。

3) 清水模板分缝

在清水模板的分缝设计中，通过参数化方法可以精确计算和排布各个模板，避免施工过程中出现二次调整和修饰的需求，从而减少不必要的施工成本和时间浪费。通过参数化进行龙骨、模板深化加工，优化方案，提高施工效率 30%。

4) 幕墙深化设计、模拟穿插施工

对幕墙进行深化设计，着重对与幕墙交接的各专业点位进行优先处理，在保证视觉观感前提下，避免与结构主体的碰撞，并且通过工序穿插模拟，发现局部施工工序不合理的地方，提前进行规避，避免后期安装导致的拆改，累计发现碰撞点位 253 处（与金属桁架、机电管线、混凝土主体等），提前节约工期 30 天。

4.2 科技效益

项目始建以来，BIM 应用成效显著，博士工作站的成立为项目攻坚克难、培育人才、科技创新、成果转化等提供强有力的支持，成为科技赋能建造的标杆，过程中解决相关问题的经验转化形成了一系列的参数化科技应用成果，为推动项目数字化建设、智能化发展打下了坚实的基础。

迄今为止，项目已形成了相关专利 13 项（BIM 参数化发明专利 7 项）、已发表论文 15 篇、省部级 QC 成果 18 项，国家级 QC 成果 1 项，省部级工法 2 项，局级课题 1 项，公司级 BIM 课题 1 项。

| | 序号 | BIM 科技成果 |
|--------|----|---|
| BIM 专利 | 1 | (发明-已授权) 用于变截面双曲梁的 GH 参数化建模方法及系统 _CN202111221054.7 |
| | 2 | (发明-实审中) 一种用于可视化吊重分析的 GH 编程组_CN202410038701.8 |
| | 3 | (发明-实审中) 一种用于地下室分区施工方案推演的 BIM 模型分析方法 _CN202310879430.4 |
| | 4 | (发明-已受理) 一种用于弧形墙的直角梯形砌块参数化排砖方法 |
| | 5 | (发明-已受理) 一种用于山地路径规划的逐次二分循环采样数据分析方法 |

| | | |
|------------------|---|---|
| | 6 | (发明-已受理) 一种用于景观 XPS 垫层计算的 GH 编程组 |
| | 7 | (发明-已受理) 一种用于多曲面雨水径流分析的数据分析方法 |
| BIM 工法 | 1 | 基于 BIM 参数化的曲顶弧墙砌筑方法 |
| BIM 论文 | 1 | BIM 数据流交互在 EPC 项目的应用 |
| | 2 | GH 参数化在建筑施工阶段的应用分析 |
| | 3 | 基于 Rhino+grasshopper 参数化方法的自由曲面种植屋面景观设计分析 |
| | 4 | BIM-MEP 系统在复杂 EPC 项目的管理与应用 |
| BIM +QC | 1 | 关于提高曲面弧形墙体 BIM 建模效率的方法 (国家级) |
| 局级 课题 | 1 | “竹叶茶田, 舞台光影” 文化艺术中心 (EPC) 综合建造技术研究与应用 |
| 公司 BIM 课题 | 1 | 双曲空间形态建筑设计、深化、施工 BIM 参数化技术研究与应用 |

5. BIM 技术应用推广与思考

在 EPC (工程总承包) 项目中, 工期紧张常常是一个不可避免的挑战。为了在这种情况下确保设计与施工节点的顺利进行, 采取一模通用的策略尤为关键。这意味着从初始的方案模型到详细设计再到深化设计, 使用同一个统一的模型。这种方法有助于在各个阶段之间实现无缝对接, 从而提高工作效率, 避免因信息不一致而导致的返工和延误。统一的模型不仅能够减少沟通成本, 还可以确保各方对项目的理解一致, 从而更好地协同工作。此外, 通过统一的模型, 项目团队可以更早地发现潜在问题, 并及时采取措施加以解决, 进一步保障项目按期完成。这种方法在工期紧张的项目中尤为重要, 因为它能够显著提高整个项目的整体效率和质量。

在复杂异形曲面的项目中, 采用大量的参数化分析技术进行模型分析、图纸深化和下料加工已成为趋势。这些技术的应用能够显著提高设计和施工的精确度, 减少因人为因素导致的误差。同时, 参数化分析技术还可以通过模拟和优化设计方案, 帮助项目团队更好地应对复杂的工程挑战。然而, 尽管数字化建造技术具有巨大的潜力, 但必须脚踏实地, 确保每一步都稳妥推进。数字化建造不仅需要先进的技术支持, 还需要团队的紧密协作和严格的项目管理。只有在保证基础扎实的前提下, 才能充分发挥数字化建造的优势, 提升工程质量和效率, 最终实现项目的顺利完成。这种实事求是的态度对于实现“数字化建造”目标至关重要。

由中建八局牵头组建的 BIM 工作室，从正向设计到深化设计再到正向施工，提供全过程“陪伴式”BIM 服务。这种服务模式确保了在项目的每一个关键阶段都有专业团队的支持和指导，保证了设计和施工的高效衔接和信息的一致性。BIM 工作室的介入不仅提高了项目的整体质量，还减少了因沟通不畅和信息不对称而导致的延误和错误。这种全程陪伴的服务模式，充分体现了 BIM 技术在现代工程项目中的重要作用和巨大潜力。

二、成都科幻馆装饰 EPC 施工全过程数智化建造技术创新与综合应用

1. 项目概况

成都科幻馆作为中国西南超级地标和 2023 年成都市 1 号工程，建成后作为第 81 届世界科幻大会主场馆投入使用。成都科幻馆项目总建筑面积约 5.94 万 m²，室内精装修面积约 3.2 万 m²，总建筑高度约 31.9 m，建筑包括地上三层，地下一层。内部包括时空隧道、中庭、雨果厅（开闭幕式及颁奖仪式主场地）、雨果奖博物馆（主展览场地）、展厅（论坛空间）、会议室、贵宾休息室、及配套附属空间，具有多层次、多功能相连的特点。成都科幻馆由上海建工装饰集团以装饰全产业链式 EPC 模式承建。上海建工装饰集团作为装饰全专业设计施工总承包单位，除精装深化设计、精装施工外，还涵盖对园林景观、泛光照明、音视频、智慧场馆、电梯工程、软装工程、标识工程、二次机电、储能工程等多维度的装饰全专业系统性管理。成都科幻馆建造过程中，上海建工装饰集团数字化团队深度运用 BIM 技术，大胆进行结构设计优化创新，不断研发应用智能装备，结合 AR 辅助追求极致工艺效果，以数字设计与工业智造实现可视化施工交底，真正做到“所见即所得”，让“科幻巧思”从设计变为现实。



图 1-1 成都科幻馆效果图



图 1-2 成都科幻馆实景图

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

本项目中，数字化团队通过创新研发和集成应用工业化、数字化、智能化装饰建造核心技术，配合项目部建立了一套业务落地、技术领先的建筑装饰工程全生命周期完整数字化建造解决方案，包括无接触式数字化勘测、一体化协同设计、工业化生产加工、全装配化机器人安装等多个应用阶段及应用维度，实现了前沿数字化技术与高端智能装备在装饰工程中的融合应用，辅助项目部开展装饰工程全生命期的动态可视化管理、信息共享以及决策支持，实现传统装饰产业的技术改造和升级，实现高性能工程产品的交付及工程全生命周期的增值和生态可持续建造。

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

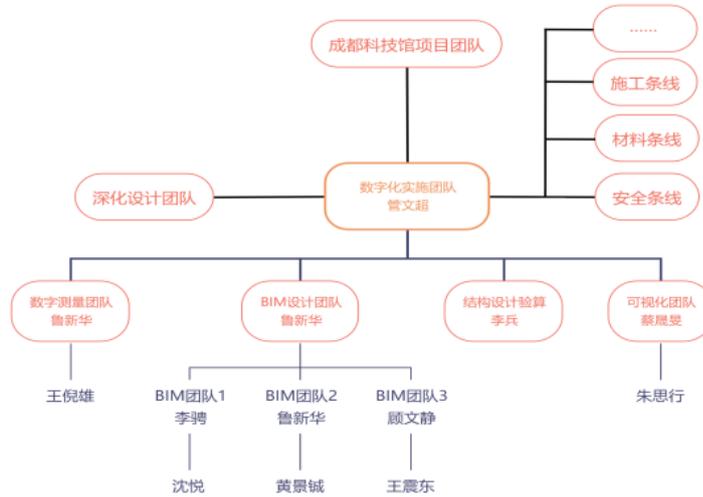


图 2-1 项目组织架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

根据《上海市建筑信息模型技术应用指南》（2017 版）、《建筑信息模型施工应用标准》、《建筑工程设计信息模型制图标准》、《BIM 实施应用手册》编制《成都科幻馆项目 BIM 实施导则》，通过项目实际应用，形成了一套从建立标准、模型维护、沟通机制到数字化交付的完善流程。

2.2.3 BIM 应用环境

在三维扫描测量、BIM 设计、参数化建模、数控加工、施工模拟、智能施工、数字管理全过程应用数字化和智能化建造技术，针对性解决成都科幻馆项目重难点问题。如图 2-2 所示，除常规硬件配置，本项目根据科幻馆特色，配备了全站仪、三维扫描仪、go pro 等设备，同时在软件上，也使用了参数化软件和自主研发插件系统用于细部深化。

| | |
|----------------|-------------------|
| Rhino7.0 | 复杂区域模型创建与深化 |
| Revit2016 | 整体布展及安装模型创建 |
| Sketchup2020 | 局部模型创建 |
| Navisworks2016 | 模型整合与浏览、碰撞检查、施工模拟 |
| 3dsMAX | 展项吊装模拟、视频漫游 |
| Vault 2016 | 协调管理平台 |
| EASE4.4 | 声学模拟软件 |
| DIALux | 环境照度模拟 |
| PS、AE | 图片、视频后期处理 |



全站仪:点位放样



激光扫描仪:三维扫描



相机及gopro:延时摄影



图 2-2 BIM 软硬件应用环境

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 基于有限元分析的飞天梯表皮系统结构优化设计技术

针对项目飞天扶梯外包装的内外双层双曲异形镜面不锈钢装饰艺术表皮，进行飞天梯表皮系统结构优化设计技术创新，把承担装饰表皮荷载的原非标扶梯方案，优化分解为装饰表皮自承重系统和标准扶梯系统两个独立系统，由标准扶梯桁架承担扶梯自重，新增装饰钢梁承担装饰表皮荷载，把原非标扶梯 4 个月的加工周期缩短为标准扶梯构件 2 个月的加工周期，缩短项目工期 60 天，确保项目完工节点；表皮系统自成结构体系与扶梯脱开，有效降低共振安全隐患；将实体单元模型导入有限元软件进行分析，验证骨架对不锈钢饰面的支撑承载能力，确保双层表皮系统整体强度和结构稳定。

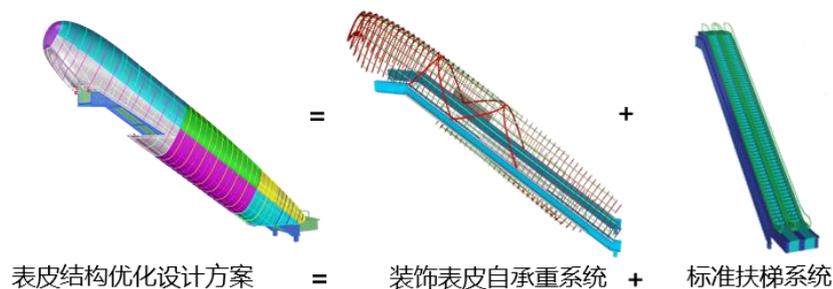


图 3-1 飞天梯表皮系统结构优化设计方案

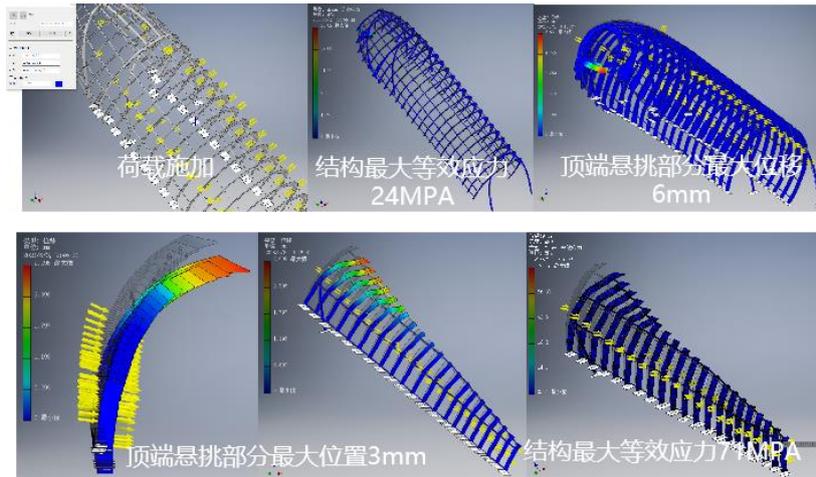


图 3-2 飞天梯表皮骨架有限元分析验证

3.2 基于 rhino 和 grasshopper 的异形曲面曲率优化设计技术

以参数化设计为导向，研发了基于 rhino 和 grasshopper 的异形曲面曲率优化设计技术，提取 rhinoceros 中双曲面到 grasshopper 后通过 GALAPAGOS 求最优解获取压弧线，将部分双曲面优化为单曲面，降低了饰面板块加工难度，有效消除了板块间的翘曲缝隙，提高了曲面不锈钢饰面板块加工效率和安装质量。

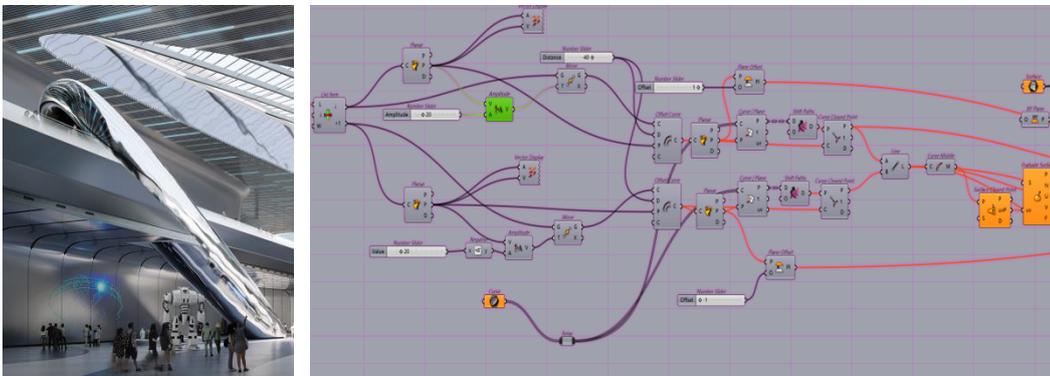


图 3-3 基于 rhino 和 grasshopper 的飞天梯镜面不锈钢异形曲面曲率优化设计

3.3 基于 BIM 模型的异形钢结构装饰一体化深化设计技术

基于 BIM 参数化建模，短期内高效推进结构深化进度；考虑结构装饰一体化，在面板间隔布置切割面，在切割面内布置桁架片，横向密布平行龙骨刚接；通过平行切割面设置有效控制横向连杆二面角，大大降低钢构件加工难度；通过有限元节点仿真分析，验证异形钢结构体系的整体稳定性。

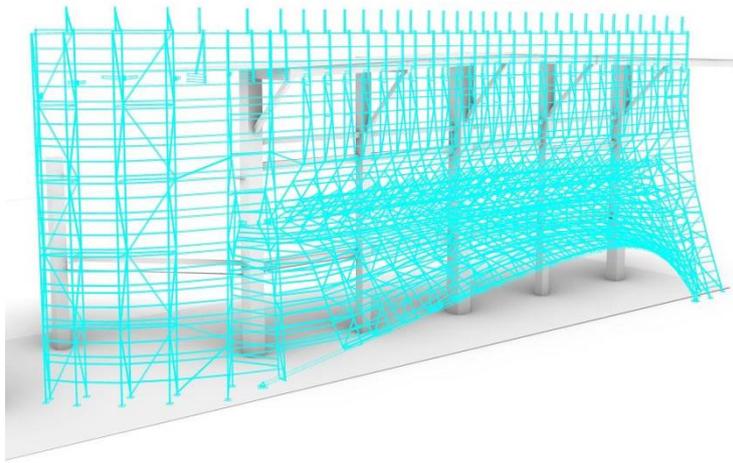


图 3-4 异形钢结构装饰一体化深化设计

3.4 基于工业设计和数控加工的异形钢结构构件批量化加工技术

在工业加工方面，建立参数化程序，自动化批量生成龙骨模型。对每个构件输出带编号的.step 工业格式模型，模型对接导入数控激光切割设备，机器自动识别构件特征，自动生成切割路径及特征标记，按照模型设计的角度进行精准下料和坡口切割，激光雕刻构件编号及定位标记，辅助现场精准定位和有序组装。

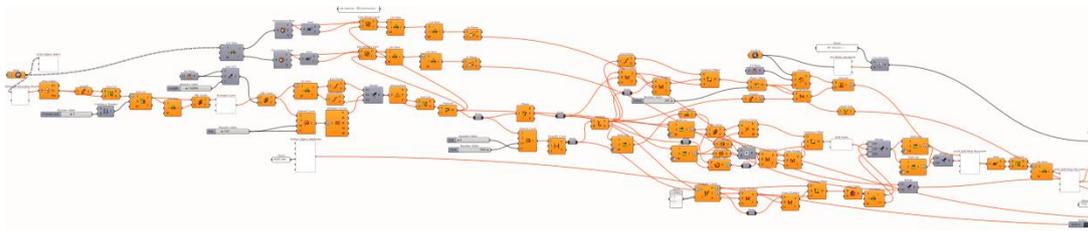


图 3-5 建立参数化程序自动化批量生成异形钢结构龙骨模型



图 3-6 建立批量导出程序导出带编号的.step 钢构件工业格式模型

3.5 基于智能放样机器人的异形钢结构高精度定位安装技术

将现场已完成的异形钢结构结构进行三维扫描，数据导入 BIM 模型进行比对；结合智能放样机器人测量定位放样，对有误差的钢架位置进行补偿修正，实现适配多曲面

的异形钢结构体系毫米级精度建造；通过 AR 模型与现场实际构件比对，辅助施工管理人员轻松进行可视化验收。

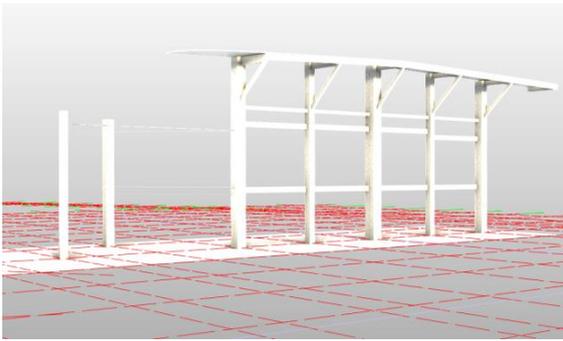


图 3-7 现场结构三维扫描与 BIM 模型比对



图 3-8 异形钢结构现场 AR 辅助验收

3.6 正交网格跌级钢结构转换层装配式建造与量化设计技术

针对雨果厅顶面异形饰面与主体结构转换连接关键问题，研发一种装配式跌级钢结构转换层，相比传统转换层焊接施工，提升工效 50%以上。同时创新钢结构量化设计技术，结合数字化辅助精准下单，节省项目转换层钢材成本 30%以上。

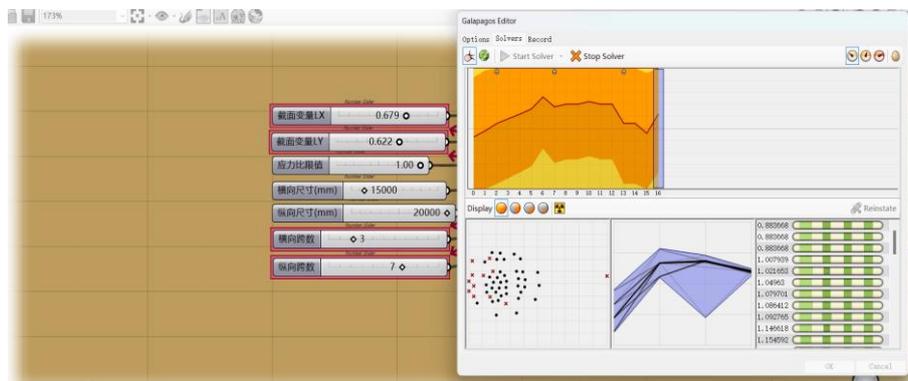


图 3-9 雨果厅转换层结构跨数和截面积量化设计

3.7 墙顶一体化超大面积双曲异形 GRG 参数化设计与模块化建造技术

针对雨果厅顶面羽毛搭接构造的设计网格模型进行重构，研发自适应的参数化设计技术，建立集成个性化定制、柔性化生产等特定要素的智能建造系统性解决方案，将 27 块超大板块、其中 24 片羽毛，4940m² 异形饰面，调优解构为 1160 块模块单元。对墙顶一体 GRG 安装进行施工工艺模拟，通过可视化施工交底，真正做到“所见即所得”，提升超大面积异形饰面从基层到饰面全装配化安装效率。

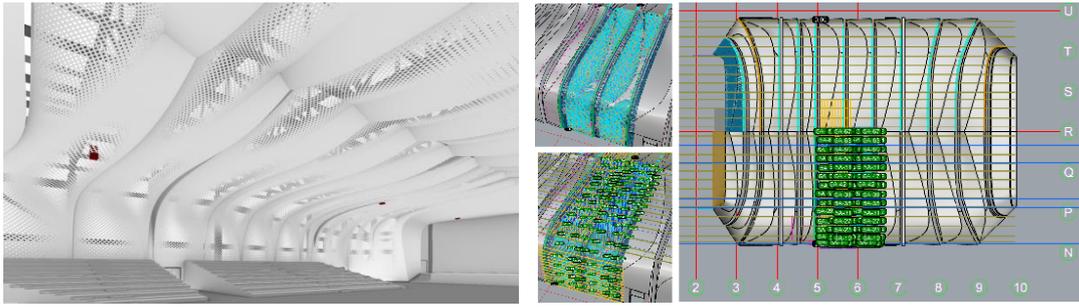


图 3-10 雨果厅顶面网格模型参数化分割排版

3.8 基于数字标签的建筑构件可追溯物流管理平台开发

以项目重点大宗材料加工安装进度管控及物流管控的实际需求为导向，开展建筑构件可追溯物流管控技术研究，实现装饰构件从加工、运输、安装全过程的数字化跟踪和控制，提供 GPS 定位、进度看板和形象进度表辅助项目部及集团管理人员直观了解重点材料加工安装进度及物流运输信息，在项目工期严峻的前提条件情况下有效提升项目工期进度管控水平。开发基于数字标签的建筑构件全生命周期物流管理平台软件，针对建筑构件制造过程中涉及多个环节和参与方，部分关键信息难以有效、准确地传递的现状，建立建筑构件实体与数字化流转的关联映射，实现项目物流信息的数字孪生和高效运转。



图 3-11 基于数字标签的建筑构件可追溯物流管理平台

4. BIM 技术应用效益与测算方法

在深化设计阶段，通过 BIM 技术结合参数化设计的正向深化设计模式的应用，解决“飞天梯”、“大眼皮”等区域双曲面饰面及龙骨设计问题，的将大部分深化工作前置

于项目进场，提前避免 80%的碰撞项，缩短现场 30%深化设计周期；应用参数化设计技术结合遗传算法，将 60%双曲面进行拟合及优化为单元板块或标准板块，大幅节约了超过 200 万工程材料及安装成本；在产品加工阶段，通过数控机床等数字化加工设备应用，实现智能化加工，精度提高 40%以上，加工速度提升 30%以上。在现场实施阶段，通过全站仪、三维扫描测量设备等先进测量仪器的应用，将原来测量放样需要 40 多天的工期降低到 14 天，从而减少了人工并节省了工期。

5. BIM 技术应用推广与思考

在成都科幻馆项目中创新研发和集成应用工业化、数字化、智能化装饰建造核心技术，在 150 天的超短工期内，完成 3.2 万平米精装面积 超大体量的 梦幻级科幻场馆精致建造，充分还原极致科技感。数字化在工程全阶段的深度应用造就了成都科幻馆建筑的科技感与未来感，加上设计中所蕴含的古蜀文化意象，引发人们无穷的遐想。这也让成都科幻馆在社交媒体上被誉为“国内最具科幻感的建筑”。项目中充分发挥“数据驱动生产”的理念，成功应用“设计数字化，生产无图化，建造智能化”的技术优势，为项目按期交付保驾护航。技术推广应用可以为后续大量地标会展场馆类项目精益建造提供可复制的技术经验和工程示范。

三、大型复杂异形双曲面建筑群数字化建设 ——嘉兴南湖未来广场项目

1. 项目概况

嘉兴南湖未来广场坐落于以嘉兴南湖纪念馆为中轴线的南湖大道旁，毗邻嘉兴大剧院、嘉兴体育中心，是嘉兴市“百年百项”重大工程、嘉兴市“十大标志性工程”之一。按照嘉兴市全面提升城市品质功能，塑造“红船魂、国际范、运河情、江南韵”的城市新风貌的总体目标，建成后的嘉兴南湖未来广场将成为嘉兴市最大的综合性场馆，成为面向市民、服务市民的重要城市节点，成为广大市民开展学习交流、休闲娱乐的重要场所。

项目总建筑面积约 18 万平方米，其中地上 7.2 万平方米，地下 10.8 万平方米，主体为文化中心建筑群，分别为科学技术馆、青少年活动中心、妇儿活动中心及地下配套商业、青少年剧场、球幕影院、4D 影院及车库等空间。建筑群坐拥 6000 平方米中央绿地，并设有景观环廊和跑步道，实现了“人+建筑+自然景观”的和谐融合，不仅是市民休憩观赏的好去处，还将为市民提供便捷高效的教育培训、展览空间、剧场、活动空间、亲子中心、互动娱乐等服务，打造集文化休闲与亲子活动、文化传承与创新为一体、具有国际先进水平的城市花园客厅，体现了嘉兴市“以人为本”的城市建设与治理思想。



图 1-1 效果图

项目在造型上的最大亮点是覆盖其上的双曲面幕墙系统，各单体通过环形曲面屋顶围合环抱，造型如山峰般起伏，环抱绵延，体现了江南水乡的婉约气息与现代科技感的

有机融合。复杂的屋面系统构造同时满足了造型+功能性的要求。

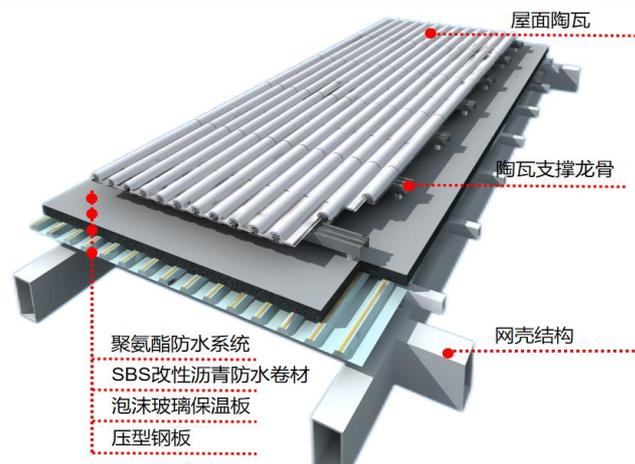
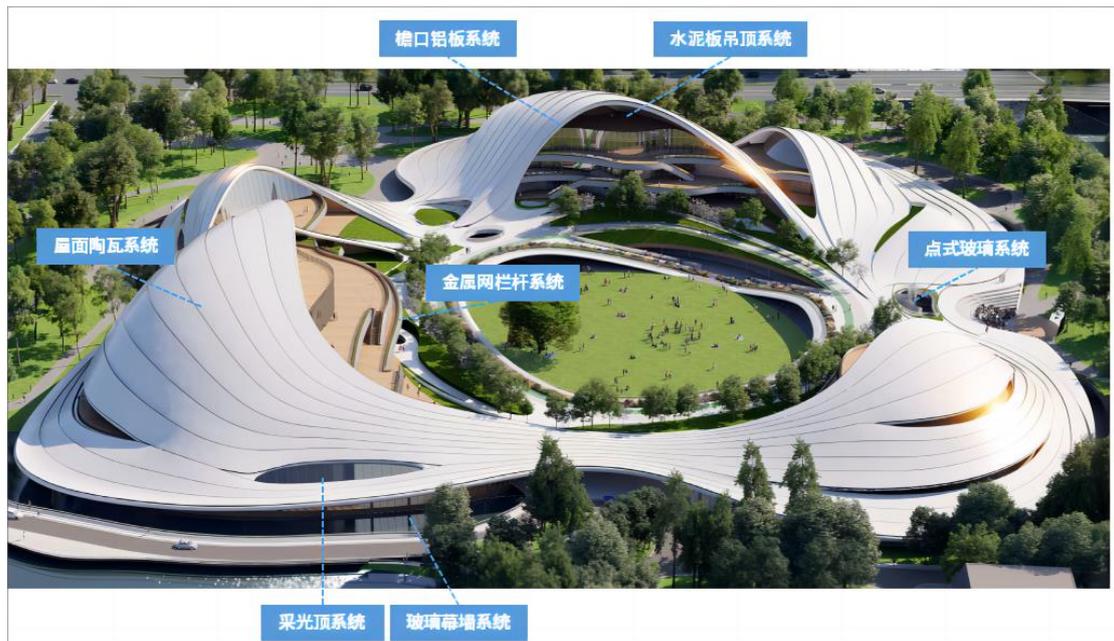


图 1-2 幕墙系统

此外本项目采用了大跨度的钢结构网壳用以支撑幕墙系统，钢结构网壳由近万根箱型截面杆件组成，并通过铰支座（球型支座）与主体结构相连接，56m 的最大跨度也是嘉兴市目前在建及已建成的建筑之最。

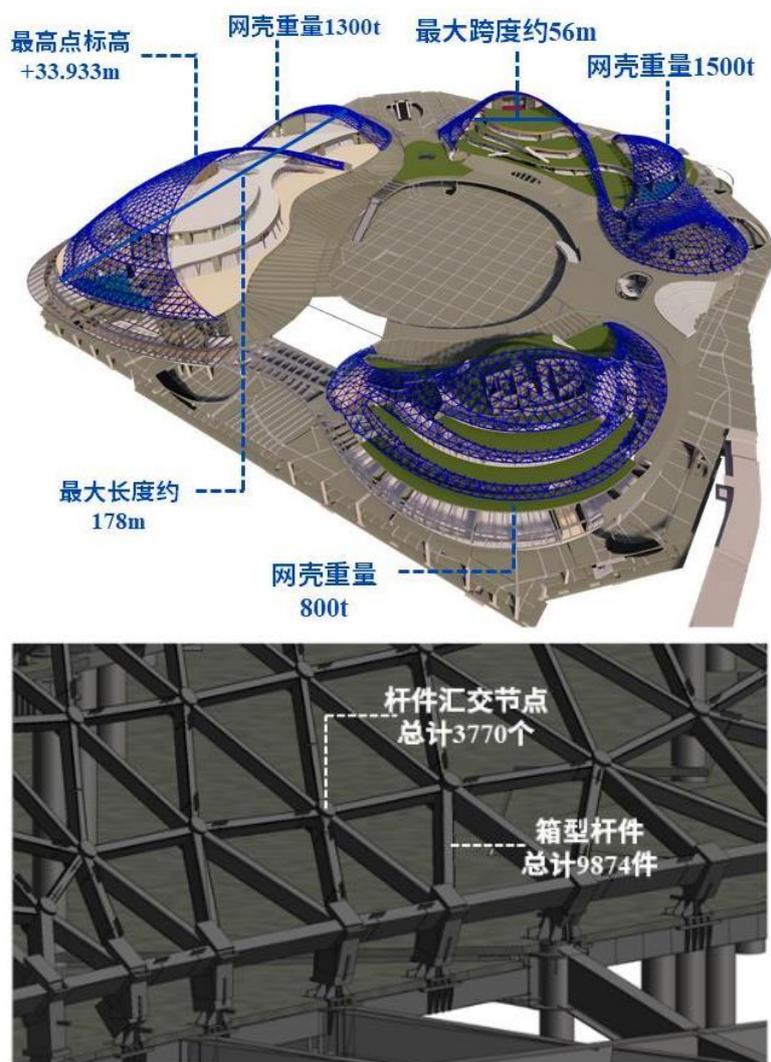


图 1-3 钢结构网壳系统

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

2.1.1 总体原则

在项目前期 BIM 技术应用策划阶段，团队基于项目实际工程需求，将项目建设阶段全流程统筹考虑，并适当规划运维阶段 BM 工作内容。合同要求项目 BIM 工作成果需满足浙江省《建筑信息模型(BIM)应用统一标准》(DB33/T 1154-2018)规定的三级应用程度等

级，基于此要求，结合国家 BIM 标准建立项目级 BIM 标准体系作为顶层指导，遵循“以成效定实施目标、以交付定工作内容、以标准定协作流程”的总体原则，注重专业、参与方和阶段间的数据传递，从而发挥全生命期数字资产价值。

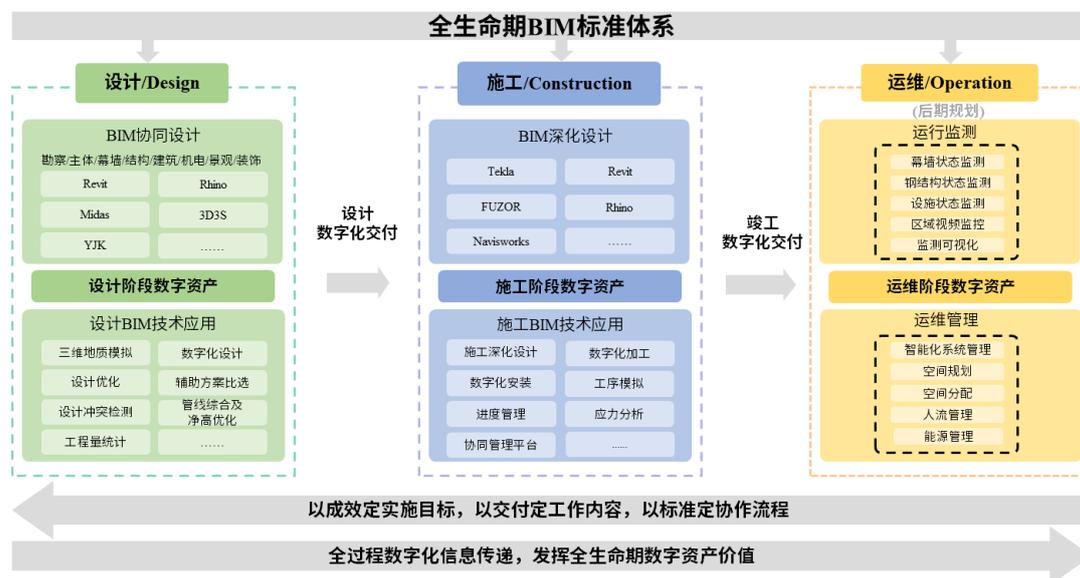


图 2-1 本项目 BIM 技术实施框架

2.1.2 重难点应对策略

表 2-1 本项目重难点及相应数字化应对策略

| 序号 | 重难点 | 数字化应对策略 |
|----|--|---|
| 1 | 超大建筑形态多样,传统二维设计方式难以满足双曲面幕墙造型要求 | 借助三维软件进行曲面造型设计,利用Grasshopper程序进行有理化分析,实现表皮造型合理化的同时兼顾成果美观性 |
| 2 | 钢结构设计复杂,双曲面单层网架屋面设计需要达到建筑形态与受力间的平衡 | 参数化、三维化手段贯穿钢结构设计全流程,达到直观精确、利于施工的目的 |
| 3 | 异形空间管综协调难度大,空间净高控制困难,各专业协调要求高 | 利用BIM进行三维协同设计和碰撞检查,提前解决管线碰撞、净高不足等设计问题并提高团队沟通效率,保障设计质量 |
| 4 | 结构构件节点复杂,专业深化设计的交叉较多,需精细统筹各专业内容 | 深化并整合各专业模型,通过分析对潜在冲突位置提前修改;在构造复杂的部位进行基于BIM的可视化交底 |
| 5 | 屋面檐口铝板造型特异,异形双曲造型的开放式构造需解决铝板的平整度、弧顺度问题 | 利用模型直接生成三维形式的铝板加工说明;基于模型提取三维坐标,精准定位钢架安装位置 |
| 6 | 钢结构网壳复杂,异形大跨度曲面造型节点众多、深化难度大 | 利用钢结构模型进行放样,找出网壳与主体结构存在的不合理或者冲突,调整网壳支座位置 |
| 7 | 钢结构工程体量大、工期紧张,影响 | 自研三维柔性调姿平台进行胎架预拼装,利用模 |

| 序号 | 重难点 | 数字化应对策略 |
|----|-------------------------|--|
| | 构件的采购、加工、运输和安装效率 | 型提取加工数据，自动化焊接机器人进行精准焊接拼装，确保构件加工精度 |
| 8 | 大体量异形曲面网壳现场安装定位、现场施工难度大 | 有限元计算网壳施工全过程，分析网壳施工薄弱点，确定临时支撑位置数量和网壳卸载的整体顺序，确保整体网壳施工安全稳定 |

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

本项目建设单位是嘉兴市交通投资集团有限责任公司，由上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司和上海建工二建集团有限公司组成联合体承接主体工程 EPC 总承包。本项目 BIM 工作由建设单位牵头，协调设计、施工、监理与各专项分包单位共同开展实施。

为保障项目 BIM 工作开展，联合项目各参建单位高层领导组成领导小组，负责总体方向把控、资源协调、重点事项推进等。建设单位项目负责人及项目总工等组成项目管理工作组，负责提出项目 BIM 实施需求，并监督各参建单位工作过程、考核各参建单位工作成果。各参建单位各自设立工作组，由本单位资深专家担任顾问，提供技术指导；业务人员主导 BIM 技术实施，专业的数字化团队负责提供技术支持与工具开发。

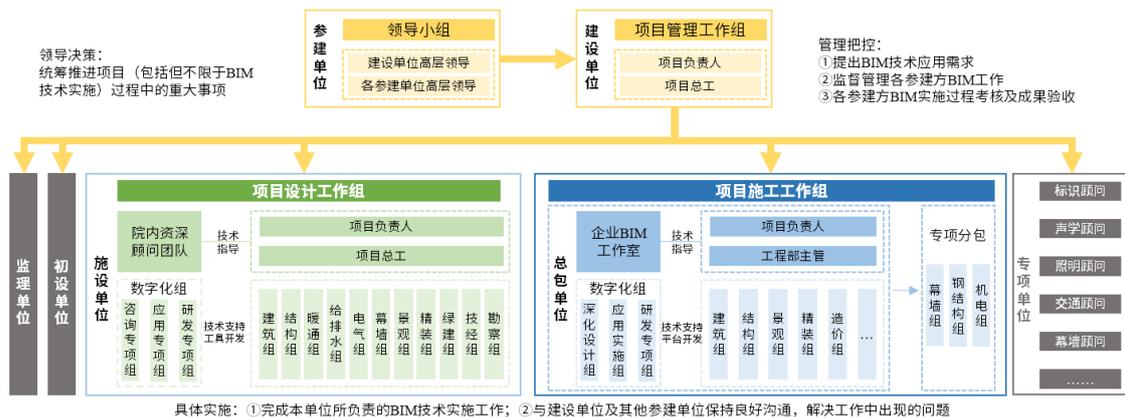


图 2-2 项目 BIM 工作组组织架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

图 2-3 为本项目 BIM 管理应用体系总体路线图，项目实施过程中所有 BIM 工作内容均需照此执行，体现了项目 BIM 技术规划及应用的指导思路：

注重完整性，以终为始，统筹考虑项目设计、施工、运维全生命期。

注重反馈和闭环，例如通过设计阶段 BIM 技术应用，将其成果作用于设计流程，进行设计质量的提升，再将更新成果体现在模型上用于后续的 BIM 应用。

注重数据资产的积累，将工作过程中的一系列实施成果形成各自阶段的数字化资产，最大程度发挥数据要素价值。

注重经验的总结，工作成果尽量形成标准化流程，有助于沉淀可复用、可推广的技术经验。

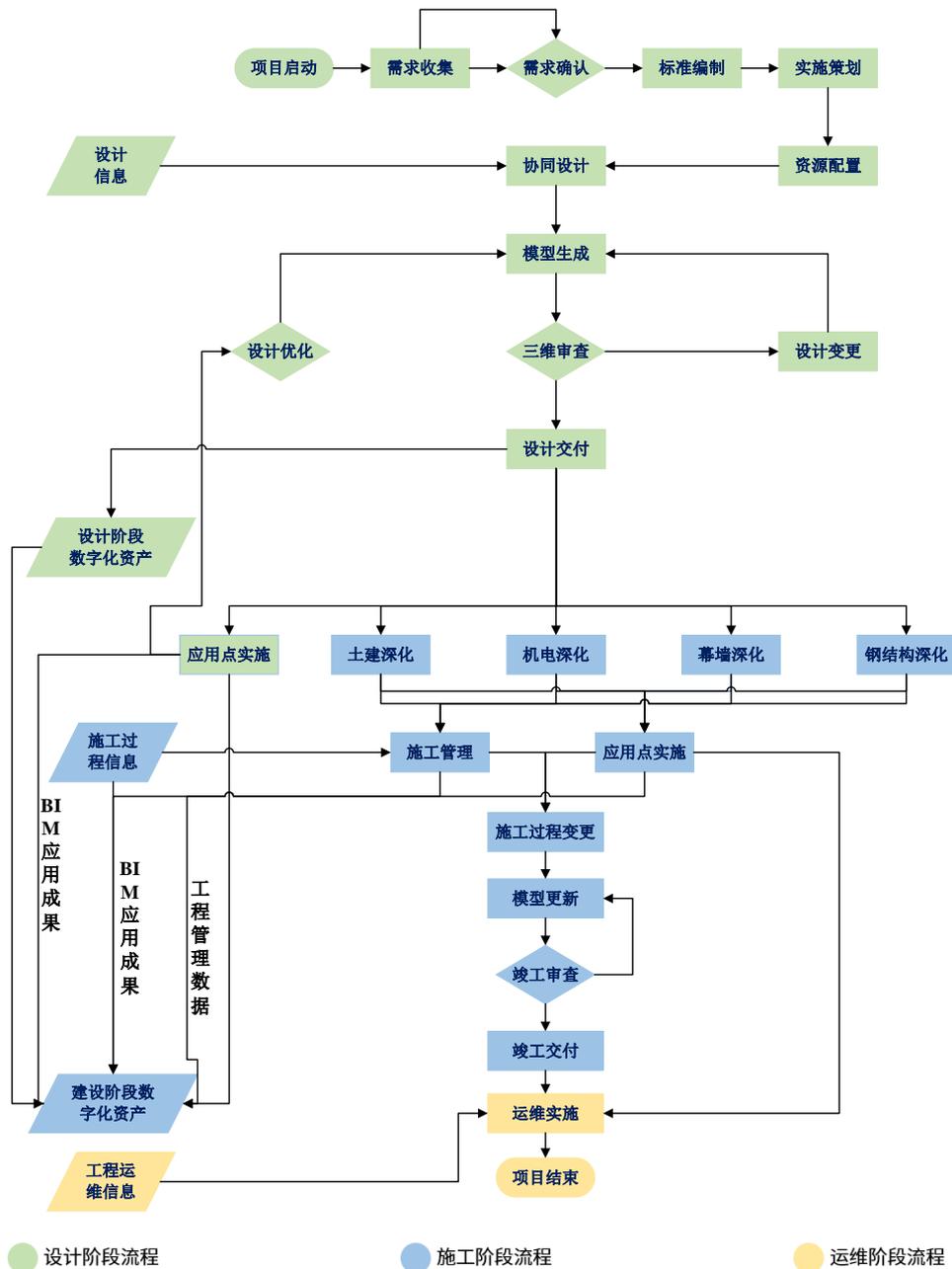


图 2-3 本项目 BIM 管理应用体系总体路线图

2.2.3 BIM 应用环境

表 2-2 项目 BIM 应用软硬件环境

| 序号 | 分类 | 名称 | 用途 |
|----|----|------------|--------------|
| 1 | 硬件 | 公司服务器 | BIM 协同工作平台部署 |
| 2 | | 台式工作站 | BIM 建模、开发 |
| 3 | | 移动工作站 | BIM 建模、开发、演示 |
| 4 | | HTC Vive | VR 浏览 |
| 5 | | 大疆无人机 | 倾斜摄影采集 |
| 6 | 软件 | AutoCAD | 三维设计 |
| 7 | | Revit | 协同设计 |
| 8 | | Navisworks | 设计成果整合检查 |
| 9 | | 3Ds Max | 景观设计 |
| 10 | | Maya | 表皮曲面造型 |
| 11 | | 探索者 | 协同设计 |
| 12 | | Rhino | 表皮曲面造型、深化 |
| 13 | | YJK | 结构计算 |
| 14 | | 3D3S | 钢结构空间设计 |
| 15 | | Midas | 有限元分析 |
| 16 | | Tekla | 钢结构设计深化 |
| 17 | | Mars | 可视化渲染 |

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 设计阶段

3.1.1 钢结构数字化设计

项目设计团队根据建筑与结构的逻辑关系，由表皮双曲面造型结合安装空间因素生成网壳控制曲面并进行三角分格，得到钢结构网壳实体模型，与主体钢结构模型整合并进行受力分析，调整优化钢结构网壳设计。

3.1.2 参数化辅助设计

本项目实施过程中,设计团队积极探索数字化、参数化手段和工具在项目中的应用,以外挑檐表皮高度计算为例,建筑外挑檐为波浪形,每一根斜梁的端部高度都不同,编写 Grasshopper 参数化程序设计可以快速计算得到每一根梁端部的具体高度,提升设计效率。

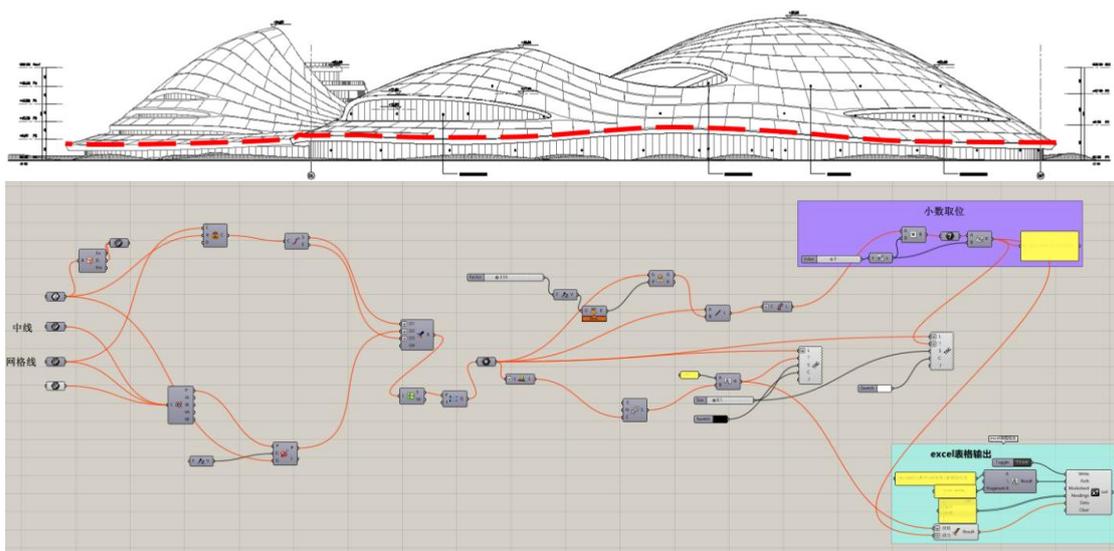
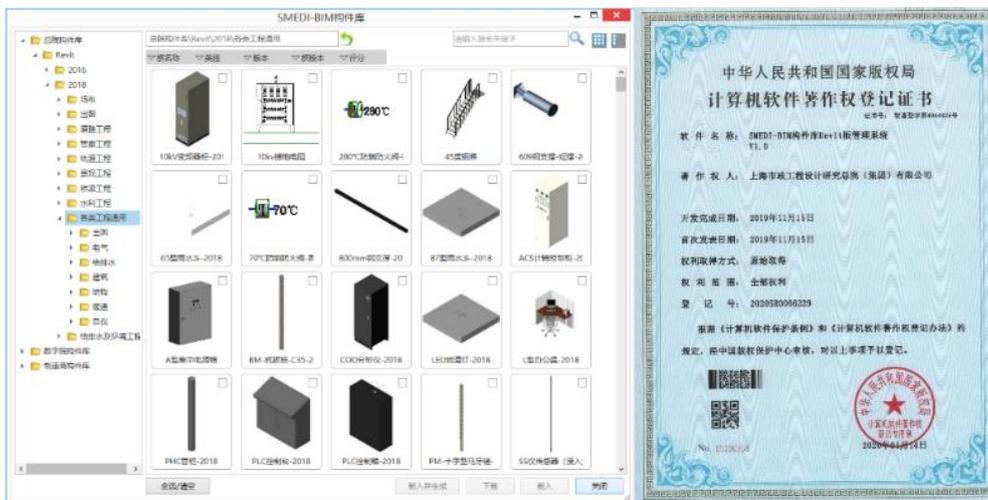
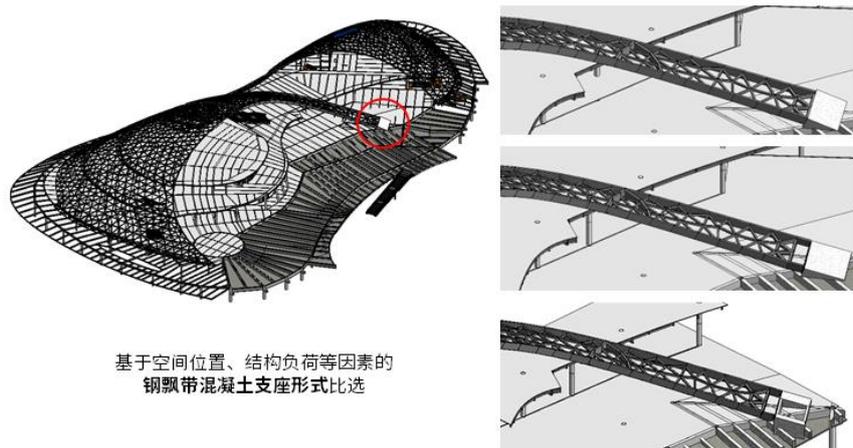


图 3-1 基于 Grasshopper 的外挑檐表皮高度计算

3.1.3 参数化构件库

项目设计过程中应用上海市政总院自主研发的 SMEDI-BIM 参数化构件库,对标准化构件进行直接调用,同时通过项目实施新积累了一批参数化构件上传入库,构件所包含的标准化属性字段有助于满足数据跨阶段传递的需求。



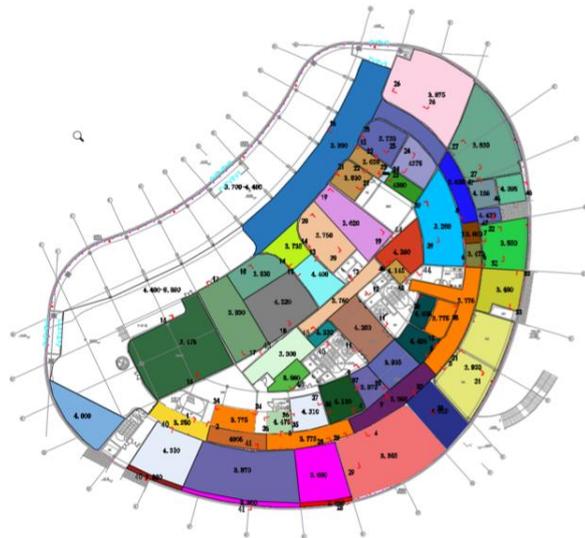
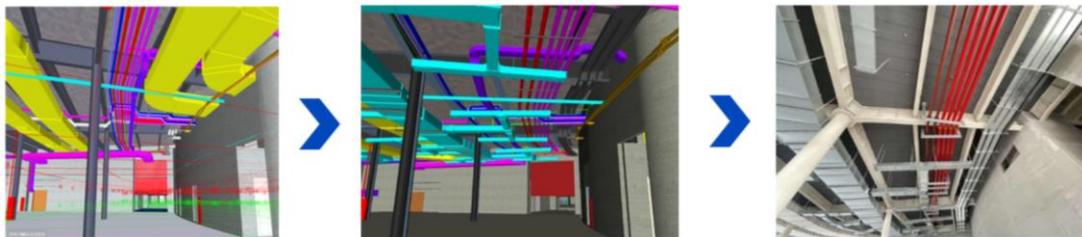


基于空间位置、结构负荷等因素的
钢飘带混凝土支座形式比选

图 3-4 基于 BIM 的设计优化

3.1.6 管线综合及净高优化

设计阶段搭建各专业管线 BIM 模型并随工程进展深化，实施管线综合和净高分析应用，出具专项报告，据此调整优化机电设计，从而使得管线的布局、路由更加合理，建成后的体验感、空间感更好。通过同一区域位置的施工图设计、施工深化和先行段建成效果的对比，可以体现 BIM 模型与现场的高度一致性。



文化中心二一层剖面示意图

图 3-5 项目管线综合及净高分析成果

3.1.7 数字化成果交付

设计阶段 BIM 应用成果连同设计阶段所产生的各类型数据、信息，作为设计阶段所积累沉淀的数字资产，按照项目《BIM 交付标准》的要求提交，传递至施工阶段用于后续 BIM 深化及施工管理，保证数字成果和属性信息在全生命周期的充分利用。

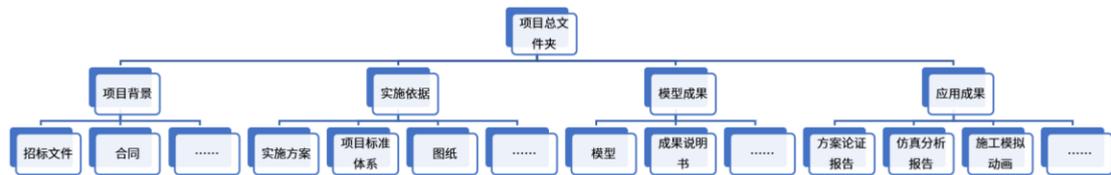


图 3-6 交付成果文件夹组织架构

3.2 施工阶段

3.2.1 钢结构网壳工程

本工程钢结构体量大，总用钢量达 1.8 万吨；钢结构种类及规格复杂，网壳杆件汇交节点及杆件数量众多。在钢结构深化过程中建立 Tekla 模型，复核整体结构安全性的同时为工厂加工及现场安装提供技术支撑。

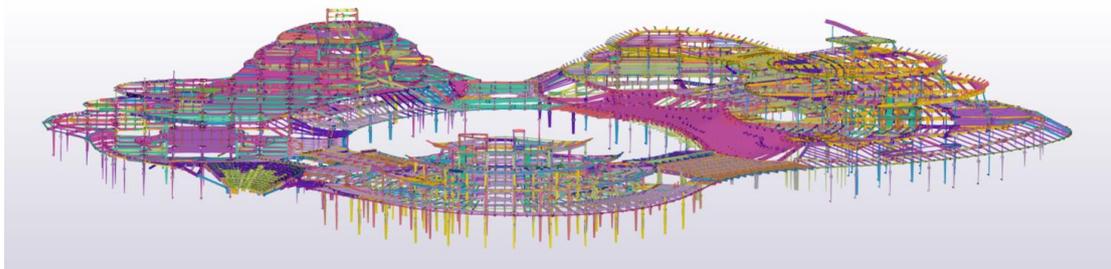


图 3-7 钢结构深化模型

（1）数字化加工

项目整体飘带型大跨度单层曲面网壳结构连接节点及延伸出的相关杆间的空间角度方向位置均不同，故网壳的空间数据十分庞大。针对网壳加工过程开发专用的控制系统，基于专项深化模型自动提取构件几何、位形和结构特征等信息，处理生成格式化特征数据文件，为网壳加工及安装提供数据支持。自研三维柔性调姿平台进行节点定位，调姿平台的六个液压支腿基于加工数据进行精准定位，保证了网壳的加工精确度。

（2）数字化安装

根据钢结构网壳自身特点及现场实际情况，现场采用“分块分条法”进行安装。通

过建立施工阶段 BIM 模型，导入 Midas 软件模拟施工全过程，为现场安装网壳提供信息支持，如施工段划分、临时支撑布置、卸载顺序以及结构空间坐标提取等。

| 结构位置 | 设计一次性加载模型 | 施工阶段累加模型 |
|--------|---|--|
| 网壳整体结构 |  |  |
| | 最大位移 Dz=28.9mm，发生在网壳施工第五阶段飘带 | 最大位移 Dz=28.25mm，发生在网壳施工第五阶段飘带 |
| | 最大位移 Dxy=8.2mm | 最大位移 Dxy=8.8mm |
| | 构件最大截面正应力 $\sigma = 67.3\text{N/mm}^2$ | 构件最大截面正应力 $\sigma = 57.6\text{N/mm}^2$ |

图 3-8 施工阶段累加模型与设计一次性加载模型结构位移以及承载力比较

3.2.2 型钢混凝土结构施工

针对型钢混凝土结构特点，施工深化重点关注异形复杂节点位置，利用 Tekla 模型对降板处、梁梁交界处或梁柱交界处等位置钢筋连接及锚固进行复核，在模型中反映可焊接套筒或者连接板位置，保证整体结构施工的可行性。

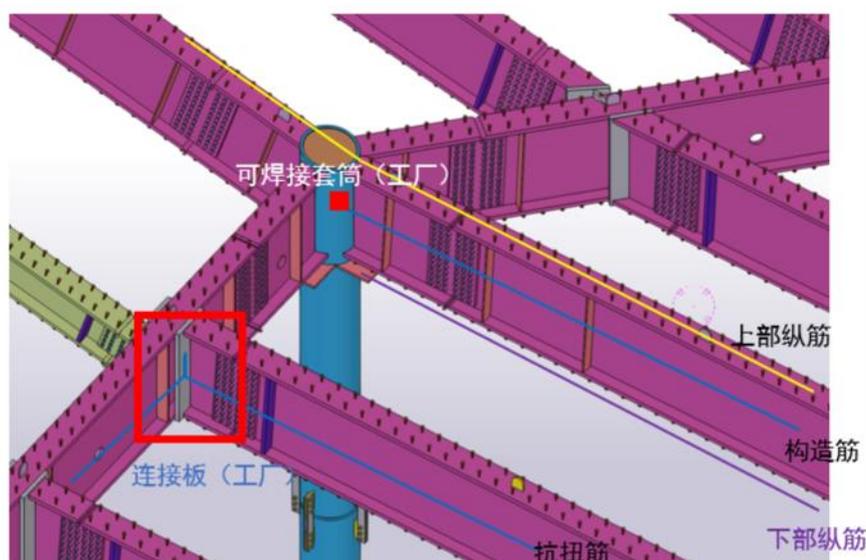


图 3-9 型钢混凝土结构深化模型

3.2.3 幕墙工程

(1) 表皮优化

幕墙系统共计铺装超过 52 万片陶瓦，其中弧瓦作用为满足屋面外观效果，平瓦作用

为填补弧瓦之间的空隙。在 BIM 模型中进行表皮曲率分析，对重点区域的表皮进行优化调整。下图为定位陶瓦缝隙宽度的数据分析，其中蓝色代表曲面内凹，绿色代表曲面平整，红色代表曲面外凸，蓝色及红色范围需进一步分析优化。

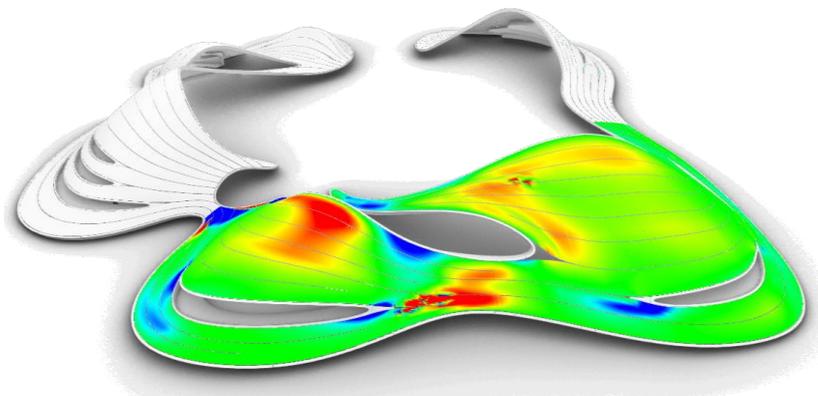


图 3-10 表皮曲面三维分析热力图

(2) 陶瓦排布优化

根据样板段的节点数据确定陶瓦铝合金龙骨安装系统调整范围，建立陶瓦实体模型，分析调整陶瓦距离，实现表皮造型合理化的同时确保龙骨与陶瓦、平瓦与弧瓦的缝隙大小、曲度的相对关系。

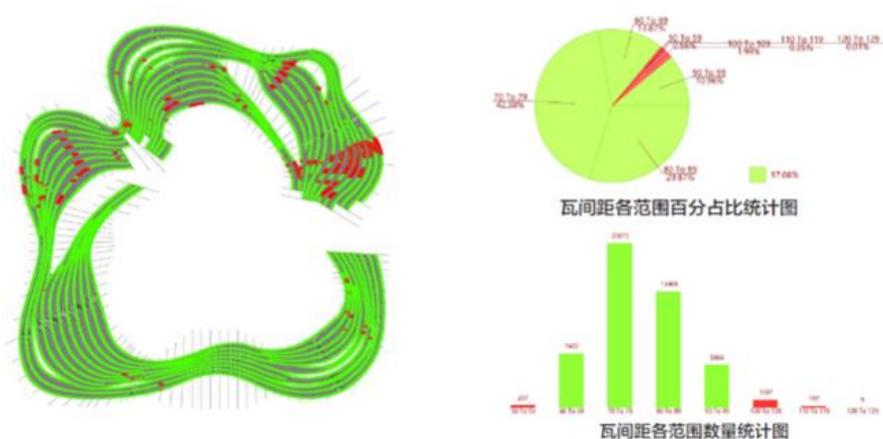


图 3-11 陶瓦间距情况分析

(3) 主次龙骨布置

确定陶瓦排布后，建立主次龙骨及连接件模型，并运用参数化工具提取打孔定位等数据。基于模型导出分析结果，每根龙骨均会贴上标签，标明其具体安装尺寸、位置以及平瓦和弧瓦的数量，以便现场安装。

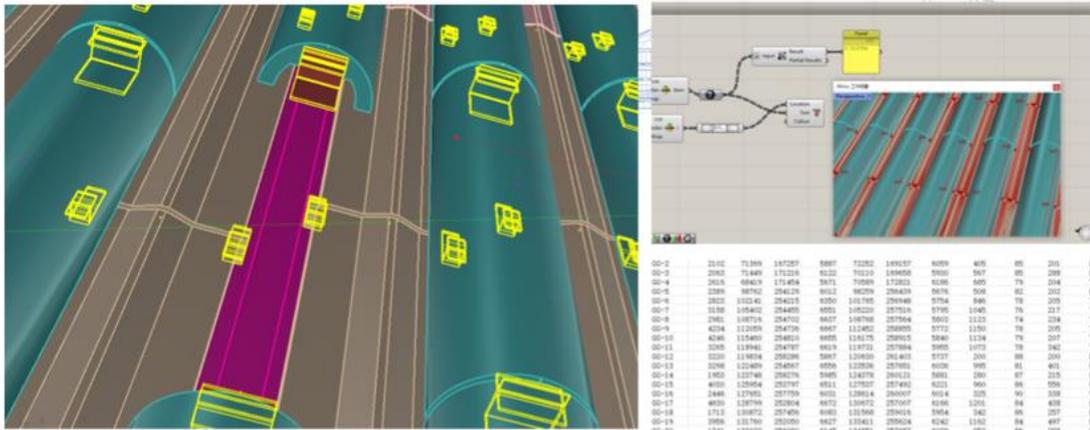


图 3-12 主次龙骨及连接件模型

(4) 异形铝板参数化下料加工

表皮幕墙中每块双曲异形铝板的造型都有所不同，导致了加工过程的复杂性。基于 BIM 模型结合主体结构允许的承载范围、铝板加工厂的最大板块生产加工能力确定铝板最大加工尺寸，从而生成最佳分缝位置及安装工序，对表皮进行分缝、编号并提取造型数据，即可直接生成二三维一体的加工说明和提料单，解决了传统二维形式的加工说明难以直观准确表达空间形态的难题，实现异形铝板的精准化加工。

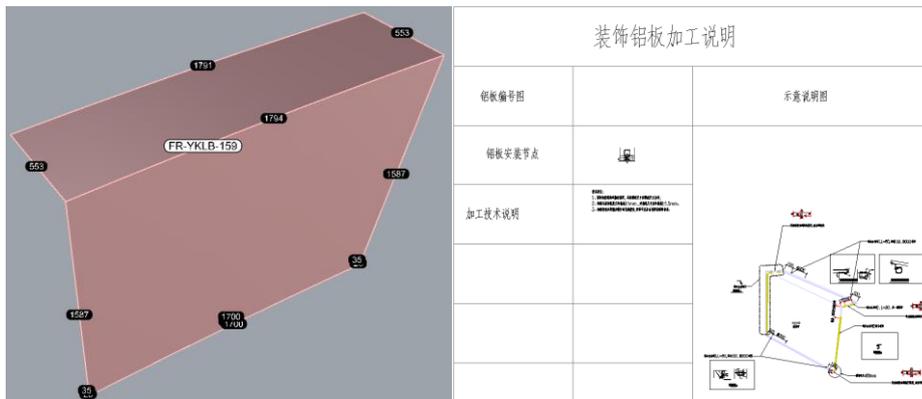


图 3-13 异形铝板加工说明书、提料单

3.2.4 起重设备布置

本项目塔吊布置在地库顶板上，施工前建立塔吊基础模型，利用 Midas 软件对塔吊弯矩受力进行分析验证，确保塔吊安装及作业安全。此外在汽车吊吊装位置、施工货梯位置确定中也均借助 BIM 模型辅助布置分析。

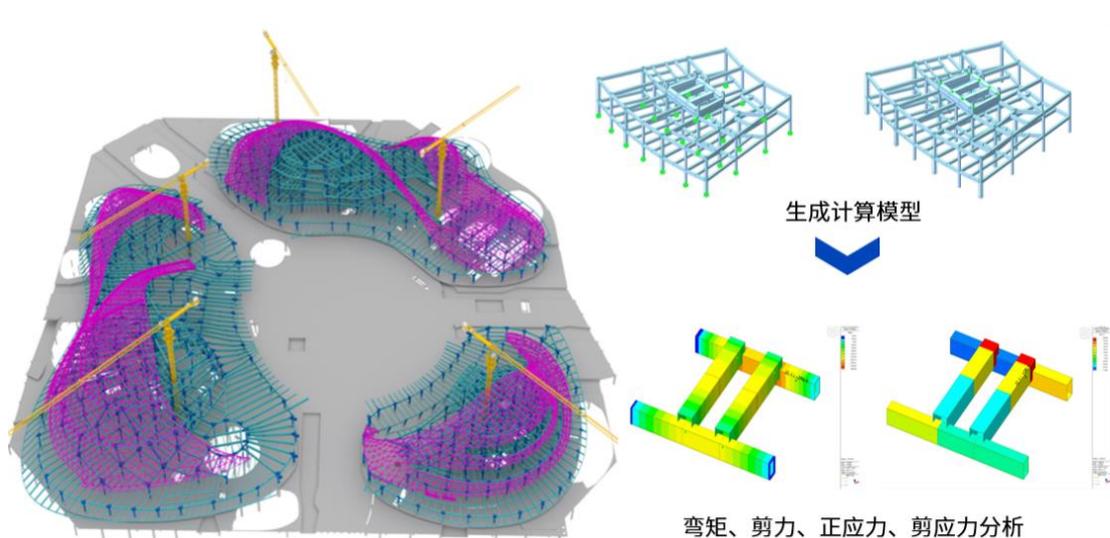


图 3-14 塔吊布置模拟分析

3.2.5 施工方案动画展示

针对本项目主体钢结构吊装、曲面单层网壳“胎架拼装法”加工及“分块分条法”安装、机电复合风管拼装等重要施工工艺，基于 BIM 制作演示动画，论证优化方案可行性并指导现场施工开展。

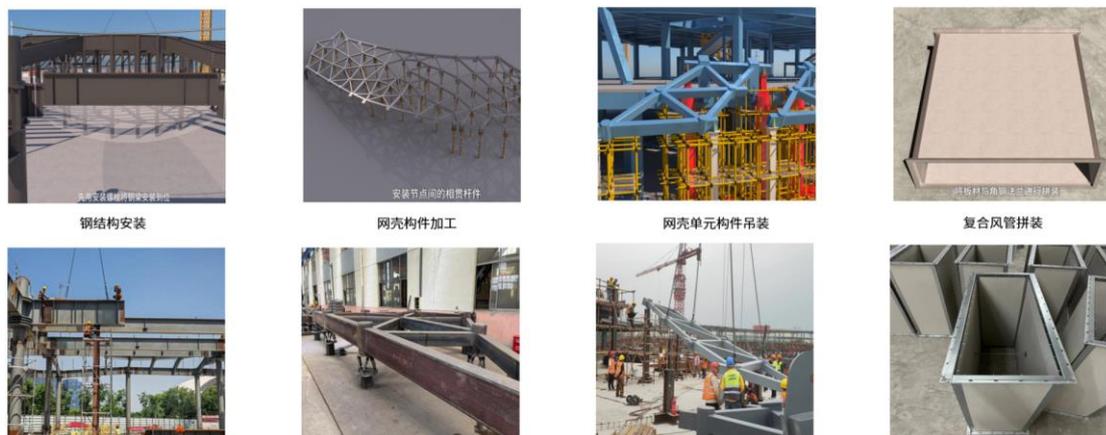


图 3-15 施工方案动画

3.2.6 BIM 协同工作平台

以 BIM 为载体搭建协同工作平台，形成建设阶段全过程的项目管理数字化信息模型。各参建方在平台上不仅可实现实时便捷的模型浏览，还可以查看、编辑关联到具体 BIM 构件的项目各阶段相关文档，实现信息的共享与更新。平台支持 PC 端、移动端双端使用，便于工程人员不受位置和设备的限制，随时随地浏览项目信息模型，满足项目领导及业务人员管理操作移动化、时间碎片化的需求。

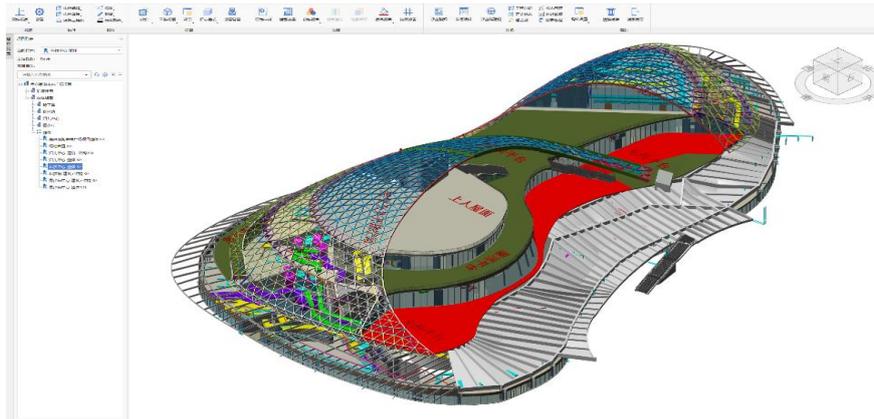


图 3-16 BIM 协同工作平台

4. BIM 技术应用效益与测算方法

4.1 经济效益

(1) 采用基于 BIM 的参数化设计，对设计变动快速响应，模型与图纸联动，变更出图及追踪更加便捷，出图效率得到提升，设计周期节约 17%。

(2) 借助 BIM 技术进行冲突检测和优化，处理净高不足、安装空间紧张等问题共计 600 余个，施工返工率降低 22%。

(3) 通过 BIM 技术模拟，优化了施工方案 48 项，通过工艺工序的优化带来经济效益 700 余万元。

4.2 技术效益

(1) 基于本项目的 BIM 技术实施经验，共撰写《城市核心区异形曲面大型场馆智能建造关键技术研究》、《嘉兴南湖未来广场项目网壳结构加工制作技术》、《嘉兴南湖未来广场项目网壳结构施工技术》、《嘉兴南湖未来广场项目网壳结构现场施工研究》等 6 篇论文，申请相关技术专利 4 项、项目级 BIM 标准 3 本，后续规划升级为企业乃至地方级标准。

(2) 通过项目实施，积累了空间异形曲面幕墙表皮与钢结构网壳设计、加工、安装的数字化技术解决手段，为后续同类型项目的实施提供了参考经验。

(3) 通过项目 BIM 设计的过程创建参数化构件族，可在后续工作中进行复用，截至当前已有 5 个专业、53 个标准化模型。

(4) BIM 技术辅助各阶段施工策划，完善场地信息，加强了项目全过程管控。

(5) 对工程人员进行可视化 VR 安全教育累计 200 人次，按照每人每次教学时长 20 分钟计算共计 66 小时，为后期安全施工打下理论基础。

(6) 通过本项目 BIM 实施，11 位参与人员新考取了 BIM 证书，更多的参建方成员加深了对 BIM 技术的理解和认识。

4.3 环境效益

BIM 协同工作平台共上传共享文档共计 1100 多份，按照每份文件 50 页、避免纸质版打印 1 次、打印每张纸排放 6gCO₂ 计算，共减少碳排放约 330kg。

5. BIM 技术应用推广与思考

(1) 探索大型异形曲面建筑数字化设计标准流程

设计过程中，面对复杂的幕墙系统、钢结构网壳系统等重难点问题，积极探索数字化前沿手段，形成了一套大型异形曲面建筑群数字化设计标准流程，基于项目空间曲面造型需求，以“参数化+三维化”理念再造设计流程，分专业梳理工作平台选用及技术路线，为后续同类型项目的实施提供技术范例与参考。

(2) BIM 技术指导构件下料加工，提升建造标准化水平

针对项目幕墙及钢结构构件特异性强、造型多样的特点，研究了以 BIM 深化模型为基础的数字化加工工艺，大幅提升了构件加工的精细度与效率。

(3) BIM 技术助力施工过程精细化管控

针对施工安装阶段构件定位安装精度高、网壳卸载危险性高、工序复杂和时间要求紧张的问题，分别借助 BIM 模型开展空间数据提取、力学性能分析、工序模拟和进度管控等措施，保障施工安装的顺利进行。

(4) 数字资产的形成、积累与传递

不仅实现了项目从设计到深化、加工、施工安装的信息模型传递，并且以 BIM 为依托，打通了各阶段的数据传递，集成了项目建设阶段的宝贵数据，为项目运维提供了丰富的数字资产。

(5) BIM 技术成为项目宣传推广的有力工具

以 BIM 技术作为项目的宣传推广手段，共计承接包括嘉兴市勘察设计协会 BIM 应用研修班在内的高规格观摩接待 13 次，助力项目获得嘉兴市安全文明施工标准化工地、“无废细胞”工地、“红色工地”示范项目等荣誉。

四、南宁太阳纸业有限公司 525 万吨林浆纸一体化技改 及配套产业园项目-制浆及碱回收（一期）工程

1. 项目概况



图 1-1 制浆车间外立面效果图

南宁太阳纸业有限公司为太阳纸业的全资子公司，太阳纸业作为全球先进的跨国造纸集团和中国造纸行业领军企业，在南宁的制浆造纸项目通过实施技改升级，实现了造纸产业向高端化、智能化、绿色化发展，成为盘活资产、传统产业转型、绿色低碳发展的典型案例。

南宁太阳项目共有建、构筑物二十几座，其中选择主要建筑制浆车间进行正向设计。

制浆车间层数二层，建筑高度 27.95m，占地面积 4766.05 m²，建筑面积 12244.76 m²，生产功能主要为制浆区，以及配套的配电室、空调机房、备品库、实验室和车间办公室、会议室等。制浆车间属于戊类高层厂房，耐火等级二级。

制浆车间的生产过程配备 DCS 系统，系统收集所有流程中的流量、压力、温度等信号，根据工艺控制逻辑进行组态编程，并反馈信号至现场阀门、电机，实现全流程的自动控制，智能化生产。

该项目工艺笼头，管道管线及设备复杂。全专业 BIM 正向设计不仅仅建立在 revit 一款软件的基础上，更是结合盈建科、Tekla、自研云平台、PDMS 等各种平台参与协同，进行参数化设计，协同要求高、难度大；项目工期紧，任务重。在 BIM 技术的加持下，解决了工艺管线复杂，空间设计繁复，多专业协调的问题，项目难点迎刃而解。

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

我们采取了侧重前期方案的设计策略，本项目工艺管线复杂，通过 BIM 技术进行三维正向设计，高效协调各专业之间的相互配合，对厂房三维工艺设备布局模拟、管线与工艺设备碰撞分析，减少各类错漏碰缺，使管线之间、管线与建筑物和构筑物之间在平面及竖向上相互协调、紧凑合理。同时为基于 BIM 技术进行施工管理类应用拓展提供基础，实现降本增效。

2.1.1 优化空间布局

采用 BIM 技术进行建筑方案设计，优化空间布局，提升设计质量。

2.1.2 性能分析与模拟

利用 BIM 模型进行最佳管径排布等，辅助决策。

2.1.3 提高设计效率

集成多专业设计信息，减少后期变更，提高设计效率。

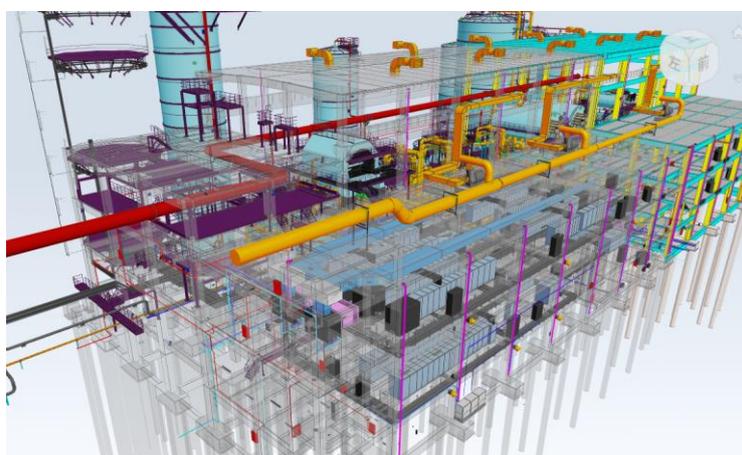


图 2-1 制浆车间透视图

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

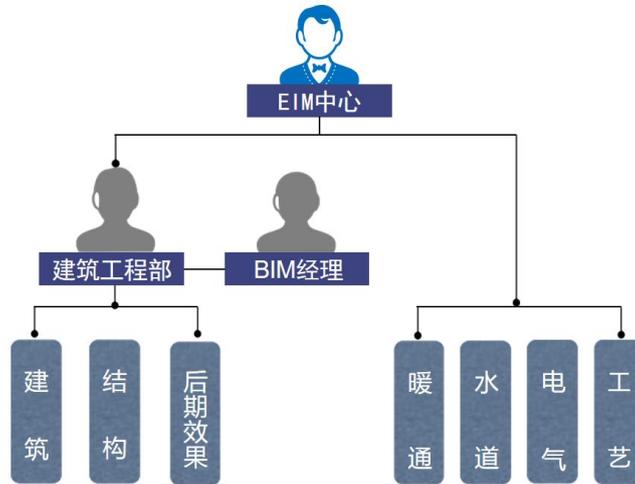


图 2-2 项目组织架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

本项目是基于企业自研平台云·工场的项目策划。建立统一的 BIM 模型实现信息共享，实现了：

(1) 数据集中存储与共享：

项目文件和资料可以集中存放在云端，方便项目成员随时访问和下载，实现资源的即时共享与高效利用。

(2) 版本控制管理：

云·工场提供的版本控制系统确保了项目文档的历史记录和变更追踪，便于多版本间的对比和管理，保障项目信息的准确性和一致性。

(3) 制定使用规范：

为确保信息安全及数据准确性，须对云·工场的的使用进行规范，包括权限设置、操作指南等，以指导用户合理、安全地使用云服务。

(4) 用户身份验证：

云·工场使用规范要求所有用户必须通过身份验证才可访问数据和资源，这有助于

(5) 加密与定期审查：

强调在云·工场上存储和传输的所有数据都必须进行加密处理，以保护数据在传输过程中不被截获或篡改，从而保障数据的机密性和完整性。为维护云·工场的安全和数

据准确性，要求实施定期的安全审计和系统监控措施，以便及时发现和响应任何异常行为或潜在的安全漏洞。

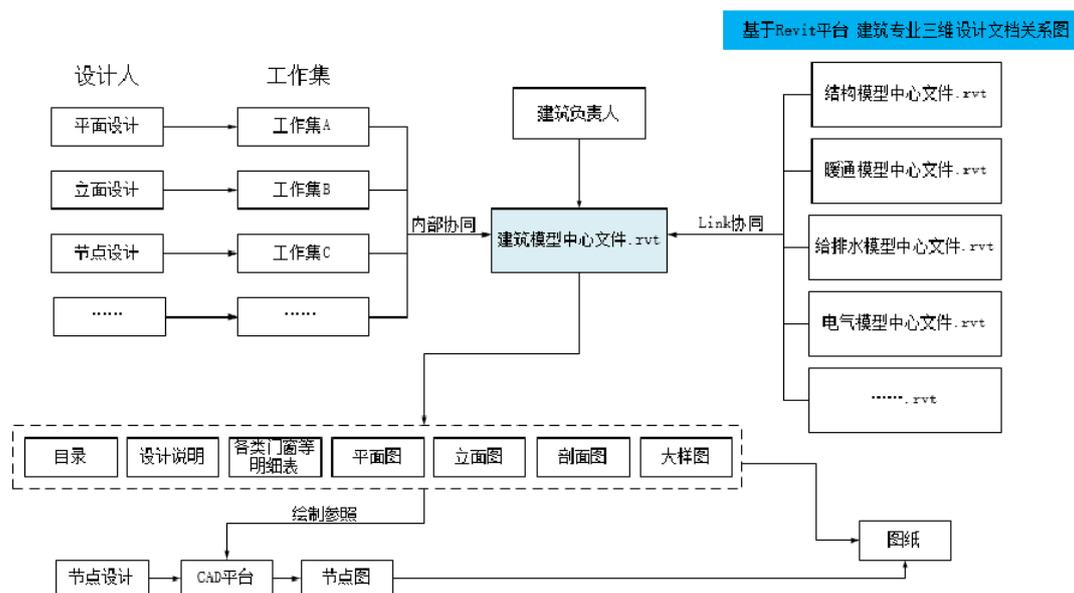


图 2-2 项目组织架构图

(6) 建立了健全的 BIM 实施方案及制度保障

原创的系统性技术课程，以及有组织有规划的集体培训，有效保障了 BIM 技术的普及性和技术储备，为项目的进行奠定了基础。

2.2.3 BIM 应用环境

构建一个协同设计的框架至关重要，它允许不同专业的团队成员共享信息、资源和成果。这种架构支持实时交流和数据同步，使得项目参与者能够更加紧密地合作，提升整体工作效率。

复杂场地采用 CIVIL 3D 进行场地理地管线设计、保证各片区管线对接以及管线综合。专业间采用中心文件协同，及时看到专业间模型信息。

多人通过工作集同时工作，实时看到彼此工作、越界工作会有提醒。

云·工场允许团队成员在任何时间、任何地点上传和访问工作文档，确保了信息的实时更新与共享，极大减少了信息延误带来的沟通成本。

通过云·工场的协作功能，可以高效分配任务、追踪进度和管理责任，让多团队的工作协调更加有序，提升项目执行效率。

云协作平台整合了大量原创二次开发工具，为各个远程团队提供了便捷的沟通方式，增强了跨部门间的互动与讨论。

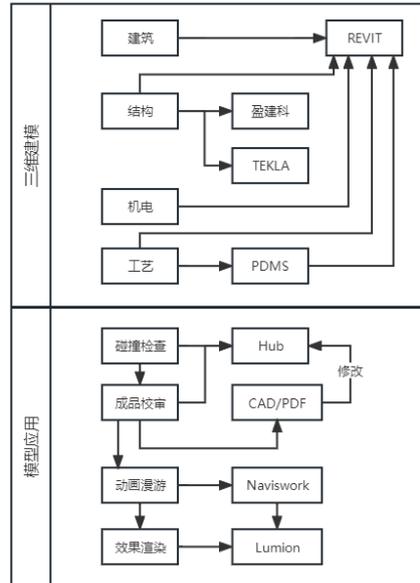


图 2-3 软件资源架构图

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 设计阶段

由于企业性质的原因，本项目主要在设计阶段应用了 BIM 技术，主要有以下几项：

3.1.1 专业视图样板

企业统一样板的基础之上，迭代了行业类型细分样板，助力三维数字化设计。

3.1.2 平台内置企业族库

REVIT 软件内通过二次开发内置企业族库，可根据树状结构自行选用，并允许员工上传迭代族，最大限度盘活既有项目数字化资源。

3.1.3 打通不同软件之间的协同接口

为了实现不同专业间的无缝协作，建立一个跨平台的协同机制。这能确保项目数据在各专业间流通无阻，从而提升整体工作的效率和质量。例如：利用自研插件打通 PDMS 与 Revit 软件之间互联接口，利用 Grasshopper 与 Tekla 结合技术智能设计钢构平台。

3.1.4 落实问题责任人与反馈机制

明确每个部门或团队的责任范围，并制定出一套详细的协同工作流程和规则，是提

高协同效率的关键。这有助于各个部门或团队高效、有序地开展工作。

3.1.5 基于自研平台的轻量化合模

通过优化合模流程,我们能够确保合模的质量。这涉及到对合模过程的监控和调整,以消除可能出现的错误,保证最终的模型准确无误,满足项目需求。通过轻量化技术,可以将不同专业的模型整合为一个整体,实现统一管理。这种整合不仅优化了合模流程,还对硬件提出了较低的需求,大大降低了准入门槛。

3.1.6 基于自研平台的三维校审

制定清晰的三维校审规范,明确校审的内容和标准,是建立校审反馈机制的关键一环。这样既可以确保校审工作的公正性,又可以让校审工作更具针对性,提高校审质量。通过运用自主研发的三维模型校审平台,可以大幅提高校审的效率。该平台能够快速准确地识别出模型中的问题,并提供修改建议,使得校审过程更加高效和精准。建立校审反馈机制,可以确保问题得到及时整改,从而提高整个校审过程的效率。一旦发现问题,可以立即反馈给相关人员,及时进行修改,避免问题的延续,提高工作效果。

3.1.7 成图措施与二维表达

通过专业样板的统一研发和控制,统一诸多设计人的成图风格和企业成图标准,优化二维图纸生成的准确性、合规性和视觉效果,通过一些自研小插件的帮助,确保成图质量和效率。所有专业的图纸均由模型直出,实现协同设计的同时,做到图模一致,BIM技术的深度应用提升了项目的质量和管理水平。最终,通过BIM技术的各专业正向设计输出图纸共计1045张。

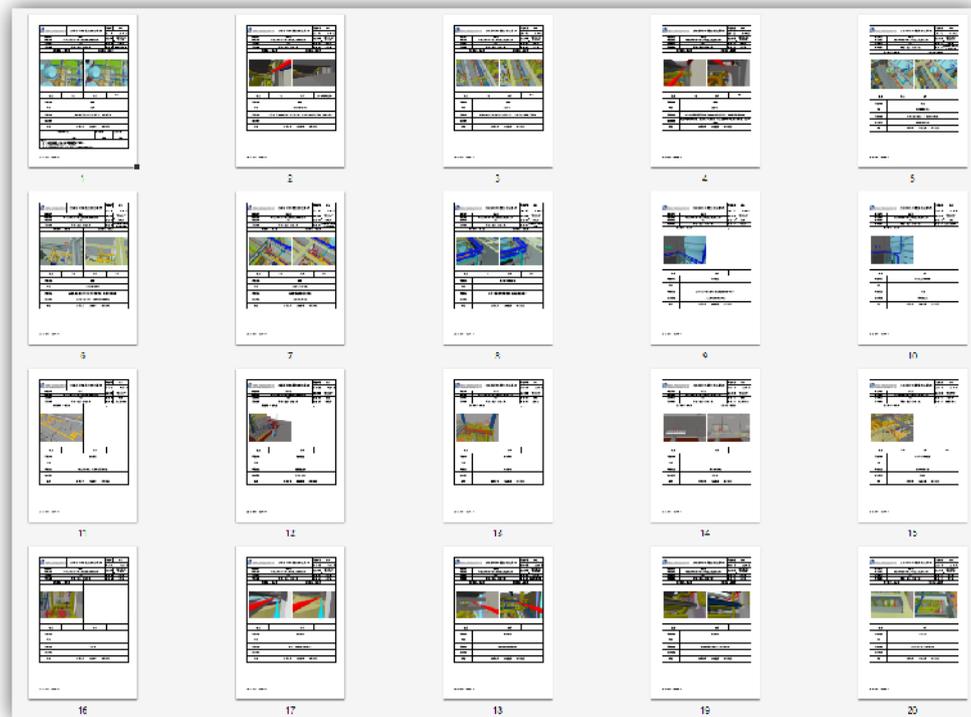
3.1.8 通过 BIM 模型自动提取工程量信息

利用BIM模型的数模联动特性,直接提取所需的材料和构件等工程量信息,极大减少了人工统计带来的误差和繁重工作。

3.1.9 利用 BIM 模型进行空间布局模拟和冲突检测

本项目工艺管线复杂,通过BIM技术进行三维正向设计,高效协调各专业之间的相互配合,对厂房三维工艺设备布局模拟、管线与工艺设备碰撞分析,减少各类错漏碰缺,使管线之间、管线与建筑物和构筑物之间在平面及竖向上相互协调、紧凑合理。结合自动碰撞等功能进行图纸审查和优化,确保施工图纸的准确性和合理性,通过实时更新功

能，为项目管理和决策提供有力支持。同时为基于 BIM 技术进行施工管理类应用拓展提供基础，实现降本增效。



3.1.10 平台化数字化交付

通过构建一个集中的数字化交付平台，实现项目数据的一体化管理。这样不仅能够简化交付流程，还可以确保所有相关方都能实时访问到最新的数据和文档，从而显著提升工作效率。

设定明确的数字化交付标准，包括交付的内容、格式及流程等，有助于各方对交付物有清晰的预期。统一的标准可以降低理解差异，减少错误和返工，保证交付质量和效率。

利用数字化交付平台不仅可以加速项目交付过程，还能增强数据的安全性。平台通常具备先进的安全措施，如加密和访问控制，确保敏感信息不被未经授权的用户访问或篡改。

3.2 施工阶段

在施工配合阶段，通过可视化施工交底，施工单位与设计单位根据多终端模型显示进行无障碍交流沟通，极大地提升了沟通效率，最终实现了竣工实景完美复现模型视角。

在传统施工中，施工配合往往依赖于二维图纸和文字说明，这种方式的效率和准确性常常受到挑战。而 BIM 技术的应用，为交底和施工配合的过程带来了革命性变革。通过 BIM 模型，可以直观地展示出建筑物的三维形态、空间布局和细部构造，使施工人员能够更清晰地理解设计意图和施工方案。

可视化施工配合不仅可以提高效率和准确性，还能有效减少施工中的误解和错误。通过 BIM 模型，施工人员可以在施工前就对施工难点和关键部位进行详细了解，从而提前制定施工措施和预防措施，避免施工中的质量问题和安全隐患。

4. BIM 技术应用效益与测算方法

4.1 成本节约

4.1.1 材料与劳动力

通过 BIM 技术的精细化管理，项目在材料的使用上实现了优化配置，避免了浪费，同时在劳动力调配上也更加合理高效，从而显著降低工程成本。

4.1.2 设计阶段的成本优势

利用 BIM 技术，在设计阶段即可发现潜在的冲突和错误，

提前进行修正，有效避免了后期施工中可能出现的返工现象，减少了不必要的额外支出，降低了整体项目成本。

4.1.3 效率提升减少沟通成本

BIM 技术优化了设计、施工和管理的信息流通，提高了工作效率，协同作业减少了沟通障碍，节约了时间和沟通成本，加快了项目进度，间接实现了成本节约。

4.2 风险管理

4.2.1 风险预知与评估

施工前期，BIM 技术助力团队精准识别潜在风险点，进行深入分析并评估可能的影响，为后续的风险应对策略提供了坚实的数据支持。

4.2.2 风险应对措施制定

利用 BIM 技术得到的精确信息，项目组能够制定出更为有效的预防和应对措施，从而降低不确定因素对工程进度和成本造成的负面影响。

4.2.3 实时监控与问题解决

通过 BIM 模型的实时更新与监控，使得项目团队能及时发现施工过程中出现的问题，并迅速响应解决，确保了工程质量和现场安全。

4.3 技术传承发展

4.3.1 数字资产的沉淀

项目过程中创建的 BIM 族库，包括自定义和标准族，为未来的工程提供了丰富的素材。这些经过实战检验的资源，不仅提升了设计效率，也确保了设计的高质量完成。

所积累的族库由于在项目中得到了应用与验证，它们展现出极高的实用价值和稳定性。这种经过实践检验的素材库为其他项目提供了坚实的 BIM 应用基础，并可助力于整个建筑行业的技术提升。

围绕 BIM 应用进行的课题研究和针对特定需求的插件开发，不仅解决了实际项目中的具体问题，还增强了 BIM 软件的功能性。这些研究成果和工具的开发，对推动 BIM 技术的进一步普及和应用具有深远影响。

4.3.2 人才梯队建设

在本项目中，通过项目实践，伴随着临危不惧的动力，我们从 0 到有，培养了一支全专业数字化参数化设计队伍，能够熟练运用 BIM 技术进行工程设计，并致力于打通 BIM 工程设计全流程。在工程行业数字化转型的今天，无疑是手握了通往未来智能建造的钥匙。立足今日，面向未来，为 BIM 技术的开拓与展望埋下希望的种子。

5. BIM 技术应用推广与思考

5.1 绿色建筑的未来

BIM 技术的应用不仅提高了建筑效率，还助力于实现可持续发展目标。通过优化设计方案，减少材料浪费，并在整个建筑生命周期中实现能效管理，BIM 正在引领建筑行

业向更加绿色和环保的方向发展。

5.2 技术革新的动力

随着 BIM 技术的不断进步，建筑工程领域正迎来一场信息化和智能化的革命。项目团队通过将 BIM 与物联网、大数据等前沿科技融合，有效提升了建筑设计和施工的精准度，为行业注入了新的活力。

5.3 产业升级的引擎

BIM 技术作为推动建筑产业升级的关键因素，促进了整个行业的技术进步。它不仅改善了工程的质量与效率，还为建筑企业提供了竞争优势，使得企业能够更好地适应市场变化，实现可持续发展。

5.4 总结

目前 BIM 正向设计还面临着很多需要改进优化的地方，如二次开发不够充分、配套开发成本较大、市场接受度有待提高、生产人员教培成本较高等。但随着数字化转型的不断深入，BIM 信息池的不断积累和开发手段的不断丰富，相信这些问题都会得到有效解决。BIM 设计与传统设计的区别不仅体现在效率，当计算机可以自动生成大部分设计成果时，企业的设计能力将迎来新的飞跃。

五、上海大歌剧院异形结构关键建造技术研究

1. 项目概况

本工程位于上海市浦东新区世博后滩西片区 C02-01 地块内，世博大道以东、规划路以南、博城路以西、国展路以北。本项目地上由三个歌剧院（大、中歌剧院和情境歌剧院）以及剧院配套用房、教育展示用房组成。地下室连成一体，主要功能为剧场舞台设备室、人防车库和机电用房。根据建筑设计，所有单体建筑均布置于以“折扇”形体呈现的屋盖结构之下。

本项目总建筑面积 146338 平方米，其中地上面积 75204 平方米，地下面积 71134 平方米；建筑占地面积 41030 平方米；建筑高度 28.63 米（室外地坪至观景平台），台塔高度分别为 44.05 米、37.05 米、25.95 米（室外地坪至屋面）；地上 6 层局部夹层，地下 2 层。

建筑形体取“中国扇”之意，结合歌剧艺术的动态美感，以螺旋上升的标志性形体覆盖场地，形成屋盖以下和屋盖以上两种基本空间形态。屋盖以下有序布置的三个观演空间分别为大歌剧院、中歌剧院和情景歌剧院，其他附属空间依中心发散逻辑随空间高度的变化进行组织。三个核心空间突破屋盖，成为屋盖以上空间的视觉焦点，螺旋上升的屋盖方便人们上行，不仅把建筑室内外空间动态连接，还从活动和视觉上与世博文化公园乃至上海重要的城市空间相连接。



图 1-1 效果图

上海大歌剧院整体造型如同一把展开的中国扇。如图 2.1 所示，屋面结构共分为 A、B、C、D 四个区域，其中，A 区为最大悬挑长达 15m 的 UHPC（Ultra-High Performance Concrete，超高性能混凝土）悬挑楼梯，B 区为不上人双螺旋混凝土厚壳，C 区为上人钢结构屋面，D 区为不上人钢结构大屋面，ABC 区结构相连，C 区与 D 区钢结构设结构缝分离，ABC 区结构即为上海大歌剧院核心区结构。

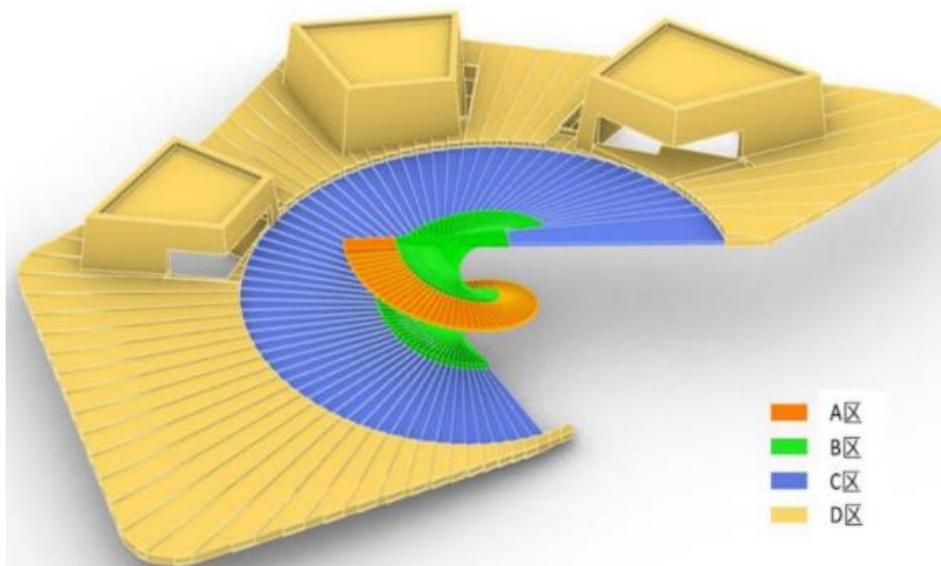


图 1-2 上海大歌剧院结构分区示意图

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

2.1.1 极端跨高比超高性能混凝土装配整体式纯悬挑结构

为满足大歌剧院整体建筑艺术视觉效果，核心区结构在轻盈这一特点上进行了极致的追求。其中核心区结构 A 区悬挑梁板结构需满足极端跨高比要求：悬挑 15m 的同时，结构截面高度必须限制在 725mm 以内，因此最大跨高比突破 20。为解决该问题，上海大歌剧院世界首创的大规模采用新型建筑材料——抗压强度高达 165MPa 的 UHPC（Ultra-High Performance Concrete，超高性能混凝土）作为核心区 A 区结构材料。但 UHPC 于国内外从未在房建领域中作为主要承重结构材料如此大规模应用过，缺少相应规范和有效参考依据，必须通过研究确保 UHPC 的结构安全性及工艺稳定性。

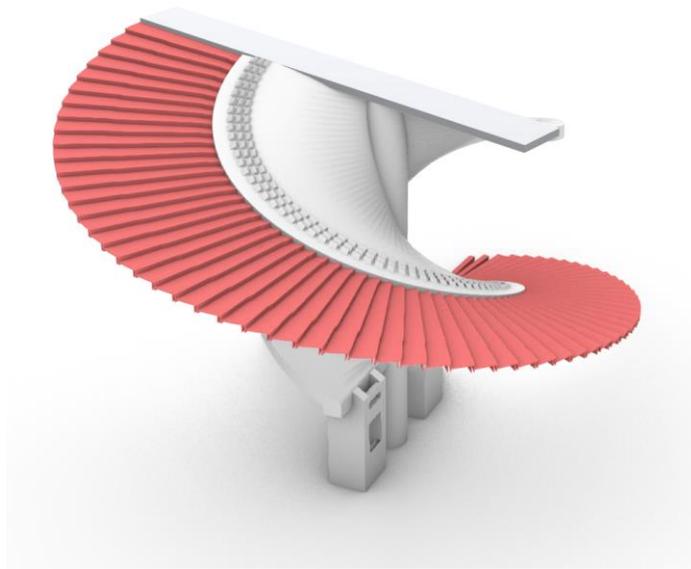


图 2.1 核心区 A 区“超薄”UHPC 纯悬挑结构

2.1.2 双螺旋自由曲面混凝土厚壳结构

核心区结构 B 区为尽可能提高结构承载力，将内部结构设计为双螺旋自由曲面混凝土厚壳形式，从而将结构截面上下边界尽量贴近建筑面层，充分利用有限的空间提高结构截面有效高度，但与之而来的，是几乎毫无参考规律的自由曲面的混凝土厚壳表面和最厚处将近 1.5m 的混凝土厚度，结构形式极端复杂，其结构类型本质上不属于目前已有定义的任意一种典型结构构件，其建造工艺可供参考的依据极为有限，需将其按照独特的异形混凝土空间结构对待，对全过程的关键施工工艺展开研发。

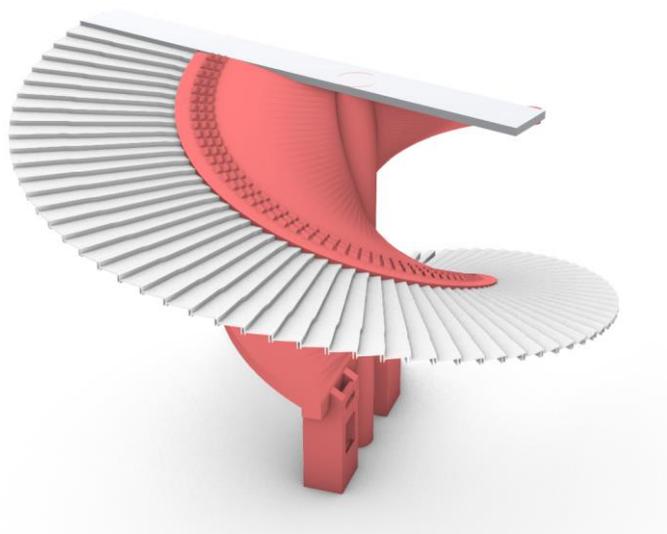


图 2.2 核心区 B 区“超厚”混凝土双螺旋自由曲面异形空间结构

2.1.3 大面积大跨度螺旋异型钢屋盖

上海大歌剧院特有的大面积大跨度螺旋式上升钢屋盖，其结构体系不同于传统钢框架结构以及大跨度屋面网架结构，整个钢屋盖结构通过下方设置百余个钢支座与下方主体结构连接，且局部设大跨度高净空钢桁架屋盖。常规钢结构吊装临时支撑体系代价巨大，不同规格不同标高构件及结构需采用不同临时支撑体系，各类支撑体系起拱及施工变形协调对结构建造工艺要求极高，且施工精度控制难度极大。

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 设计阶段

3.1.1 提出基于足尺实验的预制预应力 UHPC 悬挑构件受力性能及加工工艺

基于足尺试验研究，创新性提出 UHPC 构件及结构加工技术。针对异形变截面的 UHPC 构件加工，研发尺寸可调节的钢模具满足加工要求；提出 UHPC 材料与缓粘结预应力工艺耦合条件下的混凝土浇筑和构件养护方法；针对施工条件有限的施工现场，研发 UHPC 材料现场浇筑施工工艺，提出 UHPC 材料连续搅拌与浇筑的现场施工技术。



图 3-1 UHPC 预制构件浇筑



图 3-2 UHPC 预制构件养护



图 3-3 UHPC 现场浇筑养护

通过足尺试验研究 UHPC 梁的受力性能，UHPC 梁的加载过程经历弹性工作阶段、弥散开裂阶段、裂缝发展阶段直至最后失去承载力，在裂缝扩展时能听到明显的钢纤维拔出声音。梁破坏时只有破坏截面达到了抗弯承载力，根部截面并未达到其抗弯承载力，裂缝数量和裂缝发展高度都由关键截面向端部递减。最终结果表明两根梁的抗裂、挠度和承载力检验都满足工程实际要求。

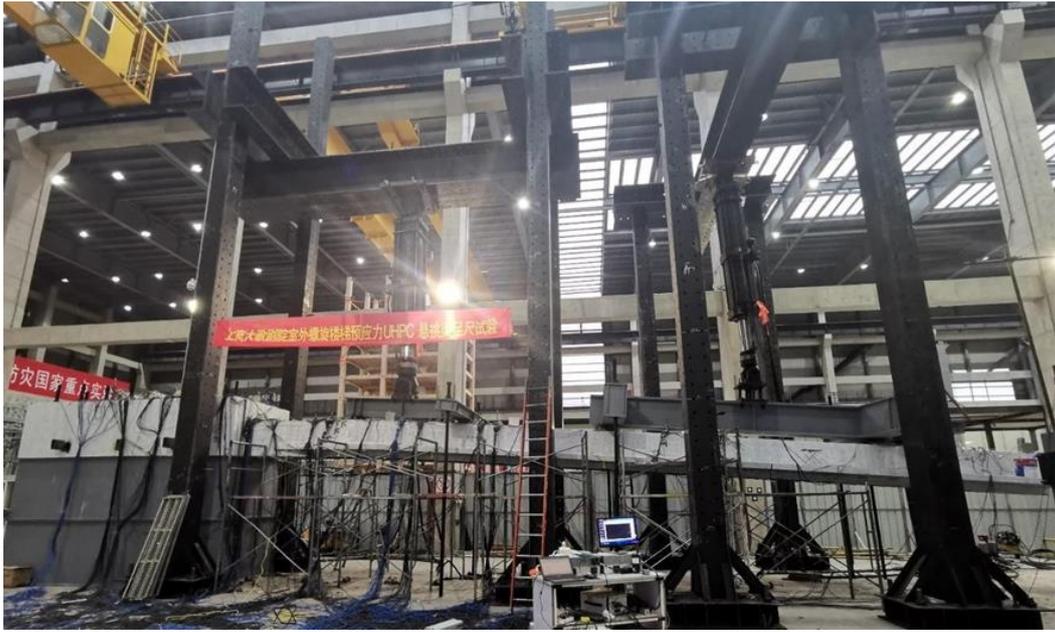
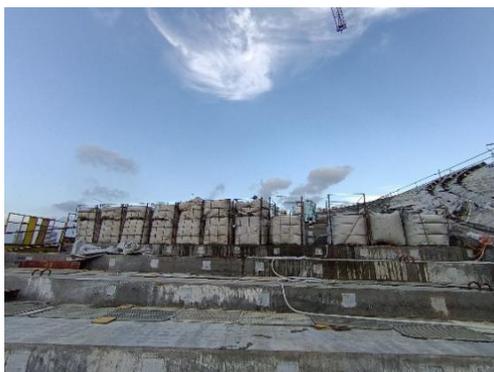


图 3-4 UHPC 足尺试验试件变形图



图 3-5 足尺试验裂缝分布图

通过工程原位堆载试验，验证 UHPC 结构的实际承载力。结果同样表明，测试梁各测点应力和挠度随荷载增加呈现线性增长。卸载后，梁端挠度数据基本归零，各待测主梁未出现残余变形。实测应力值和挠度普遍小于理论计算值，但总体趋势与计算值基本一致。说明结构在最大设计荷载仍于弹性变形阶段，同时结构实际承载能力强于理论预期。



a.



b.

图 3-6 结构原位堆载实验

3.1.2 形成扇形结构 UHPC 预制预应力构件形式及节点深化设计方法

通过对上海大歌剧院核心区结构整体进行适用性概念分析，明确核心区结构超高性

能混凝土 UHPC 材料应用优势及局限性，并明确 A 区采取 UHPC 装配整体式结构，B 区采取高强混凝土现浇结构，细化了 A 区结构具体形式；以结构性能、建筑功能性及施工可行性作为评价标准，对不同 UHPC 连接节点进行评价，并确定背景工程中应用的 UHPC 与不同材料结构连接节点的具体形式；通过实体单元有限元分析，对 A 区 UHPC 结构最长悬挑梁进行包括施工阶段在内的几何-材料双非线性有限元分析，从而确定可满足背景工程应用的 UHPC 材料强度及构件具体形式，并为后续结构性能足尺实验及背景工程设计应用提供直接依据。

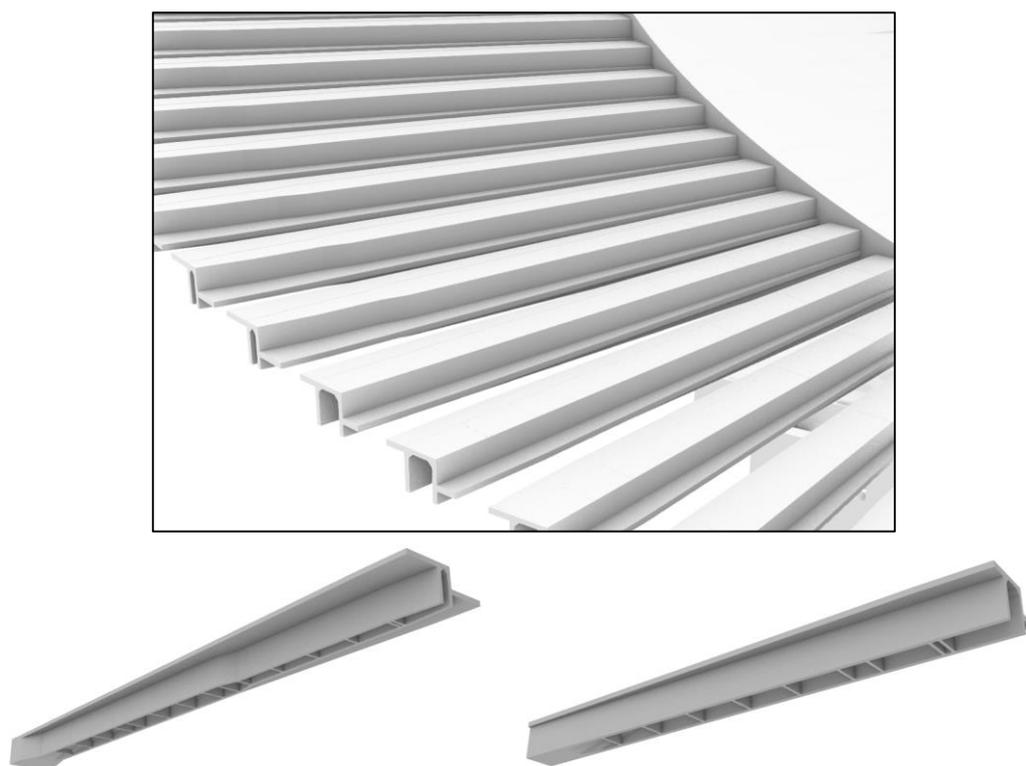


图 3-7 UHPC 预制构件三维模型

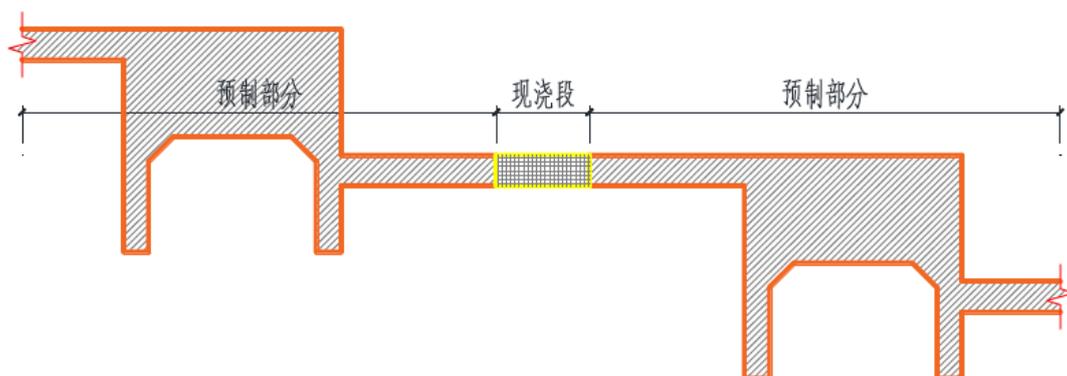


图 3-8 UHPC 悬挑梁节点示意图

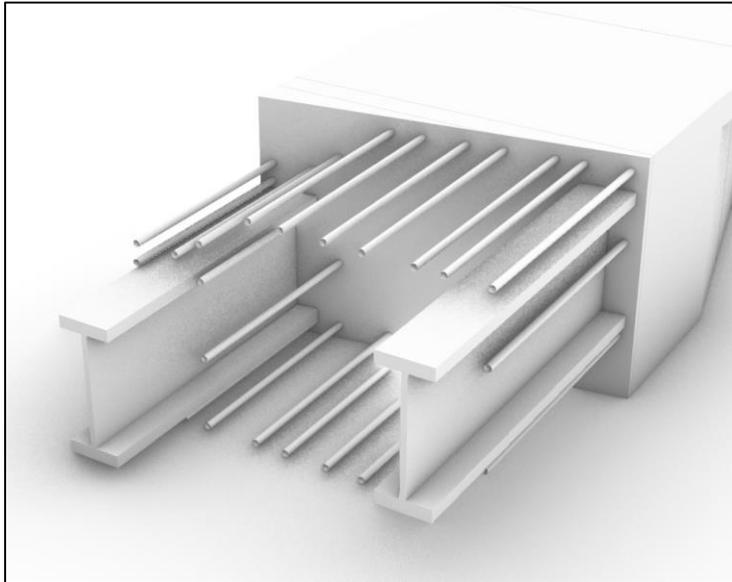


图 3-9 UHPC 连接节点示意模型

3.1.3 形成双螺旋自由曲面混凝土厚壳建造关键技术

通过对结构自由曲面外表面形成机理及功能性进行分析，对该曲面进行创新性参数化优化，在保证精度的基础上，将原自由曲面优化为具有可利用物理意义的规律性曲面，并对优化后曲面进行精度分析，为后续曲面模型深化和实际施工提供基础，保证工作效率。

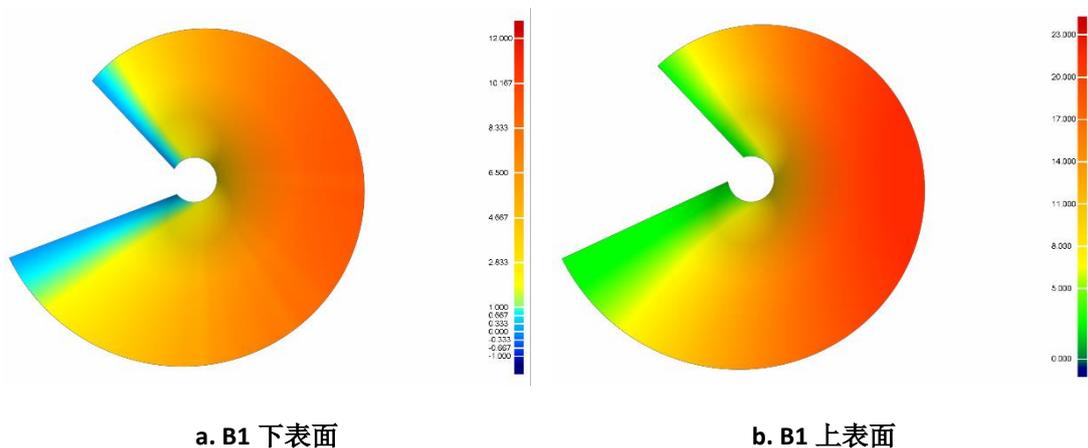


图 3-10 优化曲面精度分析

通过对自由曲面混凝土结构特点难点进行分析，确定曲面混凝土结构支撑体系方案确定过程及评价标准；对临时支撑架体方案进行论证并确定钢结构+扣件式临时支撑排架的具体架体形式；对临时支撑架体进行非线性施工阶段过程分析，确保架体结构安全；以优化后的曲面为基础，确定扣件式支撑排架布置原则，确保曲面施工可行性；创新性采用长条形木模作为底模模拟不可展曲面，并采用 GFRP 定制加工大模板作为面模以保证

面模精确度。

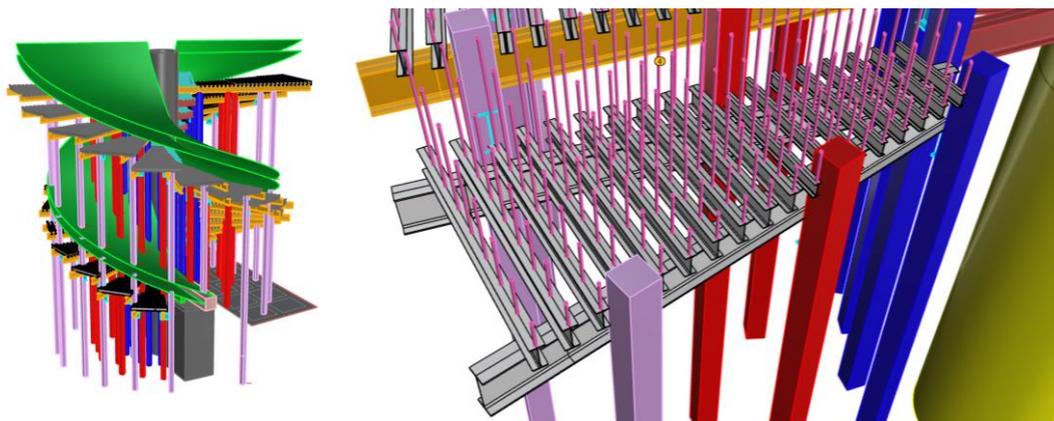


图 3-11 钢结构+扣件式支撑排架体系示意图



图 3-12 定制 GFRP 曲面大模板

在优化曲面的基础上，利用自由曲面物理意义，创新性研发数字化建造定位技术；研发基于 Grasshopper+Rhinoscript 的参数化算法，实现曲面下表面自动深化及平面图纸自动导出；研发基于 Excel 的曲面数值计算算法及数字测量技术，实现曲面上表面无图化施工，最大化提高上表面定位施工效率，同时实现曲面上下表面现场任意点位精度复核，保证精度及实际施工效率。

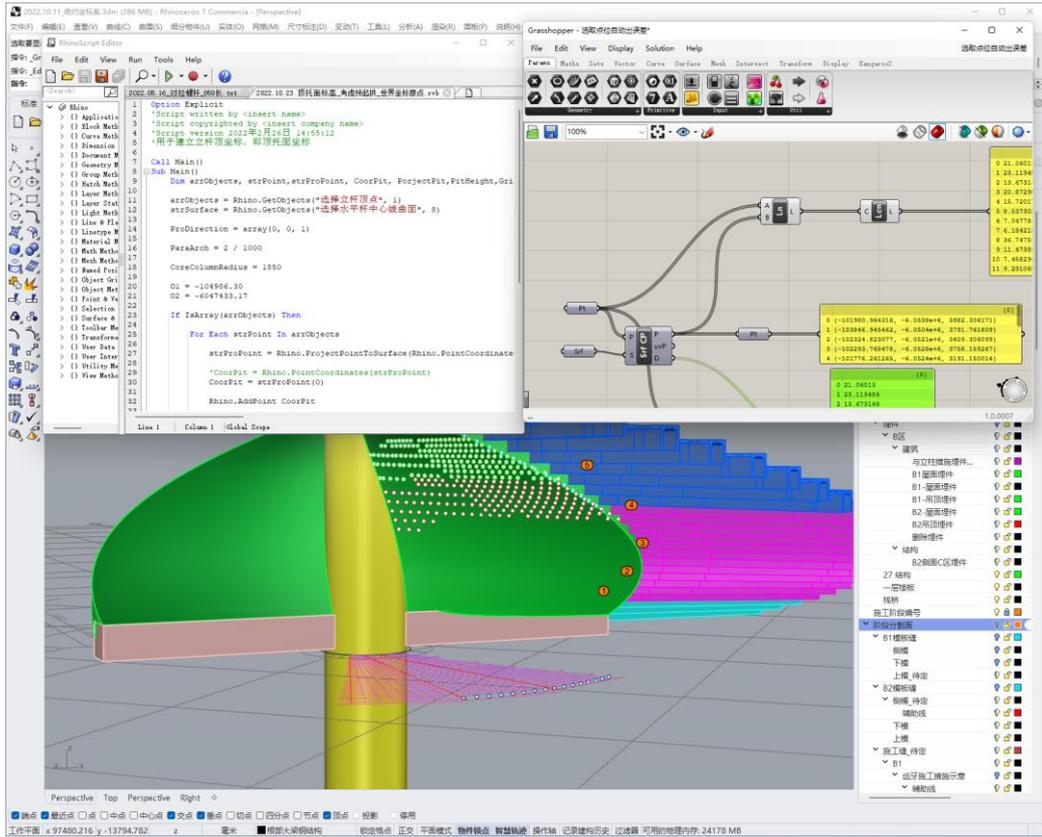


图 3-13 Rhino+Grasshopper+Rhinoscript 参数化建模

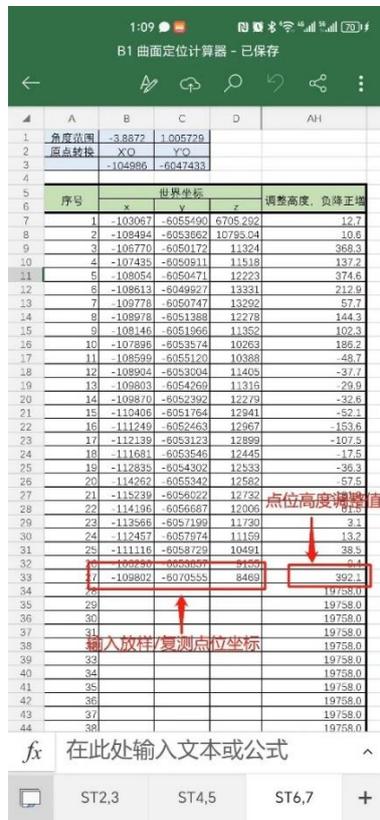


图 3-14 坐标测量及 Excel 定位程序运行

根据自由曲面混凝土特点，创新研发一系列适用于曲面混凝土结构的施工工艺，包括空间曲线钢筋施工工艺，解决曲面混凝土结构大量高密度 HRB500 钢筋加工及施工工艺；配合临时支撑系统及定制加工 GFRP 大模板系统，研发曲面混凝土厚壳对拉螺杆体系，解决自由曲面混凝土厚壳双侧模板对拉螺杆无法施工问题，保证模板支撑体系具有足够的水平侧向承载力；研发曲面混凝土结构现浇技术，根据曲面特点，针对性布设阶梯型混凝土施工缝及 GFRP 定制模板混凝土浇捣孔，确保混凝土质量；针对曲面结构预应力矢量定位，研发并形成基于三维模型的空间曲线缓粘结预应力筋深化及施工技术。

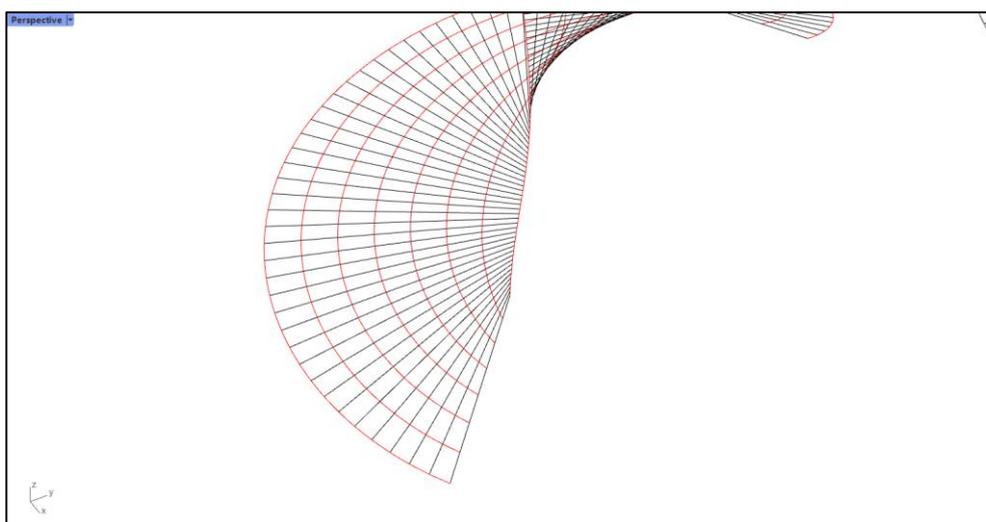


图 3-15 空间曲面钢筋示意图

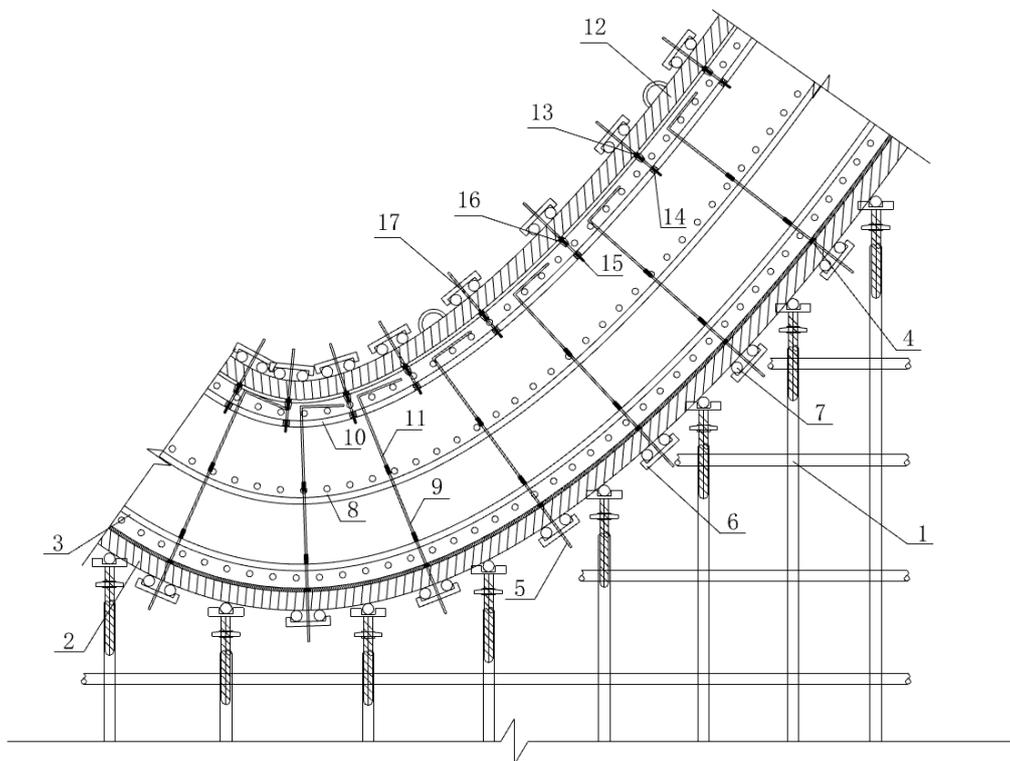


图 3-16 曲面混凝土厚壳对拉螺杆示意图



图 3-17 曲面混凝土对拉螺杆实际施工

以参数化建模分析基础为基础，通过数字测量，利用全站仪点位复测和三维激光扫描分析技术，形成曲面混凝土误差分析技术，得出并确保现浇曲面混凝土结构误差满足工程精度需求。

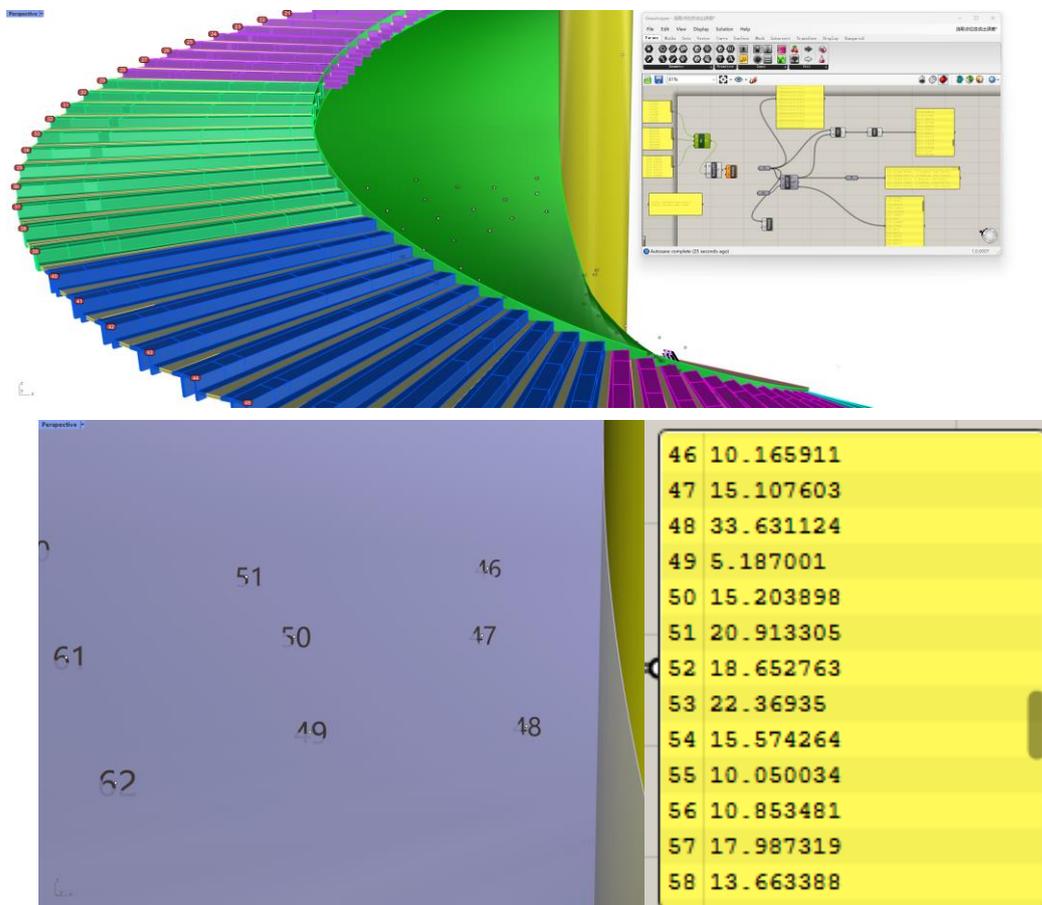


图 3-18 曲面点位及其误差分析算法

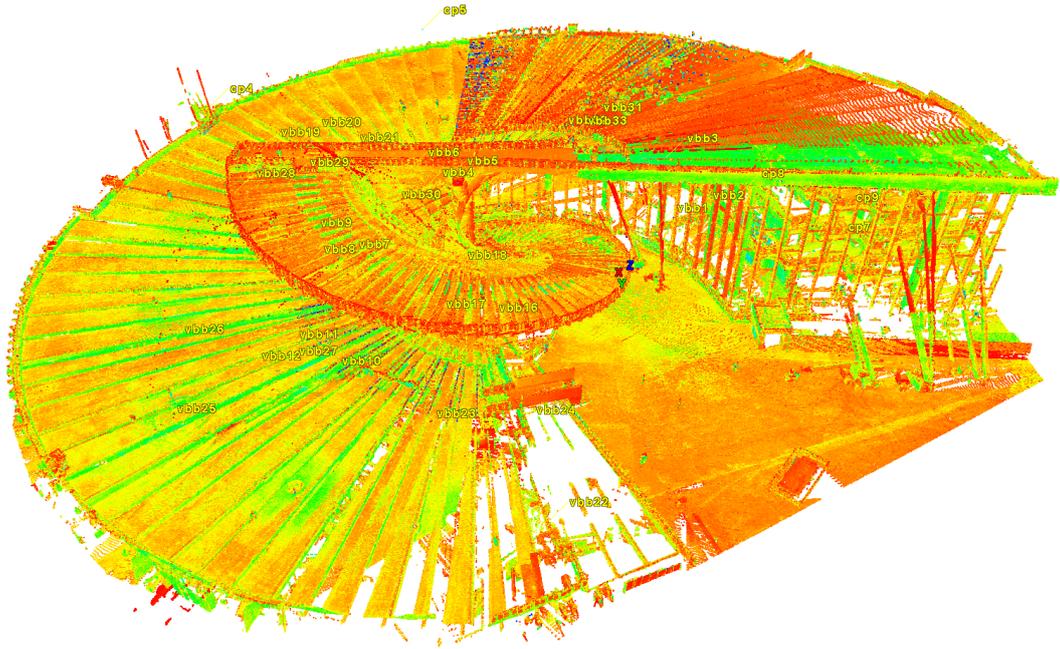


图 3-19 核心区结构三维激光扫描

3.2 施工阶段

3.2.1 形成预应力 UHPC 悬挑扇形结构施工阶段数字化建造技术

针对复杂悬挑结构中因构件型号众多而难以进行有效区分和管理的难题，研发了一种基于部品拼装的 UHPC 扇形结构数字化管控技术。采用了模型导出构件信息并自动生成二维码，为每一个构件赋予一个独特的编码。施工过程中实时更新构件的状态并上传智慧平台，从而现场人员可随时查看构件的最新状态，确保了 UHPC 结构在全部构件的生产加工效率及管理。

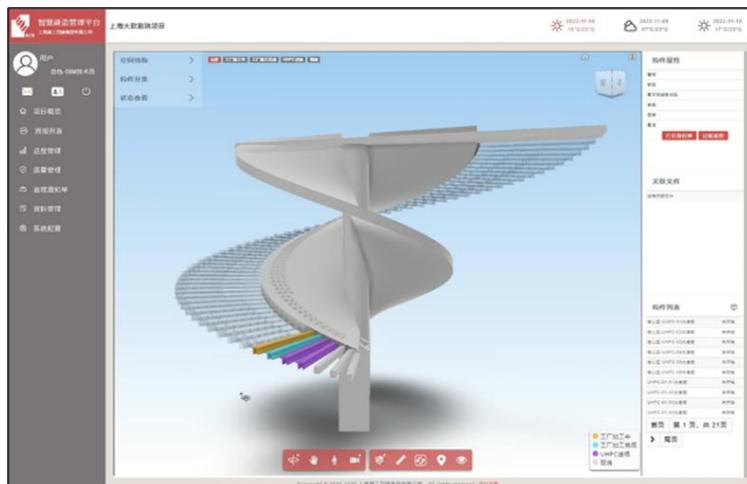


图 3-20 智慧建造平台



图 3-21 UHPC 梁二维码身份牌

针对 UHPC 扇形结构施工工艺复杂性和工序多样性带来的管理协调问题，研发了基于 BIM 的 UHPC 扇型结构施工工艺搭接及可视化管理与控制技术。通过模拟施工全过程，发现并解决施工工序冲突，形成复杂结构施工工艺搭接技术。通过建立施工可视化管理平台和无人机航拍技术，实现管理人员对一线的实时管理与记录并形成施工现场可视化管理与控制技术。



图 3-22 基于无人机的施工现场全景球系统

3.2.2 形成预制预应力 UHPC 超大悬挑扇形结构施工阶段健康监测技术

为了深入剖析复杂结构在施工过程中受力模式的变化规律，以确保施工活动的安全性，研发结构健康监测技术监测结构主体在各施工各阶段的应力应变数值，以检测不同阶段结构内部的应力变化。结果表明，施工过程中混凝土及钢筋应力均小于所采用材料的强度设计值，结构在施工过程中处于安全状态。



图 3-23 振弦式压力环

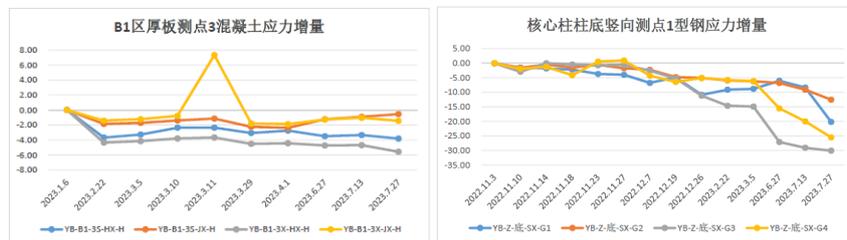
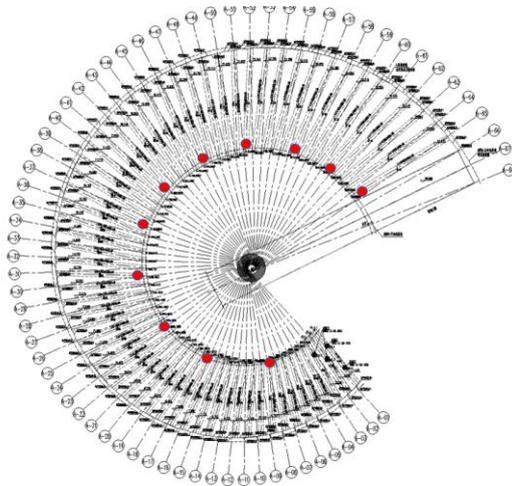


图 3-24 B 区应力应变测点布置及监测结果

研发出一种基于 AI 视觉算法的 UHPC 结构变形监测技术，开发出一种用于监测临时钢平台的技术。利用这些技术对不同施工阶段中钢平台内部的应力变化进行监测，对支撑拆除阶段结构主体的挠度变化进行精准追踪。



图 3-25 监测点位布置图

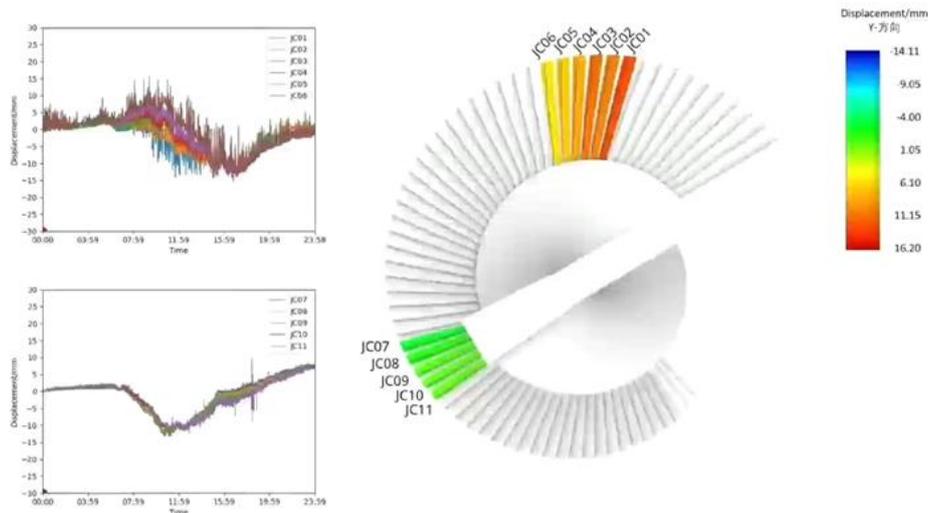


图 3-26 光电位移实时监测结果

研发并应用核心区结构舒适度检测及控制技术。针对 UHPC 悬挑结构进行详细分析，明确其主要振型及相应的自振频率。分析了在不同激励作用下结构的最大振幅响应，并采用 TMD（调谐质量阻尼器），提升结构的舒适度，达到超过 60%的减振效率。这一成果为悬挑结构的舒适度控制和减震设计提供了有益的参考。

3.2.3 形成超大跨度螺旋式上升钢屋盖安装成套技术

创新地采用设计、深化、施工模拟一体化方案优化技术，结合原结构设计模型，采用“临时支撑+模块化施工”的安装工艺，解决了大屋面安装过程中由于竖向构件未成体系导致的结构稳定性不足的难题，同时降低了安装过程的安全隐患；通过协同各专业对大屋面安装过程的沉降变形进行综合分析，通过有限元分析软件对临时支撑设置方案的对比分析，优化现场临时支撑的设置，确定最优的螺旋式屋面安装顺序及“分层逐级卸载”的方案，解决了安装变形控制、大屋面整体安装精度控制等问题。

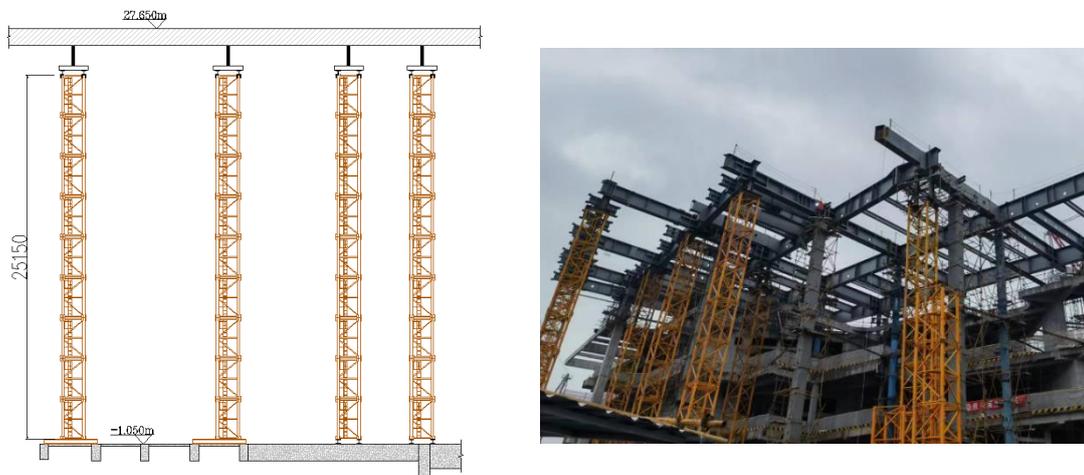


图 3-27 塔架临时支撑布置图

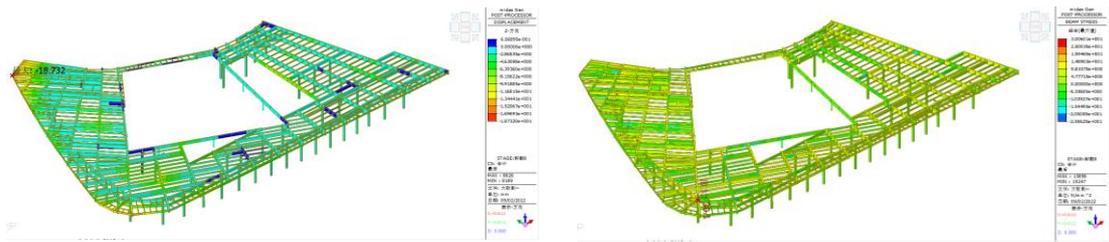


图 3-28 八阶段卸载应力变形图

3.2.4 形成巨型同心双管钢柱加工及施工一体化技术

创新地采用巨型内外圆管分段错位安装的方式，内外筒分开施工导致的安装及焊接空间不足、与内外筒内灌混凝土施工工艺矛盾等问题，并自主研发了适用于巨型同心双管柱错位对接的可移动拆卸式操作平台，解决了钢柱独立施工状态下高空垂直操作平台搭设困难的问题，既提供了安装用操作平台，同时保证了安装精度及焊接质量，且大大降低了操作平台搭设成本。

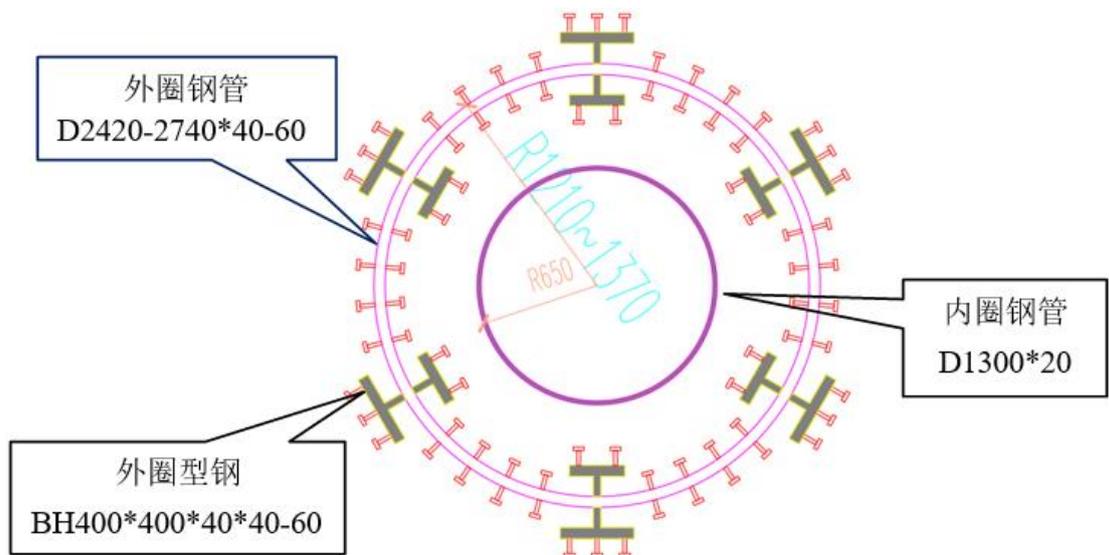


图 3-29 核心柱平面示意图



图 3-30 核心柱加工及现场安装图

3.2.5 形成超高净空大跨度屋面桁架整体提升技术

通过结合屋面周边结构并自主设计高空临时拼装平台，解决了在 70m 净空且底部有遮挡结构的工况下实现屋面桁架的高空拼装的难题，并采用自主研发设计的全自动化液压提升设备及装置，整体提升 40m 至设计位置，实现了屋面大跨度桁架的高空精准对接，大大提高了施工效率且节约施工成本。



图 3-31 桁架整体提升过程图

3.2.6 形成大跨度双悬臂式钢桁架安装技术

通过采用自主研发设计的临时支撑系统，采用 Midas 有限元分析软件分析施工过程的应力及形变，确定大跨度双悬臂桁架最优分段安装顺序及悬臂端起拱控制方案，解决双侧悬臂桁架的精准合拢难题以及支撑卸载后悬臂端下挠的精度控制，最终实现了双悬臂桁架的精准安装。

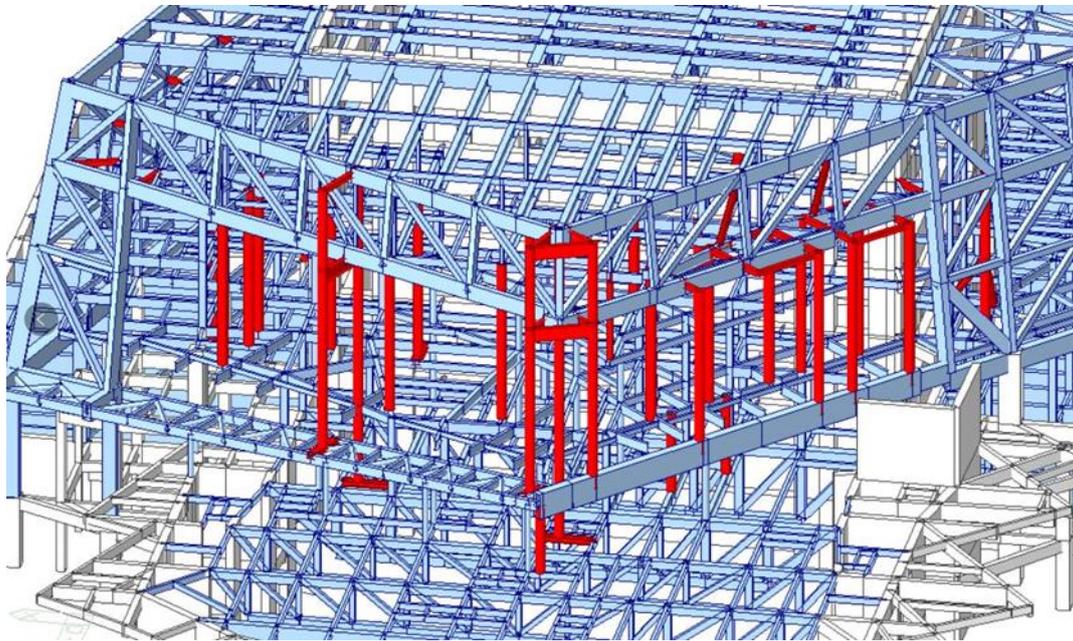


图 3-32 组合型门式钢架胎架支撑体系

4. BIM 技术应用效益与测算方法

本项目采用理论分析、数值模拟、足尺实验、数字化建造技术和智能建造技术等综合手段,形成了超大悬挑超薄预应力 UHPC 扇形结构建造关键技术和大面积螺旋阶梯状异形钢结构屋盖建造技术,并成功解决了上海大歌剧院工程大量复杂异形空间结构建造过程中的关键性问题,突破了大跨异形曲面悬挑结构的建造技术壁垒,保证了建造施工过程的安全及建成后结构的质量,提高了异形曲面混凝土结构的施工效率。

第三方评价情况

中国科学院上海科技查新咨询中心对本项目的研究成果进行了查新,其出具的科技查新报告表明本项目课题研究具有新颖性,出具的科技项目咨询报告表明本项目课题研究成果达到国际先进水平。



图 4-1 科技查新报告

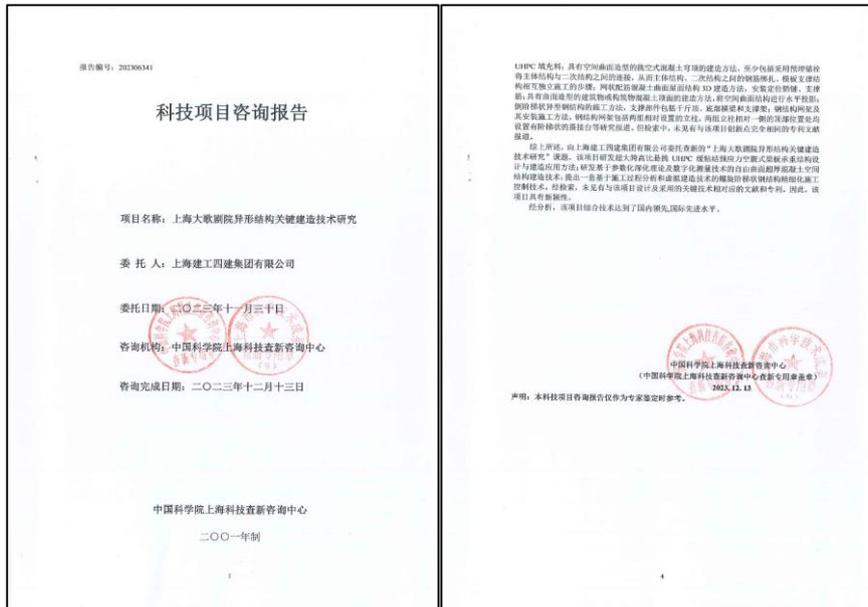


图 4-2 科技项目咨询报告

5. BIM 技术应用推广与思考

“上海大歌剧院”出具的应用证明指出，本项目研究成果成功解决了上海大歌剧院项目诸多大跨异形曲面悬挑结构建设中的诸多难题，确保建造施工过程安全及结构质量，提高施工效率，保障了上海市重大文化设施项目的顺利实施，得了显著的社会和经济效益。

5.1 经济效益

上海大歌剧院项目结构极其复杂，结构设计及施工技术存在壁垒。为满足建筑结构功能性需求，本项目对 UHPC 材料建造施工工艺、自由曲面混凝土厚壳施工工艺、大跨度螺旋式屋面综合建造技术的研究与应用，不仅突破了曲面异形结构建造技术壁垒，而且新型建筑材料的应用节约了大量结构材料和措施费用，在考虑首次应用导致的技术研发费用投入后，依然能节约建造总成本，不仅大大减少了工程投资，还进一步加快了工程进度，提高结构质量，在降本增效方面发挥积极作用，共产生直接经济效益约 1800 万元。本项目课题研究成果所形成的新型建筑材料 UHPC 的应用方法及异形曲面混凝土结构的建造技术，更可以进一步推广到未来其他复杂异形结构中，间接形成巨大经济效益。

5.2 社会效益

未来的上海大歌剧院不仅是顶尖的观演艺术殿堂，还是立足上海面向国际的城市客

厅，将成为全面打响“上海文化”品牌建设、打造亚洲演艺之都的重要载体之一。本项目课题对背景工程世界首创的新型建筑材料 UHPC 房建领域结构应用研究，自由曲面混凝土厚壳 GFRP 模板支撑体系应用以及双螺旋异形复杂钢结构施工技术的研究，对 UHPC 在土建领域的应用推广起到带头示范作用，对超大荷载自由曲面混凝土结构的数字化建造起到行业引领作用，并对空间异形钢结构积累宝贵建造经验与技术资料，克服了上海大歌剧院建筑造型和超高功能性要求对结构建造技艺造成的严峻挑战，完美得打造了这一上海市的新文化地标建筑，助力上海市成为新的世界级文化城市。



图 5-1 2023 上海品质工程交流会



图 5-2 陈吉宁一行现场调研



图 5-3 上海大歌剧院核心区结构建成照片

六、西安东航空港总部保障基地项目

1. 项目概况

东航空港总部保障基地项目包括商服和保障房，其中商服总占地面积 4.5 万 m²，总建筑面积约 21.52 万 m²。项目规划建设商业、办公、酒店、公寓等业态，共计八栋建筑单体。其中：1#、7#楼为综合办公用房和出勤楼，3#楼为星级酒店，8#楼为商业体，商业总面积 2.79 万 m²，2#、4#、5#、6#楼为 LOFT 公寓。保障房总占地面积 10.56 万 m²，总建筑面积 32.26 万 m²。其中 地上建筑面积 21.4 万 m²，地下建筑面积 10.85 万 m²。容积率 2.0、建筑密度 25%、绿地率 35%、总户数 1445 套。

项目位于陕西西安空港新城航空企业国际商务区，是东航“一轴两翼”战略布局的中轴，是东航的航线网络向西辐射、向西拓展的重要服务保障基地。该项目将重点完善“丝绸之路”空中走廊，提升中转衔接质量及服务水平。该项目也是东航数字化转型重点项目，响应国家“十四五”规划要求，加快数字化发展，发展数字经济，推进产业数字化，利用现代信息技术对航空地产这一传统产业进行全方位、全角度、全链条的转型尝试。



图 1-1 商服总部效果图

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

项目作为东航资产投资管理有限公司标杆项目，编制了全套 BIM 应用标准，从模型结构、建模规则、建模精度等各方面对 BIM 应用进行统一管理。BIM 团队建立施工全过程应用流程，从问题提出、方案确认、BIM 交底、施工前、施工过程中进行全过程跟踪。项目采用东航基础建设项目全生命周期内的数据中心-睿瓴云系统，涵盖质量管理、安全防范、进度管控以及数字交付各业务环节。项目智慧工地方案，使用 AI 边缘服务器、塔吊监测等多项智能检测设备，内置多维度 AI 计算方案；实现工程施工数据可视化智能管理，提高工程管理信息化水平。

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

项目建立以东航资产投资管理有限公司总牵头，各职能部门指导，东航空港保障基地项目部与 BIM 团队、监理团队、施工团队进行项目具体实施的 BIM 架构。

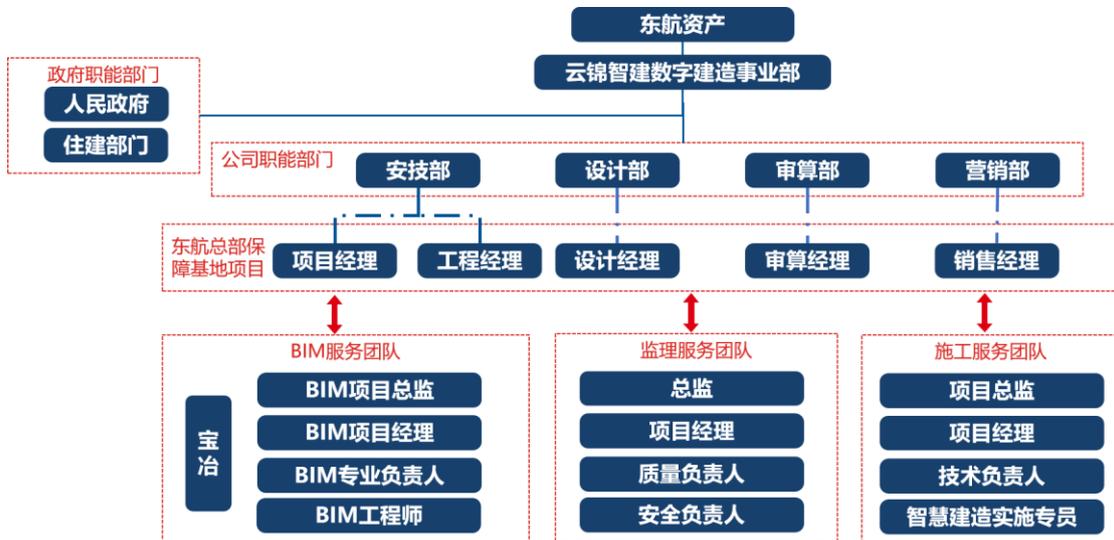


图 2-1 项目组织架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

根据《建筑信息模型施工应用标准（GB/T 51235-2017）》、《上海市建筑信息模型技术应用指南（2017 版）》，结合东航空港总部保障基地项目 BIM 应用标准编写《东航

空港总部保障基地项目 BIM 实施方案》。根据项目实施目标、实施要求及标准，制定 BIM 实施总流程，结合项目工况、项目组织结构及东航 BIM 管理规定，针对各复杂专业 BIM 落地制定 BIM 应用流程及说明，指导项目施工过程中 BIM 落地实施。

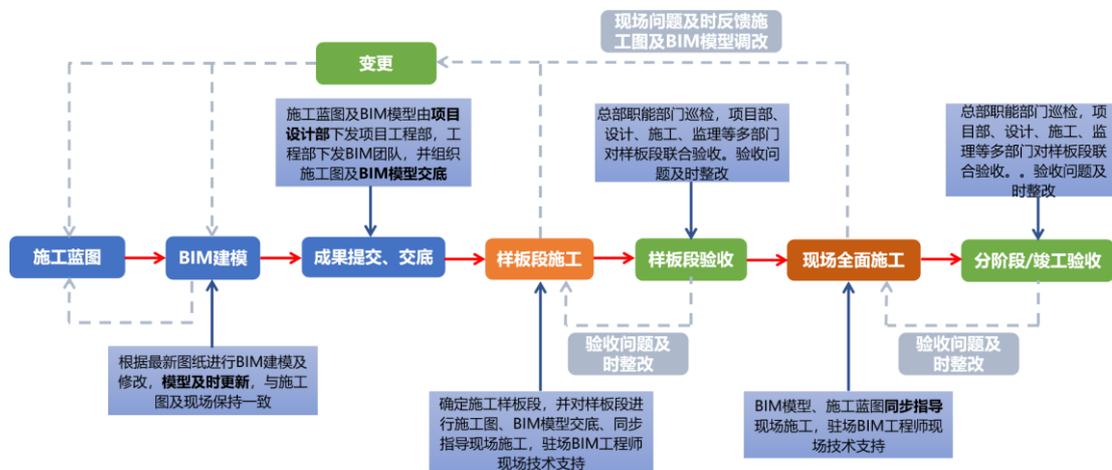


图 2-2 BIM 实施指导流程

2.2.3 BIM 应用环境

项目 BIM 实施软硬件配置如图 4 所示。东航资产投资管理有限公司配置 AR 眼镜、测量机器人、钢结构三维扫描设备、四足机器人(机器狗)、抹灰机器人及喷涂机器人等先进设备，打造创新型智慧建造项目。

| | 工作站 (台式电脑) | 移动工作站 (笔记本电脑) | 应用类型 | 软件名称 | 版本要求 | 交付格式 | 主要作用 |
|------|---|---|--------|-------------------|-------|------|-----------------|
| CPU | 主频: 3.5GHz及以上 内核: 4核心8线程或8核心及以上支持最大内存: 32GB CPU: 64位处理器 | 主频: 3.0GHz及以上 内核: 4核心8线程或8核心及以上支持最大内存: 16GB CPU: 64位处理器 | 模型创建 | Autodesk Revit | 2018 | .rvt | 建筑、结构 |
| | | | | Sketchup | 2018 | .skp | 方案、景观设计 |
| | | | | Tekla Structures | V19.0 | .ifc | 钢结构 |
| 显卡 | 显存容量: 2G以上 显存位宽: 256bit以上 显存类型: GDDR5 | 显存容量: 2G以上 显存位宽: 256bit以上 显存类型: GDDR5 | 模型整合应用 | Navisworks Manage | 2018 | .nwd | 多专业模型整合、模型浏览、审核 |
| 内存 | 16GB DDR3及以上 | 16GB DDR3及以上 | 模型渲染 | Lumion | 8.0 | .mp4 | 漫游动画演示 |
| 硬盘 | 128G SSD固态+1TB 硬盘以上 | 128G SSD固态+1TB 硬盘以上 | | Enscape | 2.30 | .mp4 | 场景漫游 |
| 显示器 | 支持1920*1080以上分辨率 | 支持1920*1080以上分辨率 | | 3Dmax | 2020 | .jpg | 效果渲染 |
| 操作系统 | Win10 64bit及其以上 | Win10 64bit及其以上 | 绘图制图 | AutoCAD | 2018 | .dwg | 识图绘图制图 |
| | | | 方案分析 | BIMfilm | V3.0 | .mp4 | 方案模拟 |

图 2-3 BIM 软硬件配置

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 BIM 技术应用成果

3.1.1 图面核查与预留预埋

项目体量大，图纸版本繁多，各专业交叉。施工图阶段创建 BIM 模型，土建建模深化阶段，梳理协调解决土建深化问题 596 项，BIM 机电深化过程中提交机电报告 121 份，共发现并解决机电类设计问题 747 条么，与设计协调拉通，明确问题内容，及时闭合相关问题。

管综优化方案确认后，在模型中对一结构预留预埋进行调整，并与蓝图进行复核，云线圈出改动位置，完成一结构预留预埋 2415 个。施工前进行 BIM 一结构预留预埋方案确认，BIM 出预留预埋图纸 141 份，土建施工完成后 BIM 团队现场复核，出具复核报告，现场复核预留预埋准确率 97%。

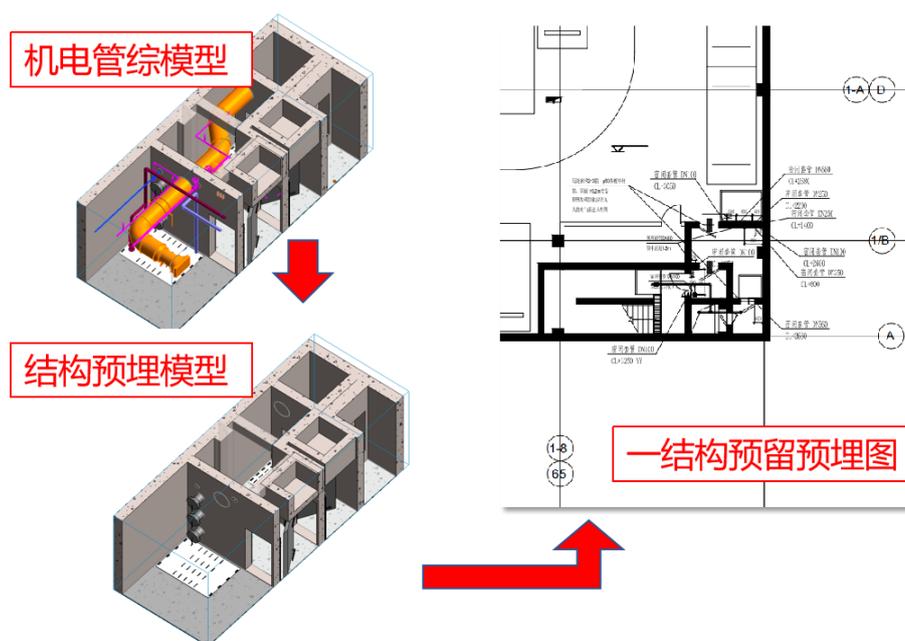


图 3-1 预留预埋复核与出图



图 3-2 预留预埋施工复核

3.1.2 机电深化

商服地块包含地下商业、地上东航总部大楼及五星级酒店等，业态交叉繁多，各区域净高需求复杂。利用 BIM 三维模型进行管线排布，并调整优化后以色块显示净高，直观核查净高是否满足需求。

案例 1：车道区域喷淋贴梁布置，强电桥架布置在最上层，桥架底标高 3800mm；弱电桥架布置在中间层；桥架底标高 3600mm，喷淋、给水管道布置在最下层，管道底标高 3240mm。满足车道 3000mm 净高需求。

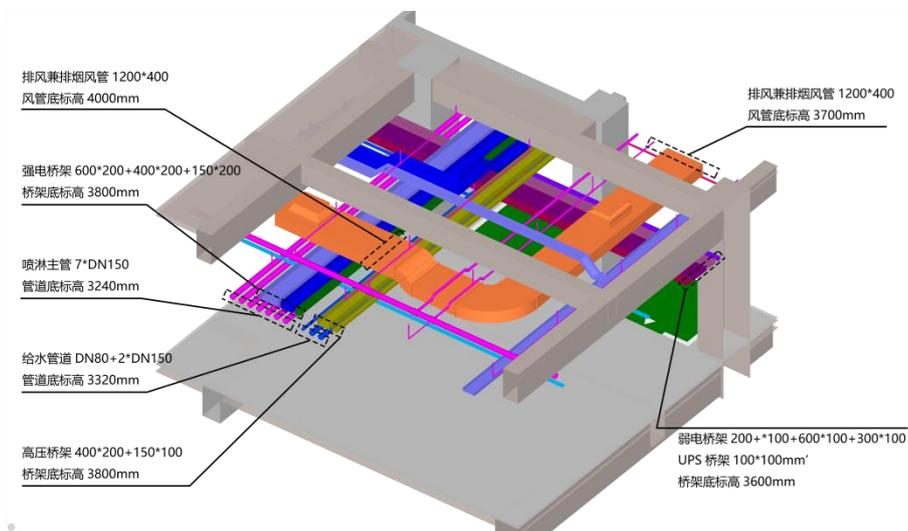


图 3-3 车位机电管综深化

案例 2：车位区域机电管线排布遵循小管让大管的基本原则；三根桥架及小风管利用梁窝翻弯，避让大风管；风管遇到成排的桥架、水管合理翻弯，避免碰撞。机电管线底标高 3320mm，满足车位 3000mm 净高需求。

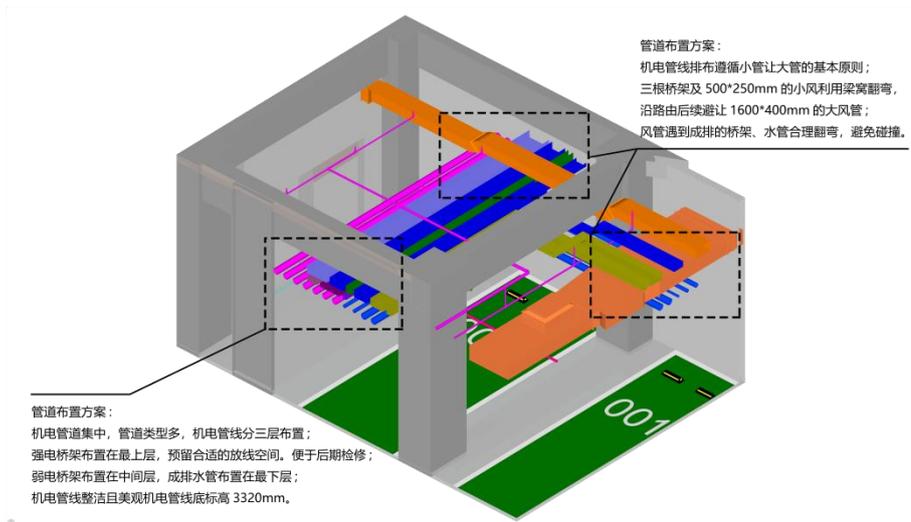


图 3-4 车道机电管综深化

施工联合巡检：为确保 BIM 管综排布方案落地实施，BIM 团队联合监理单位、施工单位在土建完成、二结构阶段巡场复核土建工况，支吊架安装阶段，管线安装阶段复核机电安装情况，机电安装完成阶段参与机电验收。

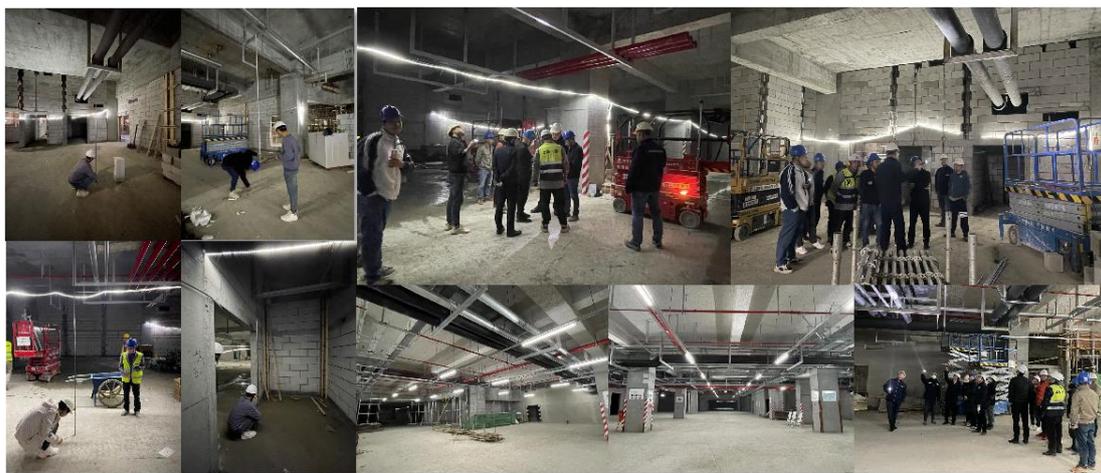


图 3-5 机电施工联合巡检

3.1.3 精装深化

商服 1#单体作为东航西北分公司总部，是集日常办公、航前准备和总部指挥多项功能配套。为了保证施工进度推进的同时精装满足各部门功能需求，利于 BIM 模型进行精装深化。1#总部大楼 1F 整体为飞行员航前准备办公室，充分考虑航前准备动线，基于 BIM 漫游进行航前签到-航医-准备大厅办公室-化妆间-情报室-EFB 室-箱包室-卫生间-更衣室-联合准备室-短暂休息室-出发大厅动线演示。

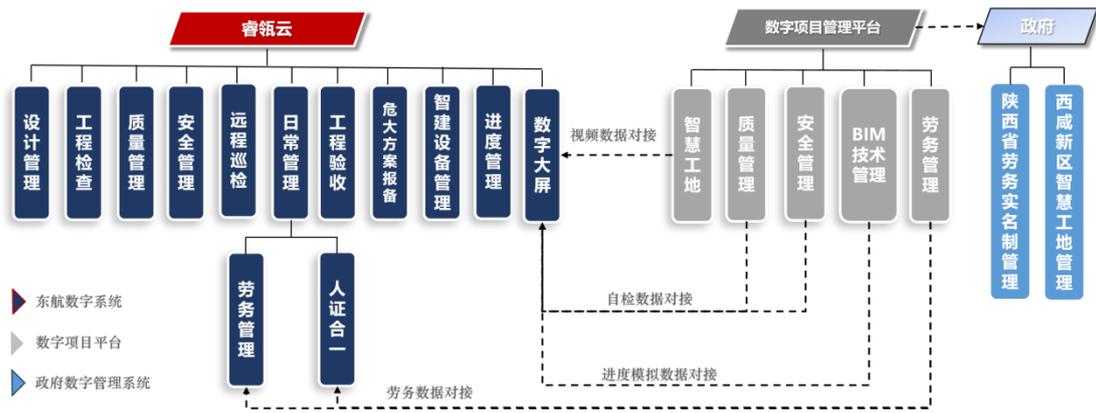


图 3-8 数字化平台架构

3.3 创新特色应用

3.3.1 AR 智慧眼镜应用场景

项目基于智慧眼镜，实现了 AR+AI 与总部巡检的融合创新，通过远程巡视、标准作业等场景，通过智慧眼镜，总部监管人员借助 AR 眼镜实现对工地现场的质量、安全、廉洁等方面的监督巡视。

实时对接的视频会议管理模块，确保登临检查各环节可控可溯，实现语音提示、语义识别及第一视角视频记录，远程专家与现场人员的音视频互动，实时指导现场重点施工环节，第一时间处置现场问题，降低了人力成本，提升了作业效率。



图 3-9 智慧眼镜运用场景

3.3.2 扫描机器人

东航资产投资管理有限公司结合国家标准要求、三维扫描、BIM、GIS 技术，融合创新了基于激光三维扫描的钢结构施工过程形变量监测技术并在西安东航空港保障基地项目中开展了实际应用。数字建造事业部研发基于航空建设钢结构管控特色相匹配且具备知识管理功能、支持数据共享、统一数据标准的基于三维扫描钢结构施工质量管理体系，

实现全项目覆盖的钢结构安装过程精细化管理很有必要。

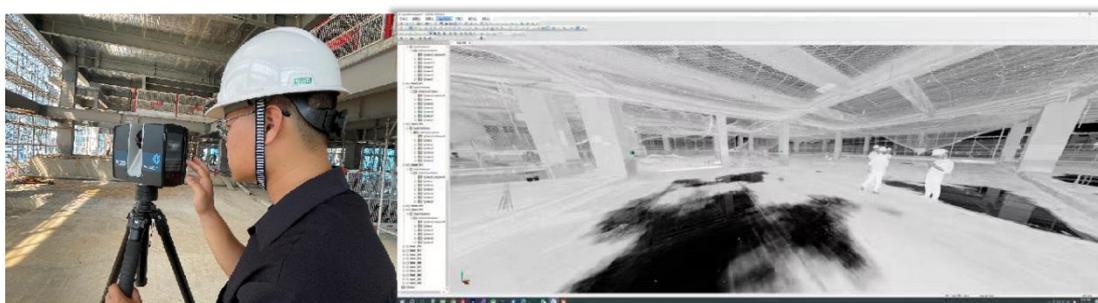


图 3-10 钢结构扫描场景

3.3.3 机械狗巡检模块

通过调用四足机器人（机械狗）感知系统的 TCP 接口和运动系统的 UDP 接口，研发拥有智慧巡检能力的四足机器人（机械狗），实现巡检信息回传，远程控制，任务配置。

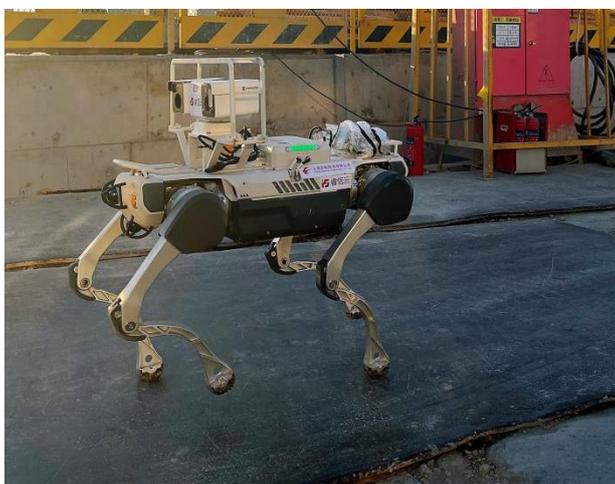


图 3-11 机器狗巡检场景

3.3.4 喷涂机器人

乳胶漆自动喷涂机器人，本项目用于住宅、办公、商业等场景下室内乳胶漆施工，能实现对室内的墙面、飘窗、横梁、天花板和石膏线等结构的底漆和面漆全自动喷涂。



图 3-12 喷涂机器人检场景

3.3.5 抹灰机器人

基于 BIM 三维可视化设计，提取 3D 环境，抹灰机器人通过离线学习、路径规划并生成程序，现场进行抹灰施工。综合工效 300 平米/天，为人工抹灰的 5~8 倍，空鼓程度为人工抹灰 1/30，垂平度合格率>95%。

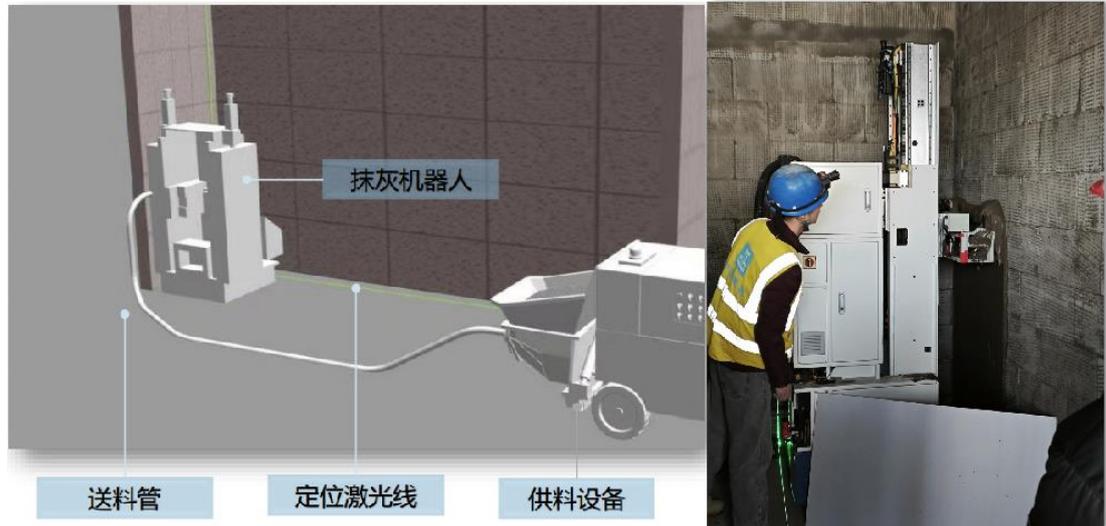


图 3-13 抹灰机器人检场景

4. BIM 技术应用效益与测算方法

通过 BIM 发现的图纸问题及设计优化累计节约人、材、机费用约 800 万元。

通过成果数字化交底，平台数字化管理，项目正负零完成节点提前了 20 天，保障房结构封顶提前了 30 天，钢结构结构封顶提前了 40 天。

通过三维扫描对钢结构吊装全程校准及时纠偏，8 栋钢结构共计八十五层仅经过 1 次初拧 1 次终拧即通过验收，节约工期 25 天。

西安东航空港总部保障基地项目，估算节约项目巡检差旅成本：450720.00 元/年。（质量、安全）。

西安东航空港总部保障基地项目中对 2097 间房间进行砌筑阶段和精装阶段的产品测试与评估工作。机器人测量的数据准确率达 98%，对比传统实测实量在现场测试效率上人均提高 5.7 倍，估算节省人工成本约 52 万元。

西安东航空港总部保障基地项目：自 2019 年 5 月以来，睿瓴云系统中质量问题共计上传 1525 条，安全问题共计上传 841 条。通过 AI 视频监控对现场违规行为进行有效抓拍总计 435 次，以此为依据开具罚单 7 份，规避项目损失约 33 万元。

5. BIM 技术应用推广与思考

将数字化平台所采集的全景影像与 BIM 技术相融合，并能将数据与东航管理体系相互整合。为东航基建项目现场提供日常的质量安全数字化监控方案。东航基地建设过程中，提升了建筑物内部巡检力度，提升基地建设品质。已在浦东机场、昆明机场、北京大兴机场等东航基地项目上使用。

在机库钢网架提升与安装过程中结合 BIM 技术，发现各监控点位的挠度变化检测监控、钢结构拼装过程中垂直度数据变化及时提供预警。提升航空企业对机库建设的质量监控。已在北京大兴机场，青岛胶东机场，成都天府机场等项目创新应用。计划还将用于浦东机场、昆明机场、南通机场。

BIM 技术更多的是作为模型及其信息的载体呈现，需要对应数字平台的有机结合。以 BIM 技术作为基础通过平台加持拓展更多的数字设备、传感器通过网络传输协议进行管理及联动，例如智慧眼镜、机器狗、机器人、光伏技术、数字机坪、无人驾驶、AI 技术等，最终实现数字化高品质低碳建造及运维的目标，为航空类配套建筑的建造及使用品质保驾护航。

项目案例奖（市政）

七、嘉兴市秀洲区王江泾工业污水处理工程总承包 EPC

项目全过程 BIM 应用

1. 项目概况

由上海城建设计集团承建的嘉兴市秀洲区王江泾工业污水处理工程设计采购施工总承包项目，是嘉兴市首个 EPC 工业污水处理项目，年度民生实事项目。该项目总投资 7.2 亿元，工程占地面积 54450m²，采用半地理式一体化箱体设计，污水处理规模 5 万 m³/d。

该项目为交钥匙工程，对秀洲区王江泾工业污水处理工程的设计、采购、施工、试运行等实行全过程承包。包括工艺建筑、结构、电气、自控以及配套建设室外附属道路、停车场给排水、绿化景观、大门、门卫、围墙、深基坑等基础设施工程等各个专业的初步设计优化、施工图设计、工程所有材料设备的采购、保管和安装、工程范围内的所有工程施工、管理、试运行、保修服务及相关的协调配合工作。工程社会责任重、复杂程度高、参建单位多、工程进度紧，项目管理难度较大。





图 1-1 项目效果图

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

为突破传统项目管理壁垒，提升较复杂项目管理效率，上海城建设计集团依托秀洲污水处理厂项目，以 BIM 技术应用为基础，构建了智能建造数字化管理平台，以及引入各种智能建造设备和技术。

使用多专业协同设计，打破设计数据之间的壁垒，解决了跨部门协作管理不清晰的难题；三维数字孪生模型联动施工进度，通过平台对危大工程进行跟踪提醒，通过硬件设备实时反馈现场情况，让设计、项目经理等不同人员进行更畅通无阻的沟通和协作，解决了项目管理信息化水平低、进度控制管理难度大的难题；将 BIM 数字资产与智能传感器数据互联，结合增强现实（AR/MR）技术、GPS 定位系统，开发了 MR 智慧污水巡检系统，解决了运维定位不准确、维护不及时等传统运维方式效率低的问题；梳理现有系统、定义集成标准、建立集成平台，打通各类平台系统间的数据链路，实现数据共享和联动，解决了平台系统集成难度大的难题。

“三维数字孪生+AI 实景技术+数智化管理平台”，让工程项目管理向数智化迈出一大步，工程项目管理的智能建造应用更上一个台阶。

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

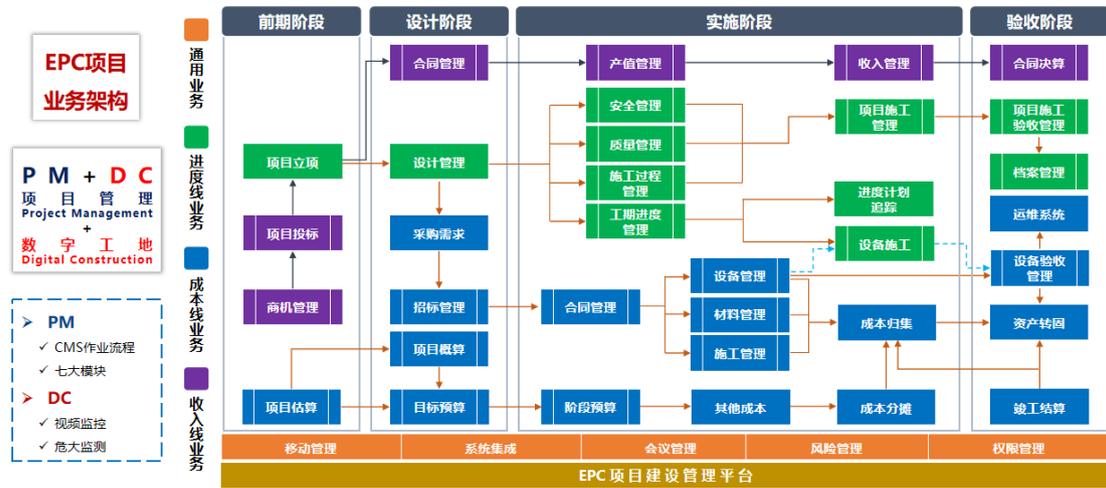


图 2-1 数智化管理平台总体架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

为规范 BIM 建模，统一项目 BIM 技术应用的基本要求，保证模型能在项目中起到实际的指导作用，本项目建立适用于本项目的《建筑信息模型 (BIM) 应用标准》和《建筑信息模型 (BIM) 交付标准》，规范 BIM 实施中的资源和交付等内容，保证 BIM 实施的系统性和规范性。

| | | | |
|---|---|--|---|
| <p>秀洲区王江泾工业污水处理工程</p> <p>建筑信息模型 (BIM) 应用标准</p> <p>上海市城市建设设计研究总院 (集团) 有限公司</p> | <p>目 录</p> <p>1. 总 则 1</p> <p>2. 术 语 2</p> <p>3. 基本规定 3</p> <p>4. 模型要求 4</p> <p>4.1 一般规定 4</p> <p>4.2 模型要求 4</p> <p>4.3 模型要求 4</p> <p>5. 模型应用 8</p> <p>附录 A 模型交付、命名及基本应用要求 11</p> <p>附录 B 模型应用规范 14</p> <p>参 考 文 献 15</p> | <p>污水处理类项目</p> <p>建筑信息模型 (BIM) 交付标准</p> <p>上海市城市建设设计研究总院 (集团) 有限公司</p> | <p>目 录</p> <p>1. 总 则 1</p> <p>2. 术 语 2</p> <p>3. 基本规定 3</p> <p>4. 交付要求 4</p> <p>4.1 一般规定 4</p> <p>4.2 模型交付 4</p> <p>4.3 模型交付 4</p> <p>4.4 模型交付 5</p> <p>5. 交付物及交付要求 7</p> <p>5.1 交付物交付 7</p> <p>5.2 交付物交付 7</p> <p>5.3 交付物交付与验收要求 7</p> <p>附录 A 交付物交付规范及基本应用要求 9</p> <p>附录 B 交付物交付规范 11</p> <p>B.1 交付物交付 11</p> <p>B.2 交付物交付的交付物 11</p> <p>B.3 交付物交付的交付物 11</p> <p>B.4 工业专业的交付物 11</p> <p>B.5 暖通专业的交付物 14</p> <p>B.6 给排水及消防专业的交付物 14</p> <p>B.7 电气专业的交付物 14</p> <p>参 考 文 献 15</p> |
|---|---|--|---|

图 2-2 《建筑信息模型(BIM)应用标准》和《建筑信息模型(BIM)交付标准》

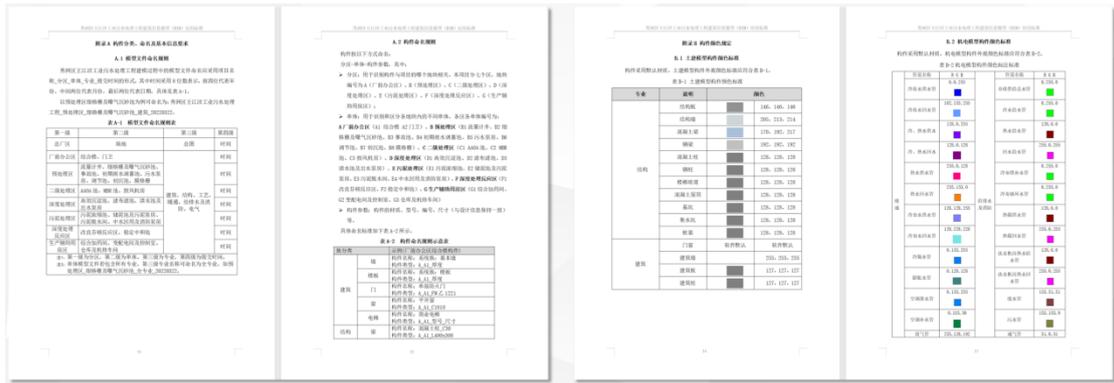


图 2-3 建筑信息模型 (BIM) 应用标准 (部分内容)



图 2-4 建筑信息模型 (BIM) 交付标准 (部分内容)

为保证 BIM 技术在本项目中的落地效果，项目启动前进行系统的 BIM 实施策划，编写各阶段的 BIM 实施方案，包含设计阶段应用、施工阶段应用、运维阶段应用三个阶段。

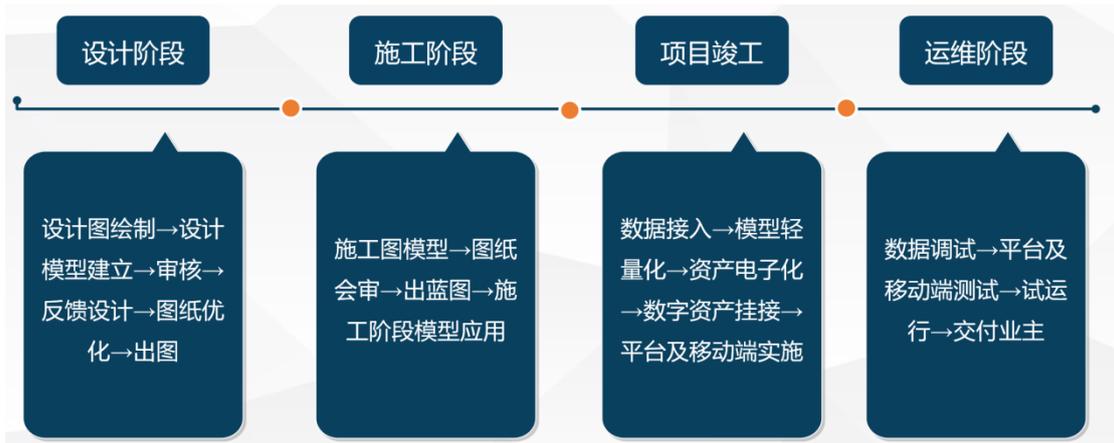


图 2-4 BIM 管理体系总体思路图

2.2.3 BIM 应用环境

本项目配备了高性能工作站 2 台（i9 处理器，专业图形显卡）和高性能笔记本 3 台（i7 处理器, RTX2050 显卡）及 iPad Pro 一台。在软件上，使用了集团自研的总承包数智化管理平台（电脑端）及依托微信公众平台的 BIMRUN 助手（移动端），共同辅助管理现场。



图 2-5 总承包数智化管理平台各模块

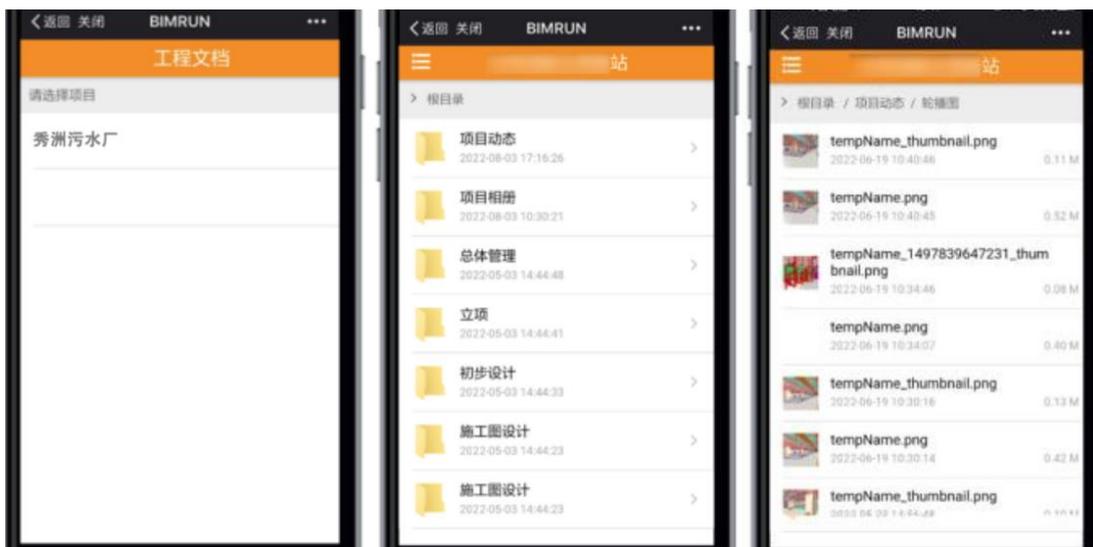


图 2-6- BIMRUN 助手

3. BIM 技术应用成果与特色

(1) 协同优化，设计创效

通过业务流程系统抓取设计资料实现设计资料的唯一性，基于协同出图系统实现设计图纸二维与模型三维的自由切换，可视化的应用方式更利于项目沟通理解；通过对设计质量分析、设计变更追踪等功能的应用，打破设计数据之间的壁垒，让设计、项目经理等不同人员进行更畅通无阻的沟通和协作。同时，针对创造增值效益的设计变更，也能更加便捷地进行捕捉和统计，为项目团队的考核激励提供数据支撑。



图 3-1 平台设计管理主页面



图 3-2 设计优化、设计问题协同交互

| 总承包项目名称 | 总承包项目编号 | 设计项目编号 | 专业 | 资料类型 | 资料附件 | 上传时间 | 备注 |
|------------------|-----------|-----------|--------|------|-------------------|------------|-----------------|
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 暖通 | 设计交底 | 暖通.pdf | 2022-04-21 | HDM-4001-220515 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 地下结构 | 设计交底 | 地下结构.pdf | | HDM-4001-210591 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 信息及自动化 | 设计交底 | 信息及自动化.pdf | 2022-04-21 | HDM-4001-220521 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 建筑结构 | 设计交底 | 建筑结构.pdf | 2021-11-12 | HDM-4001-211280 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 市政排水 | 设计交底 | 市政排水2.pdf市政排水.pdf | 2022-04-21 | HDM-4001-220551 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 建筑结构 | 设计交底 | 建筑结构.pdf | | HDM-4001-210592 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 建筑 | 设计交底 | 建筑.pdf | 2021-11-12 | HDM-4001-211254 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 风景园林 | 设计交底 | 风景园林.pdf | 2022-04-21 | HDM-4001-220541 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 市政排水 | 设计交底 | 市政排水2.pdf市政排水.pdf | 2022-04-21 | HDM-4001-220683 |

图 3-3 通过业务流程系统抓取设计交底信息

| 总承包项目名称 | 总承包项目编号 | 设计项目编号 | 专业 | 设计变更流程编号 | 变更原因 | 工程造价变化 | 变更日期 |
|---------------------------|-----------|-----------|------|-----------------|---------------------|------------------------|------------|
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 工艺 | 007 | 业主要求工艺调整外部水质变化 | <p>增加费用4564280.53元</p> | 2022-11-17 |
| 王泾工业污水处理工程设计采购施工总承包 (EPC) | ZJ020061S | ZJ020061S | 电气 | HDM-4003-220592 | 根据现场实际情况, 补充未考虑... | | 2022-09-09 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 市政排水 | HDM-4003-220338 | 根据第三十四次土地例会纪要... | | 2022-06-14 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 地下结构 | HDM-4003-210829 | 一体化箱体基础设置在一般软土... | | 2021-11-11 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 建筑结构 | HDM-4003-210635 | 工程联系单002 地下水为混凝土... | | 2021-09-08 |
| 秀洲区王泾工业污水处理工程... | ZJ020061E | ZJ020061S | 地下结构 | HDM-4003-210629 | 施工单位提出: 现场地质为鱼塘... | | 2021-09-08 |

图 3-4 通过业务流程系统抓取设计变更信息

(2) 实时全面，进度管控



图 3-5 平台进度管理主页面

进度模拟：可将进度计划与 BIM 构件相关联，在平台中对施工过程和场地进行动态模拟。月报填写数据与进度计划关联。



图 3-6 进度模拟



图 3-7 月报填写形象进度数据



图 3-8 施工进度计划自动关联数据

危大工程跟踪提醒：根据计划工期，系统智能分析项目进度并且给予评估，进度评估分为四个等级：正常、滞后、严重滞后以及提前。如果发现项目实施情况与项目计划进度之间出现了差距，而且这种差距超出了控制标准，就要找出变化的原因，并采取措施加以纠正，以保证进度计划的正常发展为项目的全周期保驾护航。

| 危大工程 | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------------|---------------|----|------|------------|------------|--------|------------|------------|
| 项目名称 | 秀洲区王江泾工业污水处理工程设计采购施工总承包 (EPC) | | | | | | | | |
| 项目编号 | ZJ2020061E | | | | | | | | |
| 危大工程清单 | | | | | | | | | |
| 序号 | 分部名称 | 类别 | 等级 | 危险等级 | 计划开始时间 | 计划完成时间 | 计划实施周期 | 实际开始日期 | 实际结束日期 |
| 1 | 深基坑支护结构 | 起重机械及起重机械安拆工程 | 一般 | 二级 | 2023-01-04 | 2023-01-07 | 4 | 2023-01-05 | 2023-01-06 |

图 3-9 危大工程跟踪提醒

项目现场进度照片：工作进度可以照片或者附件的形式上传并在项目主页优先展示，通过总承包项目数字化管理平台的进度管理，可以让项目进度计划质量更高、更合理，让好的进度管理计划得以优化、传承，为企业工程项目按时、按质圆满完成提供良好的保障基础。

平台多终端使用：开发移动终端，使管理人员能不受场地和设备限制，利用手机、平板电脑等移动端在任何地方实现项目把控。



图 3-10 业务端和移动端

(3) 实景 AI，科学决策

通过实景 AI 技术，自动捕捉采集数据，进行云端 AI 建模，并使用云端 AI 实景的可视化呈现，帮助项目更高效地管理工地。通过实景 AI 技术实现全过程记录、图像追溯功能，直接向集团领导汇报项目实施进度。扁平化集团对区域项目的管理链条，实现数据跨区域互通互信。



现场与BIM模型比对



不同阶段进度比对

图 3-11 借助 AI 实景软件实现现场与 BIM 模型比对



图 3-12 项目人员在现场通过平台使用影像追溯功能

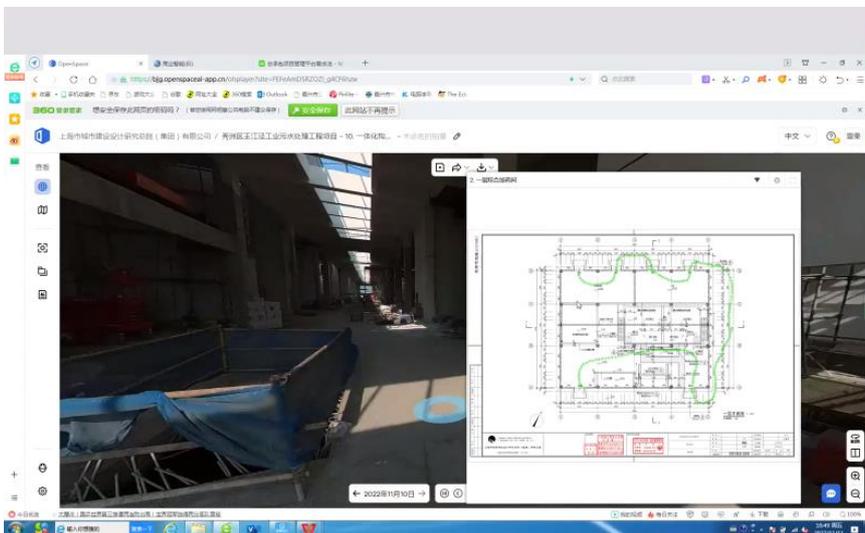


图 3-13 借助 AI 实景软件跨区域项目沟通



图 3-14 无人机定期航拍

(4) 管理精细，安全强化

平台开发了风险源施工日程提醒功能，与进度管理模块共享数据，在重大风险源、危大工程施工前预先发出提示（包括系统推送、即时通讯软件通知等手段），同时在相关人员的 OA 日程安排中自动关联，实时提醒相关人员密切关注风险源的施工进度，确保了本项目重大风险源、危大工程施工平稳有序，相关人员也能及时到岗履职尽责。

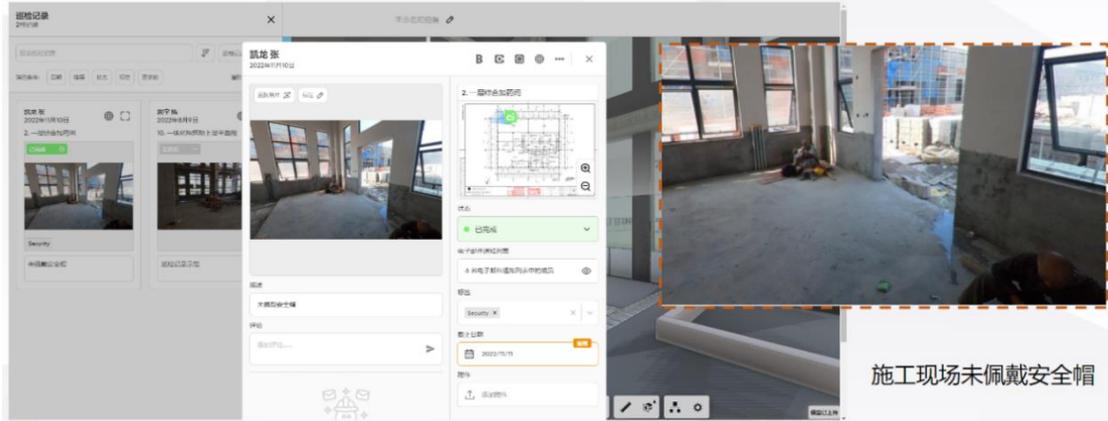


图 3-15 现场问题登记

| 项目编号 | 项目名称 | 检查人 | 检查日期 | 有无隐患 | 是否整改 | 是否结束 | 流程单号 |
|------------|-------------------|-----|------------|------|------|------|-----------------|
| ZJ2020061E | 秀洲区王江泾工业污水处理工程... | 张立峰 | 2023-06-28 | 无 | 否 | 已结束 | EPCER-0210-0043 |
| ZJ2020061E | 秀洲区王江泾工业污水处理工程... | 卢龙华 | 2023-03-15 | 有 | 是 | 已结束 | EPCER-0210-0027 |
| ZJ2020061E | 秀洲区王江泾工业污水处理工程... | 卢龙华 | 2023-02-08 | 有 | 否 | 已结束 | EPCER-0210-0018 |
| ZJ2020061E | 秀洲区王江泾工业污水处理工程... | 张立峰 | 2023-01-10 | 有 | 是 | 已结束 | EPCER-0210-0014 |
| ZJ2020061E | 秀洲区王江泾工业污水处理工程... | 张立峰 | 2022-12-08 | 有 | 否 | 已结束 | EPCER-0210-0004 |

图 3-16 项目现场整改闭环



图 3-17 项目现场问题汇总

建立了危大工程安全管理常态化体系，对危险性较大的分部分项工程进行安全管控，涵盖线上云控视频巡查、线下现场巡查，通过日常+专项的巡查频率，实现对危大工程施工计划、施工过程安全巡查履职记录、隐患整改、审核闭环等全过程管控。

(5) 数字赋能，智慧运维

项目运维阶段，为了提高日常巡检的效率和质量，建立了 MR 智慧污水巡检系统。该系统基于 BIM 数字资产及智能传感器数据，运用增强现实（AR/MR）技术，同时结合 GPS 定位、GIS 地图等移动互联网技术，实现了污水厂内设备的现场巡检运维可视化、精细化管理。

实时监测：通过手持终端，运维人员可以实时查询各类设施的实时监测数据。同时，根据预设的报警配置，系统能在第一时间发出监测报警通知，确保及时发现并解决问题。



图 3-18 MR 智慧污水巡检系统上显示的设备监测数据

二维码布点辅助定位：通过采用二维码定位等技术，系统能够实现现场位置与 BIM 模型空间位置的精确匹配和定位，进一步提高了运维工作的精准度和效率。

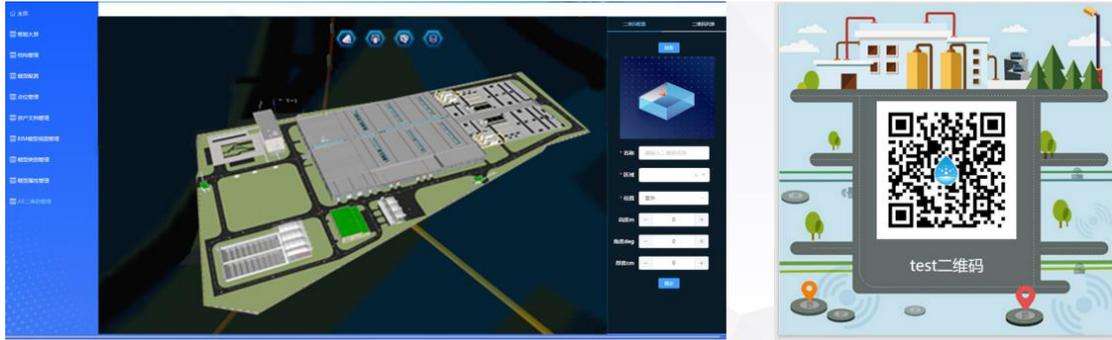


图 3-19 MR 智慧污水巡检系统上二维码定位功能

巡检运维管理：结合 BIM 及 AR/MR 技术，本系统能与秀洲污水厂运维系统进行联动，使得现场运维工作与后台管理实现无缝对接。

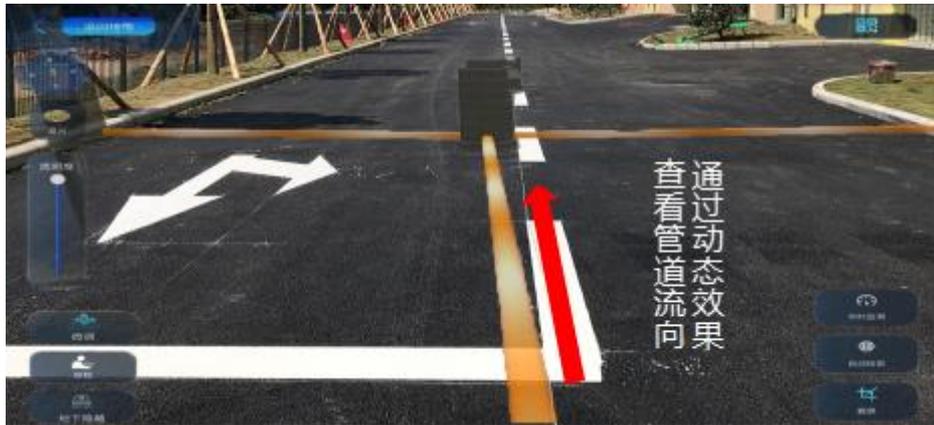


图 3-20 MR 智慧污水巡检系统中增强显示场景

(6) 信息集成，科学决策

为打通各类平台系统间的数据链路，实现数据共享和联动，在进行平台系统集成之前，对现有的各个系统进行全面的梳理，定义统一的集成标准，包括数据接口标准、数据格式标准、通信协议标准等。通过集成平台，各个系统可以更好地进行数据和业务的交互。总承包项目管理平台提供的实时数据处理、报表生成和分析系统，支持各管理条线（技术、工程、安全、市场、合约）进行数据查询、分析和可视化大屏展示。同时，针对不同业务板块，可以生成定制化报表，显著改善了项目决策效率，降低了业务运营的难度，提升了管理效率和精度。



图 3-21 设计管理数据集成看板



图 3-22 进度管理数据集成看板



图 3-23 安全管理数据集成看板

4. BIM 技术应用效益与测算方法

在设计阶段通过创建 BIM 模型进行设计检查、优化，出具《设计问题反馈报告及优化建议》。通过 BIM 进行碰撞检测，发现各专业之间的碰撞交叉点，出具《碰撞检测报告》并进行设计跟踪。共解决了 131 个设计疑问及碰撞问题，提高了图纸质量，降低返工成本。

在施工阶段，避免了冗余协调，基于 BIM 的业务管理流程更加直观清晰可控。另一方面，基于 BIM 三维可视化的特性，针对复杂施工节点，可通过三维 BIM 模型进行分析论证，有效降低多方沟通协调及决策周期。利用模型预先进行碰撞检查，从而优化管线排布和确保检修空间。同时，经过优化的设计方案可降低施工阶段由于二维局限性引起的碰撞冲突以及工序冲突导致的返工问题。

运维阶段，通过数字孪生水厂大屏，将污水厂的静态设备信息和动态采集数据数据以图表的方式呈现，达到了分析实时监控全厂数据的作用。更加生动友好地活化数据，同时也能结合丰富的交互功能和实时性，让数据开口说话，传达出超出其本身的信息。以 AR/MR+BIM+物联网+互联网技术的巡检管理系统，实现了设施设备的现场巡检运维可视化、精细化管理，提高日常巡检运维的效率和质量。

本项目作为嘉兴片区首个 EPC 污水处理项目，被纳入年度民生实事项目清单，该项目的启用标志着污水处理从“大集中”向“合理分散”转变迈出了一大步，将进一步弥补秀洲区污水收集和处理设施短板，有效增强了地区污水处理能力，进一步提高了水环境质量，改善区域基础建设和投资环境，推动工业企业绿色循环发展，促进城市建设和经济可持续发展。让碧水长流，保障社会经济和居民生活。

5. BIM 技术应用推广与思考

通过本项目 BIM 技术在设计、施工和运营全生命周期中的应用，展示了 BIM 在提高项目质量、效率和管理水平方面的重要作用，为污水处理厂项目的全生命周期管理提供了一些思路和方法。

在秀洲污水处理厂项目实践中，我们也见证了基于 BIM 技术应用的总承包数字化管理平台在污水厂建设中的巨大潜力和重要性。通过数字孪生技术、三维可视化等手段，我们成功地构建了一个全生命周期的数字化管理平台，统一管理了污水厂建设的全过程。

展望未来，BIM 技术应用及数字化平台的建设将更加重要和广泛。我们也期待我们这个平台未来能够持续发展，满足更多业务需求，提供更加精准、高效的服务。为此，我们计划在以下几个方面进行改进和提升：

(1) **优化操作体验：**我们将进一步简化操作流程，实行单一集中管理模式，避免操作复杂和部门之间互相推脱的现象，使管理更为便捷。

(2) **增强数据整合与分析能力：**我们将继续整合多源业务数据，实现二维平面到三维立体的全新数字化应用升级，提供更加强大的数据分析和决策支持功能。

(3) **丰富功能模块：**我们将根据业务需求，扩展更多功能模块，例如施工模拟、能耗分析等，使平台更加全面，满足更多业务需求。

(4) **提升智能化水平：**我们将引入更多先进的技术，如人工智能、机器学习等，提升平台的智能化水平，实现更多智能化的管理和决策。



八、浦东国际机场 T3 航站楼 S32 公路立交改建工程 BIM

设计创新应用

1. 项目概况

本工程是未来连接浦东国际机场 T3 航站楼与 T1、T2 航站楼和上海东站的重要枢纽。S32 公路立交改建工程主线(含定向匝道)，西起主线收费站东侧，北至现状围场河，长度约 4.9 公里；S32 主线两侧新建辅路，西起主线收费站东侧，东至两港大道，长度约 2.8 公里。地面道路新建两港大道辅道，北起南横二路，南至规划围场河，全长 622 米；新建东港公路，北起南横二路，南至规划围场河，全长 200 米。

S32 公路立交改建工程主线建设规模为双向 8 车道，设计车速为 60 公里/小时；S32 主线两侧新建辅路建设规模为双向 8 车道，设计车速采用 60 千米/小时；匝道采用单向 2 至 4 车道规模，40 千米/小时。新建地面道路两港大道辅道、东港大道建设规模为 4 快 2 慢，道路等级参照城市主干路。同步实施道路、桥梁、排水、照明、绿化、交通标志标线等附属工程以及相关管线工程。



图 1-1 S32 公路立交改建工程效果图

本项目在同一施工区域内有 4 个重大工程（S32 立交、T3 航站楼、机场联络线和南汇支线）同时施工，项目的最小设计空间只有 2cm，还涉及拆改、保通等工况，采用传统设计方式已经无法满足项目的设计要求，项目主要有 3 个重难点：

(1) 项目方案复杂：周边建筑复杂，限制条件多。同时，高架桥梁和地下构筑物叠加，还涉及管线、轨交等。此外，项目具有 20 多个交通流向，64 条线路。

(2) 施工工序交错：新建、改建工程施工交错，统筹高架桥梁、地道、轨交等工序，且施工预留时间短，施工难度大。

(3) 外部协调工作巨大：3 大板块，航空、轨交和市政三大板块同时开工。且涉及 3 家业主（上海公投、机场集团和申铁）和 10 余家参建单位，协调工作量大。



图 1-2 工程重难点

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

本工程从方案阶段到详细设计阶段，基于我院自主研发的 BIM 设计软件进行三维设计。在方案阶段基于三维地形进行 BIM 设计，应用交通仿真、虚拟现实等技术对方案进行展示和比选；详细设计阶段各专业对模型进行深化，通过计算分析对模型进行安全把关，成果输出形式为二维图纸、工程量统计等；最后按照标准交付到施工阶段完成后续应用。



图 2-1 BIM 技术路线

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

本项目严格按照我院标准的设计流程，BIM 团队由专业总师牵头，设计负责人和 BIM 负责人共同策划 BIM 技术路线，组建了一支由 23 人组成的 BIM 设计团队和一支由 6 人组成的 BIM 开发团队。

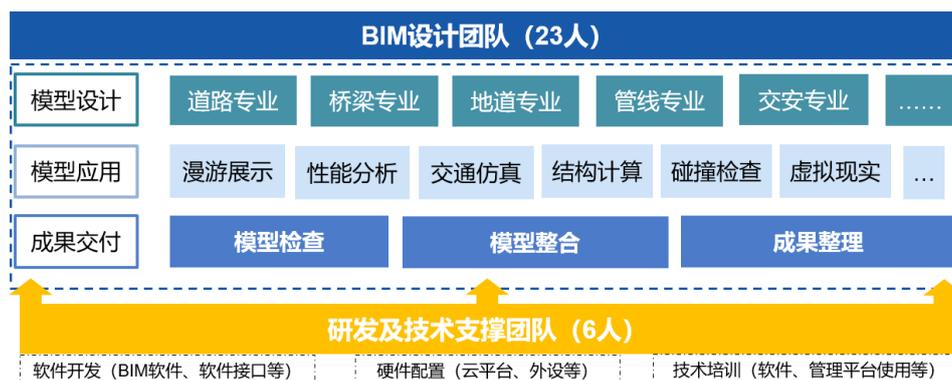


图 2-2 团队组织

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

为了更高效地应用 BIM 技术服务本项目，在项目启动前进行系统且细致的 BIM 实施策划，建立适用于本项目的 BIM 实施方案和 BIM 技术标准，规范 BIM 实施中的资源、行为和交付等内容，强化 BIM 实施的系统性和规范性。根据项目要求和设计进度计划，编制 BIM 实施方案，明确本项目 BIM 应用的总体目标、实施内容、技术路线、应用流程、团队组织、进度计划以及人员分工等。

根据《建筑信息模型 (BIM) 应用统一标准》和我院主编的 CECS《城市道路工程设计建筑信息模型应用规程》、《城市道路工程信息模型分类和编码标准》等相关标准，编制适用于本工程的项目级 BIM 应用标准，统一本项目 BIM 技术应用的基本要求，协调参与各方对模型和信息的创建、关联和整合工作，主要包括建模范围、模型拆分、模型精度、模型编码、模型质量控制、模型交付要求等。



图 2-3 标准制定

2.2.3 BIM 应用环境

(1) 软件环境

本项目应用基于达索和欧特克平台自研 BIM 设计系统，采用以终为始的研发思路，充分利用成熟二维出图和三维建模软件的优势，进行二三维一体化设计，通过设计数据驱动生成二维图纸、BIM 模型和计算书。在此基础上集成多个商业应用软件，对模型进行各项 BIM 应用从而优化设计。

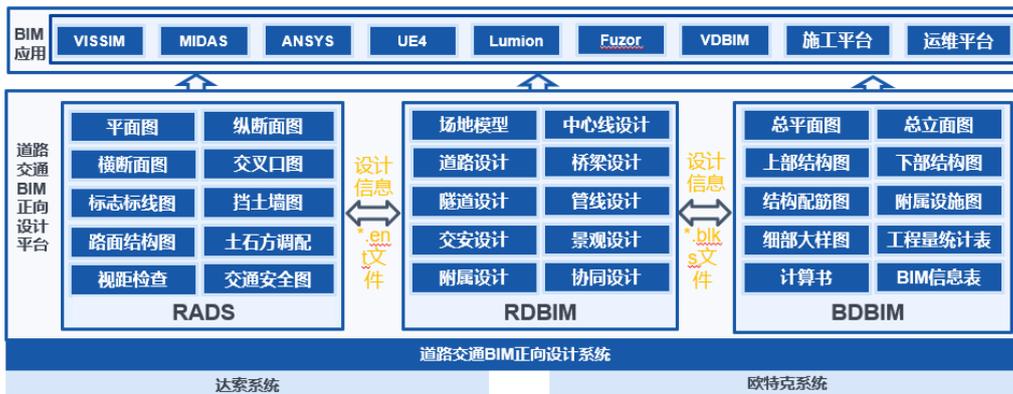


图 2-4 自研 BIM 设计系统框架

(2) 硬件环境

本项目的硬件环境采用了企业级虚拟云应用，我院在高性能服务器上搭建了企业私有云平台，发布基于网络的虚拟化应用，已发布专业设计建模、计算分析软件 20 余种。主要优点有：软件线上部署及更新、许可线上分配，根据专业及需求，配置对应设计软件，无需本地安装；环境配置线上保存、设计文件实时协同交互，多种场景、不同设备，灵活访问，符合习惯的工作环境；云端计算，不消耗本地硬件资源，减少终端硬件投入，轻松加载大型模型、高效分析计算；硬件资源异地共享，根据实时使用负载，动态分配性能资源。

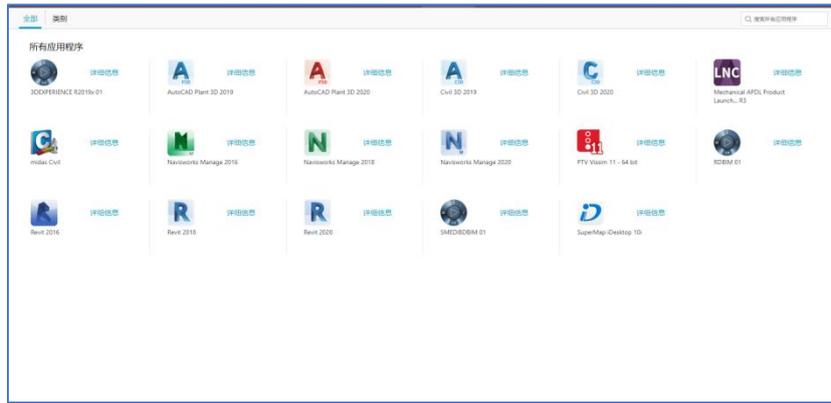


图 2-5 虚拟云应用

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 BIM 模型设计

从方案阶段开始，逐步深化 BIM 模型，最终本工程搭建了各专业 BIM 模型。其中，桥梁专业结构模型深化至单独的盖梁、垫石、立柱、承台、桩基等，基坑模型深化至钢板桩、钢围檩、型钢支撑、钢板角撑、旋喷桩等。道路专业模型深化至各个面层（改性沥青层、中粒沥青层、粗粒沥青层等）及侧、平石等细部。地道专业模型深化至顶板、底板、侧墙、中墙、垫层等，基坑模型深化至三轴搅拌桩、双轴搅拌桩、钢板桩、旋喷桩、格构柱、基坑加固、停机坪加固、钢支撑、钢换撑、砼支撑、系杆等。

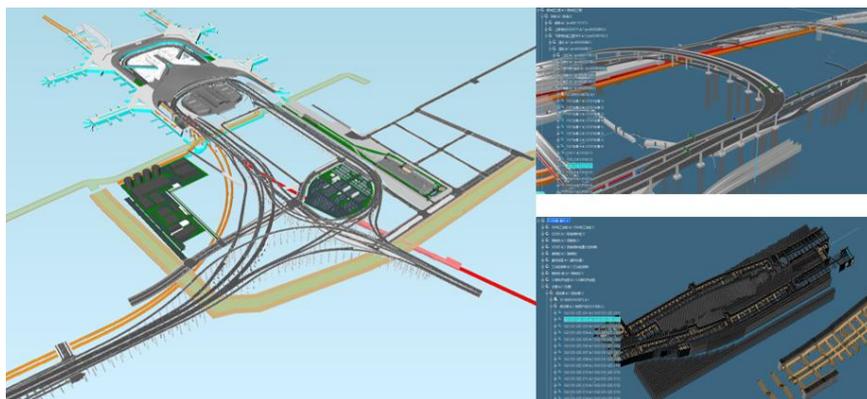


图 3-1 各专业合模模型

3.2 BIM 模型应用

3.2.1 可视化展示

可视化展示应用主要是施工区域内涉及的所有模型进行整合合并，并实施轻量化处

理，上传至特定平台。通过这一操作，后续使用者只需扫描相应二维码，即可打开模型进行查看和操作。为本项目的协调工作、评审流程以及汇报环节等提供便利，显著提高工作效率，优化信息传递和交流的方式，有力推动项目的顺利开展。



图 3-2 模型可视化展示

3.2.2 交通仿真

基于我院自主研发的 VISSIM 接口插件，对 BIM 模型中的车道信息予以提取，并将其导入到 VISSIM 软件中以开展交通仿真工作。在此过程中，经过多次反复的仿真分析和优化调整，最终成功缩减了 2 个车道。这一决策的实施带来了显著的经济效益，使得项目的总投资节约了 3500 万元，在保障交通功能需求的同时，有效提高了项目的投资效益和资源利用效率。（注：地面道路造价 0.3 万/m²，道路宽度 3.75 米/车道、长度 1560 米，2 车道；建安费为 1560×3.75×2×0.3=3510 万）



图 3-3 交通仿真

3.2.3 虚拟驾驶

针对本项目复杂的交通流线及周边环境等困难点，我院自主研发了虚拟驾驶系统。该系统支持常用的 BIM 模型格式，并且配备了游戏方向盘和脚踏板等设备。在汇报现场，能够进行快速的软硬件布设。借此，现场的业主、评审专家、交警等相关人员，可以通

过沉浸式驾驶的方式，对设计方案进行验证和优化。这种创新的方式为方案的评估和改进提供了直观且真实的体验，有助于提高设计方案的科学性和可行性。



图 3-4 虚拟驾驶

3.2.4 既有桥梁拼宽利用

在充分确保满足交通流量需求的前提条件下，针对现状桥梁段展开了拼宽及复用的模拟分析。通过严谨的计算和优化设计，成功实现了缩减拼宽长度达 620 米的显著成果。由此，减少建安费用约 2500 万元，在保障交通功能的基础上，有效地节约了工程成本，提高了项目的经济效益和资源利用效率。（注：拼桥造价 1 万/m²，拼桥宽度 4 米、长度 620 米，建安费为 620×4×1=2480 万）

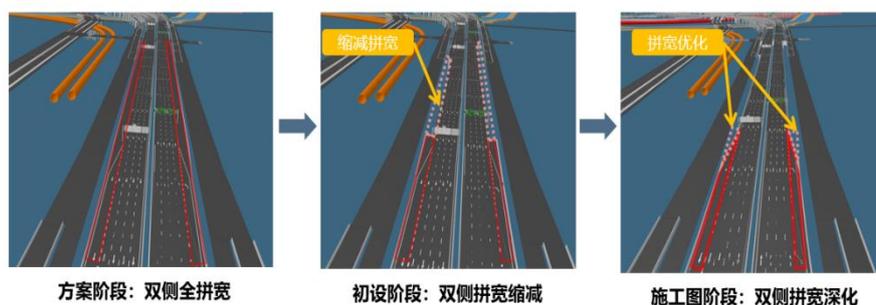


图 3-5 既有桥梁拼宽利用

3.2.5 构件拆分及编码

为达成使设计、施工和管理过程更为集成和高效的目标，本项目积极采取创新举措，通过自主研发的编码插件，对 BIM 构件展开了细致的拆分和编码。并且，将构件的属性与其相关信息进行关联。这种关联使得模型中的各类数据能够相互呼应、协同运作，从而为整个项目的顺利推进提供了坚实的数据基础和技术支撑。

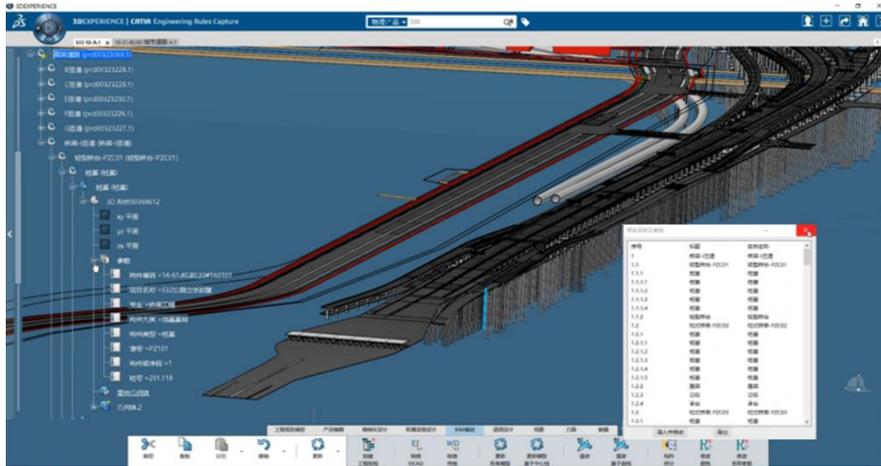


图 3-6 构件拆分及编码

3.2.6 碰撞检查

基于 BIM 技术，对各专业模型实施了碰撞检查。经过严谨细致的排查，共计追踪到碰撞问题 733 个。其中，结构专业方面的问题 336 个，机电专业的问题 235 个，建筑专业存在 128 个问题，此外，多专业协作方面的问题 34 个。

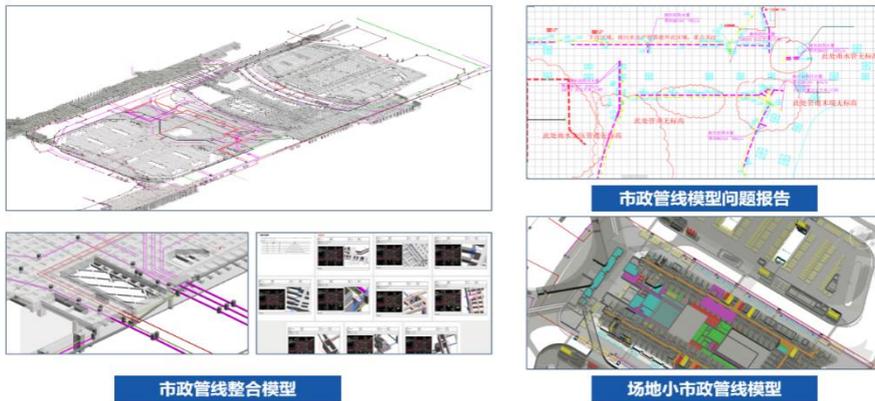


图 3-7 管线碰撞检查

3.2.7 施工协调及工序模拟

基于 BIM 模型开展工序推演工作，并制作施工工序模拟动画，有效统筹协调了正在建设的 4 个重大工程的交接工序。在多项目协调会议上，充分应用 BIM 技术，为业主提供直观、准确的信息支持，辅助业主更加科学地进行施工协调和决策。这一举措显著提高了协调工作的效率和决策的科学性，有力地推动了项目的顺利进行。

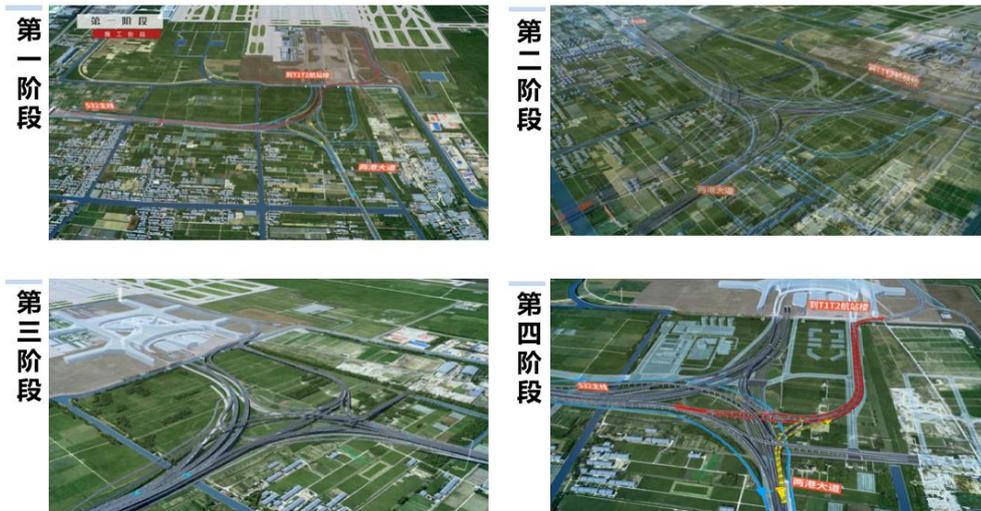


图 3-8 施工工序模拟

4. BIM 技术应用效益与测算方法

1) 本项目是我院主编的 CECS《城市道路工程信息模型分类和编码标准》的应用载体，通过自研插件完成模型编码的自动读取、查询及写入构件，实现标准落地。

2) 采用自研 BIM 设计系统，进行二三维一体化设计，通过设计数据驱动生成二维图纸、BIM 模型和计算书，实现一次设计得多项成果，既减少了人员投入又确保了图模一致。这种创新的设计方式不仅提高了设计效率和质量，还为未来技术发展提供了新的思路和方法。

3) 通过 BIM 技术进行交通仿真、既有桥梁拼接等应用，节约造价 6000 多万，达到节能、环保、低碳的工程建设目标。

4) 形成 BIM 设计流程，为企业构件库新增 24 类 370 个构件，实现资源共享，将在后续工程中进一步推广和应用。

5. BIM 技术应用推广与思考

基于自研的 BIM 设计系统，通过一次设计便能输出图纸、BIM 模型以及计算书的方式，现阶段已取得一定成果。目前，在道路、桥梁总图方面的出图率能够达到 100%，桥梁构造及小箱梁划板图的出图率可达 90%。然而，仍有部分内容尚未实现出图，比如钢箱梁、大箱梁和钢筋。下一步工作的重点在集中精力解决钢筋的建模和出图问题，以进一步完善整个设计出图体系，提高设计效率和质量。

九、浦东机场南区地下交通枢纽及配套工程数字化勘察 与深基坑群监测

1. 项目概况

浦东机场南区地下交通枢纽及配套工程为新建四期航站楼、交通中心及附属用房主要的地下工程部分。工程项目包括“5+1 条轨交线路、南进场路地道、排水箱涵、高架道路、空侧捷运站台”等结构工程建设内容。其基坑开挖面积达 48.3 万平方米，最大挖深 37 米，是全球软土地区规模最大的深基坑群。项目地质条件复杂，古河道切割明显，承压含水层巨厚，降水降深大、影响范围广。同时周边环境复杂、保护要求高：存在飞机跑道、滑行道、捷运线等重点保护对象，周边环境的变形影响控制对机场及其配套设施的正常运营至关重要。

总体来说，本项目深大基坑群周边环境保护要求高，水文及地质条件复杂，工程风险管控难度极高，对勘察设计与施工过程风险管控提出了更高要求。

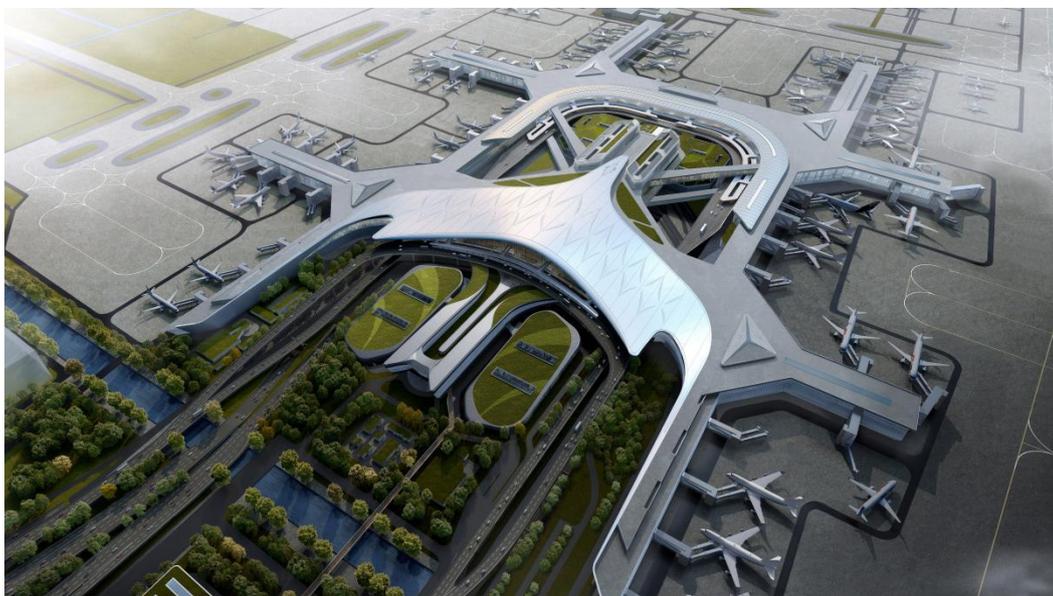


图 1-1 效果图

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

针对水土风险揭示与过程风险管控难题，本工程综合采用建筑信息模型、城市信息模型、高精度地质建模技术，形成面向勘察设计的数字化管控成套技术，以解决上海浦东机场四期南区地下工程在工程地质、水文地质风险揭示和工程风险管控等多方面的痛点问题。

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

本项目 BIM 组织架构，由上海机场建设指挥部牵头进行总体数字化建设体系构建，负责总体协调。上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司与上海顺凯信息技术有限公司成立了数字化勘察与深基坑群监测专题团队，下分工程勘察 BIM、水文地质勘察 BIM 及基坑监测 BIM 工作组，为项目的顺利实施提供了坚实的组织保障。

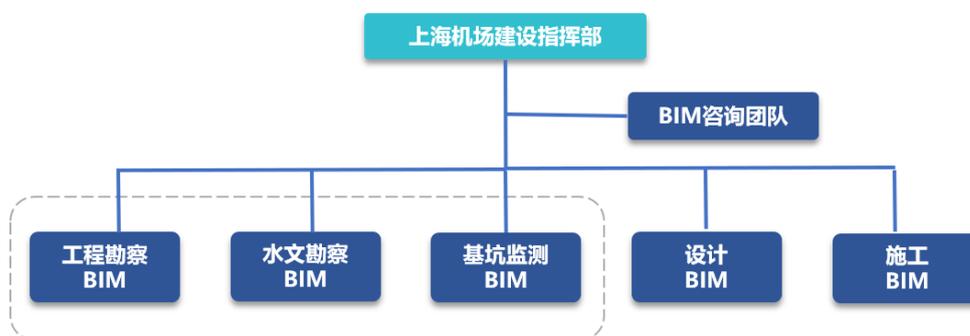


图 1-2 项目组织架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

本项目综合采用建筑信息模型、城市信息模型、高精度地质建模技术，形成基于 BIM 的机场工程全过程数字化勘察体系、基于 BIM 的机场工程水文地质勘察管控系统以及基于风险预诊体系的 CIM+BIM 数字化监测平台，以揭示工程地质、水文地质风险，并支撑工程风险管控，建立了从工程勘察-水文地质勘察-基坑风险监测的全流程应用体系。



图 1-3 BIM 应用体系

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 工程勘察阶段

建立了基于 BIM 的机场工程全过程数字化勘察体系：建立机场工程勘察 BIM 数据标准，构建数字化内外业应用模式；针对滨海复杂地质信息表达及超大区域地质模型创建难题，形成基于勘察数据驱动及自动处理的地质元素 BIM 建模技术，最终形成“采集-试验-处理-成果”的全链路应用。

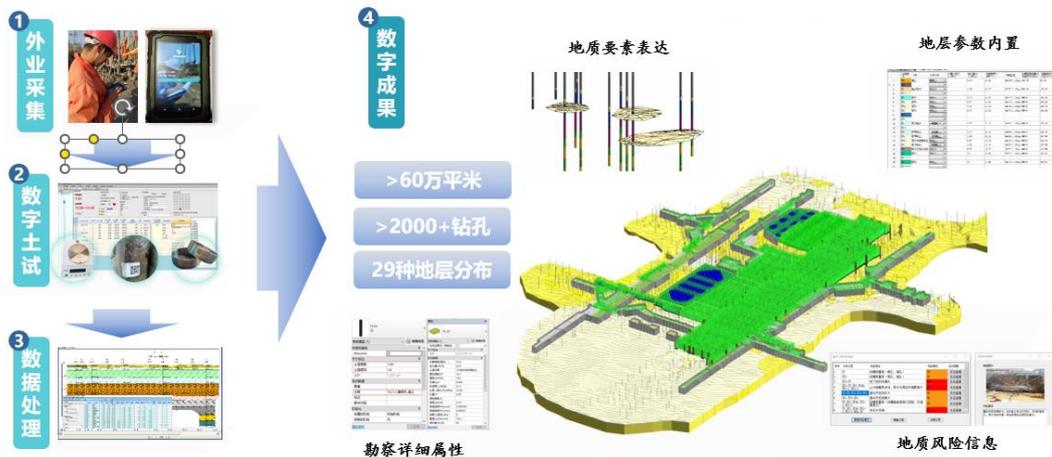


图 1-4 基于 BIM 的机场工程全过程数字化勘察体系

在勘察阶段，通过构建地质信息模型、管线信息模型，并构建超大区域“地质+地下空间”三维数字底座，在统一空间环境下融合工程地质、地下管网、地下工程、重要构筑物等全要素信息，达到地下空间信息透明的目标，为勘察设计与风险监测场景应用提供数字载体。

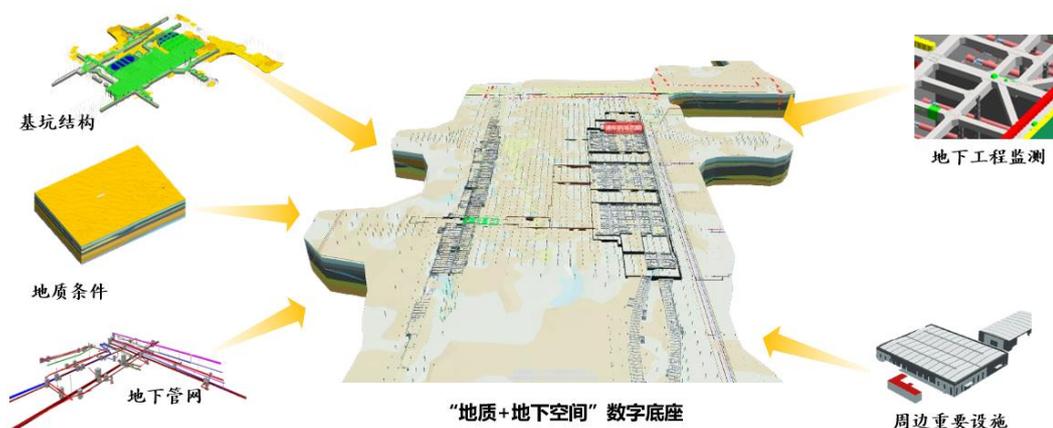


图 1-5 超大区域“地质+地下空间”三维数字底座

面向设计单位完成勘察 BIM 数字化成果交付，验证持力层、止水帷幕地层条件，在勘察设计及施工阶段直观揭示水土风险，为方案优化及风险应急处置提供辅助；同时，构建浦东机场全域地质数据库，实现项目各方的数据共享，为工程建设全过程规避地质风险提供重要数据支撑。

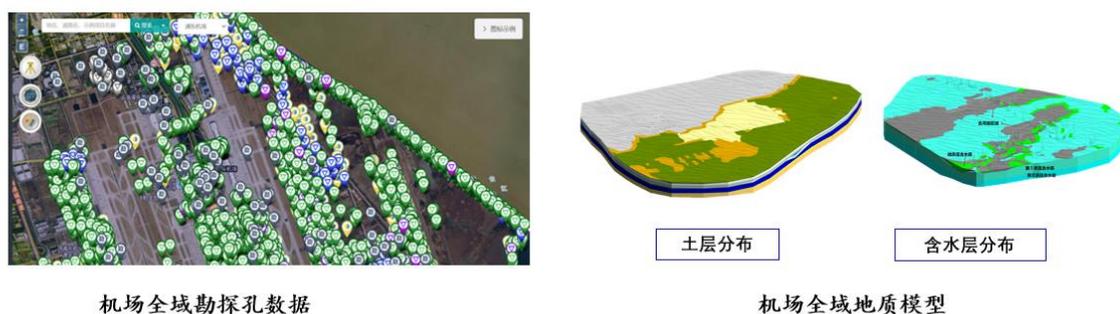


图 1-6 浦东机场全域地质数据库及地质模型

3.2 水文地质勘察阶段

构建基于 BIM 的机场工程水文地质勘察管控系统，创新提出了动态水文勘察模型，实现单井、群井试验过程的水位、流量等关键指标的仿真表达，开发水文地质参数分析工具，大幅提升内业生产效率。创新提出了动态水文勘察模型，突破地下水实时状态仿

真表达技术难题，实现单井、群井试验过程的水位、流量等关键指标的仿真模拟，为地下水分析与控制提供有力工具。

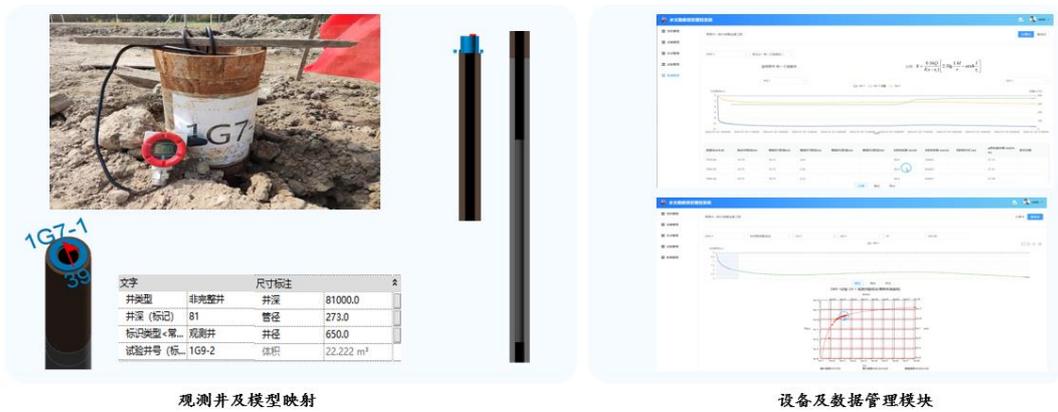


图 1-7 基于 BIM 的机场工程水文地质勘察管控系统

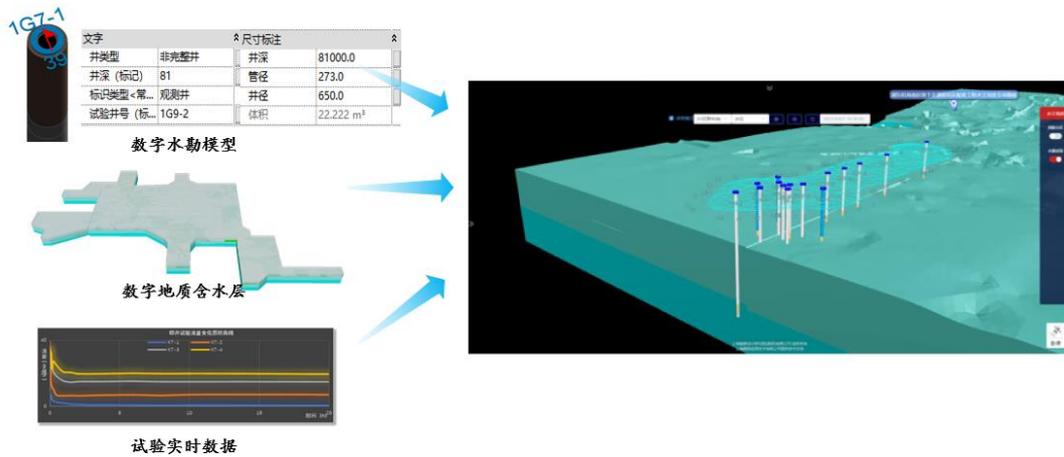


图 1-8 动态水文勘察模型

研发成果推广应用至基坑降水施工阶段，针对施工降水阶段地下水风险表达与动态防控难题，攻克参与单位多、数据多源、时效性强的问题，集成多源自动化降水数据，一屏总览多源井点布置信息和动态水位及流量数据。通过工程降水三维模型与实时接入数据生成基坑承压水位云图，全面表达大范围基坑群承压水风险，直观查看降水情况与安全状态，为规避承压水风险提供数字化指导依据。

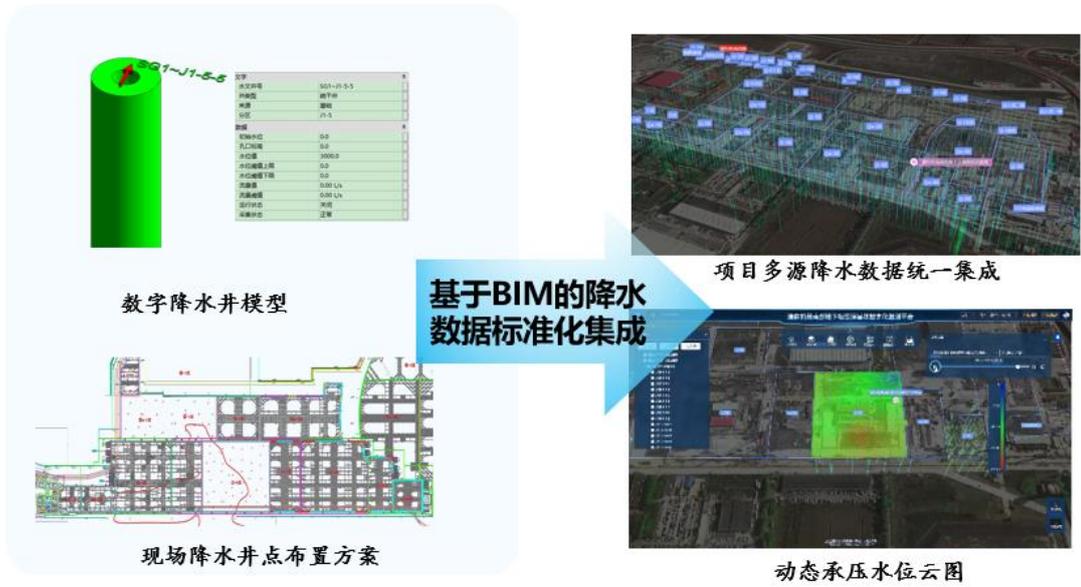


图 1-9 基于 BIM 的机场工程水文地质勘察管控系统

3.3 施工风险监测阶段

建立基于风险预诊体系的 CIM+BIM 数字化监测平台，基于“感-通-算”自动化监测体系融入现场近 1.3 万个感知终端，实现了基于三维数字底座与动态感知数据的精准映射。



图 1-10 CIM+BIM 数字化监测平台

平台结合浦东机场四期南区地下工程基坑数字底座与动态感知数据，提供了三维场景下的动态监测数据查询及风险点位可视化预警服务，实现深基坑工程监测精准感知数据的可视化呈现。

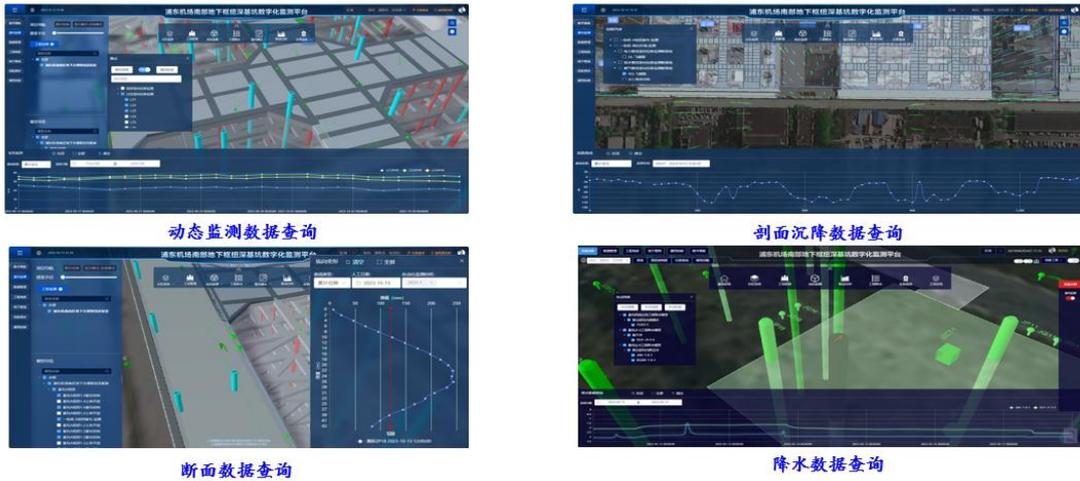


图 1-11 动态监测风险查询

建立了风险预诊与闭环治理创新管理机制，为动态管控、设计施工风险诊断提供全面支撑。依托风险总控微信小程序，承载基坑风险全过程管理数字化应用，提升地下工程风险管控的能力。

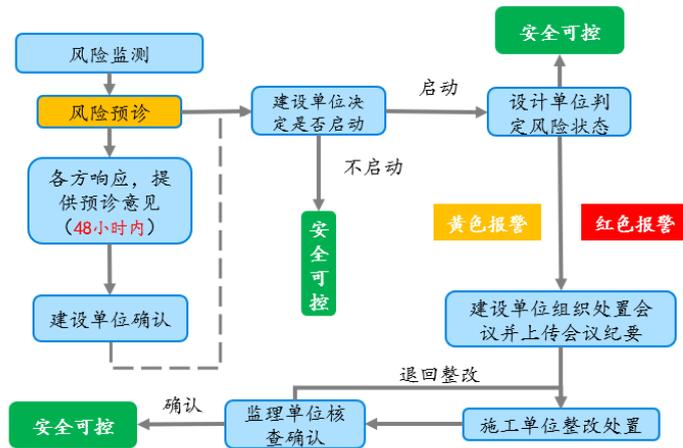


图 1-12 平台风险处置机制

4. BIM 技术应用效益

(1) 赋能复杂滨海地质勘察设计水土风险分析与过程管控, 实现勘察设计阶段水土风险全流程数据采集、处理与分析应用, 直观揭示水土风险; 通过分级预警、预测分析和预诊机制等数字化管控应用, 综合风险处置数十次。综合提升风险防控水平

(2) 显著提升特大超深基坑群勘察与监测作业效率与质量。以 CIM+BIM、物联网、AI 等数字化手段, 实现超大基坑群多源风险信息的统一融合与精准映射, 提升数据处理与分析能力, 提升勘察及监测数字成果质量, 提高工效 3 倍以上。

(3) 形成可复制推广的风险数智治理模式。本项目结合工程难点与风险管控痛点问题, 探索形成了风险数智治理模式, 对同类复杂大型工程及城市区域开发建设具有参考与推广价值。

5. BIM 技术应用总结与展望

5.1 BIM 技术应用创新点

(1) 建立基于 BIM 的机场工程全过程数字化勘察体系。打通了勘察内外业、土试、勘察报告全流程的数据流转, 形成了“地质+地下构筑物”的数字底座, 实现地下病害的精细化表达。以数字化成果的方式, 面向设计阶段提供了详实的地质资料和计算分析功能, 助力方案优化和风险规避, 实现各方数据共享。

(2) 构建基于 BIM 的机场工程水文地质勘察管控系统。建立了动态水勘模型和水文参数动态分析工具, 实现关键指标的仿真表达。实现多源降水数据集成, 建立承压水位云图和抗突涌云图, 为工程水文风险规避提供数字化依据。

(3) 建立基于风险预诊体系的 CIM+BIM 数字化监测平台。基于三维数字底座, 实现现场万余感知终端动态数据的精准映射。建立分级预警和风险巡视机制, 并基于多方联动的风险预诊机制与数字化管控平台, 为动态管控、设计施工风险诊断提供全面支撑。

5.2 展望

国家“十四五”规划中明确提出, 要加快数字化发展、推进产业数字化, 探索“数字孪生”城市。地下空间数字化勘察与深基坑群监测将在城市区域地下空间开发以及超

大型综合交通枢纽建设风险管控中进一步发挥优势，为智慧城市建设管理提供全面、立体、动态更新的空间数字底座，助力超大型综合交通枢纽开发全生命周期的精细化管理与风险防控。

十、杨树浦水厂深度处理改造工程

1. 项目概况

上海杨树浦水厂始建于 1881 年，1883 年正式建成通水，是中国供水行业建厂最早、生产能力最大的地面水厂之一。解放后，杨树浦水厂原有的制水生产线进行了多次扩建和挖潜改造，目前主要担负着上海市杨浦、虹口、普陀、闸北、宝山等五区近 300 万市民的生活和工业用水。因其独特的建筑造型、深厚的历史背景和丰富的文化底蕴，2013 年被列入第七批全国重点文物保护单位，2018 年入选中国工业遗产保护名录第一批名单。

杨树浦水厂原水取自长江青草沙水源地，为提高供水水质、增强城市供水安全，杨树浦水厂进行了一场全方位的改造洗礼。本次工程水厂改造总水量目标为 120 万 m³/d，全厂新增深度处理、排泥水处理系统，改造现有常规处理系统。



图 1-1 项目效果图

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

由于杨树浦水厂文物保护的特殊性，结合杨树浦水厂全面实施常规改造、深度处理和排泥水处理的总体改造目标，深度处理工程分为四个阶段进行建设，总工期历时 5 年。根据“水质保证、环境保护、运营保障、文物保全”的基本原则，项目实施过程中着力落实文物保护措施，分步骤、有序推进文物保护建（构）筑物的更新改造，在文物保护单位的建设控制地带内进行建设工程，不得破坏文物保护单位的历史风貌。

如何贯彻“四保”原则、建立数字档案、实现管理信息化是杨树浦水厂建设过程中要解决的问题。为应对建设需求，在项目立项之初，就针对性策划了 BIM 工作框架。BIM 应用深入设计全部阶段，从方案模型到施工模型，模型细节和数据粒度逐步增加，满足设计应用要求；BIM 应用覆盖工程建设全阶段，从设计到施工，最后模型传递到运维，全生命周期应用。



图 2-1 BIM 应用工作框架

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

本项目业主单位是上海城投水务（集团）有限公司制水分公司，隶属于上海城投水务集团，是全国单体城市综合水处理能力最大的企业之一。项目总承包单位是上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，成立于 1954 年，从事规划、工程设计和咨询、工程建设总承包及项目管理全过程服务。

BIM 技术采用“以建设单位和 EPC 项目管理需求为主导、以专业咨询团队为依托、以协同管理平台为支撑、以项目各参与方共同完成为目标”的技术路线，BIM 实施由上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司承担。

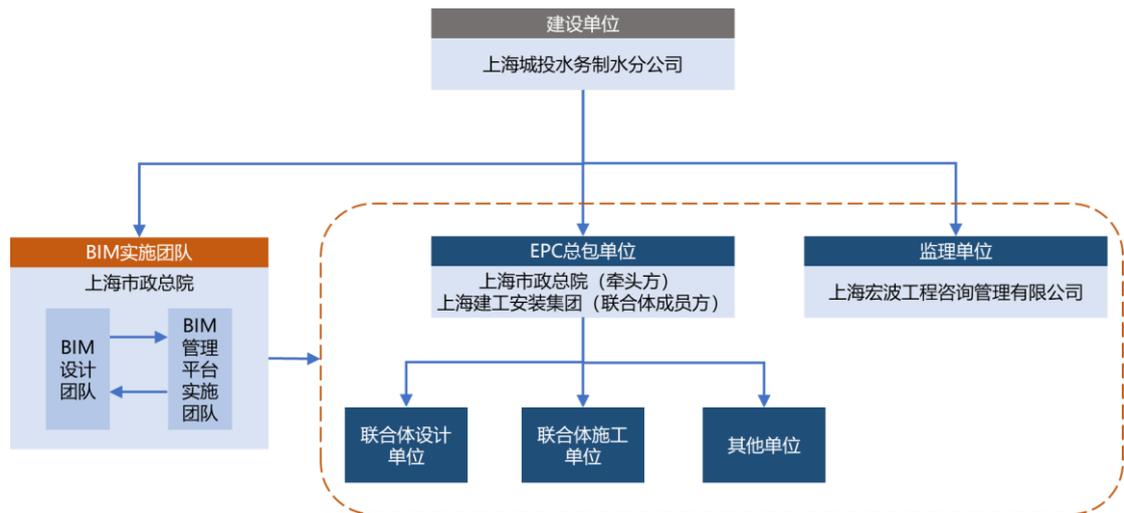


图 2-2 项目组织架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

紧扣“四保”原则，围绕项目总体目标确定 BIM 实施的分项目标和阶段目标，方案阶段采用数字技术重塑现状水厂，设计阶段基于 BIM 技术提升设计品质，施工阶段部署管理平台增强管理效能，同时为运维数字孪生平台提供数据基础。

在建设过程中，基于上海市政总院自主研发的 SMEDI-CBIM 协同管理平台，为杨树浦水厂深度处理改造工程各参建方提供全过程技术支持。利用 BIM 管理平台达到项目管理标准化、流程规范化、工作协同化；利用 BIM 平台采集建设过程信息，并共享相关信息以支持各方协同工作；围绕文物保护理念，强化监测预警功能，为杨树浦水厂历史文物建筑保驾护航。

2.2.3 BIM 应用环境

根据 BIM 实施内容，本工程涉及的硬件包括以下内容：用于登陆协同平台参与日常管理的台式电脑、用于工程汇报的移动工作站以及项目部现场的展示终端、无人机等。

软件层面，建模依赖于 Revit、Rhino 及自主研发插件等，可视化展示以 Unity3d、VDBIM 自主研发展示系统为主要工具，项目协同管理基于自主研发的 B/S 架构平台。

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 设计阶段

3.1.1 倾斜摄影及激光扫描技术应用

厂区文保建筑历史久远，档案资料缺失。在方案设计应用阶段，使用倾斜摄影技术重建水厂三维真实场景模型，设计师基于倾斜摄影模型资料对设计方案进行推敲，将构筑物 BIM 模型融入总体模型中，对改造方案进行评估及展示，提升品质的同时大幅减少了现场踏勘和调研工作量。



图 3-1 倾斜摄影三维场景模型

使用激光扫描技术对文保建筑进行资料重建，获取文保建筑精确测量尺寸，为工程改造和文物保护提供数据依据。

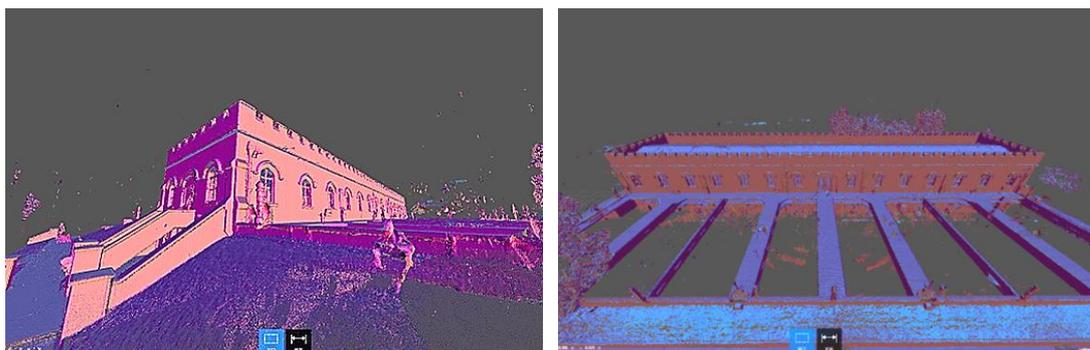


图 3-2 激光扫描重建文保建筑

由于百年来多次改造扩建，地下管线资料严重缺失，在前期物探排摸的基础上，仍有部分地下管渠未探明。在施工开挖过程中，新发现大尺寸管渠，采用激光扫描技术，从管渠内部获取扫描点云，重建管渠三维模型，为设计和施工提供精准资料。

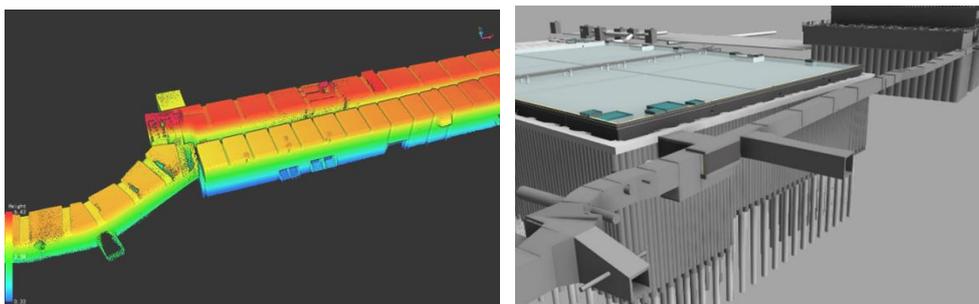


图 3-3 激光扫描重建地下管渠

3.1.2 可视化编程辅助设计

基于设计单位大量设计档案图纸，总结净水单元构造和布置规律，借助 Rhino / grasshopper 可视化编程引擎将设计逻辑程序化，形成可推广成果。在本项目中利用已有程序成果，帮助设计师迅速生成模型及图纸。

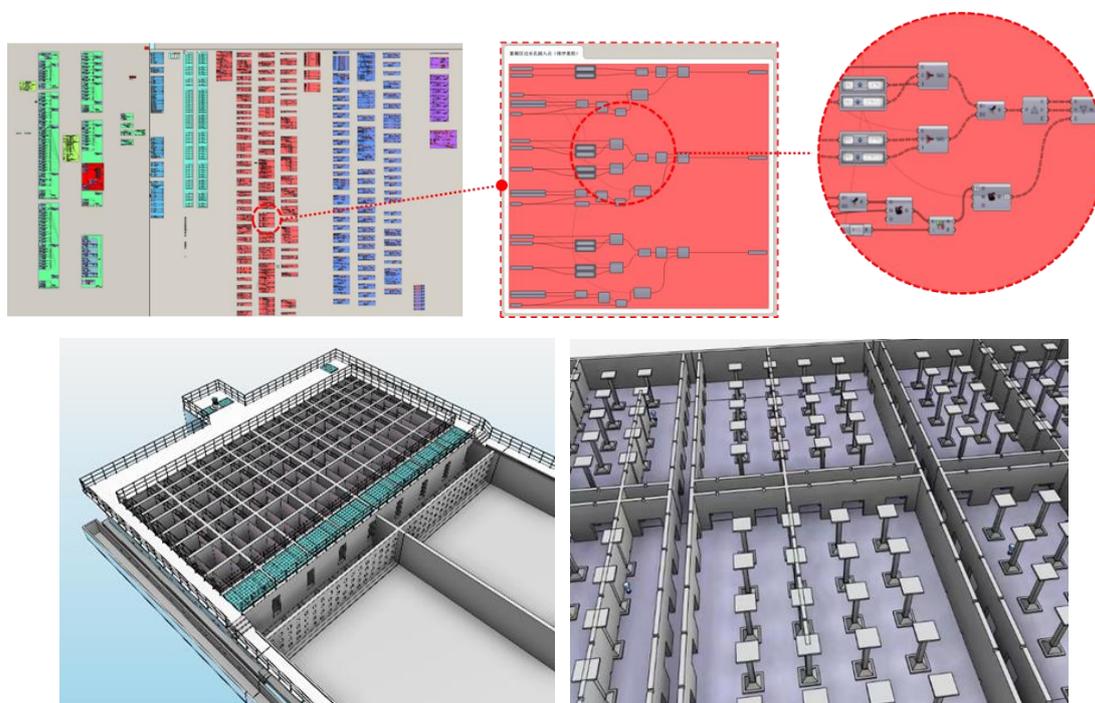


图 3-4 可视化编程辅助设计

3.1.3 可视化展示

项目改造过程中需保证一定规模的供水量，改造步骤多，同时厂区内建筑产证信息复杂。项目建设前期基于 Unity3d 引擎，对整体改造步序及房屋产证信息进行动态可视化展示和说明。



图 3-5 前期方案展示

基于自主研发的可视化展示系统 VDBIM，对施工图 BIM 模型进行动态展示。交互式查看选定的构筑物模型及信息，以及按设定路径动画展示。



图 3-6 施工图模型自主研发系统展示

3.1.4 轻量化模型

针对复杂预制节点建立模型，交付独立可执行程序，指导预制构件加工。针对构筑物单体交付独立可执行轻量化模型，方便施工查看，指导施工。

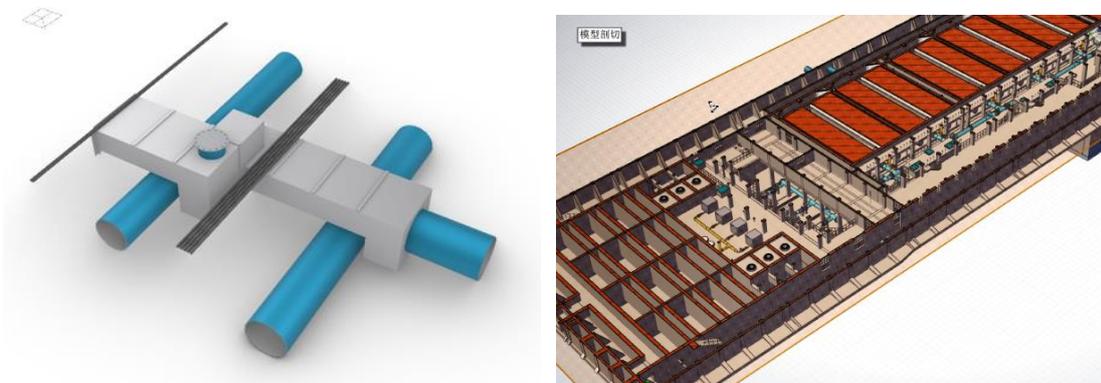
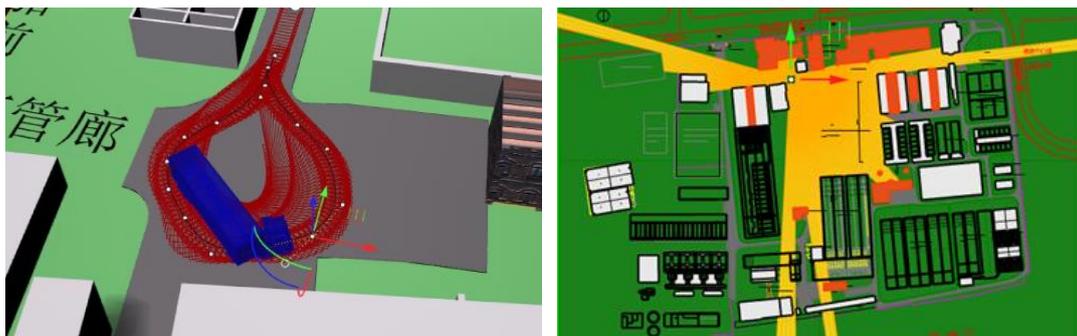


图 3-7 轻量化模型单体

3.1.5 性能分析

在方案设计阶段，综合利用各类工具及自主研发程序，进行设计分析。基于实际运输车辆的车长、宽、前后轮差，动态分析行进过程车体覆盖区域，对厂区关键运输道路转弯半径、回转场地进行优化，满足车辆行驶要求。历史文物建筑改造对建筑高度、布置等有严格要求，方案前期基于模型对厂区主要位置进行视点视域分析。基于仿真分析，对泵房选泵及泵组节能进行研究。



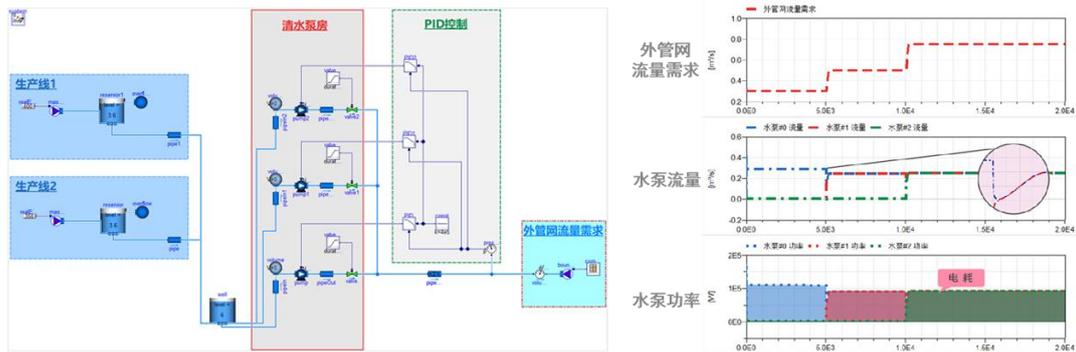


图 3-8 基于模型的性能分析

3.2 施工阶段

3.2.1 关键工序模拟

施工阶段，利用 BIM 技术对文物保护单位施工方案、施工顺序、施工工艺进行可视化模拟，动态演示相关文物建筑的保护措施，分析施工影响区域，避免设备拆除时的碰撞风险，确保历史文物的安全。

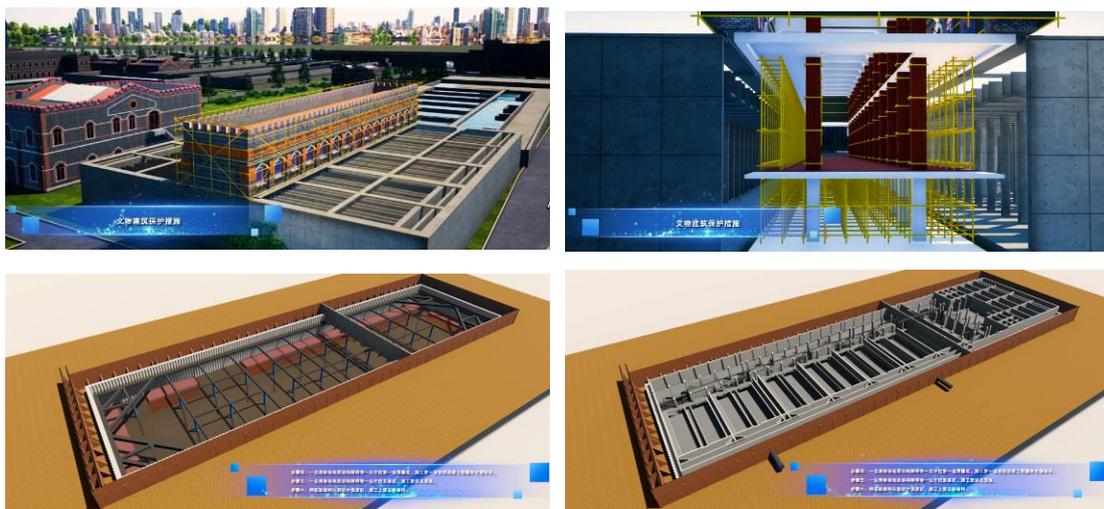


图 3-9 文保建筑关键工序模拟

3.2.2 移动端模型

利用云端平台储存项目单体轻量化模型，制作展板，张贴于构筑物池壁，施工过程中可以随时使用手机扫描二维码，获取模型信息，查看模型结构，剖切展示以及简单测量，方便施工班组使用模型。

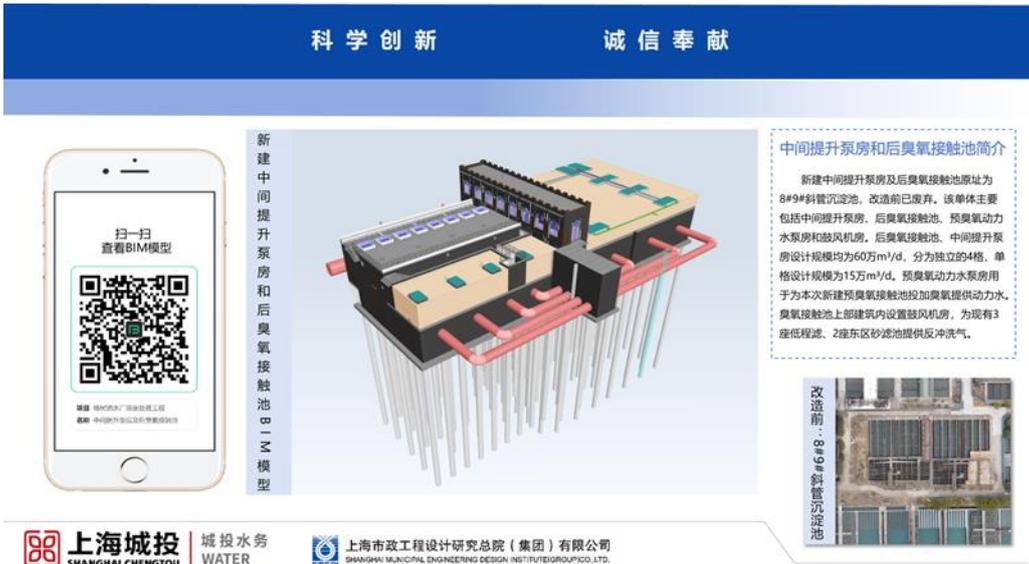


图 3-10 移动端模型展板

3.2.3 工程建设管理平台

自主研发基于 Web 端的 SMEDI-CBIM 工程建设管理平台，以“构筑物单体”为单位、以“水厂构件”为对象、以“进度计划”为轴线、以“质量管理”为抓手、以“安全管理”为重点、以“设备管理”为特色、以“BIM 技术”和“信息化技术”为手段，推进杨树浦水厂深度处理改造全过程的提质增效和高质量管理。



图 3-11- SMEDI-CBIM 工程建设管理平台功能板块

在平台全景 3D 模式下，按照给排水工程构件分类对施工管理的部位树进行重构，可查看构件及设备属性信息，为信息溯源、资料归档提供完整数据基础。



图 3-12 SMEDI-CBIM 工程建设管理平台全景 3D

平台进度管理功能支持进度计划的导入、调整及版本管理，与模型关联，进行进度计划 4D 模拟。通过进度 3D 模块直观反映现场施工进度，与进度计划对比实现进度预警。



图 3-13 SMEDI-CBIM 工程建设管理平台进度管理

围绕智慧项目管理、智慧施工技术、智慧文物保护、智慧数字模型和智慧运营维护五大主题板块建设智慧工地，工程建设管理平台开辟智慧工地专栏，汇总和接入各类智慧工地管理及监测数据。



图 3-14 SMEDI-CBIM 工程建设管理平台智慧工地专栏

3.3 运维阶段

3.3.1 MES 系统

工程建设管理平台的设备清单及信息传递到运维 MES 系统,为生产计划、物料管理、设备维护等提供更全面、一体化的数据支持。

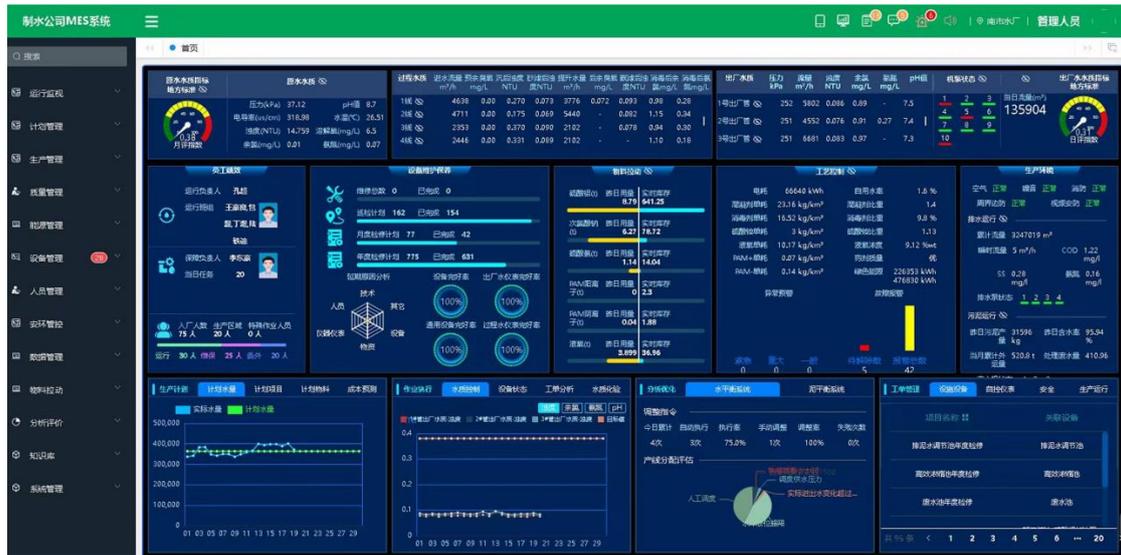


图 3-15 运维 MES 系统建设

3.3.2 数字孪生系统

BIM 模型轻量化处理后,传递到运维数字孪生系统,实现数据的整合和汇总,利用数字孪生系统对现实世界进行模拟仿真,帮助水厂运行人员进行优化决策。

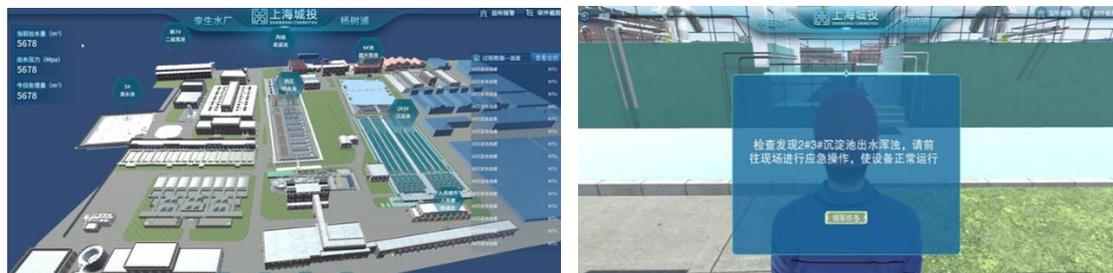


图 3-16 运维数字孪生系统建设

4. BIM 技术应用效益

(1) 设计应用效益

本项目从设计方案之初即引入数字化技术,通过倾斜摄影等技术,较好地还原了工程现场状况,帮助设计人员掌握复杂的现场情况,对工程设计的方案评估和确定起到了重要作用。各阶段 BIM 模型建立,使用 BIM 技术汇报设计方案,将复杂的建造步序、工艺切换等逻辑可视化呈现,为方案和设计沟通提供了更形象的媒介,提升了沟通效率。基于 BIM 模型进行多维度性能分析,提升了设计品质。

（2）施工应用效益

基于可视化动态模拟技术，将复杂的施工步序和关键节点进行三维呈现，有利于突出文物保护的核心理念，有利于施工方案沟通和施工交底。部署项目建设管理平台，参建各方基于平台协同作业，对项目监督管理，结构化采集全过程建造信息，为施工管理提供决策依据，为运维管理提供数据基础。设计、施工模型及数据，传递至运维 MES 系统和数字孪生系统建设，达成模型成果全生命周期的应用探索。

5. BIM 技术应用推广与思考

杨树浦水厂深度处理改造工程积极探索并实践了历史文物保护主题下，BIM 技术在水厂改造工程设计、施工及运营阶段的全生命周期应用研究。

应用实施主线之一——模型建立，即现状、新建、改造构（建）筑物建模。杨树浦水厂的一个现状是历史档案图纸缺失，现状情况复杂，这是逆向建模技术的最佳应用场景。通过倾斜摄影、激光扫描等技术，将现状情况数字化是非常有必要的，既作为设计资料输入，也作为将来数字输出的一部分。对于改造构筑物，着力区分保留部分和新建部分，随着工程的逐步推进深化模型。

应用实施主线之二——BIM 应用，即围绕文物保护开展 BIM 应用。历史文物建筑保护是本工程的重点，厂区构筑物布置局促，在有限空间里，通过虚拟建造有序安排改造步骤，降低影响，确保文物建筑的安全，提前在计算机中动态模拟建造过程，展现保护方案，规避施工风险；杨厂的水处理构筑物抵抗冲击负荷的能力较差，清水池容积较小，沉淀池的停留时间参数取值较低，应对这些不利因素，采用流程仿真、水力分析等手段开展具体应用。

应用实施主线之三——管理平台，即搭建 EPC 总承包项目管理平台。杨树浦水厂的施工 BIM 工作开展以 SMEDI-CBIM 自主研发项目管理平台作为支撑，开展施工过程应用，收集记录从设计到施工的过程数据、监测数据，为文物保护提供预警措施，为运维维护提供数据基础。

通过 BIM 应用推进杨树浦水厂深度处理改造全过程的提质增效和高质量管理，让历史建筑回应新需求，赋予新使命，激活新科技，推动城市可持续发展。

十一、BIM 引领上合广场地下空间综合利用及配套基础设施建设工程施工阶段综合应用

1. 项目概况

1.1 项目定位

“青岛上合示范区中央广场融投资带动总承包项目”是中国建筑深度融入“一带一路”建设，贡献央企力量与体现央企担当的代表性国家战略重点项目。

本项目地面景观由世界级领先公司 SWA 设计，商业业态由第一太平戴维斯公司统筹规划。项目以习近平主席关于古代丝绸之路讲话为指引，从“上海精神”中提炼“包容、开放、创新、和谐”为设计原则，打造了上合之心等 15 处主题花园和两处下沉广场，意在创建“国际级生态文明的风向标”，打造世界级的全时活力之园。

- (1) 体现上合文化景观品质门户，打造国际级城市会客厅，体现上合之道的文化高地，重塑城市形象新名片；
- (2) 高效沟通的立体城市广场，打造生机盎然的城市活力中心、便民服务业态的关键生态位、市民休闲体验的第一目的地；
- (3) 彰显智慧创新的活力中心，绿色智慧服务，融合科技生态，演绎未来感的市民休闲目的地；
- (4) 核心区中央的生态绿核，打造融合便民服务、构建蓝绿交织的生态文明广场典范。

1.2 项目概况

该项目于 2020 年底联合体中标，项目总投资额为 193.77 亿元，是中建集团 2020 年度最大单体投资项目。本次实施“上合广场地下空间综合利用及配套基础设施建设工程”为首开项目，承建模式为 EPC。项目建设地点位于山东省青岛市上合示范区管委会南侧，长江一路以南、钱塘江路以北、幸福街以东、为民街以西；地下环路和综合管廊位于上合广场周边为民街、幸福街、长江一路、钱塘江路地下。项目建筑面积 317510 m²工期 4 年。

项目内容包含地下停车场综合体工程（含主体建筑工程、景观绿化工程、广场道路

铺装、配套设施、市政管线工程等)以及地下环路和综合管廊工程(含主体工程、配套设施、管线工程、市政道路拆除及恢复工程等)。



图 1-1 项目效果图

2. BIM 技术应用概况

2.1 组织建设

2.1.1 组织机构

项目指挥部成立 BIM 工作推进领导小组，组长由建设方领导担任组长，咨询方领导担任副组长，协同其他参与方主要领导组成领导小组；各参与方分别成立 BIM 工作小组，协同参与 BIM 工作实施。形成组织体系完备，领导重视并参与，人力资源有保障的 BIM 工作良性推进机制。

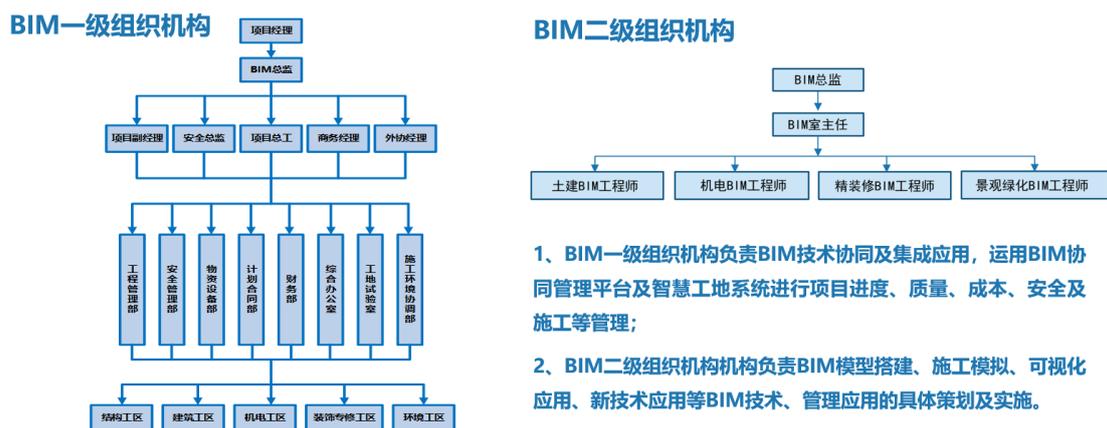


图 2-1 项目组织架构图

2.1.2 团队设置

中建指挥部共配置各专业专职 BIM 工程师 11 名，项目各部门均配备 BIM 兼职工程师 2 名，负责 BIM 平台及智慧工地系统等 BIM 管理应用。

各专业专职 BIM 工程师均持有中国图学会 BIM 相关专业证书，并由“山东省技术能手”牵头对土建、机电、精装修、绿化景观、平台系统管理等开展 BIM 应用工作。项目 BIM 团队具有丰富的 BIM 技术应用经验，并在各项 BIM 技能比武中具有不菲成绩。

2.2 应用策略

2.2.1 项目难点

- (1) 结构施工难。本工程总建筑面积约 317510 平方米。地下包含公共设施、市政基础设施、地下空间三部分，且地下涵盖轨道交通、地下环路、综合管廊等众多的基础设施内容，且存在暗挖下穿轨道交通。基于立体交通、公共服务、绿色市政，构建协调发展立体城市空间，业态丰富，平面垂直交叉施工。
- (2) 机电安装难。本工程功能属性多，涵盖商业、地下环路、综合管廊以及暗挖下穿轨道交通，机电管线排布复杂多变，现场管综排布施工难度大。机电安装与土建、机电各专业协调难度大，空调水泵房、消防水泵房、环路机房等机房设置多等，造成机电安装施工难。
- (3) 装饰装修施工难。本项目装饰装修室内设计复杂，涵盖胶州历史印记、丝绸之路文化、上合精神等装饰主题，涵盖商业公共区域、办公室、电梯厅、地下标识等，且空间需与机电安装协调，造成装饰装修施工难。
- (4) 景观造型工程施工难。本项目景观造型融入“互信、互利、平等、协商、

尊重多样文明、谋求共同发展”的“上海精神”。设有“上合之心”、陶瓷、木艺、珍宝、香料、食盐、纸艺、玻璃、织毯、铁器等 13 处主体花园，各景观造型复杂多变，艺术气息浓厚，且需设计、业主方现场沟通，施工难度大。

2.2.2 BIM 应用策划

1、参建方全参与

BIM 引领技术、生产、物资、商务，各管理人员承担 BIM 责任。

- (1) 建设方领导牵头成立 BIM 实施组织机构。
- (2) 总承包单位承担 BIM 实施主体责任。
- (3) 各设计单位、咨询单位、监理单位全过程参与。
- (4) 联合体各总承包单位局后方公司 BIM 中心参与。
- (5) 专家库外脑参与。

2、协同创新应用

全专业、各阶段协同优化：

- (1) BIM 实施前对各专业建模软件进行统一规划，能完成承接设计成果。
- (2) 制定模型信息交互标准，统一编码，统一建模标准，便于各专业交互。
- (3) 建立钢结构-砼结构、结构-机电安装、机电安装-装饰装修、造型-景观绿化横向小组，确定专业对接人员，实时解决专业交叉问题。
- (4) 采用 BIM 协同管理平台进行各专业协同管理，在成熟平台基础上开发自有平台。

3、应用深度创新

全过程深化技术及管理应用：

- (1) BIM+网格化安全管理；
- (2) BIM+动态化质量预控；
- (3) BIM+精细化进度管控；
- (4) BIM+物料成本管控；
- (5) BIM+AR 融合现实应用；
- (6) BIM+GIS 无人机应用；
- (7) BIM+智能化设备应用；
- (8) BIM+自主开发软件应用等。

2.2.3 BIM 应用环境

1、硬件环境

项目部署 6 台台式工作站，5 台笔记本、5 台平板电脑，以及 BIM 数字化管理暨智慧建造中心（CIC）等硬件设施，保证 BIM 数字化管理平台 and 日常 BIM 工作正常开展。



图 2-2 硬件环境

2、软件环境

项目采用自主研发软件、同筑云、定制版 BIM 数字化管理平台、Autodesk 公司软件集、Act-3D 公司软件等。

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 BIM 技术应用示例

3.1.1 快速精准建模

利用 Dynamo 编程技术，提高建模效率及精度，保证在施工前快速拥有项目各专业 LOD300 精度模型，做到模型先行，保证 BIM 后续工作顺利开展。

本项目根据施工阶段对项目临建阶段、基坑支护阶段、主体结构施工阶段各阶段模型进行搭建。根据涉及专业对项目结构、建筑、机电、钢结构、精装修、景观绿化等进行 LOD300 精度建模。

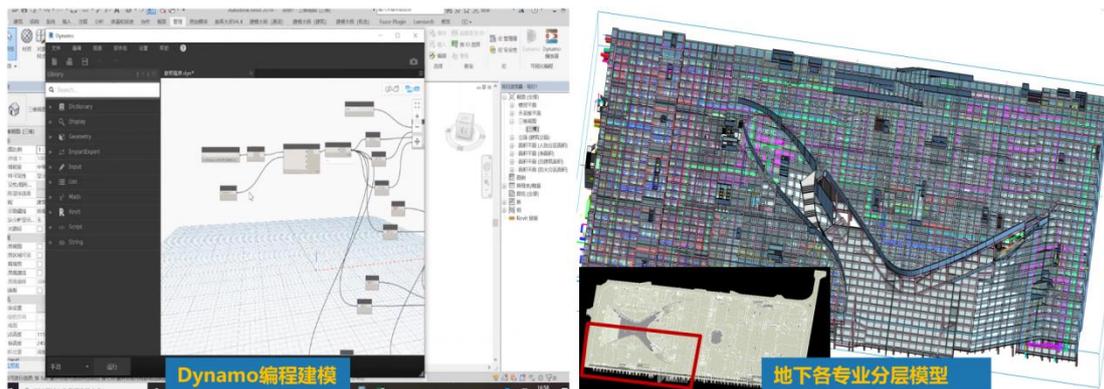


图 3-1 精准快速建模

3.1.2 电子沙盘制作

模型搭建完毕，制作进度电子沙盘，将工程结构、建筑、机电 LOD300 信息化模型进行展示，辅助项目决策，同时辅助业主对景观工程进行设计优化。

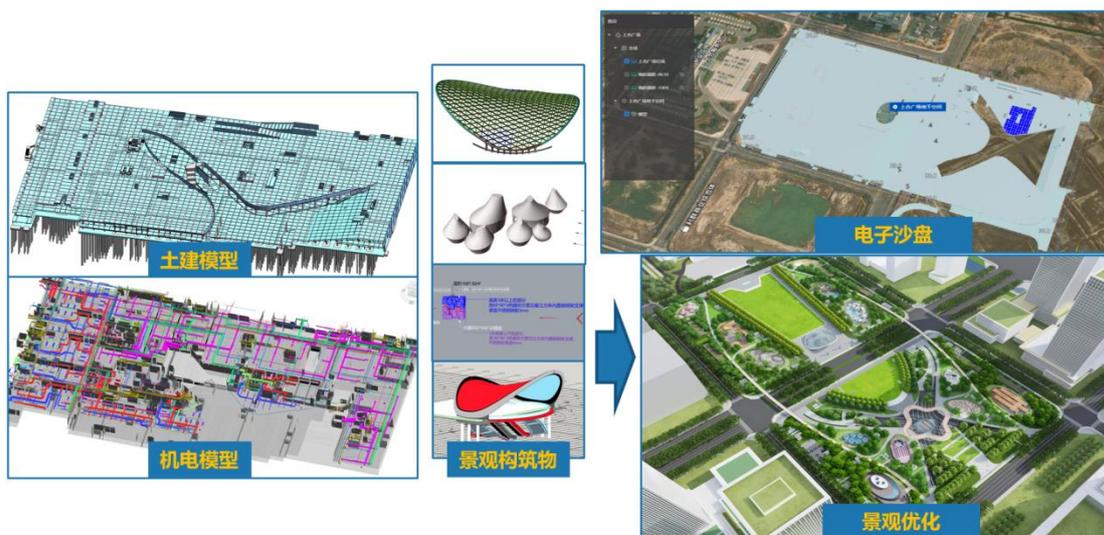


图 3-2 电子进度沙盘

3.1.3 三维图纸会审、深化设计

本项目通过三维图纸会审发现结构、建筑施工问题五十余项，并进行深化设计及变更，避免构件加工、物料损耗等直接经济损失及工期损耗。

3.1.4 前期策划总体场布规划

本项目横跨长江路，临建规划空间局促，各施工阶段场地规划不同，场布规划需要统筹整体施工顺序，做到细致精确，可实施性强。本项目施工前根据实地尺寸进行各施工阶段大小临建、施工便道、设备布设等场布规划、转场规划，做到场布的精细化管控。

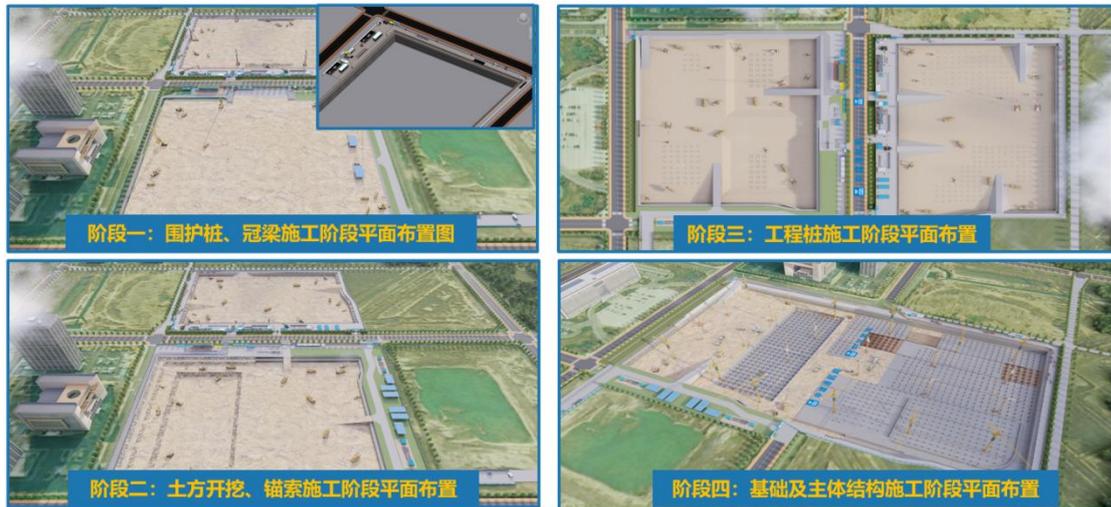


图 3-3 场布规划

3.1.5 BIM+材料设备布场模拟，核算措施材料用量

实施过程中项目建立设备、防护、支架等族库，根据进度计划建立布场模型，核算措施材料用量。本项目通过优化布场模拟，并在此基础上对措施材料进行核算，加上自然损耗率，以此为依据对措施材料进行租用或预制，有效的降低了用经验公式估量租用或预制的费用。

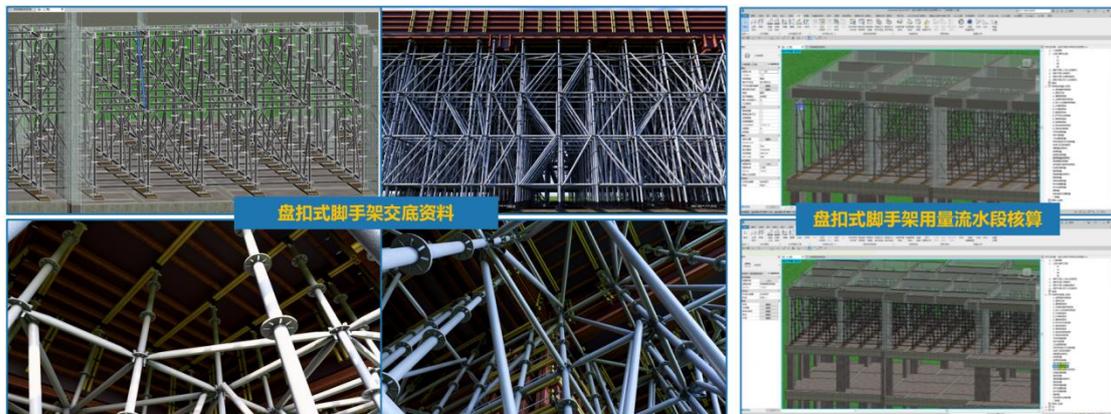


图 3-4 核算措施材料用量

3.1.6 BIM+UVA 倾斜摄影应用

本项目占地大，分段开挖工作面多，涉及场地中间长江路挖除，加工场临建各施工阶段的转场等，对挖方量实时控制，各阶段临建转场规划等要求高。项目通过 BIM+UVA 倾斜摄影应用，能迅速获取各阶段挖方量数据，通过三维实际尺寸规划场站转场，规划场外道路等。

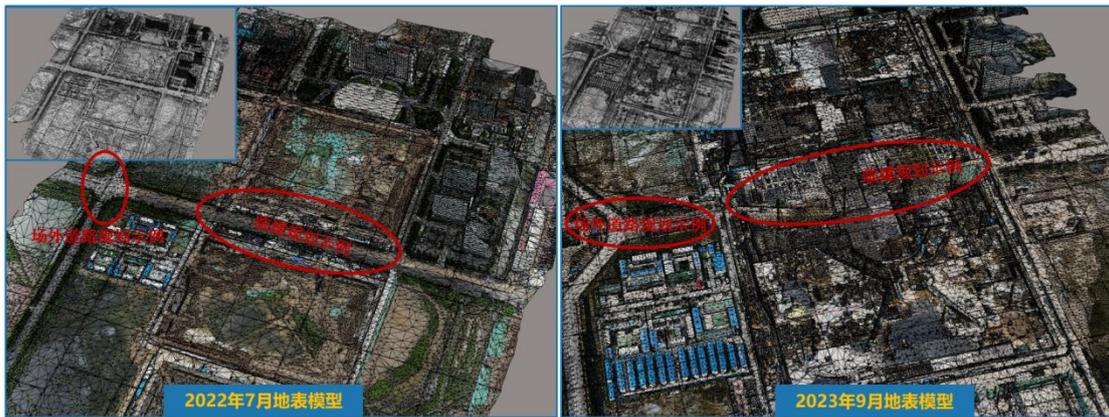


图 3-5 倾斜摄影模型

3.1.7 BIM+机电管线施工

本项目采用 BIM 深化设计，搭建有全专业 BIM 模型。在初步设计模型到施工模型优化期间进行了专业内部、机电-结构框、机电管线间碰撞检查，并进行净高分析，提前发现百余处碰撞位置及净高问题，提前优化预留洞口设置，进行三维装配式支吊架设置，形成机电管线施工的标准化流程。

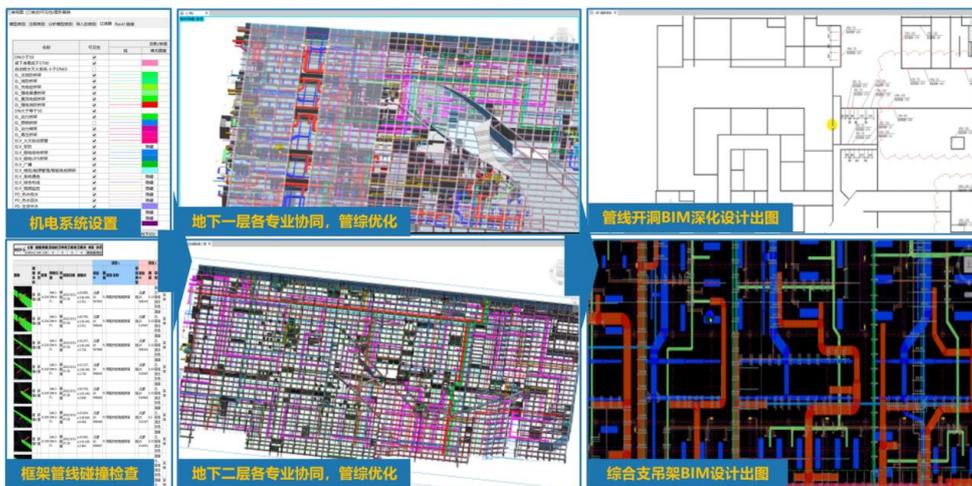
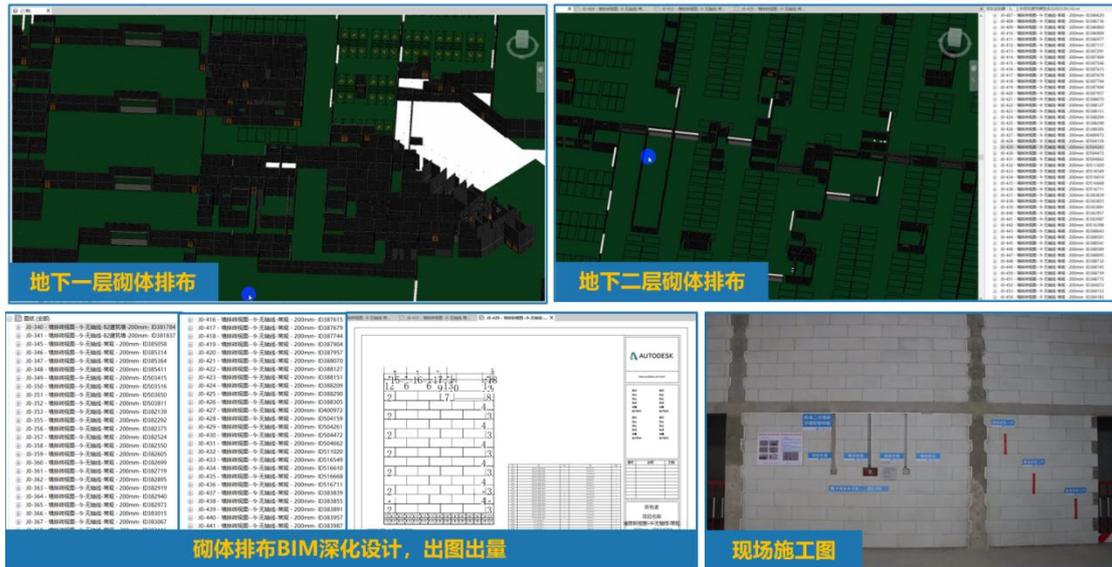


图 3-6 管综优化

3.1.8 BIM+二次结构砌筑施工

本项目在各专业协同优化开洞模型基础上，进行二次砌筑 BIM 深化设计。项目达到全楼层全区域 31.75 万平米 BIM 砌筑排布，优化砌筑位置 120 余处，全面指导二次砌筑施工。



3.1.9 BIM+实景模拟在装饰装修中的应用

在施工阶段，利用 BIM 三维模型+数据参数的方式将装饰装修进行实景呈现，辅助业主方装饰装修方案的比选。同时通过模型对耗材进行精细化统计，能够很大程度提高材料利用率、方便材料进场管理，降低工人施工难度。



3.1.10 BIM+“双碳”战略

1、BIM+环保节能减排应用

项目采用 BIM 数字化智慧管理平台，增加智能电表监测管理系统、智能用水监测管理系统，实时监测工地施工过程中电量、电压、电流情况，同时按日、周、月、季度等区间统计，通过与计划值对比分析现场用电量是否超标，为项目节电管理提供管理依据，经测算每月节省电量 3200KWH，水 56 吨。

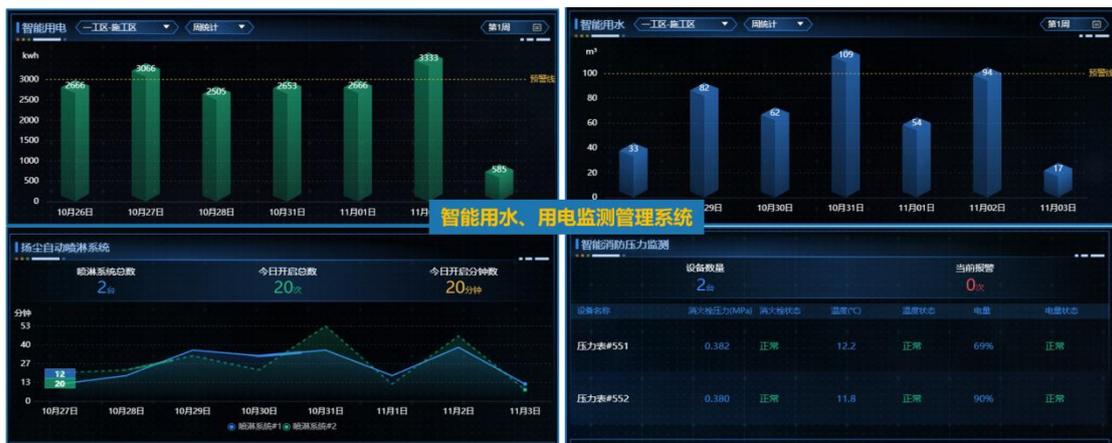


图 3-9 智能用水用电监测管理系统

2、BIM+导光管采光系统工艺应用

项目引入导光采光系统，利用 BIM 技术合理规划路径，并进行地下室光环境模拟分析。本项目通过 BIM 结构管道模拟，提高导光系统安装优先级，在结构分区流水施工完成后达到导光系统的可用性，在施工阶段充分发挥导光系统的作用。

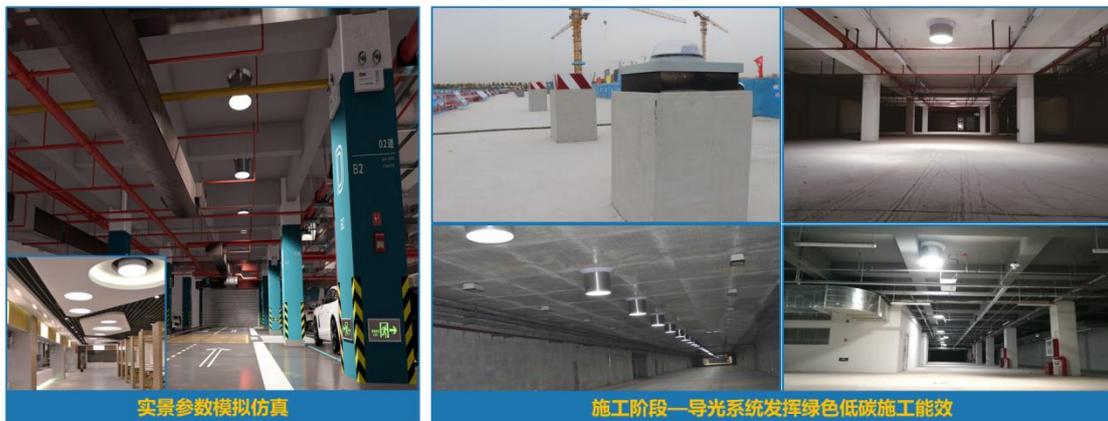


图 3-10 BIM+导光管采光系统应用

3.1.11 BIM+“合和共生”文化呈现

项目要求凸显“合和共生”的设计原则，体现“和平合作、开放包容、互学互鉴、互利共赢”为特征的“丝路精神”。鉴于此，项目地表景观根据上合成员国文化特色，设计了“中国结中轴环桥”、“上合之心”、“陶瓷”、“木艺”、“丝绸”、“茶茗”、“印染”、“铁器”、“珍宝”、“香料”、“食盐”、“纸艺”、“玻璃”、“织毯”等 15 处寓意建筑及景观花园，各项构筑物造型复杂多变，如何建造完美呈现文化内涵成为景观施工的重难点工作之一。

本项目地上景观构筑物以 BIM 技术为深化设计核心，充分发挥“所见即所得”的 BIM 优势。通过 BIM 技术前期应用加速计划设计图纸定稿，优化构筑物材质设计，优化空间结构设计，与景观绿化综合优化，提前优化建造技术路径等，提高项目建造效率。

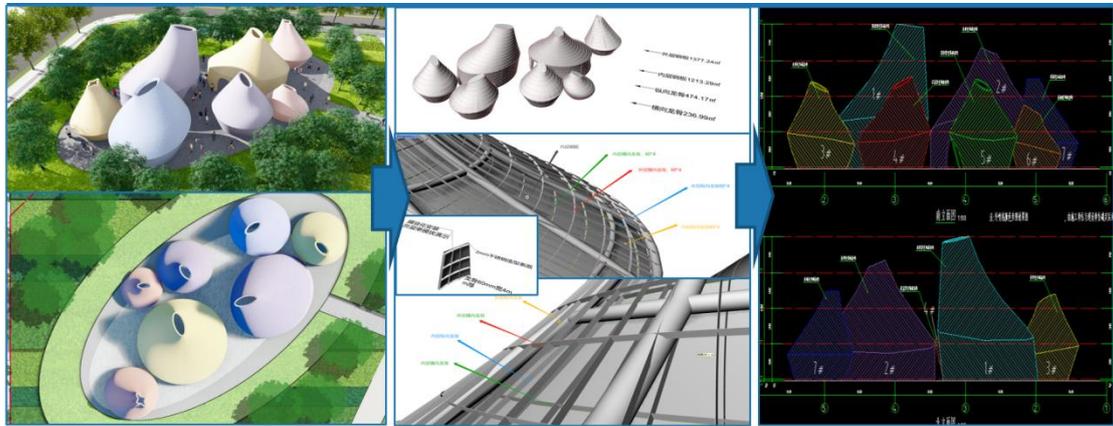


图 3-11 “陶瓷-雕塑花园”三维优化

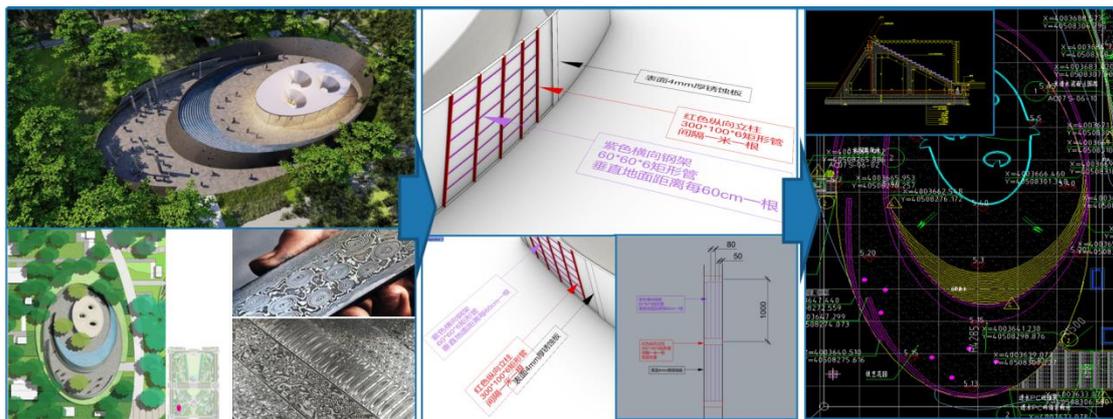


图 3-12 “铁器-质感花园”三维优化

3.2 BIM 管理应用示例

3.2.1 协同管理平台优势

本项目采用数字化 BIM 协同管理平台全面开展管理应用。协同平台涵盖 12 大板块，实现 28 项主要功能，以 BIM+GIS 为载体，建立数字孪生底座，集成智慧工地物联感知数据，融入项目业务管控全过程，数据自动汇集至指挥调度电子沙盘，为管理层提供决策支撑。

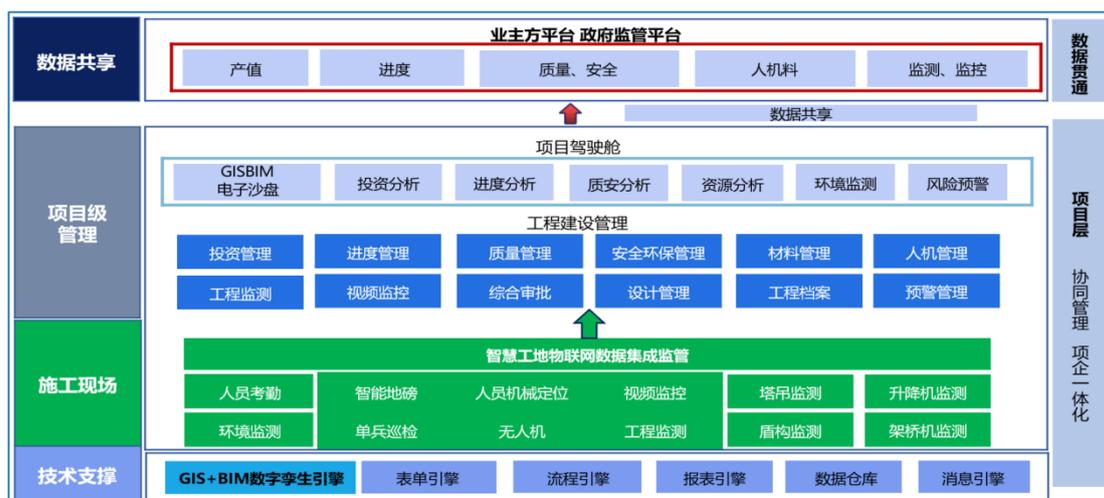


图 3-13 项目协同管理平台

项目管理平台实现 GIS+BIM+UAV+IOT 多源数据无缝融合，具有以下优势：

- (1) 通过低空无人机摄影照片和地面采集的近景影像，实现联合定向和自动生成高分辨率真三维模型，全面提升工程实景三维模型质量和精度。
- (2) 通过 GIS+ BIM+UAV 图形融合，检索可以定位和浏览周边环境。
- (3) 通过 BIM+无人机，实现地上地下数据的融合，对于地面及结构外部模型，采用无人机测绘技术快速建模，建立高精度三维真实景观模型。
- (4) 对于地下建筑及建筑结构内部模型，采用 BIM 建模，二者实现互通、补充，并通过 GIS+BIM+UVA 图形融合，实现项目的三维可视化。
- (5) BIM 模型与 GIS 地理空间得以交换共享，实现地形、环境和建造数据的无缝衔接，提高建-构筑物与周围地理环境的联动分析和协同应用的水平。
- (6) 开发集成平台，统一入口，整体呈现项目进度、安全、质量、环境、机械等信息。通过物联网技术，接入智慧工地硬件设备，及时预警。在 GIS+BIM 空间

随时随地了解项目实时数据以及隐患预警，及时进行现场施工指挥调度。

3.2.2 BIM+劳务实名制+安全管理

项目基于 BIM 模型及协同管理平台，纳入项目劳务人员管理。进场劳务人员通过穿戴电子设备，可实时对其数量、位置、队伍等信息进行监测，实现劳务实名制管理。同时创造新开展人员安全积分巡检制，管理人员现场巡检过程中，对有违章行为的作业人员通过穿戴电子设备进行扣分，积分不足者，回炉再培训，培训合格后方可上岗。

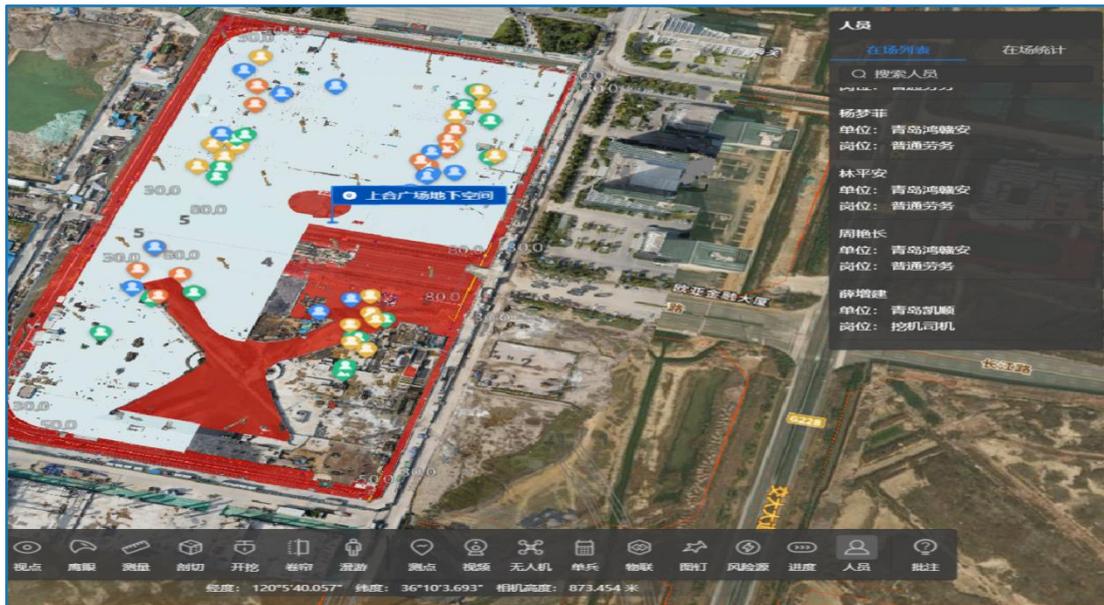


图 3-14 BIM+劳务实名制+安全管理

3.2.3 BIM+数字化进度管控

计划对比实际，三维演示，实时了解项目进度。创新进度滞后提醒方式，手机短信进度滞后提醒，不用 BIM 软件及平台也能了解实际进度情况。实时形成项目产值，形成一套实际进度电子资料，利于项目完工得失分析，为后续项目积累经验。

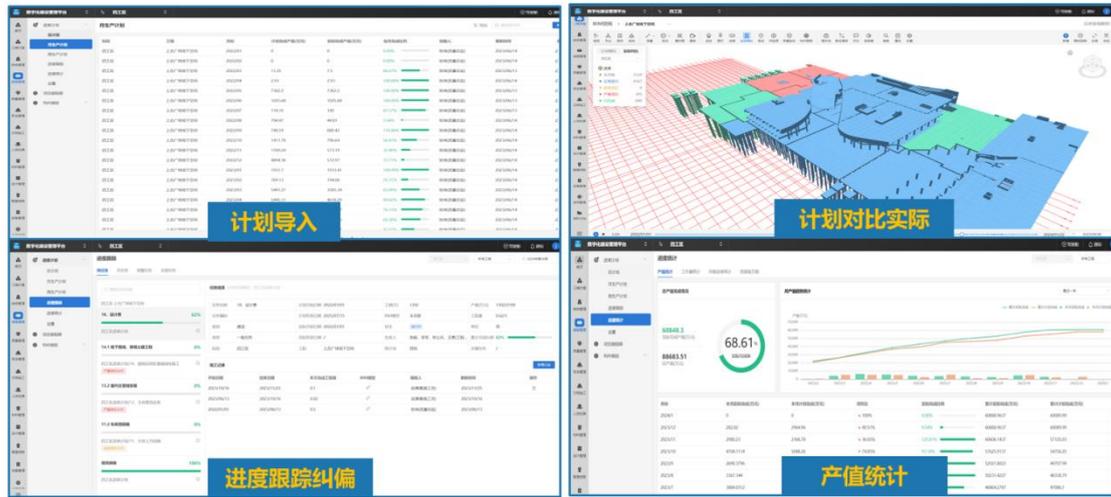


图 3-15 BIM+数字化进度管控

3.2.4 BIM+数字化质量监管

项目形成关联模型的质量检查、质量验收数据库。数据对质量问题种类、质量等级进行评判统计。对验收不同原因进行统计，区分遗留问题及新增问题，能提高对质量管控的精度。可对当前质量管理情况进行评价，对后续质量管控进行预估，指导后续质量管控重点部位及主要质量问题。



图 3-16 BIM+数字化质量管控

3.2.5 BIM+AI 智能预警应用

项目引入 AI 智能识别系统，定位链接 BIM 模型，通过设置场边高清摄像头进行 AI

识别,相关数据实时链接至 BIM 协同管理平台。实际应用过程中能够对未佩戴带安全帽、未穿反光背心人员进行智能识别,并通过短信反馈至项目管理人员,同时通过手机端、电脑端 BIM 模型或监控视频追踪人员位置,进行定向扬声器喊话或行至现场进行安全管理,并形成电子档案。

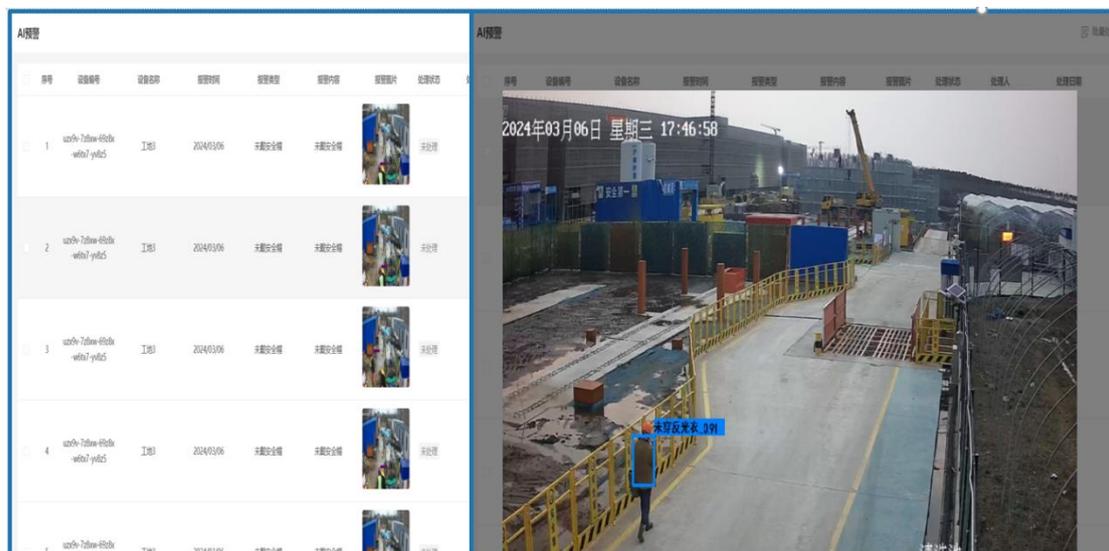


图 3-17 BIM+AI 智能预警应用

3.2.6 BIM+工程智能监测应用

本项目项目在深基坑坡顶、基坑周边设置边坡水平位移、沉降观测点和承压水位监测点,相关数据链接至 BIM 协同管理平台。做到水平、垂直位移和水位监测数据与 BIM 协同平台同步,同时结合视频监控系統,实时对工程监测进行预警,保证现场高效有序施工。

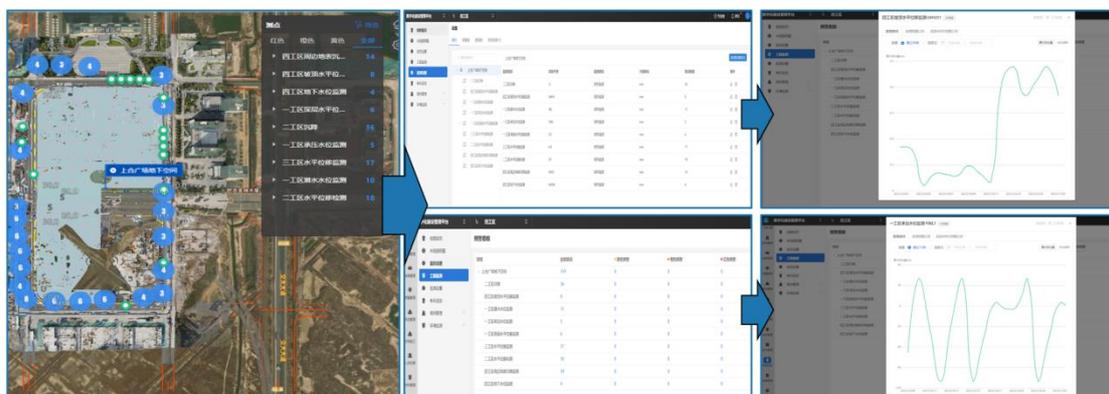


图 3-18 BIM+工程智能监测应用

4. BIM 技术应用效益与测算方法

4.1 管理效益

BIM 技术在本项目实施中经统计，在管理方面提高约 50%交底效率，提高 15%施工效率，降低 80%返工概率，降低 65%安全风险率。

4.2 经济效益

BIM 技术在本项目提高管理效率同时，在经济成本方面也产生巨大直接经济效益。截止目前，BIM 技术在本项目应用过程中产生主要经济效益达四百余万元，缩短关键线路工期达一百余天，有效保证了项目的高质量完美履约。

4.3 社会效益

4.3.1 助力国家战略

本项目是中国建筑深度融入“一带一路”建设，贡献央企力量与体现央企担当的代表性国家战略重点项目。项目定位为上合示范区形象品质提升的关键引擎，核心区国际交流对外展示的绿色窗口，通过构建立体互动开放空间，提升核心区开发能级，融合现有上合文化、体验性商业、智慧生态等元素，建设成为国际示范效应的绿色立体门户。项目建成将成为上合文化景观品质门户，打造国际级城市会客厅，体现上合之道的文化高地，重塑城市形象新名片。

4.3.2 示范引领

本项目得到省、市领导的高度重视，先后接待省级及政府领导、考察团 10 余次。同时作为青岛市智慧建造试点项目，承办中国图学学会、山东大学、青岛地铁、中国建筑总公司等观摩交流活动 9 次，得到了社会各界认识的赞许，为行业发展贡献力量。

5. BIM 技术应用推广与思考

BIM 团队成员根据本项目 BIM 技术应用特点总结提炼，目前已经整理编制出项目级的《模型建模与拆分标准》、《BIM 应用实施标准》、《基于 BIM 物料核算标准》、《异形钢构、幕墙软件协同标准》等。

同时整理了一套适用于同类工程的公司级《大型商业广场项目 BIM 复杂管线建模标准》、《BIM 实施标准（应用点推荐清单）》、《BIM 模型族库》、《景观特色工程正向设计工作要点》、《异形钢构、幕墙软件协同标准》等。且在集团内部有文化特色商业综合体类项目进行推广应用，助力 BIM 技术在市政类项目中持续开拓应用。

特别创意奖

十二、BIM 驱动的工艺数据链在二结构数字建造中的应用

1. 项目概况

针对二结构深化设计工作量大、覆盖面小、现场管理低效、砌筑拆改多、排布不合规、材料损耗高等问题，同时面对二结构设计到施工数据链条缺乏描述，数字化缺乏坚实的基础的现状，运用先进的数字化方法全面描述和管理二结构的深化设计和施工过程，建立了系统的二结构工艺数据链。基于建筑信息模型（BIM）技术通过智能算法，以合规性为标准，以经济及可施工性为优化指标，自动生成二结构深化设计模型，输出图纸及施工方案指导现场砌筑；借助增强现实及实测实量机器人设备，实现二结构高效检查及验收。赋能公司智能建造，让二结构深化设计，提升公司砌体结构分项工程的质量及管控能力。

本工具及方法已累计覆盖言子书院、第六人民医院、电子信息学院、瑞金医院北院、张江实验室研发大楼、机场联络线项目等 10 余个项目。有效解决了二结构深化设计低效，现场砌筑材料损耗高、砌块排布不合规的问题，有助于提升企业智能化深化设计及建造水平。

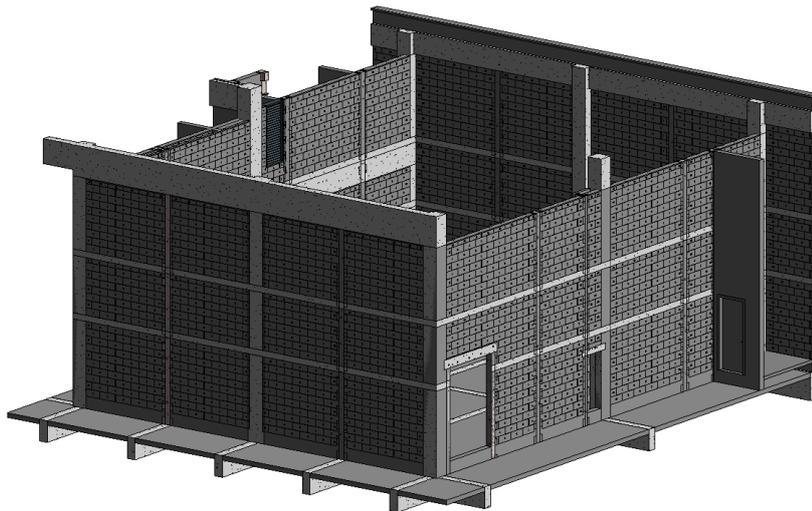


图 1-1 二结构深化模型

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

二结构作为建筑工程的主要组成部分，近年来观感质量不佳、材料浪费等问题成为了二结构施工的一大通病，高效高质量地进行深化设计与质量管理显得尤为重要。在国家大力推进数字建造的背景下，模型驱动的二结构深化设计与数字化管控技术关注二结构布置及排砖的合规性，在施工前明确墙体详细排布，从而提升深化设计效率及覆盖度，减少材料浪费，提升二结构砌筑质量。适用于具有 BIM 模型，对二结构管控要求高，需要提升构造柱布置效率、留洞协调、材料管控的项目。

2.2 BIM 技术应用概况

2.2.1 功能架构

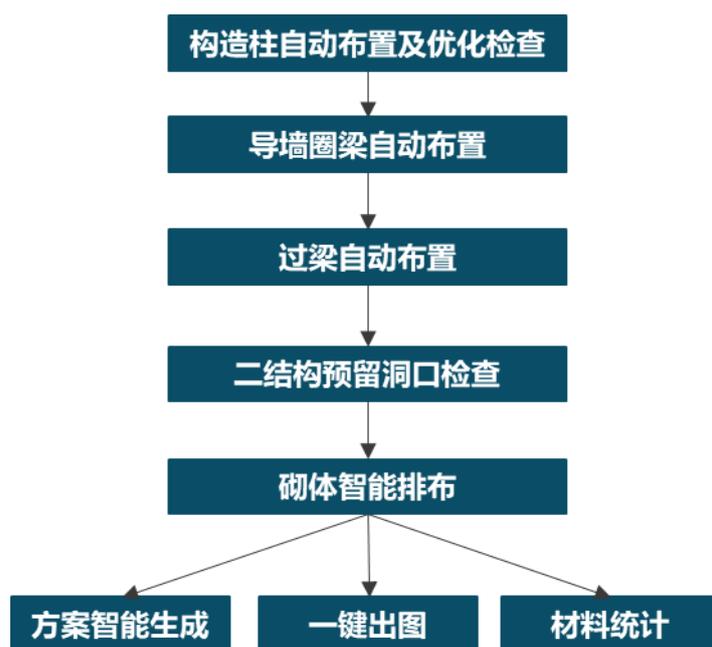


图 2-1 插件功能架构图

3. BIM 技术应用成果与特色

1. 高效且互操作性强的施工二结构工艺数据链

基于 IFC 标准定义二结构构件数据标准，形成面向自动化施工的二结构数字化 workflow，根据工艺流程梳理二结构深化设计、砌筑、质量验收的数据交付标准。推动分项工

程数字孪生。

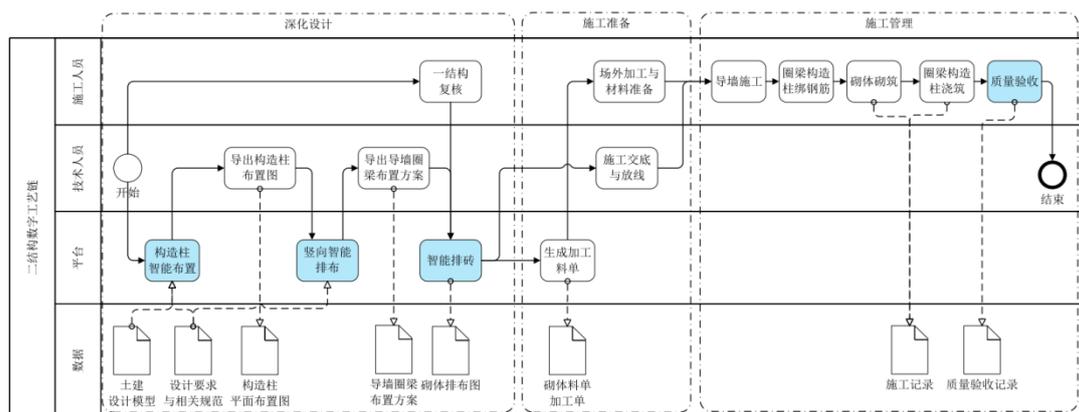


图 3-1 二结构数字化工作流程

2. 二结构深化模型自动构建，提升深化设计效率

自主研发基于 BIM 的二结构深化设计工具集，利用建筑信息模型获取排布空间数据，开发自动化深化设计工具，支持工程师在建筑模型基础上快速、自动生成构造柱、圈梁、过梁、导墙、砌体排布等构件。集成导墙布置、圈梁布置、过梁布置、抱框柱布置、自动排砖、排砖统计、构造柱检查、自动出图模块。基于模型输出用量统计及施工图纸，对二结构砌筑提出合理深化建议。

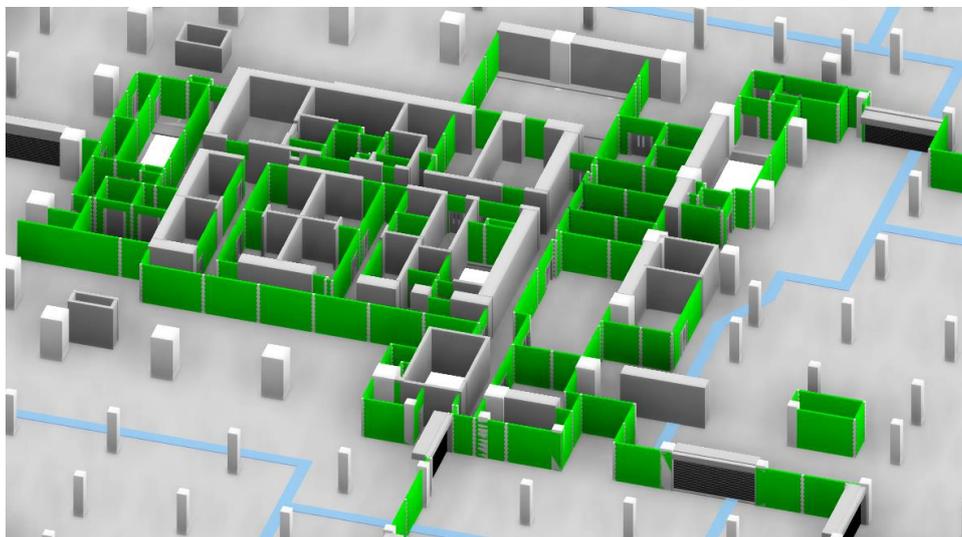


图 3-2 构造柱深化模型

3. 智能算法优化解析，提升深化设计质量

在满足合规性的约束条件下，本系统基于图拓扑算法实现构造柱自动布置，并进行基于砌筑优化的检查，基于遗传算法自动实现砌块的经济高效排列。

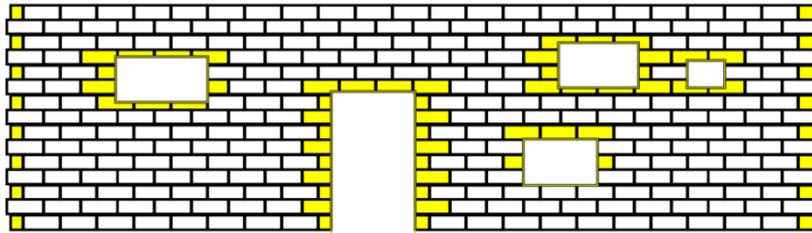
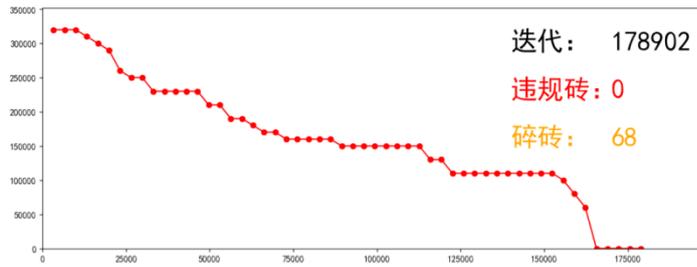


图 3-3 砌块智能排布算法

4. 排砖统计、图纸及方案生成，提升方案交底准确性

自动统计墙体砌筑排砖用量，并按规格进行分类编号，实现现场精细化备料。基于二结构深化模型，自动生成用于施工交底的高质量图纸。

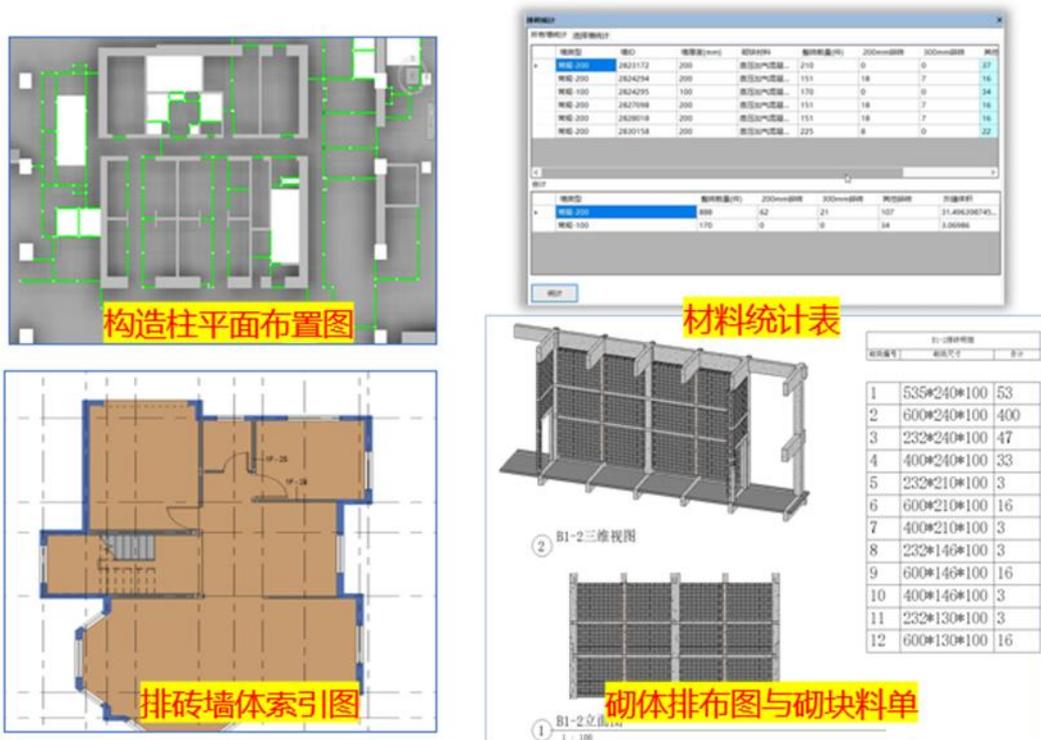


图 3-4 二结构深化设计图及材料统计表

5. 高效的现场查验及验收，提升质量管控覆盖度

通过运用增强现实（AR）技术，可以实现对二结构中构造柱及预留洞位置的精确巡

查。此外，结合实测实量机器人技术，能够自动化完成墙体垂直度和平整度的验收工作，大幅提高了施工质量的检测效率和准确性，确保工程质量符合高标准要求。基于实景数据与深化模型的及时匹配检查。通过二点定位或者扫描定位在 3s 内完成配准。检查施工过程中构造柱、洞口缺漏和偏差等不易识别的问题，提升现场巡检效率。

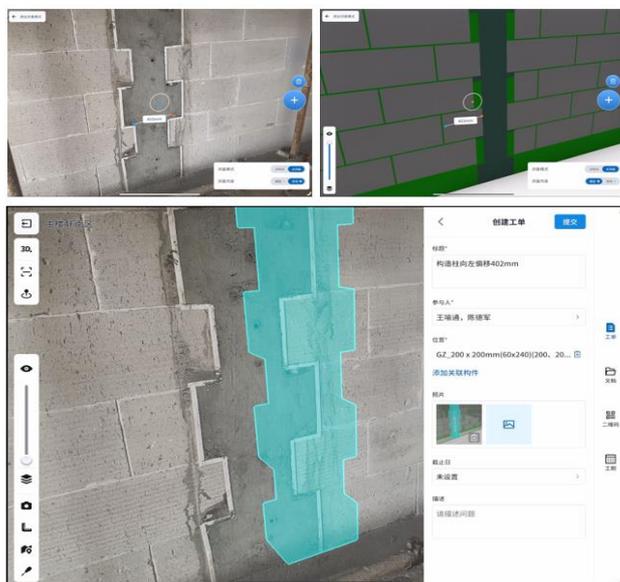


图 3-5 基于 AR 技术的构造柱查验

4. BIM 技术应用效益与测算方法

张江实验室研发大楼项目，总建筑面积 109713m²，选择研发大楼进行二结构深化设计，单层建筑面积 9107m²，共计 401 面砌体墙。



图 3-6 张江实验室研发大楼二结构砌筑

(1)使用基于 BIM 和智能算法的高效二结构深化设计工具集节省了项目人员手动排布砌体结构的工作时间，将原本的手动 CAD 绘制砌体构造柱排布图纸的模式更新为通过设置参数插件导出模型及图纸后项目人员检查修正的方式，避免繁复的机械劳动，较大的提升了工作效率。

(2)使用砌体结构自动排布插件自动生成构造柱共 1798 个，布置时间 30 分钟/层，经过项目技术人员检查修正，与现场施工班组再次商讨，最终确认施工的构造柱共 1754 个；其中，插件生成的构造柱共删除 57 个，手动增补构造柱 33 个，插件自动排布生成的构造柱准确率达到总构造柱量的 92.8%。

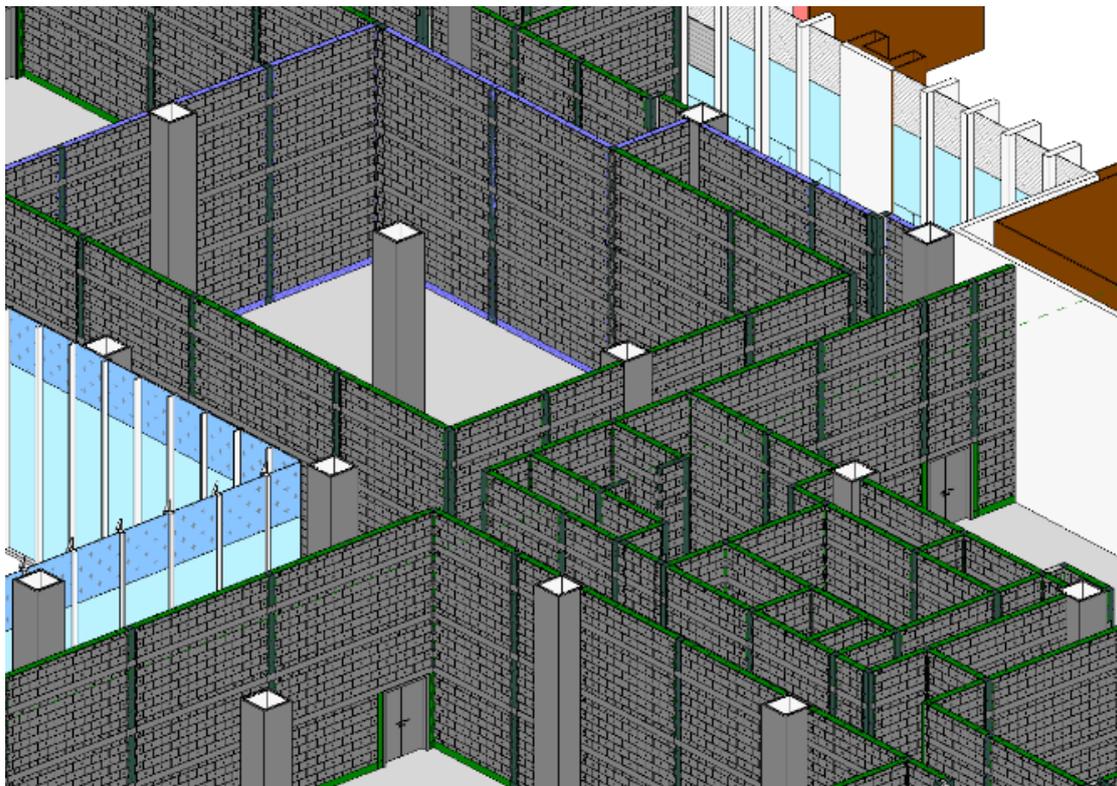


图 3-7 张江实验室研发大楼二结构深化模型

(3)使用砌体结构自动排布插件针对标准层墙体生成二结构排布图，合理优化了墙体砌块的排布砌筑，最大化确保砌块的完整性，减少了碎砖的使用量，本项目无损耗切砖占总数的 85%。同时，生成的二结构排布图直接应用于现场施工人员及施工班组交底，直观的完善了砌体结构的砌筑管理工作。

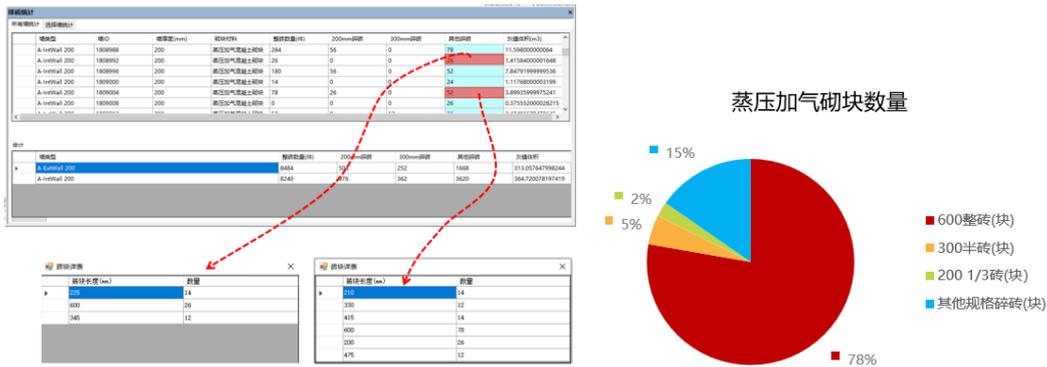


图 3-8 张江实验室研发大楼 4F 材料统计

(4) 使用移动端设备通过结合增强现实 (AR) 技术和自动化实测实量系统, 本项目在二次结构质量验收方面实现了显著的效率和质量提升。AR 技术使得现场检查变得更加直观和精确。通过移动设备, 工程人员能够在实际的施工现场叠加虚拟的设计模型, 这样可以即时对比设计与实际施工的差异, 迅速识别出任何不符合规范的地方。这种实时的视觉校验大大减少了寻找和诊断问题的时间, 提高了检查的效率。同时, 自动化实测实量系统为质量验收提供了精准的数据支持。它能够自动测量和记录墙体的垂直度、平整度等关键参数, 确保施工质量符合严格的标准。这种自动化的测量方式减少了人为错误, 提高了数据的准确性, 从而确保了施工质量的一致性和可靠性。

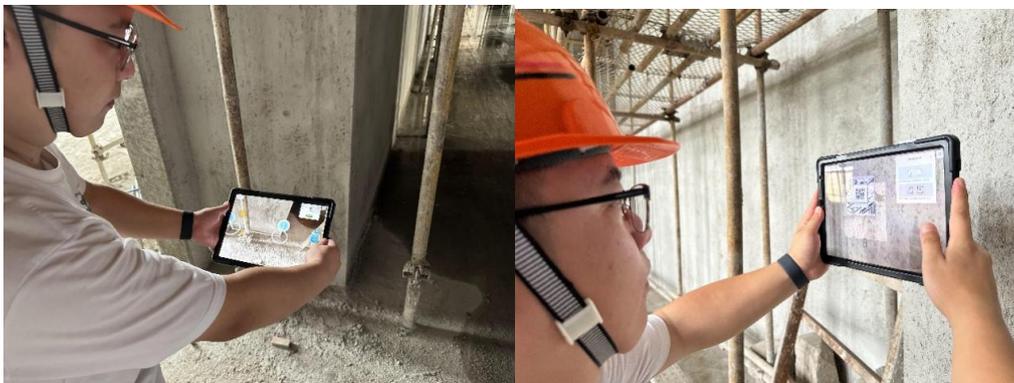


图 3-9 现场质量巡检快速定位



图 3-10 二结构质量巡检

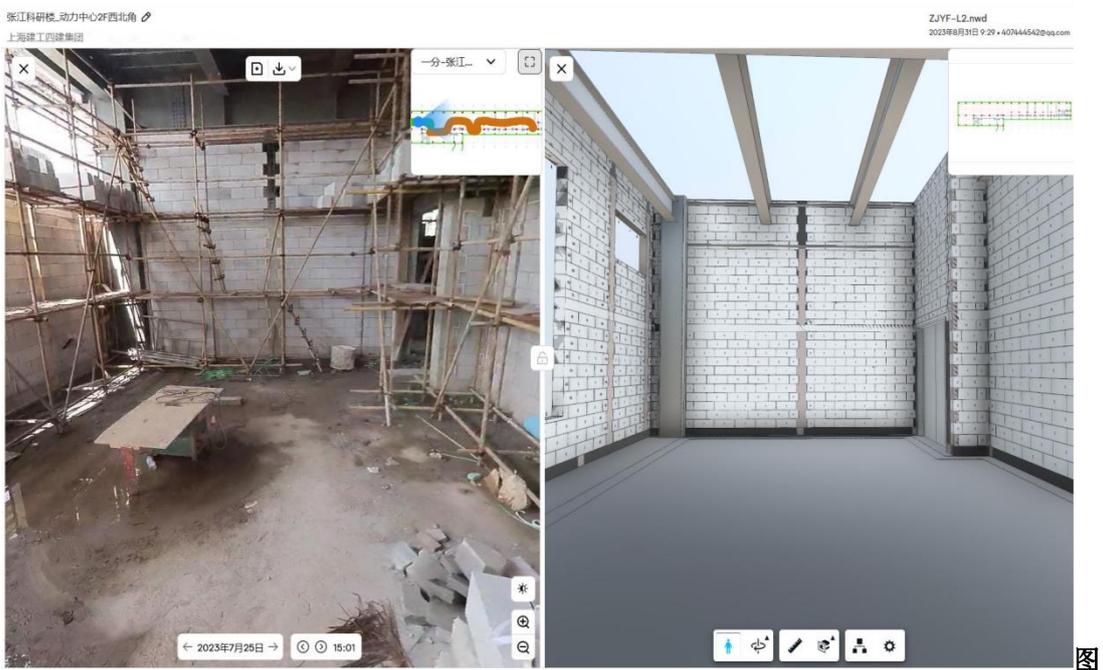


图 3-11 二结构实景与深化模型对比

5. BIM 技术应用推广与思考

目前在传统人工砌筑的条件下，深化设计方案对现场效率提升并没有体现，且还尚

未出现适应工地、便捷高效的砌筑机器人。利用基于工艺数据链的 BIM（建筑信息模型）技术与二结构砌筑机器人间的数据共享，智能建造相关技术的发展现已成为建筑行业数字化转型的核心，而砌筑机器人的应用则提升了施工效率和质量。将两者结合，通过无缝数据交换，可以优化设计和施工过程，实现更加精确和高效的建造。例如，机器人可以直接从 BIM 模型中读取数据，准确地执行砌筑工作，同时减少人为错误和材料浪费。

其次着重于结合实测实量数据以快速应对一次结构施工偏差的要求。实测实量技术，如激光扫描和摄影测量，能够提供现场施工的精确数据。将这些数据与 BIM 模型整合，可以及时发现和纠正施工中的偏差，确保施工质量。这种实时反馈机制为施工管理带来了革新，使项目能够在成本和时间上更有效地控制。

十三、基于内装工业化应用场景的 工业设计及数联加工技术

1. 项目概况

当下中国的建筑行业面临的主要痛点有:建造端信息化与自动化水平低,数据损耗严重;生产和施工精度受限,作业粗放;劳动力问题愈显严峻;拖延与超支常态化;行业利润率低下。2020年7月,住房和城乡建设部等多个部门颁发《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》(建市〔2020〕60号),进一步明确提出智能建造与建筑工业化协同发展的智能建造产业体系,推进智能建造已成为国家推进建筑业高质量发展的关键举措。对应装饰行业,相较传统的装饰施工过程,智能化装修最大的区别在于智能建造理念的嵌入,强调数字协同及智能制造在装饰施工领域的融合应用,充分发挥信息共享优势,借助BIM技术、AI人工智能、物联网、智能化施工机具等前沿技术手段,有效促进深化设计、生产加工、物料运输、现场施工及后期拆除等装饰施工全过程的效能提升,同时积极改善施工作业形态,减轻劳动强度,通过智能化手段,赋能传统装饰施工领域,实现施工的高效化、工艺的精细化和工程的品质化。因此在现阶段,建筑装饰行业亟需一场技术变革。在生产和制造方向上需要快速向工业化制造借鉴和学习,通过开发智能的建筑工业设计软件,联通设计端和制造端的数据,在工厂和工地端引入先进的智能装备,实现生产的自动化、信息化和智能化。对标工业生产行业,在保证工程的质量和效率、进度的前提下合理提高利润。

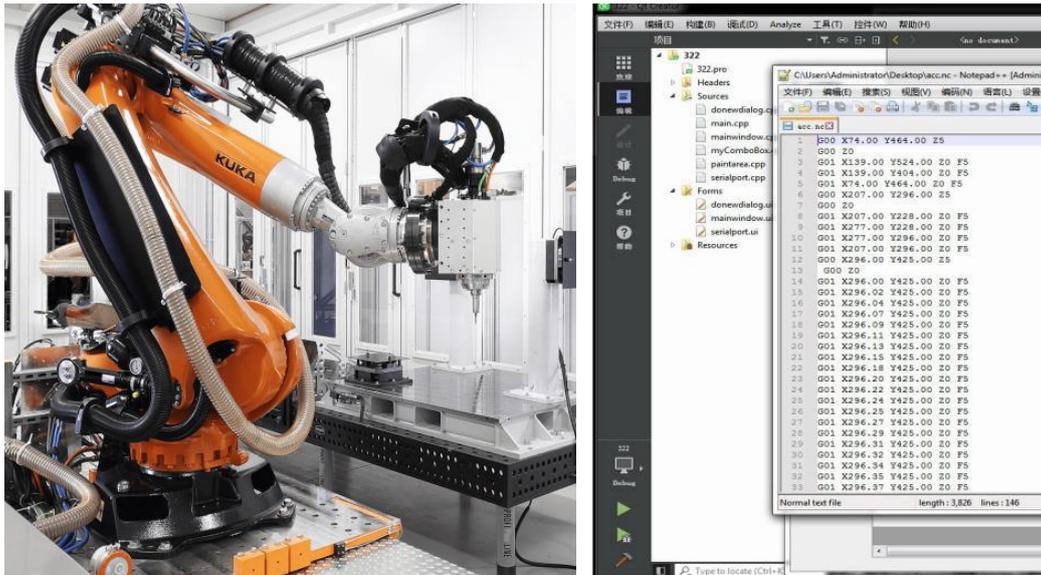


图 1-1 内装工业化应用场景数模联通

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

面向内装工业化应用场景，针对设计与加工阶段深化设计时间耗费长、模型数据与加工生产割裂、工业化成果推广应用迭代效率低的问题，对装饰设计自动深化、设计与加工数模联通、工业化成果转化进行研究，旨在形成基于内装工业化应用场景的工业设计及数联加工技术体系，依托重大项目加快工业智造成果转化，为推动建筑装饰行业智能化和工业化技术发展应用提供保障。

（1）推动装饰深化设计向自动化设计转型

基于 BIM 技术、大数据、人工智能（AI）等信息技术应用，引领建筑装饰设计方式的转型升级，结合先进的智能化算法理论体系，集成流程、数据、技术和管理系统，打通投标配合、深化设计、产品加工、量价统计、竣工验收等全生命周期，旨在实现设计过程的全要素、全参与方的数字化、智能化。

（2）推动装饰部品加工向智能化加工转型

基于设计与加工端数据模型传输问题，旨在实现智能化数联加工模式，串联前端场景设计、部品部件设计、产品精益制造等核心环节，实现工程建设高效益、高质量、低

消耗、低排放的建筑工业化，提升建造水平和终端产品品质。

（3）推动装饰工业智造技术项目应用成果转化

针对工业化成果推广应用难等问题，加速推动新技术在设计建造过程中的全方位应用，整合装饰工程全产业链、价值链和创新链，建立高效益、高质量的装饰工业化技术体系。通过实现工业智造成果转化、标准体系建设及知识产权创新，实现行业智能化和工业化技术发展应用。

2.2 技术路线

将建筑装饰产业的生产和制造快速向工业化制造借鉴和学习，通过开发智能化建筑装饰设计软件，联通设计端和建造端的数据。通过数字化和工业化的发展与融合来统一管控标准，打通各种数据互联互通接口，对获取的基础数据进行大数据分析和利用，从而优化流程、提高效率。

（1）装饰设计自动深化软件研发：针对解决深化设计时间耗费长，重复劳动多，容错率不可控等问题，通过自动化编译设计技术，实现装饰设计自动深化软件研发。形成基于 python 编程语言的全装配式龙骨隔墙自动建模软件、自动建模软件的工艺构造优化、自动建模软件的正向出图与工程量统计等路径，达到智能化软件开发，建立工业化、信息化、产业化发展模式，提高设计、生产工作效率、提升产品质量、降低生产成本的效果。

（2）BIM 模型与加工端的数模联通技术方面：针对模型数据与加工生产割裂，无法覆盖数据的全生命周期运用等问题，通过智能化数联加工技术，实现工业智造加工软件及设备研究、BIM 模型数据与加工端数据类别分析以及 BIM 模型与加工数据的交互可读性研究，达到协提高设计模型转换为加工产品的效率，实现数字化工业化的融合交互的效果。

（3）工业设计及数联加工技术项目示范应用：针对工业化成果学习成本高、成果推广应用难等问题，通过项目投标配合阶段、浦东机场 T3 航站楼样板段、西安咸阳机场大裂口钢架数字化加工、成都科幻馆大眼皮数字化加工等重大工程项目的落地应用，实

现工业智造成果转化、标准体系建设及知识产权创新。为推动行业智能化和工业化技术发展应用提供保障。



图 2-1 内装工业化应用场景的工业设计及数联加工

3. 研究成果与实施效果

3.1 异型钢结构的高精度装配加工方法

通过构建钢结构模型，并导出零件加工图纸及零件安装图纸，对每个构件输出带编号的.step工业格式模型，模型对接导入数控激光切割设备，机器自动识别构件特征，自动生成切割路径及特征标记，按照模型设计的角度进行精准下料和坡口切割，激光雕刻构件编号及定位标记，辅助现场精准定位和有序组装。相对传统方式，效率更高，且准确性更好，在加工时能够很好的避免无法拼装的问题，极大的提升了整体的施工效率。

3.2 研究基于图像识别的基层龙骨施工排布缺陷视觉检测软件

室内隔墙龙骨的排布存在大量重复劳动，通过图像识别算法的介入，对基层龙骨排布方式、排布合理性、管线避让、洞口避让、结构避让等问题进行自动视觉识别以及缺陷检测。借助自主研发的智能三维深化设计模块生成结果，技术路线采用深度学习、图像识别和多尺度处理等先进技术，确保了自动化排布的准确性。以人工标记训练的方式，

4. BIM 技术应用效益与测算方法

在传统建筑生产向自动化建筑生产转化的过程中，通过打通设计端数据与加工端数据的流程，实现高效的人机协作的方式，提高建筑行业生产力的同时，改善建筑工人的作业环境。此外，工业化智造软件平台的建设使得生产效率带来提高，并增加从业者的积极性和人均产值，引入更多非传统建筑行业的高端制造业从业人员，从而提高整体工人的薪资水平。通过本研究，提升集团数字化建造技术的应用深度，打造出品质更好的装饰作品和人居环境。同时，无论是公共建筑或者商业建筑等高附加值的装饰建筑产品，基于数字化平台技术的快速加工、协同生产、精细建造的能力，提供满足需求的人性化的建筑空间载体；最后，基于中国强大的生产制造能力持续打造高品质的内装工程，增进装饰行业的高质量发展。

5. BIM 技术应用推广与思考

现阶段，数字化和工业化实现了创新发展与融合。今后一个时段，建筑产业链上的设计、建造、设备、制造、采购、运维、更新等每个环节，将在数字化、工业化、智能化、智慧化、绿色化的赋能下获得革命性能量。应用数字化手段对产品拼装、组装技术研发、工业化生产制造技术应用、模数化、标准化设计方面具有优势。通过数字化和工业化的发展与融合来统一管控标准，打通各种数据互联互通接口，对获取的基础数据进行大数据分析和利用，从而优化流程、提高效率。随着内装工业化的快速发展，数字加工和智能装备技术在内装工业中的应用将成为未来的发展趋势。通过本文对数字加工和智能装备关键技术的研究与示范，我们可以看到这些技术在提高内装工业生产效率、质量和安全性方面的巨大潜力。在未来，我们可以预见以下几个方面的发展和趋势：

(1) 数字加工技术将继续向着高效、精密、柔性和智能化方向发展。随着数字化技术的不断进步，数字加工技术将更加智能化和自动化，能够更好地适应内装工业的生产

需求。同时，数字加工技术将更加注重生产过程的数据化和信息化，实现生产过程的实时监控和智能调控，从而提高生产效率和质量。

(2) AI 智能设计技术与数字加工技术的集成应用将成为内装工业的发展趋势。满足内装工业的生产需求，实现生产过程的高效、精密、柔性和智能化。同时，更好地实现内装工业生产过程的数据化和信息化，为内装工业的智能化生产提供更好的技术支持。

(3) 智能装备将成为内装工业的重要发展方向。随着人工智能、物联网、大数据等技术的不断发展，智能装备将在内装工业中发挥越来越重要的作用。智能装备将能够更好地适应内装工业的生产需求，实现生产过程的智能化和自动化，从而提高生产效率和质量。同时，智能装备将能够更好地应对内装工业生产中的复杂环境和多变需求，实现生产过程的柔性化和个性化。

AI 智能设计技术与数字加工技术将成为内装工业的重要发展方向，将为内装工业的生产提供更多的可能性和机遇。同时，也将带来新的挑战，需要不断提高自身的技术水平和管理水平，不断适应新的技术和市场变化。上海建工装饰集团也将依托数字建造中心及工业智造中心两大抓手，打造具有数字化设计、建造及管理能力的 4 大使用场景，通过理念思维、工程技术、生产方式、管理模式、数据共享及产业协同 6 项能力升级，持续打造具有支持价值开放共创的生态级新型能力，推进行业数字转型价值效益。

十四、业主牵头的设计施工监理一体化数字建设管理模式

——浦东机场 T3 航站楼地下工程建设管理研究与实践

1. 项目概况

浦东机场四期工程是上海国际航空枢纽建设的关键性工程，也是本市“十四五”规划纲要明确实施的重大工程，对推动长三角高质量一体化发展和上海国际航运中心建设具有重要意义。

其中，于 2022-2025 年实施的南区地下交通枢纽及配套工程是浦东机场四期工程航站区工程的地下部分，将成为实现多条轨道交通换乘的重要载体。该工程将有利于提升浦东国际机场辐射范围，完善机场综合交通配套设施，加强各重点区域互通互联，满足快速客流的高质量出行需求。

◆浦东机场定位

世界级航空枢纽

◆旅客吞吐量

每年 5000 万人次

◆总建筑面积

221 万平方米

◆总体设计

航站楼、轨道交通枢纽、
停车设施及道路的综合体

◆建设地点

北至南垂滑最南侧滑行道 51m 处
西至现状飞翔路，东至第二跑道第
三平滑，南至现状围场河边线。

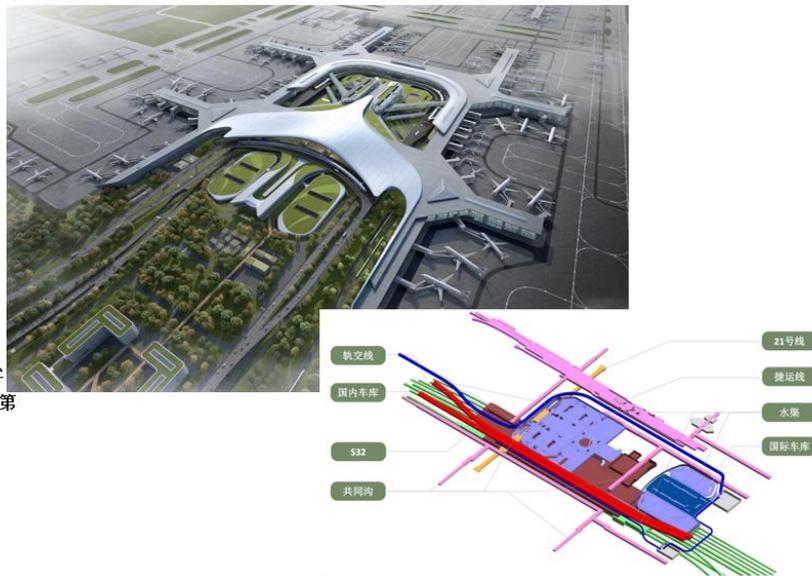


图 1-1 上海市浦东机场四期工程

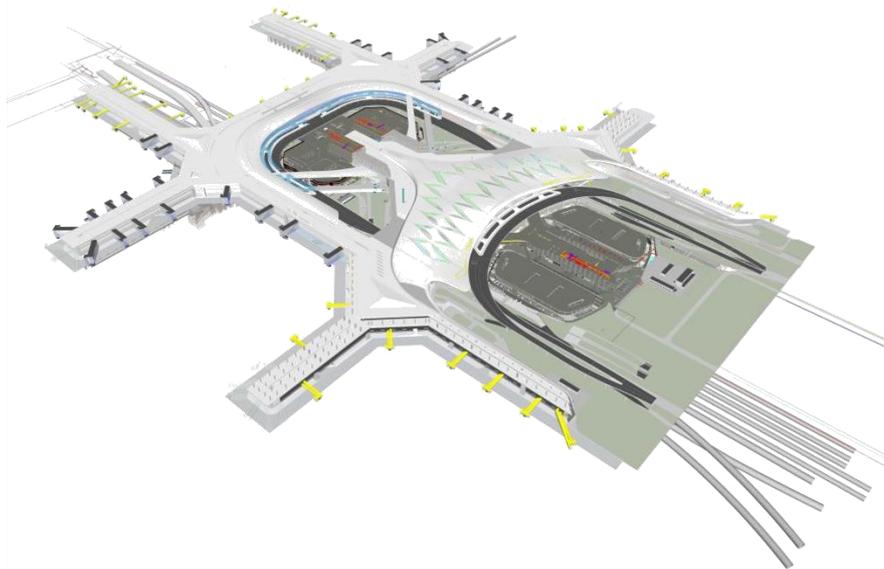


图 1-2 浦东机场 T3 航站楼地下工程 BIM 模型

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

目前行业 DBB 模式下 BIM 实施模式主要为“业主主导-咨询辅助-全员参与”的 BIM 实施模式，该模式下业主的参与程度较低，BIM 技术应用与管理水平取决于 BIM 咨询单位的能力，风险较高。因此本项目结合行业 BIM 技术应用现状与项目各参建单位数字化能力分析，创造性地提出适用于本项目的“业主牵头的设计施工监理一体化模式”，通过业主自身的统筹管控，将施工、监理、运营需求在设计阶段前置，提升施工、监理和运营单位在设计阶段数字化工作的参与程度，打通信息壁垒，实现多方联动，强化跨阶段数字化工作团队协作和信息共享，从而实现面向运维的全生命周期数字化交付。

“业主牵头的设计施工监理一体化模式”的内涵在于提前考虑运维阶段的管理需求，进行项目的设计和施工的数字化和集成化管理。其中，通过施工单位、监理单位在设计阶段 BIM 技术的前置应用，推动对传统 DBB 模式的应用和交付过程进行升级，实现设计、施工和运维跨阶段的数据传递；通过搭建建设单位、设计单位、施工单位和监理单位的数字化系统平台群，实现对散落在各单位手中的数据的串联和归集，形成面向业主的总和数据展示、态势感知和辅助决策。最终推动数字化交付，为本项目的运维奠定基础。



图 2-1 上海市浦东机场四期工程

2.2 组织建设

2.2.1 组织架构

建设方作为主导方，和设计、施工、监理数字化团队共同组成虚拟的数字化管理团队。该组织架构下，团队取长补短，在业主的统筹管理下，致力于共同的目标，并共同承担责任。同时区别于实施团队，管理团队主要实现业主、设计、施工、监理在设计、施工全过程中的高效决策和意见统一，从而实现对实施层指令的快速下发和高效执行。因此在“业主牵头的的设计施工监理一体化模式下”，业主将作为管理的核心，提升全生命周期各参与方之间的协同工作，促进数字化工作高效运行和项目增值。

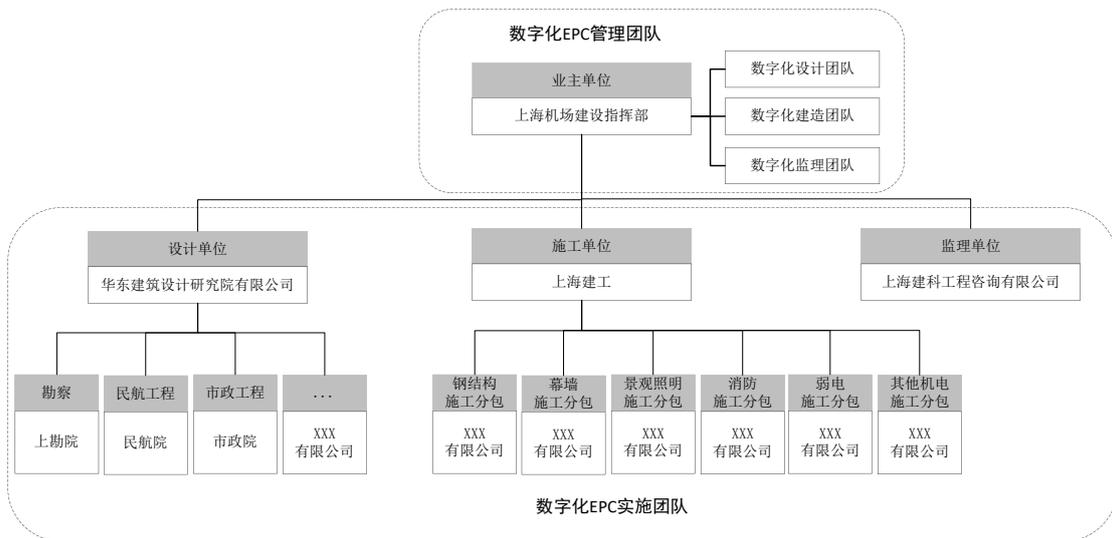


图 2-2 项目组织架构图

2.2.2 BIM 管理体系总体思路

“业主牵头的设计施工监理一体化模式”以一个模型和一套数据为目标，通过搭建“1+3+N”的平台群，实现勘察、设计、施工全过程的数字管理，最终实现数字档案交付。主要概括为三个关键词，分别为协同化、一体化和数字化。

- (1) 协同化：建设/设计/施工/监理协同化工作
- (2) 一体化：设计-施工跨阶段前置协同
- (3) 数字化：运用数字化平台工具



图 2-3 总体思路

2.2.3 BIM 应用环境

本项目充分发挥各参建方自身专业性平台的数字化基础，建立数据管理与工程管理相匹配的分层式平台群架构，建设“1”个业主管理平台、“3”个辅助管理平台及“N”个数据支持平台，编制“1+3+N”分层式平台群的协同管理模式和数据管理标准，同时完成相应网络基础设施配套建设。



图 2-4 平台群架构

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 勘察阶段

3.1.1 勘测水土风险一体化 BIM 模型分析

本项目勘察阶段涉及勘探孔数量众多、地下水位空间形态复杂、多时序地下管线组成繁多，传统二维分析手段难以全面掌握各赋存条件要素的空间变异情况，并为基坑群建设管控与影响分析提供支撑，亟需基于统一标准构建勘测水土风险一体化三维表达分析技术，通过充分、全面、可视化的表达方式提供勘测全要素数据一体化应用分析服务，为本项目设计、施工过程中风险分析防控奠定基础。

基于 BIM 技术的精细化大尺度三维地质建模方法，读取勘察成果数据，通过克里金法、距离倒数加权法和尖灭地层生成方法、轻量化地层模型整合技术、长短孔地质模型生成技术和 Revit 自适应模型技术，快速建立在建工程场地三维几何模型。同时通过模型完整读取地层参数、地质风险信息，形成标准化的地质信息模型。

平台采用B/S、M/S混合架构开发：B/S系统通过后端部署三维引擎，通过高性能弹性计算云服务，实现大规模数字模型的轻量化表达

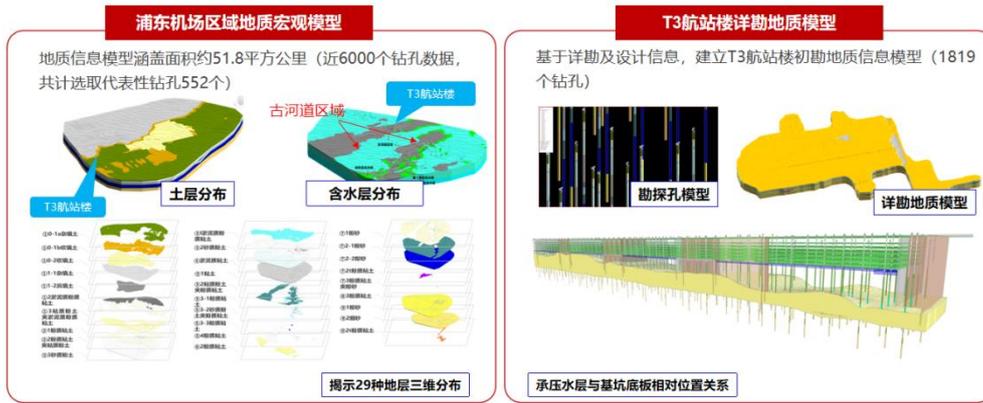


图 3-1 自主研发地质建模

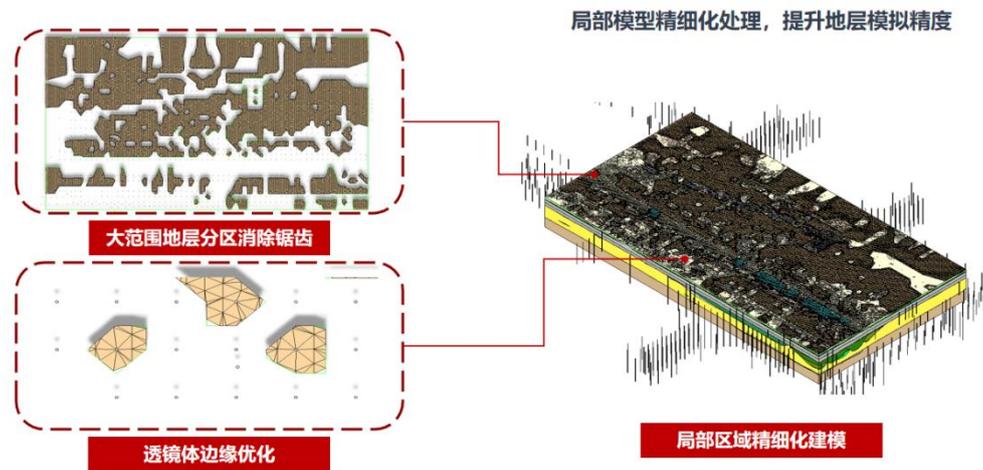


图 3-2 地质模型精细化



图 3-3 基于 BIM 的勘察数据监测

初步开发基于bim的桩基计算模块，对桩基工程进行风险信息提示及风险应对策略

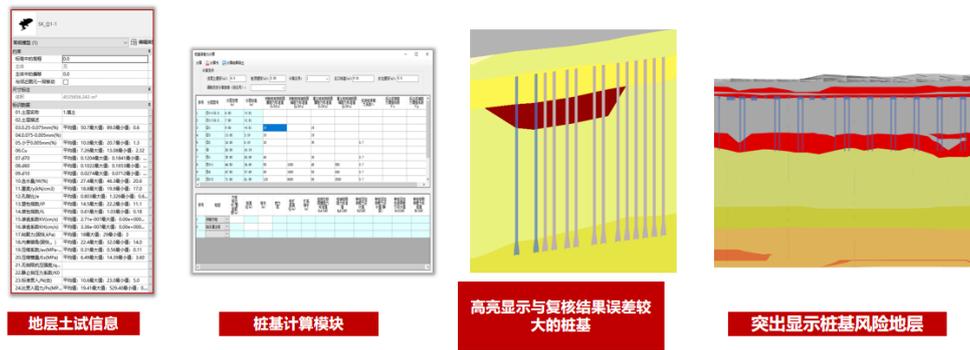


图 3-4 基于 BIM 的风险预测

针对各类地下管线附属物，如窨井、消防栓、路灯等，建立参数化构件族，内置于建模模板中。按照管线与其附属物的实际连接关系，实现管线与附属物间的精细化连接建模。在工程施工迁改施工过程中，将根据施工迁改信息，及时对现状管线进行数据及模型的更新。

开发建立基于 GIS+BIM 的勘测数字化平台，实现勘察阶段全过程信息数字化存储与入库。通过勘测信息的集成表达与全寿命周期数据共享，推动数字资产管理体系运作，为本工程设计、建设与后期运维提供基础数据源，支撑各类分析工作开展。

在勘测基础数据全面数字化表达的基础上，勘察数字平台提供基于数字地质模型的三维专业分析应用。平台将提供基于数位数字工程地质模型的地层、勘探孔、地层、地下水信息查询功能；并且，基于地质信息模型携带的属性数据，可提供勘探孔属性与分层信息查询、地层信息与钻孔分层信息查询功能，为施工阶段深基坑开挖联动分析提供三维数字地质要素数据源。

对水文勘察工作全过程信息进行数字化集成，涵盖水文井点信息、水文试验信息、环境变形信息等要素，集成水位、流量传感器实时监测数据，实现水文勘察全过程数字化应用。通过 BIM 技术应用实现水文信息的全面三维数字化表达，为设计、施工阶段深基坑风险分析与管控提供三维数字水文勘察要素数据源。

通过对勘察阶段管线物探成果与既有管线档案及新建管线设计成果数据的数字化表达与集成，实现工程地下管网的全面数字化管理，确保地下管线模型能准确表达，支撑地下管网信息统计分析，并为本工程设计、建设与后期运维提供管线信息基础数据源。

3.2 设计阶段

3.2.1 BIM 驱动超大项目设计协同

拟解决问题：由于机场项目的参与方众多、项目信息数据量巨大、项目设计技术要求高、项目沟通途径多样、项目信息无法实时共享等现状，造成了项目设计效率低下、项目多次修改等问题，设计成本在上升、项目效益在下降。在此背景下需要通过新的信息技术来解决项目中的一系列问题，利用 BIM 技术开展数据共享和协同设计，把项目的设计过程和项目管理结合起来，通过各专业设计人员的协同设计、项目管理人员的文档管理、以及与项目外部协作方的项目文档共享，建立集成设计和协同工作的信息系统来提高机场项目的设计质量和效率。

BIM 应用：针对协同设计中面临的设计软件兼容性、流程可靠性、数据安全性、平台接口开放性问题，搭建基于 BIM 协同模式的数字设计管理平台，采用项目级的管理实现项目角色权限及协同设计过程中的文档受控管理；采用文件与流程状态挂接，灵活设定流程及审核人，实现设计文件在线协同校审并留存校审过程意见，提高协同设计过程效率，缩短设计周期。

通过集中办公，提高沟通效率，确保模型准确度，缩短更新周期，逐步实现BIM工作与设计同步

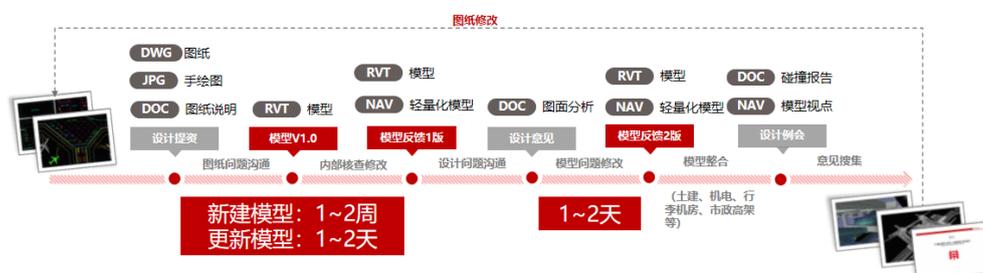


图 3-5 设计+BIM 同步设计模式



图 3-6 BIM 模型的设计应用

设计方案优化问题，将方案变动优先在模型上反映，保证方案的合理性和可行性

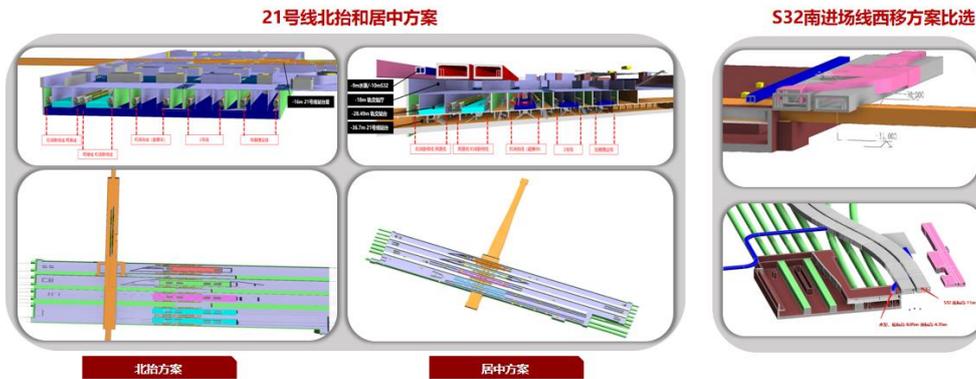


图 3-7 设计方案比选

根据与各家单位商议的**区域-序列号-是否有承台**编号规则，制定**统一编码规则**
设计团队通过**自动编码工具**按照将编号录入模型，便于后续施工阶段桩基管理及应用

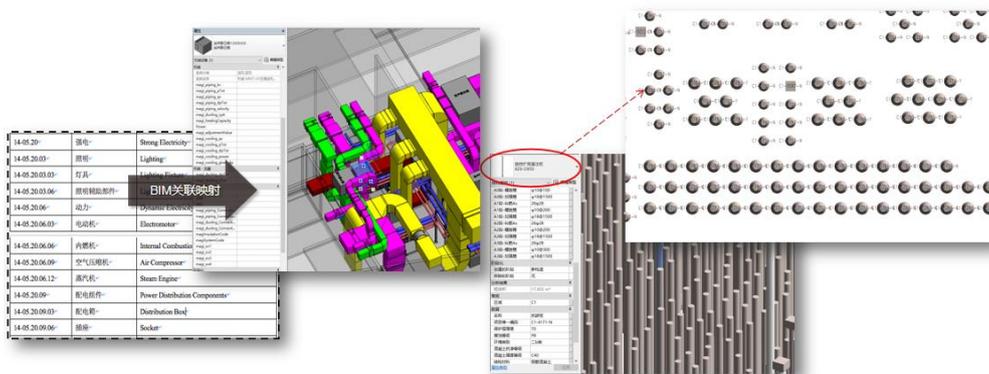


图 3-8 设计阶段编码录入

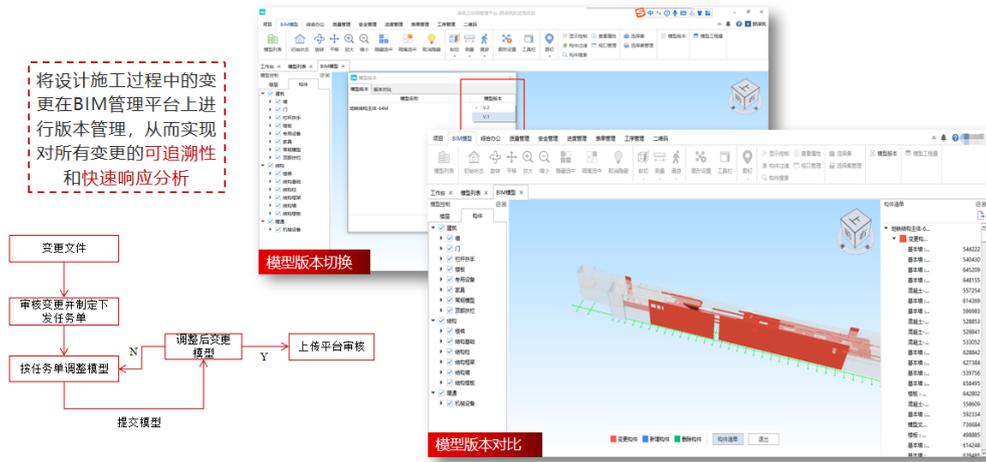


图 3-9 基于 BIM 的设计变更管理



图 3-10 基于 BIM 的钢筋工程量统计

3.2.2 数字化管线综合

拟解决问题: 由于传统设计方式的不可预见性, 导致设计经常发生错漏碰缺等问题, 而 BIM 技术自身具有多元性、可视化性等特点, 能如实反映设计图纸存在的问题, 再结合可视化的展示方式, 可在设计阶段对设计方案、设计思路进行三维模拟, 避免方案深化后可能出现的布局不合理、设计遗漏等方面的种种问题, 提高图纸质量。

BIM 应用: 基于 BIM 设计综合是设计阶段一个重要的应用内容, 它的实施对于提高设计质量有很大的促进作用。设计综合主要包括四部分内容, 分别为图面分析, 碰撞检测, 设计综合以及净空分析。图面分析和碰撞检测这两项工作都是完成设计综合的必要前提条件。而净空分析则是设计综合这项工作完成之后价值的自然延伸, 是对设计成果的综合体现。对于协助建设方做好项

目的空间管控具有积极的意义。

碰撞检测是指借助 BIM 的信息模型，实施碰撞检查，导出各种碰撞点，运用可视化手段检查碰撞现象，协助处理各专业间的设计问题。和 BIM 审图一样，碰撞检查也是进行管线综合之前必须完成的一项工作，它的目的是使用 BIM 软件使各类建筑对象在空间布置上的所有冲突以三维可视化的形式一一暴露出来。碰撞检测的结果能在一定程度上反映出设计图纸的质量。它能帮助建设管理方对设计质量进行有效的管控。

BIM 设计综合是借助 BIM 技术对设计施工图纸进行各专业管线综合布线方案的优化，优化后的管线排布、走向符合原始设计意图，满足设计功能及技术要求，同时，使各专业管线的空间排布更加合理；空间利用更加充分、合理；各专业管线之间重要的冲突得以消除。因为 BIM 管线综合能实现以上几点目标，所有能有效的防止施工阶段机电各专业因无序施工导致的返工、停工以及由此而产生的工程造价的增加等情况的发生。同时也能够减少建设管理方在施工阶段为解决上述问题而投入的时间和精力。

净高分析报告是在管线综合优化完成之后，基于优化之后的 BIM 模型对公共区域的空间净高进行核查，将不满足控制净高要求的区域标示出来，并说明导致净高无法满足要求的原因，以便对这些区域采取必要的措施。同时，对公共区域内各区块可实现净高进行标注。

3.2.3 BIM+装配式设计

拟解决问题：结合国家及地方对新建建筑装配式要求，对南下地下工程设计中对楼梯区域（约 196 处）进行装配式楼梯设计。装配式混凝土建筑中，装配式楼梯是最能体现出预制混凝土优势的部品部件，具有施工速度快、操作便捷、成本降低且外观质量高等特点，最能满足绿色建筑要求的提高效率、提高质量、减少成本、减少能耗的要求。

BIM 应用：在设计过程中利用 BIM 参数化建模方法创建 PC 构件族，以其独特的可视化、可模拟化特点对装配式楼梯进行模拟拼装，小到一个螺丝、大到一个构件都可以进行模拟，并提前发现设计问题，后期指导施工现场安装施工，为现场施工节省了大量的时间，避免因设计问题进行施工返工，提升了效率，保障了整体施工质量。

在预制楼梯设计区域，可以对预制楼梯的楼梯间宽度、投影长度、踏步高度、踏步宽度等参

数进行修改，也可以对预制楼梯的钢筋间距进行调整。此外，在预制楼梯设计区域内，提供两种视图：平面图和剖面图，同时辅以尺寸标注，以满足预制楼梯钢筋深化排布的需求。预制楼梯除需要设计配筋图之外，还需要设计楼梯模板图，楼梯模板图以建筑专业的的基本构件为基础，将给排水、电气等专业的预留洞口集成至图中，一张完整的楼梯模板图应包括正视图、剖面图、仰视图等，从而完整地表示预制楼梯的外形尺寸和预留洞口尺寸。

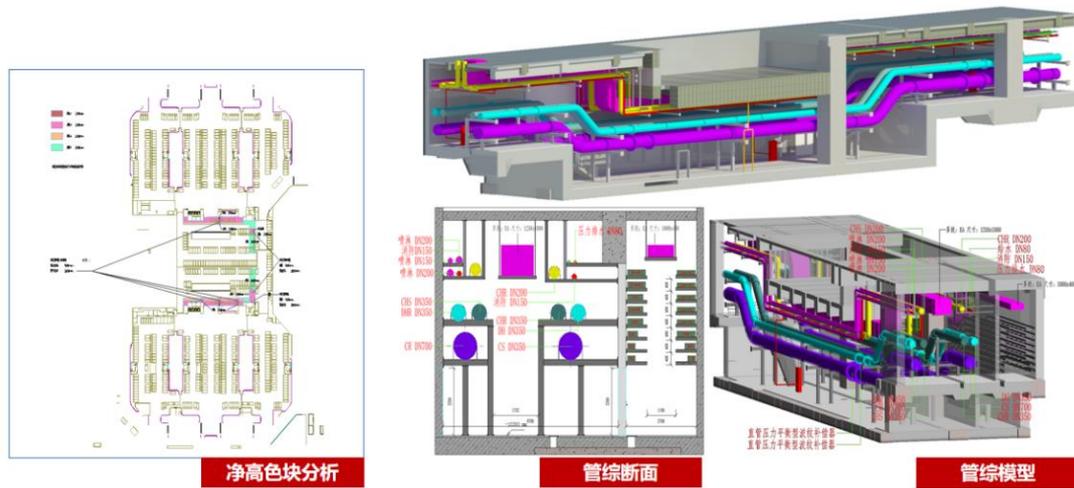


图 3-11 BIM 管线综合

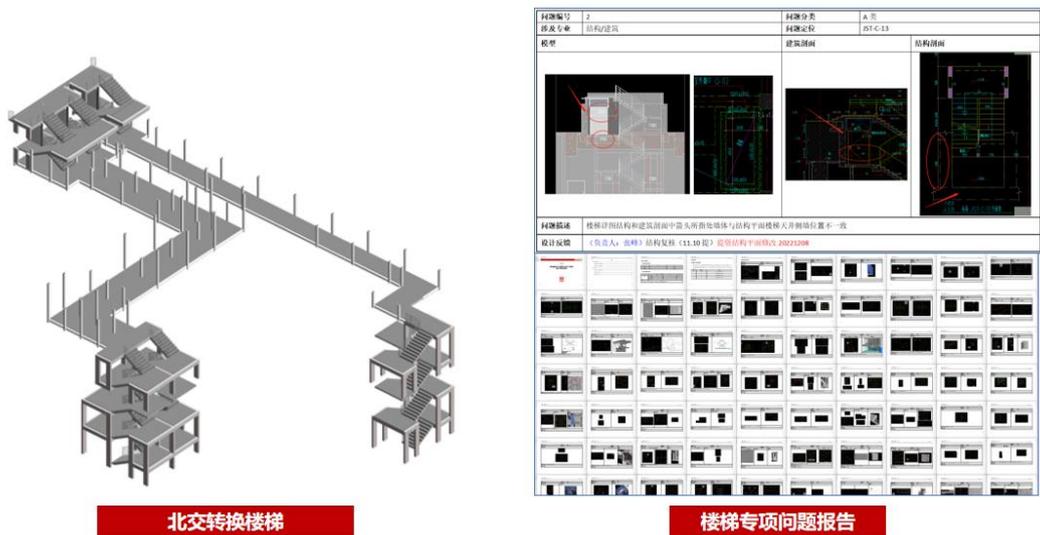


图 3-12 基于 BIM 的楼梯专项设计

3.3 施工阶段

3.3.1 BIM 驱动混凝土物料数字化管理

拟解决问题：混凝土物料管理的流程一般如下：由项目材料员通过微信报下日计划给搅拌站，拌站在其平台下料后待次日现场施工员电话通知发料，泵车经生产、运输、进场后由现场施工员签收纸质小票并完成混凝土浇筑。此种混凝土物料管理模式存在很多缺陷，如：一、在报料及下料时，各方均存在砼品种、方量等信息填错的隐患。同时，当混凝土部位较多时，易出现漏报或重复报的现象。二、从通知发料到泵车进场阶段，电话发料的方式易沟通不清，可能会引起调度纠纷。同时，现有的管理模式造成现场施工员无法实时知晓混凝土的生产状态、运输状态、泵车的车牌及司机信息等，形成信息孤岛。三、在小票签收阶段，纸质小票经常发生丢失的情况，且后续各方以各自手中的纸质小票作为结算依据，相对独立。四、对于施工总包单位，传统的混凝土物料管理流程，各阶段各方数据存于各处，难以汇总整理，造成对混凝土的浇筑不能形成质量管理的闭环、对结构施工质量不能形成快速追溯，同时管理成本巨大。

BIM 应用：针对混凝土物料管理中的痛点以及各方管理需求，本研究基于信息化管理平台，开发一套适用于桩基工程阶段的混凝土全过程信息化管理系统，包括基于 BIM 模型自动创建桩基台账、线上下料发料、扫码签收/转料/退车混凝土、后台数据多维度统计等。

3.3.2 BIM 驱动施工工序数字化管理

拟解决问题：对于超大型航站楼项目的建设，数万根桩基数量的施工面临着施工流程复杂、工序繁多、工期长的特点，意味着施工过程中会出现大量需记录的数据、对人机料法环的管理更加苛刻，以及处理不当会出现各种安全质量问题。因此，需要通过信息化的手段确保桩基施工中每道工序都标准合规、施工数据能及时完整的保存归档、来提高桩基施工的质量管理水平和信息化管理水平，减少后续因质量问题产生的工期延误，同时方便生成竣工资料以及提高桩基进度的三维可视化程度。

BIM 应用：本项目在工程策划阶段，通过与现场技术部门、质量部门、材料部门等各方进行讨论，结合项目的分部分项管理单据，将整个桩基施工流程固化为工序和数字表格的形式，按照

工艺节点拆分阶段，再在每个阶段中明确工艺步骤，确认所有相关方职责及填写数据，最终汇总成施工管理记录表，记录下施工过程的所有数据。

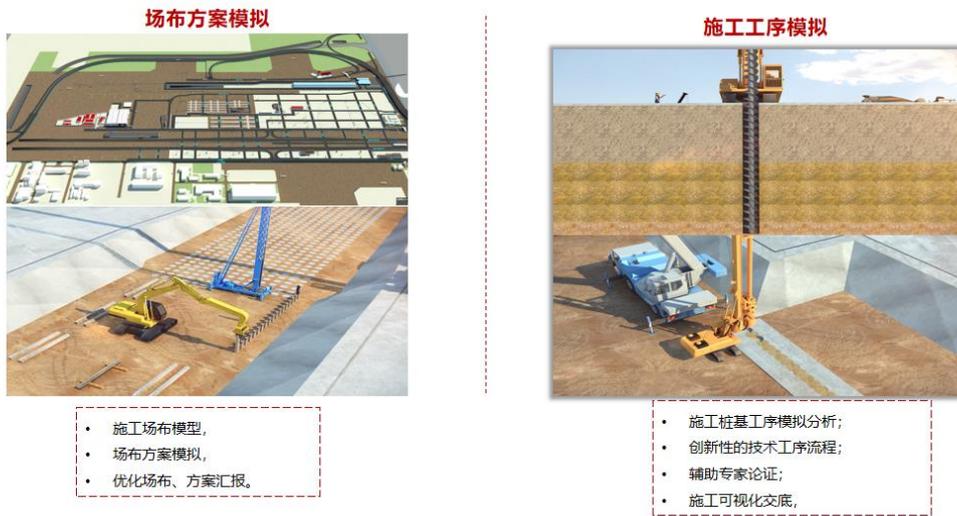


图 3-13 基于 BIM 的方案及工序模拟

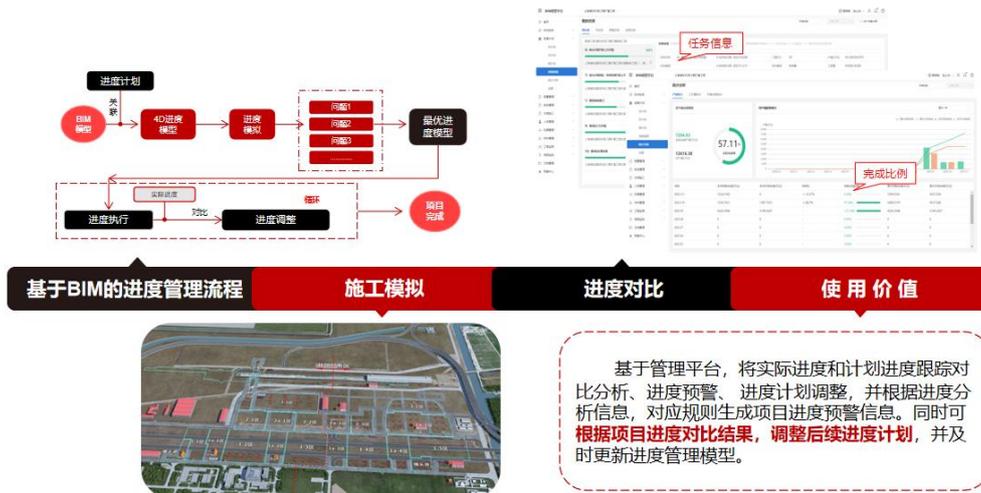


图 3-14 基于 BIM 的进度管理

通过移动端将采集的质量、安全问题上传至云端，与相关责任人数据共享，第一时间保障项目安全施工。



图 3-15 基于 BIM 的质安管理



图 3-16 BIM+智慧工地



图 3-17 基于 BIM 的设备监测

3.3.3 关联 BIM 模型的施工过程质量监督

拟解决问题：建筑工程在施工过程中工序复杂、参数要求多，以钻孔灌注桩为例，就分为 8 个工序，24 个管控参数，一线监理人员难以全面掌握所有工艺和参数要求，在施工时也不方便随身携带大量资料查询规范标准及设计要求和记录施工过程，从而监督施工单位按照要求施工。

BIM 应用：因此将 BIM 模型携带的设计参数同监管任务一起派发给一线监理人员，明确各个阶段的施工内容、管控要点及参数要求，可为通过数字化工具实时管控施工过程和记录工程质量管控数据提供高效工具，在保证施工质量有效管控的前提下节省大量人工，并把质量管控数据集集成到 BIM 模型，为竣工交付和后续运维提供模型支撑。

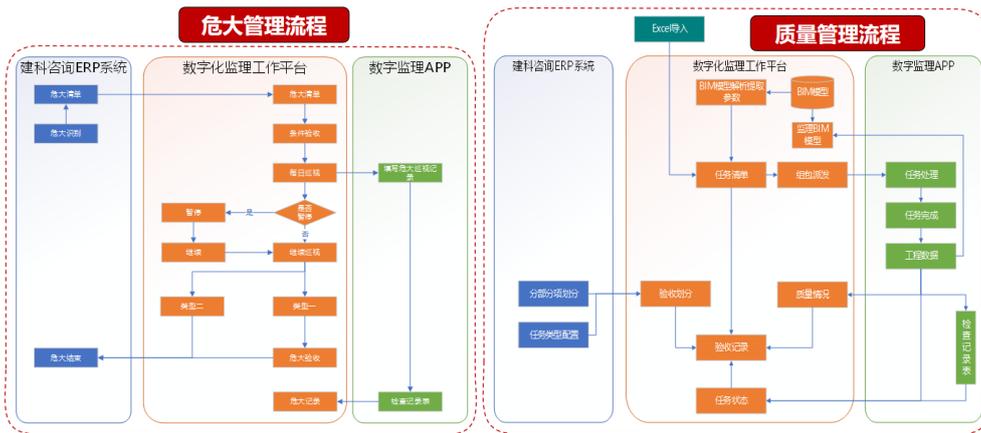


图 3-18 基于 BIM 的危大及质量管理



图 3-19 基于 BIM 的质量管控

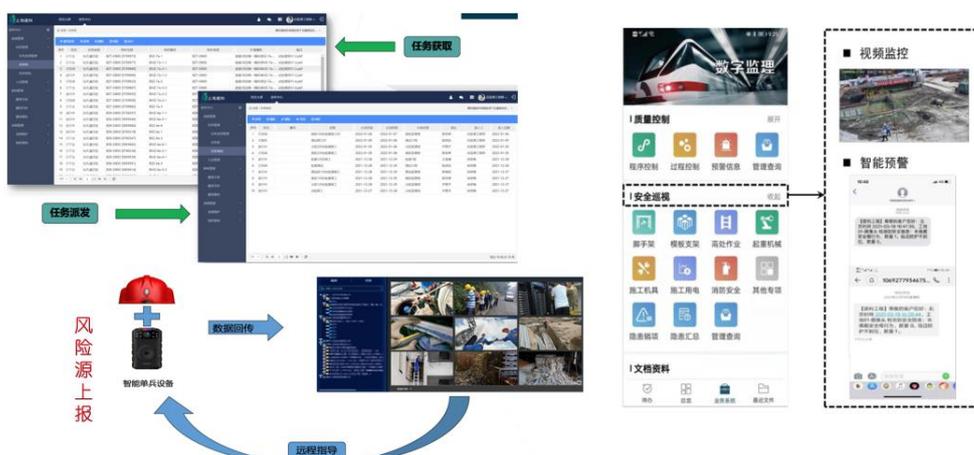


图 3-20 基于 BIM 的安全管控

4. BIM 技术应用效益与测算方法

在勘察、设计与施工阶段，通过 BIM 应用与智慧工地对整个项目建设链条的数据进行联通，实现以 BIM 数据驱动项目管理。

(1) 数字勘测方面：通过构建浦东机场地下空间数字模型，为机场构建全生命周期数字化管控平台奠定基础；基于地下空间数字模型，构建浦东机场地下工程数字管控系统，能够全面提升机场项目数字化管理能力，降低工程风险。

(2) 数字设计方面：运用 BIM 可视化功能，在方案汇报会、专业协同会、专题会、BIM 例会等多个场景下，辅助设计进行各类汇报 60 余次，快速、有针对性的解决各专业之间的问题，加快各类方案决策，提高整个设计工作效率约 20%。在模型创建及管线综合的过程中，梳理图面问题、各专业碰撞问题、净空问题，共计约 500 个问题，有效的配合设计过程中规避各类重大碰撞及净空不足问题，减少大量后期因图纸质量问题的变更。

(3) 数字建造方面：1) 人员管理方面，通过在现场各门头安装实名制通道，并联动防疫数据，有效解决了现场人员管理混乱、防疫管理滞后的问题。同时，通过帽贴管理，形成了对现场人员的精准化网格化管理。减少了人员管理成本 200 万元。2) 机械管理方面，通过在现场各级配电箱上张贴二维码，并将进场验收到日常巡检到季度检查等流程电子化，电箱巡检率提升了 30%，各级电箱的损坏率降低了 20%。减少了电箱管理成本 80 万元。3) 物料管理方面，通过将混凝土物料从下料、发料、签收等流程基于 BIM 模型全部线上化，达到了建设单位对物料的精准把控，物料实际用量与图纸用量的偏差小于 2%，物料进出的合格率达到 99.6%。节约了物料成本 60 万元。

(4) 施工工法方面，通过将桩基、围护工艺流程全部线上化，并与 BIM 模型挂接，形成一桩一档的数据库，提升现场质量管理精细度 15%。5) 环境监测方面，通过在场各工区安装扬尘监测设备，有效的规范了现场的文明施工，提高了现场环境 10%的合格率。

(5) 数字监理方面：减少工程质量安全现场管控记录及后台数据分析工作量 70%。

(6) 数字管理：基于 BIM 的数字化变更管理方面，通过搭建浦东机场数字变更模型及数字变更编码，为机场构建数字化管控平台奠定基础；基于数字变更模型，编制浦东机场地下工程数

字变更管理办法，降低变更方案沟通成本 35%，减少变更审核时间 25%。基于 BIM 的验工计价管理方面，通过 BIM 模型与合同清单编码、进度计划编码的融合，制定验工计价的数字化流程，优化传统验工计价的两个节点流程，提升验工及计价工作效率 55%，减少纸质材料成本 70%。

5. BIM 技术应用推广与思考

5.1 面向 BIM 的空铁联运交通枢纽应急仿真模拟

1. 顶层设计，统筹布局：利用 BIM 模型与数据，考虑应急管理相关要求，包括应急电源、应急照明等系统的设计，从前期策划提前统筹考虑空间、布局、功能要求。
2. 智慧运维，赋能管理：利用 BIM、物联网等新技术手段，开发空铁联运交通枢纽智能应急系统，形成安全、有效的应急决策预案。
3. 加强联动，共享资源：共享 BIM 信息，提升管理效力，实现统一调用、统一发布、统一监控、统一管理，进而做到“信息分享、互联互通、协同管控”。

5.2 特大枢纽型机场地下工程“BIM+装配式”应用

为实现超大、超深基坑统筹分批施工管理，将基坑的时空效应风险降至最低，下一步推广地下工程预制拼装施工，实现绿色高效地下工程建设，可以进一步提高工程实施效率，同时降低 BIM 在一线管理落地的难度。通过“BIM+装配式”实现工程建设向工业化生产发展。

十五、基于高精度点云的智能装饰出图下单应用创新

1. 项目概况

随着科技进步和行业需求的增长,建筑装饰领域的全面数字化转型已成为推动行业发展的关键力量。传统的测绘与放线流程依赖人工手测来形成二维图纸,放线速度慢且点位精度较低;传统的 BIM 模型建立方式需要建模人员手动搭建,建模效率低下且面对异形结构建模能力差;传统的排版下单流程基于 CAD 手工排料,下单方案不易修改与调整。

为此,我们公司研发了基于高精度点云数据的智能装饰出图下单技术,利用真实场景点云数据进行设计、分析、模拟与规划,通过 AI 算法提高逆向建模、出图下单的效率和精度,更高效地完成深化设计优化,并准确指导现场放线和施工定位,为提升装饰行业的数字化水平提供技术支持。



图 1-1 基于点云的智能出图全流程

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用策略

传统项目施工测量是利用传统工具例如卷尺、靠尺等进行数据测量,测绘速度慢。针对该痛点,使用搭载高精度点云采集装置进行点云采集,然后通过程序自动快速对齐点云与图纸,打破二维图纸和三维点云的隔阂,解决点云数据与现场测量控制网匹配对齐效率低的问题,让设计师

可以在虚拟空间中实测实量现实尺寸，确保深化设计成果能在现场准确落地。

传统施工模式中，多为设计人员驻场配合现场测绘人员校核实际情况，多次放样导致精度丢失，施工粗放。针对该痛点，使用高精度放样机器人采集点云，将数据导入误差自动分析程序后，即可实现点云和设计图纸自动对比，对墙体平整度进行分析，一键即可导出 Excel 表格。

原有旧模式中，对于细部放样通常采用人工手测或者设计师基于点云手动核对构件，测绘精度粗。针对该痛点，通过构建提取程序，自动从高精度激光扫描仪获取的点云文件中智能识别建筑构件边界，提高复核效率。

旧改项目的逆向建模需求旺盛，但是现场环境复杂，要还原实际构件情况需要漫长的手工建模过程，异形结构难处理，建模速度慢。针对该痛点，研发并使用自动建模程序，利用 AI 深度学习技术自动根据点云的结构化特征进行逆向建模，打破传统建模流程，用 AI 技术实现网架结构、柱墙、异形构件等自动快速建模。

对于大型项目，传统放样方式速度慢，精度低，工人技术水平要求高。针对该痛点，自动放线程序与高精度放线机器人相结合，可以通过事先编制的程序，优化激光指示打点定位的方法，确保在满足精度的情况下提高了效率。

传统项目施工通常采用 CAD 手工排料，虽有插件但难以提效，导致错下单造成材料浪费。针对该痛点，自动下单程序利用事先编制的程序使得构件的选取、出图和下单过程实现了高度的自动化。

2.2 应用流程

基于点云的智能出图全流程为：自动对齐程序→误差分析程序→构件提取程序→自动建模程序→自动放线程序→自动下料程序。

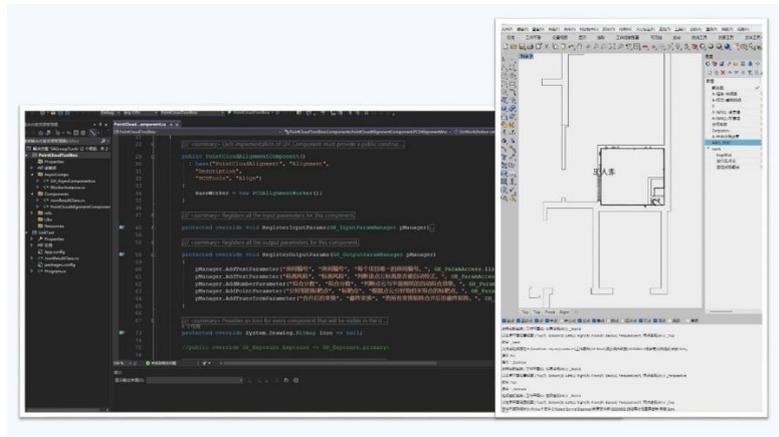


图 2-1 自动对齐程序

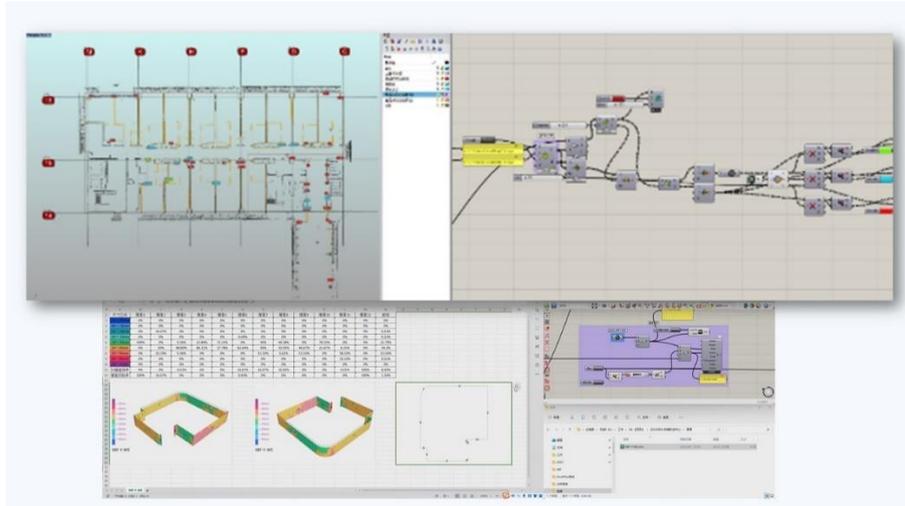


图 2-2 误差分析程序



图 2-3 构件提取程序

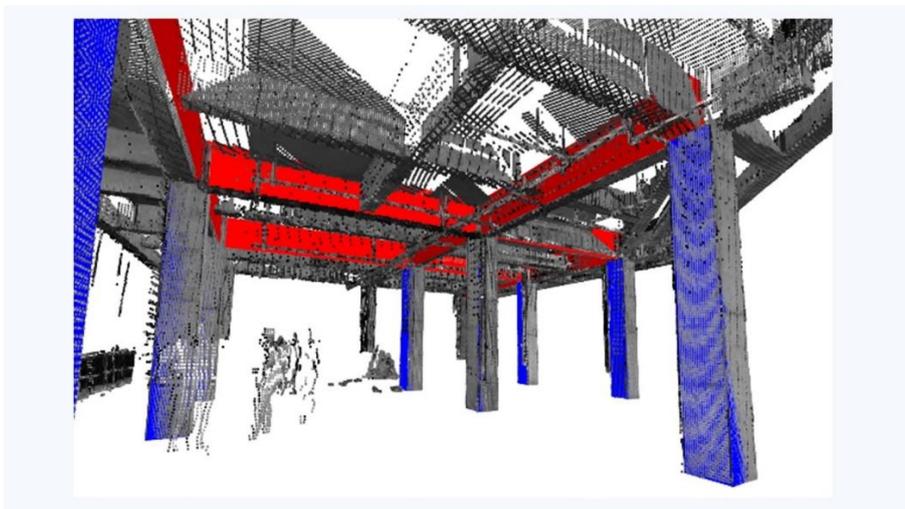


图 2-4 自动建模程序



图 2-5 自动放线程序

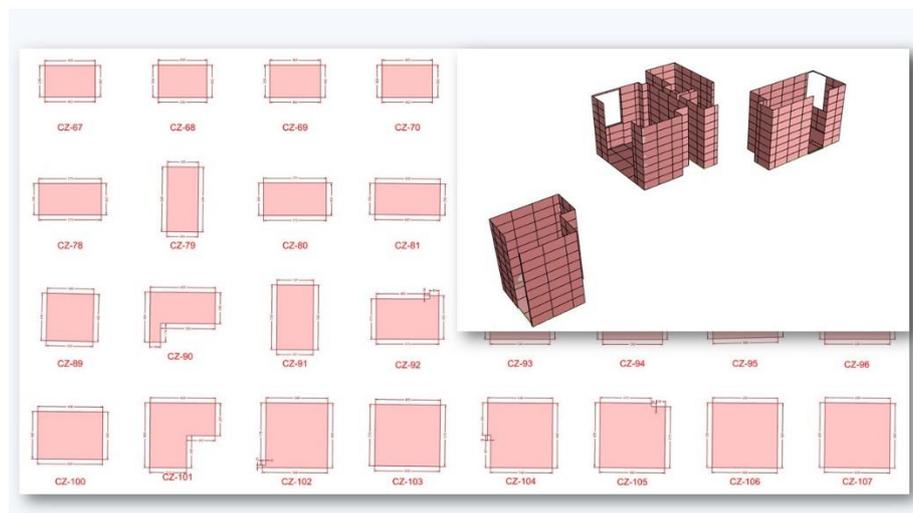


图 2-6 自动下料程序

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 自动对齐程序

采用三维扫描仪可以对现场物理信息进行快速获取，利用自研“自动对齐程序”可以将对应位置的点云与 CAD 图纸进行自动批量对齐，极大提高了深化设计前置工作的效率，为其奠定了可靠基础。

首先将点云文件与图纸信息按照固定标准进行命名和提取；然后将文件夹路径和土建墙面线输入本程序，程序会自动解析；点击开始按钮执行点云自动对齐，程序会根据房间 ID 自动将点云与图纸上对应的房间位置进行匹配和对齐，并输出对齐分数等信息；用户根据分数信息判断是否将结果批量导入 Rhino 或是重新计算；结果批量导入 Rhino 后用户可按需进行微调，并一键导出成果。相较于传统手工对齐作业，本程序提高效率 30 倍左右，节约人力成本

95%左右。

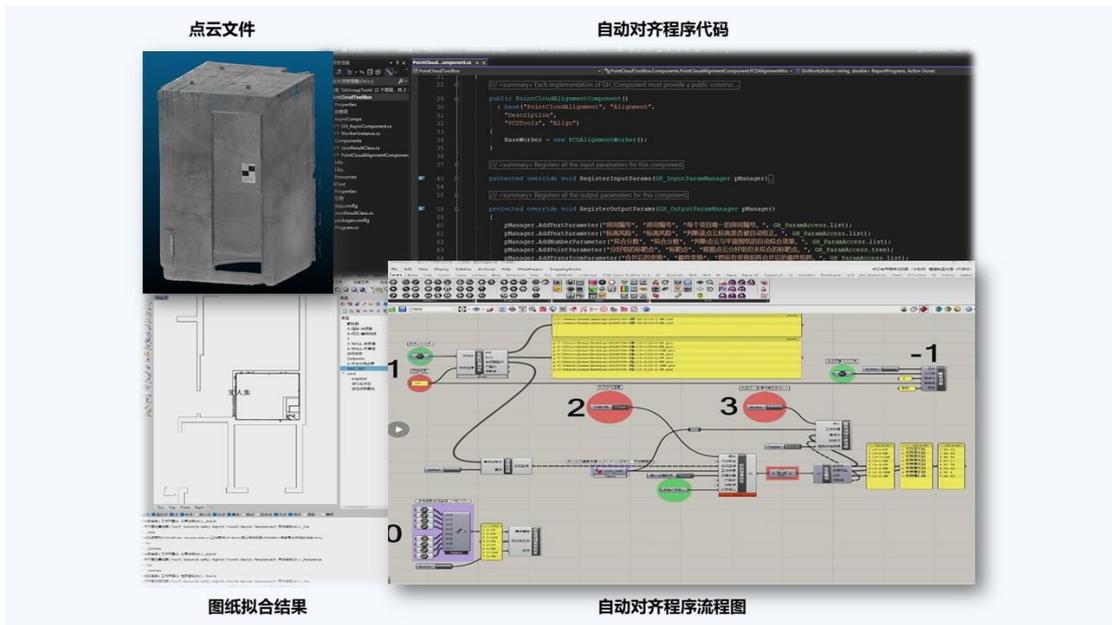


图 3-1 自动对齐程序

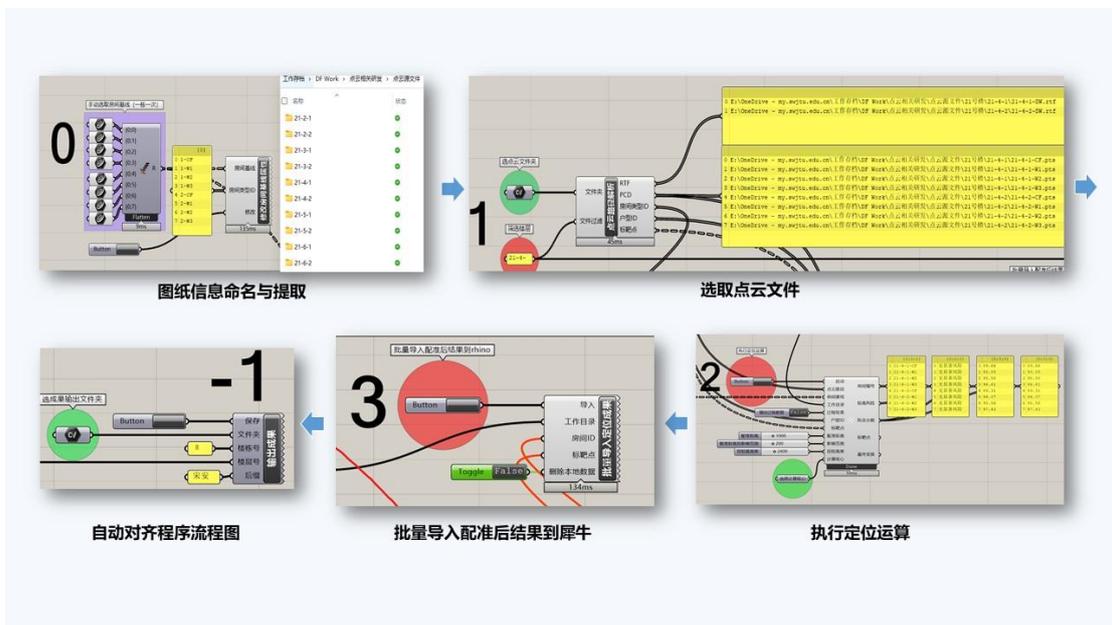


图 3-2 自动对齐程序

3.2 误差分析程序

在点云与图纸对齐后，采用自研误差分析程序，可以将原始土建的偏离情况、装饰完成面安装风险等信息自动分析，并一键导出可视化报告，方便相关人员决策，为后续流程的可靠执行或自动化操作奠定基础。

我们提供了多种误差分析模式，包括土建施工准确率分析、装饰完成面安装风险分析等。

在前述点云与图纸自动对齐的情况下，输入待分析模型或 CAD 曲线以及对应的点云数据，再输入所需安装空间，可一键进行风险分析，按类别自动导出报表。相较于传统人工检查模式，本程序提高效率 10 倍左右，节约成本 50%左右。

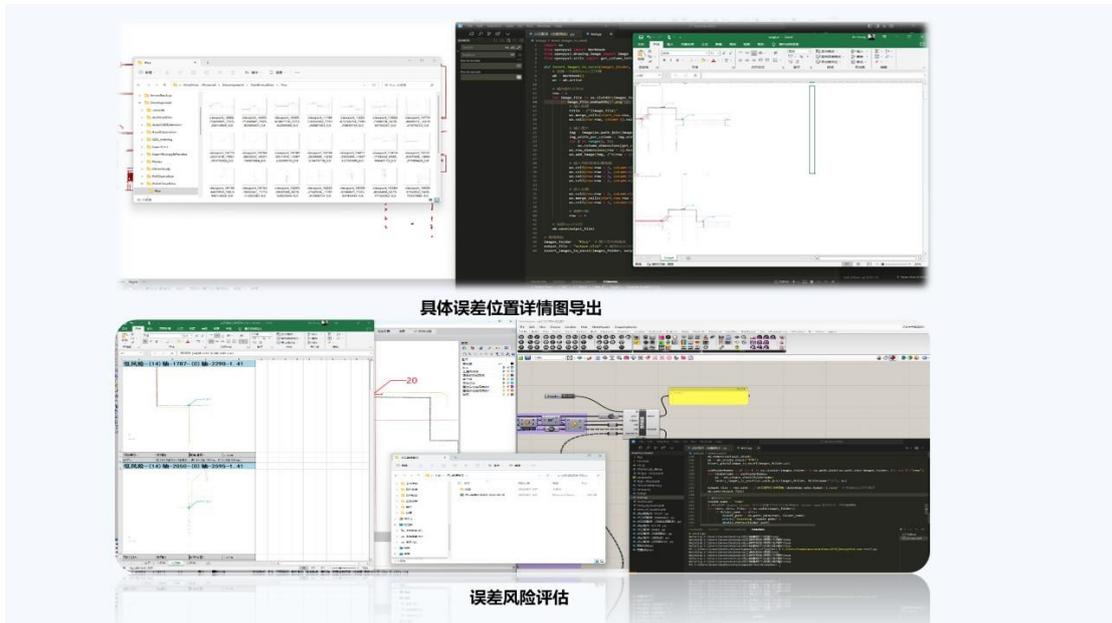


图 3-3 误差分析程序

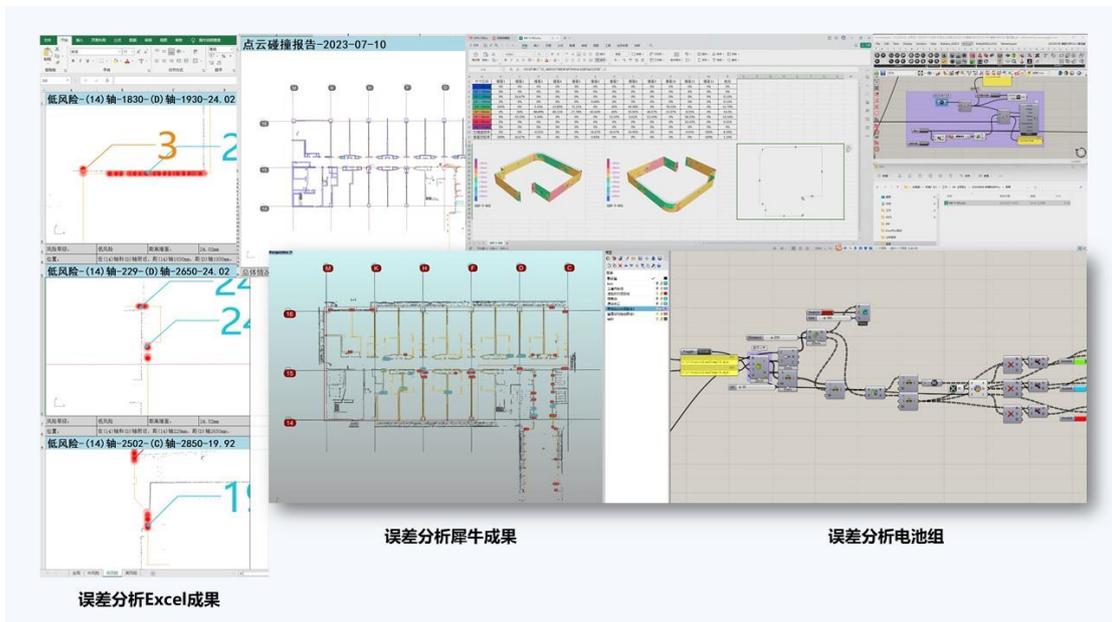


图 3-4 误差分析程序

3.3 构件提取程序

使用门窗洞口边界自动提取程序，大批量地，整层整栋地自动识别门窗洞口的四角定位，自动化程序可完成点云中精确的门窗洞口定位及对应的 Revit 线稿出图，大大提高了复核效率。

用户输入点云文件，无需做任何其他操作，即可全自动高精度提取每一道墙面上的门窗洞口。

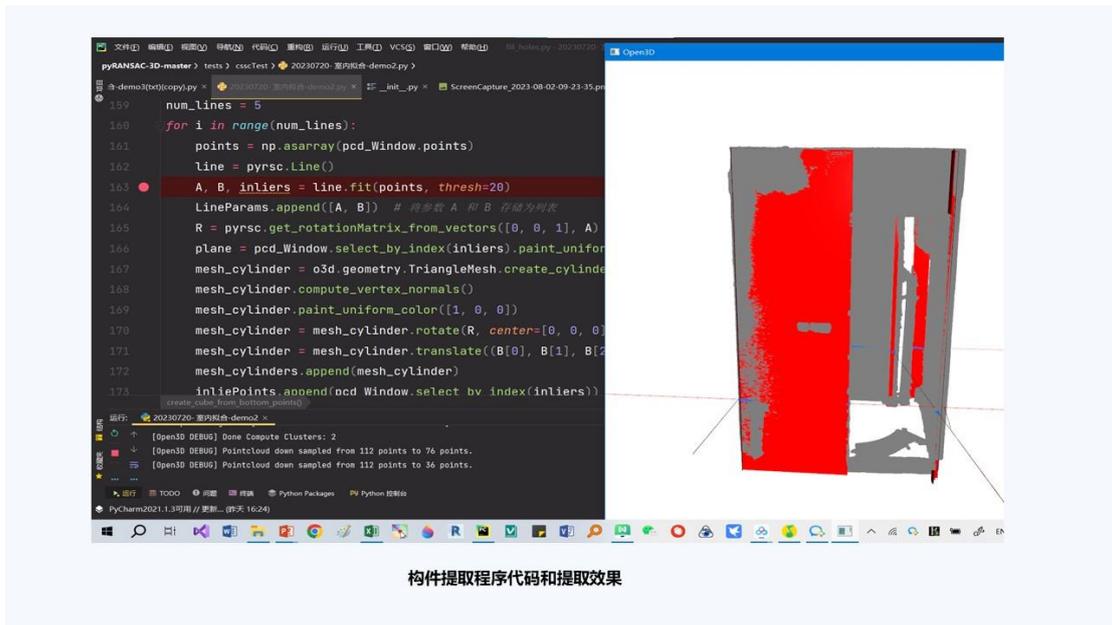


图 3-5 构件提取程序

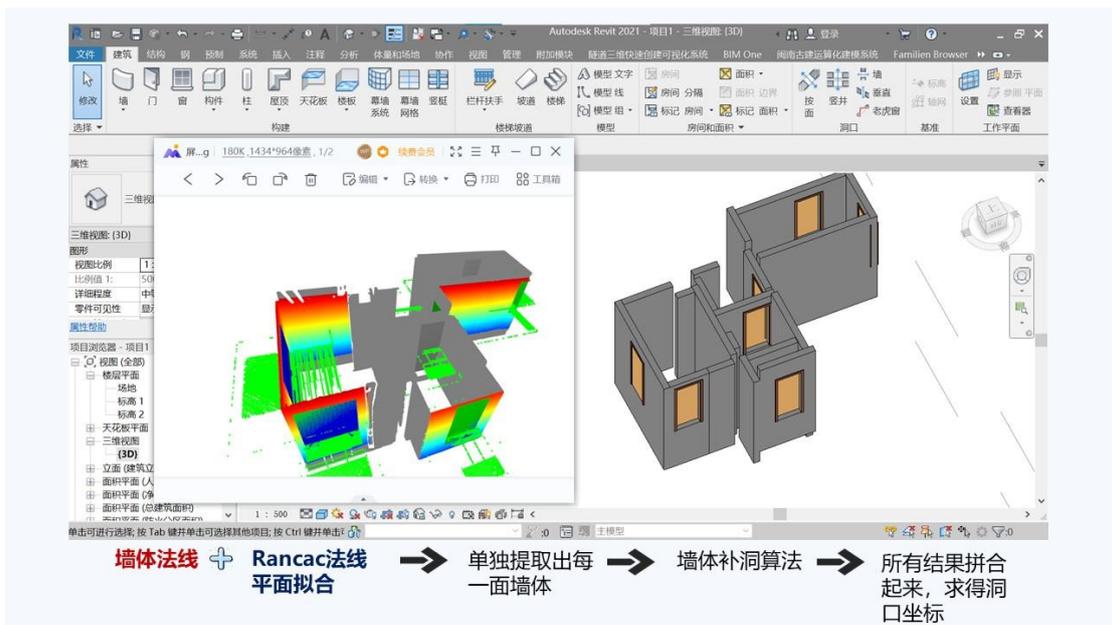


图 3-6 构件提取程序

3.4 自动建模程序

对于钢网架球和连杆组成的异形结构，自动化建模程序只需人工极少的辅助判断，就会自动生成球体，分离杆件，生成 BIM 模型，对于凹凸不平的墙面使用“成饰云”处理、优化建模。操作简单，采集到的点云 → “CC 获取点 + Open3d + Ransac+RevitAPI” → 一键生成 BIM 模型。团队针对柱梁自动建模正在进行技术攻关，目前初步实现初略提取少部分柱子和主梁。

“Open3d+Opencv”综合处理，确保程序自动处理 workflow 稳定运行，结果适配性强。

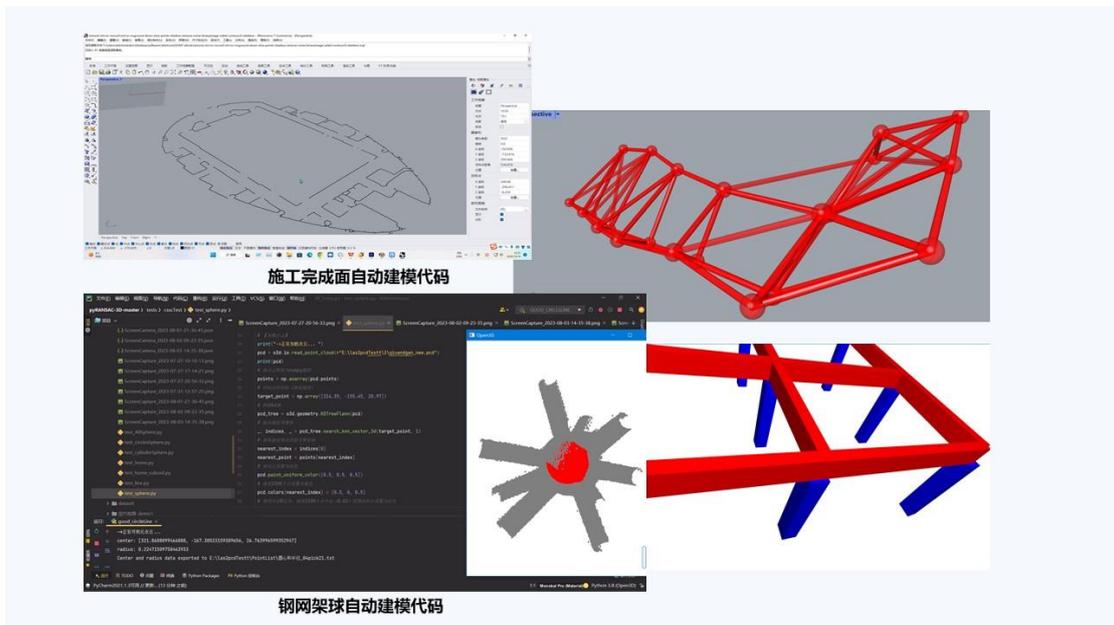


图 3-7 自动建模程序

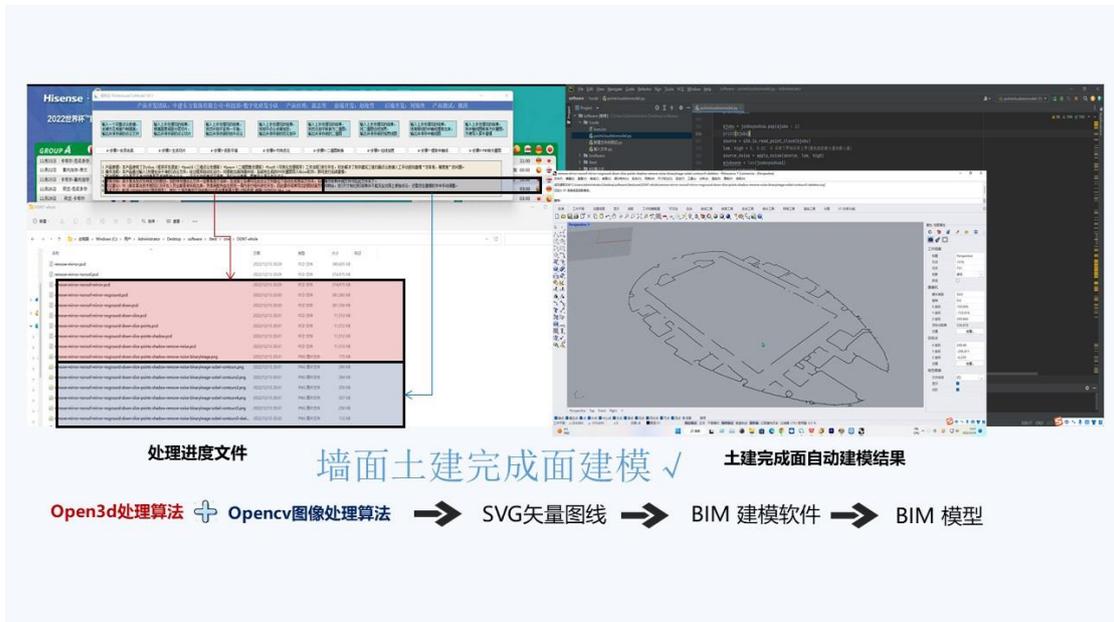


图 3-8 自动建模程序

3.5 自动放线程序

通过预埋钢板作为基准控制点，将建立现场坐标体系的工作整合到了扫描程序中，效率更高；在满足精度的情况下大量采用优化过的激光指示打点定位方法（通过挡板来避免远距离长条形激光的出现），效率较使用棱镜打点定位提升至少 2 倍。

首先进行现场测量控制网的放样，通过平板电脑选取 BIM 模型中所需放样点，指挥机器人发射红外激光自动照准现实点位，实现“所见点即所得”，从而将 BIM 模型精确的反映到施工现场，辅助现场施工。相比于传统作业，放样机器人效率提高 2—4 倍，节省成本至少 50%。



放线机器人

图 3-9 自动放线程序

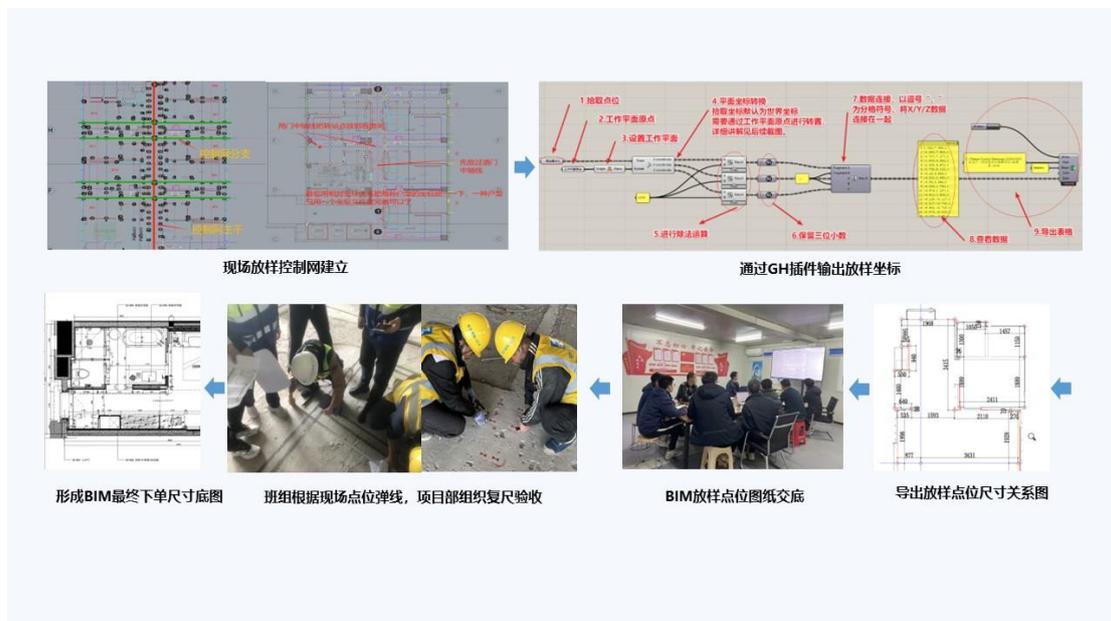
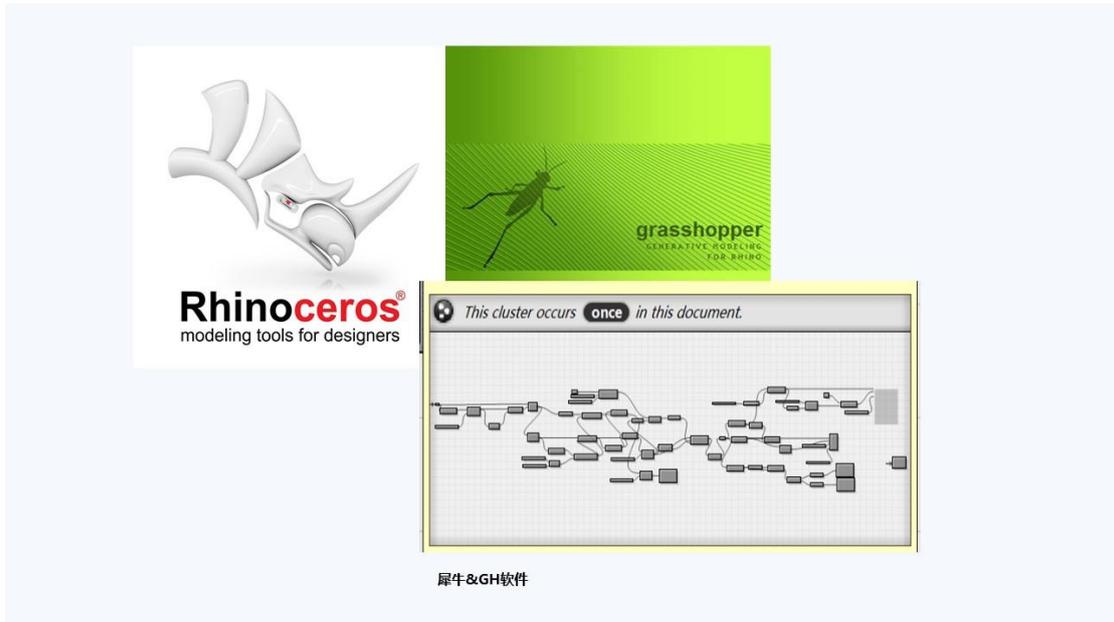


图 3-10 自动放线程序

3.6 自动下料程序

通过事先编制好的程序, 选取需要下单的构件实现各类构件的快速出图和下单。对比手动出图下单效率提升约 120 倍, 为项目的快速履约和降本增效带来了极大的推动。



犀牛&GH软件

图 3-11 自动下料程序

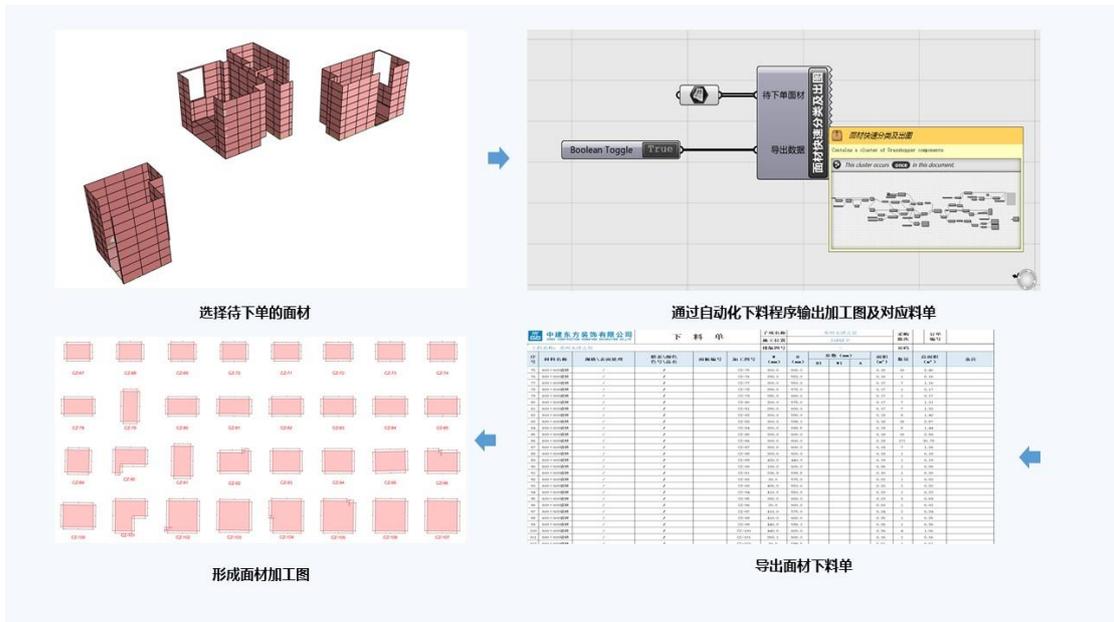


图 3-12 自动下料程序

4. BIM 技术应用效益与测算方法

4.1 应用实例 1: 西安“一带一路”文化艺术中心

该项目位于西安国际港务区港兴二路以北，迎宾大道以西，紧邻灞河，奥体中心体育场西侧南地块，与北地块长安云项目南北相望。

使用功能定位以剧目演出功能为主，兼音乐会、新闻演播、电台广播、展览、培训、电影播放和文化艺术交流等多功能现代化文化艺术中心，总建筑面积约 14.4 万 m²，其中地上 8.33 万 m²、

地下 6.07 万 m²。

该项目面积大、功能区种类丰富，导致 GRG 造型复杂。因此实施过程中易出现如：设计管理不当，极易出现排版下单错误；施工管理不当，极易出现基层安装偏差大导致曲面不连续等问题，需重点管控。因此我司首先在建模准备阶段，“BIM+三维扫描”提前解决各专业碰撞问题，确保了装饰设计基准数据的准确性。碰撞问题优化解决后，在深化下单阶段，我们基于 BIM 模型开展设计深化工作，辅助施工图设计管理。参数化出图、三维扫描和 BIM 放线相结合，基于点云优化异形构件下单达到极致，最终三维扫描自动化处理节约 60 万元，异形参数化下单节约 200 万元，BIM 放线节省 100 万元，共计成本节约 360 万元。工期方面，相比人工测量效率提升了 7.5 倍，相比传统测量工期缩短 20 天，相比传统放线工期缩短 30 天，累计节省约 1500 个工日。

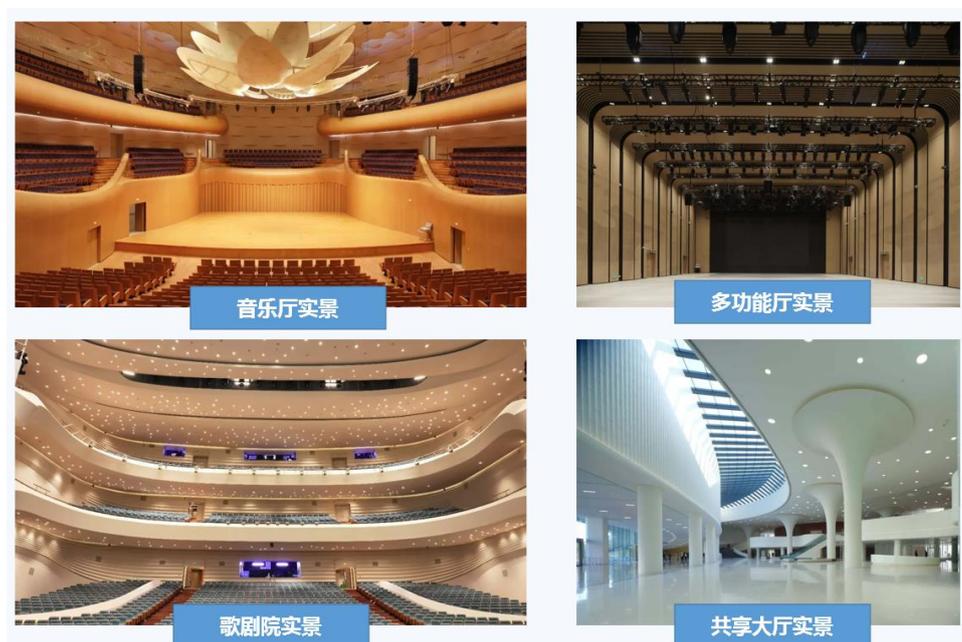


图 4-1 项目完工实景图

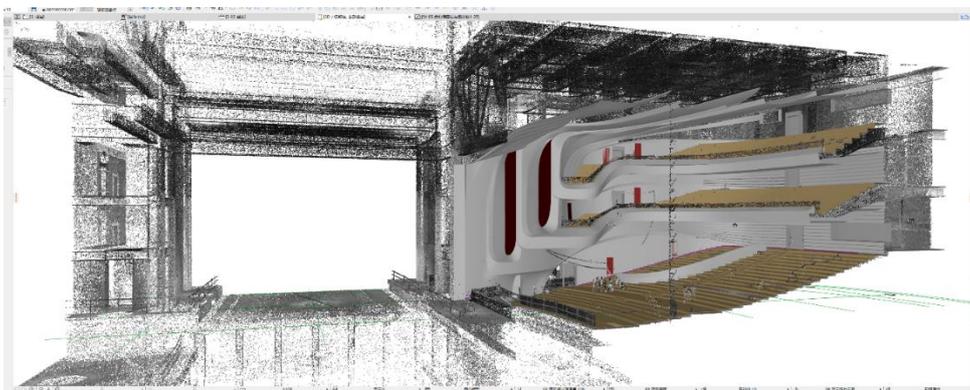


图 4-2 基于点云模型的深化设计流程

4.2 应用实例 2：郫都科技馆

该项目位于成都市郫都区菁蓉湖西侧。占地约 138 亩，总建筑面积约 5.9 万平方米。本项目作为 2023 年第 81 届世界科幻大会开、闭幕式及雨果奖颁奖仪式主场地，同时会后将作为科技馆展览功能使用。项目施工时，其难点在于：手工建模方式难以应对大型异形钢网架结构的逆向建模，表皮和龙骨数量庞大且形状复杂，难以下料且下料不当容易造成大量浪费。

该项目原始的点云数据，手工逆向的难度非常大，而且精度难以保证后期双曲铝板、吊顶的安装工作。通过球杆结构自动逆向建模应用，基于自动化处理识别球体，基于犀牛和 Revit 翻模技术进行自动建模，解决了空间网架结构的球杆构件自动化建模的问题，大大提高了建模效率和精度，推进工期进度。自动出图下单技术应用，参数化程序批量生成单元板块组装图，利用 BIM 参数化工具进行动态调整优化，设计周期缩短三倍以上，节省各种材料、措施、劳务费用约 700 万元。精确的设计下单使得现场极少返工作业，材料浪费降到极致，工期井然有序，累计节省约 550 个工日。



图 4-3 项目完工实景图

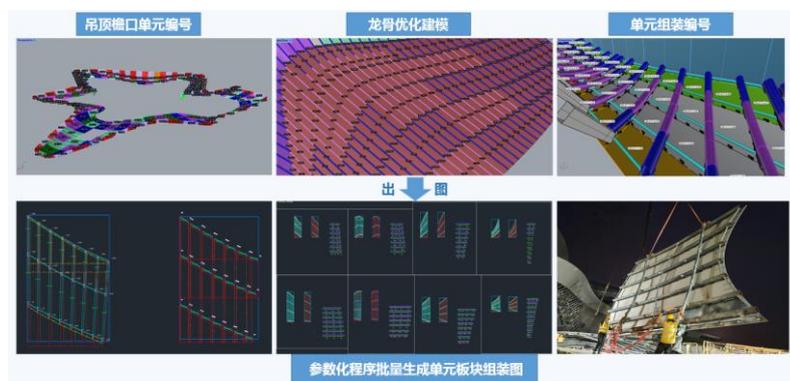


图 4-4 自动出图下单技术应用

4.3 应用实例 3：鄂州酒店

该项目位于湖北省鄂州市吴楚大道以北，为鄂州临空经济区星级酒店项目精装修工程。需解决的问题为：房间较多，人工放样取点复杂：酒店（3-17层、不含12层）共340间客房，其中双床房199间，大床房118间，户型占比93%。

基于项目特点，采用自动放线技术，可以解决放线难题：根据项目现场实际情况，客房分户隔墙土建尚未施工，进入工地现场，制定相应的扫描放样计划，现场布置标靶及控制点。用于点云转换坐标及放样机器人的控制点。采用自动对齐程序将点云引入到Rhino中，需要进行初处理去除地面和顶面，并进行降噪优化，才能进行后续的比对分析功能。通过制作电池组，将点云文件的顶面和地面去除后，能够通过选择不同的降噪和处理方法并且对参数加以调整，使得降噪效果最优。

成熟的BIM与机器人辅助放样 workflow，极大地提升了放线效率精确度。相较于传统放线方法，完成同样的工作成果，BIM放线流程使人工成本和时间成本得到大大降低，降低施工成本约160万元。放样过程完全是电脑计算和控制，人员通过操控平板，轻松完成复杂装修放样，累计节省约1040个工日。



图 4-5 项目完工实景图

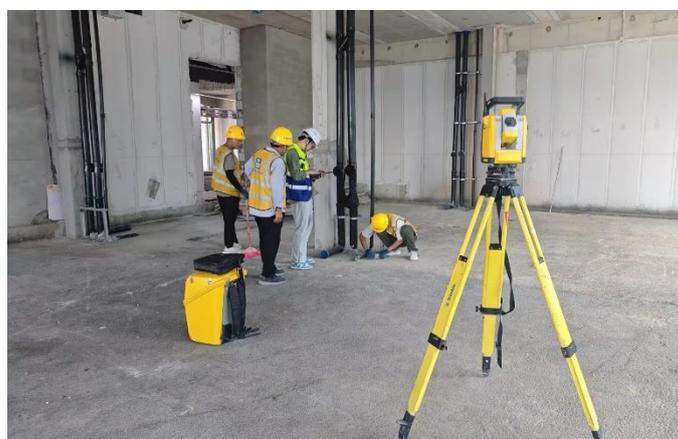


图 4-6 机器人现场自动放线

4.4 应用实例 4：苏州太泽之星内装

本项目为批量精装项目，共计 23 栋，762 户，共计 5 个户型，约 23.2 万平方米。入场时各楼栋移交工作正在进行，内装班组已进场开始施工，计划于 2023 年 12 月底完成所有楼栋的室内装修工作。项目施工的难点在于：土建完成面凹凸情况复杂；项目总包移交的墙体垂直度偏差较大，对装饰完成面的控制造成了不利的影响。

利用传统的放线及测量方案工效低且精度误差较大，没法满足项目工业化及降本增效的要求。因此采用误差分析结合自动下单程序节省材料，利用 GH 程序自动将 CAD 图纸和点云模型进行配准定位和误差分析，形成严谨的误差分析报告和模型，提供给自动下单程序进行快速下单；采用自动对齐程序，利用 GH 程序自动将 CAD 图纸和点云模型进行 ICP 配准定位首先将点云文件与图纸信息按照固定标准进行命名和提取，然后将文件夹路径和土建墙面线输入本程序，程序会自动解析，点击开始按钮执行点云自动对齐；采用点云提取节省人工，提取出 2000 余个门窗洞口的四角定位坐标 JSON 文件，转入放样机器人中快速放样，节省了大量的人工复核的时间。

通过本技术的创新应用，经济效益提升约为 50%，节约成本约 300 万元；工效大幅提升，累计节省约 800 个工日。



图 4-7 项目效果图

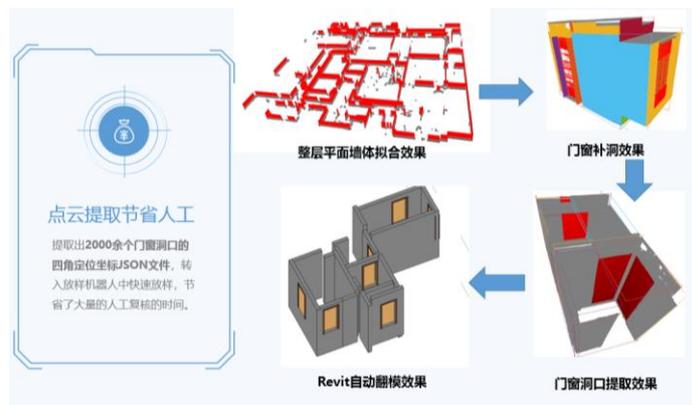


图 4-8 基于点云模型的门窗洞口提取

5. BIM 技术应用推广与思考

在测量阶段，我们使用了先进的三维扫描测绘技术，改变传统人工测量返尺方式，大大提高了测量的效率和质量，是建筑行业测绘方式的一次革命。

在设计阶段，我们结合点云数据处理、图形技术、参数化编程建模，以期实现自动化辅助手工深化设计建模，大大提高了设计效率和精确度，使得设计的可靠性和客观性大大增强。

在施工阶段，我们结合自动出图技术、放样点位优化分析系统的结果，利用先进的自动放样机器人进行现场点位放置，结合点位关系图以指导现场人员放线，大大提升了现场工作的系统性和规范性。

通过基于点云和测绘多方面的数字化技术综合应用，使得从前期测量阶段、到中期深化设计阶段、到后期落地施工阶段全周期的 BIM 综合应用有了生产力的大幅提升，重复繁杂的工作得以自动化处理、工作流程得以优化、工作效率得以提升。

通过机器人和自动化操作替代人工劳动，降低日益增加的人力成本，转变为整体成本更低效益更高的机器人和自动化方案。利用自动化处理算法和程序、以及规范化的操作流程，减少重复繁杂的人员手动处理操作，减少重复工作时间，提升工作效率。利用精准的算法和处理程序，摒弃人为主观判断和个人经验对于深化设计的影响，固化为参数和算法，使得效果更加精准可控。

未来，我司还将在管理模式、工作流程、程序逻辑、程序效率和程序效果上继续优化，实现可视化、AI 算法、智能化、工业化、自动化、无人化等更多新功能。