

上海市建筑信息模型技术应用与发展报告

Shanghai BIM Technology Application & Development Report

Building
Information
Modeling

2021

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

目录

目录.....	1
第三届上海市 BIM 技术应用创新大赛获奖项目案例介绍.....	3
一、国家雪车雪橇中心项目.....	5
1. 项目概况	5
2. BIM 技术应用概况.....	6
3. BIM 技术应用成果与特色	9
4. BIM 技术应用效益及测算方法.....	15
5. BIM 技术应用推广与思考.....	16
二、浦东新区污水厂污泥处理处置新建工程（一期）.....	17
1. 项目概况	17
2. BIM 技术应用概况.....	18
3. BIM 技术应用成果与特色.....	24
4. BIM 技术应用效益及测算方法.....	26
5. BIM 技术应用推广与思考.....	32
三、深圳机场卫星厅配套站坪工程.....	33
1. 项目概况	33
2. BIM 技术应用概况.....	33
3. BIM 技术应用成果与特色.....	36
4. BIM 技术应用效益及测算方法.....	43
5. BIM 技术应用推广与思考.....	43
四、中山大学•深圳建设工程项目.....	44
1. 项目概况	44
2. BIM 技术应用概况.....	45
3. BIM 技术应用成果与特色.....	48
4. BIM 技术应用效益与测算方法.....	58
5. BIM 技术应用推广与思考.....	59

五、中国共产党第一次全国代表大会纪念馆项目.....	61
1. 项目概况	61
2. BIM 技术应用概况.....	62
3. BIM 技术应用成果与特色.....	64
4. BIM 技术应用效益及测算方法.....	84
5. BIM 技术应用推广与思考.....	88
六、上海浦东足球场.....	90
1. 项目概况	90
2. BIM 技术应用概况.....	90
3. BIM 技术应用成果与特色.....	95
4. BIM 技术应用效益及测算方法.....	112
5. BIM 技术应用推广与思考.....	112
七、基于数字化沙盘的科学装置集群智慧规划.....	113
1. 项目概况	113
2. BIM 技术应用概况.....	114
3. BIM 技术应用成果与特色.....	117
4. BIM 技术应用效益及测算方法.....	120
5. BIM 技术应用推广与思考.....	120
八、基于倾斜摄影技术的市政基础设施建造关键技术研究与应用.....	122
1. 项目概况	122
2. BIM 技术应用概况.....	124
3. BIM 技术应用成果与特色.....	127
4. BIM 技术应用效益及测算方法.....	135
5. BIM 技术应用推广与思考.....	137

第三届上海市 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 2021 年 3 月举办第三届上海市 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，针对在工程建设各阶段的优秀 BIM 技术解决方案和在 BIM 推广实施中极具亮点的创新创意，遵循“自愿报名，免费参赛；资料初审，择优入围；专家评审，公开发布”的原则进行。本次大赛的奖项设有项目案例奖和特别创意奖等，旨在展示上海市推广 BIM 技术在工程建设各方面应用的优秀成果。其中技术方案奖注重成熟型 BIM 关键技术在行业内工程项目的广泛应用，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。

本次附录案例分别从两类奖项中选取了共 8 个获奖项目案例（房建类 3 个、市政类 3 个、特别创意类 2 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。希望通过这些案例成为行业标杆，鼓励 BIM 更广泛的应用发挥引领、示范作用。

项目案例奖（市政类）			
序号	申报项目名称 (按首字母排序)	主申报单位	联合申报单位
1	国家雪车雪橇中心项目	上海宝冶集团有限公司工业工程公司	
2	浦东新区污水厂污泥处理处置新建工程（一期）	上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司	
3	深圳机场卫星厅配套站坪工程	上海鲁班软件股份有限公司	中国电建集团航空港建设有限公司

项目案例奖（房建类）			
序号	申报项目名称 (按首字母排序)	主申报单位	联合申报单位
1	中山大学·深圳建设工程 项目	中国建筑第八工程局有限公司	上海建工集团有限公司 上海宝冶集团有限公司 上海城建信息科技有限公司 深圳市住宅工程管理站
2	中国共产党第一次全国代表大会纪念馆	上海建工四建集团有限公司	中国共产党第一次全国代表大会纪念馆
3	浦东足球场	上海建工二建集团有限公司	上海市机械施工集团有限公司 上海市安装工程集团有限公司
特别创意奖			
序号	申报创意名称 (按首字母排序)	主申报单位	联合申报单位
1	基于数字化沙盘的方案规划设计——深圳综合粒子设施项目	上海建筑设计研究院有限公司	深圳市光明区科学城开发建设署
2	基于倾斜摄影技术的市政基础设施建造关键技术研究与应用	中国二十冶集团有限公司	

一、国家雪车雪橇中心项目

1. 项目概况

2015年7月31日国际奥委会正式宣布，北京获2022年第24届冬季奥林匹克运动会举办权。

2022年北京-张家口冬季奥运会（英语：XXIV Olympic Winter Games）为第24届冬季奥林匹克运动会。冬奥会会期为2022年2月4日至2月20日，冬残奥会会期为3月4日至3月14日。

北京2022年冬奥会，由北京、延庆，张家口三个赛区组成，雪橇雪车，是冬奥会中速度最快的项目，专业性最强，观赏性最高的赛区，被喻为冰雪运动中的F1方程式。国家雪车雪橇采用世界顶尖水平设计，赛道总长1975米，最高点高程1017米，最低点高程896米，结束区高程948.42米，赛道垂直高差121米，相当于40层楼高，主赛道包含16个弯道，54个制冷单元，具有全球独创的360°回旋弯；训练道为3条各100米造型各异的短型赛道，用作赛前运动员试滑，游客娱乐等。



图 1-1 延庆赛区分布图

2. BIM 技术应用概况

2.1 团队介绍

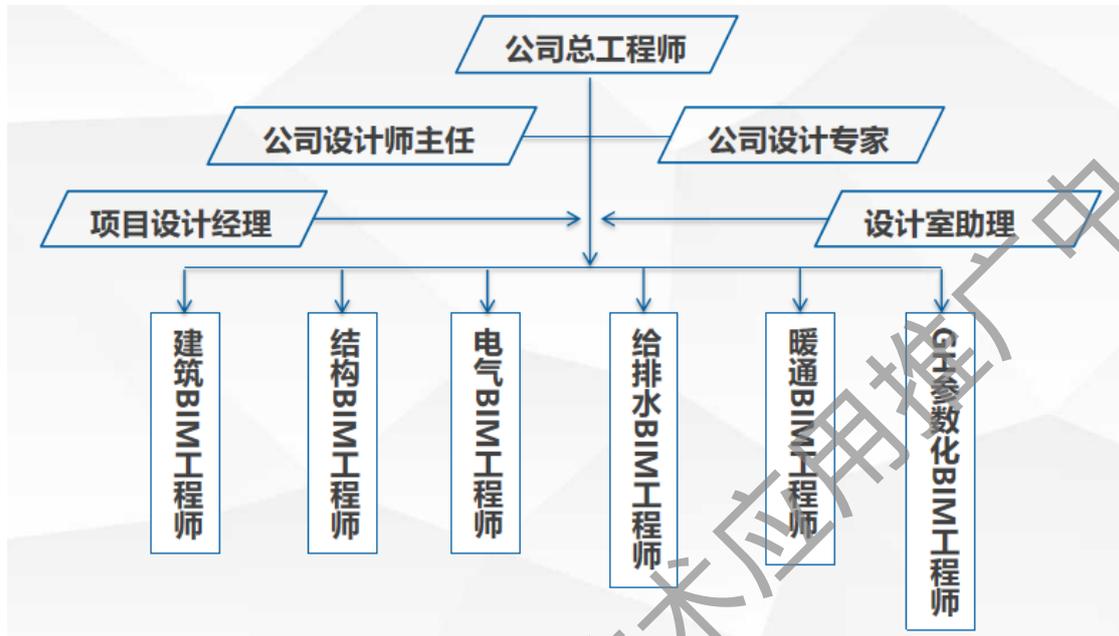


图 2-1 团队组织结构

为了顺利完成国内首条赛道的技术准备工作，公司成立以总工程师宋茂祥为负责人，BIM 设计中心主任及公司设计专家为指导的全专业精英 BIM 团队。

2.2 项目 BIM 实施策划

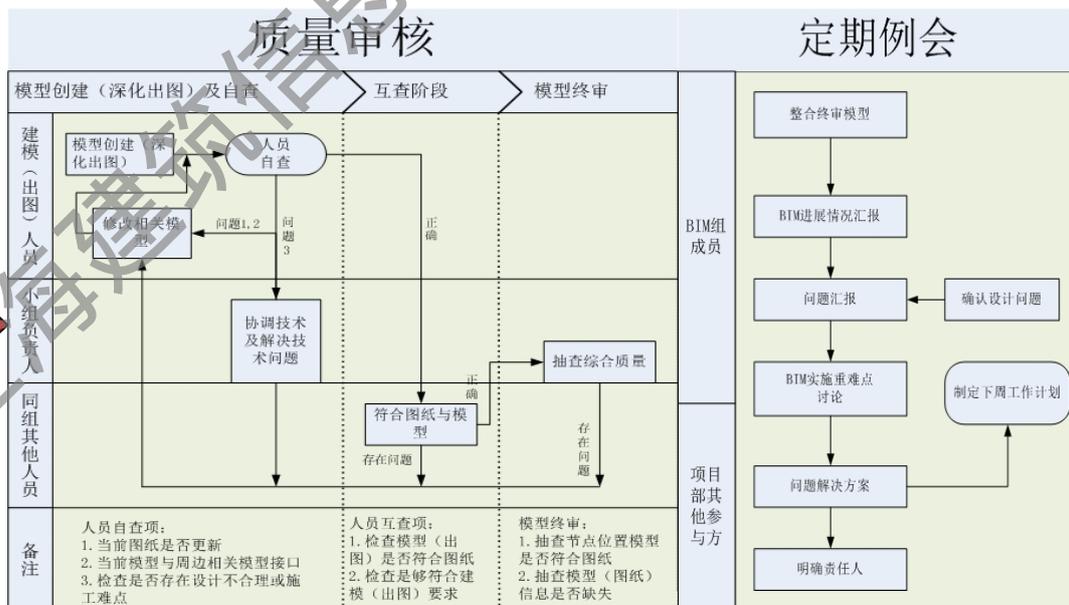


图 2-2 控制流程

依托 BIM 实施标准，制定严谨的 BIM 实施质量控制体系，全面动态监控 BIM 实施质量管理，确保各环节循环运行，确保 BIM 落地应用及项目的顺利推进。

2.3 项目 BIM 实施策划



图 2-3 实施标准

基于国内 BIM 统一应用标准与企业 BIM 标准，制定完善的雪车雪橇项目 BIM 实施方案做到建模有标准、出图有依据。

2.4 项目 BIM 实施策划



图 2-4 BIM 管综协调会制度

多专业会议制度保证 BIM 应用更好的落地实施，建立健全的会议沟通机制，高效的解决多专业协调难的问题。



图 2-5 软件配置

基于项目双曲面特性，经过前期大量调研工作，选择 rhino 软件作为工具，采用 GH 参数化手段，完成 BIM 设计、查错优化，批量导出数据及加工图纸，并利用企业平台形成 BIM 体系的项目实施管控。



图 2-6 硬件配置

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 夹具图的 GH 参数化应用

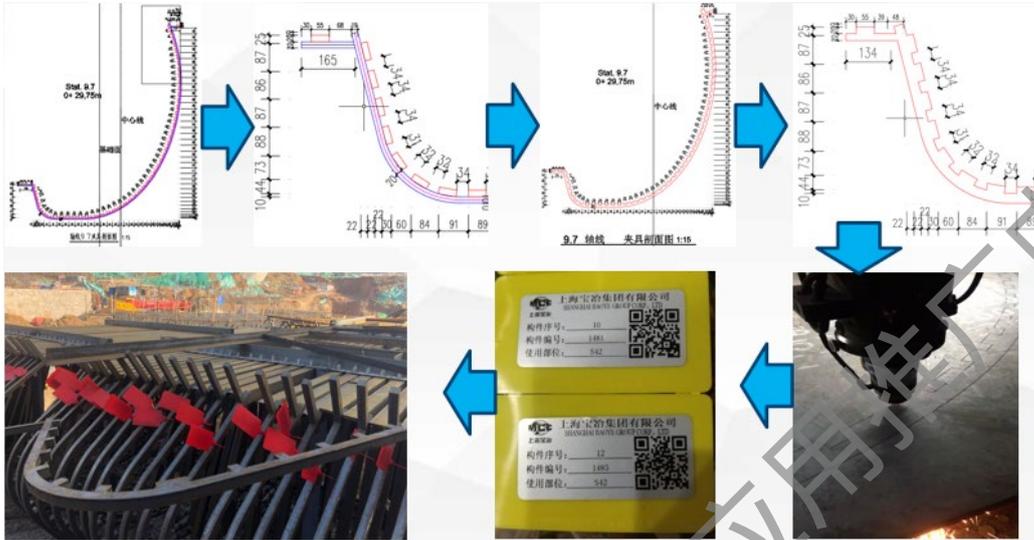


图 3-1 夹具优化流程

正式赛道的主体骨架由 1300 套夹具定型，原设计夹具方案为圆钢焊接矩形钢块，焊接工作量巨大，同时施工环境差很难保证焊接合格率，经过 ansys 有限元分析，将原设计方案优化为 Q345B 钢板整体切割，减少近 10 万组焊接工作量，极大地缩减工期。

3.2 便捷加工误差控制

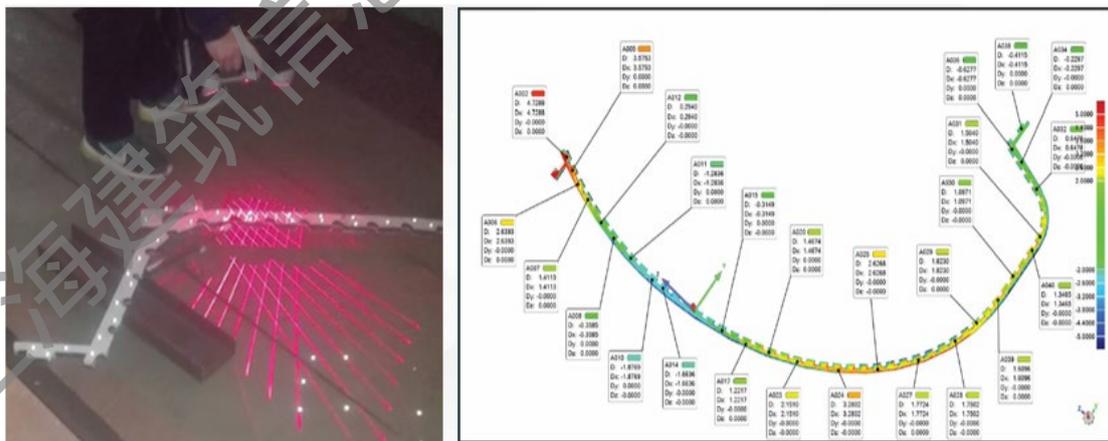


图 3-2 误差校正

激光切割后的夹具，经过 HOLON-760 手持三维扫描仪扫描得到点云模型，与犀牛模型导出 STP 文件拟合，真彩图对比，分析加工误差，控制切割精度。

3.3 制冷管道预制图的参数化设计

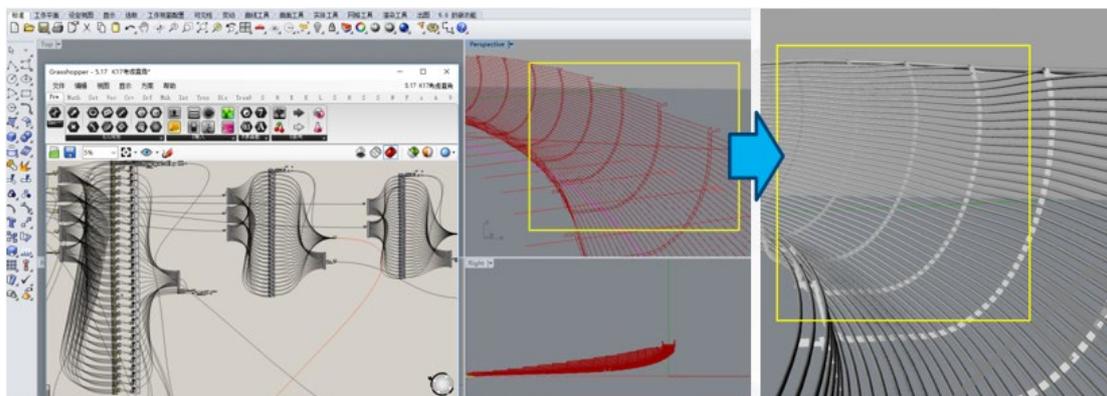


图 3-3 管道参数化设计

德国 deyle 原设计图没有体现管道，无法进行管道预制、预先检测管道安装后是否平滑，以及制冷管系统地梳理工作。基于夹具断面图和犀牛参数化原理，完成夹具空间定位，依次抓取相邻夹具断面的圆心点串联成线，中心线修正平滑，再输入给线成管运算器，自动生成制冷排管。

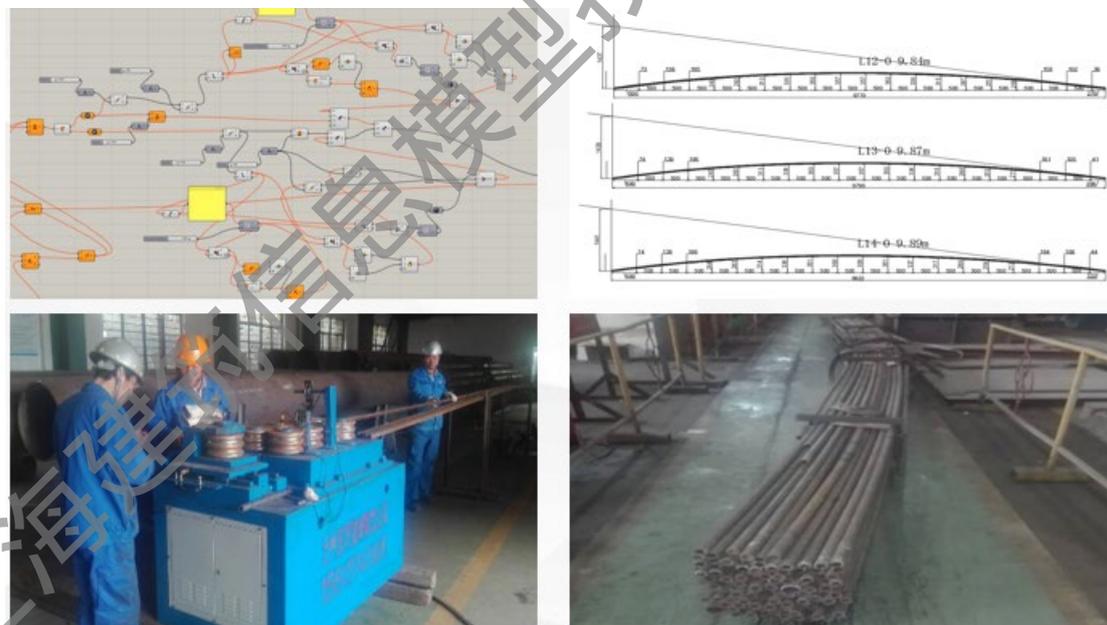


图 3-4 管道预制加工

利用 GH 中的运算器，将生成的弯曲管道投影至水平面，再每隔 500mm 标注一次垂直方向的数值，辅助现场进行管道预弯工作。

3.4 制冷集管的预制出图

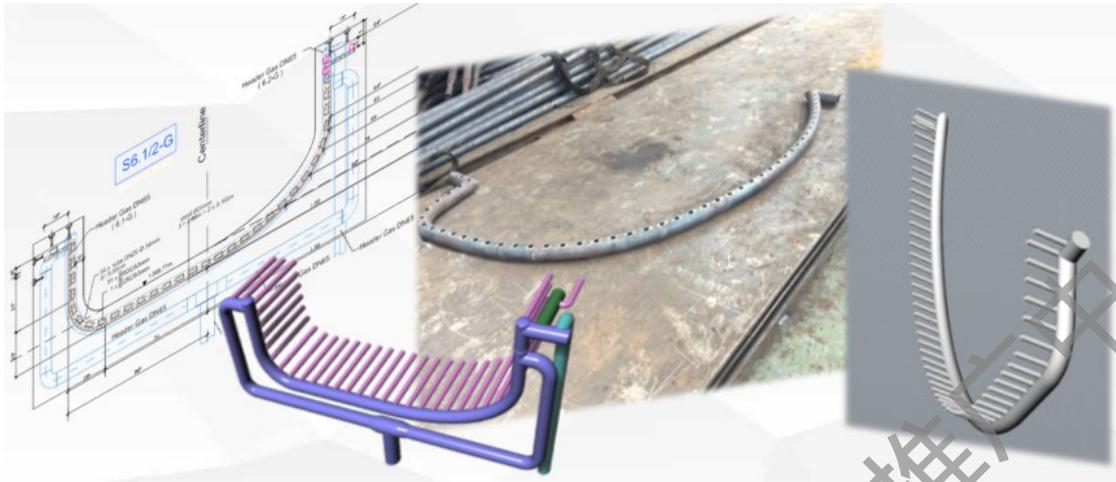


图 3-5 集管预制加工

对 118 张原设计集管图纸进行处理，将非标弯头均替换成国标弯头，再讲土建 U 型槽、摇摆柱、钢筋网及混凝土模型整合，进行碰撞分析，确保集管外边缘与混凝土外壳间距 $\geq 100\text{mm}$ ，然后确定集管图纸，进行加工预制。

3.5 百万级安装坐标的自动提取

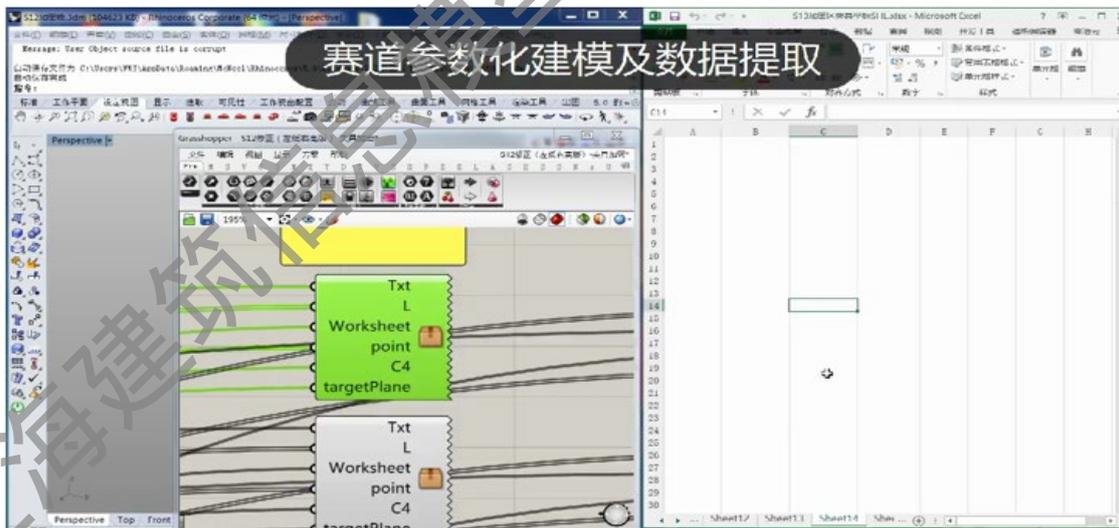


图 3-6 数据提取程序界面

基于 grasshopper 参数化功能，设计自动提取数据的运算器程序组，实现批量提取夹具安装校正坐标 XYZ 与里程坐标 SHL 共 $30 \times 2 = 60$ 万组，为保证数据的正确性，设计 2 套程序分别提取坐标，互相校对，数据提取量共 120 万组。

3.6 参数化正向设计

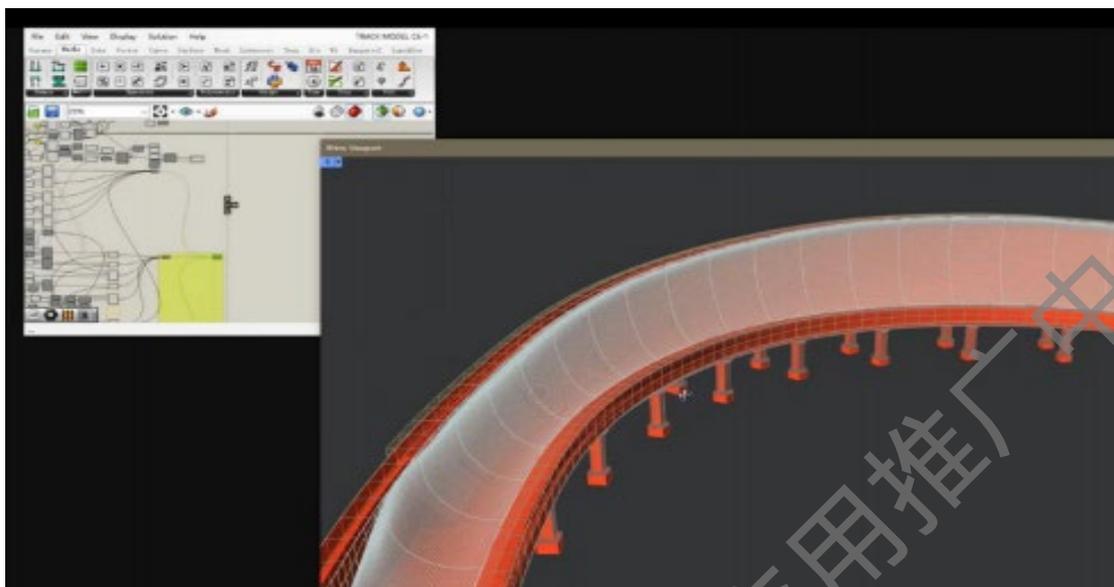
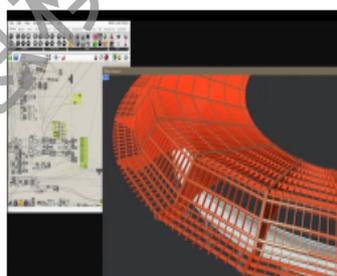


图 3-9 遮阳棚参数化正向设计

赛道轨迹线由赛道设计师根据雪车运动轨迹和山体场地状况设计。此轨迹线为空间自由曲线，因此沿此曲线布置的雪车雪橇中心建筑用房难以用传统设计工具进行设计。所以选用信息化建模工具进行此项目的设计。信息化建模具有数据可调、可控，设计、分析、出图等。



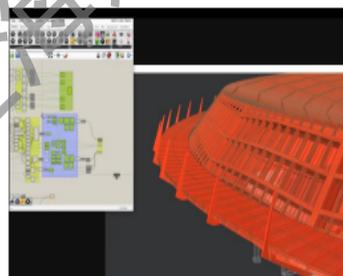
1、以水道为基础输入遮阳棚结构信息



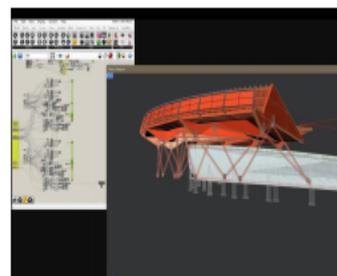
2、输入次梁檩条信息自动生成此结构系统



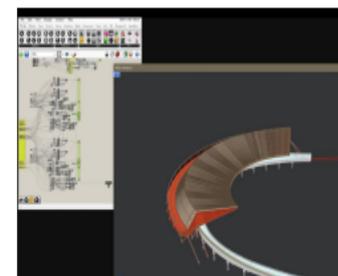
3、输入吊顶信息自动生成吊顶



4、按结构逻辑布置扶手栏杆



5、按结构逻辑布置支撑结构



6、最终补充屋面

图 3-10 参数化设计流程

3.7 CFD 风模拟

利用风模拟软件，对遮阳背板的风环境进行模拟，以获得赛道附近的风速分布情况，为赛道设计提供支撑。

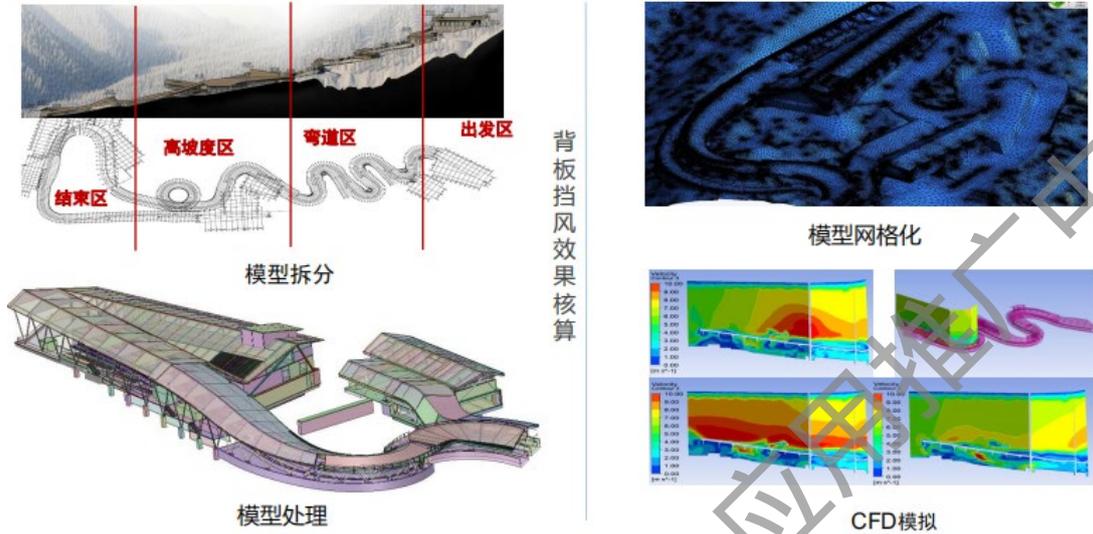


图 3-11 CFD 风模拟图解

3.8 基于 BIM 模型的照明分析

使用灯光照明设计软件对赛道及相关区域照明进行设计模拟，使赛道照明条件满足转播及比赛要求。

转播照明光源及灯具要求：

- 赛道灯具采用 45W LED 线条投光灯，主要安装于赛道 两侧，通过灯具支架贴金属线槽下安装，安装高度 4m 及以上；
- 场地灯具采用 200W LED 投光灯，主要安装于建筑结构梁下；
- 混合区灯具采用 45W LED 射灯，热身区灯具采用 21W LED 线条投光灯；
- $T_{cp}=5600K \pm 100$ 。光效不低于 90lm/W。Ra \geq 90， R9 \geq 20 ；
- 采用开关电源，驱动及控制元件输出频率应 \geq 1000Hz 且无明显噪声，无频闪或频闪比 $<$ 3%；
- 根据现场实际情况应考虑加装遮光措施，使眩光减小到最低限度，且避免冰面反射眩光对摄像机的影响；
- 防护等级不应低于 IP65，应用环境温度-40 度~40 度且 光学衰减满足上述要求。

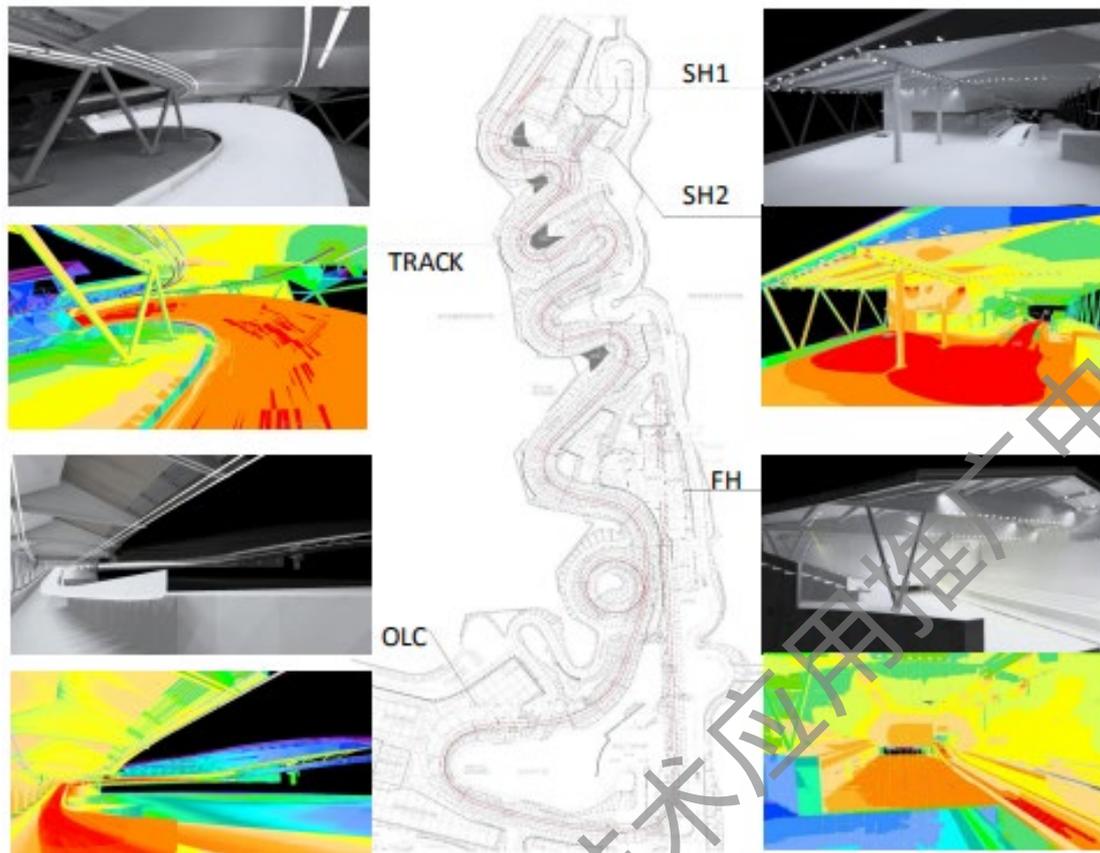


图 3-12 照明分析

4. BIM 技术应用效益及测算方法

4.1 人才培养

基于本项目的特性,传统的 Revit 体系的 BIM 手段并不能在双曲面赛道项目上发挥作用,根据 7 组模块试验段的试验,逐渐发觉施工安装的难点痛点,以此为目标,形成 BIM 实施的方向,目标导向型完成软件体系的选择,最终采用犀牛 rhino 6.0 的参数化功能,完成整个项目的参数化设计。在项目准备及推进过程中,逐渐完成人才队伍的夯实与培养,最终培养 5 人能利用 rhino 的 GH 参数化独立完成实际项目的的能力。

4.2 经济效益

本项目总合同约 10 亿,未将 BIM 咨询服务费单独收费总价包干,为满足双曲面施工所需的技术支撑工作,从软件培训到程序设计研发,调试,时间跨度 2 月,7 人参数化 BIM 设计人员,从内部 Revit 系列的传统 BIM 队伍抽调培养人才

支撑项目，通过方案的优化及与德国设计师的技术交流，形成有利化变更 23 条，涉及夹具 48 套，通过优化方案节省的人、材、机及工期成本 480 万；辅房传统 BIM 咨询服务，完成错漏碰缺的空间管理布局，材料表导出及支架设计节约成本 130 万，综上共创造经济价值 610 万。

5. BIM 技术应用推广与思考

冬奥会赛道，是由国内首次承建的奥运赛道项目，从设计到施工方面的技术经验借鉴均为空白。为建设好国家级重点项目，国家队企业发挥关键时刻敢啃骨头的铁军精神，在项目启动之初做了大量的调研工作，远赴俄罗斯索契、韩国平昌以及德国设计团队处，最终从项目突破口和技术团队等准备做了成熟化规划。

通过本项目 BIM 参数化的成功运用，尝试了程序自动处理海量数据的便捷，也打通了不同系列之间软件平台的数据对接渠道，让 BIM 模型不再是孤岛，数据化的手段，驱动现场检测设备和预制加工厂联动，也实时与点云设备实现数模拟合，实时误差分析，最终确保高精度顺利完成赛道的施工验收工作，得到国际奥组委委员托马斯·斯瓦伯及 deyle 设计团队的高度评价。同时，公司内部可将此次参数化应用经验扩散，带动 revit 体系内的 dynamo 参数化的扩大化运用，使得 BIM 逐渐剥离手工建模，实现参数化高精度、高效率完成批量重复性工作，也给其他异型造型类项目带来可靠的参数化运用技术参考，值得推广。

二、浦东新区污水厂污泥处理处置新建工程（一期）

1. 项目概况

本次项目一期工程建设规模为处理污泥（80%含水率）800t/d，远期规模1200t/d，本项目采用涡轮薄层干燥+热风箱鼓泡床焚烧的单独干化焚烧技术路线。烟气处理采用静电除尘+烟烟换热+湿式洗涤+布袋除尘达到上海市地方标准并兼顾国标标准和欧盟 2000-2010 的排放标准指标。实现了污泥处理减量化、无害化、稳定化、资源化的要求。本项目解决了浦东新区污泥处理处置的难题，对优化社会资源配置具有积极意义。

为了对设计成果进行优化，确定机电管线在消除碰撞后的精确竖向标高，提升复杂区域的竖向净空，优化提升建筑空间，同时尽可能地提前发现设计中存在的问题，并提出解决方案，提前解决相关问题，从而避免设计阶段的问题流入到施工阶段，造成不必要的返工；施工阶段项目总承包方希望借助 BIM 技术及信息化手段，通过三维设计平台对工程项目进行精确设计和施工模拟，围绕施工过程管理，建立互联协同、智能生产、科学管理的施工项目信息化生态圈，实现工程施工可视化智能管理，以提高工程管理信息化水平从而逐步实现绿色建造和生态建造，在整个项目实施过程中实现数字化建设。



图 1-1 项目效果图

2. BIM 技术应用概况

本项目 BIM 技术服务主要包括施工图设计阶段，施工实施阶段和竣工验收阶段，具体应用方案如下：

(1) 设计阶段

1) 各专业 BIM 模型搭建

根据总包方提供的施工图纸，搭建符合施工图设计深度的 BIM 模型。BIM 模型专业包括：建筑、结构、机电设备、给排水、暖通、绿化等。



图 2-1 车间建筑模型



图 2-2 钢结构模型

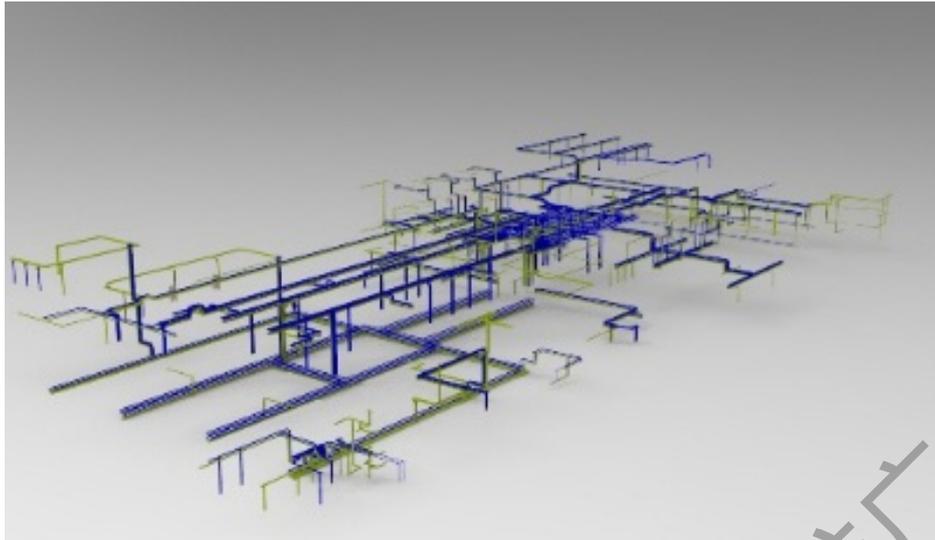


图 2-3 机电模型

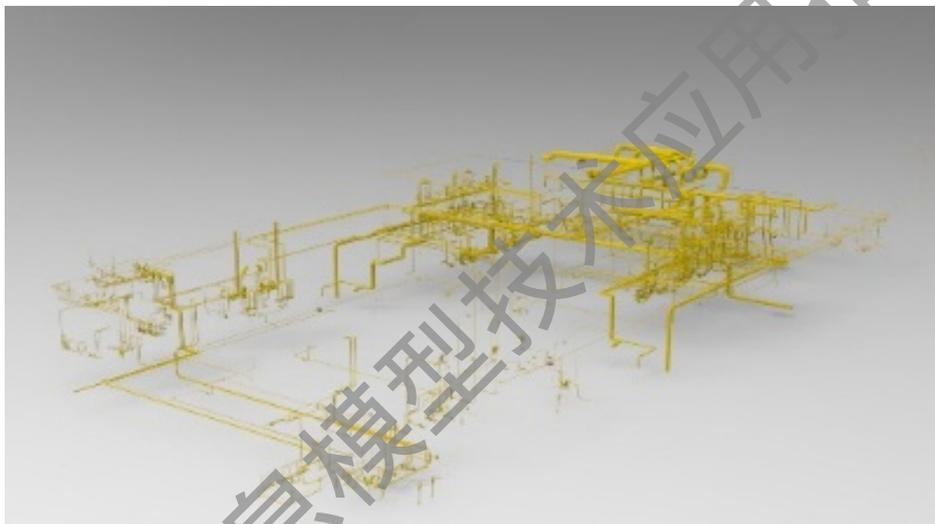


图 2-4 工艺管道模型



图 2-5 工艺设备模型

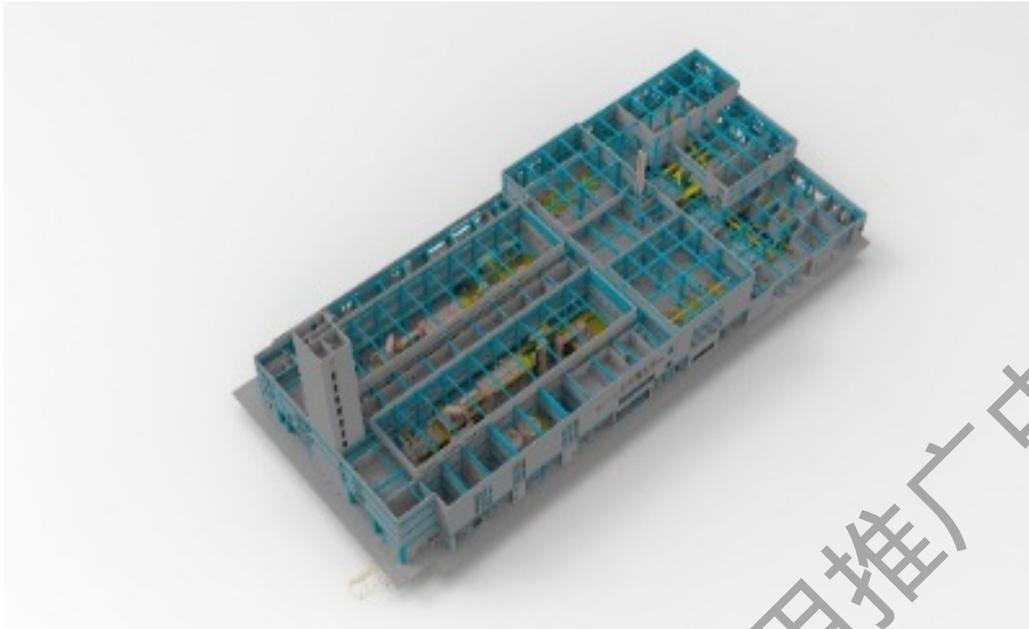


图 2-6 模型整合优化

2) 设计图纸审核

利用 BIM 模型三维可视化优势，检查各专业构件在平面、立面、剖面位置是否一致，消除设计图纸中出现的各种错漏碰缺的问题，并出具图纸检查报告。

3) 各专业冲突检查

建筑、结构、暖通、给排水和电气，各专业之间进行碰撞检测，查找各专业模型之间的碰撞冲突，提交可编辑和轻量化查看两个版本的三维模型，并出具碰撞检查报告，报告中应详细记录调整前各专业模型之间的冲突和碰撞点及碰撞点的具体位置。

4) 管线综合

BIM 机电三维管线综合设计，配合协调并优化机房及管井设置，优化管线排布，并出具管线综合图和 BIM 问题报告，单专业管线排布平面图和剖面图，应当对设备主管进行准确的位置定位，并反映精确的尺寸信息和竖向标高标注。

5) 净高分析

通过优化后的管线对室内净高进行优化和分析，并出具净空分析报告和净高分析图。净空分析报告应记录建筑竖向净空优化的基本原则，对管线排布优化前后进行对比说明。优化后的机电管线排布平面图和剖面图，应当反映精确竖向标高标注，并对不满足净高要求的区域进行着重标注说明。

6) 预留洞口图

根据优化后的机电管线布置对 I 结构和 II 结构开洞，并提交开洞后的 BIM 模型、预留洞口图、预留洞口明细表，预留洞口图需要能够详细的反应洞口的定位、尺寸信息和标高。

7) 三维虚拟漫游

BIM 顾问利用 BIM 模型，通过漫游动画和 VR 等形式提供身临其境的视觉和空间感受。提供室内及室外场地的漫游视频。



图 2-7 三维虚拟漫游

(2) 施工实施阶段

1) 施工管理平台搭建

根据总包方要求及项目实际情况搭建用于施工阶段 BIM 轻量化管理平台。

2) 室外管网

根据施工现场情况进一步调整和深化室外管网辅助安装。

3) 土建重构

根据施工现场实际进度对建筑、结构模型进行重构。

4) 设计变更，施工变更

将施工过程中的设计变更和施工变更反馈到模型中，以便及时复核各专业的碰撞，并随时查阅及辅助项目竣工验收。

5) 进度模拟

项目例会根据模型比对现场实际进度。

6) 场布模拟

根据总包方要求对各阶段的施工场布进行模拟。

7) 机电专业模型深化

在设计阶段机电模型的基础上对施工阶段机电各专业模型进行安装深化。

8) 冲突检测

机电各专业模型深化完成后土建、机电相互之间进行冲突检测，并出冲突报。

9) 管线综合、净高优化

对机电管线及设备进行综合管线排布，并根据精装吊顶要求对净空进行优化，并辅助出单专业机电管线图和彩色净高图。

10) I 结构和 II 结构开洞

根据优化后的机电管线对 I 结构和 II 结构开洞，并出预留洞口图。

11) BIM 技术协调

- a. 施工阶段分包方 BIM 技术应用的管控及成果复核；
- b. 施工阶段施工现场有关 BIM 技术应用的协调配合；
- c. 对最终的 BIM 成果进行整理、保存和备份。

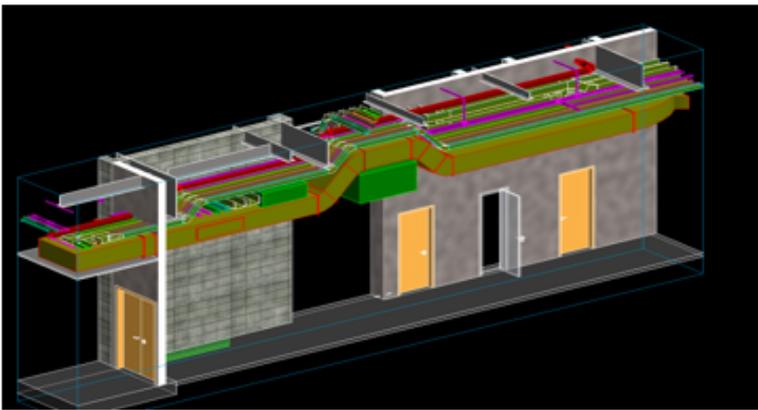
	 <p>调整后节点三维</p>
问题描述	原模型中，3/G 处走廊交叉位置，吊顶标高要求 3500mm，此位置交叉 1600*800 新风管和 1400*500 排烟风管，和四路 100 高弱电桥架，两路 200 高强电桥架，按照原图纸方案桥架和新风管同向穿入厨房，导致交叉位置无法满足净高要求。
反馈	
解决方案	优化强电桥架和弱电桥架的走向，弱电桥架翻越交叉位置，穿入备餐间在转入厨房，强电桥架提前转入卫生间，避开交叉区域后再转入备餐间穿进厨房

图 2-8 综合管线冲突检查

(3) 竣工验收阶段

- 1) 根据竣工验收要求完成施工阶段 BIM 成果整理和提交；
- 2) 对整个施工阶段的 BIM 技术应用进行总结汇报；
- 3) 最终成果汇总归档。



The image displays a BIM design coordination platform interface. At the top, there are two screenshots of the BIM software showing a 3D model of a building. Below these, there is a dashboard with 12 functional modules, each with a list of sub-features:

- 01 3D全景**
 - 3D模型
 - 3D施工
- 02 协同办公**
 - 图片新闻
 - 统计报表
 - 通知公告
 - 会议管理
 - 消息管理
 - 任务管理
- 03 文档管理**
 - 图纸管理
 - 文档管理
- 04 进度管理**
 - 项目进度计划
 - 标段进度计划
 - 进度模拟
 - 进度对比
 - 进度报告
- 05 合同管理**
 - 合同管理
 - 工程计量
 - 中期支付
 - 工程款支付
 - 其他合同
 - 变更管理
- 06 质量管理**
 - 质量策划
 - 质量控制
 - 质量验评
 - 质量数据评审
- 07 安全管理**
 - 视频监控
 - 危险源管控
 - 安全巡查
 - 安全教育
 - 安全考核
 - 安全监测
- 08 环保管理**
 - 环保考核
 - 环保监测
- 09 资源管理**
 - 人员管理
 - 机械设备
 - 物资管理
- 10 现场管理**
 - 高层工作
 - 施工工作
 - 项目群
- 11 试验检测**
 - 检测目录
 - 检测登记
 - 检测检测
- 12 工程例会**
 - 上周总结
 - 工作汇报
 - 下周计划

图 2-9 设计协调平台

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 BIM 技术应用成果

按项目服务阶段，BIM 技术应用成果如下：

(1) 设计阶段 BIM 服务

- 1) 完整版 BIM 模型，RVT 和 NWD 格式电子版各一套；
- 2) 施工图纸检查报告；
- 3) 碰撞检查报告；
- 4) 管线综合及净高分析报告；
- 5) 预留洞口图；
- 6) 三维虚拟漫游视频一份，分辨率不低于 720P。

(2) 施工实施阶段 BIM 服务

- 1) 用于施工过程的轻量化管理平台一套；
- 2) 深化后的室外场地模型及室外管网模型；
- 3) Revit 模型和 Navisworks 整合模型；
- 4) 变更后的模型及跟进报告；
- 5) 进度模拟模型及动画；
- 6) 场布模型；
- 7) 深化后的机电各专业模型；
- 8) 冲突检测报告；
- 9) 优化后的机电管线模型；
- 10) 净空优化报告；
- 11) 留洞模型和图纸。

(3) 竣工验收阶段 BIM 服务

- 1) 完善后的 BIM 竣工模型；
- 2) BIM 竣工验收报告。

3.2 BIM 技术特色应用

(1) LOD 400 族开发

Revit 自带的一些专业族库无法满足本项目的实际需求。为减轻设计人员的工作量，使设计符合国家标准，并能够直接出图，BIM 中心专业的 BIM 建族人员针对各专业制作了大量可调变量的智能化参数化 LOD400 精度的族。

(2) RFID 技术应用于装配式构件施工全过程中

1) 构件制作阶段

在构件预制阶段，首先，由预制场的预制人员利用读写设备，将构件或部品所有信息（如：构件的尺寸、养护信息等）写到 RFID 芯片中，根据用户需求和当前编码方法，同时借鉴工程合同清单的编码规则，对构件进行编码。然后由制作人员将写有构件所有信息的 RFID 芯片植入到构件或部品体系中，以供以后各阶段工作人员读取、查阅相关信息。

2) 构件运输阶段

在构件运输阶段，主要是将 RFID 芯片植入到运输车辆上，随时收集车辆运输状况，寻求最短路程和最短时间线路，从而有效降低运输费用和加快工程进度。

3) 构配件入场及存储管理阶段

门禁系统中的读卡器接收到运输车辆入场信息后立即通知相关人员进行入场检验及现场验收，验收合格后按照规定运输到指定位置堆放，并将构配件的到场信息录入到 RFID 芯片中，以便日后查阅构配件到场信息及使用情况。

4) 构件吊装阶段

地面工作人员和施工机械操作人员各持阅读器和显示器，地面人员读取构件相关信息，其结果随即显示在显示器上，机械操作人员根据显示器上的信息按次序进行吊装，一步到位，省时省力。此外，利用 RFID 技术能够在小范围内实现精确定位的特性，可以快速定位、安排运输车辆，提高工作效率。

(3) 有限元分析

重型施工机械是中国大型工程建设因施工需求而专门设计开发的一类专用施工机械设备，具有大推力、高负载的工作特性和优势，在工程建设中起着举足

轻重的作用，是国家重大工程建设成功与否的关键装备。重型施工机械体积庞大、结构复杂，而且施工环境比较恶劣，一旦发生安全问题，小则影响施工进度、工程质量，大则危害到施工人员的生命财产安全，甚至带来灾难性的后果

通过分析重型机械施工期间周围土体的扰动情况，从而保障重型机械施工期间安全施工，基于 SNSYS 软件建立了构件之间的有限元模型，分析重型机械荷载作用下周围土体的变形影响范围。

4. BIM 技术应用效益及测算方法

4.1 方案阶段

(1) 无人机倾斜摄影

利用无人机倾斜摄影技术，对现有建筑及周边环境扫描建模，还原现场真实模型。同时结合物探资料构建地下部分现有管线、管井及障碍物，并将相关模型与无人机扫描复原的模型进行整合，便于业主和施工总包单位纵观全局的去分析项目现状，更加全面地去通盘考虑后期的施工实施方案以及施工组织方案，以及后期整个施工过程中可能会对现有周边环境及居民的影响，从而提前发现问题，提出解决方案，避免后期施工过程中因为项目施工对周边环境和居民的影响带来一些不必要的停工和返工。

经济效益折算思路：以各方通过整合模型技术讨论时发现的问题为依据，然后进行经济折算，比如说本项目前期通过模型整合发现有一栋建筑的外墙体被划进了施工范围，施工过程中可能会对这栋建筑的外墙造成破坏，那么就这个问题大家提前讨论提出解决方案，从而避免后期施工过程中因为该问题所造成的成本浪费和工期延误，那么这个问题造成的成本浪费和工期延误就是应用 BIM 技术以后所产生的经济效益。

备注说明：折算思路就是假设实际施工过程中发生了该问题，那么解决这个问题会产生多少成本和工期延误，就是 BIM 技术应用所节约的成本和工期。

(2) 施工组织方案模拟

结合 BIM 模型及施工组织方案,通过三维可视化技术对施工组织方案进行模拟展示,提高沟通效率,提前发现施工组织方案中不合理的部分,提前发现问题解决问题,高效快速地获得主管部门的认可,尽快批复,加快施工进度,并通过施工组织方案模拟得到最优解的施工组织方案,尽可能的提高施工资源的利用效率。

经济效益折算思路:根据以往传统项目在没有应用 BIM 技术的情况下在施工组织方案实施的时候经常发生的一些问题,以及这些问题对项目现场实施带来的成本浪费和工期延误,应用 BIM 技术以后,提前解决了这些问题,那么因为这些问题造成的成本浪费和工期延误就是应用 BIM 技术以后所产生的经济效益,时间就是成本。

备注说明:虽然该项统计没有必然性,因为项目的不同,发生的情况不同,不能以偏概全,但是从以往的项目经验来说确实是有一定的参考价值和意义的。按照以往经验,采用三维可视化技术显著提高解决问题的效率,现场施工技术人员普遍适应了这种施工方式。可以采取与不采用 BIM 技术的同类项目进行比较,从而量化计算经济效益。

(3) 室外管线搬迁及绿化搬迁管理

根据物探资料复原现有室外管线及管井模型,同时针对项目实施范围内影响项目实施的高大乔木,通过射频技术结合现有管理平台进行高大乔木统一搬迁管理,并通过施工总包的管线搬迁方案和绿化搬迁方案进行搬迁施工模拟,配合总包复核搬迁方案是否存在问题,如果通过模拟提前发现搬迁方案中的问题,基于三维可视化模型进行搬迁方案调整,从而提前解决相关问题,避免实际搬迁过程中再遇到此类问题。

经济效益折算思路:对在搬迁方案模拟过程中发现的问题进行假设,如果前期没有发现此类问题,在实际搬迁过程中才发现,那么因为此类问题所带来的成本浪费和工期延误就是使用 BIM 技术所节约的成本和工期。

4.2 施工图设计阶段

(1) 复核施工图设计单位的图纸和模型

对施工图设计单位的图纸和模型进行复核，将图纸和模型中发现的问题进行记录，形成 BIM 问题报告提资给设计单位，并协调配合设计单位解决相关问题，并跟踪相关问题的解决情况，避免一些不必要的错误流入到施工阶段，对施工造成不必要的返工和工期延误。

经济效益折算思路：假设应用 BIM 技术发现的设计图纸问题和模型问题前期没有发现和得到解决，那么在施工阶段该问题可能会带来的施工返工所造成的成本浪费和工期延误就是应用 BIM 技术所节约的成本和工期。

(2) 室外管网优化排布

根据物探资料及图纸对室外管线进行复原建模，并根据现场的实际情况进行管线优化排布，同时将各专业模型整合，进行碰撞检查，预知施工中管线不合理或者复杂的部位，规避错误，降低成本。同时辅助业主及总承包方前期室外管线的调整，搬迁及后期室外管线的接入和排布等工作。提前发现后期室外管线施工过程中可能存在的问题，并提前解决，从而避免因为管线设计原因导致后期施工过程中不必要的返工和停工。

经济效益折算思路：对优化后的室外管网平面布置图与优化前地进行对比，比如说优化前的某室外管线与主体建筑基础有碰撞，但是设计没有考虑到这个问题，后期 BIM 进行室外管网优化时发现了该问题，并优化解决了该问题，那么就针对于该项问题进行假设，假设该问题在施工过程中发生了，会给项目带来多少的成本浪费和工期延误，那么该问题导致的成本浪费和工期延误就是应用 BIM 技术所节约的成本和工期。

(3) 净空与限界检查

通过运行净高分析及碰撞检测针对主体建筑周边净空与限界进行复核，从而提前发现施工过程中可能因为净空与限界对项目造成的施工返工和工期延误的情况。

经济效益折算思路：在利用 BIM 技术进行净空与限界检查的时候，如果发现了现有设计存在净空与限界的问题，那么就通过 BIM 技术的可视化进行讨论分析，并提前解决相关问题，然后假设如果前期没有发现此类问题，后期施工过程中发现了，会对项目施工造成多少成本浪费和工期延误，那么该问题导致的成本浪费和工期延误就是应用 BIM 技术所节约的成本和工期。

(4) 预留预埋检查

通过 BIM 模型提取预埋构件坐标及构件尺寸，将提取数据与项目现场施工数据进行对比分析，复核项目构件预留预埋情况，显著提升项目施工准确性与施工质量，避免因施工错、漏等问题，提升项目质量管理能力。

经济效益折算思路：针对通过 BIM 技术检查发现的预留预埋的错误问题，假设前期没有发现相关问题，后期施工过程中才发现该问题，那么通过预算去评估该问题会对施工造成的成本浪费和工期延误，那么该问题导致的成本浪费和工期延误就是应用 BIM 技术所节约的成本和工期。

(5) 设计测量数据复核

根据设计单位提资的主体模型，对设计单位的设计数据成果进行复核，如果发现了相关数据错误问题，那么就提前指出并形成问题报告反馈给设计单位，进行复核修正，从而避免因设计数据的问题导致现场施工错误。

经济效益折算思路：针对发现的错误数据问题，假设前期没有发现该问题，后期施工过程中才发现该问题，那么通过预算去评估该问题会对施工造成的成本浪费和工期延误，那么该问题导致的成本浪费和工期延误就是应用 BIM 技术所节约的成本和工期。

4.3 施工阶段

(1) 预制构件精确定制

在施工阶段，若按照传统方式依据二维图纸进行预制构件加工，常常会出现预制构件空间定位困难，难以安装就位等问题。利用 BIM 技术可精确进行预制构件定制，确保预制厂商制造的预制构件在尺寸、材质、强度、规格、型号方面与设计预期高度吻合，保证构件制作精度。

经济效益折算思路：针对在 BIM 技术深化的过程中发现的问题进行统计工程量，将这部分工程量作为变更量计算节约的成本。

(2) 盖梁吊装

由于盖梁是异形结构，按照常规方法计算重心比较困难，采用 BIM 技术通过三维模型准确提取盖梁的重心，并按照受力及几何线形要求，准确给出吊点三维坐标，便于快速完成吊装工作。

经济效益折算思路：采用传统方式与 BIM 方式分别进行计算，统计计算所需时间。从而统计出所有盖梁计算节约的时间，然后计算出施工的经济效益。

(3) 4D 施工模拟

将时间与施工任务进度结合实现 4D 施工模拟，对各个施工阶段进行了全过程施工仿真模拟。4D 施工模拟的建立实现了施工先试后建的作业方式，不仅可以提前发现施工中可能出现的问题，也能够为施工单位更加合理安排资源和劳动力提供有力支持，并有效降低施工风险，控制工程成本。

经济效益折算思路：通过在使用 4D 模拟过程中发现的进度滞后，并通过调整进度计划后按时完工，这部分进度时间计算成本，从人工、机械等消耗量上计算。

(4) 基于 BIM 的工程预算

结合项目实际需求，在 BIM 施工管理平台中将模型与施工进度计划关联，工程量清单进行联动，实现材料量的自动统计，为项目在施工过程中预算提供相关的数据支撑。

经济效益折算思路：通过与同类项目单位体积工程量计算误差进行对比，从而计算出 BIM 技术的经济效益。

(5) 基于 BIM 的施工文档管理。

通过 BIM 施工管理平台实现各类文档的集中管理，同时对任意工程构件关联与之相关的施工资料，如施工图纸、施工方案、技术交底、会议纪要、变更记录等，辅助项目进行资料管理。

经济效益折算思路：此部分内容可通过调研常规管理中因为文档缺失、文档查找导致各方多花的时间，计算时间成本。

(6) 基于 BIM 的质量安全管理。

项目施工过程中，通过 BIM 施工管理平台，在 BIM 模型上附加质量安全问题标签、文字描述以及现场照片等。通过问题标签，对发现的问题进行实时跟踪，确保质量安全问题得到及时解决。解决了之前质量安全问题信息传递不及时，处理流程繁琐的问题。

经济效益折算思路：通过对比分析以问题解决时效曲线的形式与同类项目的处理时效曲线，分析得出 BIM 在质量安全方面的经济效益。

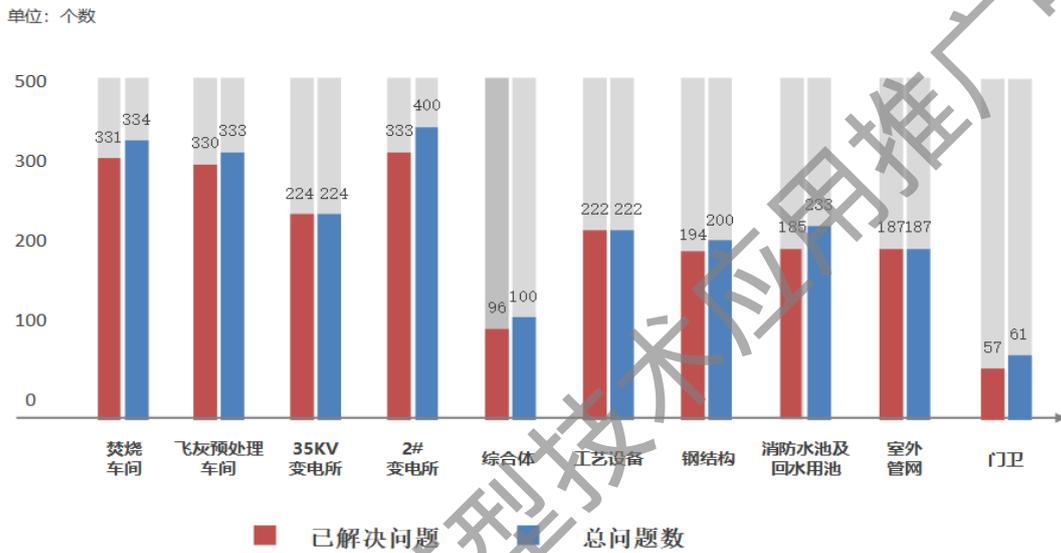


图 4-1 BIM 正向设计解决问题统计表

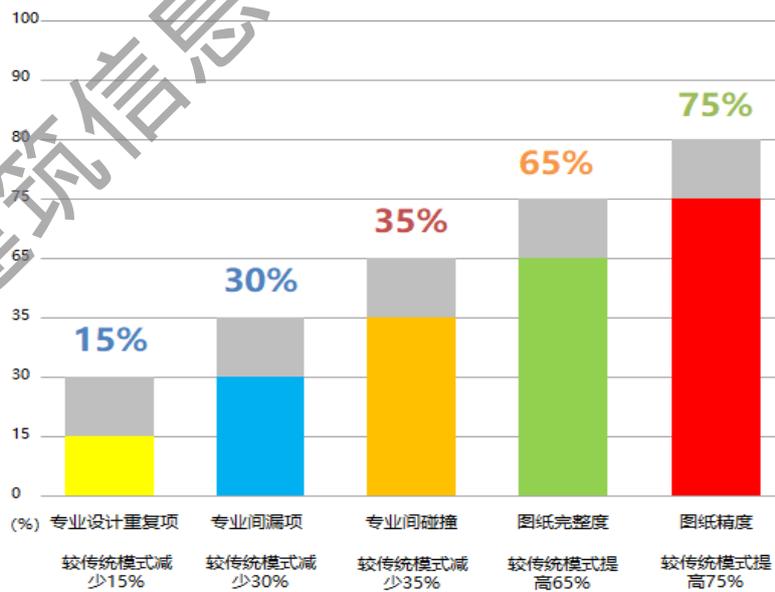


图 4-2 BIM 优化设计应用经济效益

5、BIM 技术应用推广与思考

随着国家政策的推进、BIM 技术的发展、各行业协会与专家、设计以及施工等单位的重视与推广，BIM 技术凭借着具有可视化、一体化、参数化和共享性等特点得到工程界的认可，已经在房屋、桥梁、地铁等领域的设计、施工和管理中得到了一定的推广与应用。目前，在一些地产开发单位、设计院和施工单位都相继成立 BIM 研发中心或 BIM 技术部，将 BIM 技术应用到建筑项目的建设全过程中，使 BIM 技术真正落地，鉴于开发企业、设计院和施工单位的技术实力和综合能力，设计院应该起到牵头作用。设计阶段建立的参数化模型将大量的数据集于一处，直接影响着 BIM 在施工和运维阶段的信息传递和应用效果。设计阶段信息模型能否有效、快速地传递到其他阶段，将直接影响地产开发商的项目申报周期、成本核算和工程质量等。

中国建筑行业是传统粗放式的管理，通过标准化管理和 BIM 技术的革新，才能有基于 BIM 数据的精细化管理，BIM 不是发展太慢了，而是发展太快了，应该是传统往前跨一步，BIM 往后退一步。BIM 团队能够在项目前期就介入到设计中去，从独立于传统流程之外的 BIM 工作流的双轨制走向并轨，设计团队从一开始的设计就使用 BIM 进行内部纠错和协作，真正做到像国外那样提升 20% 的效率，那么设计院不仅不需要向业主要额外费用，还能节省自己的设计成本。由于设计团队通过 BIM 正向设计在施工图设计阶段做到了最少的错误，施工单位同样引入 BIM 技术，通过对设计院 BIM 模型的数据挖掘，提高自己的施工管理水平，在施工过程中节省成本。就可以做到真正意义上的全方位的节约项目成本，提高整个项目的经济效益和环境效益。业主同样把 BIM 技术应用到项目全生命周期中去，尤其是把 BIM 技术应用到后期的运维中，可以很好地提高自身竞争力。

伴随着计算机运行速度的提升、BIM 技术的不断普及，信息化建设必将与专业技术深度融合，实现建设工程项目 100% 正向设计及出图。随着 5G、VR、AR 技术的发展，信息传递速率瓶颈已经突破，三维模型结合虚拟现实、人工智能参与数据管理评判，都将助力 BIM 贯穿建筑全生命周期。实现工程建设项目的 BIM 正向设计，仅仅只是一个开始，同时也是最重要的一个前提，为未来数字化城市打下坚实的基础。

三、深圳机场卫星厅配套站坪工程

1. 项目概况

深圳机场卫星厅配套站坪工程是深圳机场新一期扩建工程的重点项目之一，本项目共包括 10 个单位工程，其主要工作内容为：场道工程、飞行区道桥工程（不含助航灯光标）、消防工程、给排水工程、污水污物处理管网工程、再生水管网工程、远机位站坪监控系统、综合管廊、绿化、围界及安防工程等。

2. BIM 技术应用概况

2.1 工程范围

本项目新建混凝土道面约 108 万 m²，沥青混凝土道面 14 万 m²，3#、4#、5#、6#下穿通道总长 2823m，排水沟约 15084m，综合管廊工程长约 2100m 等。

2.2 BIM 应用阶段

本项目是基于 BIM 技术在民航场道专业工程全生命周期的应用探索，利用传统方法结合当前新技术和新材料进行创新，可以提高机场道面工程的管理水平，并在很大程度上提高拌合站运营效率从而提高生产产能。同时，以信息化手段提高项目的信息化水平，并可推广至国内所有民航工程项目。基于 BIM 技术的工程项目的全生命周期管控，一定要避免“两条线”的管理模式，确保落实一套模型贯穿设计、施工至运维全过程。以 BIM 平台为载体，过程中引入的多种技术手段及管理平台，要避免数据孤岛的产生，各个阶段、各个环节的数据互通，是全过程数据高效传递的基础。

2.3 项目 BIM 技术实现目标

2.3.1 辅助项目解决技术及管理难点。BIM 技术落地，为项目创造价值。

难点 1：高程变化频繁，单块混凝土道面工程量统计困难。

目标：（1）程序建模代替手动建模，建立本标段混凝土道面工程模型；

（2）根据施工段拆分模型，实现工程量的精准统计。

难点 2：工期紧，设计单位多，协调难度大。

目标：（1）建立本标段模型；

（2）将图纸问题通过模型可视化，辅助设计院与施工单位做方案沟通。

难点 3：混凝土需求量大，拌合站场内秩序维护困难。

目标：（1）制定交通疏解方案；

（2）由传统的线下流程转线上协同流程，标准化生产，避免过多的人为干扰；

（3）相关岗位人员新技术培训，保证系统平台的稳定运行。

难点 4：施工场地面积广，管理粗放。

目标：（1）将施工环节、验收环节纳入线上管理流程，规范管理；

（2）工程资料可追溯，责任到人，避免责任推卸，严格控制施工质量。

2.3.2 创优创新，树立企业标杆，行业推广。

根据机场指挥部颁布的 BIM 相关标准制定本标段 BIM 建模标准，涉及模型的命名、拆分、属性信息、编码等内容，既满足业主对模型交付要求，又保证模型在施工阶段的顺利运用，减少后期模型维护的工作量。



图 2-1 民航 BIM 建模标准汇编

根据机场指挥部对 BIM 平台的要求，制定本标段 BIM 协同管理平台的运用标准，包括 PW 平台，iWorks 平台及移动端的使用。保证系统协同管理的标准化、数据传递的时效性，数据存储的规范化。



图 2-2 民航 BIM 实施标准汇编

2.3.3 梯队培养 BIM 技术人才，组建企业 BIM 团队

邀请行业专家为项目管理层培训，以行业现状及未来，从企业级、项目级层面论述 BIM 管理模式的运用之道及价值，让项目领导班子重视 BIM 技术的运用，从上往下推行 BIM 技术。对工程相关的职能部门人员进行 BIM 平台培训，保证一线人员能利用 PC 端及移动端录入及查阅现场数据，对与 BIM 室、工程部进行建模端及模型运用端软件的培训，培训周期长达 3 个月，共计 45 课时，确保相关人员能有效运用模型成果、包括碰撞检查、工程量输出、三维辅助方案论证等。

2.4 组织结构

项目由项目经理牵头，执行经理分管，分为模型与智慧工地相结合的模式运营，同时，业主方、业主咨询方、设计方、监理方也全程参与其中，在过程中进行管控，具体组织结构如下：



图 2-3 组织架构示意图

2.5 硬件配置

BIM硬件配置						
序号	名称	用途	配置			数量
			CPU	显卡	内存	
1	台式电脑	搭载指挥中心	i9-9900K	RTX 2080	64G	1
2		VR体验室	i7-8750H	RTX 2060	8G	1
3	笔记本电脑	建模/动画制作	i7-8750H	RTX2070MQ	16G	6
4		平台运用	i7-7700HQ	GTX1050Ti	8G	6
5	100寸一体机	会议室屏显	i7	独显	8G	1
6	平板电脑	移动应用	iPad 9.7英寸 128G			6
7	手机	移动应用	常规智能手机			自备

图 2-4 硬件配置

2.6 软件配置

建模端		模型应用端		平台端	
	Autodesk Revit 三维建模软件，在项目中完成主体结构、基坑、临建模型		3D Studio Max 三维动画渲染软件，在项目中完成施工动画模拟		Luban iWorks 项目协同管理平台，在项目中完成进度管理、资料管理等
	Autodesk Civil3d 道路、场地软件，在项目中完成路线的提取		Fuzor BIM虚拟现实平台，在项目中完成进度模拟		鲁班工厂 app 项目协同管理手机端，在项目中完成进度管理、资料管理等
	Dynamo 可视化编程软件，在本项目中完成主体结构、基坑、临建模型		Autodesk Navisworks 三维设计模型，在本项目中完成碰撞检测		PW平台 PW平台是设计、建模及文件管理协同工作平台
	Tekla 三维钢结构建模软件，在本项目中完成基坑模型		Lumion 3D可视化，本项目用于模型漫游和全景制作		Luban Go 多软件平台数据集成中心

图 2-5 软件配置

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 BIM+VR 在不停航施工中的应用

随着我国航空运输压力的不断增大，机场改建、扩建、维护工程越来越多，不停航施工管理面临着极大的管理挑战。除了比普通工程有更高的质量要求，更严格的工期管理，更繁杂的工程工序外，还需要在保证不影响机场正常运行的情况下进行施工，这对施工管理者提出了更为严格的要求。

不停航施工管理的核心目标是在工程实施的全过程中保证航空运行安全与正常。强化机场不停航施工管理，确保不停航施工安全有序进行，最大限度地减少不停航施工对机场正常运行项目根据现有图纸进行场景建模，通过 BIM 建模还原不停航施工禁区内的真实场景。

项目通过将 BIM 技术与 VR 技术进行有效地结合，营造一种虚拟漫游的效果，加强不停航施工的安全教育。相关管理人员从可视化的效果中得以提升安全意识。



图 3-1 不停航施工 VR 模拟

3.2 人员管理

智能安全帽区域定位。本站坪工程施工作业面达 108 万平方米，施工人员分散，管理协调难度极大。智能安全帽是以工人实名制为基础，以物联网+智能硬件为手段，通过工人佩戴装载智能芯片的安全帽，现场安装基站数据采集和传输，实现数据自动收集、上传，最后在移动端实时数据整理、分析，清楚了解工人现场分布、个人考勤数据等，可查询区域或者作业面人员人数的展示，单击区域或作业面展示人员数量，工种种类，各工种人数的柱状图。给项目管理者提供科学的现场管理和决策依据。也能为事故处理和救援工作提供可靠的数据依据，保证抢险救灾工作的高效运作。

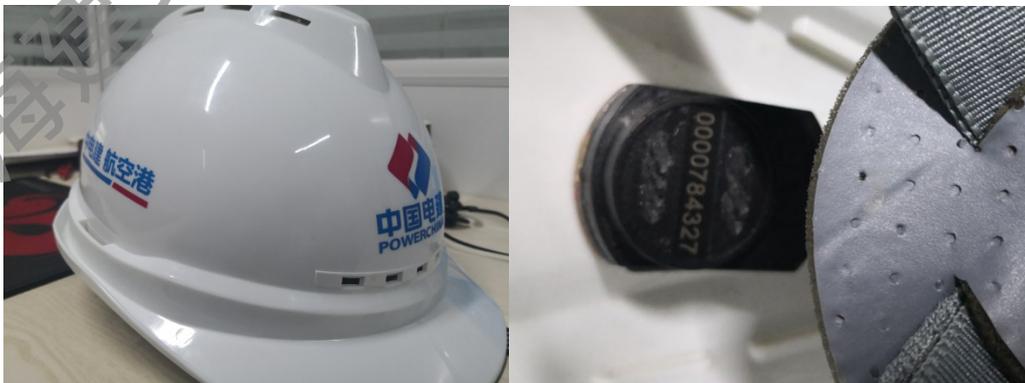


图 3-2 智能安全帽芯片装置



图 3-3 现场人员统计

3.3 人员 GPS 定位管理

不停航施工中的人员 GPS 定位。在常规施工区域类，通过人员区域定位可实时了解工人工种现场分布的大致情况，但就不停航施工区域而言，区域定位的精度是不够的，无法满足获取每个施工人员的准确位置。为更好地把控人员在不停航施工区域的位置及运动轨迹，项目引入 GPS 定位安全帽，实现对现场人员位置的精准把控。通过在系统平台上设置警戒区域，当现场人员误入红线范围内，平台立即发生警报，并第一时间自动告知该施工人员已经越过警戒区域内，做立即撤离等动作。通过系统平台的智能控制，及时有效地遏制施工人员的不规范的动作，防止因应急动作的不及时而造成安全事故。

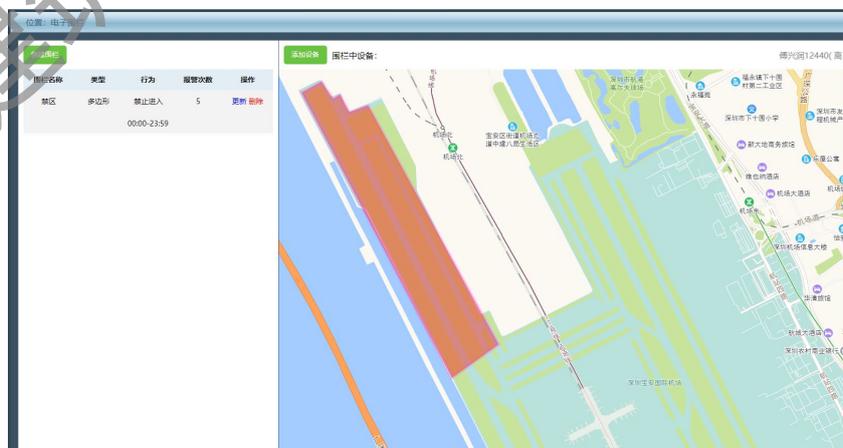


图 3-4 机场禁区电子围栏

深圳机场项目部不停航施工的施工范围在飞行管制区内，如果工人随意跑动可能会导致严重的后果，所以电子围栏功能就显得尤为重要，电子围栏功能可在管理端创建多个电子围栏对佩戴安全帽人员禁止外出或入内，提高安全性。



图 3-5 现场人员轨迹回放

3.4 车辆出入口管理

机场工地现场为中大型建筑工地，进出车辆数量多，种类多，车辆情况复杂。为更好地规避安全风险，通过在施工现场主要出入口加装车牌识别系统，对进出施工现场的车辆进行拍照登记，包含车牌牌照号码、车型，车辆进出场时间等，自动采集车辆出入记录，有效规避不明车辆进出现场，同时也有助于材料车辆进出现场的核对。



图 3-6 车辆识别流程

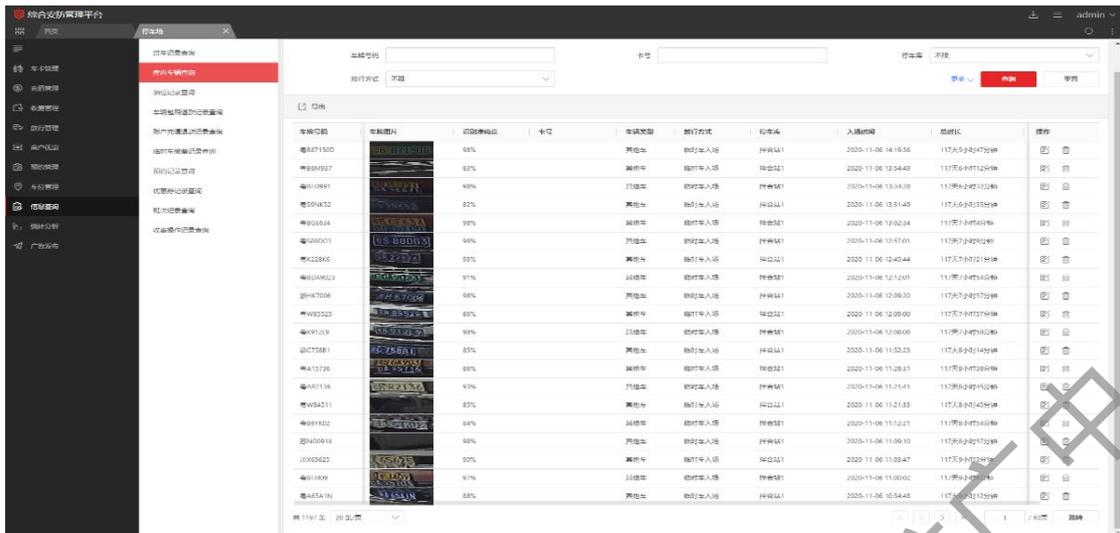


图 3-7 现场车辆出入登记

3.5 车辆 GPS 定位、警报及油耗管理

禁区不停航施工进出车辆数量多、种类多，再加上禁区内路况复杂，存在许多导航敏感区和严格限制区，车辆若不按照设定好的路线行驶，容易造成车辆侵入事件或影响导航设备运行，安全风险系数大。为更好地规避上述安全风险，通过在机场安检道口加装车牌识别系统，在车辆对进出禁区的车辆进行拍照登记，包含车牌牌照号码、车型，车辆进出场时间等，自动采集车辆出入记录，有效规避不明车辆进入禁区，车辆进入禁区后，在到达作业面的过程中，将经过许多高风险区域，若司机未能完全理解安全交底的内容或者存在操作失误，极易引发机场运行事故。为确保施工车辆在经过审批的安全路线上行驶，项目引入车辆 GPS 定位模块，安装在每辆施工车上，并规定好行车轨迹及行驶区域，一旦车辆行驶过程中超出行驶范围，平台即可推送警报，提醒司机及相关责任人。方便现场人员对车辆的把控，并在一定程度上杜绝车辆侵入事件。

施工区域大，机械车辆多，车辆跟踪维护困难。通过安装油量传感器，当车辆出现油量的异常变化时，系统就会推送警报，并及时记录数据，告知相关责任人。很大程度防止施工人员的偷油倒油现象。



图 3-8 油耗监测与定位硬件模块

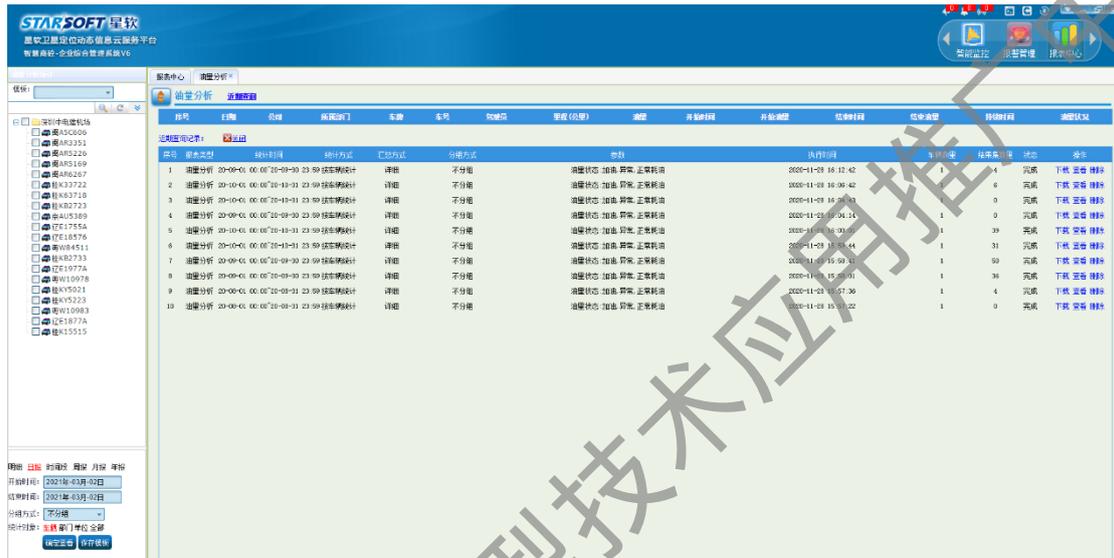


图 3-9 车辆油耗管理分析

3.6 环境监测

绿色施工，文明施工是现阶段建设项目的的基本要求。通过对工地架设扬尘噪声监测系统，依托自动化监测设备，实现对施工现场区域环境的空气及噪声进行实时监测，其中室外环境监测设备可对噪声、颗粒物浓度（PM2.3、PM10）、风向、风速、湿度、温度、大气压等多项环境参数要素进行全天候现场精确测量与LED屏实时显示。同时，设备支持通过3G/4G网络与深圳机场项目智慧工地云平台的对接，将监测数据实时上传。项目管理层可通过系统数据实时获取现场的环境情况，当扬尘、噪音数据过高时，及时补救，保证工地的绿色文明施工。



图 3-10 环境监测数据统计

3.7 BIM+智慧工地集成

智慧工地与 BIM 技术作为工程建设信息化的手段，越来越多地被运用于工程管理中。但现阶段大多数项目使用，两大系统相对独立，数据复用性不高，数据价值无法更好地体现。通过系统的集成，将 BIM 系统平台与智慧工地对接，基于 BIM 技术的项目管理的同时，提高信息数据的及时性和互通性，避免信息孤岛。同时基于云平台的软件架构，确保信息数据的可追溯性。

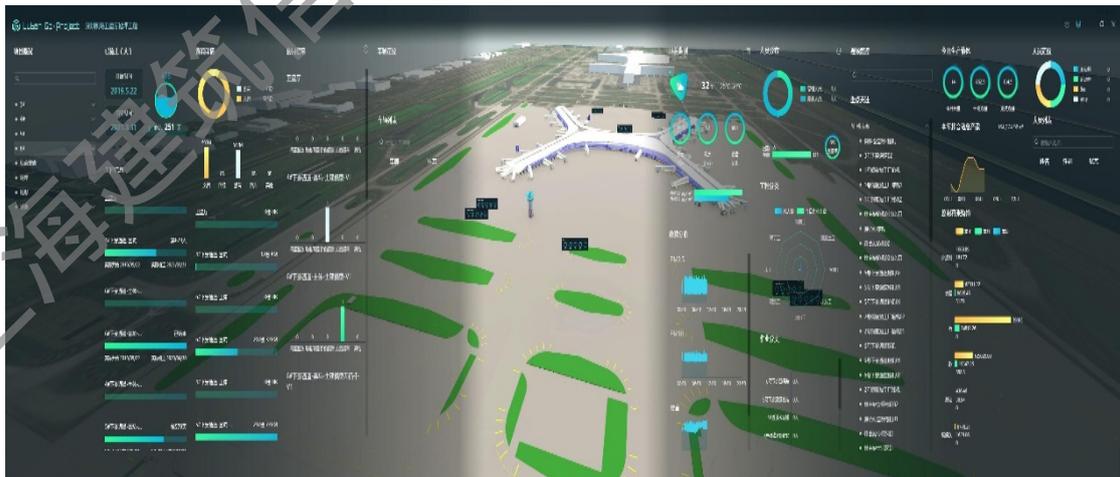


图 3-11 BIM+智慧工地指挥中心

4. BIM 技术应用效益及测算方法

按照民航机场传统的混凝土施工控制的方法，整个混凝土工程全生命周期存在高能耗、高损耗、低效率的情况。特别是在现场工作面部署、物料管理、生产过程管理、进度管理等方面存在严重不足，进而造成设备和人员窝工、物料库存不合理、管理线条复杂、物料损耗大等情况，本项目通过上述技术的应用，累计完成设计优化 20 项；道面混凝土生产调度速度提高约 10%，提高车辆使用效率约 15%，机械设备费利用率整体提高 12%；砂石料、钢筋、水泥等主材损耗由原来 5%降低至 3%。由项目机物部、工程部初步核算，项目自引进 BIM 技术之后，共减少 4 个岗位人员，释放至少 9 个岗位的工作压力，降本增效同时降低现场质量、安全风险。

5. BIM 技术应用推广与思考

基于 BIM 技术在站坪工程全生命周期的应用探索，利用传统方法结合当前新技术和新材料进行创新，可以提高机场道面工程的管理水平。同时，以信息化手段提高项目的信息化水平，并可推广至国内所有民航工程项目。基于 BIM 技术的工程项目的全生命周期管控，一定要避免“两条线”的管理模式，确保落实一套模型贯穿设计、施工至运维全过程。以 BIM 平台为载体，过程中引入的多种技术手段及管理平台，要避免数据孤岛的产生，各个阶段各个环节的数据互通，是全过程数据高效传递的基础。

四、中山大学·深圳建设工程项目

1. 项目概况

中山大学·深圳建设工程项目位于深圳市光明区公常路以北，康弘路以东，羌下二路以西，与东莞黄江接壤的猪公山周边区域。校区规划总用地 144.82 公顷，总建筑面积约 129 万平方米，投资估算 101 亿元，包含建筑单体 70 余栋。校园规划建设主要满足“医、理、工、文”四大学科群办学基本条件，建成后办学规模可达 2 万名学生。该校区选址用地自然形成“一山矗立，七丘拱卫”的格局，建筑单体环山而建，绿畴广袤，自然地貌丰富。建筑设计遵循“神形兼备，和而不同”的理念，单体造型新颖，突出中国风格、中山精神、中大文化和地域特色。校区建设着眼于服务国家创新发展战略、粤港澳大湾区发展需求，深入促进深圳市开放式、国际化高等教育体系建设，为城市经济社会发展提供强有力的人才保障、智力支持和科技支撑。



图 1-1 中山大学深圳校区建成效果图

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用背景

- 1) 校区设计需传承中山文化，同时充分发挥地域优势，使建筑群与山水相融。
- 2) 要构建新的校园生态圈，设计“绿色校园”，形成发达的海绵生态脉络。
- 3) 校区占地面积大，空间布局需合理考量。
- 4) 工程施工内容众多，建设周期紧张，施工组织困难。
- 5) 项目地形复杂，测量难度高，土方测算不易。
- 6) 建筑单体排布紧凑，现场可利用空间有限，场地布置困难。
- 7) 室外工程除排污管网、照明系统，还包括综合管廊、海绵城市等工程，施工量较大，进度难保障。
- 8) 项目参建方众多，协同管理难实行。
- 9) 项目施工涉及的新工艺及新技术内容复杂多样，施工过程把控难。

2.2 应用策略

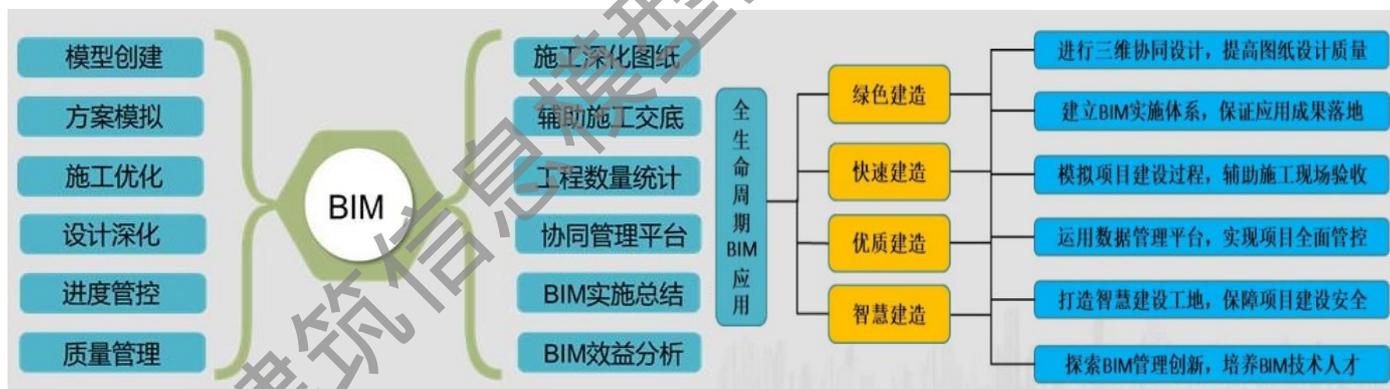


图 2-1 中山大学·深圳建设工程项目实施规划

- 1) 本项目在全生命周期采用 BIM 技术，建立 BIM 实施体系，探索项目 BIM 管理机制的创新，为项目建设提供有力保障。
- 2) 优化管理手段，明确管理流程，加强过程中管控，实现模型指导施工。
- 3) 建立基于 BIM 模型和平台的工作模式，管控各参建单位的计划任务和督办事项。
- 4) 有效监管设计、施工、监理的履约情况，促进 BIM 高质量延续和发展。

2.3 组织建设

2.3.1 组织架构

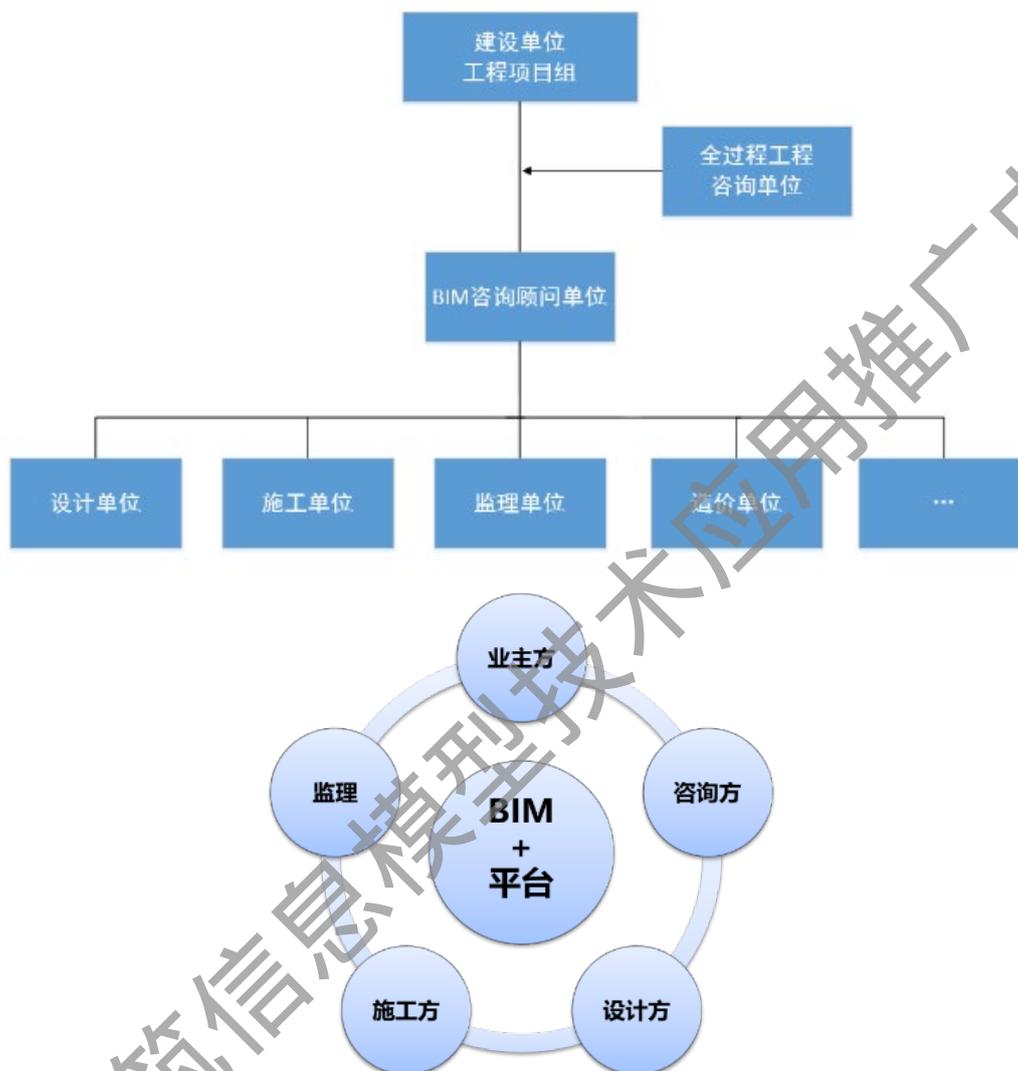


图 2-2 中山大学·深圳建设工程项目组织框架

项目采用“业主主导、BIM专业咨询、各方参与”的BIM管理模式。由具有建筑工程设计能力、BIM应用和管理经验的设计院作为BIM咨询单位，开展BIM技术咨询与监管工作，为设计及施工过程提供BIM技术应用标准流程和应用指导。监理单位工程师开展基于BIM的施工指导及验收工作，实现对施工质量的严格把控。各施工单位受同条件约束，积极开展BIM应用，基于BIM开展施工管理活动，切实提高施工进度和质量安全管理等方面的水平。相关参建方工作职责分配清晰，形成系统性的组织架构。

2.3.2 BIM 管理体系总体思路

实行业主提出的“以模型为基准、平台为支撑、质量为主线、管理为重点”的BIM指导方针，运用业主方的BIM协同管理平台，开展项目建设管理活动。平台包含模型管理、整合与轻量化展示、基于模型的质量安全及进度管理、任务闭环管理、模型与工程资料线上审批、BIM应用成果管理、现场智慧工地管理、竣工资料管理等模块。通过对各参建方的权限授予，保障工程信息及资料的安全，统一平台，多方协同，模型唯一，实现数据高度共享。



图 2-3 中山大学·深圳建设工程项目 BIM 协同管理平台

2.3.3 BIM 应用环境

秉承深圳市建筑工务署“总体规划、分步实施、统一制度、标准现行、重点突破、有序推进”的建设原则，建立项目 BIM 总体实施方案。基于深圳市建筑工务署 BIM 系列标准，创建项目统一的 BIM 建模标准和统一的 BIM 应用细则等指导性文件，建立 BIM 实施管理制度，明确管理流程、模型审核机制、BIM 评价机制、各方确权等，搭建良好的 BIM 实施环境。



图 2-4 项目 BIM 实行统一标准

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 设计阶段

3.1.1 校园整体规划设计

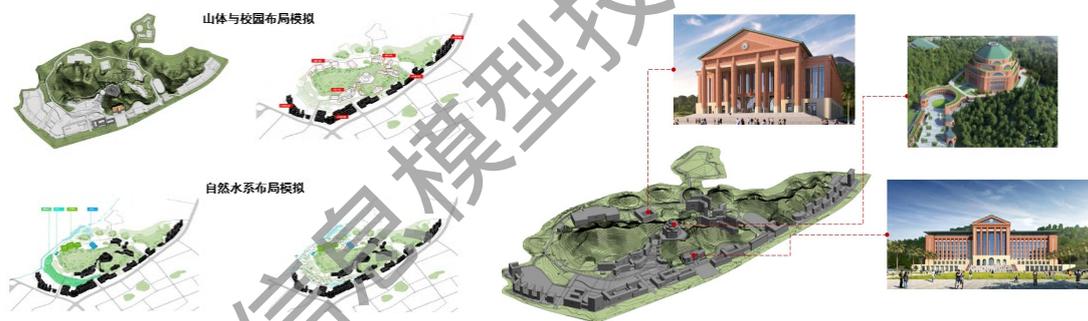


图 3-1 校园整体规划设计

项目总体设计遵循“山、水、礼、学”的建设理念，从这四个角度出发，进行山体与校园布局设计模拟，水系分布模拟，中轴礼仪空间布局、多组团学科交叉布置等设计模拟，提供多套设计方案进行比选，实现以中心山体为校园绿核，布局滨水景观带，南北轴线为中轴，学宿对应、学科交叉、教研融合、功能多元复合的创新型校区。

3.1.2 “绿色校园”设计

利用 Rhino 进行设计道路参数化建模，在 Revit 将道路设计模型与原始地形场地数据链接生成完整的场地数据模型；根据设计方案调整驱动相应三维模型，配合设计分析道路系统，进行步行流线、行车流线，实现绿色交通体系。并在此基础上，沿路及山体底部设计排水汇水路由，合理规划校园生态网络，实现各类地表径流的汇聚及净化，完成海绵校园的设计。



图 3-2 “绿色校园”设计

3.1.3 单体建筑方案设计

利用 BIM 模型配合设计分析各单体区域三维空间关系，并根据设计意图逐步更新分析模型并进行建筑功能及空间划分方案比选；对建筑单体室内外进行光环境、风环境及声环境等绿建模拟分析；单体外立面设计在总体基调一致的原则上把控细节，最终完成单体的建筑设计。

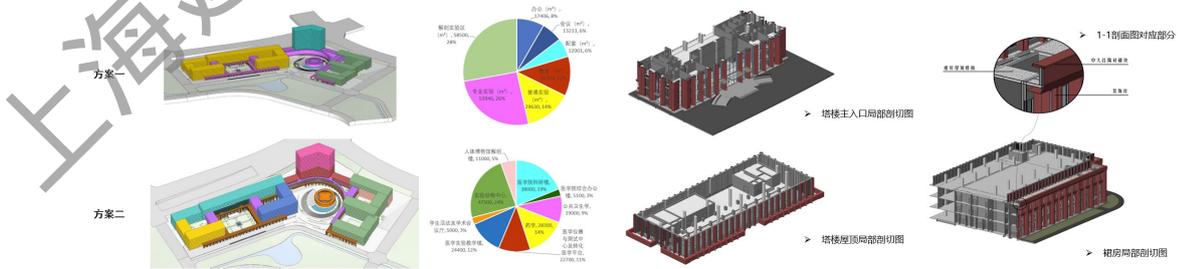


图 3-3 单体建筑方案设计

3.1.4 校区整体挖填方计算

利用相应 BIM 模型，采用 ArcGIS 软件对中山大学深圳校区模型进行计算，提供填挖方统计数据。

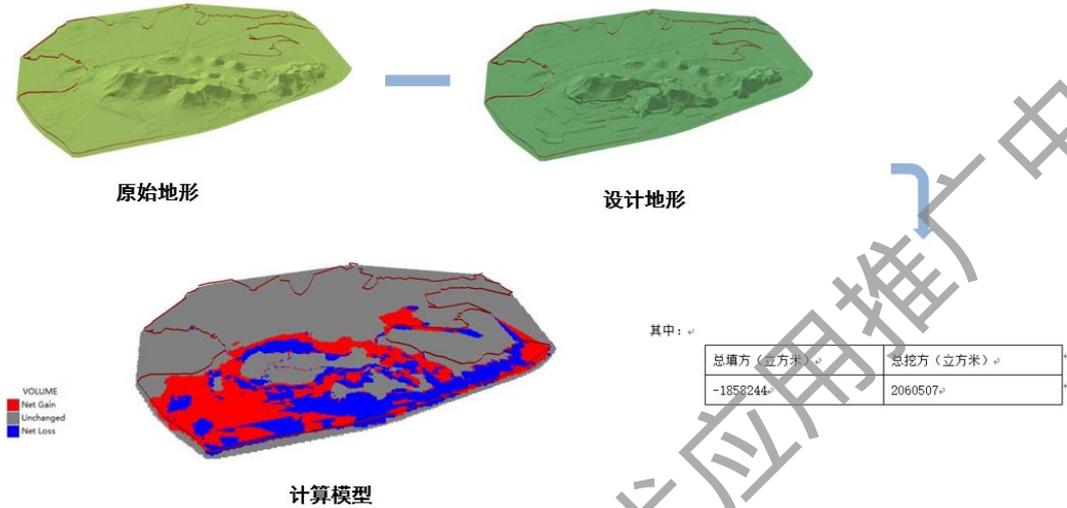


图 3-4 校区整体挖填方计算

3.1.5 单体结构方案设计

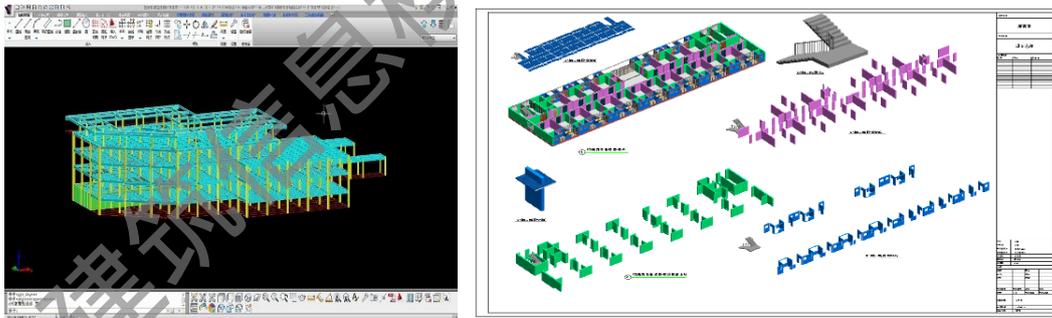


图 3-5 单体结构方案设计

采用结构设计软件开展单体结构方案设计 & 结构验算等工作，本项目中还包含装配式结构设计，利用 Revit 进行装配式预制构件参数化建模及分类，最终实现三维出图。

3.1.6 机电协同设计

采用三维协同设计，建筑、结构、水暖电、室内灯工程基于服务器端平台进行三维协同设计。设计优化协同过程中，专业之间在线沟通碰撞协调方案，以解决室内净高不足等影响项目品质的问题。

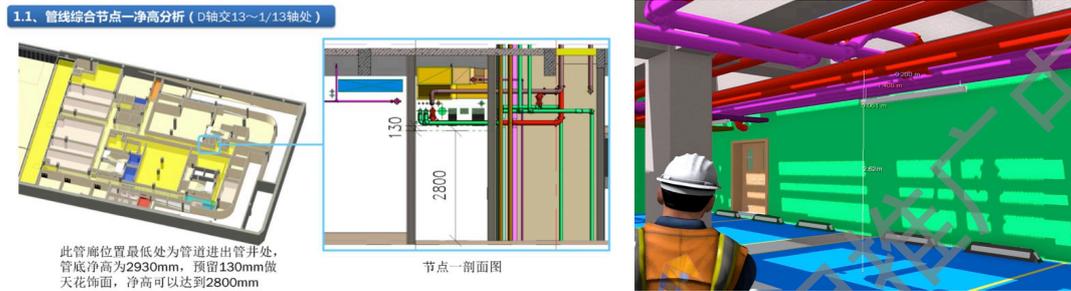


图 3-6 机电协同设计

3.1.7 校园集约型管廊深化设计

- 原方案下层为大电缆
- 桥架均需上翻至高点再下翻
- 考虑到中低压电缆出线便捷性
- 插座箱等设备安装位置空间不足

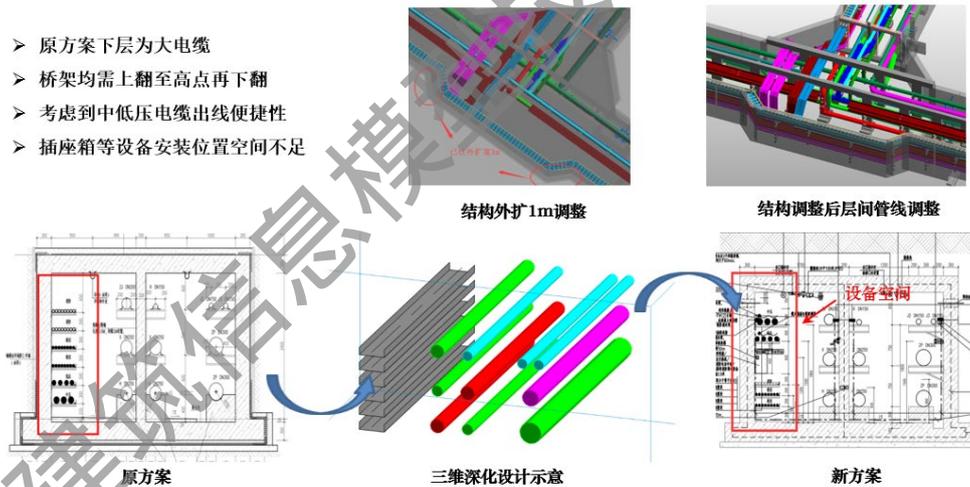


图 3-7 校园集约型管廊深化设计

校园内紧凑型管廊不同于城市市政常用管廊，此类管廊内机电管线种类多，单舱面积小，各廊段管线分布不同，机电施工阶段空间狭窄。在保证主要通道的检修走人空间的基础上，对管廊内机电进行深化，原则上减少管道拐弯，减少管件个数，水管在竖直面上下布置。最终形成新的交叉口及断面布局方案。

3.2 施工阶段

3.2.1 施工现场组织管理

项目环山而建，地形较为复杂，采用倾斜摄影技术，还原场地真实环境，利用 Navisworks 的协同性，进行实际场地、拟建物与规划临设的虚实模拟，实现三者的协调。

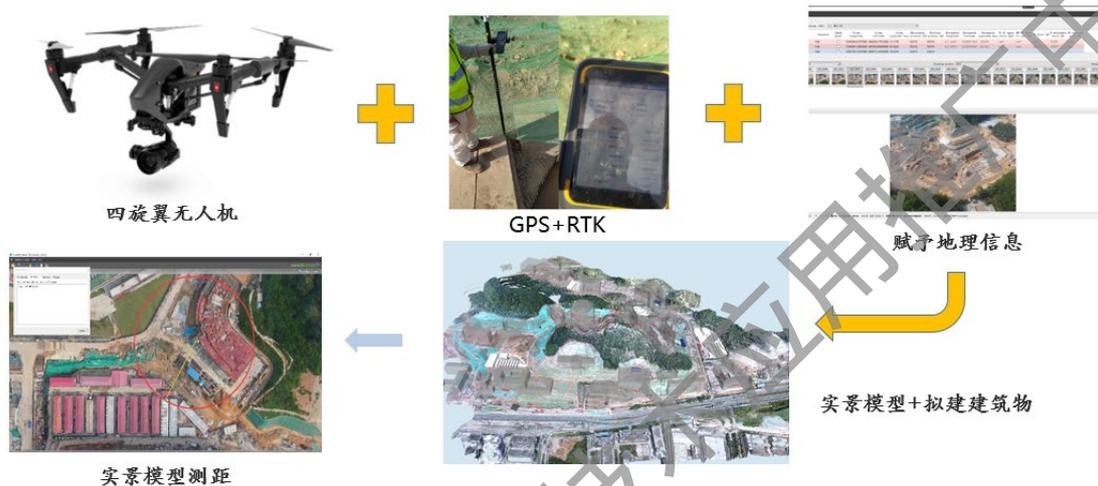


图 3-8 施工现场组织管理

3.2.2 施工现场雨水回收利用系统

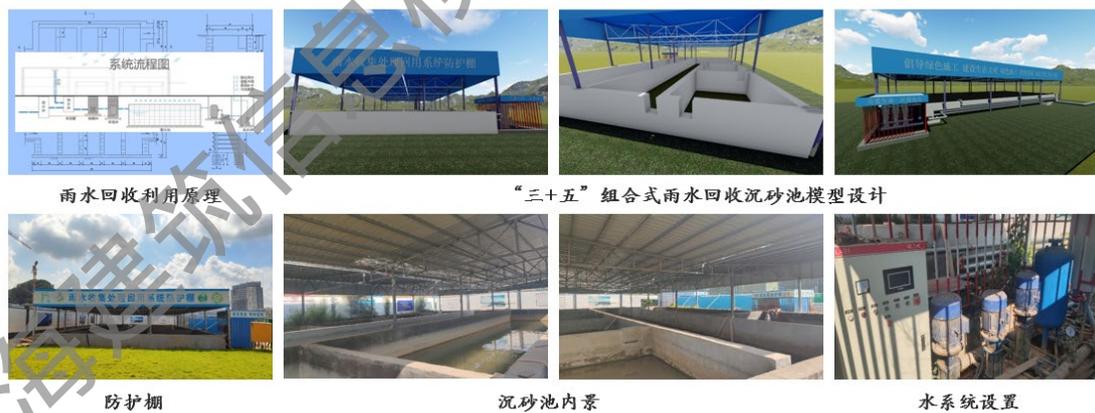


图 3-9 雨水回收利用系统设计

在设计院出具的施工期排水措施基础上，增设雨水回收沉砂池，利用 Revit、Lumion 进行规划设计，在五级沉沙池的基础上增加三级沉沙池，提高水的净化率，合理布置抽排水系统，并将净化水有效应用于降尘喷淋系统。

3.2.3 “大挑檐”施工平台技术方案模拟

根据 BIM 仿真分析，采用支架支撑搭设平台，施工量大，速度慢，且占用场地时间长，故决定采用悬挑支架支撑方案：在构架层的下一层设置悬挑工字钢，工字钢上铺设次龙骨，形成悬挑平台，然后在平台上搭设扣件式钢管满堂架，形成模板支撑体系。创建 BIM 模型后进行施工过程受力分析及安全性验算，最终确定架体形式。

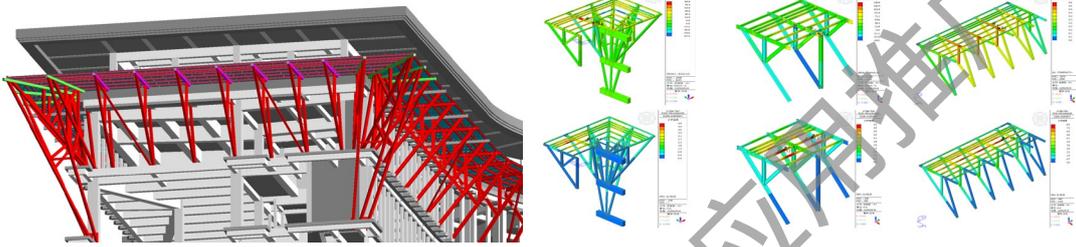


图 3-10 “大挑檐”施工平台技术方案模拟

3.2.4 陶砖幕墙施工方案模拟

陶砖幕墙施工部件众多，施工复杂程度高，深化结果不完全通用，因此开展复杂节点可视化模拟，做到图模结合，现场一致，辅助现场施工及质量检查，对策划、把控过程施工起到指导性作用。

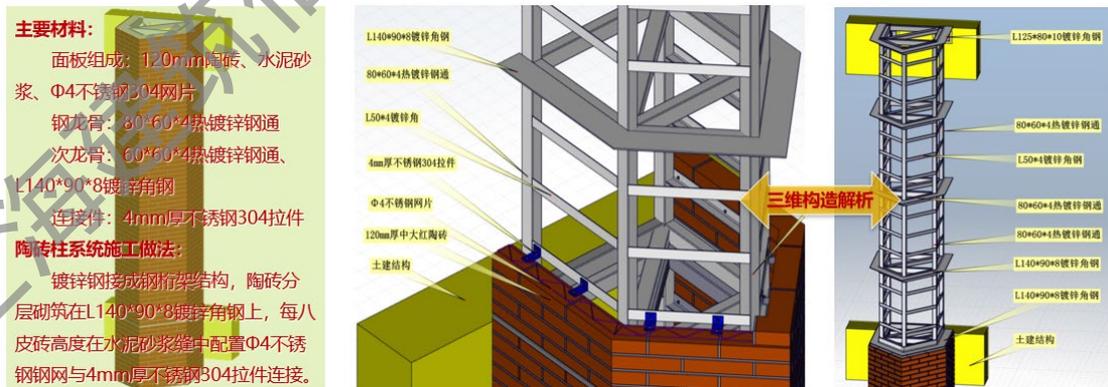


图 3-11 施工现场组织管理

3.2.5 装配式施工方案模拟

使用 BIM 技术进行装配式施工技术方案的优化后，利用深化好的装配式分解单元模型，在动画模拟软件中进行施工全过程的虚拟动画预演，形成技术性的指导视频，内容包含 RFID 芯片追踪过程、生产运输、吊装步骤、安装细节等。



图 3-12 装配式施工方案模拟

3.2.6 铝模施工方案优化

创建铝模 BIM 模型，并进行优化排版，突出施工工艺，着重优化拼接部位，分解拼接单元，利用模型制作铝模的安装动画演示视频，在指导施工作业中发挥着重要作用。

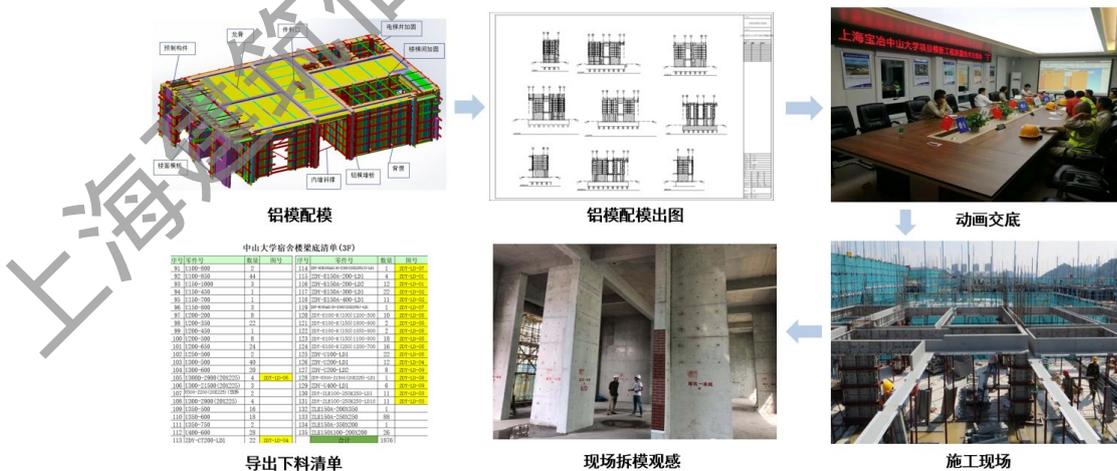


图 3-13 铝模施工方案优化

3.2.7 4D 进度模拟

在动态 3D 模型中赋予时间信息，关联施工进度计划，将施工过程的每一个工作以可视化形象的建筑构件虚拟建造过程来展现。利用 BIM 技术和施工进度相结合，把控关键施工节点，进行虚拟建造，提前预知问题、解决问题，确保施工连续性，保障施工进度。



图 3-14 4D 进度模拟

3.2.8 施工协同管理



图 3-15 施工协同管理

充分利用协同管理平台，并搭配多平台应用，有效开展施工协同工作，最大化体现 BIM 模型与深化图纸对现场施工、技术复核、施工验收的指导意义，并形成关键技术路线，是保障“实模一致性”的重要措施。

3.2.9 施工质量管理

①施工过程中严格执行样板引路制度，结合实体样板，设立样板展示区。以首件样板引领，结合 BIM 虚拟样板，应用在工艺交底中。把控工序，指导现场施工。

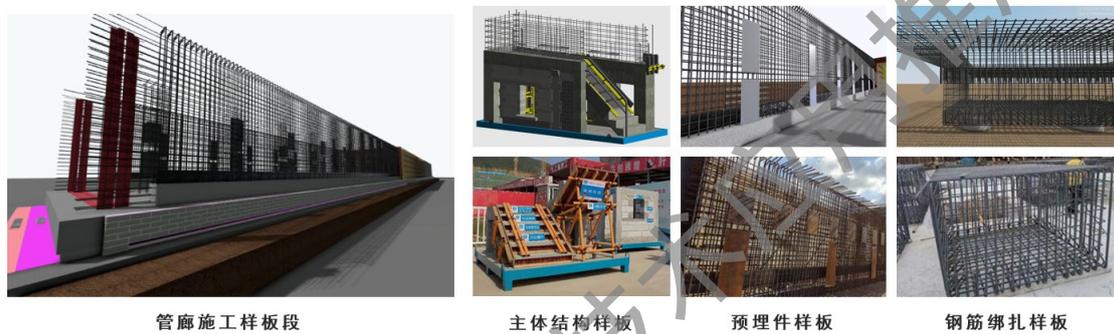


图 3-16 BIM 虚拟样板

②在传统二维交底的基础上增加 BIM 可视化手段，针对不同施工关键点，利用对应的 BIM 模型或工艺视频等，增强交底效果，加深被交底人对关键部位关键工艺的记忆，从而强化施工交底的作用，对质量管理起到实质性的帮助。

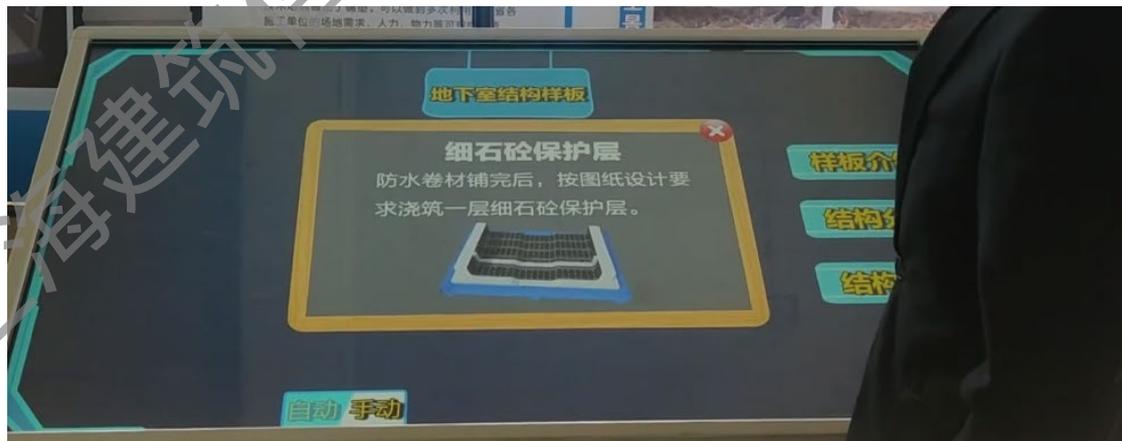


图 3-17 施工工艺 BIM 模拟实操教育

3.2.10 施工安全管理

①引进 VR 施工安全教育系统，以实际建筑施工中的安全体验区为切入点，采用先进的 VR 技术，对一线管理人员开展 VR 体验式安全教育活动。



图 3-18 VR 施工安全教育

②项目医科组团共部署 7020 塔吊 5 台，7030 塔吊 3 台，塔吊布置密集，利用 BIM 技术模拟群塔碰撞情形，查找极限参数。为塔吊防碰撞监测系统提供限高、限位等参数，最小化塔吊运行安全风险

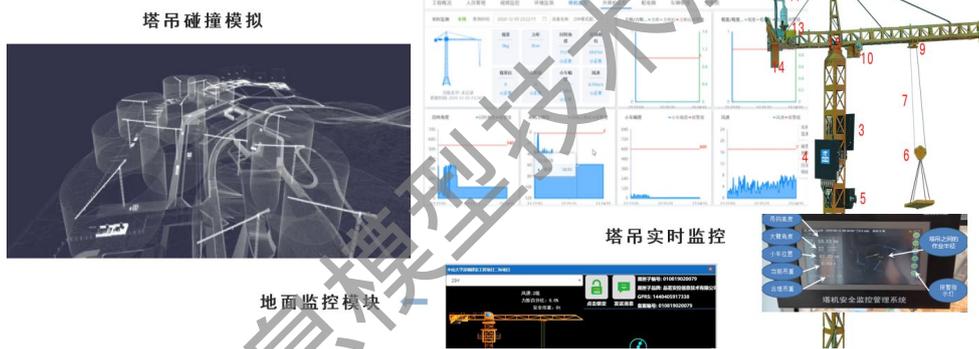


图 3-19 塔吊碰撞模拟

③临边防护是项目安全管理的重点之一，利用 BIM 模型开展临边洞口识别，模拟布置防护设施，在高空易坠、施工区域、材料堆场，塔吊周围等危险区域设置防护栏杆、盖板等，避免现场遗漏洞口未做防护的风险，保障人员安全。

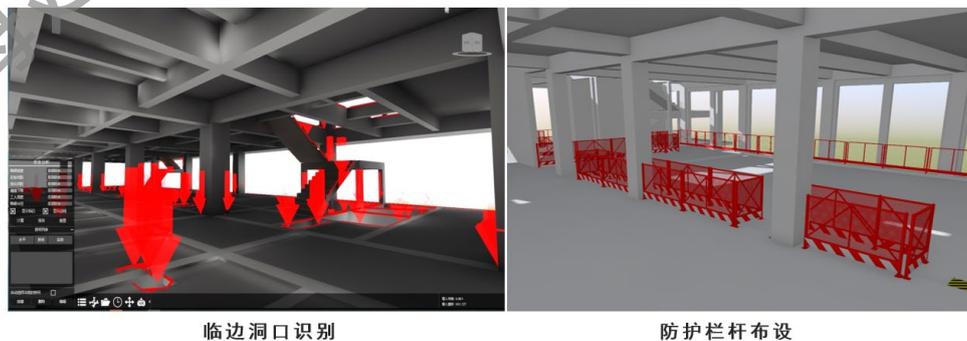


图 3-20 临边防护模拟

3.2.11 工程量统计与管理

由 BIM 模型转换为广联达算量模型，形成项目的基本工程量信息模型，在此基础上开展项目的造价管理工作，利用造价软件套入工、料、机地方定额，编制项目概预算文件，为价值工程分析和限额设计提供相关数据支持，实现材料的最优使用和成本的有效控制。

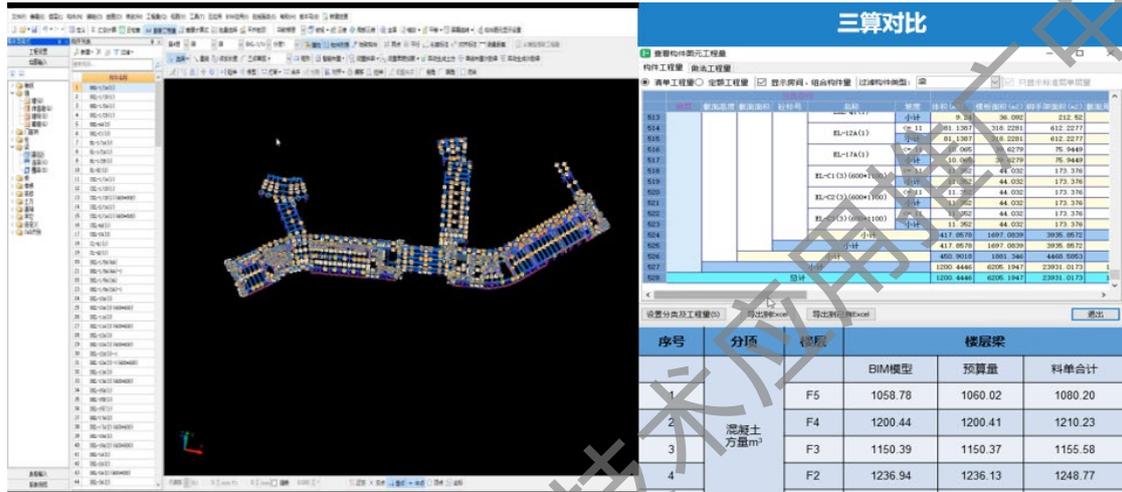


图 3-21 工程量统计与管理

4. BIM 技术应用效益与测算方法

BIM 技术的使用，提升了本工程项目的建设效率，应用 BIM 技术的过程中，项目充分发挥了三维可视化的优势，有效减少因二维图纸错漏碰缺而造成的返工误工问题；基于模型开展方案模拟优化等，加快方案报审速度，保障施工前置条件；利用 BIM 动画演示等，明确施工工序及有效传达施工工艺及技术准则，提高工人学习热情及知识素养，保障工程施工质量；在模型中进行危险源识别及临设布置等，排除安全死角，确保工程施工安全；结合工程计划及实际进度曲线等，分析工期差异，及时纠偏，加快工程进度；基于 BIM 模型开展工程量统计及成本测算，避免重复建模，有效提升造价管理效率，有利于材料管理、成本控制及量差分析等工作的开展，从而实现更多的经济效益。

项目应用效益测算结果如下：

表 1 经济效益测算

应用点	测算指标	节约成本
集约型管廊优化	优化交叉口 25 个，总长 7.68km	/
室外工程碰撞优化	优化碰撞 356 处	/
雨水回收利用系统设计	节水 20 万 m ³	75 万元
幕墙深化设计	降低陶砖损耗量 60 万块，降低铝板损耗量 1200m ²	312 万元
机电套管预留	实现套管预留 1000 个，开凿的机械费和人工费 160 元/个	16 万元
机电深化图纸	优化管线综合计算 10100m，按 160 元/m 考虑	161.6 万元
PC 深化	pc 构件预留洞口及线管，节省套管约 10000 余个，线管约 2500m	285 万
BIM 质量培训及交底	减少实体样板 5 套	10 万元
进度把控	节约工期 11 天，按每日 80 个工人计，人工 300 元/天	26.4 万
合计	/	886 万元

5. BIM 技术应用推广与思考

随着信息化观念的深入人心以及国家和各地区对 BIM 工作的大力推广，企业对 BIM 技术的应用和深入研究已成常态，像“企业对 BIM 技术认知不深刻”、“信息传输失效”、“广度和深度受限”等问题早已不是制约 BIM 发展的主流因素，类如本工程一样的体量大、工程复杂、关注度高的项目，基本具备资金充足，BIM 从业人员技术经验丰富，软硬件设施完备，企业 BIM 应用成熟度高等发展和应用 BIM 技术的优越条件，从实施的角度上来讲，工程信息化在工程建设中应用与普及已是必然趋势。然而，大体量工程往往面临着工程形式复杂、工程量大、参建单位多、工程数据庞大、数据时间跨度久等不可忽视的现实因素。如何统筹管理 BIM 工作及成果、使 BIM 技术真正落地应用，避免重拳打棉花现象的发生是每个项目需要考虑的重中之重。

本项目中值得推荐的 BIM 应用推广经验有：

1) 掷地有声的 BIM 实施政策、一以贯之的 BIM 管理体系以及专业的 BIM 管理团队是项目 BIM 工作顺利开展的首要前提，只有做好“管控 BIM”的工作，将管理工作标准化和精细化，将“管控 BIM”深入到“技术 BIM”的关键节点，“技术 BIM”才能切实有效地推进信息化工作落地，真正做到服务于现场。

2) 协同管理平台和多样化智慧建造手段的应用会是现阶段乃至未来 BIM 工作的重要环节，在提高工作效率、节约时间成本、增强各方联动等方面效果显著。

3) 随着项目的深入开展，参建方越来越多，工程难度也越来越大，只有建立更有效的评价机制，针对特殊功能单体深入推进 BIM 应用研究，将 BIM 应用成果汇总成可借鉴的范本，将 BIM 工作体系建立成可复用推广的模式，才能更好地利用 BIM 技术为项目建设增砖添瓦。

五、中国共产党第一次全国代表大会纪念馆项目

1. 项目概况

中共一大纪念馆位于上海市黄浦区黄陂南路以东地块内，东、南至太平桥绿地、西至黄陂南路、北至湖滨路，建设用地面积 4237 平方米，总建筑面积 9690 平方米。

项目地下一层，建筑面积 6780 平方米，主要功能为展厅、库房、设备机房；地上一层建筑面积 2910 平方米，分主楼和副楼两栋单体，主要为入口门厅、过厅、多功能厅、贵宾接待以及部分设备用房，建筑高度 12.15 米。



图 1-1 工程周边环境

2. BIM 技术应用概况

2.1 应用框架

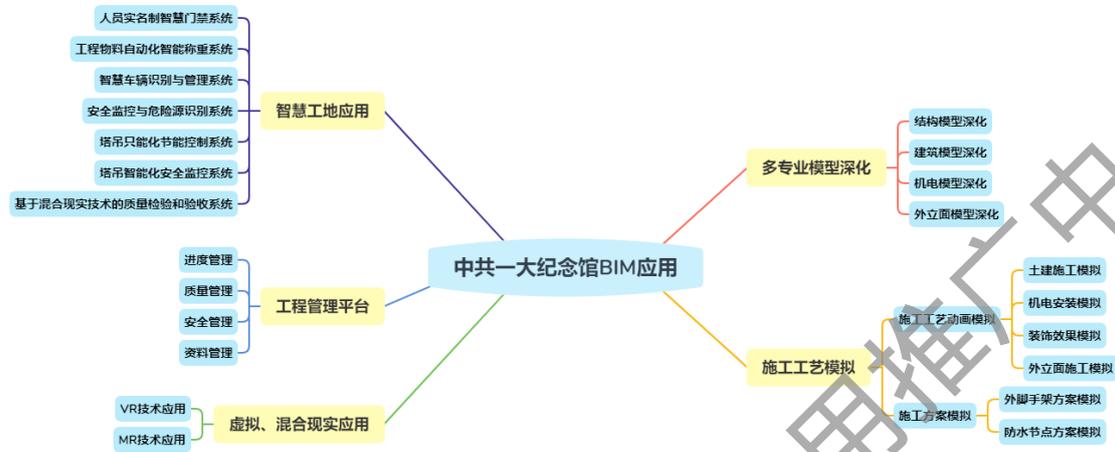


图 2-1 一大纪念馆 BIM 应用框架

2.2 应用管理流程



图 2-2 一大纪念馆 BIM 应用管理流程图

2.3 BIM 应用难点及分析

2.3.1 项目施工需更高效

本项目从立项到设计出蓝图共用时 3 个月，设计图纸完善度较低，恰逢新冠疫情，在严格划定开馆时间的情况下，从打桩到移交展陈仅剩 16 个月施工时间。

需确保深化及时跟进，提高逆向设计效率，在保证专业性深化设计足够完善的情况下，加强综合性深化设计的应用，改变工程行业普遍存在的“后做避让先做”的现状，避免大规模的墙体开洞、管线改道后与深化设计不符等问题。为项目体孪生交付问题提供支持，并在场馆对外开放后，提供运维应用的基础。

2.3.2 BIM 应用深度探索

高标准的总承包管理，不仅仅是完成高质量的主体结构，还需对各个分部工程之间的协调配合进行高效的管理。通过 BIM 技术对各专业工作进行线上集成化管理，围绕施工计划，在获得设计图纸后第一时间介入深化，尽快反馈，给予施工以更多的提前量。

本工程地理位置特殊，地下室需长期经受地下水及太平湖水的考验，对抗渗漏及其他施工工艺要求高，为了能够保证最大程度上技术对施工的指导作用。拟使用更多可视化的交底手段，让现场工人能更加直观地理解工艺流程。

2.3.3 粗放型管理向高质量管理转变的需求

建筑业的生产管理模式仍然较为粗放、浪费现象较为普遍，与高质量健康发展要求相比仍有较大差距。

建筑业长期被认为是高危行业，属于劳动密集型行业，具有产品固定、人员流动大、露天施工等特点，施工中危险性大、工作条件差、不安全因素多、预防难度大。根据住建部《2019 年房屋市政工程安全通报》，全国共发生房屋市政工程安全事故 773 起、死亡 904 人。

基于物联网的智慧工地系统旨在通过对一系列智能硬件和物联网技术进行研究，对施工过程中的信息进行采集分析，针对分析结果，打通各硬件间的信息孤岛，是目前解决痛点的重要手段。

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 多专业模型深化

3.1.1 模型搭建深度

建筑模型的搭建主要是作为施工管理的工程信息的载体及施工过程中技术应用基础。模型的精细程度应完全根据项目立项初期对精细化管理的实质性需求以及工程实际的应用价值，应从技术价值、经济价值和政治意义等多个方面进行对比。

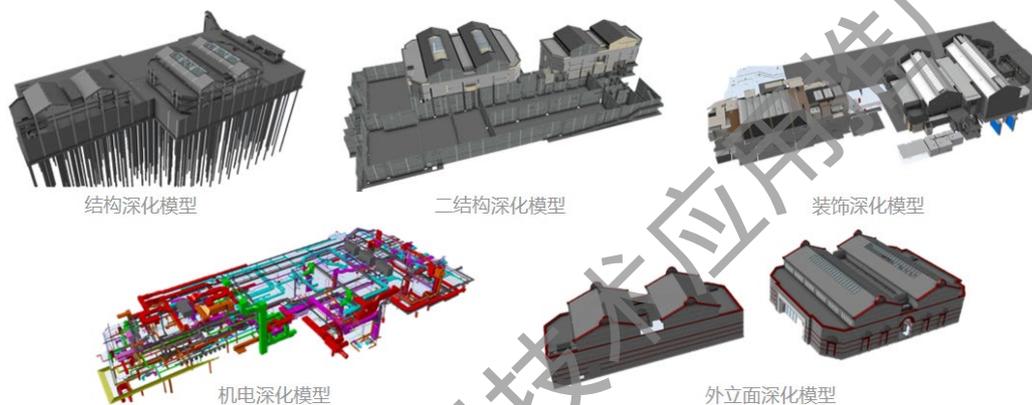


图 3-1 中共一大项目模型汇总

本项目因后期存在孪生交付及运维管理等需求，故对模型搭建提出如下要求：

- **结构及建筑模型：**需与设计图纸及现场施工情况三者之间保持完全一致；每一个构件均需进行信息编码操作（信息编码已由人工编码变为插件随机生成），以满足进度管理模块需求。
- **机电安装模型：**因支吊架、风管等均须在现场实测实量后进行制作加工，存在一定程度上的人为偏差，故不要求现场机电安装情况与模型完全一致，但需保证偏差不影响到管线的排布顺序及管线走向，检修处及机房区域不存在偏差印象后期运营维护即可，在建筑物完成交付时，机电模型需对此类区域根据现场实际情况进行模型维护，并最终达到交付目的。
- **室内装饰模型：**室内精装修模型主要应用于净高分析，设计视觉效果展示和机电管线末端定位等，所以对精准度及视觉质量都有很高的要求，需确保模型三维视觉效果与设计要求一致，材质不应存在色差等。

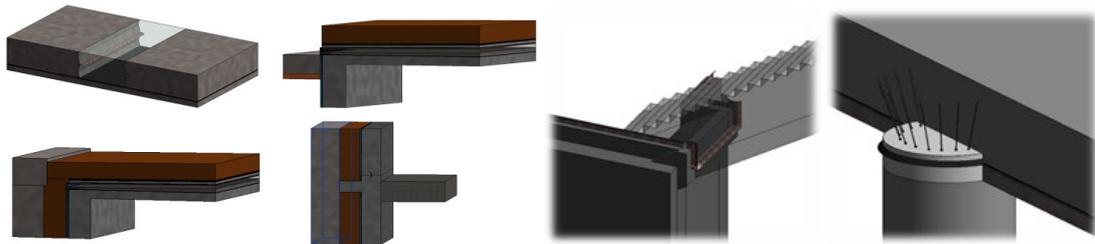


图 3-3 特殊节点三维模拟

建立防水方案模拟模型，旨在构建一个以集团为单位的样板库，积累常规及非常规防水节点处理三维模板，当积累量达到一定程度后，能够提高技术岗位相关工作效率，并对新进项目工程师及技术员进行技术处理指导，构建企业级三维图集。

(2) 二结构深化

二结构深化部分，在完成了初版建筑模型基础上，通过对比市面上现成的插件的测试评估，选择适合本项目的插件，控制相关构件参数规则来实现模型一键生成，并导出 CAD 底图，为进一步施工图深化做好基础工作。

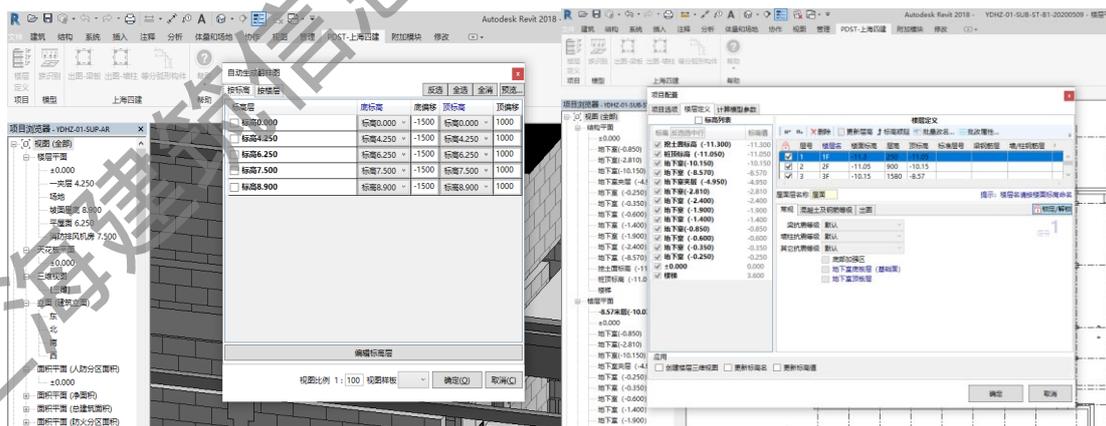


图 3-4 构件自动生成

(3) 机电深化

针对复杂机房，为避免在实际施工时出现支架支腿密集，影响后期调试维护且影响美观的情况，与现场班组复核，机房模型综合排布出图。

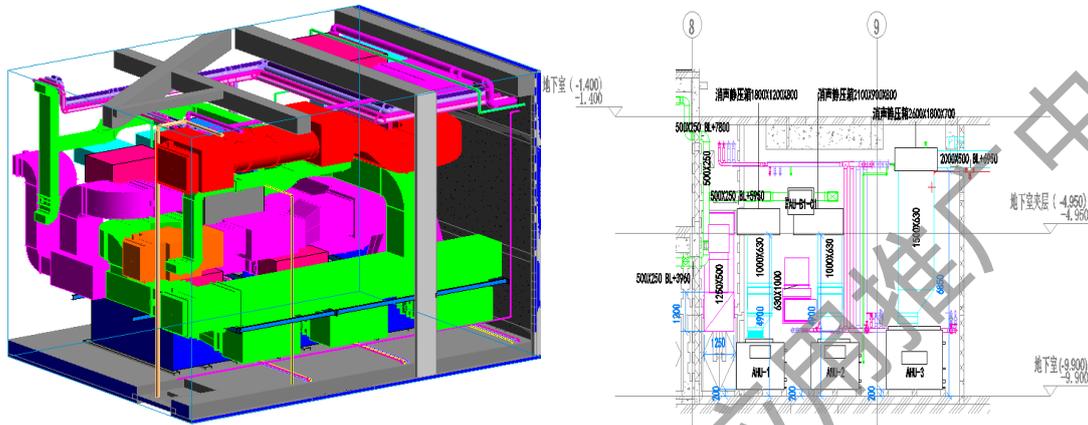


图 3-5 复杂机房管线优化出图

机电深化后模型与结构建筑模型进行碰撞和二次深化，根据管线留洞位置对每一处构造柱、二结构圈梁等进行调整。

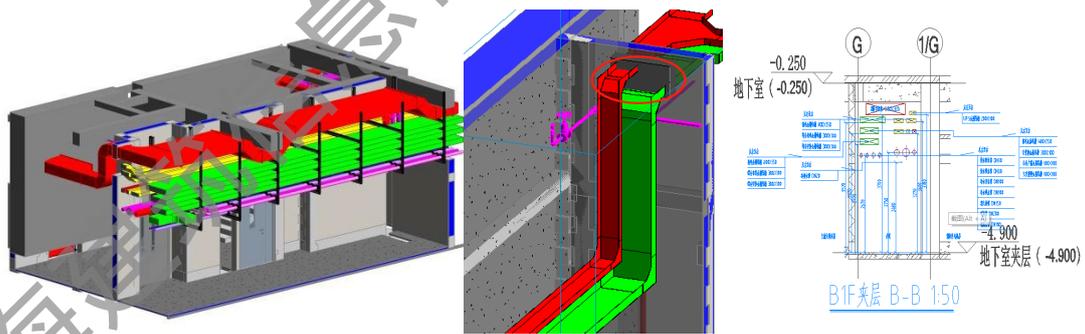


图 3-6 走道支吊架优化出图

由于地下一夹层管线密集，机电走廊综合完成后，剖面出图，确认共用支架间距尺寸，保证走道空间净高，并可节省一些建筑材料。

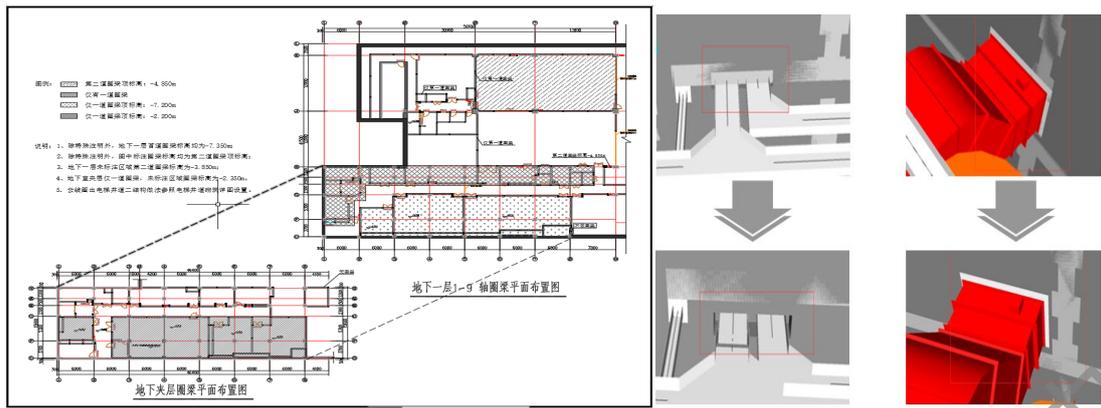


图 3-7 二结构深化布置图

(4) 室内装饰深化

本工程地下室功能复杂，机电管线繁多，对于空间占用很大，故机电管线综合深化的情况对于装饰吊顶底标高的控制起到至关重要的作用。在对地下室标高进行分析时，共发现 3 处顶标高不能达到设计要求，在与设计协调后，最终对房间净高进行了下调。

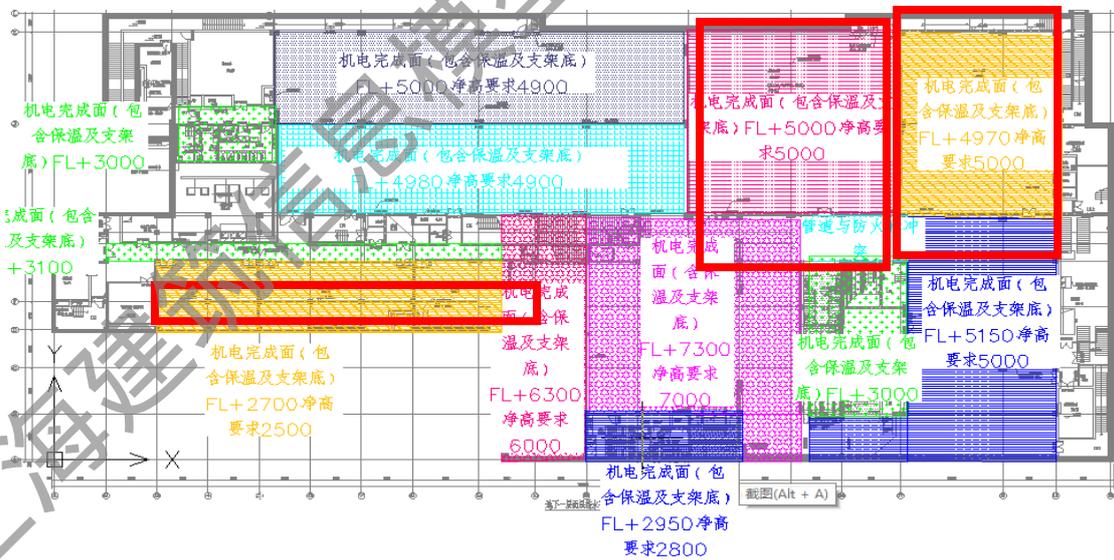


图 3-8 地下室净高分析

3.2 施工工艺模拟

专业	工序模拟内容
结构建筑	防水方案模拟（模型）
	脚手架方案模拟（模型）
	施工方案模拟（动画）
机电安装	空调箱运输方案模拟（动画）
	风冷热泵吊装模拟（动画）
	空调机房安装模拟（动画）
	地下一层管线安装顺序模拟（动画）
室内装饰	一层大厅漫游模拟（动画）
外立面砌筑	Moke-up 小样工序模拟（动画）
	拱圈排砖施工工序模拟（动画）

图 3-9 施工工艺模拟汇总表

建立 BIM 4D 施工流程模拟，可找出施工中的冲突点进行讨论。通过模拟制定相应的解决方案，尤其是工序、工法以及施工下料等关乎成本的系数，都可以通过模式过程进行一一确定，最终制定最佳施工方案。

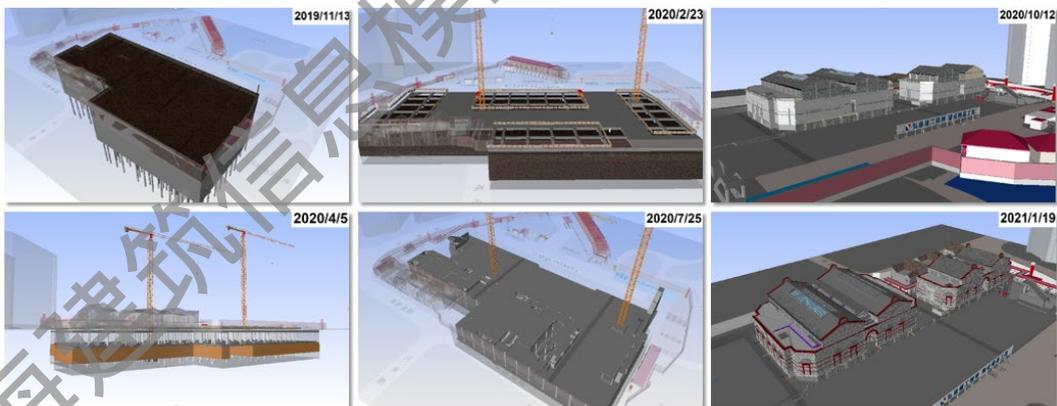


图 3-10 4D 施工方案模拟

BIM 4D 施工流程模拟，将模拟结果制作成施工动画，并将动画成果与工地现场进行比对实证，通过直观且易懂的动画特性，让分包商在施工前可以先行讨论，针对施工当中的冲突先行检讨进行修正。这样既可以大大提高施工各方相互沟通的效率，还可以大幅改善施工返工以及误工等问题，并且降低了非专业人员对于施工作业的理解难度。



图 3-11 施工工艺模拟展示

3.3 虚拟、混合现实应用

3.3.1 虚拟现实应用



图 3-12 VR 模拟应用实例

导入 FBX 模型前，需在 revit 中对原始模型进行“模型组”分类，同一材质的构件，导出一个 FBX 模型文件(其余构件选择隐藏，并将隐藏应用于导出模型)。导入到 twinmotion 中，选择“合并全部”，则软件会识别模型组对材质进行整体修改。



图 3-13 Twinmotion 模型导入分类

在 VR 应用的过程中，我们发现平时用于 VR 场景制作的软件 twinmotion 导出的 BIMmotion 软件漫游效果很好，仅需通过，在建筑结构模型的应用中也有很好的效果，技术员只需要通过在 BIM 部门提供的文件内，进行简单地前后左右的移动，便可达到审核相关图纸的效果，解决大量无法在平面图，以及建模过程中也不能发现的实用性问题及设计缺陷，这一应用技术被现场技术员所普遍接受。

3.3.2 混合现实应用

本工程为项目部配备头戴式 MR 眼镜，基于 MR 眼镜对项目进行施工质量交底、放线测量和施工质量验收。

	<p>光学：全息透视镜（波导）</p> <p>分辨率：2K 3:2 光引擎</p> <p>头顶追踪：4 个光源摄像头</p> <p>眼部追踪：2 个红外摄像头</p> <p>深度：1-MP 飞行时间深度传感器</p> <p>相机：800 万静止图像，1080p30 视频</p> <p>麦克风：5 通道</p> <p>存储：64GB UFS2.1</p> <p>包括 WiFi、Bluetooth: 5.0 模块</p>
---	--

图 3-14 MR 眼镜及相关参数

基于 MR 的现场质量验收:通过预先在 MR 设备中上传 BIM 模型,到达现场后,根据当前所处实际位置,并在模型中找到相同的虚拟位置,并将二者加以对正重合,使虚拟模型与实际场景进行叠合,并在 MR 眼镜中进行对比,查看实际的差异。可以通过手势交互,测量实际物体与实际物体、实际物体与虚拟物体、虚拟物体与虚拟物体之间的间距,将发现所有差异性情况作为质量问题,可进行记录备案。

应用需求分析: 本项目 BIM 深化程度高,土建模型深化时均需与安装模型、室内装饰模型进行碰撞协调,建筑模型进行二结构深化时,要求深化构件(构造柱、圈梁等)需尽可能避让机电管线。规定多专业碰撞检测由总承包单位负责,而不是将土建模型交于机电单位,让分包单位深化避让。这一工作流程的调整主要针对的是施工现场一直存在的后做避让先做的问题。以往总包将土建深化模型交于分包,而后分包基于总包提供的模型进行进一步深化,本质上与现场“后做避让先做”没有区别。利用 MR 技术,对机电安装情况进行校验,可有效验证深化工作进行流程调整、职责转移后,管理精细化程度是否得到明显提高。



图 3-15 MR 技术现场应用

3.4 工程管理平台

智慧建造平台旨在通过建筑信息模型（BIM）、WebGL、数据库等技术进行信息存储和可视化展现，应用物联网和智能移动设备等技术实现建筑全过程信息收集，应用云计算技术进行系统部署和数据维护，并针对不同用户情况提供 Web 端、微信端等多形式的管理入口，为建造过程检测、分析和管理提供集成化信息平台，促进精益化建造管理的实施。平台特点在于，根据项目情况基于 BIM 模型确定管理对象，包括管理对象的最小层级、细度、类别，在进度、质量、安全等管理过程中，通过定期录入施工进度信息、质量问题照片及质量检验表单等质量信息、安全问题照片及安全问题处理情况等安全信息，并将之关联到对应的管理对象上，从而实现全过程 BIM 信息集成和智慧建造。

3.4.1 进度管理

公告管理主要分为人为发起公告和自动提醒公告。人为发起公告主要用于发起人在平台端进行安全会议、验收工作、技术交底等通知，发起人可对需通知人员进行筛选，若是周期性工作，也可进行周期性设定，方便工作的实施。附件可添加过程照片，保留珍贵的图像资料。另一方面，自动提醒公告，主要是对接气象部门发布的预警通知，若遇到极端天气，可提醒项目经理，提前进行工作部署。

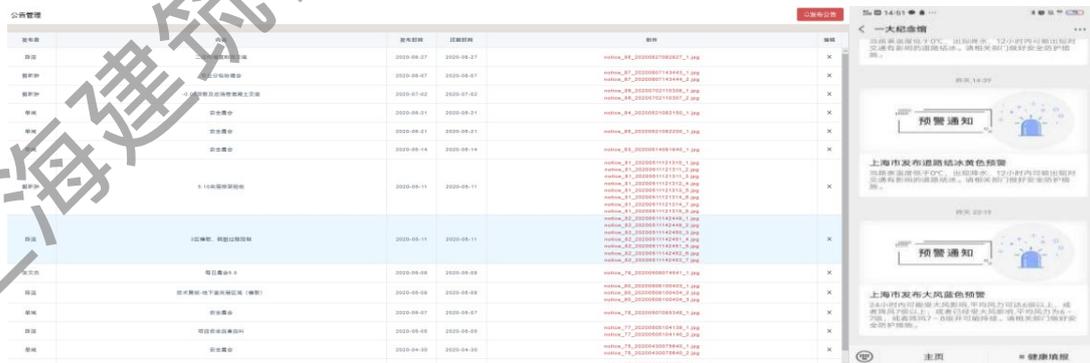


图 3-16 公告管理发布

通过将总承包每周的汇报内容置于平台中，每周例会前智慧建造平台会自动采集该周的运行数据，包括进度、质量、安全等方面，减少了人员重复录入的时间的同时，也提高了整个周报报表的生成效率，并支持总承包管理人员修改并自定义内容版块。通过该措施，可使总承包汇报的工作更加形象化、直观化、具体化。平台会自动整理往期周报，并进行归档。



图 3-17 工程周报应用

3.4.2 质量安全管理

质量安全整改单，虽属于不同的管理模块，但其后台流程和操作办法基本上保持一致。本板块后台流程已经足够成熟，也能够使用移动端快速进行问题发布，目前流程为：发起质安整改单——分包处理质量整改单——总包审核整改情况——关闭质安整改单。审核不通过的，可回退至处理人处要求重新整改。其他人可根据需求设置问题提醒。



图 3-18 质量、安全整改单

3.4.3 资料管理



图 3-19 资料更新应用

在建设工程中，工程资料是建设施工中的一项重要组成部分，是工程建设及竣工验收的必备条件，也是对工程进行检查、维护、管理、使用、改建和扩建的原始依据。在资料管理板块，管理者可以对工程过程中各种记录文件进行归纳管理。资料管理提供文档标签功能，可对所有文档贴上特定的标签，以便进一步的分类管理，也可将同一图纸的所有设计变更关联，资料更新可查看历史版本，可为后期的索赔提供非常便利的服务。



图 3-20 用户使用行为统计

协同平台后台还可获取用户行为统计数据，分析可得：

- ①用户使用频率随时间波动不大，反映出平台应用融入了日常管理使用中；反之，则使用未形成习惯，需要重点监督；
- ②用户使用模块与其所属部门较为吻合，公共模块如资料管理，使用频率较高；

③关注各部门、各条线用户使用频率统计，对低频使用用户，分析原因，若是平台自身问题，则着重优化平台，若是操作人员问题，则加强使用的监督。本项目开始至今，已产生资料文件近 300GB。

3.4.4 协调管理

本项目由于项目施工时间短，模型深化时间紧张，我部对模型工作进行了分工处理，由于交接版本繁多，且均是过程版，用传统手段很容易出现误用旧版、降低效率的情况。故我部根据此需求设定了新的处理流程：发起模型交接——模型交接——结束模型交接。其中“发起模型交接”和“模型交接”两步均可相互流转，并且在这两个环节任一执行人均可发起“结束模型交接”。应用效果达到了预期。



图 3-21 模型文件交接应用

3.5 智慧工地应用

3.5.1 智慧门禁系统

① 设备布置

该设备通过有线网络与工地服务器连接，在服务器中部署人脸识别与疫情防控系统支持人员信息录入、人脸识别、自动测温、出勤统计、工资管理。并将数据传统到云端工业互联网平台进行未戴口罩识别和未戴安全帽识别，支持疫情和安防防控。



图 3-22 智能门禁闸机

② 人员基本信息库管理

新入场人员均需进行人员信息录入，通过本地管理后台软件，刷去身份证原件并自动获取身份证信息，新建人员后，再补充录入人员其他信息，包括：人脸图片、单位、工种、手机号等。从而逐步形成集团级人员基础信息库，无需重复录入信息。

编号	姓名	年龄	性别	联系方式	所属	工区	工种	劳动队伍	劳务角色	在岗状态	进场时间	出场时间
1	程松节	36	男	13828795110			砌筑工	测试	建筑工人	在岗	2019-03-13 13:34:16	
2	谭安平	23	男	17324277856			管理人员	管理人员	建筑工人	离岗	2019-03-07 18:30:38	2019-11-08 18:05:24
3	蒋联红	30	男	15367518333			管理人员	土方班组	建筑工人	在岗	2019-02-16 12:37:29	
4	张小丰	35	男	18312511068			管理人员	土方班组	建筑工人	在岗	2019-02-16 12:49:20	
5	王高峰	27	男	18711494246			管理人员	土方班组	建筑工人	在岗	2019-02-17 10:50:55	
6	李顺友	30	男	13787684222			管理人员	土方班组	建筑工人	离岗	2019-02-16 12:58:42	2019-12-02 09:13:01

图 3-23 后台检测进出人员信息

③ 人脸识别

当已记录在册的管理人员或工人进入施工现场时，通过人脸识别进入的人员，同时自动测量进入人员的额温，如图所示。然后后台人员管理服务将进入人员的进出时间、额温记录到数据库，匹配成果后控制门禁开启。管理人员可以随时查看各出入口的人员进出情况。

④ 人员出勤统计

根据人脸识别统计的人员出入信息，系统可以自动统计不同班组、不同工种工人的出勤统计情况，用于分析各劳务班组的工人到岗情况和实际复工情况，如图所示。若发现有的班组劳务人员到岗情况不理想，可督促企业管理人员尽快协调解决。

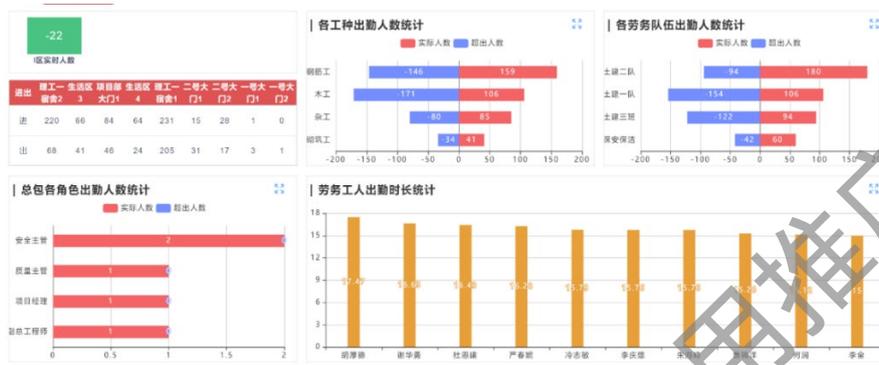


图 3-24 分包人员出勤汇总表

3.5.2 自动化智能称重系统

① 设备布置

对工地现场的地磅进行升级改造，加装车辆识别探头、红外仪等设备。一般要求地磅采用数字信号输入，以便于加以改造，可将称重的数据远程传输至云端。

② 查询运输信息

对接材料公司数据，可直接在小程序上查看当前所有在运泵车的实时详情，包括泵车当前所在位置、司机信息、混凝土级配、方量、施工部位等。

③ 无人值守称重

当混凝土泵车进入现场并驶入车磅中，通过红外仪可判断车辆是否完全上磅，若正确上磅将自动触发称重指令，可自动记录当前车辆的称重情况，并识别该车辆的车牌信息以做好匹配；当车辆完成混凝土卸载，再次进行空载称重。通过两次的重量差值，并自动转化为对应方量信息，对混凝土材料运输情况进行核验，防止亏方等情况的发生。



图 3-25 移动端系统界面

3.5.3 智慧车辆识别与管理系统

① 设备布置

将车辆识别装置部署在工地大门进出口,需根据大门宽度情况灵活选择部署的数量,保证进出车辆能 100%被识别到。

② 车辆自动放行

建立车辆白名单,对于在白名单上的车辆,系统识别后能自动放行;对于不属于名单上的车辆,可即时提醒门卫人员,由门卫进行人工干预;对于是黑名单的车辆,系统识别后即时将预警消息推送至相应管理人员。

③ 车辆进出记录查询

可检索历史时间段内某一车辆所有的进出记录,通过配合视频监控系统,可查询到该车辆的历史行进路线。并可设定项目部车辆容量上限,当超过该阈值时,系统将限制车辆识别系统放行新来的车辆。

3.5.4 现场安全监控与危险源智能识别系统

① 设备布置

对工地各个区域进行实时监控。系统由固定式枪型摄像机、球型摄像机组成。球型摄像机可以 360° 环绕查看和数倍变焦，部署于塔吊顶部，可满足管理人员对大范围区域的动态查看，且可弥补枪型摄像头无法映射的区域。部署于塔吊顶部的球机通过无线网桥将信号传输至地面信息机房。

固定式枪型摄像机为固定视角，主要部署于工地四周、办公区周边、生活区周边、钢筋棚及其他材料堆放区等位置，对工程进度、材料安全等进行记录和监控。部署于工地周边的枪机主要通过网线进行网络传输。除此以外，通过部署若干 5G 点位，实现监控探头的 5G 网络传输。在网页端可以查看选中工地所有视频监控画面，并定时轮播，方便了解工地视频监控总体情况。

② 视频监控点位查看

在网页端可以查看选中工地所有视频监控画面，并定时轮播，方便了解工地视频监控总体情况。基于 BIM 模型查看现场视频监控点位布置，方便后续危险源分析。点击 BIM 模型上的视频监控点位，可以查看对应的监控画面。



图 3-26 监控点位查询

③ 基于 AI 的夜间防盗

通过在系统中划分重点巡更区域，并设置巡更时段。当在巡更时段内有人员闯入巡更区域，则系统会自动报警，并将报警信息推送至安全管理人员，可有效保证项目部材料的安全性。

④ 基于 AI 的安全帽及反光背心识别

通过对相应视频流定时采取抽帧处理，对各帧率的图片进行 AI 分析，可判断图片的人员是否佩戴安全帽穿着反光背心，若有未穿戴的行为发生，系统将自动报警并推送至安全管理人员，提醒其加强管理。

⑤ 基于 AI 的抽烟行为识别

通过对相应视频流定时采取抽帧处理，对各帧率的图片进行 AI 分析，可判断图片的人员是否存在抽烟行为，若有抽烟行为发生，系统将自动报警并推送至安全管理人员，提醒其加强管理。

3.5.5 能耗监控与智能化节能控制系统

① 设备布置

为办公室的空调设备独立供电的插座，支持与办公区或生活区的 Wi-Fi 连接，支持通过 Wi-Fi 远程控制插座的开关；支持自动采集各个插座的用电量，并通过 Wi-Fi 上传到本地服务器，然后上传到工业互联网平台。



图 3-27 能耗监控插头分解图

② 空调能耗分析

对各个房间的空调用能数据进行多维度对比分析，分析节能效果。包括对同类型的办公室或宿舍进行横向比较，分析用能较高的房间，进行有针对性的节能管理；对同一个房间进行纵向比较，分析不同时间的用能特征，挖掘特殊用能情况。

③ 空调远程智能控制

根据人体传感器判定各个宿舍或办公室是否存在使用人员,若不存在使用人员,则定时远程自动关闭相应办公室或宿舍为空调供电的智能插座,并通过移动端通知相关使用人员。对于盛夏和严冬季节,在系统中配置好每天上班前半个小时将所有办公区的空调都远程打开,所有生活区的空调都远程关闭,实现节能和舒适体验。

3.5.6 塔吊智能化安全监控系统

(1) 设备布置

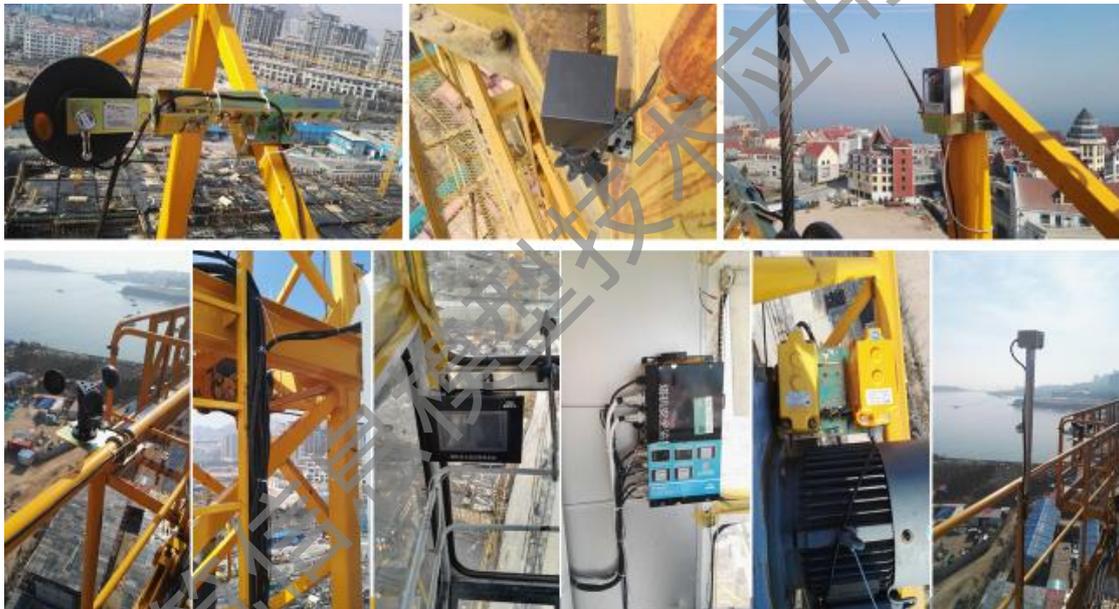


图 3-28 塔吊硬件安装实景图

针对需要监测的塔吊,在其司机操作室内安装黑匣子和显示屏。将风速、幅度等传感器安装在动臂相应区域,并对塔吊的运行情况进行监测,将数据回传至司机操作室;摄像头安装在小车上,可以保持一直处于吊钩正上面,对吊钩下方区域进行实时监测,将视频数据实时回传至司机室显示屏,辅助司机进行操作;钢丝绳监测设备部署于钢丝绳周围,并对运行中的钢丝绳的健康情况进行监测。



图 3-29 塔吊后台监控图

(2) 塔吊状态监测

对塔吊的载重、力矩、回转半径等进行实时监测，并将数据传递给系统后台，并通过 BIM 模型进行展示。当载重超限超载时，系统自动声光预警提醒塔吊司机，当起重量大于相应档位的允许额定值时，亦向塔吊司机发出声光报警信号；可有效保证塔机的操作安全。所有的预警信息也会通过系统推送至塔吊管理人员，提醒管理人员对塔吊司机加强管理。

(3) 吊钩可视化

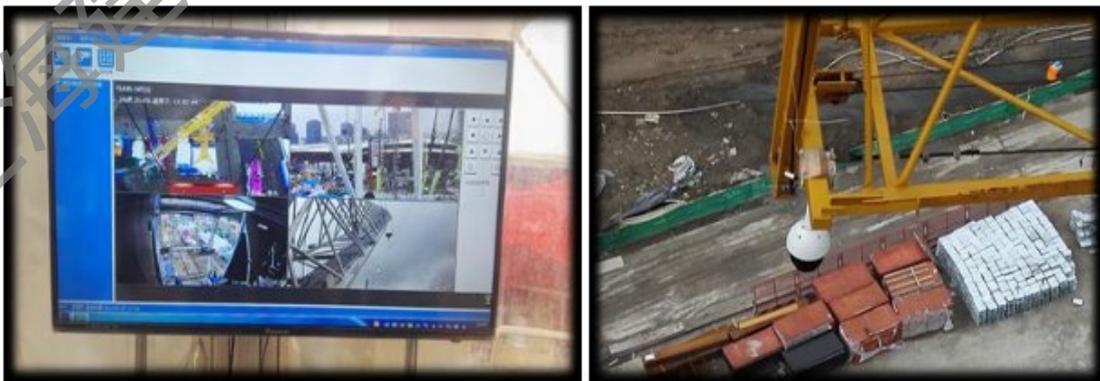


图 3-30 塔吊吊钩可视化监控

通过清晰图像向塔吊司机展现吊钩周围实时视频图像，解决施工现场塔司存在视觉死角、远距离视觉模糊、语音引导不便等行业难题，有效避免事故发生，提高工地现场施工效率，减少安全事故，减少人力成本。

(4) 钢丝绳监测

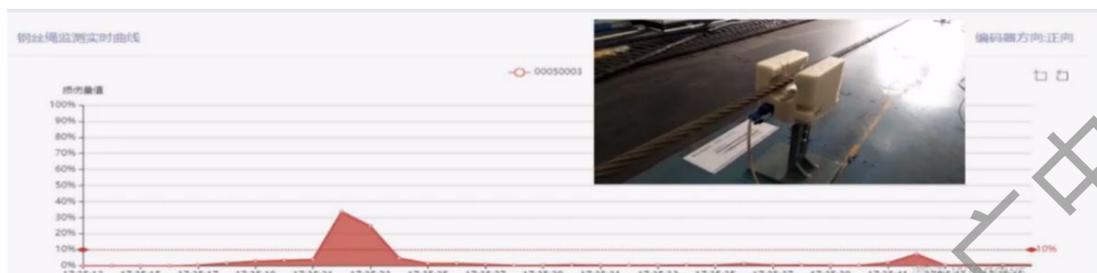


图 3-31 钢丝绳安全检测分析图

当塔机运行时，对钢丝绳进行实时的磁信号监测，并经由主板进行信号分析，通过精确的算法识别钢丝绳的损伤情况，并进行损伤等级判断，将钢丝绳的损伤等级分为两级，中度及重度损伤。大大提高了钢丝绳的安全性，有效降低了因钢丝绳损伤而造成的吊物坠落砸人事件发生的概率，并规避人员亲自上塔吊进行检测的风险。

4. BIM 技术应用效益及测算方法

4.1 BIM 投入

4.1.1 硬件投入

型号	设备用途	主要性能指标	数量
台式工作站 Dell Precision T5820	建模 开发	CPU: Intel Xeon W-2123 内存: 64GB DDR4 2666MHz ECC 硬盘: Intel 256GB SSD + WD 2TB 显卡: Nvidia Quadro RTX4000	8
移动工作站 DELL Optiplex 5060MT	建模 开发 展示	CPU: i5 8500 内存: 16GB DDR4 2666MHz 显卡: 2G独立显卡	2
服务器 Dell PowerEdge T630	存储 开发测试	CPU: Intel xeon E5 2640 v3 内存: 16GB DDR4 2133MHz ECC 硬盘: Intel 256GB+WD 2TB	1
平板电脑 华为matepad 10.8	质量反馈 问题处理	CPU: 麒麟990 GPU: 16核Mail-G76 内存: 64G硬盘	4

图 4-1 BIM 技术硬件投入

4.1.2 软件使用

软件名	说明
Autodesk Revit 2018	BIM建模设计软件，用于预制构件三维模型的搭建及模型信息转换接口
Autodesk Navisworks 2018	BIM分析软件，用于预制构件三维模型的碰撞检测和深化设计
新点比目云	Revit插件，基于BIM的商务算量
Synchro Pro	4D模拟与分析
品茗HiBIM3.1.0	模型深化处理，逆向设计
阿里云 ECS Linux版	提供云端服务器支持，将系统部署在云端
阿里云 RDS MySQL 5.5	阿里云关系数据库
阿里云 OSS	阿里云对象存储服务
twinmotion	VR建模及材质处理，制作视频素材
BIMmotion	建筑、结构、机电、展示陈列多场景漫游，解决软碰撞问题
自主研发施工图翻样插件	建筑模型快速标注相关尺寸，导出施工图

图 4-2 BIM 应用软件列表

本项目 BIM 应用以总承包单位主导，各分包单位共同参与的 BIM 应用模式，总承包单位 BIM 投入费用 160 万元，其中人工成本约为 100 万元，设备采购及安装费用 45 万元，软件开发与采购 10 万元，平台使用及其他配合费用 5 万元。

4.2 BIM 产出

4.2.1 人才培养

在整个项目实施过程中，通过全过程应用，本项目部成员在集团公司的大力推行以及 BIM 部门的主导下，均有效参与 BIM 应用和实施，整个项目主要参与 BIM 人员约为 20 人左右，为公司日后 BIM 技术进一步推广，提供了有效的人员储备。

4.2.2 经济效益

建模阶段，插件导出的相关构件已能够保证正确率为 80%左右，BIM 技术人员可以花更少的时间，就完成初始模型的搭设，工作效率提高 30%以上。翻模过程中，也能够对设计图纸进行详细地再论证，有效减少图纸错误，降低返工率。土建深化阶段，基于插件的深化工作，已能够将整个二结构深化定位工作的时间缩短 20%以上。配合木翻标注插件能够将二结构图纸深化时间再缩短 20%以上，

大幅提高工作效率。本项目 BIM 部门翻模后，共向设计反馈重要问题多达 100 项，预计为整个项目直接节约成本 40 万，机电深化，解决问题超过 500 个，根据与同类项目对比，推算直接节约砌体材料约 296m³，造价节省折和人民币约 17.8 万元。净高分析过程中共发现四处较为明显的净高问题。约其他应用方面，本工程政治意义非凡，不论建造过程中，还是项目完工后，都会有大量非工程参建人员进行参观，故 4D 施工模拟将提供更好的感官体验。

4.2.3 综合效益

长期以来，砌体工程中，传统的 CAD 出图方式效率低下，工作内容简单却繁杂，耗时较长，运用 BIM 技术可更加快速地完成这些琐碎的工作，让技术人员把更多精力投入到更有价值的工作中。本项目将基于 BIM 的公共建筑智慧建造与运维工业互联网平台（简称 BIM 平台）应用于中共一大纪念馆项目建造阶段，建立了数字化工地，实现了远程化、智能化管理，提高了建造管理效率，经济和社会效益显著。

随着科学技术的发展，数字化建造已成为建筑业高质量发展的重要手段。不论是通过基于模型的深化出图，还是可视化应用，都为项目在全生命周期内的增值提供了有力支撑。本项目从材料损耗监控、砌体工程小结构排布、碰撞检测优化布置、漫游模拟减少软硬碰撞和可视化交底漫游等方向，有效减少建筑材料损耗，并避免了过多的返工，有效缩短工期，为项目部实现降本增效的作用。

智慧工地应用，基于边缘侧智能终端技术，实现 BIM 与建筑工程文档、智慧工地监测系统、施工管理业务信息系统等数据融合，最终形成 1TB 数据。项目应用 BIM 平台建造阶段应用服务，实现安全隐患智能识别、推送和处理，有效提升安全水平。通过在现场重要位置部署监控摄像头和 5G 技术实现监控数据快速上传云端 BIM 平台，并应用 BIM 平台提供的 AI 算法智能识别未戴安全帽等违规行为，危险源识别时长小于 0.5min。基于人员门禁系统对进出场的劳务工人实时统计，智能统计出勤人员，分析各班组各工种人员出勤是否满足施工进度需求。应用物联网设备对塔吊钢丝绳损伤情况、吊重、吊次、幅度、角度等参数进行监

测，实现塔吊等大型机械设备上云端 BIM 平台，支持管理人员远程监测塔吊的运行情况，保障大型设备安全运行。应用智能空调伴侣等设备，实现办公区空调上云端 BIM 平台，支持管理人员实时监测现场用电情况，并制定智能控制策略，定期关闭办公区空调，达到节能减排的效果。

在竣工交付阶段，本项目应用 BIM 平台支持项目管理人员将模型带到现场，实现基于 BIM 辅助竣工验收；并支持展呈单位施工人员使用 BIM 进行建筑接管，提高了接管验收效率，完善了 BIM 模型；最终交付了与建筑实体高度一致的 BIM 模型，支持一大纪念馆的展呈布置和后期运营管理。

应用模块	使用前	使用后	价值简述
智慧门禁	劳务公司上报出勤人工量	人脸考勤，自动统计	解决劳务人员出勤统计难题，作为劳务工资发放的重要参考
智能车磅	电话联系获取当前位置；人工录入重量信息并手动计算方量	App 一键查询 GPS 信息；机器自动称重，自动计算方量	解决材料运输状况查看难，人工记录统计效率低、易出错
车辆识别	进门按铃，出门自行开门	自动播报、自动开门放行	解放门卫人员，提升进出车辆便捷性
AI 视频	安全管理人员巡逻，肉眼发现违规行为	机器学习，自动发现安全隐患、违规操作	降低安全管理人员管理压力，提高识别准确性和识别范围
视频监控	机房查看，特定探头寻找难	实时查看，方便快捷；基于模型点位，快速定点	提高管理人员定点查看的效率
能耗监控	人为操作，易遗忘。能源浪费现象严重	自动感应，智能启停	提升人员舒适度，降低能耗浪费现场
钢丝绳监测	定期巡查，爬塔吊顶，肉眼判断	智能识别，预警播报，无需现场查看	降低塔吊维护人员巡查压力，提升钢丝绳损伤监测的准确性和即时性
吊钩可视化	司机肉眼判断	实时近距离视频图像	方便司机操作，避免事故发生

图 4-3 智慧工地应用汇总

5. BIM 技术应用推广与思考

5.1 进行应用点价值评估

BIM 技术近几年虽然在建筑行业得到了很大力的推广，但事实上，细分的下级应用点还在一步步拓展，应用的范围以及深度都没有一个指导性的规范，故企业对于 BIM 应用过程中的成果评估是十分重要的，对于过往 BIM 施工经验，应组织相关人员对过往工程中的各项应用点进行量化评估，哪些产生了经济价值，又有哪些能够对现期施工产生积极影响等，这能让 BIM 应用更加务实，更加向着提高工作效率的方向去发力，也能获得其他部门的工作支持。

5.2 数据标准制定

目前 BIM 技术在大力推广下已经得到了很好的发展，下一步的发展方向应该是集合模型及相关资料的数字孪生城市对于信息化建筑的整合，故 BIM 技术相关数据的集合体，是未来数字孪生城市目标实现的先头兵，对 BIM 技术应有一个较为统一的标准，目前《建筑工程信息模型应用统一标准》、《建筑信息模型施工应用标准》是主要的规范性指导文件，但其更多停留在理论层级和指导管理层级，并没有完善到具体的执行标准，应建立企业性实施标准，并进行培训并强制统一。

5.3 资料线上整合

BIM 不仅仅是一个建模工作，而是信息化集成的载体，是总包 BIM 管理模式的基础，目前来说，资料管理还处在一个较为被动的情况，各方只是将资料进行整合后上传平台，解决了资料版本混乱，人员之间互相传递文件降低办公效率的问题。但线上无法形成资料管理体系，没有一键导出等功能，偶尔会造成了一件事情做两次的窘迫，违背提高工作效率的目的。

5.4 工作提前量要求

BIM 技术的优势集中在，第一，施工前进行模型搭建，可提前发现问题并解决问题，减少返工及材料浪费。第二，将多方工程信息，集成在以模型为载体的建造平台上，并形成一個稳定的线上管理体系。所以，BIM 技术应用越早，规则制定越完备，价值越高。如果项目已经施工了，很多 BIM 应用将错过最佳时机工程。介入晚一些价值体现不明显，严重的还会导致项目其他成员容易对 BIM 产生疑问，影响 BIM 在公司的推行。

在 BIM 工作开展初期，需与设计建立有效的沟通渠道，明确在公共邮箱或统一的管理平台，进行资料交互。结构深化需在获得图纸后尽快开展。以便留有足够时间对发现的结构问题进行处理。

六、上海浦东足球场

1. 项目概况

本项目位于浦东新区金滇路以东、锦绣东路规划绿地以南、规划金湘路以西、规划金葵路以北地块。主要建设内容包括运动场地、看台、观众用房、运动员用房、竞赛管理用房、媒体用房、场馆运营用房、后勤辅助用房、设备用房、地下车库等。项目总建筑面积为 139304 平方米，其中地上建筑面积为 64186 平方米，地下建筑面积为 75118 平方米。钢结构屋盖的最大跨度约为 212m。浦东足球场是第一个严格按照 FIFA 标准及国内联赛要求设计的高级专业足球场，第一个采用轮辐式张拉锁网组合金属屋面体系的足球场，第一个 1 主 2 副的专业足球场。

2. BIM 技术应用概况

2.1 BIM 技术应用目的

本项目施工阶段的 BIM 应用是为了使施工过程满足质量和效率的要求，使施工成果满足业主和国家法律法规的要求。

2.2 BIM 应用遵循的标准

- (1) 制定的统一 BIM 软件和版本的要求；
 - (2) 制定的统一模型划分原则和方法；
 - (3) 统一约定的 BIM 轴网和模型文件定位；
 - (4) 制定的统一模型三维表达方式；
 - (5) 制定的项目模型文件格式、传递及储存标准；
 - (6) 相关 BIM 应用规范和参考文献；
- 建筑信息模型应用统一标准 GB/T 51212-2016 2017 年 7 月 1 日实施；
 - 建筑信息模型分类和编码标准 GB/T 51269-2017 2018 年 5 月 1 日实施；
 - 《上海市建筑信息模型应用标准》(DG/TJ08-2201-2016)；
 - 《上海市建筑信息模型技术应用指南(2015)版》的要求。

2.3 组织模式

本项目由总包进行总管理，分包进行具体的专业管理，各司其职，严格执行项目流程，并对项目各流程中各方职责进行梳理，便于项目进行实施管理。

BIM 界面划分原则：谁具体施工，谁实施 BIM。

BIM 模型提交原则：各参建单位需按照总包要求的 BIM 工作计划提交专业模型，由总包汇总模型提交业主。

BIM 模型质量原则：根据合同约定的《上海市建筑信息模型技术应用指南（2015）版》的要求进行模型质量验收标准，参建单位各自内控其 BIM 模型质量，并确保模型内容和深度满足施工深化和施工过程应用的要求，由总包检查。

2.4 参与各方界面划分

表 2-1 各方工作界面

专业	工作界面
土建	施工场布模型、4D 进度模拟、土建碰撞检查及问题报告、施工工艺模拟、施工重难点方案模拟、深化设计及其他业主要求的应用。
钢结构	施工工艺模拟、施工重难点节点模拟、深化设计及其他业主要求的应用。
机电	碰撞检查、综合管线优化、施工工艺模拟、深化设计及其他业主要求的应用。
幕墙	深化设计及其他业主要求的应用。
装饰	深化设计及其他业主要求的应用。
景观	深化设计及其他业主要求的应用。
其他	深化设计及其他业主要求的应用。

2.5 BIM 工作流程

项目 BIM 应用总流程（上海市建筑信息模型技术应用指南（2015 版））

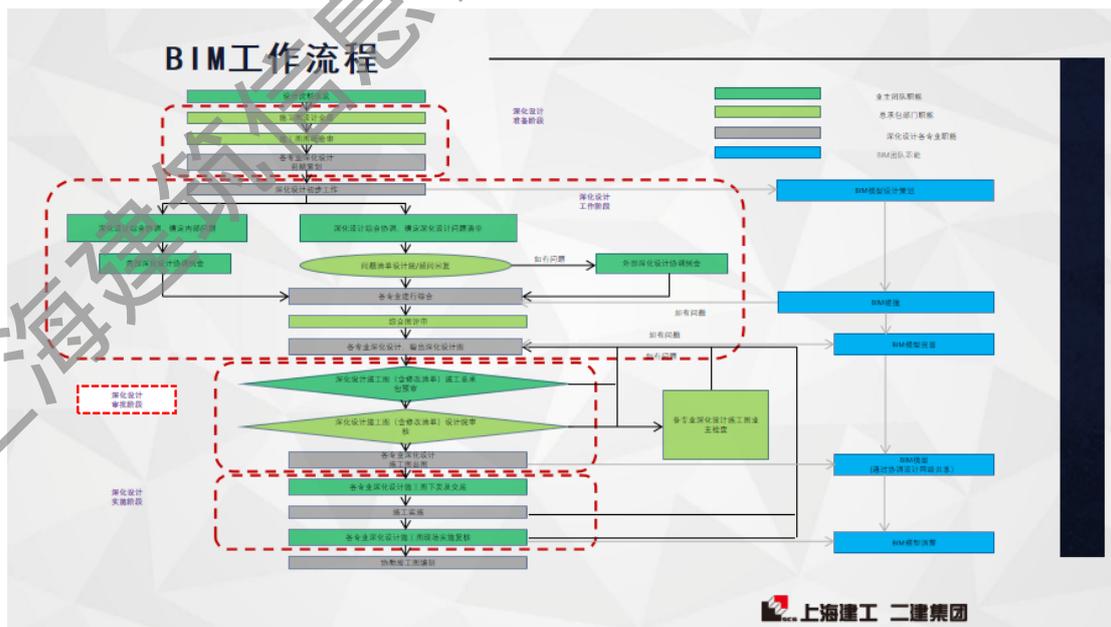


图 2-1 项目应用流程

2.6 软硬件及数据格式

2.6.1 BIM 软件配置及数据格式

本项目采用 Autodesk Revit 2018 版产品作为基础建模软件创建 BIM 模型，采用 Autodesk Navisworks 2018 版和 BIM 协同管理平台整合 BIM 模型数据。

表 2-2 项目软件配置

项目软件配置		格式	
BIM 建模	建筑	Autodesk Revit 2018	RVT, IFC
	结构	Autodesk Revit 2018	RVT, IFC
	机电	Autodesk Revit 2018	RVT, IFC
	钢结构	Tekla Structures	Tekla, IFC, DWG
	幕墙	Autodesk Revit 2018 和犀牛 (Rhino)	RVT, IFC, DWG, FBX
	装饰	Autodesk Revit 2018	RVT, IFC
	景观	Autodesk Revit 2018	RVT, IFC
BIM 整合	Autodesk Navisworks 2018	NWD	
BIM 模拟	Synchro Pro	sp	
	Autodesk Navisworks 2018	NWD	
BIM 渲染	Lumion 9		
BIM 协同平台	二建项目管理系统/译筑 BIM 协同管理平台		

表 2-4 BIM 硬件配置

主要硬件设备					
BIM 工作站	平板电脑	大疆无人机	360 全景相机	VR 设备	激光扫描仪
					
主要软件设备					
Revit	NAVISWORKS 2018	SYNCHRO 有限元分析软件	LUMION 9.0	FUZOR2019	
					
主要管理平台					
译筑施工协同管理平台			智慧工地风险管控平台		
					

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 主要 BIM 应用点

3.1.1 有限元大体积混凝土施工优化

基于有限元分析技术的跳仓法 BIM 技术。本工程工期任务紧张，如采用原设计方案留设完全缝作业，工作面无法铺开，工期压力极大；考虑以上特点，利用 BIM 技术对结构分仓结合有限元分析验证，采用跳仓法取消原设计完全缝做法，改为施工缝做法；根据有限元分析单元确定的挖土分区，结合 BIM 技术对挖土工况的施工进行模拟，生动及时排查交叉施工时存在的问题；利用 BIM 按照施工时间顺序模拟动画指导施工，精确把控施工成本，保障整个工程顺利实施，确保工程总工期。

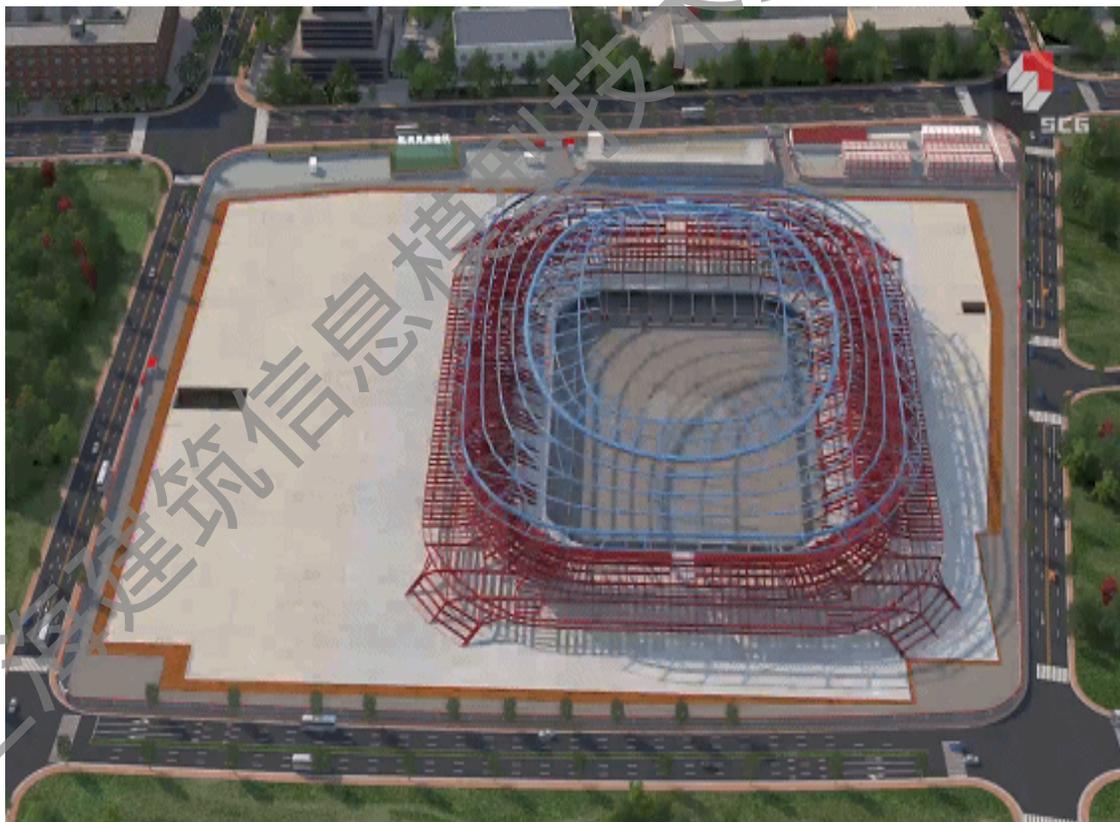


图 3-1 足球场钢结构效果

从 Revit 中提取模型导入有限元分析软件，分析混凝土温度变化引起的应力分析，通过生成的曲线变化印证跳仓阶段和合拢阶段施工可行性，不仅能满足抗裂要求，而且通过跳仓后施工搭接缩短近 49 天工期。

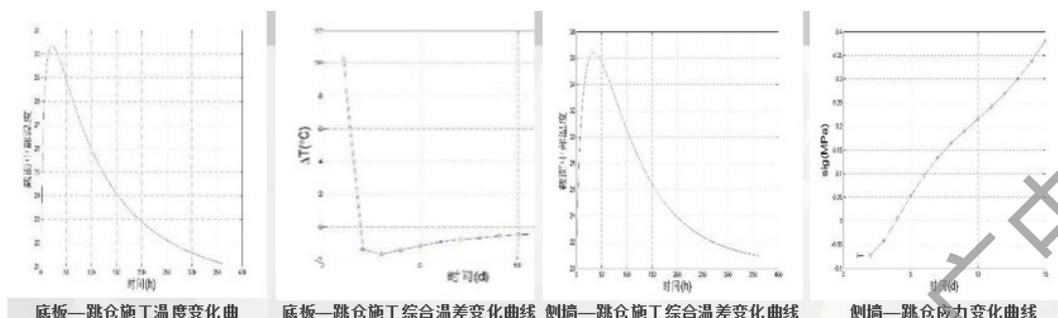


图 3-2 混凝土温度与应力变化分析

计算结论: 在该条件下分仓长度和合龙长度计算值下采用跳仓方案施工均满足抗裂要求。

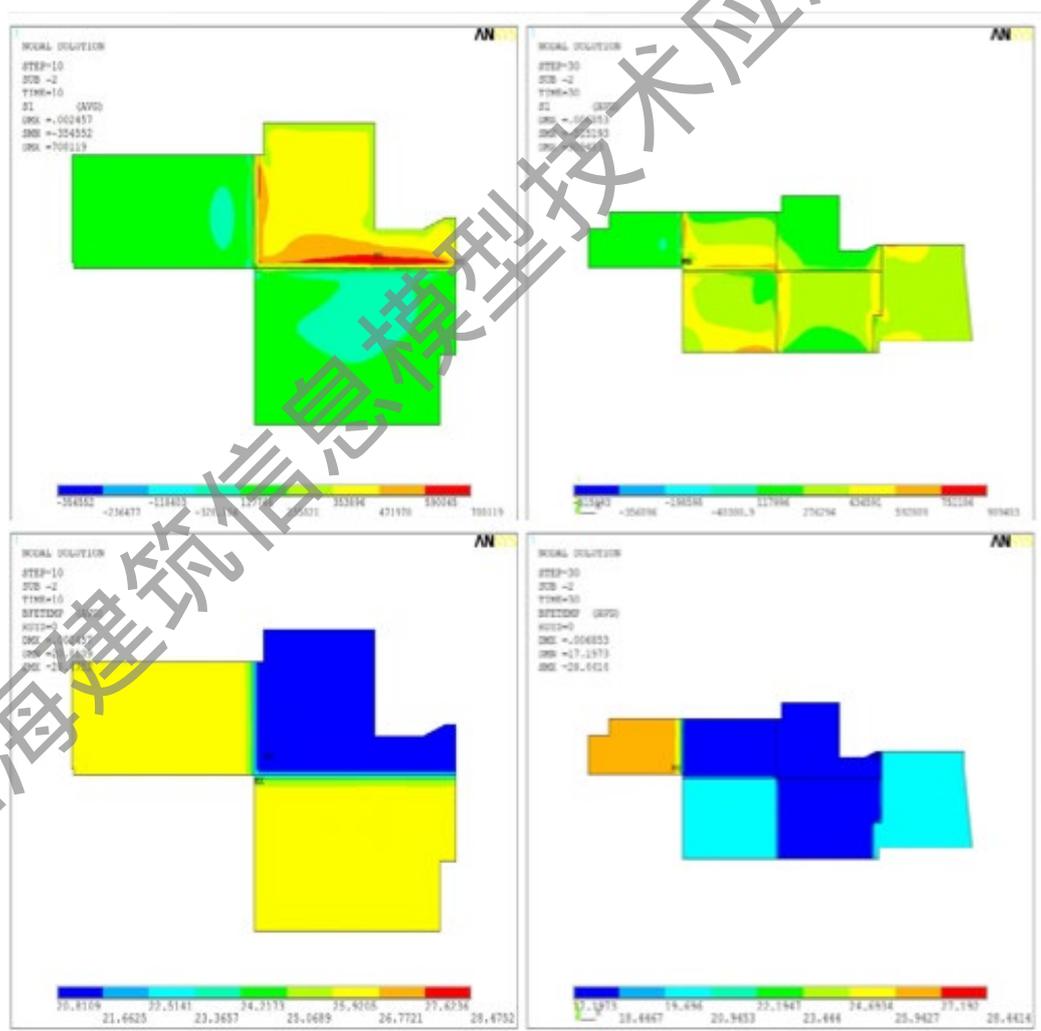


图 3-3 混凝土区域温度示意

根据有限元单元找出温度应力最大位置，结合 BIM 模型布置温度测控点，提取测控点坐标，指导温度测控点实际施工安装。

混凝土浇筑过程通过<智慧监测系统>实时查看各测温点温度变化情况。



图 3-4 区域划分与混凝土温度检测平台

3.1.2 预制清水混凝土看台板 BIM 正向深化设计

本工程采用 BIM 技术进行正向深化设计指导工作、通过三维设计、三维校审。基于尺寸、造型、编号、水电预埋、钢结构安装预埋、混凝土结构安装预埋等因素进行深化设计，将四千余块看台板分为十五大类。为确保构件数据准确、信息调用方便、后期调整便捷的设计理念，构件族库均采用参数化建模方法。

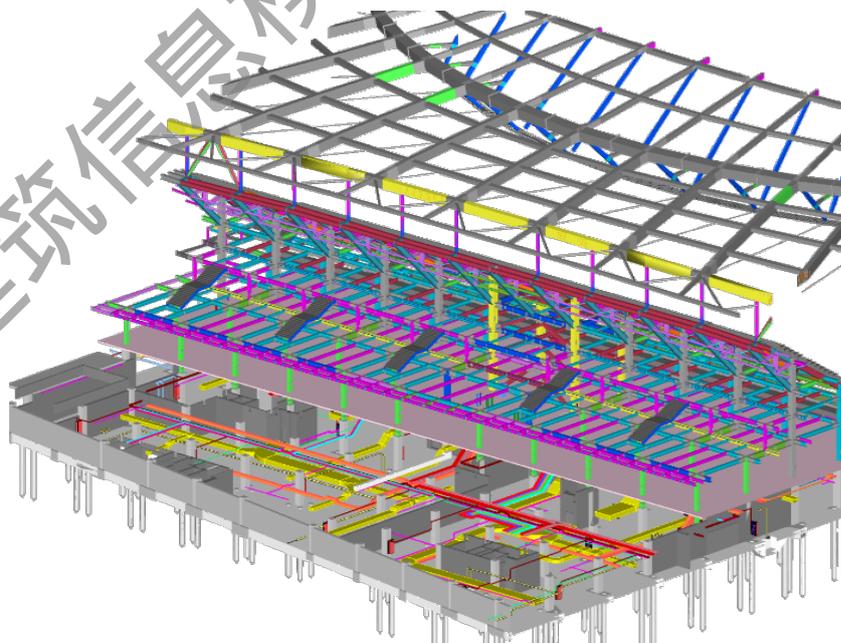


图 3-5 钢结构模型局部

本项目全部采用参数化建模方式、采用大量函数及算法确保模型的准确性。所有看台板布置均采用中心原点加坐标值参数化布置,通过构件空间坐标直接进行看台板的布置、所有参数均采用共享参数形式通过模型数据与设计数据进行多重比对从而更方便地查找设计错误。



图 3-6 看台板模型

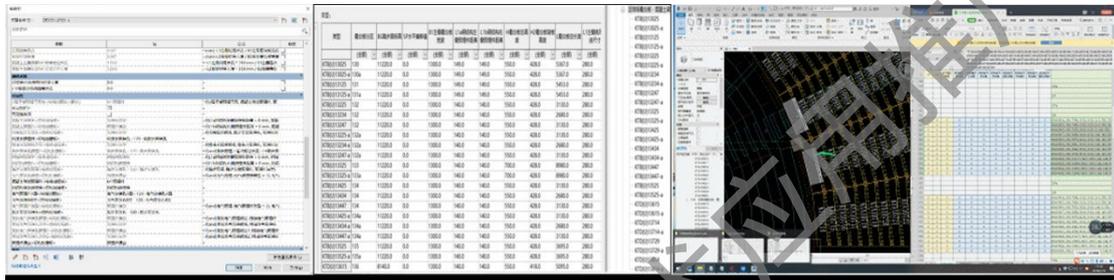


图 3-7 看台板数据汇总与分析

预制清水混凝土看台板 BIM 正向深化设计-参数化通用模具加工。构件特点: 清水构件, 外观质量要求较高、拼装精度要求较高、外形尺寸变化较多。

模具设计思路:

为保证看台面外观质量, 模具采用了反向浇注的设计方案, 即看台面与底模面板接触成型, 同时底模面板采用不锈钢复合钢板, 进一步提高看台面的外观质量;

为保证构件尺寸精度, 模具各零件之间均采用定位连接; 同时模具上设置水平撑杆及斜撑杆, 控制浇注构件时的模具尺寸位置及变形;

为适应构件外形尺寸变化, 同时减少模具投入, 模具采用了全通用设计方案, 即每套模具既可生产 L 形板, 也可生产 T 形。

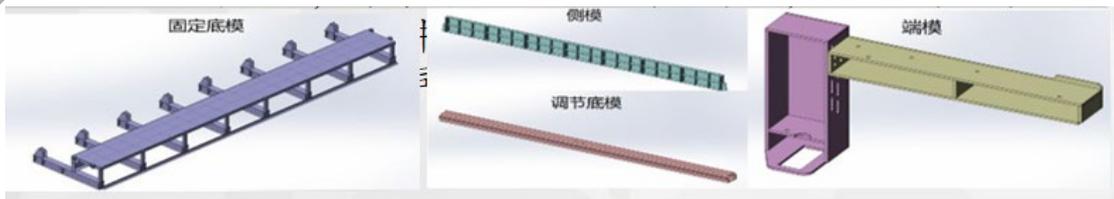


图 3-8 看台板模具设计

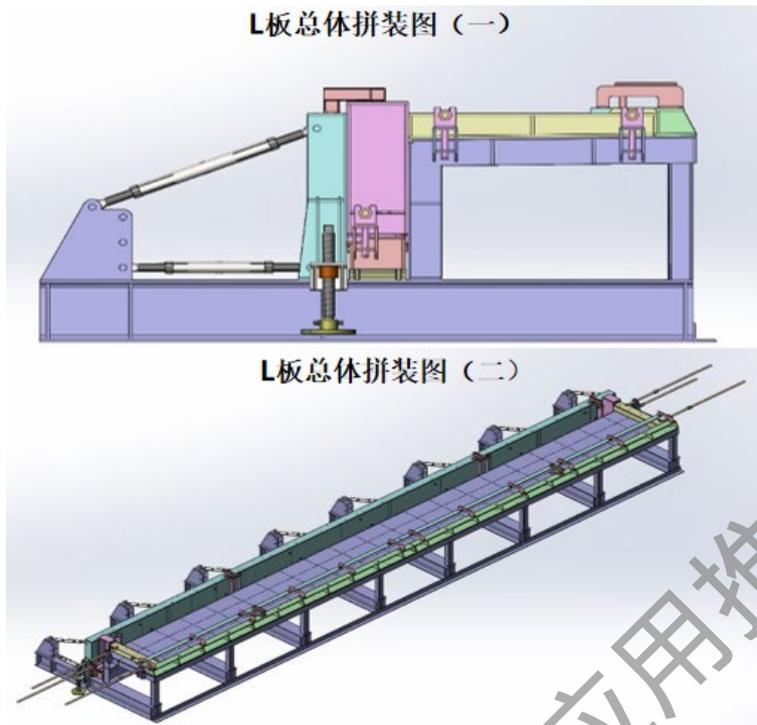


图 3-9 看台板模具拼装

3.1.3 钢结构正向深化设计及参数化连接节点优化

浦东足球场的钢结构工程概况：地下钢混结构、地上主体结构为钢结构、屋面的轮辐式张拉索网体系结构，中置压环轮辐式张拉钢结构。整体结构跨度达到了 212 米，整个屋盖由 46 个径向“大梁”承托，结构形式更简洁，受力体系更高效。工程的钢结构的深化采用软件 Tekla Structures 完成。

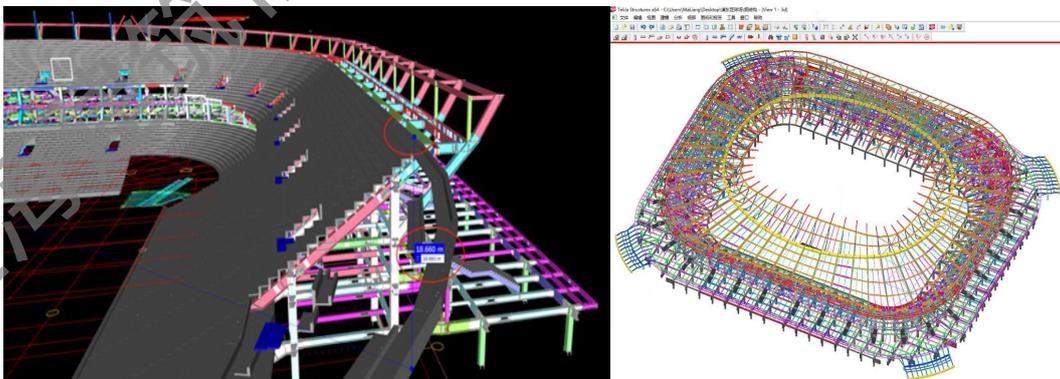


图 3-10 钢结构整体与节点示意

钢结构的深化采用软件 Tekla Structures 完成，深化阶段通过钢结构模型自检，和土建模型在 Navisworks 中互检，提资设计方进行图纸变更修改确认。



图 3-11 钢结构模型深化设计

3.1.4 现浇混凝土结构优化及参数化深化

为了保证每一块预制看台板都能安装到设计标高并且平顺无偏差，现浇结构需要根据看台板类型进行细部的深化。利用 Revit+Dynamo 进行正向参数化深化设计，快速、准确地完成现浇阶梯梁的节点深化、结构碰撞复核及出图。

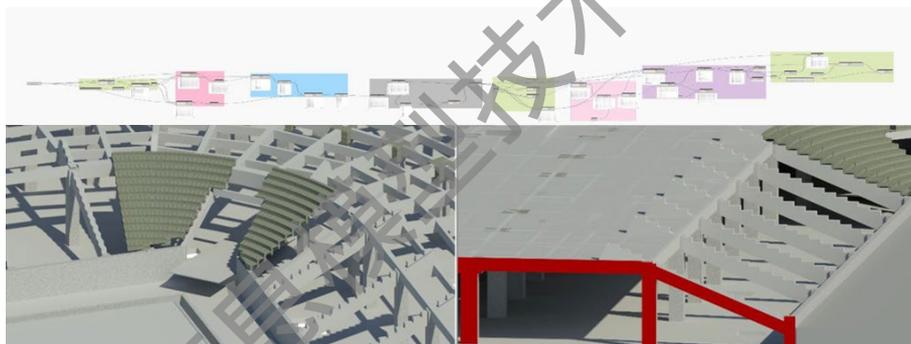


图 3-12 现浇混凝土结构优化设计流程与效果

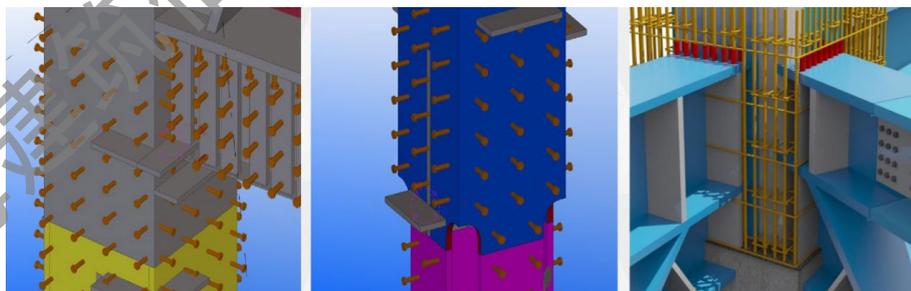


图 3-13 钢结构节点模拟预拼装

本项目中有着大量型钢混凝土劲性结构和钢结构 BRB 节点，通过建模发现钢筋密集区域，要求在钢结构加工中预先加工搭接钢板降低施工难度和减少现场加工周期。

3.1.5 激光扫描质量监测和结构纠偏

现浇结构现场拆模完成后，采用激光扫描仪对阶梯梁进行扫描复测，将扫描得到的点云模型导入 BIM 软件中和深化结构模型进行对比分析。

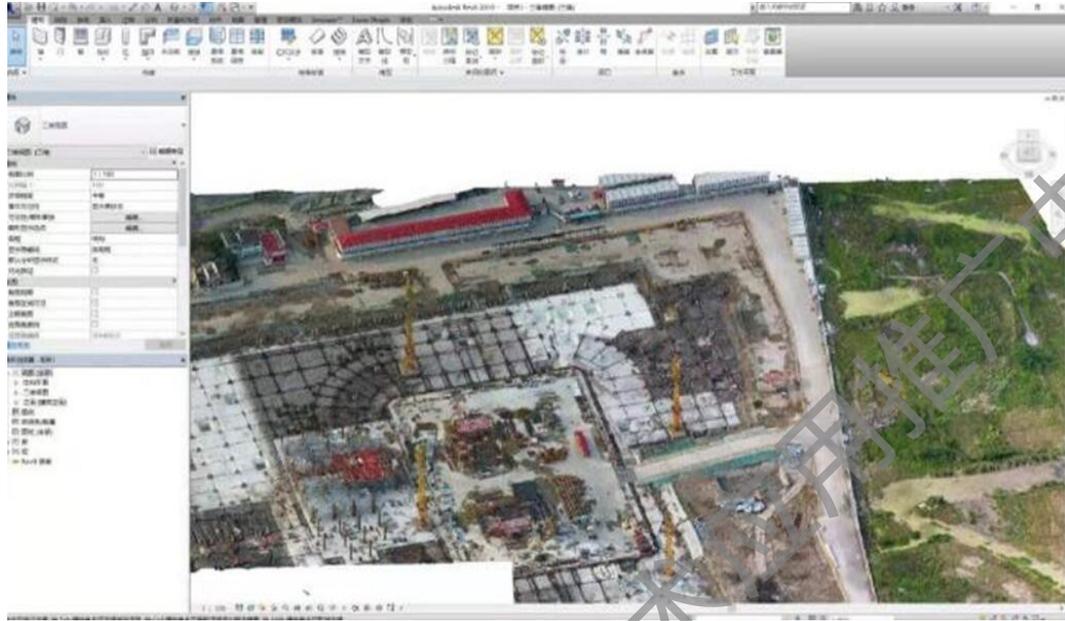


图 3-14 施工现场三维扫描

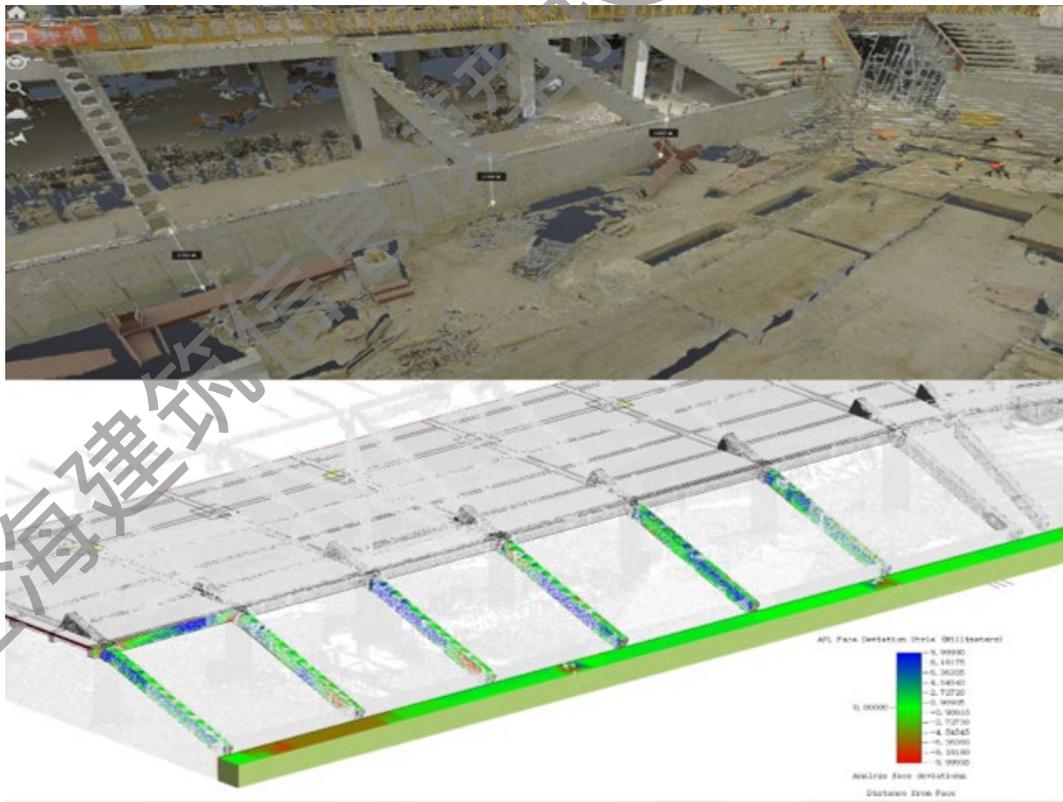


图 3-15 扫描与点云模型校对

钢结构现场施工完成后，采用 Leica MS60 新一代全站扫描仪对钢结构的施工质量进行复测，利用其最高 0.6mm 级的误差控制，进行实测点云和设计模型的对比分析。复测前，通过全站扫描仪的“全站仪”属性，将现场施工的测量控制点录入设备中，使得输出的点云在合模过程中无需进行两个坐标系手工对齐，进一步提高了数据分析的价值。

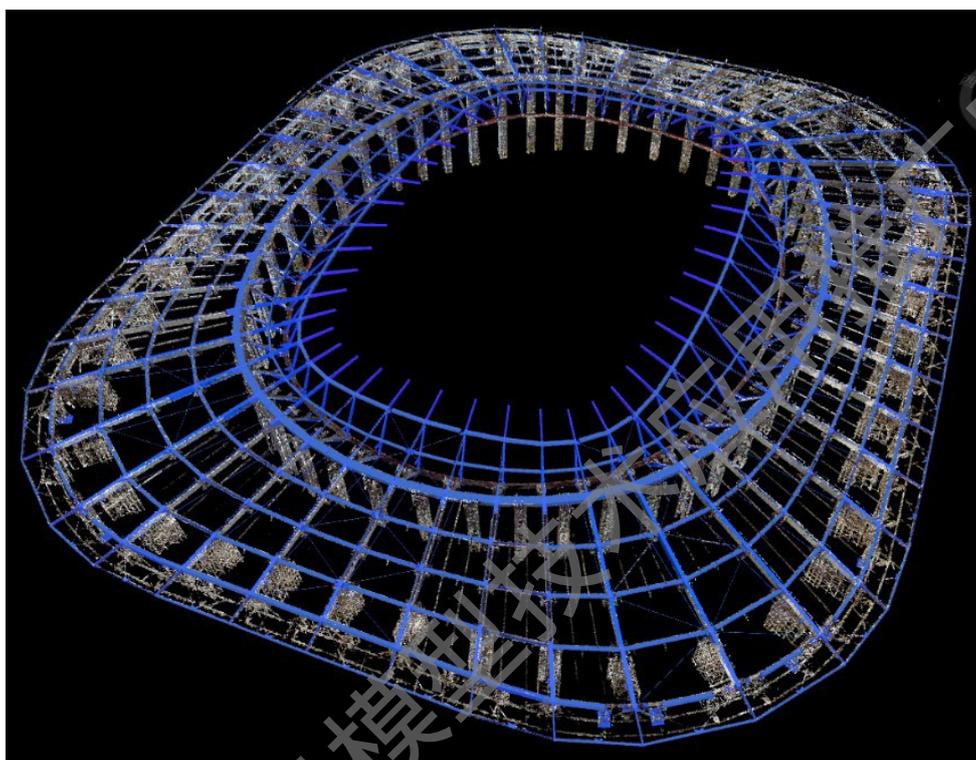


图 3-16 点云模型与 BIM 模型合成

将深化设计模型导入 Leica Cyclone 3DR，并进行自动实测点云分析，编制偏差分析色谱报告，指导现场纠偏。

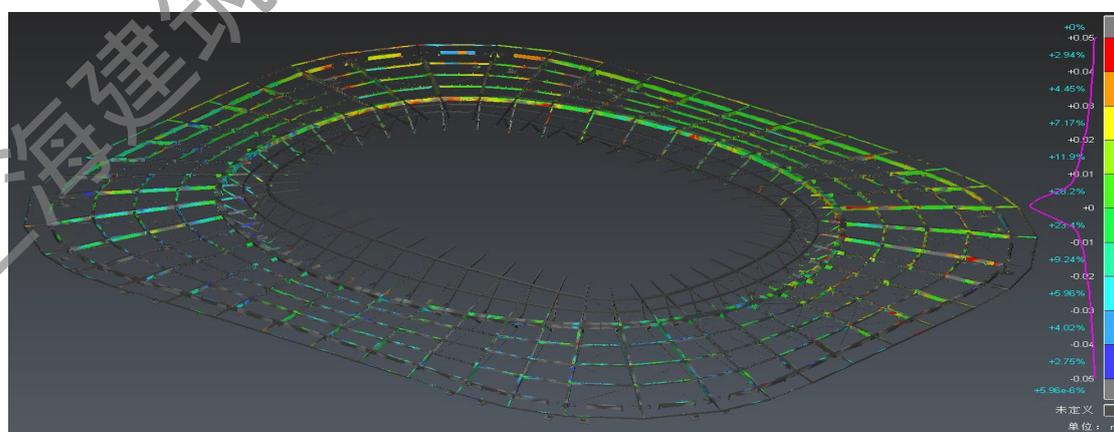


图 3-17 点云模型与 BIM 模型重合偏差分析

3.1.6 三维实景工程量计算与 BIM 算量

场地面积大，土方测算工作量大，通过实景三维技术不仅能够快速还原实际场地，而且能够依据还原的场地进行土方测量挖填平衡，间接避免土方外运，约 5 千平方，节约机械成本约 30 万，直接节约人工成本约 5 万。提高议价能力，大幅降低测量误差，提高工作效率。

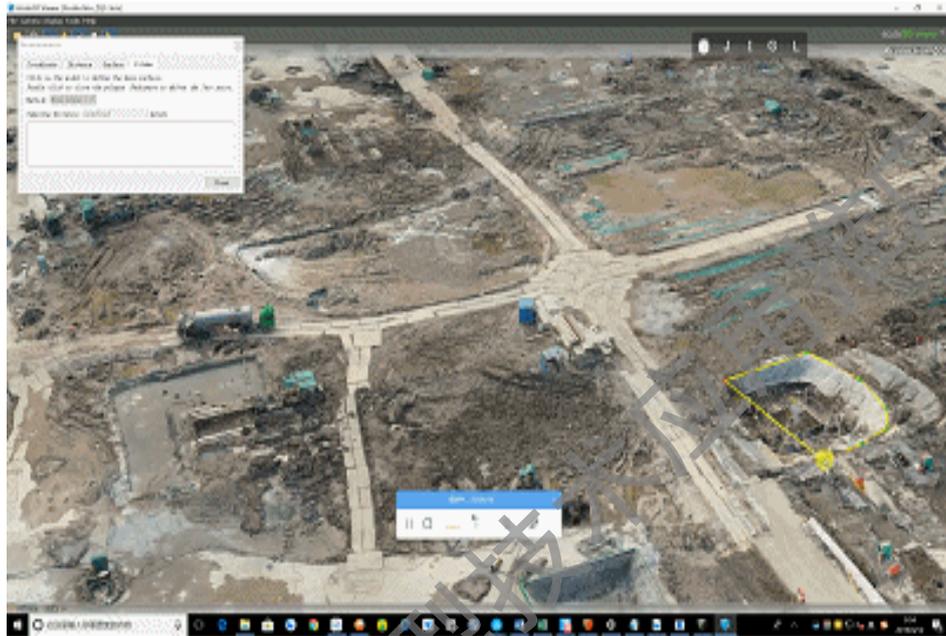


图 3-18 无人机扫描模型土方计算

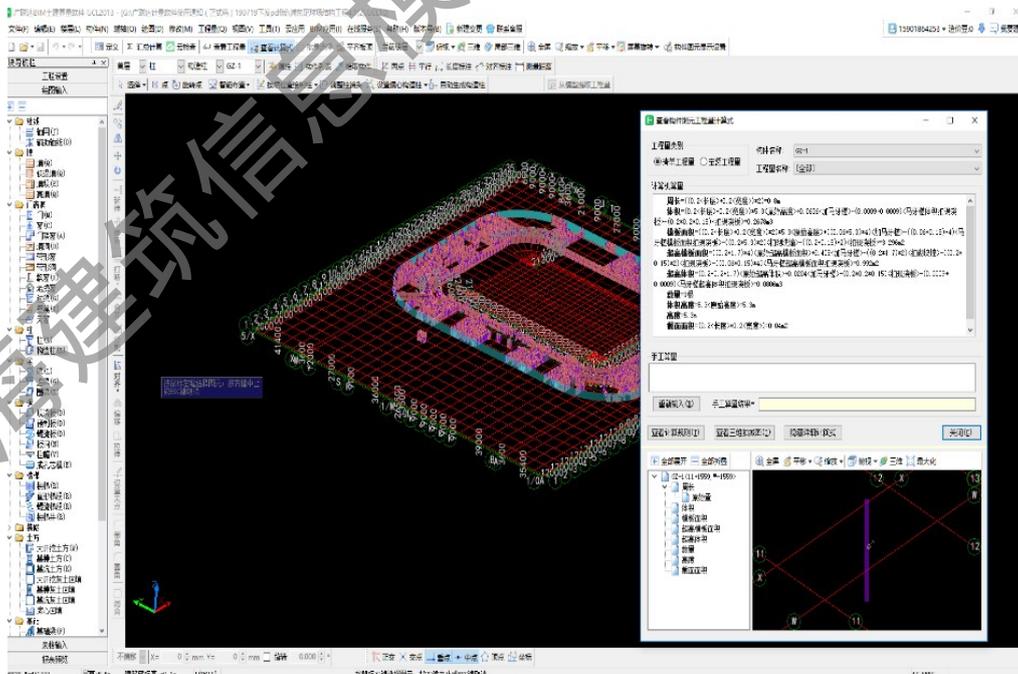


图 3-19 工程量计价

通过 BIM 模型导出 IFC 格式进入到广联达土建软件进行工程量计算。考虑到 IFC 模型有一部分的丢失比率，根据楼层和分区将模型拆分，分块导入计算。

3.1.7 机电安装 BIM 深化设计

本工程中采用大量预制风管、机房冷凝管等预制管件充分发挥 BIM 在深化设计优化以及预拼装的优势；采用 BIM 技术对设备安装的顺序进行了模拟，避免了在安装过程中上道工序影响下道工序造成的工期延后，有利于各专业相互沟通协调，缩短施工工期；

本工程预先发现专业内部和专业间的碰撞，对问题跟踪并解决，目前发现并解决问题 3472 条；在施工阶段 BIM 为 B 运维管理应用提供基础数据和平台系统保障。后续运维单位可根据模型直接调出损坏部位，根据厂家提供的信息直接联系厂家进行维修更换。

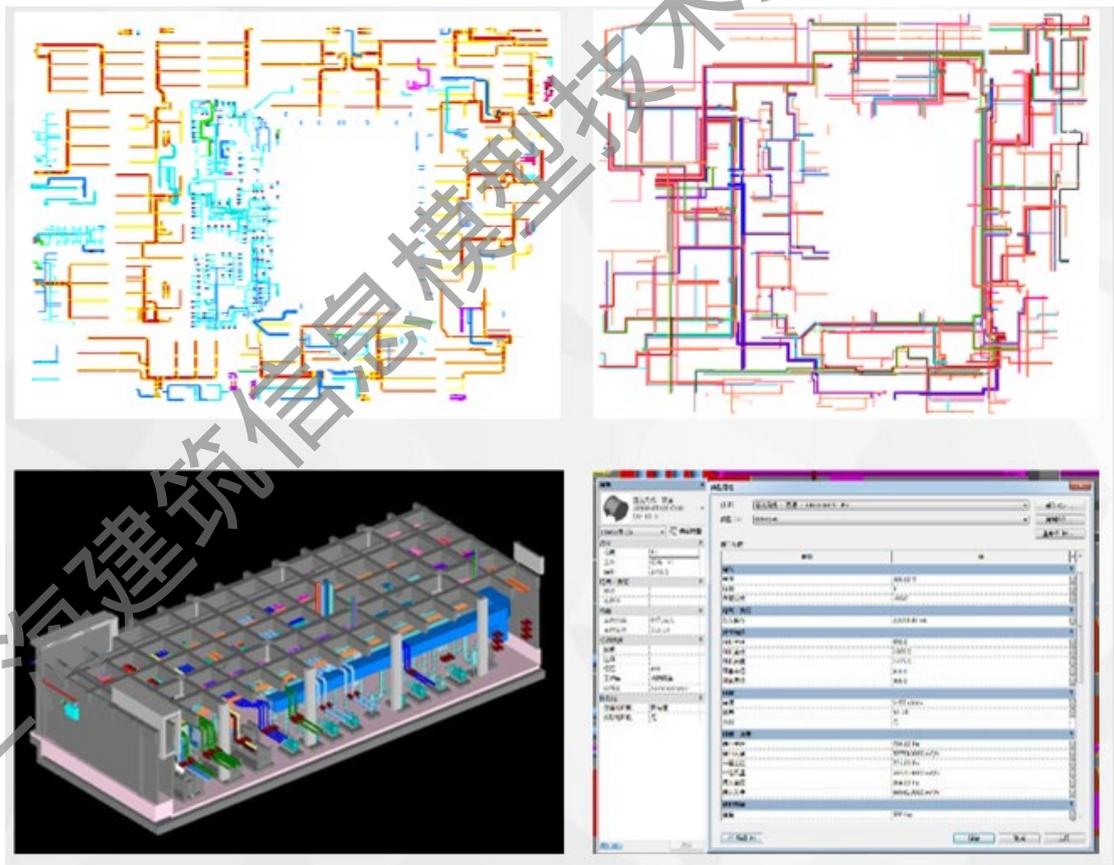


图 3-20 机电模型分析

3.1.8 幕墙的 BIM 设计优化

幕墙在设计优化阶段，基于 BIM 模型优化幕墙的单元板块的支撑结构体系，面板固定方式、整体立面分格等，确定了先钢骨架单元，再铝骨架和面板单元的工艺顺序，推进幕墙的进入深化设计阶段。

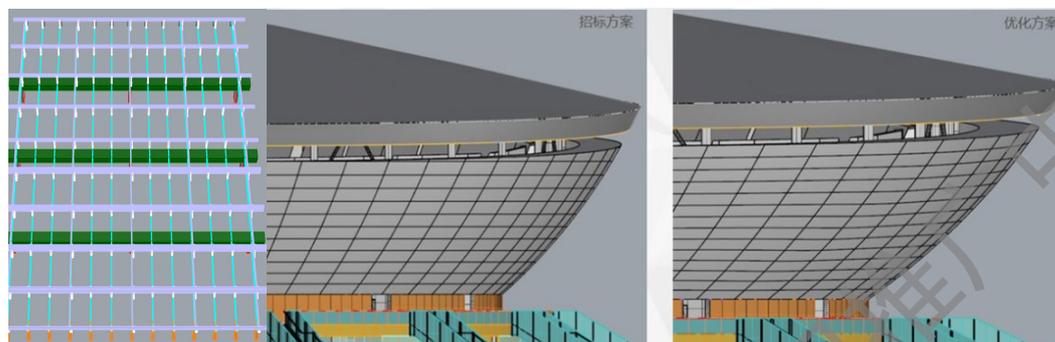


图 3-21 幕墙分析与优化

左图为调整后的单元支撑结构体系增大了龙骨之间的跨距，优化了受力，同时降低了用钢量；右图为调整后的立面分格，使得效果更趋于流线型，造型更加美观。

3.2 碰撞检查

3.2.1 多专业 BIM 模型的碰撞检测

本工程因存在预制砼结构、预制钢结构、预支管道、现浇结构等多种结构体系，因此对于各专业的碰撞检查要求极高。预先发现预制看台板与钢结构、土建结构内部和专业间的碰撞，对问题跟踪并解决。目前发现并解决问题 2972 条，间接节约人工、运输、开模、吊装等成本约 50 万。

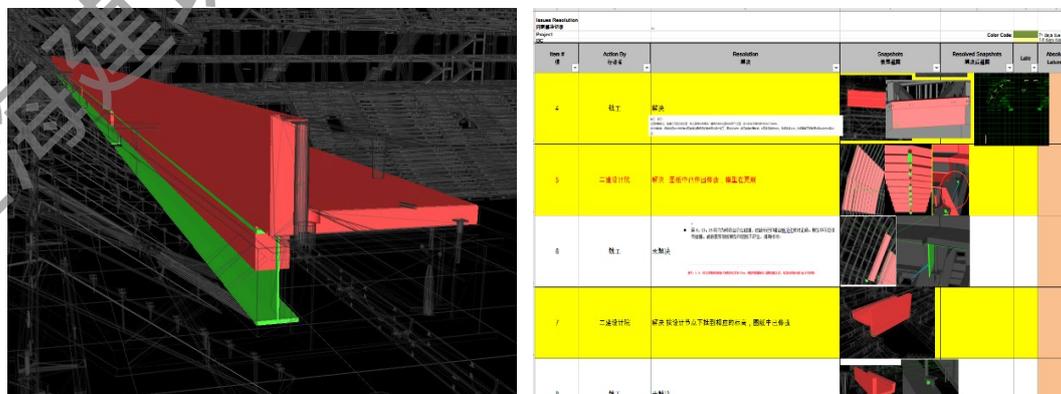


图 3-22 多专业模型碰撞检测

3.2.2 机械设备的运动碰撞检测

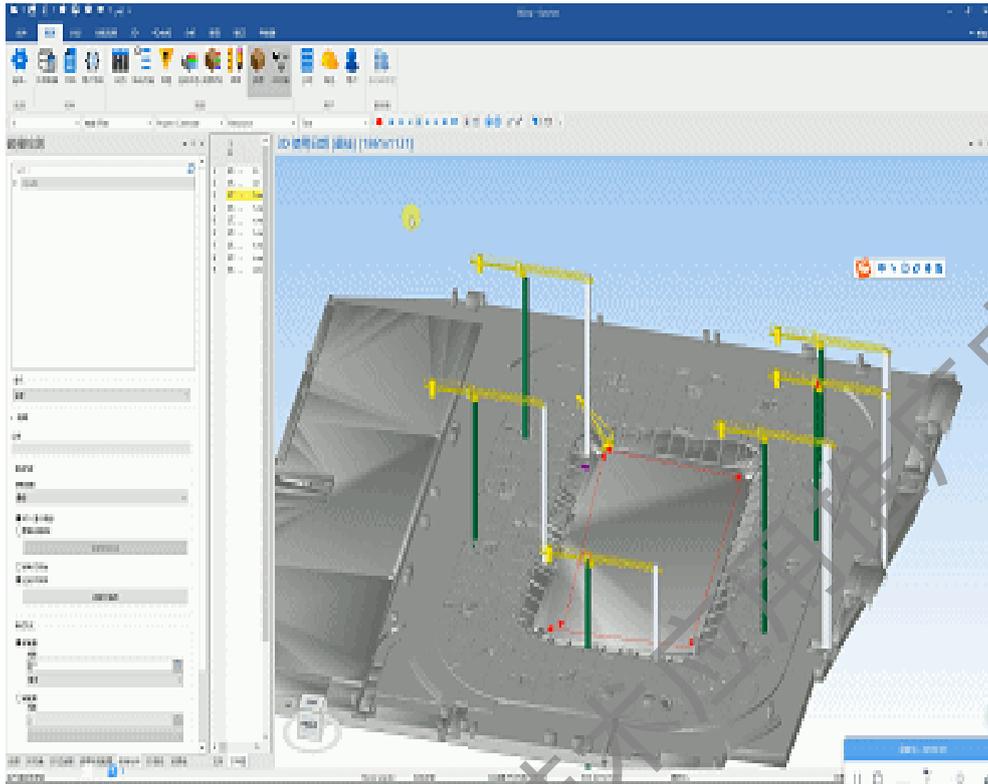


图 3-23 机械设备模型碰撞检测

3.3 BIM 平台及信息化

3.3.1 BIM 辅助绿色施工

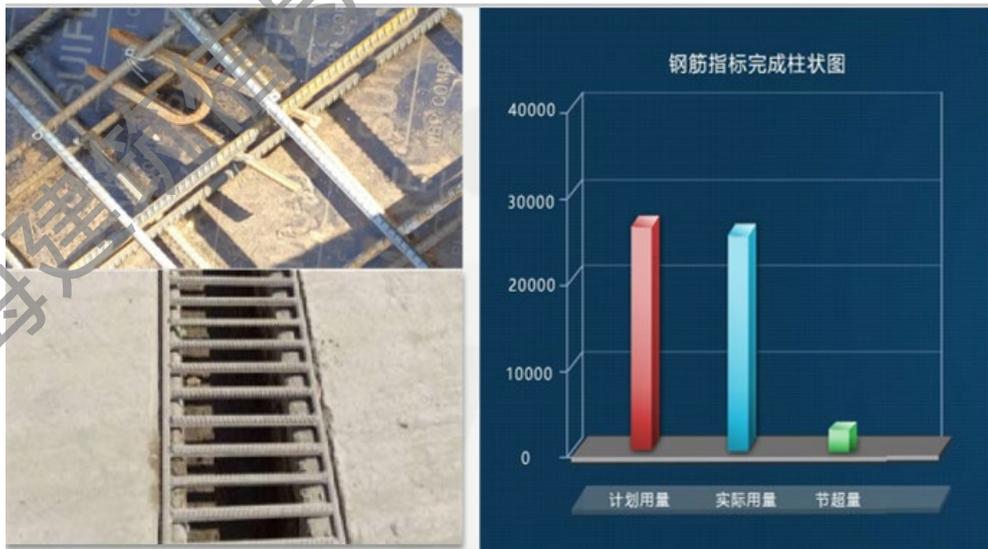


图 3-24 节约材料案例

节约用地。场内施工道路用 BIM 技术考虑永临结合进行规划，通过场内运输

动画模拟分析缩短运输距离减少道路占用土地以及对原有土地生态影响，场地内永临结合道路达到 70%利用率。

节约材料。利用 BIM 技术对复杂梁柱节点处钢筋进行合理排布，并对钢筋余料进行统计再利用。

3.3.2 交互式智慧工地

智能安全监控系统。基于链接施工协同管理平台，“24 小时”无死角实时监控，保障施工现场施工和财产安全。



图 3-25 交互智慧工地示意



图 3-26 交互智慧工地设备

现场智能感应语音警示系统。智能感应靠近重大危险源施工区域的作业人

员，对于进入到施工现场的无关人员进行语音警示。太阳能充电，全天候工作，绿色节能。

交互滑轨体验区。随着工程推进滑轨移动至相对应感应点，AR 显示屏显示相应工程信息内容。可以直观的表达工程进度、施工难点等多种信息。



图 3-27 交互智慧工地滑轨体验区

通过不同阶段的效果图，三维化、多元化、可视化传达建筑设计生成的思维过程，并从地形、环境、外形、功能、结构着手、多角度生成主要分部分项工程施工方案和工艺的推演，完善施工流程，充分表达原设计理念，对现场管理人员及施工人员进行形象化安全交底，对各阶段施工特难点有着指导意义。

沉浸式策划：全方位反应上海浦东足球场建筑特色，在通过设计方案及施工图即可模拟建筑外观、效果及功能，全方位的感受画面和音效让观众身临其境地体验足球场周边地形、环境、外形、功能、结构及 FIFA 标准顶级赛事观感，同时具有指导设计、验收关键节点等各阶段施工重点功能。

沉浸式 VR 体验区。实现多人同时接受 VR 培训、工程现场安全教育，达到 VR 教育覆盖率 100%，解决了常规 VR 教育效率较低、设备繁杂的问题。



图 3-28 交互智慧工地 VR 体验区

3.3.3 BIM 管理平台

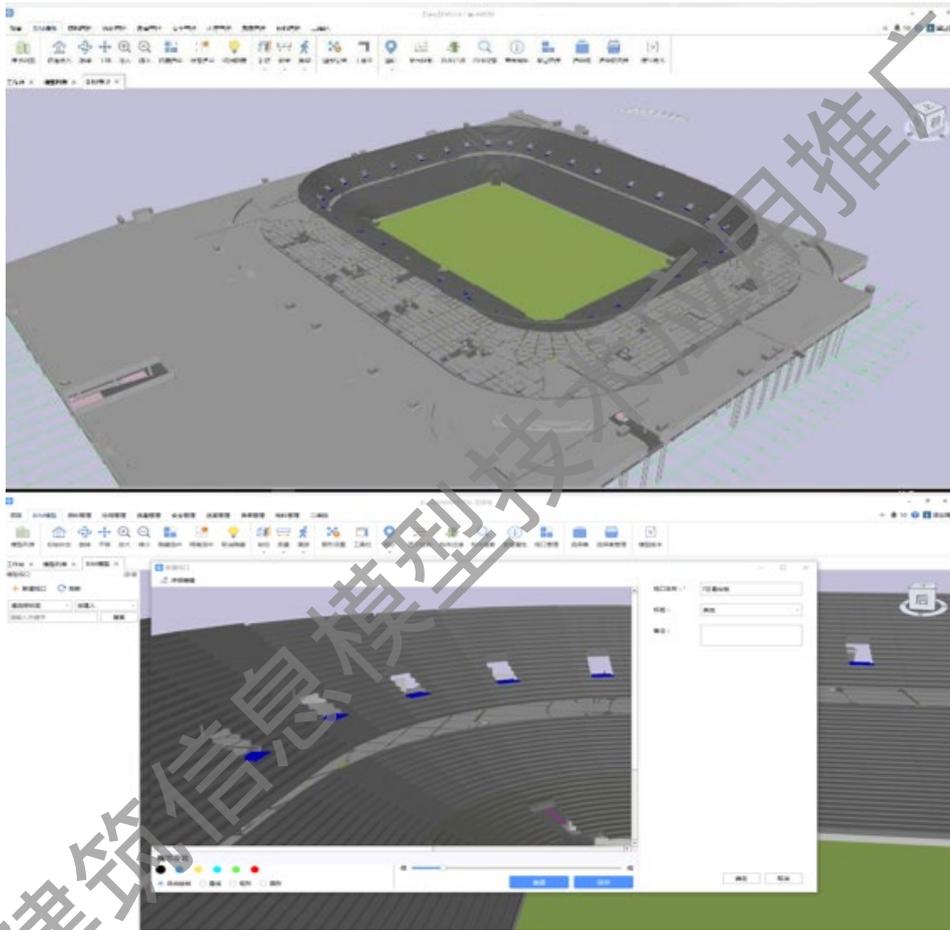


图 3-29 BIM 管理平台界面

BIM 协同管理的前置管理与建置模型过程中的两个阶段建构 BIM 协同管理机制，藉由前置管理中的管理准则与共同管理环境的建立，减少成员建模标准不一致的状况，降低日后修改模型的人力成本，透过进度分工表，使各成员能清楚了解自身任务与权责。而再透过协同管理执行管理机制，正确管控模型信息、模型版次与追踪模型修正。最后再配合阶段性的碰撞检测，提升 BIM 协同管理的效能与确保 BIM 模型的正确性。

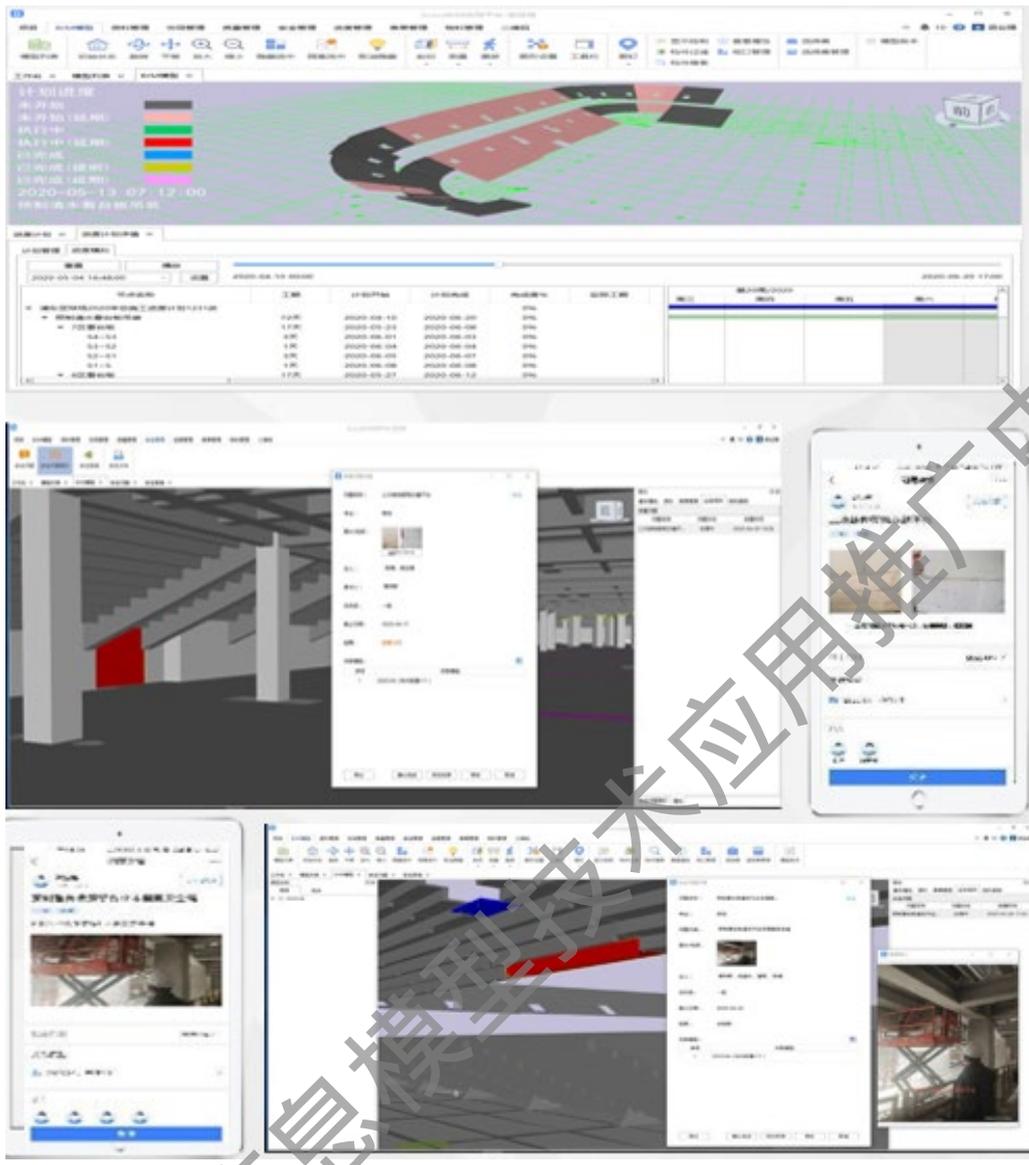


图 3-30 BIM 管理平台细节展示

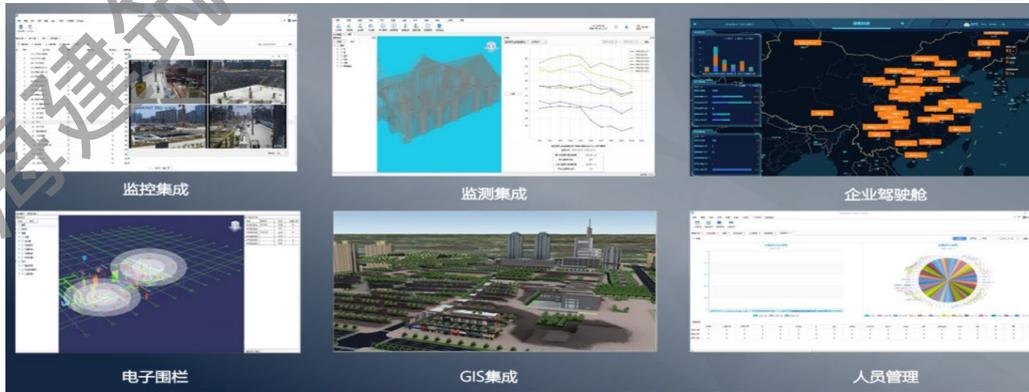


图 3-31 BIM 管理平台功能概况

4D 进度管控。通过管理平台对项目计划时间进度和实际时间进度对比，发现项目进度的偏差，及时进行纠偏调整，保证项目按时按质进行，提升项目管控效率。

质量管理。现场质量员通过手机 APP 端对发现的质量问题进行整改命令发布，在模型中标记相关位置，提供任务状态实时跟踪功能，可实现任务信息的多维关联，支持视点图片备注，大大提高相关责任人的整改效率。

安全管理。现场安全员通过手机 APP 端对发现的安全问题进行拍照记录，在模型中标记相关位置，提供安全状态实时跟踪功能，提高安全责任人的整改效率，降低安全隐患。

资料管理。通过管理平台对项目计划时间进度和实际时间进度对比，发现项目进度的偏差，及时进行纠偏调整，保证项目按时按质进行，提升项目管控效率。

物料跟踪。BIM 技术下对现场物料仓库、料场的准确布置；BIM 技术下现场物料的精确定位；BIM 技术与二维码相结合优化物料记录管理

预制构件跟踪。利用平台的物联网跟踪功能追踪预制构件的生产加工、构件出厂、进场验收、堆场情况、吊装安装、施工验收。不仅可以合理利用场地、提高工作效率，增加经济效益。



图 3-32 项目动态检测

4. BIM 技术应用效益及测算方法

预计竣工完成后至少可节约人工与材料成本约 400 万。

BIM 信息化施工价值效益			
内容	说明	时间效益	经济效益
1	施工前期策划	BIM技术辅助各阶段施工策划，完善场地各类信息。	节约11% 项目全过程管控
2	技术方案优化	BIM技术优化方案24本。	节约10% 项目全过程管控
3	土方开挖工序优化	通过BIM施工模拟优化开挖工序，有效节省施工工期。	节约6% 施工成本节省46万
4	各专业深化设计	通过BIM正向深化设计，提前发现发现各类问题和碰撞3472多处，减少现场返工。	节约23% 整体施工阶段节省约200万
5	工程模拟施工	通过BIM施工模拟项目，选取最优设计方案，缩短施工周期，降低施工成本。	节约11% 施工成本节省86万
6	交互式智慧工地展厅	对员工进行可视化沉浸式VR施工培训和安全教育，累计300人次，平均每人教学时长30分钟。	节约8% 提高工人安全意识 施工班组的操作能力
7	物料跟踪	BIM技术下对现场物料仓库、料场的准确布置，现场物料的精确储存，BIM技术与二维码相结合优化物料记录管理，避免施工现场的材料存储过剩或材料不足都会给施工企业带来不必要的经济损失。	节约11% 物料成本节省37万

图 4-1 BIM 信息化价值估算

5. BIM 技术应用推广与思考

信息化建筑作为建筑产业转型升级的引擎，其对建筑业的影响必然是链的渗透与融合，不断对信息化建筑驱动建筑产品升级、产业变革与创新发展的探索，打造出一条上海建工二建建团信息化建筑全新数字化生产线，让项目全生命周期的每个阶段发生新的改变。

未来的信息化全过程将在实体建筑建造之前，衍生纯数字化虚拟建造的过程，在实体建造阶段和运维的阶段将会是虚实融合的过程。

本项目是上海体育场所中一个重要的场馆，建成后将作为上海上港足球俱乐部的新的主场，也有望举办亚洲杯、世俱杯乃至更高级别的大型赛事。该项目 BIM 应用在许多方面，结合许多新设备和新技术的使用，为现阶段工程信息化提供了参考。

七、基于数字化沙盘的科学装置集群智慧规划

1. 项目概况

以自由电子激光（如图 1-1）和同步辐射（如图 1-2）为代表的大科学装置在物理、化学、生命科学、材料科学、能源科学等前沿领域的研究中的作用无可替代，是我国攻克芯片光刻等技术难题不可或缺的科研平台，也是支撑自主创新发展的基础设施，更是全国建设具有全球影响力的科技创新中心的重要基石。

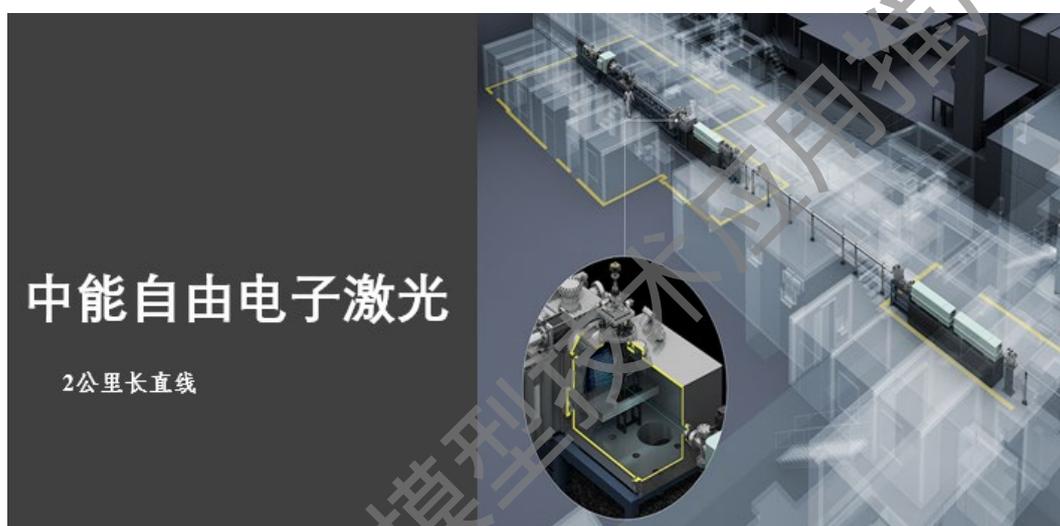


图 1-1 中能高重复频率 X 射线自由电子激光装置布局示意图

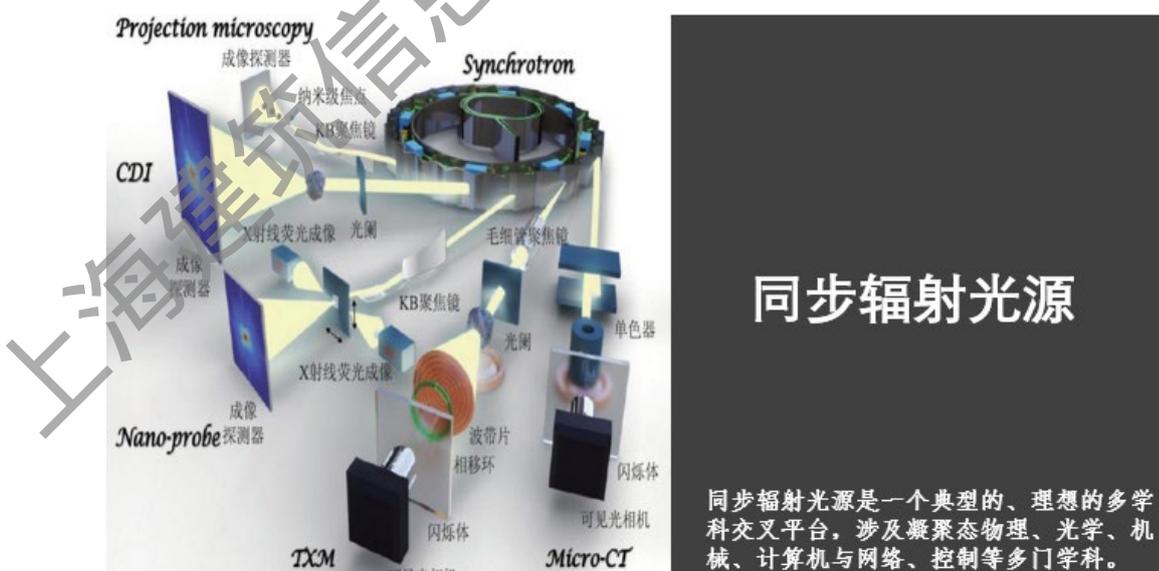


图 1-2 典型的同步辐射装置的构成示意图

本项目大科学装置集群用地面积 6 平方公里，目标建成区域性的综合国家科学中心核心承载区，将形成全球领先的重大科技基础设施集群。近期建设以 13 万 m^2 中能同步辐射光源和 20 万 m^2 、2 公里长中能自由电子激光等两大科学装置为主，总平面图示意图 1-3。

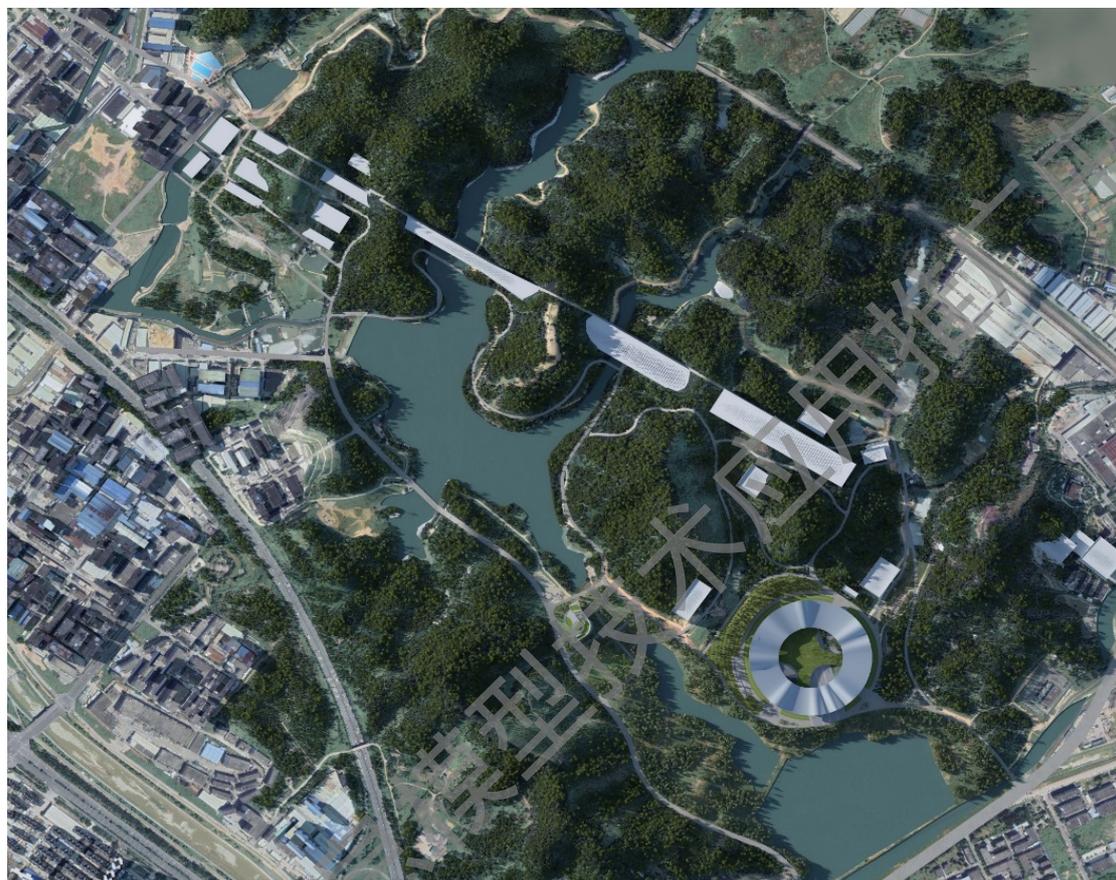


图 1-3 大科学装置集群总平面图

2. BIM 技术应用概况

2.1 BIM 应用挑战

2.1.1 占地面积大、地表形态变化多

本项目的占地面积较大约 6 平方公里，地表形态变化较多，地势起伏高差较大近 140 米，如图 2-1 所示，地貌丰富，山体、水系等高低海拔高低以及形态分布复杂。基于地形测绘数据、卫星影像以及场地规划图纸，对现状地形、用地红线、规划数据等信息进行数字化构建，如图 2-2 所示，模拟原始场地地形地貌，规划场地空间属性等。

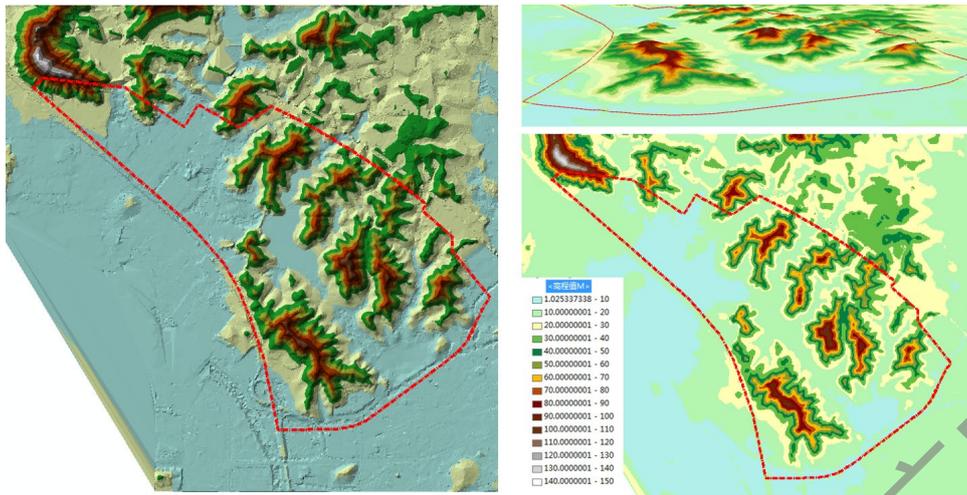


图 2-1 场地地势高程分析



图 2-2 原始地形地貌模拟

2.1.2 大科学装置选址要求严苛

新一代大科学装置的建设规模大（空间更高、面积更大、隧道更长，装置发热量更大），对包括室内空气温度、湿度、洁净度、装置设备内部散热和微振动等的环境稳定性要求高，装置对土建的约束条件更趋严苛，给大科学装置工程的建设带来新的难度和挑战，必须实现在极限精度级别的高精度空气温度恒温控制、高精度工艺冷却水水温控制、纳米级微振动控制。

尤其是沉降控制和振动因素方面，肉眼很难察觉的极轻微振动也会对电子束流的稳定性带来极大影响，科学家就提出了要求——防微振动控制目标要纳米级别，就意味着结构需要无限趋近于“零沉降”。考虑大科学装置对外部环境特殊要求，本项目在投资决策初期就引用了 BIM 等数字化手段，进行多个装置选址、多个设计方案比选，以减少后期不必要的资源浪费，有效控制成本。

2.1.3 地质条件复杂

本项目 6 平方公里内，复杂的地质条件加大了大科学装置的选址难度，基于初步勘察勘探的结果，传统的二维图纸难以描述如此复杂的地质勘探结果，本项目采用地质信息数字化的手段，根据勘察数据录入钻孔孔口坐标、测斜、岩性、地下水位等信息，模拟场地内的钻孔地质与地层岩性，建立岩土勘察三维模拟模型，如图 2-3 所示。

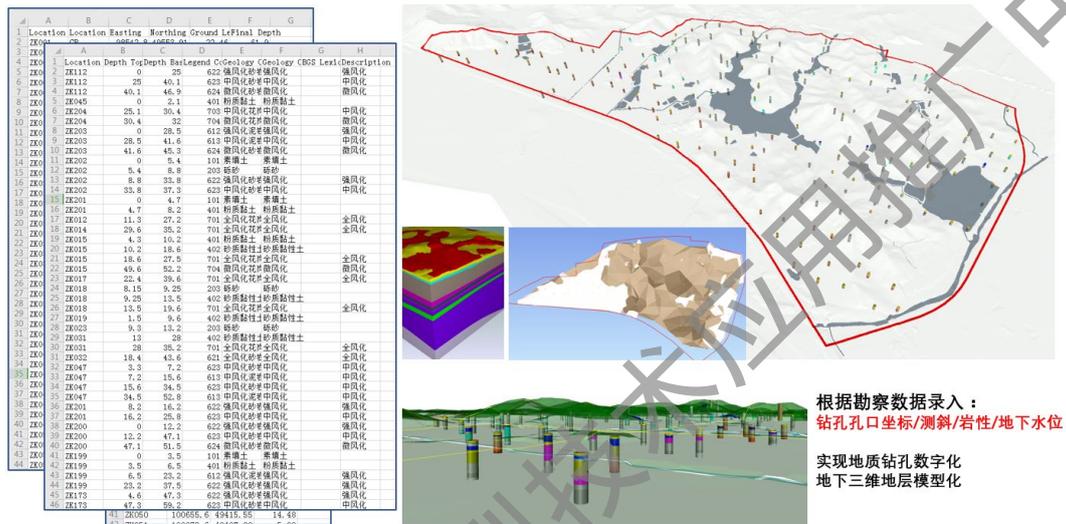


图 2-3 岩土勘察三维模拟模型

2.2 数字化应用目标

国内各领域的科学技术在飞速发展，大装置类项目的设计要求在升级，建筑设计的技术难度也在提升。近年来，在复杂大装置项目的设计中，国外同行率先推行了基于 BIM 的“去边界化集成”设计。本项目在立项前期引入数字化的工具及手段，通过三维立体化手段严格把控，引导特色鲜明的空间形态格局，以大装置区域的数字底座进行精细化管理。将大科学装置建安配套设计关键技术与数字技术相互结合，系统性地重塑了可辅助科学装置建安配套设计选址的数字规划、三维设计流程，实现数据驱动的大型科学装置建设智慧选址的创新应用。在大科学装置领域内，特别是在前期建设策划论证、装置与配套建安集成方面，探索一种可复制、可推广的信息化、数字化、精细化设计解决方案。这一探索将会成为今后我国此类项目经济造价、提高设计效率及完成度的重要新起点。

3.BIM 技术应用成果与特色

本项目的特点在于在项目规划初期，项目建议书阶段，利用 BIM+GIS 技术，通过单因子斑块分析、多因素叠加以及土方成本估算，科学数据结合可视化方式协助规划部门、业主、设计师共同决策，为大科学装置数字化智慧选址。

3.1 基于 BIM+GIS 的项目前期正向规划设计

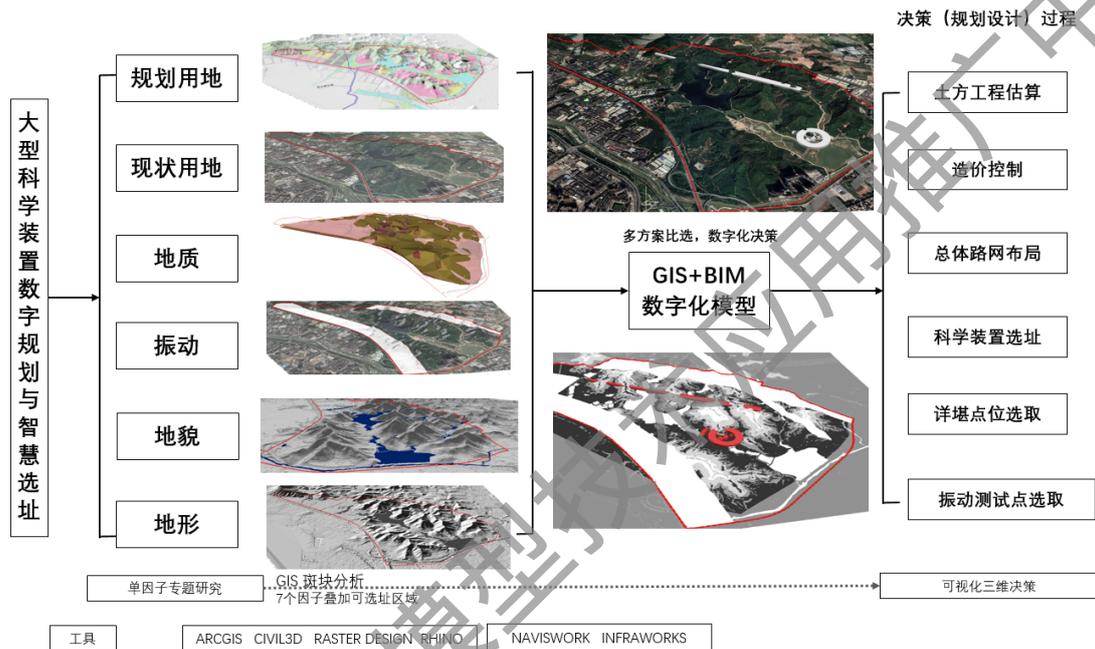


图 3-1 项目前期正向规划设计总体框架

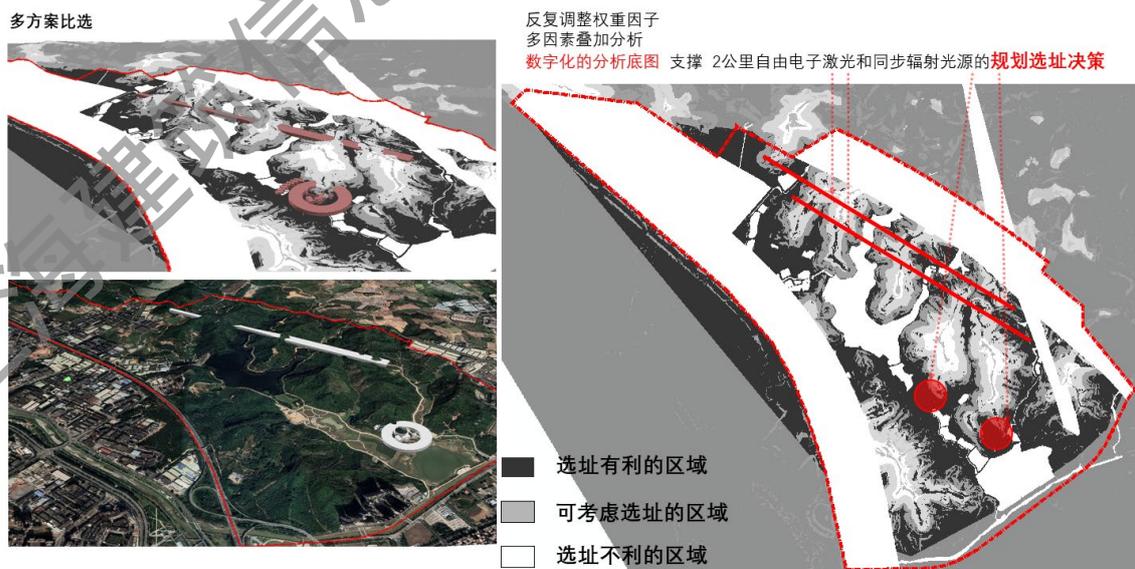


图 3-2 智慧选址—多因素叠加分析

本项目实践中，对 BIM 定义的仅包括建筑项目的狭义范围进行衍生与创新，将 BIM 的应用从建筑单体扩展到规划设计的建设项目中。BIM 应用是以数据为基础的管理应用，其特点之一是减少设计的模糊性，并在项目早期对项目整体进行把握。传统的规划设计方式常以设计者经验出发，数据依据较少，在项目早期难以量化。

本项目应政府、科学家团队、规划设计部门、设计师等各方需求和特殊要求，结合三维数字化模型得出相关分析数据以指导未来的规划设计施工建设，并通过数据分析在项目早期明确方向，为 BIM 在生命周期管理中的应用提供基础。

面对多方面的项目挑战，地势变化剧烈、地质条件复杂、现状土地利用与用地规划间矛盾产权问题较多，同时受大科学装置的运行对外部环境严苛要求的限制，项目建议书阶段从 6 个维度进行单因子的专题研究，以 GIS 斑块分析方法，由单因子分析进而转向多因子叠加策略，实现设计阶段数字辅助的大科学装置选址决策过程，总体框架如图 3-1 所示。斑块分析多维度叠加后的成果底图，有利于业主、科学家团队以及设计师在项目最初期可以进一步做出点位选取与多方案比对，如图 3-2 所示。

3.2 土方挖填数字模拟

基于多因素叠加分析的成果，设计过程中设计师可以判断出大型科学装置的未来落地的 2-3 个有利选择点位，在明确对比方案的可能性之后，考虑 6 平方公里内场地的地形山体复杂性，再引入土方工程因素，作为比选方案的重要因子。土方工程量直接关系到最终工程造价，因而对于不同方案的土方量对比用于方案优选影响力较大，可以说，数字化土方工程模拟是支撑规划选址决策的重要方式之一。

自由电子激光约 2 公里长，且标高需绝对平衡，受诸多条件约束，在场地中必须多次穿越山体，将发生大量土方挖和隧道工程。通过数字化的地形模拟，一方面对比隧道工程与土方直接开挖两种方案的合理性、经济性、生态性，如图 3-3 所示；另一方面，基于多个选址方案的点位，进行土方开发方案、土方工程量对比，如图 3-4 所示。

基于斑块分析结论下场地内智慧选址方案成果，同步辐射光源的选址方案受到现状高压线走廊、河道水域、规划产权等众多因素的影响，可选址斑块量不大，最终在 3 个方案中进行土方工程量的对比分析，如图 3-5 所示。土方工程作为考量关键因子之一，仅从土方量比较来看，同步辐射光源的方案一最优，但考虑到高压线走廊的构筑物等综合因素，次优的方案二位置选址也作为重点方案供业主和规划单位决策。

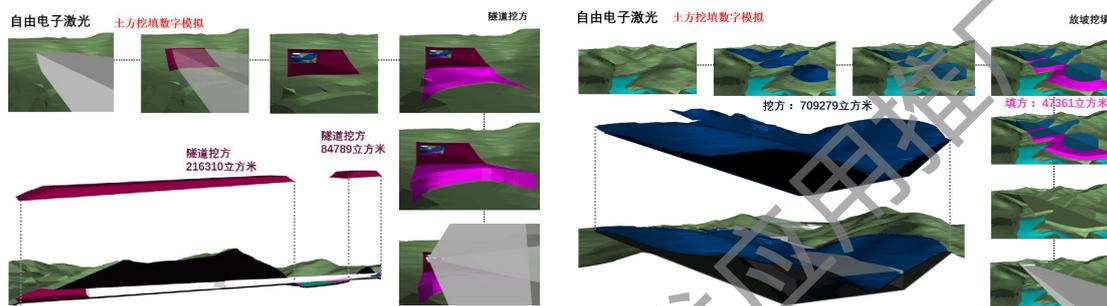


图 3-3 自由电子激光隧道挖方与土方开挖方案对比数字模拟

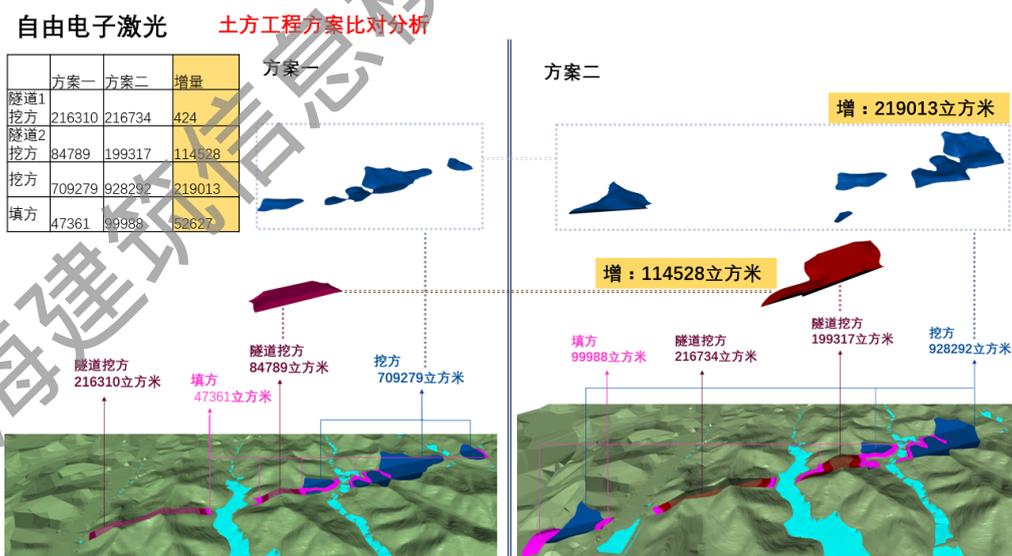


图 3-4 自由电子激光土方工程方案数字模拟对比分析

同步辐射光源 土方工程方案比对分析

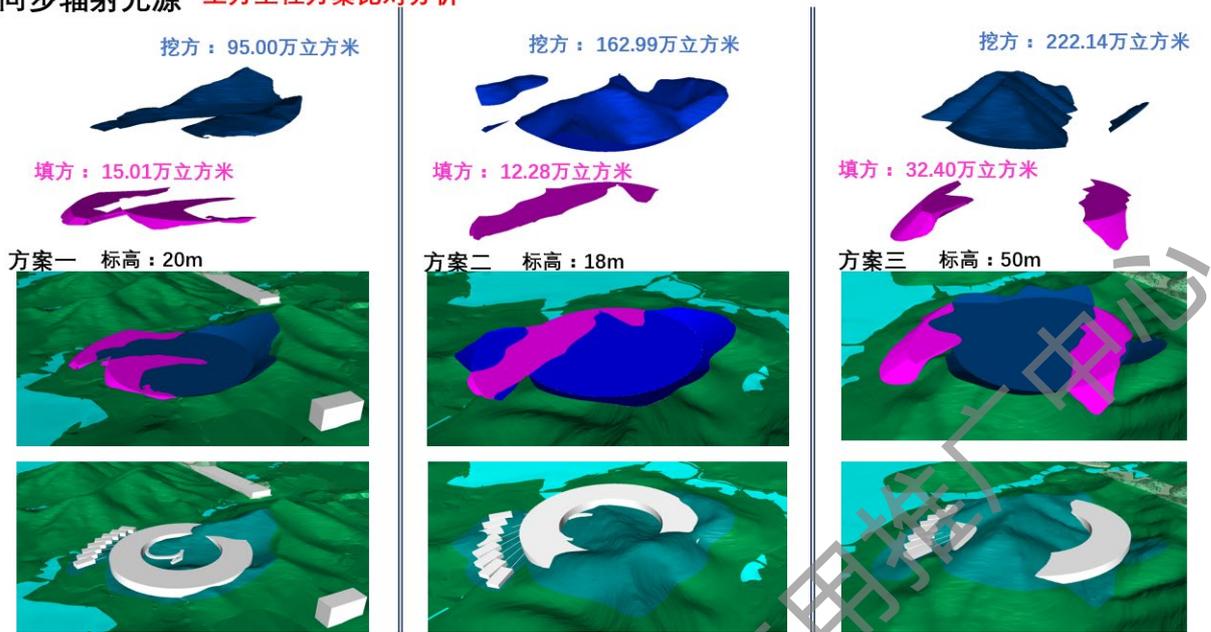


图 3-5 多方案同步辐射光源土方挖填数字模拟

4. BIM 技术应用效益及测算方法

新的工具将带来设计技术、组织模式、实施流线上的改变，各个参与方之间以往的相互等待提资改为面对同一平台共同作业。随着设计进程的时间推移，各个参与方之间的设计边界将会由清晰到模糊再回归清晰。事实上，虽然设计直观性、设计效率可能有提升，但是各方人员面对这种融合后的工作流程可能会面对更大的压力和挑战。因为在传统模式下大量要到项目后期阶段才会暴露的问题，在项目前期就以三维可视化的方式清晰呈现，业主方、设计方、参与方无一避免会面临大量的抉择压力，然而依循旧历的很多设计环节，例如各方之间的隐性协调、设计修正调整等都要被迫前移，对于政府投资的大型科学装置同类公建项目而言，节省下来的工期、效率以及避免浪费的资源使得最大的得利者是业主和社会公民。

5. BIM 技术应用推广与思考

通过项目，BIM 在大科学装置规划设计阶段的智慧选址应用与实践，与传统设计方法比较，是以数据为核心的设计方式，在项目前期中其优势主要表现在：

(1) 精准、高效

在场地规划土方工程方面实现了参数化设计，与传统的手绘 CAD 等高线相比，效率、精度有了很大的提高。在前期和成果分析中，通过数据模型推而产生的设计依据要比单凭经验判读的成果更加准确。设计之初有可参考参数，使设计有据可依。在计算机强大的推演模拟功能下，可持续设计、低碳设计、集约型设计有量化的数据支持，避免沦为空谈。

(2) 丰富多样的设计方法

项目前期的土方工程量估算一向是一大难点，不仅是其他因素体现设计的基础，本身已可以成为设计语言最抽象的表达。数字模型的建立使地形设计进入一个新时代，复杂而逻辑严密的地形设计只有通过计算机模型才能被演化被建造。

(3) 减少信息流失

在传统的设计流程中，由场地信息解读到设计的过程中；由概念设计到深化设计的过程中；由深化设计到施工图绘制的过程中；由施工图到现场施工的过程中，都因为二维图纸语言的局限性导致大量的信息流失，设计与建设成果之间存在很大差异。BIM 是基于一个共同的数字模型，所有数据信息的添加与更改基于同一个模型平台，信息流失量小，相信在前期数字化的基础上，未来本项目可以进行准确的把握全过程数字化设计建造和运维管理。

(4) 设计更完善

更改是不能回避的，并且单因素的更改或导致多因素的变化，在传统项目中，设计师大都使用没有数据库链接的绘图工具，更改过程琐碎繁杂，耗费设计者大量时间，并容易出错。利用计算机更新节约大量计算时间，数字模型、图纸、数据文字三位一体相互关联，更改联动变化，减少设计者不必要的时间浪费，使规划设计师的精力更多用于方案的推敲与深化，前期方案抉择将更加合理完善。

本项目的 BIM+GIS 应用对我国的建筑信息化产业具有里程碑的意义，引领建筑行业信息技术应用走向更高的层次，大大提高建筑工程的集成化程度，必将推动我国大科学装置的建设迈入一个崭新的数字化新时代。

八、基于倾斜摄影技术的市政基础设施建造关键技术研究与应用

1. 项目概况

本技术依托中国二十冶集团有限公司湖州内环北线快速化改造工程、雄安新区市政基础设施工程、深圳梅观高速市政道路工程等市政项目，从设计、施工、运维三个重要阶段开展倾斜摄影技术在市政基础设施建造领域的研究与应用。

湖州内环北线快速化改造工程，该项目位于浙江省湖州市，工程包括道路总体线形快速化改造、道路断面拓宽、新建高架主线桥、隧道、改造和新建跨河桥梁、市政管线的迁建等，工程全长 9678 米，其中桥梁改造和新建面积约 24 万平方米，地面道路面积约 48 万平方米，新建隧道主体洞身长 680 米，人行桥 4 座。属于湖州市重点市政工程。



图 1-1 湖州内环北线快速化改造工程效果图

雄安新区棚户区改造容东片区市政工程，该项目是雄安新区基础设施首个开标的项目，涉及道路工程、管廊工程、桥梁工程、交通工程等，包含干线管廊 3.27 公里、市政道路 7 公里、桥梁 6 座、雨污水管网 12.5 公里。站在“千年大计，国家大事”的高度，二十冶集团筹建的经营、技术、BIM 等人员扎根雄安，为国家战略的落实、雄安新区迅速发展贡献央企力量。



图 1-2 雄安新区棚户区改造容东片区市政工程效果图

深圳梅观高速清湖南段市政道路工程，该项目是国内首条市政化改造高速公路工程，包含改造扩建原高速公路及两侧辅道 5.73 公里、建设桥梁 21 座、人行天桥 6 座、综合管廊 11.75 公里，项目属于深圳市改善中部环境、打造智慧交通的重点项目，也是国内首条在运营期间通过政府回购方式取消收费的高速公路，开创了未来更多高速公路市政化改造先河。



图 1-3 深圳梅观高速清湖南段市政道路工程效果图

2. BIM 技术应用概况

2.1 技术应用阶段

本案例从设计、施工、运维三个重要阶段，通过以上三个市政基础设施建设工程进行倾斜摄影技术的研究与应用。

2.2 技术应用背景

2020 年 2 月，住建部发文大力推进企业数字化转型——企业要加强信息化建设，更多通过线上方式布置工作、实施质量安全管理、召开会议、汇报情况、招聘队伍、采购建材和机械物资等，推进大数据、物联网、建筑信息模型（BIM）、无人机等技术应用，提高工作效率，减少人员聚集和无序流动。

倾斜摄影技术作为近几年发展起来的一项新型测量技术，利用多目云台相机通过 GPS 定位赋予每张影像地理位置信息，从不同的角度对数据采集，可灵活应用于各种复杂地形，高效快速地获取原始地形地貌信息，真实可靠的反应地面的客观情况。利用倾斜摄影大规模成图及自动化三维建模的特点，加上从倾斜影像批量提取及贴纹理的方式，能够有效地提高项目三维建模效率，降低建模成本，同时可解决周边复杂环境的实测实量问题，大大提高测量的效率。

2.3 技术实现目标

基于项目建设过程中三个重要阶段的倾斜摄影技术研究与应用，从利用倾斜摄影技术辅助设计优化、提高工程实测实量效率、核查 BIM 模型、土方挖填算量、智慧城市 CIM 平台等方向，为工程项目的智能智造提供有力的数据支持与技术支撑，辅助项目创收更多效益。

2.4 组织架构

中国二十冶集团有限公司高度重视 BIM 技术应用，BIM 工程中心成立于 2014 年 7 月，设 BIM 技术咨询、BIM 信息管理两大业务板块，现有模型构建、进度总控、成本控制等专业专职 BIM 人员 18 人。下属各公司均设 BIM 分中心，共有 BIM 一级建模师 123 人，BIM 高级建模师 32 人。

BIM 工程中心在 2020 年被评为集团公司创新工作室，工作室充分发挥高技能专业人才和高素质创新人才在集团公司高质量发展中的示范、引领和骨干带头作用，在超高层、装配式、工业建筑等领域运用 BIM 技术。具体 BIM 组织架构如下图所示 1-4；

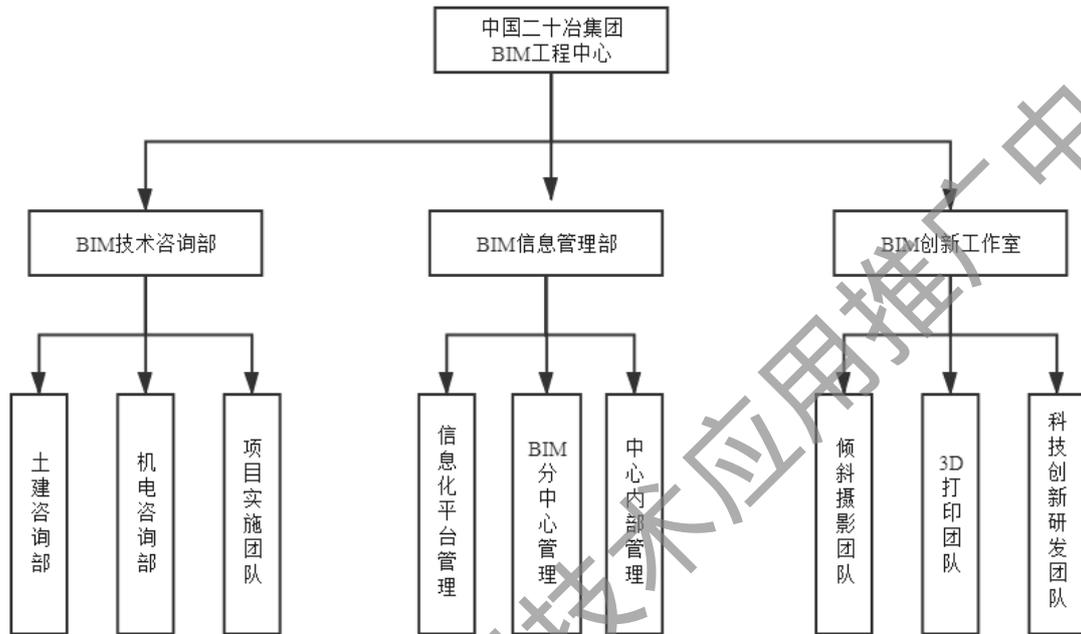


图 2-1 BIM 中心组织架构

2.5 团队配置

表 2-1 BIM 中心团队配置

架构	团队角色	职位	相关责任
BIM 中心 领导层	技术总监/教授 级高级工程师/ 博士	BIM 中心 主任	负责总控部门整体的发展方向；制定 BIM 技术的实施目标与实施规划；监督项目进展和落实情况；BIM 新技术的研发与应用。
BIM 中心 管理层	工程师	BIM 中心 主管	负责制定 BIM 实施方案；制定 BIM 建模标准；把控实施过程中的 BIM 成果质量，并监督项目实施进度；传达并监督落实领导层意见；协调组织软硬件及人员资源以达到项目进展需求。

BIM 中心 成员	助理工程师	BIM 技术员	负责执行 BIM 实施方案；在项目现场落实各项 BIM 指标；收集汇总 BIM 实施过程的问题，协调组织各方开展会议；培训项目人员解决实际问题；实施 BIM 新技术形成成果；负责倾斜摄影无人机航拍，数据处理及成果产出。
--------------	-------	------------	---

2.6 软硬件配置

表 2-2 软硬件配置

配置	软件名称	功能及用途
软件	Bentley Context Capture	倾斜摄影数据处理、三维实景模型生产
	Local Space	三维实景模型浏览
	Google Earth	
	LumenRT	大场景漫游渲染
	Lumion	
	Civil 3D	结合基坑土方模型计算设计阶段与施工阶段产生的土方量差
	Open Roads	在市政道路方面进行三维实景模型应用
	Office Excel	进行无人机航拍数据预处理
硬件	大疆经纬 M600Pro 无人机	搭载相机进行航拍飞行，利用 GPS 赋予照片地理位置数据
	鸿鹄五目倾斜摄影相机	采集地形地貌的不同方位照片
	台式计算机（8 台）	进行航拍数据处理，通过计算机集群进行倾斜摄影三维实景模型的快速产出

2.7 团队资质

BIM 体系内全员持证上岗，具有建筑、结构、机电专业的图学会与人社部联合颁发的 BIM 等级证书。同时无人机操作人员具有中国民航与 AOPA 联合颁发的无人机驾驶员执照，保证无人机采集数据过程的合法性与安全性。

3. BIM 技术应用成果与特色

3.1 湖州内环北线快速化改造工程

(1) 方案比选

在道路工程可行性研究和初步设计阶段需要完成该项目建设的必要性评估、交通流量预测、项目的现状及未来的发展、工程设计方案以及工程环境的影响等内容。

基于周边环境的倾斜摄影三维实景模型对于新建道路进行设计，分析对周边环境的影响产生不同的线路方案，再根据实地勘察确定最优的设计方案。



图 3-1 同一位置四种不同方案进行比选

(2) 性能评估

在现有道路的使用性能评价中常用的评价指标有车辙、破损率和平整度，而这些指标可以通过倾斜摄影三维实景模型获取道路三维数据进行评价。

以图 1-6 交叉路口为例,该路口目前存在横向裂缝、车辙和破损等路面病害。基于倾斜摄影三维实景可提前发现施工中的问题,再有针对性地进行现场确认,可有效提高工作效率。



图 3-2 交叉路口三维实景模型

(3) 辅助施工图设计优化

项目实景模型(如图 1-7)展示了该路段目前的车行道数、人行道、中央分隔带、渠化段及其他交通设施的布置情况,为施工图与现状保持高度吻合和优化提供了保障。



图 3-3 局部道路三维实景模型

(4) 交通导流分析模拟

通过利用倾斜摄影技术获取的影像资料生成的周边环境大场景模型,初步确定周边道路的通行能力以及现状道路交叉口的通行能力。初步进行交通流量预

测，进一步设计道路等级、机动车道数、非机动车道宽、人行道宽及其附属设施布置等，确定该路段道路桥梁通行能力是否满足要求等。



图 3-4 交通导流分析模拟示意图

(5) 优化市政管网施工图设计

根据不同设计要求分区域、分专业分别设计市政管网中的强电、弱电、通信管线、雨水管线和污水管线。在各个专业和各个区域进行合模，检查各管线设计是否符合规范要求，是否存在交叉或过密等问题。最后，在市政管网三维模型上做进一步调整获得最优的市政管网设计方案。

(6) 基坑开挖土方算量

项目龙溪北路至青铜路含有下穿隧道，在项目基坑开挖前，利用无人机采集原始地貌数据，将生成的倾斜摄影原始地貌实景模型导入 CNCC OpenRoads 转化为地形模型；将基坑设计图纸上关键坐标点导出，编辑格式导入软件生成设计基坑模型；将实景地形模型与基坑设计模型进行连接分析，即可地设计阶段土方开挖预测算量。

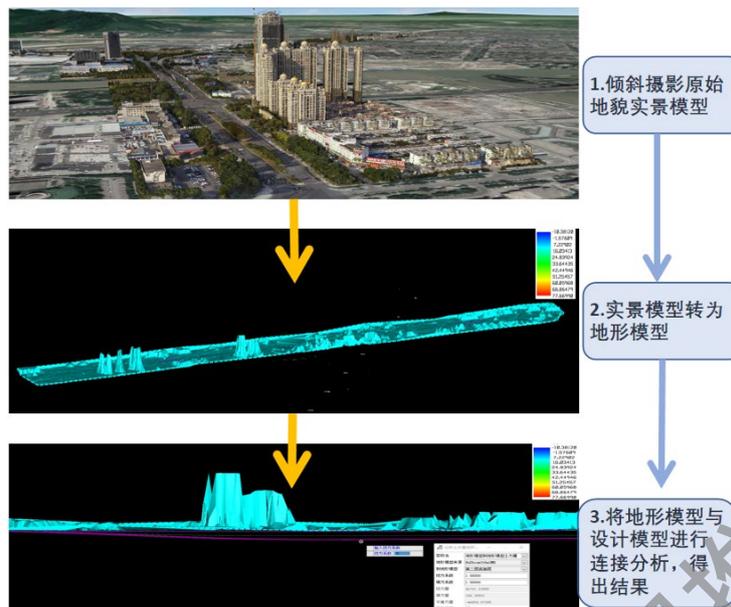


图 3-5 利用不同阶段模型比对计算土方量差步骤

此方法同样适用于已经开挖的基坑实际土方挖方量以及土方预计回填量，与人工测算相比，倾斜摄影技术在土方算量上的应用拥有更高的效率与准确率。

(7) 现场设施实测实量快速统计数据

通过倾斜摄影模型，找到需要布置密目网的地方，利用软件的面面积计算功能，统计需要的密目网面积。同样的，可以快速统计施工区域原道路需要凿除的面积，进而测算出凿除的工程量，以及可以精准地测量出施工围挡等临时设施的个数与长度，数据作为与甲方、分包结算的依据，代替了原有的多方到场进行实测实量确认的工作方式，大大提高了工作效率。



该段围挡长度为132.35m

图 3-6 三维实景模型实测实量功能示意图

3.2 雄安新区棚户区改造容东片区市政工程

3.2.1 施工进度对比、进度巡检

在项目开工前、地下施工阶段、地上施工阶段、竣工阶段等几个施工重要节点进行倾斜摄影航拍记录地貌地形以及现场实际情况，形成视频、720度全景图等资料，可直观展现项目进度。

因该项目施工跨两个冬季，标准化要求高，同时政府、业主及社会组织进行项目参观交流，导致工期异常紧张。通过无人机倾斜摄影航拍结合项目监控监管平台进行项目进度控制，确保工期。



图 3-7 现场实拍施工进度对比图

3.2.2 基坑土方测算

(1) 开挖土方测算

选取项目 E4C 0+396~N7 0+50 (桩号) 基坑段进行倾斜摄影模型土方量统计，经统计开挖土方量与人工实测误差为 0.22%。

表 3-1 开挖土方量对比

统计方式	土方量	误差
倾斜摄影 (模型实测统计)	85208.06m ³	-
经营部 (人工测绘统计)	85396.00m ³	0.22%

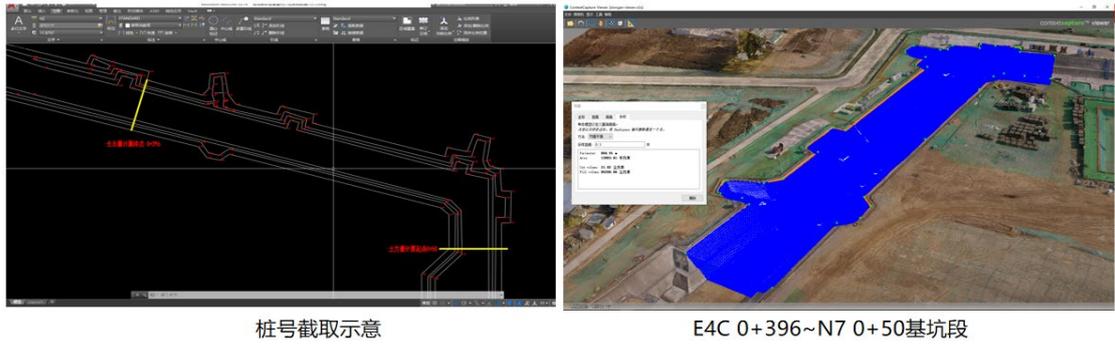


图 3-8 基坑开挖土方测算

(2) 回填土方测算

选取项目 E4B 基坑段长 100 米的基坑段进行倾斜摄影模型土方量统计, 经统计回填土方量误差为 2.96%。

表 3-2 回填土方量对比

统计方式	土方量	误差
倾斜摄影（模型实测统计）	18596.15m ³	-
经营部（按图纸统计）	18045.75m ³	2.96%

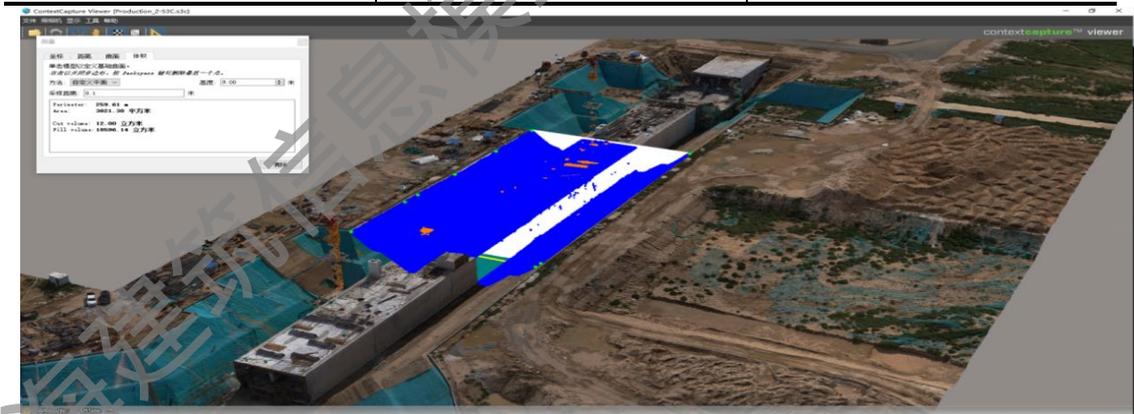


图 3-9 基坑回填土方测算

(3) 土方平衡测算

选取项目现场土方堆场进行测量, 得到该堆场的体积, 提前预估堆成土方是否满足基坑回填量, 提前计划土方运输次数及相关费用, 为项目结算提供数据支撑。

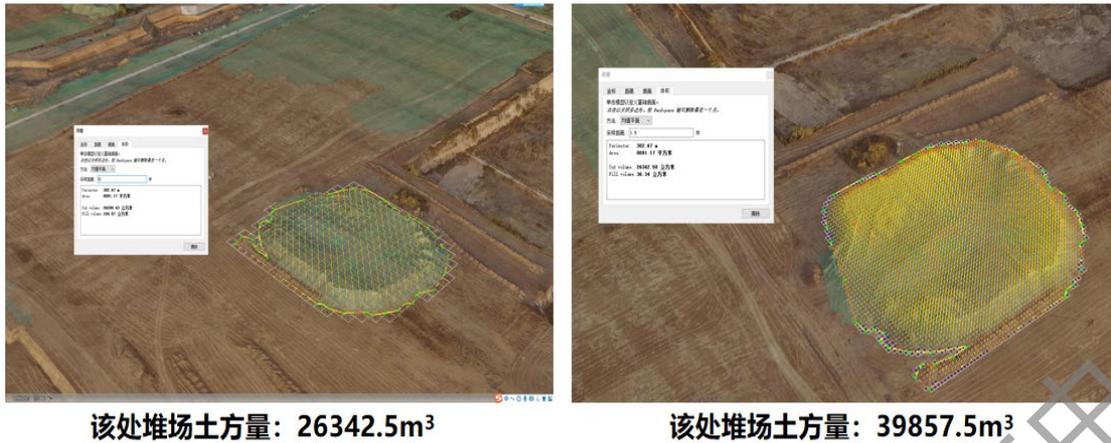


图 3-10 土方平衡测算

3.2.3 地貌复测

通过倾斜摄影模型获取的控制点坐标与设计控制点坐标对比，横纵坐标误差为 0.008%，高程平均误差为 0.04%，经计算表明，此误差在允许范围之内。

经统计，与人工测量速度相比，复测效率提升 300%。

	A	B	C	D
1	点名称	经度	纬度	高程
2	点2	4324409.472	494983.906	9.495
3	点3	4324373.53	495017.801	9.594
4	点1	4324317.887	494881.776	9.099
5				
6	注：坐标系采用CGCS2000 (117E)			

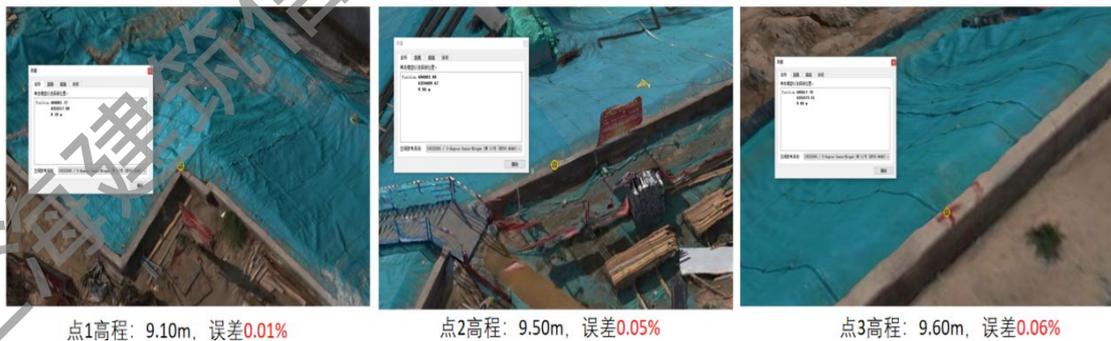


图 3-11 施工场地内坐标点提取

3.2.4 雄安新区智慧城市 CIM 平台应用

以雄安新区 CIM 运维管理平台为主，基于倾斜摄影三维实景模型（GIS）将

地理空间信息、室外环境数字化，引入建筑信息模型（BIM）将城市空间、建筑空间及地下空间数字化，创建城市智慧，通过时间和空间的组织、管理、表现和互联互通所有智慧应用，实现真正意义上的城市及智慧建设与运行。

3.3 深圳梅观高速清湖南段市政道路工程

(1) 核查方案设计可行性

在项目施工准备阶段通过倾斜摄影三维实景模型对现场地貌坐标、面积、高程等信息快速提取，并将工程图纸与实景模型嵌套，可直观反映现场实际情况与图纸冲突，核查红线范围现状以及叠加设计图纸核查设计方案可行性。

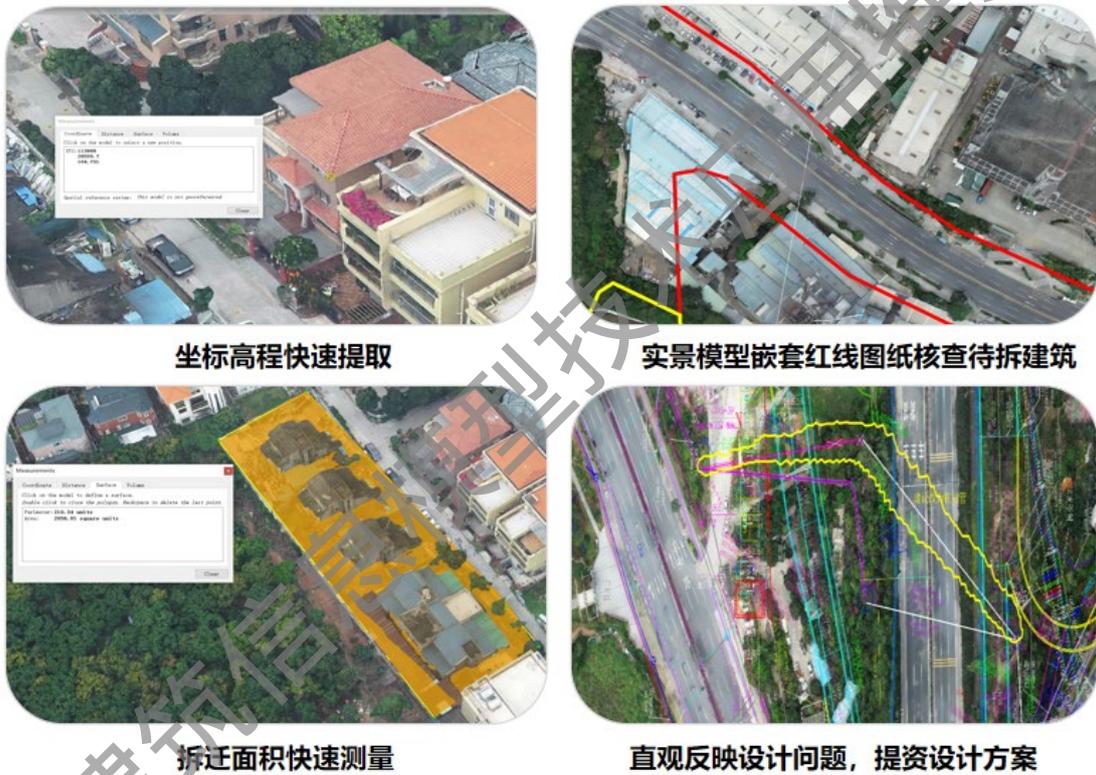


图 3-12 核查方案可行性实施步骤

(2) 辅助施工场地布置规划

利用倾斜摄影的环境地形采集功能，将项目区域地形地貌转化为三维实景模型，通过与 BIM 模型的结合，分析项目大临排布规划及地理位置的合理性，从而选出最优方案。

(3) 无人机进度巡检



图 3-13 施工现场实拍数据记录

在项目施工阶段，针对市政工程线性超长施工区域，利用无人机航拍的高效性对施工现场进度情况、质量情况进行巡检，生成 720 度影像或视频，对重要施工节点可生产三维实景模型，每周定时拍摄两次，较人工巡检相比，可大大提高作业效率，降低人工成本，及时对现场进度、质量等问题进行把控。

4. BIM 技术应用效益及测算方法

4.1 经济效益

通过对项目基坑土方算量优化挖填方控制，减少运输次数，可视化技术交底，工程量统计、碰撞检查、施工模拟、无人机航拍技术，精准测量数据获取等技术应用。加上多方协调例会制度，有效地指导施工工作开展，推进了倾斜摄影技术与 BIM 技术结合的“全员、全专业、全过程”应用。

(1) 技术投入

表 4-1 技术投入明细

	投入内容	投入费用	合计
软件	Bentley 系列软件	40 万元	57 万元
硬件	无人机及相关倾斜摄影设备	15 万元	
人员	培训及取证	2 万元	

(2) 技术产出

表 4-2 技术产出明细

	技术应用项	经济效益	节约成本
1	基于倾斜摄影三维实景模型对 BIM 模型核查总计查出问题 68 余项	人工成本节约 8.4 万元，避免经济损失约 34 万元	42.4 万元
2	基于倾斜摄影的 BIM 模型碰撞检查、实测实量、基于三维实景模型的大临场地优化	降低项目成本约 85.14 万元	85.14 万元
3	基于倾斜摄影的土方计算对基坑底标高、基坑土方进行优化，减少二次开挖即土方量约 12000 方	节约成本约 30.22 万元	30.22 万元
4	可视化交底、施工模拟、实景模型算量等应用	间接产生经济效益约 18 万元	18 万元
5	通过无人机全方位航拍，定时对现场进度进行分析，提出解决方案	有效节省工期约 90 天	-
合计			175.76 万元

4.2 科技创新效益

截至目前，基于倾斜摄影技术，从高效建模、飞行区域合理划分、不同地形及地区土方算量等方向，技术团队已形成 15 项相关专利，及数篇相关技术报告、操作手册等。

5. BIM 技术应用推广与思考

基于倾斜摄影技术目前可实现的功能与价值，我司技术团队对倾斜摄影技术未来的发展方向有以下思考。

(1) 倾斜摄影技术在城市规划方面的应用

随着城市的快速发展，城市道路交通设施、管道设施、公共基础设施将越来越复杂，城市地理信息数据也将越来越冗杂，在进行城市规划方案比对时，传统的办法只能通过城市规划人员的经验以及其他城市的管理经验进行判断，而借助倾斜摄影技术所构建的三维数字城市模型，能够为管理部门提供多个可视化、直观的解决方案，从而显著提高城市规划工作的效率和质量水平。

(2) 倾斜摄影技术在智慧城市建设中的应用

在三维数字城市的建造过程中，借助于倾斜摄影技术可以实现实时对项目的质量及进度目标的控制，从而提高项目的审批和决策。另外，在项目的竣工验收阶段，也可以借助于倾斜摄影技术实现一些大面积的、结构繁琐的工程概况实时监控，根据获取的问题资料实现快速构建三维实景模型，实现智慧城市平台三维模型数据库的实时更新，供管理者了解掌握项目的整体情况。

(3) 倾斜摄影技术在城市管理方面的应用

借助无人机倾斜摄影所拍摄的多角度影像数据以及后期处理生成的三维实景模型，可将整个城市模型信息化，基于智慧城市 GIS 管理平台，这一技术可应用于楼宇经济管理、不动产管理、人口精细化管理、交通和基础设施管理、环境监测等领域。为数字城市提供更好的管理依据和工具，为城市管理部门提供更强大的决策工具。伴随地理信息技术、遥感技术、GPS 卫星导航技术等相关科技协同发展，未来的三维智慧城市将更加精细化、动态化。