

上海市建筑信息模型技术应用与发展报告

Shanghai BIM Technology Application & Development Report



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

上海市建筑信息模型技术应用推广联席会议办公室

Shanghai BIM Technology Application Joint Conference Office

上海建筑信息模型技术应用推广中心

目录

附录 试点项目典型案例.....	1
一、上海市轨道交通 17 号线工程.....	2
二、北横通道新建工程.....	36
三、黄浦区小东门 616、735 街坊地块项目.....	67
四、上海市胸科医院科教综合楼项目 BIM 应用.....	87
五、张马泵站工程.....	121
六、前滩 29-03 地块项目.....	148
七、上海市青浦区赵巷镇新城一站大型社区 63A-03A 地块项目.....	181
八、复旦大学江湾校区理工科楼群新建工程.....	201

上海建筑信息模型技术应用指南

上海建筑信息模型技术应用推广中心

附录 试点项目典型案例

2017年，本市BIM技术应用试点项目推进、试点项目验收和示范项目评选工作继续稳步深入推进。62个BIM技术应用试点项目中，已完成8个试点项目的验收，在组织模式、应用内容、应用价值、专业领域关键技术方面形成了一系列显著的应用成果和应用经验，达到引领示范、创造价值的应用效果，进一步促进了本市BIM技术应用的普及深化、成果提炼和经验共享，提高BIM应用水平。

为推广典型试点项目的BIM应用成果，分享应用经验和做法，树立试点项目的引导示范作用，从项目类型、投资类型、应用阶段、应用特色等方面综合考虑，选取了本市各行业领域具有代表性的8个试点项目作为典型案例展示，涵盖商业办公、教育、水利设施、医院卫生、轨道交通、保障性住房等项目类型，跨越设计、施工（含构件预制）、运营及全生命周期的应用阶段，可充分体现BIM技术在房建、市政基础设施、水利水务等专业领域的应用特色，各试点项目信息如附表1的所示。

试点项目典型案例主要从项目概况、BIM技术应用概况、BIM技术应用成果和特色、BIM应用效益及测算方法、应用推广与思考五个方面展示试点项目应用成果和经验。其中，BIM技术应用效益与测算方法从项目实践运用出发，以项目实际应用BIM的数据和信息为基础，定量和定性结合的方式测算了项目BIM技术应用成效，为项目和企业BIM应用提供决策参考，对BIM技术的进一步推广应用意义重大。

附表 八个典型试点项目案例

序号	项目名称	申请单位	投资类型	项目类型	应用阶段
1	上海市轨道交通17号线工程	上海轨道交通17号线发展有限公司	政府投资	交通基础设施	设计 施工 运营
2	北横通道工程	上海城投公路投资（集团）有限公司	政府投资	交通基础设施	设计 施工

序号	项目名称	申请单位	投资类型	项目类型	应用阶段
3	小东门街道 616、735 街坊商住办项目新建项目	中民外滩房地产开发有限公司	社会投资	商业、办公	设计施工
4	上海市胸科医院科教综合楼项目	上海市胸科医院	政府投资	医疗卫生	设计施工运营
5	张马泵站工程	上海市堤防（泵闸）设施管理处	政府投资	水利设施	设计施工
6	前滩 29-03 地块项目	上海前滩国际商务区投资（集团）有限公司	社会投资	办公、商业	施工运营
7	上海市青浦区赵巷镇新城一站大型社区 63A-03A 地块项目	上海宝悦房地产开发有限公司	社会投资	保障性住房、商住、商业	设计施工
8	复旦大学江湾校区理工学科楼群新建工程	复旦大学	政府投资	教育	设计施工运营

一、上海市轨道交通 17 号线工程

（一）项目概况

上海市轨道交通 17 号线是一条贯穿于青浦区东西向的区域级轨道交通线，西起历史文化古镇朱家角镇（东方绿舟），东至上海市规划的重要交通枢纽—虹桥枢纽，线路的建设对青浦新城新的规划和建设具有重要意义。轨道交通 17 号线依托虹桥枢纽，接收中心城的辐射，串联青浦区的徐泾镇、青浦新城和朱家角镇，17 号线的建设将大力促进青浦区新一轮的建设和发展。

本线路全长约为 35.341km，采用高架和地下结合的敷设方式，其中地下线长度约为 16.157km，高架线长度约为 18.479km，敞开段长度约为 0.705 km。沿线共设置车站 13 座（自西向东分别是东方绿舟站、朱家角站、淀山湖大道站、漕盈路站、青浦新城站、汇金路站、赵巷站、嘉松中路站、徐泾北城站、徐盈路站、蟠龙

路站、诸光路站、虹桥火车站站），平均站间距为 2.898km，其中虹桥火车站站属于虹桥枢纽范围，与轨道交通 2、10、原规划 17 号线换乘。本线共设徐泾车辆段一处，朱家角停车场一处；控制中心选址设于徐泾车辆段内；地面主变电站两处，分别位于徐泾车辆段内和漕盈路站附近。

本项目为新建交通基础设施工程，总投资额约 173.6 亿元。目前项目已进入竣工验收阶段，2017 年 12 月底开通试运营。

(二) BIM 技术应用概况

1. 建模范围

根据上海轨道交通 17 号线建设范围，制定 BIM 技术应用的建模范围。如表 2.1-1 所示

表 1 模型数据建设范围

序号	建模范围	模型主要内容
1	周边环境	周边地表场景、地下建构筑物、地下管线等。
2	车站及附属设施	建筑、结构、环控、给排水、动力照明、AFC、通信、信号、装修、屏蔽门、电扶梯等专业。
3	区间	高架段、明挖敞开段、盾构段、旁通道、中间风井等。
4	车辆基地	土建、机电设备、装修装饰等。
5	独立主变	土建、机电设备、装修装饰等。
6	桥梁改造	桥梁上部结构、桥梁下部结构

2. 应用目标

上海市轨道交通 17 号线 BIM 技术深度应用于项目设计、施工、运维全过程，实现基于 BIM 技术的城市轨道交通全生命期信息管理，优化设计方案和设计成果，控制施工进度，减少工期，降低成本投入，提高设计质量和施工管理水平，保障工程项目的顺利完成，同时通过在运维阶段 BIM 应用提高运维管理水平。以 BIM 为核心，整合应用 GIS、物联网等技术，形成合力，突破行业发展瓶颈，实现上海轨道交通行业向信息化和工业化的转型升级。

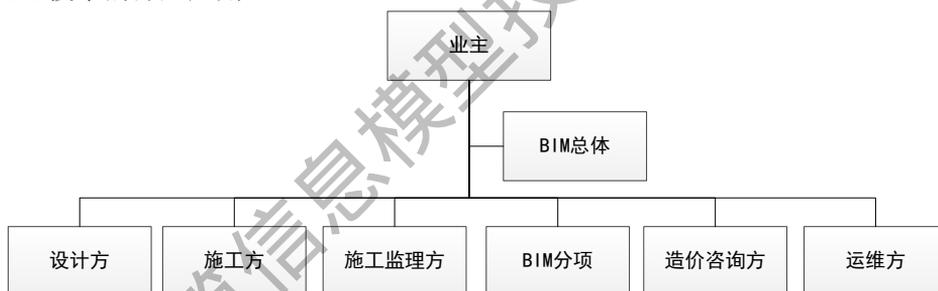
在设计阶段 BIM 应用旨在创建精确且满足应用需求的各专业三维信息模型，通过平立剖检查、场地现状仿真、冲突检测及三维管线综合、竖向净空优化、工程量复核、装修效果仿真等多个应用点优化设计方案，提高设计质量，控制项目造价。

在施工阶段 BIM 应用通过施工专项方案模拟与优化、施工进度科学管理及竣工模型构建等多项应用点的开展，减少工期，提高施工质量，促进施工安全，控制项目造价，提高施工管理水平。

在运维阶段 BIM 应用目标在于基于建设期形成的轨道交通项目标准化 BIM 数据，整合运维过程中采集的动态数据，借助运维管理系统，实现数字化的轨道交通运维管理，提高设施设备运维管理水平和公共服务水平。

3. 组织架构

本项目 BIM 技术应用采用业主牵头协调，委托 BIM 总体单位主导，BIM 分项单位具体实施，各参与方配合的组织模式。各司其职，共同推进本项目 BIM 技术的深入应用。



序号	角色类型	单位
1	项目公司	上海轨道交通市十七号线发展有限公司
2	BIM 总体单位	上海市隧道工程轨道交通设计研究院
3	总体设计单位	上海市隧道工程轨道交通设计研究院
4	分项设计单位	上海市隧道工程轨道交通设计研究院 华东建筑设计研究院 上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司
5	BIM 咨询单位	上海市隧道工程轨道交通设计研究院 上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司 上海市地下空间设计研究总院有限公司 上海绿之都建筑科技有限公司

各方职责如下：

业主方：管理决策。总体管理本项目的 BIM 应用实施。对项目的 BIM 应用研究提出进度、质量等需求及要求；监督和管理设计方 BIM 方的工作进程及质量；对各阶段 BIM 应用进行技术指导；接收审核 BIM 应用成果，并应用成果辅助项目决策，保障本项目 BIM 应用实施的预期效益。

BIM 总体：具体实施、总体协调。设计方的 BIM 团队，总体负责实施本方案中所列 BIM 应用，梳理及制定 BIM 应用过程中的各类流程。为 BIM 成果的质量负责。

BIM 分项：具体实施。设计方的 BIM 团队，负责实施各工点各阶段 BIM 应用。

设计方：配合实施。提出设计阶段 BIM 应用需求，配合 BIM 咨询方开展设计阶段 BIM 应用；接收及审核设计阶段 BIM 应用成果，并应用成果优化设计方案、提高图纸质量。

造价咨询方：配合实施。配合 BIM 咨询单位开展设计阶段及施工阶段相关应用。

施工方：配合实施。提出施工阶段 BIM 应用需求，辅助 BIM 咨询方开展施工阶段 BIM 应用；对施工阶段施工信息的准确定及时性及负责。

施工监理方：配合实施。提出施工阶段 BIM 应用需求，辅助 BIM 咨询方开展施工阶段 BIM 应用；接收相关 BIM 应用成果辅助自身工作开展，保障工程质量。

运维方：配合实施。提出运维阶段 BIM 应用详细需求，接收相关 BIM 应用成果实施和探索基于 BIM 的运维管理。

4. 软硬件配置

本项目主要采用的建模软件有 Revit、Civil3D、Tekla，模型整合软件有 Navisworks、Infraworks，模拟软件有 Navisworks，效果表现软件有 Lumion、Fuzor，平台软件有 ProjectWise 平台、Unity 3D。

结合本项目特点、BIM 应用内容及项目团队工作方式，硬件配置如下：

表 2 BIM 软硬件配置列表

硬件配置	参数要求
台式工作站	戴尔 Precision T1700 系列; CPU 英特尔 Core i7-3770HQ @ 3.40GHz 四核; 操作系统 Windows 7 专业版 64 位 SP1 (DirectX 11); 内存 32 GB (海力士 DDR3 1600MHz); 显卡 Nvidia Quadro K2000 (2GB/Nvidia) 两台 24 寸显示器
移动工作站	戴尔 M3800 系列; CPU 英特尔 Core i7-4702HQ @ 2.20GHz 四核; 操作系统 Windows 7 专业版 64 位 SP1 (DirectX 11); 内存 16 GB (海力士 DDR3 1600MHz); 显卡 英特尔 HD Graphics 4600 (2GB/戴尔)
服务器	戴尔 T7610 系列; CPU 英特尔 Xeon (至强) E5-2637 v2 @3.50GHz 四核; 操作系统 Windows 7 专业版 64 位 SP1 (DirectX 12); 内存 32 GB (海力士 DDR3 1866MHz); 两台 24 寸显示器
协同管理主服务器	Dell R730; Xeon E5-2603 V3; 32GB 内存 (可扩展 256GB); 8TB 硬盘 (可扩展); 千兆以太网口适配器
存储设备	Dell Netshelter SX 42U 600mm Wide x 1070mm Deep Rack Enclosure12285;

硬件配置	参数要求
	2U 通用滑轨，适用于非标机架，第三方支持； 配置 8 块 2TB NLSAS 6GB 3.5 寸 7.2K RPM 热插拔硬盘
路由器	华三（H3C）ER8300G2-X 新一代企业级路由器； 机架式 1 个配置口（CON），6 个 GE 端口
一体触控机	希沃 H08EA；屏幕尺寸 84 英寸； 显示分辨率要求 $\geq 1920*1080$ ； 配置 ≥ 5 点触控；Intel i3 或以上级别处理器， $\geq 2G$ 内存； $\geq 500GB$ 硬盘； 具有原厂商三年售后支持服务，正版操作软件授权
互联网网络宽带租赁	独享网络带宽需 $\geq 100Mbps$ ； 2 个固定 IP 地址； 提供 7x24 小时客户服务

5. 应用点列表

根据上海市隧道交通 17 号线工程的特点，BIM 技术的应用从初步设计阶段介入，直至项目建设期结束交付运营。梳理设计、施工各阶段 BIM 技术的主要应用点，如表 2.5-1 所示。

表 3 各阶段 BIM 应用点列表

阶段	BIM 应用点
初步设计阶段	建筑、结构专业模型创建
	建筑结构平面、立面、剖面检查
	管线搬迁与道路翻交模拟
	场地现状仿真
施工图设计阶段	各专业模型构建
	工程量复核
	三维管线综合设计
	车站管线综合出图
	二次结构预留孔洞出图
	大型设备运输路径检查
	多专业整合与优化
	装修效果仿真
专项设计方案配合	

阶段	BIM 应用点
施工准备阶段	设备厂商族库
	施工筹划模拟
	施工深化设计
	高架车站外立面 PC 构件安装施工模拟
施工实施阶段	虚拟进度与实际进度对比
	PC 外立面三维扫描
	乘客疏散路径、司机行走路径
	竣工模型建立
运维阶段	运维管理平台开发
	设施设备运行管理
	资产管理
	空间管理

(三) BIM 技术应用成果与特色

1. 初步设计阶段

1) 场地现场仿真

通过场地周边环境数据、地形图、航拍图像等资料，对车站、停车场、区间穿越重要节点的周边场地及环境进行仿真建模，创建包括但不限于周边环境模型、车站主体轮廓和附属设施模型，可视化表现车站主体、出入口、地面建筑部分与红线、绿线、河道蓝线、高压黄线及周边建筑物的等各类场地要素之间的距离关系，辅助车站主体设计方案的决策。



图 1 汇金路站场地模型



图 2 朱家角站场地模型



图 3 淀山湖大道站出地面风井

此外，17 号线东方绿舟站还尝试了利用三维激光扫描还原车站周边环境，将 BIM 模型与点云数据进行整合，确定出入口与主要道路、绿化的距离，以三维可视化的形式展现各个方案的优缺点，协助设计及项目公司进行方案比选、整体优化及最终方案确定。



图 4 东方绿舟站过街天桥出入口方案



图 5 东方绿舟站最终方案

2) 管线搬迁

根据管线物探资料，对车站实施范围内的现状市政管线进行仿真建模，尽量精准的表达管线截面尺寸、埋深，窨井的位置及尺寸；根据地下管线搬迁方案，建立各阶段管线搬迁方案模型，辅助设计方案的稳定及管线搬迁的优化。车站主体结构建成后复位的管线作为重要地下管线基础资料。

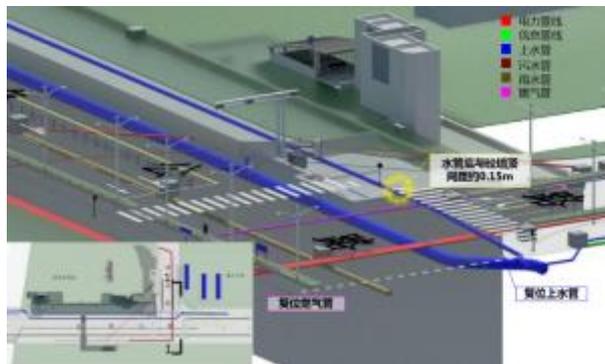


图 6 地下管线搬迁模型

2. 施工图设计阶段

1) 钢筋建模探索

17 号线蟠龙路站作为试点,进行了钢筋建模的探索。分别使用两款软件(Tekla 与 Revit)进行建模,对比不同软件建模效率及工程量的准确性,为其他车站的钢筋建模提供软件选项参考。

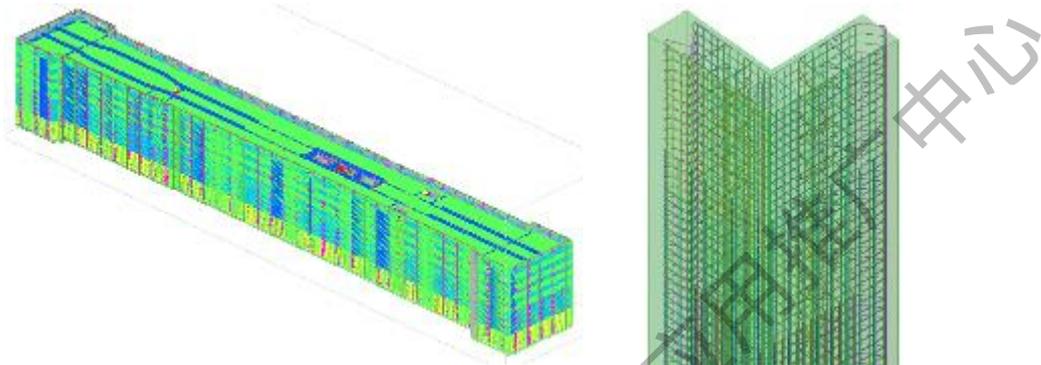


图 7 17 号线蟠龙路站钢筋模型

2) 三维管线综合设计

17 号线探索了 BIM 融入设计流程的方式。不同于传统的碰撞检查及出碰撞报告,17 号线 BIM 工程师直接负责管线综合及碰撞调整,各专业设计负责成果审核,最终 BIM 工程师参与图纸会签,确保通过三维管线综合优化的成果通过施工图纸传递到施工阶段。这也是 BIM 工程师直接进行三维管线综合设计的初次探索,发现并解决管线与结构之间、各专业管线之间的设计碰撞问题,优化管线设计方案,减少施工阶段因设计“错漏碰缺”而造成的损失和返工工作。

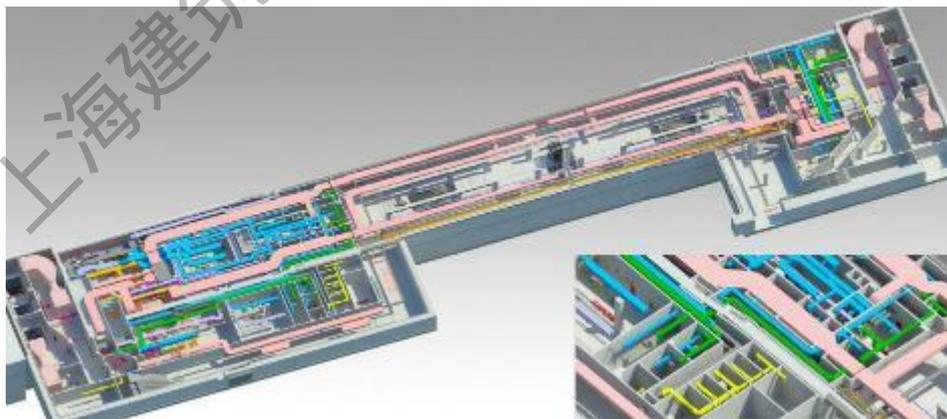


图 8 三维管线综合模型

3) 三维出图

完成管综设计后，为了提高优化成果在 BIM 与机电各专业之间的传递效率，研究并打通了三维模型到二维出图技术路线。并二次开发了 Revit 导 cad 插件，实现导出的 cad 图纸满足各专业设计对图纸图层的要求，机电各专业可在 BIM 模型导出的图纸基础上，深化出图。

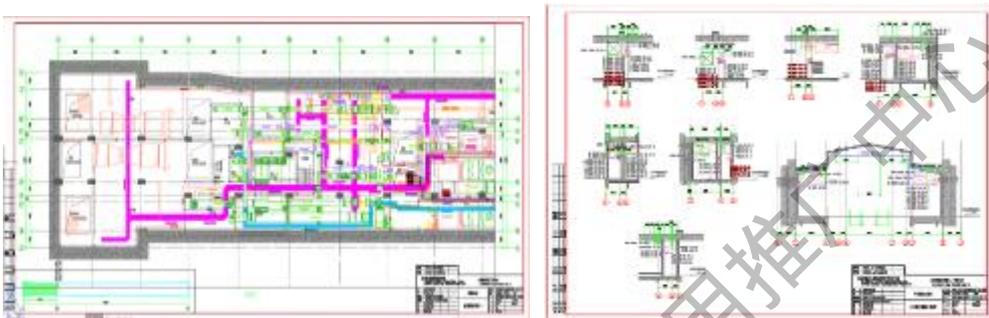


图 9 BIM 管线综合平面图及剖面图

另外为确保施工现场预留孔洞的准确性，从 BIM 模型导出每面墙体的管线孔洞剖面图，提供二次结构图纸深度。

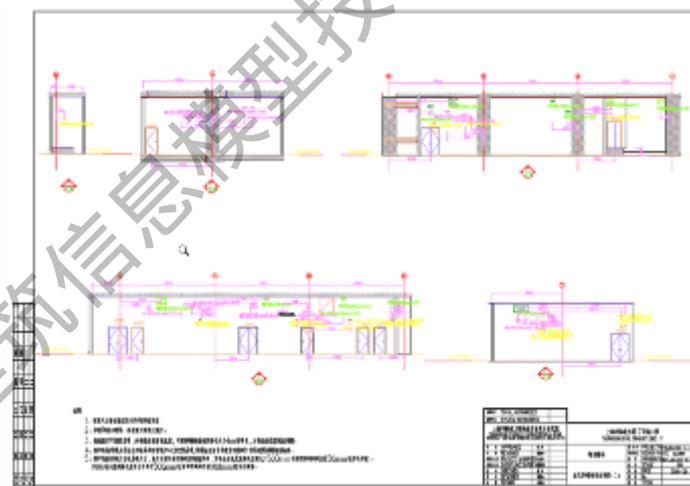


图 10 二次结构剖面图

4) 大型设备运输路径检查

基于 BIM 模型，结合设计方案的二维运输路径平面图，动态可视化模拟大型设备的安装、检修路径，发现运输路径中存在的碰撞冲突问题，提前优化运输路径设计方案，从而为后续设备的运输、安装工作提供保障。

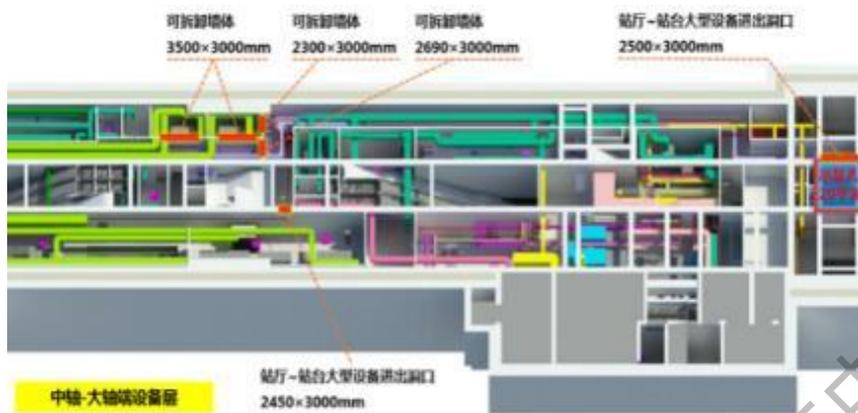


图 11 大型设备运输路径复核

5) 多专业整合与优化

基于车站 BIM 模型，将 FAS、ACS、EMCS、气灭（或高压细水雾）、信号、屏蔽门、通信、动照、给排水 9 个专业的各墙面箱柜（设备）进行整合。结合 BIM 技术对各专业墙面箱柜（设备）布置进行优化，明确安装方式及安装位置，使其满足车站功能要求、装修原则，达到墙面箱柜（设备）布置美观、整齐。

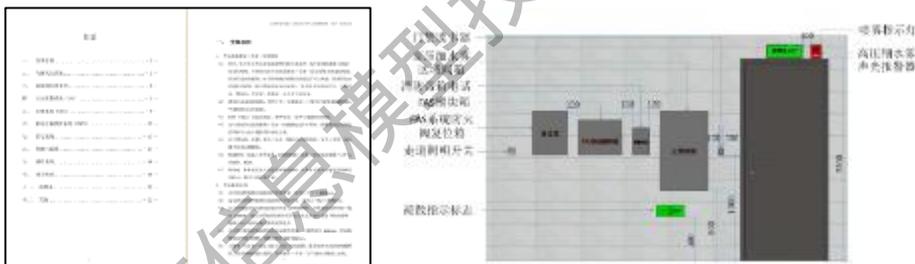


图 12 17 号线车站内墙面箱柜（设备）安装方案文本



图 13 车站端头处箱柜（设备）安装

6) 装修效果仿真

利用 BIM 技术实现装修设计的模拟仿真，根据二维装修设计施工图创建 BIM 模型并做场景模拟，对 BIM 模型对象赋予材质信息，颜色信息以及光源信息，模拟场景效果，生成效果图，辅助方案沟通并优化装饰方案，提高装修设计效率。

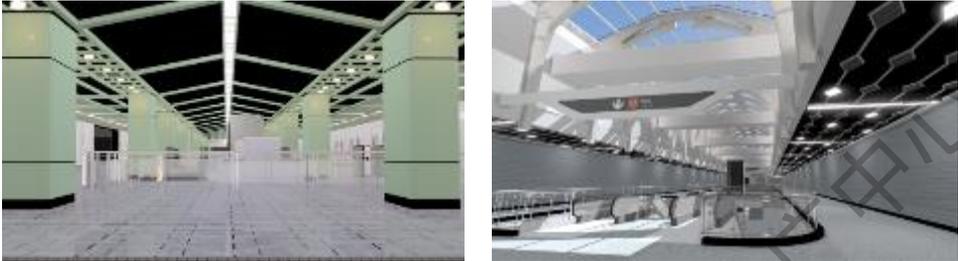


图 14 17 号线车站装修效果仿真

7) 专项设计方案配合

根据 17 号线工程建设的实际需求，借助 BIM 模型及相应软件，对工程建设涉及到的重要设计专项方案进行仿真模拟，可视化分析方案的可行性，辅助设计专项方案的推进、落实及优化。

车控室方案布置优化：通过 BIM 技术将车控室内的各设备，运营物品布置规范，设计单位、运营单位通过模型优化设备、物品的放置位置，满足设备功能要求，之后运营需求。



图 15 车控室方案布置

车站公共艺术方案配合：17 号线将青浦区特色文化融入至车站的装修风格中，通过三维可视化效果，对比各设计方案，确定最终公共艺术方案。



图 16 车站公共艺术方案配合

车站内导向安装方案优化：为确保 17 号线车站美观性及安全性，由于高架车站层高过高，从天花顶打吊杆会使悬挂牌不稳定，易摇晃，因此采用综合支架固定安装。为考虑美观性，尽量借用原有管线综合支架为原则。通过原有全专业 BIM 模型中的综合支吊架，添加连杆或是新增综合支吊架方式，辅助导向安装。

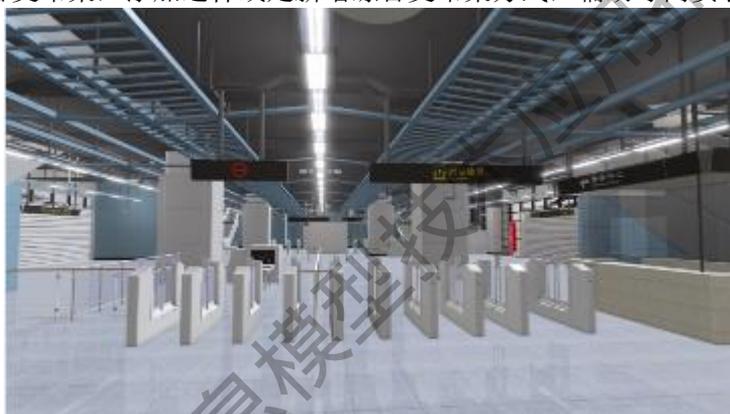


图 17 高架车站导向安装截图

车站站名方案优化：17 号线全线 6 座高架车站，以三维可视化效果，较为直观地展现站名的位置、颜色、字体、大小，从而优化设计方案。



图 18 高架车站站名方案配合

站内管线及设备基础颜色方案优化：为后期运营效率、安全考虑，对站内不同管线、设备基础进行颜色的粉刷。通过 BIM 技术真实还原建成后的效果，辅助业主进行方案确定。

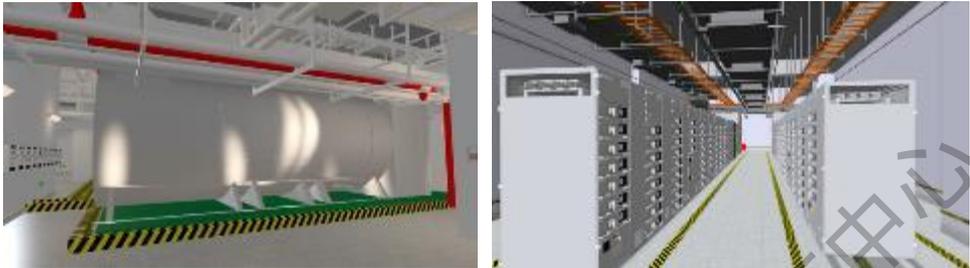


图 19 站内管线及设备颜色方案

8) 设备厂商族库

待各机电设备完成招标后，17 号线率先开始了设备厂商族模型的深化工作。与设备供应商相互配合，实现设备厂商族模型按照运营养护的最小单元拆分，并添加运维所需的主要技术参数及产品实际材质参数。另外，除厂商族模型外，还整理了一套完整的设备数据信息，如技术规格书、设备说明书、验收文件等资料。将这些数据存放于运维管理平台，实现模型与数据的关联，为运维阶段的基于 BIM 的运维管理平台奠定数据基础。



图 20 厂商族模型拆分、主要技术参数等



图 21 设备厂商族

3. 施工准备阶段

1) 施工筹划模拟

在施工准备阶段，根据动态工程筹划的需求对施工深化 BIM 模型进行关联完善，内容主要包括：将施工 BIM 模型与工程任务结构多级分解（WBS）信息、计划进度安排信息建立关联。在此基础上，开展施工三维动态工程筹划，如图 22 所示，对施工进度进行可视化模拟与对比分析，对具有一定难度或风险的施工工艺进行模拟。

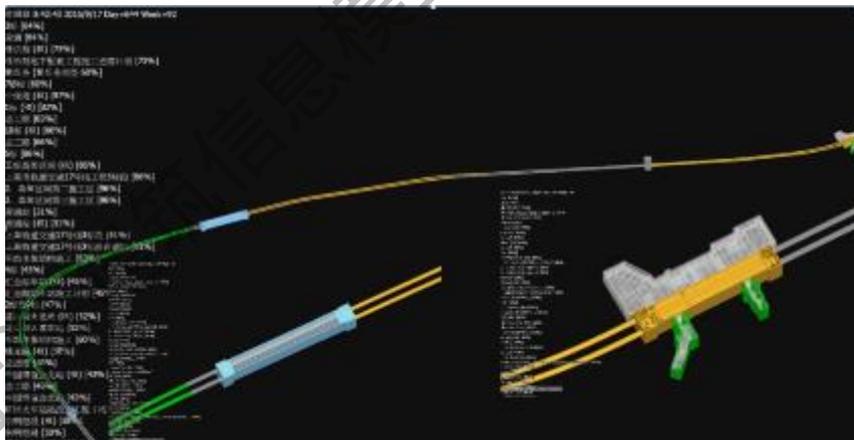


图 22 基于 BIM 的施工三维动态工程筹划模拟

2) 施工深化设计

在地铁车站管线综合 BIM 模型基础上，根据管道位置、尺寸和类型对综合支吊架的放置进行深化设计与优化，可有效排除综合支吊架与各专业的碰撞问题，优

化支吊架设计方案，如图 23 所示，减少施工阶段因设计“错漏碰缺”问题而造成的损失和返工。

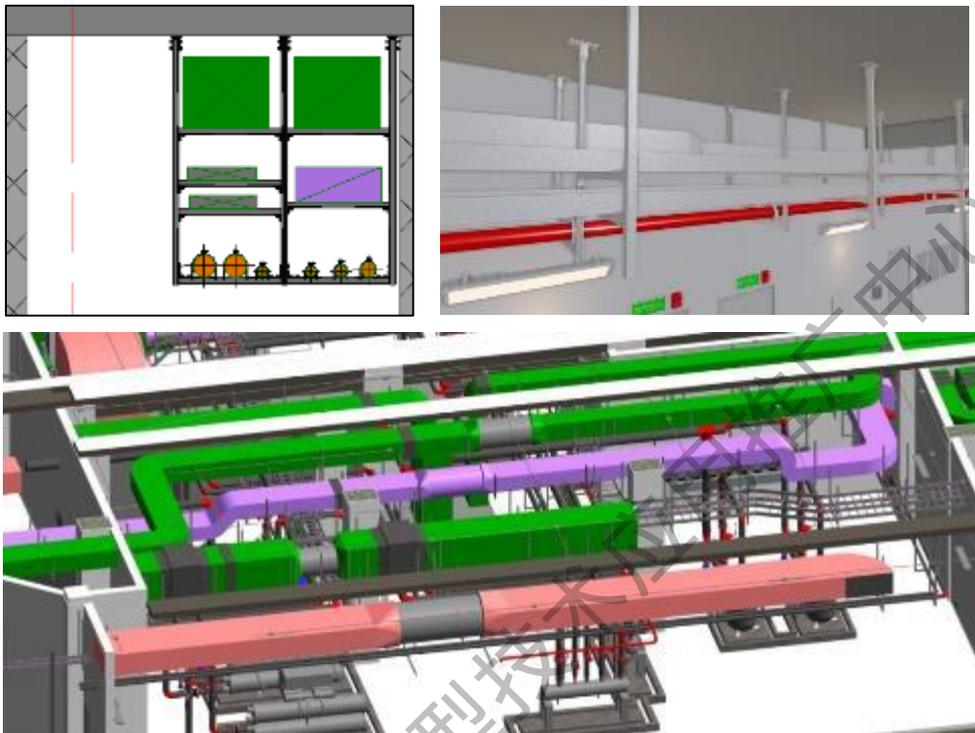


图 23 综合支吊架安装施工深化设计

此外，在施工深化设计过程中，针对一些具有重要功能的机房，如车控室、环控机房、消防泵房等，依据二维施工图纸，创建机房的各专业 BIM 模型，并基于该机房 BIM 模型，对机房的管线、设备布置进行深化设计，进行设备定位、复核预埋件位置等方案，最终实现机房布置合理美观，确保设备安装的操作空间及后期设备的检修、更换操作空间，同时机房深化模型可以用于指导后期施工工作和机房布置方案汇报，如图 3.3-3 和图 3.3-4 所示。



图 24 车控室工艺布置模型



图 25 消防泵房施工深化模型

3) 高架车站外立面 PC 构件安装施工模拟

在上海轨道交通 17 号线高架车站装修设计图纸要求,对外立面设计 PC 构件,从外面表现效果上相对较为美观。为了辅助设计提供外立面精装效果展示,创建外立面 PC 构件精细化模型,建立多视点三维效果图,可为最终外立面方案比选、优化等决策提供帮助。同时,为了能够实现 PC 构件精准、精确安装施工的要求,通过精细化的模型指导 PC 构件的生产及安装,同时为安装工序及施工影响范围提供有利的参考依据。

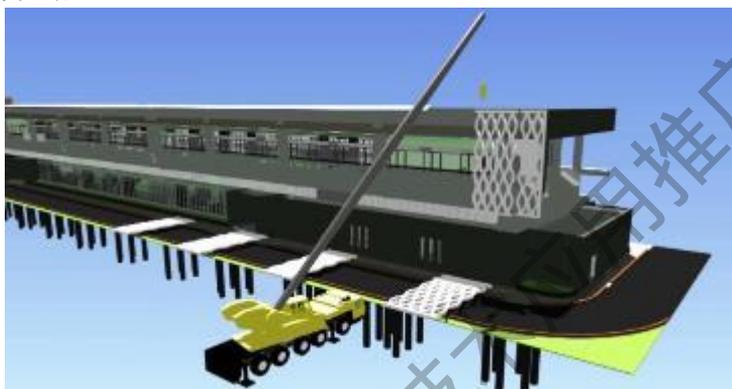


图 26 高架车站 PC 构件吊装模拟

4. 施工实施阶段

1) 施工 BIM 培训、现场交底

根据上海轨道交通 17 号线工程 BIM 应用实施进展情况,对本项目实施过程中施工单位的 BIM 实施工作提供技术支持,为参与项目建设的施工方技术人员开展施工阶段 BIM 应用价值点、BIM 应用系列标准、施工阶段 BIM 模型创建、BIM 模型应用等方面的培训,并通过 BIM 模型进行施工现场技术交底,如图 3.3-6 所示,旨在让对施工单位深刻认识到 BIM 技术在施工阶段的应用价值,辅助施工技术人员将 BIM 技术更好的应用于项目的施工进度、安全与质量管理,提升施工管理水平,合理控制施工工期、安全与质量。

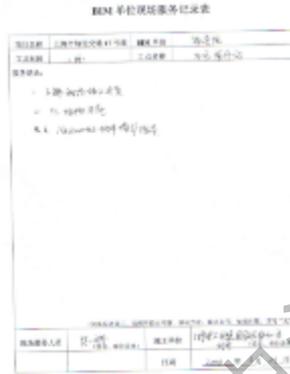


图 27 施工阶段 BIM 技术培训与现场交底

2) 虚拟进度与实际进度对比

在施工阶段，将施工进度计划整合进施工图 BIM 模型，形成 4D 施工模型，模拟项目整体施工进度安排，对工程实际施工进度情况与虚拟进度情况进行对比分析，如图 3.3-7 所示，检查与分析施工工序衔接及进度计划合理性，并借助施工管理平台进行项目施工进度管理，切实提供施工管理质量与水平。

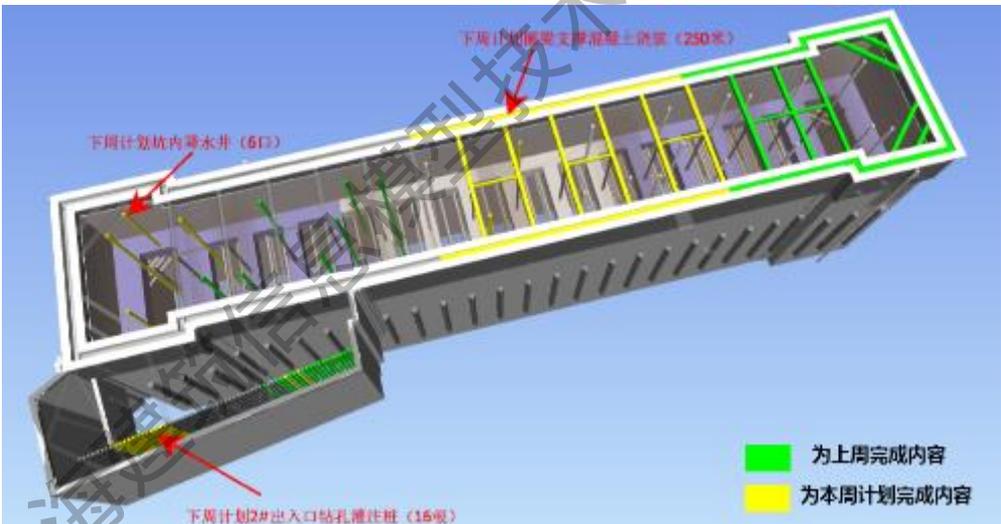


图 28 虚拟进度与实际进度对比分析

3) PC 外立面三维扫描

上海轨道交通 17 号线东方绿舟站、朱家角站、徐径北城站外立面采用外挂 PC 板进行装饰，而安装 PC 挂板的结构预埋件施工误差较大，PC 板形状复杂，构件重量重，施工安装难度大，施工安装完成后对外挂 PC 板施工质量复核存在困难，亟要引进新技术解决当前存在的问题。为此，通过 3D 扫描技术获取东方绿舟站、

朱家角站、徐径北城站外挂 PC 板的点云数据，如图 3.3-8 所示，生成相应的点云模型，如图 3.3-9 所示，与设计阶段 BIM 模型进行比对，如图 3.3-10 所示，辅助施工单位进行车站外挂 PC 板施工安装。在施工完成后，复核车站外挂 PC 板的施工安装质量，固化安装验收完成时的原始状态，为后期车站外挂 PC 板可能存在的扭曲变形、沉降监测等提供初始值，便于车站外挂 PC 板的维修保养。



图 29 高架车站外立面点云数据获取及点云模型生成

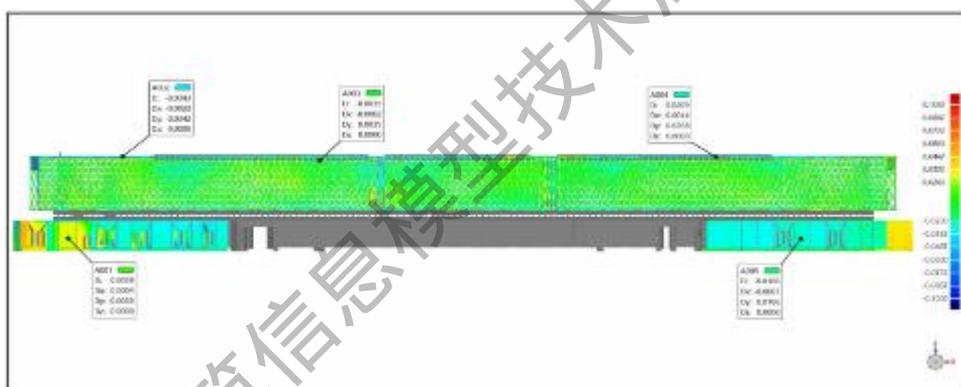


图 30 高架车站外立面点云模型与设计 BIM 模型点位误差比对分析

4) 乘客疏散路径、司机行走路径模拟

由于 17 号线采用接触轨方式供电，导致无法在轨行区进行任意走动。为确保乘客安全疏散，以及在日交接班时司机安全行走，成为了竣工交付前需要解决的重要环节。由于 BIM 模型整合了全专业信息，因此业主、设计人员、运营单位人员通过 BIM 模型，制定出每段区间、及车站与区间相连接区域的疏散路径，直接使用 BIM 模型进行现场施工指导。

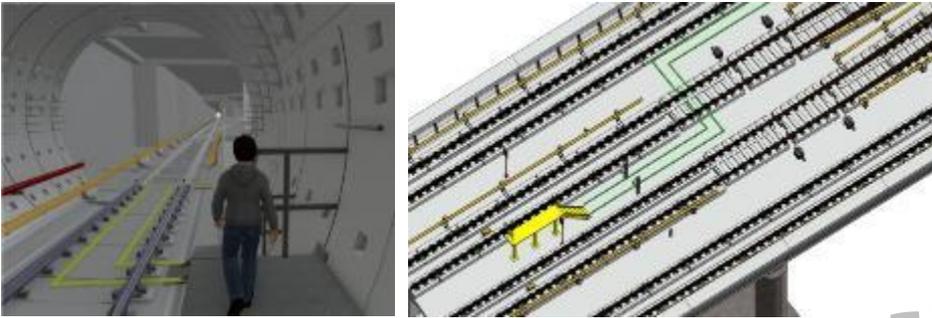


图 31 隧道内部乘客疏散路径、司机行走路径模拟三维演示

5) 竣工模型建立

在项目竣工交付阶段，在施工模型的基础上，对工程竣工模型的竣工信息进行补充完善，生成各专业竣工模型，如图 3.3-12~14 所示。同时搜集整理各类非结构化的施工过程文件，形成以竣工 BIM 模型为中心的工程竣工数据库，并与竣工 BIM 模型实现关联，归档完成后交付至业主单位。



图 32 车站装修竣工 BIM 模型

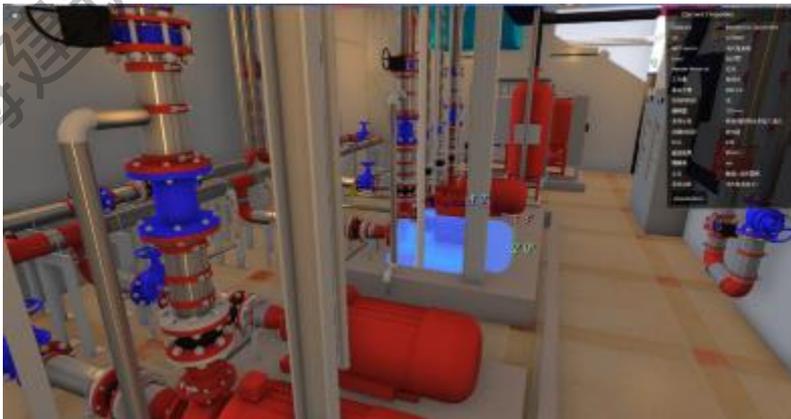


图 33 车站机电竣工 BIM 模型



图 34 车站变电所竣工模型

5. 运维阶段

1) 模型三维漫游

轨道交通行业基于 BIM 模型三维漫游，主要以车站和区间的模型漫游为主，可使运营管理人员快速熟悉运营管理对象，准确掌握车站和区间的重要设施设备分布情况以及关键出入口位置，方便管理人员对现场情况的掌握管理。



图 35 车站模型漫游图

2) 结构安全管理

轨道交通行业基于 BIM 模型的结构安全管理，主要是以区间的盾构管片结构安全管理为主，基于 BIM 模型和盾构管片上的传感器获取的监测数据，实现对管片沉降、收敛变形、结构裂缝、结构差异变形、渗漏监测和阈值预警等，并将这些信息与相应的管片进行绑定，从而实现基于 BIM 的盾构管片结构安全管理，方便现场人员对具体管片病害的了解。

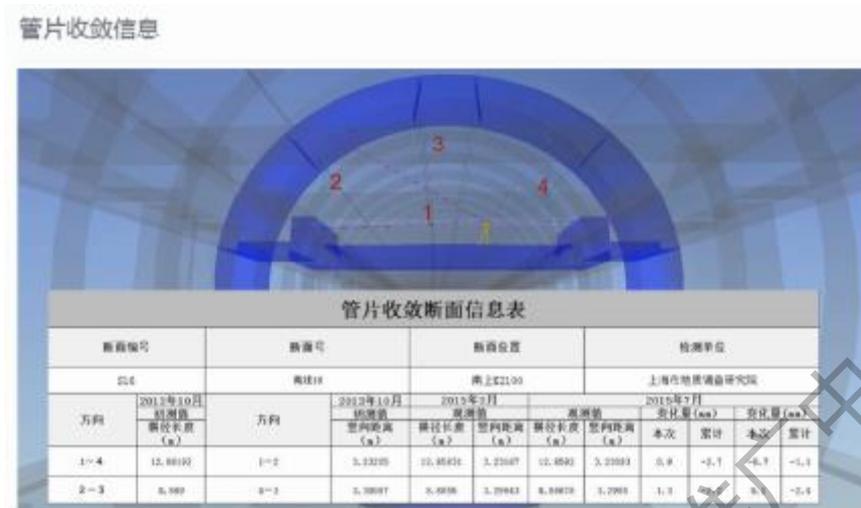


图 36 管片收敛变形监测界面图

3) 设备运行管理

轨道交通行业涉及的设施设备专业种类繁多，数据量大，包括：供电、照明、给排水、通风、通信、消防、视频监控、乘客广播系统、屏蔽门等，将这些设备的动态运行信息与 BIM 模型构件进行关联，实现对轨道交通行业设备的运行管理和数据统计分析，方便现场人员对设备运行状态的管理。

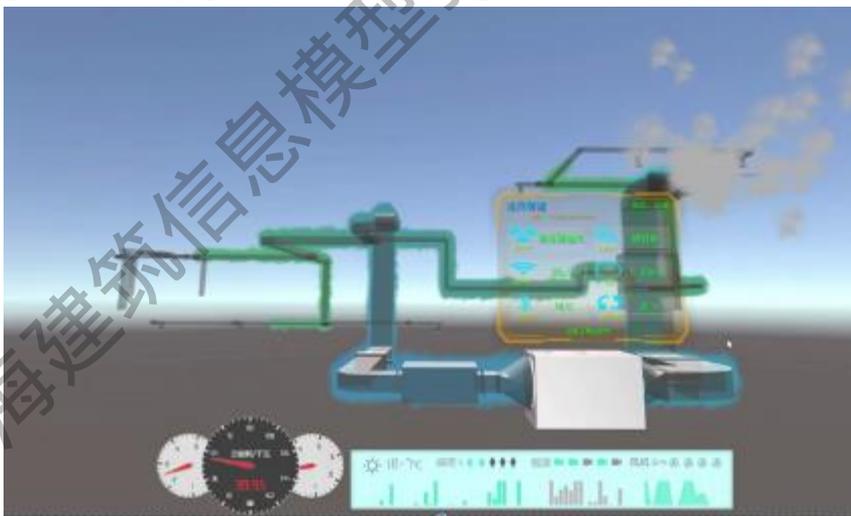


图 37 车站新风系统运行状态图

4) 车站运营管理

轨道交通车站的运营管理主要以地铁车站的客服、乘务和质安等的工作调度管理为主，基于 BIM 技术，结合室内定位、移动互联技术，实现基于 BIM 的车站运营管理，方便车站运营管理人员准确掌握现场情况实现车站运营管理业务服务

的高效管理。



图 38 站内运营管理人员定位示意图

5) 资产管理

基于二维码标签和 BIM 技术，将 BIM 模型和现实实物用二维码标签连接起来，实现基于 BIM 的轨道交通资产管理，方便轨道交通的运营管理人员迅速掌握资产的具体空间位置，而不仅仅只是传统资产表中某一项枯燥数据。

资产名称	资产名称	规格型号	资产	品牌	所属工程	资产日期	报废日期
1	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
2	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
3	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
4	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
5	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
6	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
7	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
8	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
9	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
10	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	
11	上海轨道交通11号线	MORNING-880A	上海轨道交通11号线	上海轨道交通11号线	2018-01-01	2018-01-01	

图 39 基于 BIM 的车站资产管理图

6) 维保管理

轨道交通行业在运营过程中，除站内的具体对乘客的运营事务管理外，还有一大部分设备的巡检、养护、维修工作，需要设备巡检人员能够主动、及时发现稳态，排除潜在的隐患，以提高整个项目的运营管理水平。基于 BIM、移动互联技术和二维码标签实现轨道交通行业的维保管理，能够使现场工作人员在设备故障时能够迅速基于移动端查询设备的相关文档信息进行现场故障排除，提高设备在故障

时的应急响应能力。

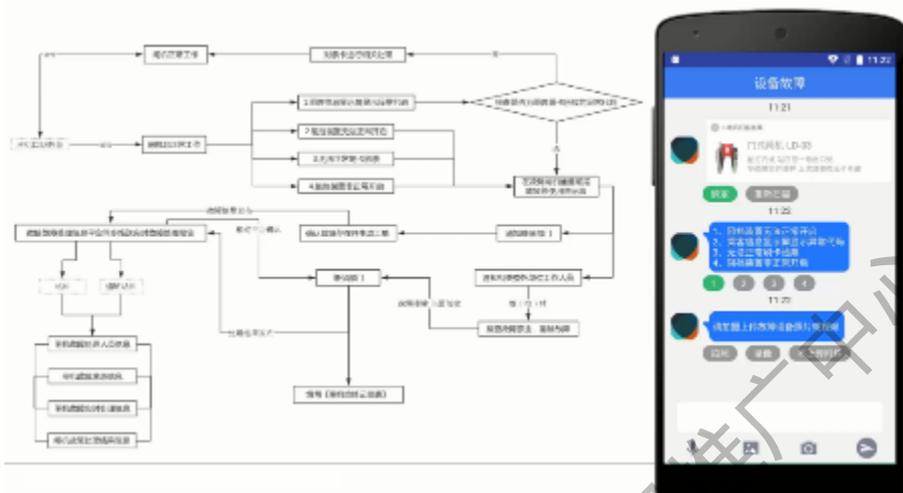


图 40 基于移动端设备故障记录图

7) 预案管理

轨道交通行业的预案管理主要以预案编制、预案演练和应急处置管理功能为主。基于 BIM 技术的预案管理，能够基于 BIM 模型和现场的实时情况，及时定位事故发生地点，提供可视化的事故信息与应急资源信息，规划车站人员应急疏散路线，监控相关机电系统的处置动作，掌握轨道交通项目应急时的全局状态，为现场和远程应急指挥提供决策依据，及时更新善后处理信息。



图 41 基于 BIM 的应急处置预案图

8) 能耗管理

将轨道交通行业各专业的传感器、探测器以及仪表获取的能耗数据，依据 BIM 模型按照区域和专业进行统计分析，使得管理人员能够更直观地发现能耗数据异常的区域，并针对性的对异常区域进行检查，发现可能的事故隐患或者调节设备的

运行参数，以达到排除故障、降低能耗维持轨道交通项目业务正常运行的目的。

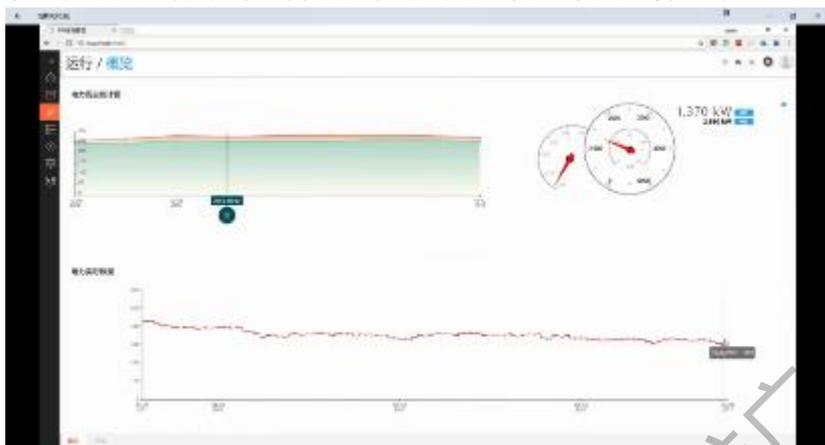


图 42 基于 BIM 的能源管理图

6. 工程量计算

17 号线各车站进行了施工招标阶段的工程量复核工作。根据各专业分部分项开项表，提供满足招标要求的土建、机电、装修工程量模型，辅助招标工程量统计，并与投资监理算出的工程量进行对比，复核差异较大的项，提高工程算量的准确性。

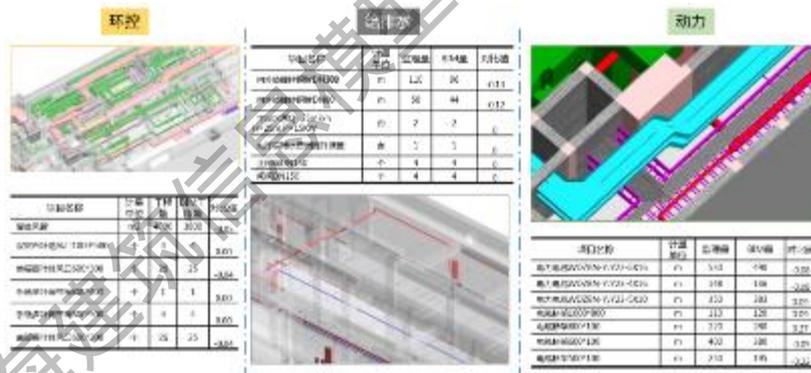


图 43 机电工程量对比图

7. 协同管理平台

1) 平台介绍

基于国际主流基础协同平台，开发建设期项目协同管理平台，实现模型及文档管理、权限管理、标准化 BIM 应用流程管理等主要功能。并配置 5 本 BIM 应用标准，整合设施设备构件库，确保项目数据的统一及集中管理，实现广域网的异地协

同工作模式。如图 3.7-1 所示。

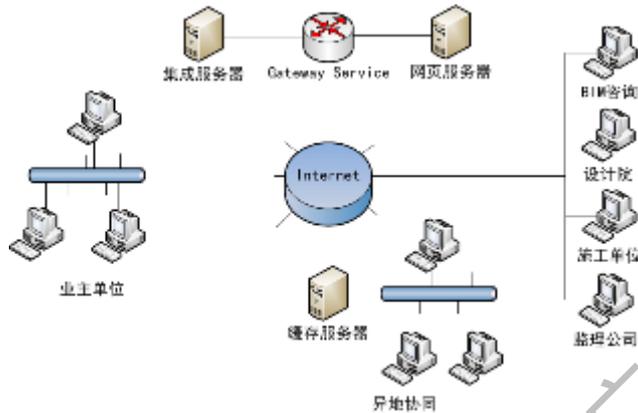


图 44 协同平台网络架构

项目协同管理平台以项目数据源的唯一性管理为核心，以申通地铁集团已有企业标准中的 9 条 BIM 应用流程为主线，逐步加强项目建设过程中 BIM 应用的规范化、制度化建设。BIM 应用流程对轨道交通项目规划、设计、施工阶段的 BIM 应用内容、各参与方职责、交付成果做了明确的规定，以标准化的工作流程保证各阶段 BIM 技术的应用实施，旨在提高申通地铁集团 BIM 技术的综合应用能力。以下是标准 BIM 应用流程（以大型设备运输路径检查为例）：

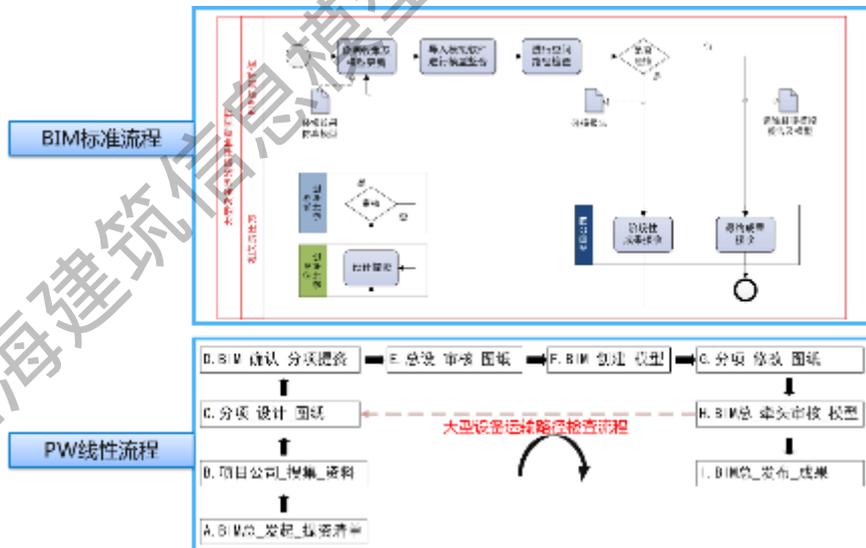


图 45 大型设备运输路径检查流程

2) 平台应用情况

目前，平台的应用聚焦在项目设计阶段，应用的单位包括 5 家 BIM 咨询单位、

3 家设计单位以及项目公司等。由于平台搭建完成时间晚于项目进展，定制的 9 条应用流程中属于初步设计阶段前的应用流程，借助应用流程将已经开展的 BIM 应用点涉及的项目资料，包括 BIM 模型、设计图纸、设计说明、相关报告等，都进行了有序的归档。

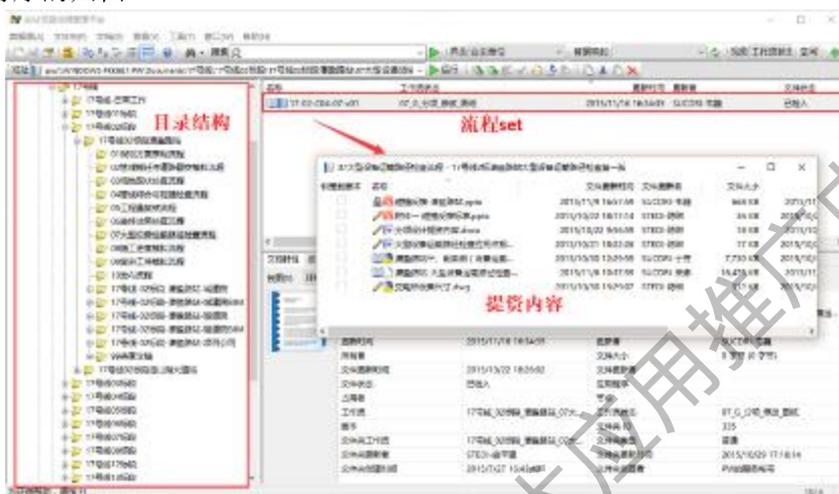


图 46 平台界面截图

17 号线项目成员包括项目公司、BIM 总体单位、总体设计单位、分项设计单位、BIM 咨询单位，共计 8 家单位，完成归档的各种数据资料超过 10.81G。

应用	"大型设备运输路径检查"	"高架车站外立面PC构件提资"	"徐泾车辆段提资"	"已完成应用点项目文件归档"	"日常工作"
涉及站点	赵巷站 漕盈站 崑山站 淀山湖大道站	东方绿舟站 朱家角站 徐泾北城站	徐泾车辆段	所有车站 (13)	所有车站 (13)
参与单位	隧道院 城隍庙 城隍庙 城隍庙	华东院	隧道院	所有单位 (8)	所有BIM咨询单位 (5)
当前状态	"完成"分项"修改"阶段"	提资完成	提资完成	归档完成	进行中
文件量	891M ; 345个文档	408M ; 266个文档	531M ; 250个文档	5.64G;427个文档	3.34G;1387个文档
10.81G ; 2675个文档					

图 47 各参建方归档数据量

3) 应用总结

得益于上线之前详尽的调研、周全的部署、配套的培训以及使用手册的编制，平台能够比较顺畅的上线使用。总结平台应用后的几大优势：1) 对分散在各参与

方不同参与人员的项目文件有了集中管控；2) 结合当前常用的建模软件 Revit，可实现 BIM 人员之间的异地协同工作；3) 可作为文件中转站，有效提高项目文件共享的效率；4) 规范了提资流程，提高 BIM 应用效率。

项目协同管理平台的上线使用，实现协同作业管理、设计模型及文档管理、权限管理等功能，固化 BIM 应用标准体系以确保标准落地，整合设施设备构件库以确保数据统一，集中管理项目数据源以确保数据源唯一，支撑并规范建设期的提资、设计、校审、发布等业务流程，加强各参与方的协同作业，提高轨道交通建设项目管理质量和效率。

8. 预制构件信息管理系统

盾构区间及高架区间采用了大量的预制构件，包括盾构管片、U 型梁以及节段梁。盾构长距离推进的施工难度和施工风险较大，其质量是后期安全运营的基础。预制构件在生产、运输、安装、运行、维护流程环节很多，并且前期的信息收集零散，缺乏统一的质量监管体系，使得后期运维中无法实现有效的质量追溯、病害分析和养护决策。因此，需要从整个轨道交通网络角度出发，开发基于 BIM 技术的全生命周期信息管理系统，从生产源头开始收集各阶段的数据，实现预制构件建设期的信息管理。提高项目建设管理水平，并为运维期的高效管养和科学决策奠定数据基础。

1) 生产阶段

预制构件生产阶段信息管理系统主要分为管片和 U 梁、节段梁三大部分，可以规范构件制造流程，方便资料的管理查询及追溯，为后续施工资料的展示，健康档案的建立提供不可或缺的依据。

系统在 17 号线工程中应用环数近 22000 环（其中涉及标段有 4 个，分别是 9 标，上海基础建工；3 标，上海隧道股份；7 标，宏润建设集团；8 标，上海市机械施工集团；它们上行线全线共 10596 环，下行线全线共 10598 环）。每环管片包括 B1、B2、L1、L2、D、F 共 6 块管片。在该管片生产记录仪中，共使用打印二维码的碳带 229 卷，每卷可打印二维码 750 张；打印的强胶标签纸 319 卷，每卷可打印二维码 500 张。各家单位在预制构件生产阶段信息管理平台中合理安排每天管片的生产计划，并根据相应生产计划确定该班次的管片生产编号，平台将根据生产编号自动生成相应的二维码并打印成二维码标签；在管片生产过程中，工人将

通过平板电脑等设备对生产及质量检查的信息进行实时输入；在管片起吊脱离模具后将二维码标签粘贴到管片指定位置，从这时开始管片就有了其唯一的身份标识；随着生产的不断进行，各项质量检查信息被相继录入信息管理平台数据库；混凝土管片生产完工时，一套完整的管片信息化资料便完成了。此外，管片的原材料质检资料也相对应地加载在信息化管理平台中。所有信息齐全后，平台会自动出具电子化的管片质量证明书，即合格证，提交给管片质量检测部门，只有具备质量证明书的管片才可以正式出厂。经检测合格的管片上的二维码标签将作为唯一身份证明标识进入运输以及生产。

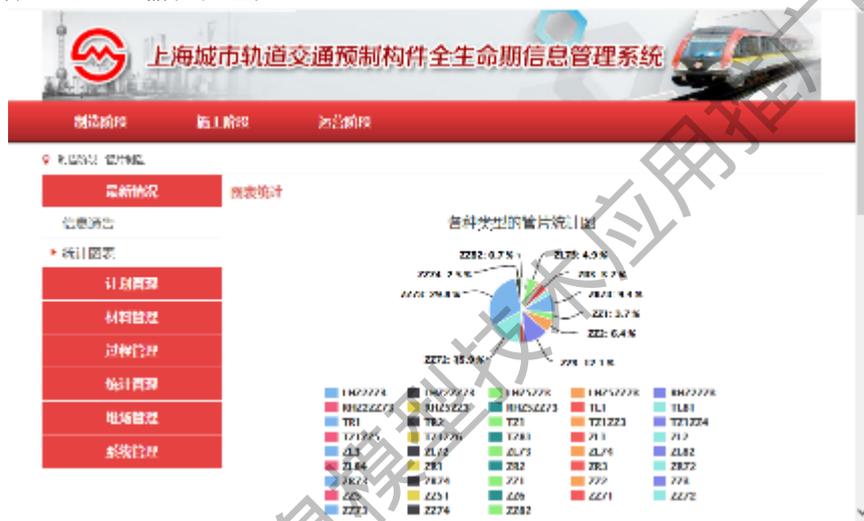


图 48 预制构件生产阶段信息管理系统

2) 施工阶段

上海轨道交通 17 号线总共有 9 家施工单位（如表 3.8-1 所示），各家施工单位的信息化水平并不一致，相应的对数据表的填写也就不尽相同。因此组织召开了相应协调会，统一各家施工单位的数据表格，为施工阶段信息管理系统开发奠定基础。

在施工现场，管片上的二维码标签成为工作人员进行质量检查的重要工具。当管片进场时，施工人员通过二维码检查进场的管片是否准确，并用平板电脑等设备扫描该二维码，将管片信息统一到信息管理平台中。当管片进入盾构隧道进行安装时，施工人员即可通过平板电脑，实时记录管片安装的具体位置和拼装数据，而上述数据又也会被加载到 BIM 三维模型整合了三维模型的后台数据库中，供施工及运维相关单位使用。

上海市轨道交通 17 号线工程

施工阶段信息系统支持对预制构件现场拼装过程中数据的记录及保存（如表 3.8-2 所示），并通过与 BIM 模型进行关联，实现可视化的施工数据管理与查询。各家施工单位需要每周将预制构件施工数据上传至系统中，其中管片的数据包括排片表、进场检查表、施工监控表、巡检信息表、批质量验收记录表。U 型梁的施工数据包括施工吊装计划表、进场验收表、施工监控、批质量验收记录表等。施工数据上传后，数据与 BIM 模型自动关联，如图 3.8-3，图 3.8-4 所示，可在网页端查看相关的信息。

表 5 施工单位及预制构件信息表

标段	类别	单位	区间	构件数量		合计		
				上行线	下行线			
1 标	U 梁	上海建工四建有限公司	东方绿舟站-朱家角站	73	73	912		
			朱家角站-西明挖敞开段	111	111			
4 标		上海公路桥梁(集团)有限公司	汇金路站-山周公路高架区间	29	29			
5 标		中铁二十四局集团有限公司	山周公路高架区间-赵巷站	45	45			
			赵巷站-嘉松中路站	73	73			
6 标		上海建工七建集团有限公司	嘉松中路站-徐泾北城站	64	64			
			徐泾北城站-徐盈路站	31	31			
			徐盈路站-东明挖敞开段	30	30			
3 标		管片	上海隧道股份有限公司	漕盈路站-佳乐苑 2 号风井	1627		1631	21194
				佳乐苑 2 号风井-青浦站	697		693	
	青浦站-东大盈港 3 号风井			1061	1061			
	东大盈港 3 号风井-汇金路站			685	685			
7 标	宏润建设集团股份有限公司		东明挖敞开段-蟠龙路站	491	492			
			蟠龙路站-中国博览会北站	991	991			
8 标	上海市机械施工集团有限公司		中国博览会北站-小来港 4 号风井	694	699			
			小来港 4 号风井-虹桥火车站	932	926			
9 标	上海基础建工有限公司		西明挖敞开段-淀山湖大道站	381	383			
			淀山湖大道站-朝阳河 1 号风井	1589	1576			
		朝阳河 1 号风井-漕盈路站	1448	1461				
10 标	节段梁	中国铁建大桥工程局集团有限公司	20 座悬拼梁	632		632		
合计						22738		

表 6 预制构件施工数据表

序号	类型	表格	依据
1	管片	施工推进计划表	排片表（施工单位）
2		进场检查表	/
3		施工监控（盾构掘进、拼装前检查、拼装后检查、同步注浆、聚合物、泡沫、水）	调整盾构机（施工单位）
4		巡检信息表	
5		批质量验收记录表	提交施工监理、项目公司

6	U 梁	施工吊装计划表	/
7		进场验收表	/
8		施工监控	调整架梁机
9		批质量验收记录表	提交施工监理、项目公司
10	节段梁	施工吊装计划表	台账（施工单位）
11		进场检查表（成品验收记录表）	/
12		悬拼桥梁定位表	调整架梁机
13		批质量验收记录表	提交施工监理、项目公司



图 49 现场二维码应用情况

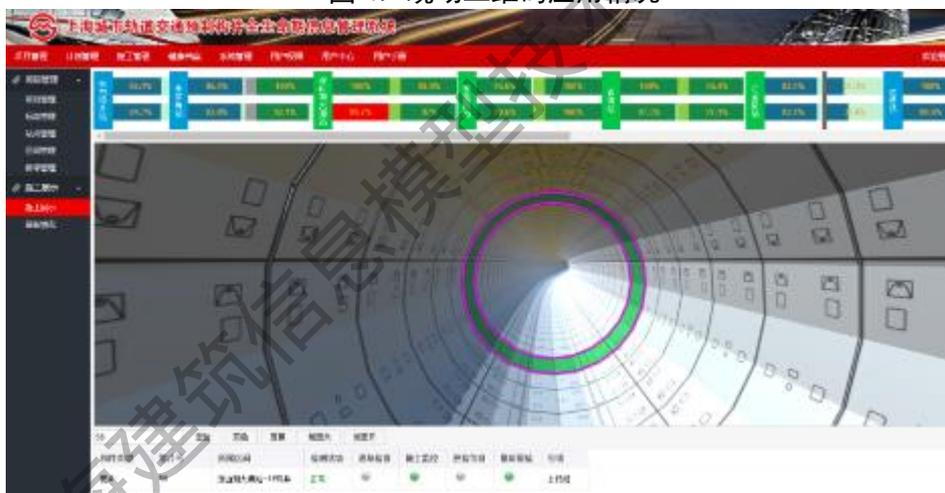


图 50 预制管片 BIM 模型界面



图 51 预制 U 型梁 BIM 模型界面

3) 应用总结

通过开发一套具备轨道交通预制构件通用性的预制构件生产、施工以及运营维护的信息管理与分析系统，该系统能使轨道交通预制构件的数据互通共享和集中管理，并运用于各预制构件生产、施工以及运营维护企业。实践表明，系统运行良好，实现了对轨道交通预制构件生产、施工、运维数据的实时采集与上传，从而增加了轨道交通预制构件进度及质量的科学化管理与分析，其管理过程更加自动化。

(四) BIM 应用效益及测算方法

1. BIM 投入

本项目 BIM 咨询的总费用为 1318.9928 万元，其中设计阶段费用为 1055.1942 万元，施工阶段费用为 263.7986 万元，为 17 号线站点、区间、车辆基地等建模及基本应用的费用。不包括预制构件全生命期信息管理系统开发费用 134 万元，项目协同管理平台费用 91.1 万元，以及车站运维管理平台费用 1000 万元。

2. BIM 产出

1) 设计阶段

17 号线各车站三维管综设计共解决碰撞问题约 4000 个，节约成本约 467 万元。管综图纸、二次结构预留孔洞图纸共导出约 1300 张图纸，提高设计质量。

2) 施工阶段

机电深化设计，解决问题 2735 个，节约成本约 294 万元。

3) 运维阶段

目前平台尚未完全投入使用，现在 17 号的轨道交通车站智能运维管理平台中已涵盖了沿线 13 个车站各专业的 BIM 模型和沿线的区间模型，包括：土建、结构、机电等专业模型，收集设备 BIM 族 2559 个，机电专业涵盖：环控、供电、给排水、通信、AFC、屏蔽门、电扶梯、风水电、信号、FAS、EMCS、ACS、SIOS、CIOS、主变、牵降变等。此外，结合 BIM 模型以及现场巡检业务实现流程 300 余项现场巡检流程。

4) 协同平台

在本项目中通过协同管理平台有效实现跨组织的文件和流程管理，促进项目设计管理水平，减少沟通成本。在设计阶段，通过项目协同管理平台有效提高设计沟通效率，有效控制设计进度。

3. 综合效益

1) 管理效益

BIM 技术在本项目设计、施工、运维全生命期中的应用，可以创建三维可视化的 BIM 模型，并通过协同管理平台有效实现跨组织的文件和流程管理，促进项目设计管理水平；在施工阶段，充分发挥 BIM 模型的三维可视化、可模拟特点，切实提高项目施工管理水平。基于 BIM 竣工模型，开发运维管理 BIM 平台，实现基于 BIM 的数字化和智能化地铁运维管理，有效提高运维管理水平。

2) 质量提升

在设计阶段，基于多专业整合的 BIM 模型，通过冲突检测及三维管线综合、设计方案比选、竖向净空优化、虚拟仿真漫游等多项应用点的开展，优化设计方案，减少错漏碰缺，避免返工误工，提高设计质量；在施工阶段，通过施工方案模拟、三维扫描等多项应用点的开展，优化施工方案，确保现场施工质量。

3) 经济效益

在设计阶段，通过设计方案优化、错漏碰缺检查、工程量复核等多项应用的开展，提高设计质量，有效控制成本，在施工阶段，通过施工方案优化、进度控制，减少施工浪费，缩减工期，在建设期产生巨大的经济效益。

同时在项目竣工交付阶段，通过 BIM 竣工模型创建，确保建设期信息有效传递至运维阶段，为后续地铁运营养护管理部门提供数据基础；通过运维管理平台开发和运行，在中长期的地铁运营养护中将产生巨大的经济效益。

4) 进度效益

在设计阶段，通过项目协同管理平台有效提高设计沟通效率，有效控制设计进度；在施工阶段，通过施工进度模拟和优化、虚拟进度与实际进度比对、施工管理 BIM 平台等多项应用的开展，将有效节省工期，促进施工进度管理水平。

(五) 应用推广与思考

在 17 号线的 BIM 应用过程中，对全线车站、区间、车辆段等构筑物的全专业建模，以及常规应用点（例如管线搬迁与道路翻交模拟、场地现状仿真、工程量复核、施工筹划模拟等）的应用，是对申通企业 BIM 标准体系的检验和提高，不仅检验了标准的合理性和可实施性，又通过应用进一步完善和修正了标准的内容。

同时，17 号线的 BIM 应用过程中，也创新了许多新的 BIM 应用方向，例如多专业整合与优化、设备厂商族库、高架车站外立面 PC 构件安装施工模拟、PC 外立面三维扫描等。这些创造性的 BIM 应用，已经在 17 号线上取得较好的应用效果，通过总结归纳，将会在后续的新建线路上继续探索，直至全面应用。

17 号线 BIM 应用过程中，开发了协同管理平台，预制构件信息管理系统，运维管理平台等基于 BIM 的项目管理平台工具。这些平台工具能极大的提高项目的信息化水平，降低信息丢失和协调难度。因此，在后续新建线路上，这些平台工具将进一步的开发与应用，使地铁建设信息化真正落地。

二、北横通道新建工程

(一) 项目概况

1. 项目基本概况

上海市北横通道是中心城区北部东西向小客车专用通道，服务北部重点地区的中长距离到发交通，是三横北线的扩容和补充。北横通道西起北虹路，东至内江路，贯穿上海中心城区北部区域，全长 19.1 公里，是国内目前规模最大的以地下道路为主体的城市主干路，全线工程涉及盾构法隧道、高架道路、立交改造、明挖基坑、地面道路改扩建等内容。北横通道新建工程当前北虹路立交、西段隧道、中江路段处于现场施工阶段；天目路立交、东段隧道处于初步设计审批阶段。本项目于 2016 年 4 月被上海市列为第三批“上海 BIM 技术试点项目”，在本项目中开展了 BIM 技术在特大型市政工程设计、施工阶段、试运行全生命期应用。

2. 工程特难点分析

北横通道全长 19.1km，包括盾构法隧道、高架道路、地面道路改扩建、立交改造等，施工工艺多，总体工程体量大。工程贯穿长宁、普陀、静安、闸北、虹口及杨浦等 6 个行政区，均为上海中心闹市区域，周边环境复杂；施工期交通组织难度大；建设参与方多、信息交互量大；施工工艺多、环境控制要求高；施工环境苛刻、施工场地有限；关键工程节点施工筹划复杂。根据主要特点及难点策划 BIM 应用如下：

表 1 工程难点及应用点策划

序号	特点及难点	BIM 应用需求分析	BIM 应用点策划
1	工程体量大、涉及范围广	通过三维模型及地理信息的融合，直观展示工程设计方案的整体现状，辅助决策。	基于 BIM 与 GIS 的工程信息管理平台
2	周边环境复杂	建立工程模型与周边环境模型，直观展示工程与周边环境的干涉关系。	周边环境场地分析

北横通道新建工程

序号	特点及难点	BIM 应用需求分析	BIM 应用点策划
3	施工期交通组织难度大	结合周边环境及工程模型，进行各关键节点的道路翻浇及交通组织仿真，直观展示与辅助决策。	道路翻交及交通组织仿真
4	建设参与方多、信息交互量大	搭建基于 BIM 的工程信息协同管理平台，为工程建设提供多方信息交流与传递平台。	基于 BIM 的工程信息协同管理平台
5	施工工艺多、环境控制要求高	施工监测信息与工程三维模型管理，直观反映各阶段工程及周边环境影响情况，实现智能预警。	施工深化设计 可视化动态监测与预警
6	施工环境苛刻，施工场地有限	通过工程模型及周边环境模型，直观反映施工用地、施工方案可行性等。	施工场地规划 施工方案模拟
7	关键工程节点施工筹划复杂	基于工程模型及交通组织等信息，关联时间，形成 4D 模型，辅助工程筹划及施工进度管理。	工程筹划及进度管理

(二) BIM 技术应用概况

1. 应用目标

本项目以实现北横通道全生命期的 BIM 应用，充分发挥 BIM 价值，有效控制和管理工程建设的质量、进度、成本和安全，提升北横通道项目的精细化管理水平，提高工程管理和决策效率，减少返工浪费，保证工期，提高工程质量和投资效益，为总体应用目标。同时为类似的市政工程推进 BIM 技术提供示范基础。

针对北横通道项目工程特点和难点，北横通道工程全线全面应用 BIM 技术，贯穿工程设计、施工、竣工验收和试运行全生命周期。在 BIM 建模方面采用局部正向建模、二次建模为主的方式。

在方案设计（总体设计）阶段，针对市政管线节点和工程将影响到的关键交通

节点，制定管线搬迁方案，利用 BIM 模型验证方案可行性并对其进行优化，并对施工期间的交通组织和可能发生的状况进行模拟，提前发现问题并研究确定应对方案。

在初步设计阶段，充分发挥 BIM 可视化的特点，优化设计方案，发挥设计和施工协同，细化设计方案；在设计过程中，许多环节通过 BIM 技术提高专业间的协同性，对设计过程产生促进与优化的作用。

在施工图设计阶段，整合北横通道全线模型，模拟人、车在三维场景中自由行走，获得身临其境的真实感受，增加设计体验感；选取隧道段机电较为复杂的节点，检查机电设计中的错漏碰缺，解决各专业存在的冲突和几何碰撞问题；查看道路、高架立交、隧道的指示牌的设计是否合理以及交通信息指示是否清晰。

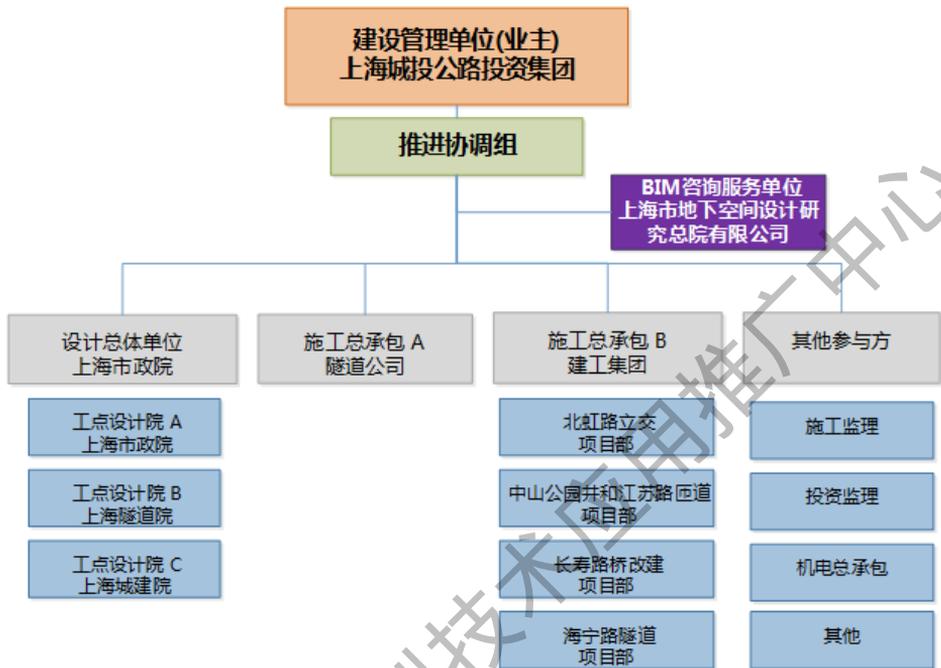
在施工准备阶段，根据总体布置方案，建立包含重要设备设施的三维模型，直观反映施工场地布置情况及周边环境关系；依据施工方案和工程实际情况，进行市政管线搬迁模拟。

在施工实施阶段，将施工计划整合到 BIM 模型中，形成 4D 模型，模拟施工进度；结合 BIM 模型，模拟重点施工工艺、工序，直观展示施工过程；结合施工进度，利用 BIM 软件按周期对工程生成工程量清单，辅助工程量统计；根据工程进度要求，以及工作点的复杂程度，选取工程难点和要点进行方案优化，以保证重点工作点和施工节点的进度和设计/施工质量。

在运维阶段，将在竣工模型基础上，根据运维需求对模型进行轻量化处理，保留运维阶段所关注的信息，去除其他工程建设过程性信息，使得运维模型便于信息的高效查询和筛选。

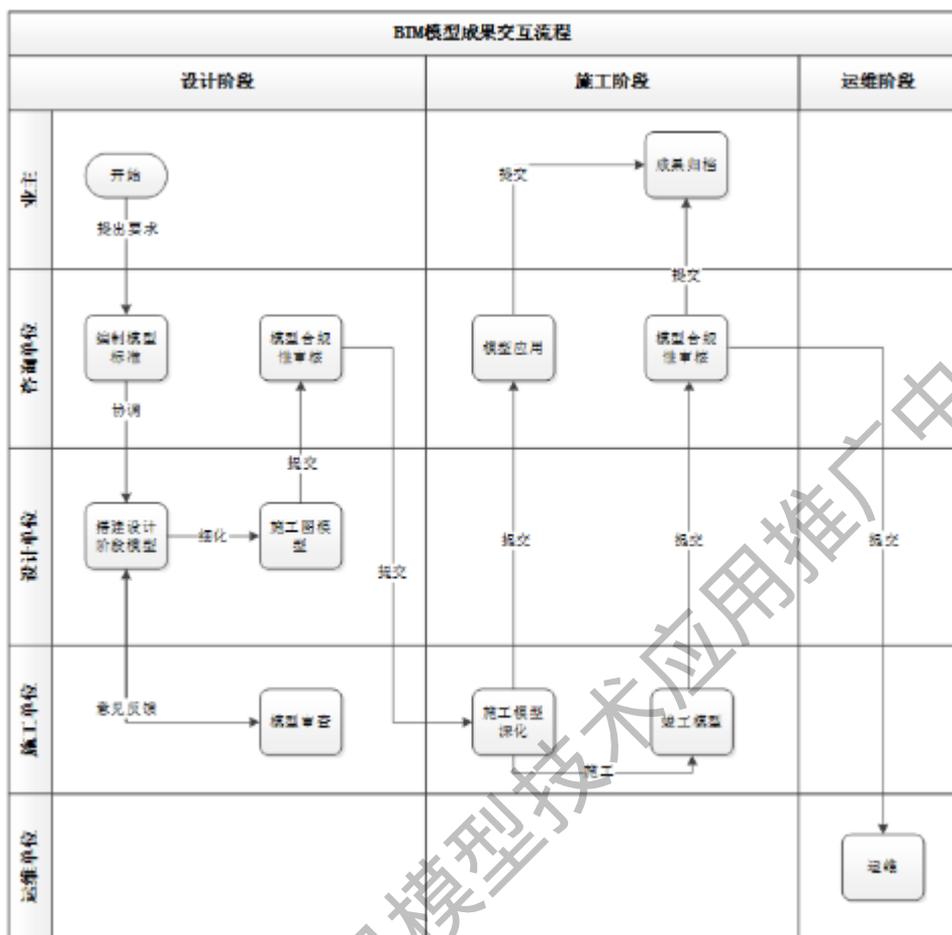
2. 组织架构

北横通道 BIM 技术应用采用业主主导、专业咨询、各方参与的模式。各方基于 BIM 实现模型唯一、数据共享，以此达到出效率、提质量和控成本的目标。各家设计院和施工单位内部建立 BIM 团队进行辅助设计和施工应用，BIM 咨询团队负责建立项目级实施标准，指导、规范各方 BIM 团队的成果和应用过程，并进行模型审查，确保模型质量和交付进度；BIM 咨询团队亦负责搭建北横通道基于 BIM 的可视化和项目管理平台，使得各参与方在统一平台上进行信息互换和交流，便于业主方的项目管理工作。



3. 协同工作机制

本项目在 BIM 技术实施过程中，以业主方为主导，项目各参与方进行不同阶段的工作职责细化及管理，并通过信息协同管理平台进行沟通和信息交互，具体交互流程如下：



4. 应用阶段和应用项列表

表 2 BIM 应用阶段及应用项

工程阶段	应用点
方案设计 (总体设计)	规划方案表现
	场地分析
	性能模拟分析
	交通分析
	设计方案比选
初步设计	各专业模型建立
	管线搬迁与道路翻交模拟
	场地仿真
	性能模拟分析
	交通仿真
	重要工序的施工模拟

工程阶段	应用点
施工图设计	结构分析
	工程量计算
	虚拟仿真漫游
	视距分析
	复杂节点分析
	竖向净空优化
	辅助施工图设计
施工准备	施工深化设计
	交通组织模拟
	施工设施模型深化
	施工筹划模拟
	施工方案模拟
施工建造	虚拟进度与实际进度比对
	同步施工模拟
	工程量统计
	质量和安全管理

(三) BIM 技术应用成果与特色

1. 方案设计阶段

由于北横东段原方案实施难度大，于今年年中启动设计方案调整。从杨浦段 4 个下立交调整为 3+1，再到虹口、杨浦全地下方案，BIM 小组始终跟进设计进度。并参与了周边环境分析，方案快速建立，方案汇报，局部节点深化，设计文本编制等工作。



图 1 BIM+GIS 集成

在东段隧道方案讨论中，设计院尝试了设计与 BIM 的协同工作方式。将设计的地形、控制线结合 GIS，快速形成场地与环境模型。由于是方案调整，沿线的周边环境，地下管线大部分已经收集、创建过，这为协同设计打下了基础。设计在确定平面线路，横断面尺寸后，BIM 团队可以快速将线性生成方案模型，并且在真实环境中整合，快速灵活地提供三维展示手段，及时讨论方案合理性，动拆迁影响，障碍物避让等关键问题。

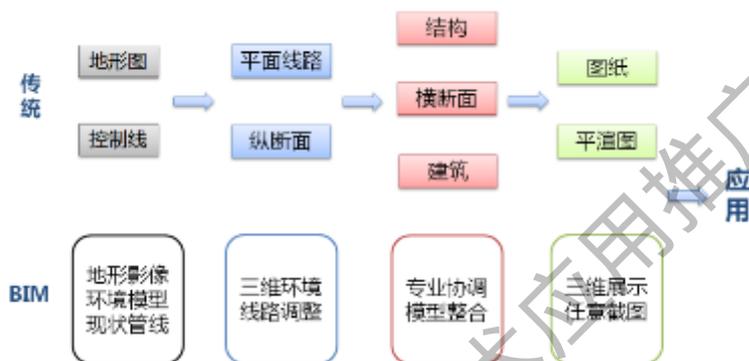


图 2 BIM 协同方式

沿线先后讨论了多个关键节点，包括避让第一人民医院，虹口港桩基拔除，梧州路井与历史风貌区的关系，两港截留改排，下穿新建路隧道，下穿规划南北通道，下穿规划 19 号线，安国路井匝道设置，风塔选址，杨树浦工作井与匝道设置等。提供了大量的模型与数据支撑，体现了 BIM 与设计的协同性，及时性。

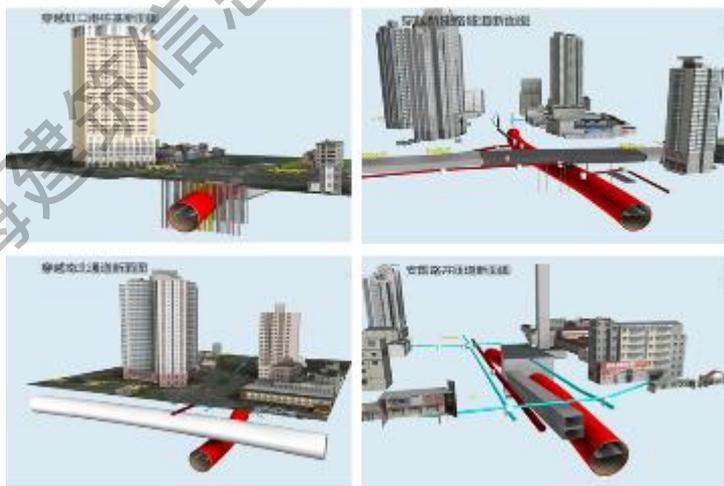


图 3 基于 BIM 设计方法展示

2. 初步设计阶段

(1) 性能模拟分析

北横通道由地面、地下和高架道路组合而成。从泸定路、中江路附近进入地下道路，穿越中山公园、苏州河后，从长安路西侧出地面。整条北横通道地下道路段约 8 公里，堪称“地下延安高架”，因此，超长隧道的安全性与舒适性的分析具有重要意义。

1) 隧道烟气扩散模拟

采用 BIM 模型试验及 CFD 模拟研究重点排烟方式在双层小车隧道中的烟气扩散特征、温度、烟毒性等指标特征，掌握下层排烟支管重点排烟模式火灾工况下的排烟性能及效率。

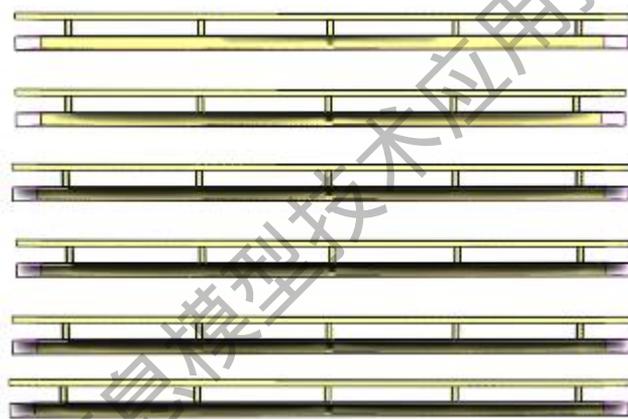


图 4 20m³ /s, 100s-600s 烟气蔓延

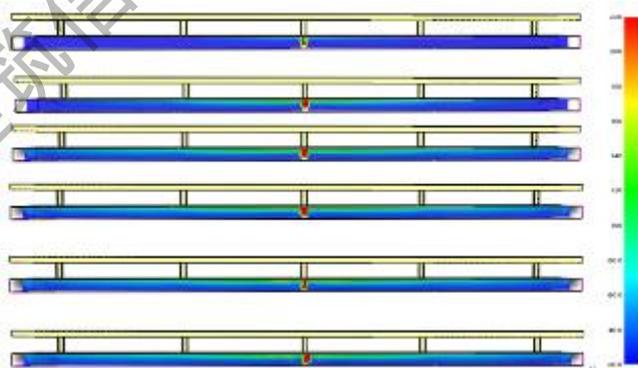


图 5 隧道内温度云图

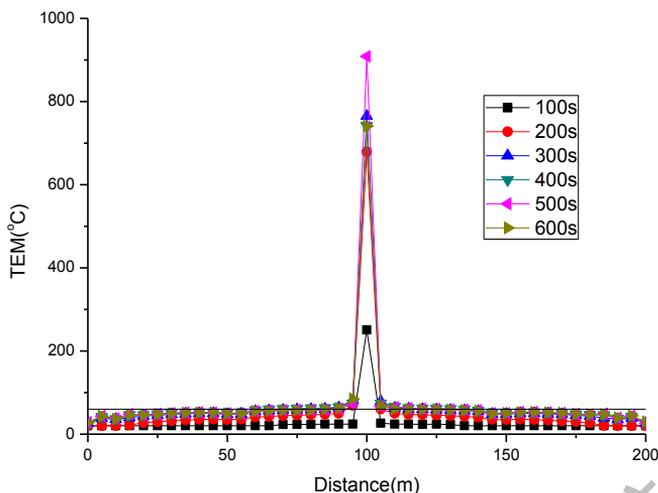


图 6 温度分布

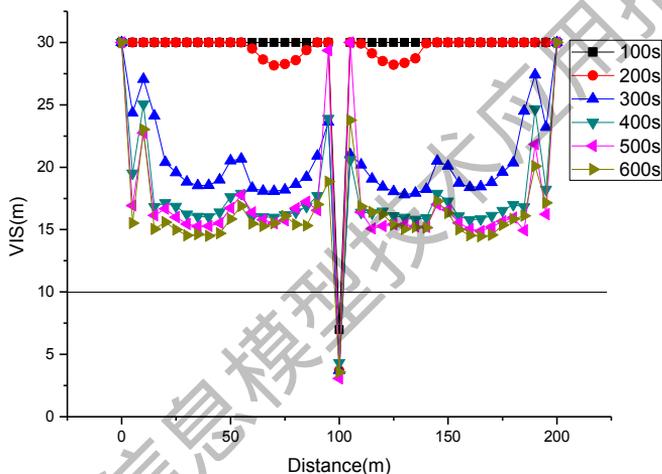


图 7 能见度分布

图 5，虽然烟气蔓延较远范围，但从图 6 温度数据，除火源点外，仅在火源附近 40m 范围内温度超过 60°C，且最高温度为 71°C。图 7 中虽然烟气在 300s 后下沉至 2m，但能见度却维持在 15-20m 范围内，满足逃生要求。

2) 隧道内照明分析

无论是白天还是黑夜，隧道内的道路环境及对车行视觉产生的影响都不同于一般道路。主要原因是隧道内汽车行驶排出的废气几乎无法消散，在隧道内形成较大的烟雾。烟雾除了吸收汽车前灯发出的光线，使照度降低外，还使光线的传播发生散射现象，散射光在隧道内形成光幕，从而降低了道路前方障碍物及周围环境光度，使驾驶员识别前方障碍物的视觉能力下降。因此隧道内照明分析显得尤为重要。

在本项目中采用 VR 技术与 BIM 技术相结合，对隧道内照明进行分析。首先，根据设计方案进行 BIM 模型及周围环境的搭建；然后将 BIM 模型通过专业 VR 软件进行整合；最后，设计根据实际光源参数进行调整，模拟出实际运营的环境效果，通过 VR 设备进行驾驶模拟，以驾驶员角度进行驾驶模拟，提前发现设计不足，并提供分析数据，结合模拟分析的数据，专业设计人员调整设计参数，对隧道运营安全提供了技术支撑。

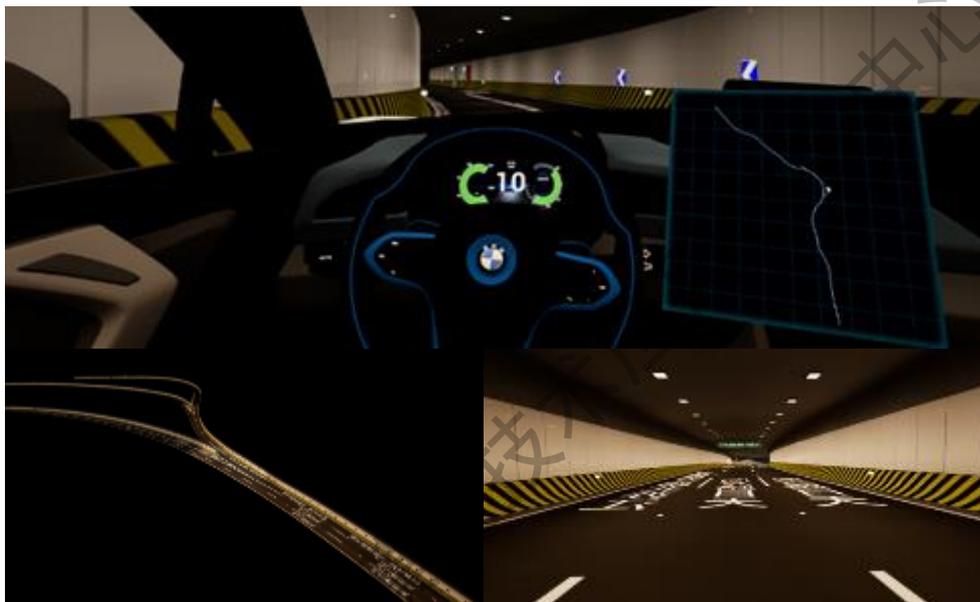


图 8 隧道内照明分析

(2) 结构分析

基于 Autodesk Revit 结构单体建模，并将模型传递给 Autodesk Robot，对模型进行二次利用，提高设计效率。

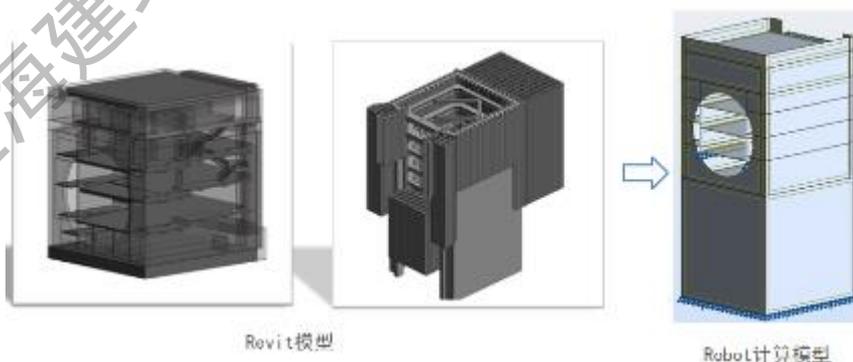


图 9 模型传递

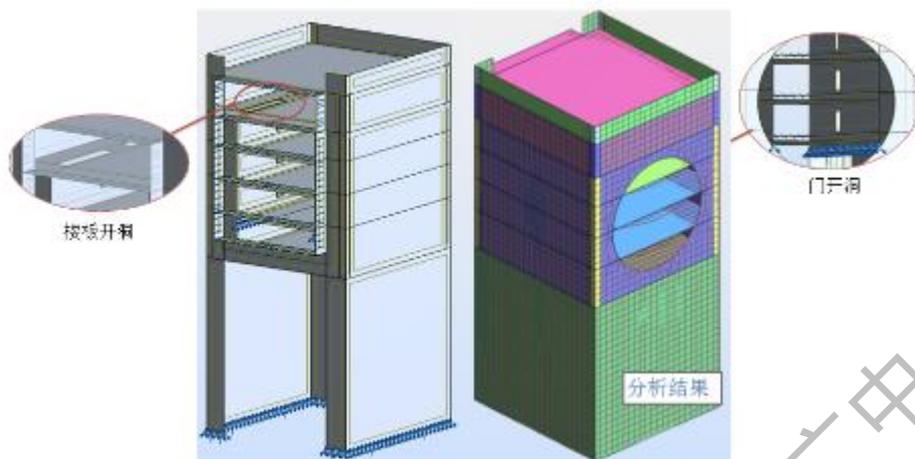


图 10 计算分析

采用三维有限元梁板分析，墙和楼板采用板单元模拟，框架采用梁单元模拟。将分析结果反馈至 Revit 中，根据分析结果对模型进行调整。

3. 施工图设计阶段

(1) 参数化建模

设计院研究了一套参数化实现流程：

1) 线形处理

利用 Autodesk CIVIL3D 将道路提供的平、纵曲线形进行离散化处理，换算成结构中心线坐标点 (X,Y,Z) 并输出至 EXCEL 中再将桥梁分孔线，及每块隔板的里程，与中心线夹角，路幅宽度，横隔板尺寸等参数录入到 EXCEL 中。该 EXCEL 表格作为数据集合表，包含模型总体数据。

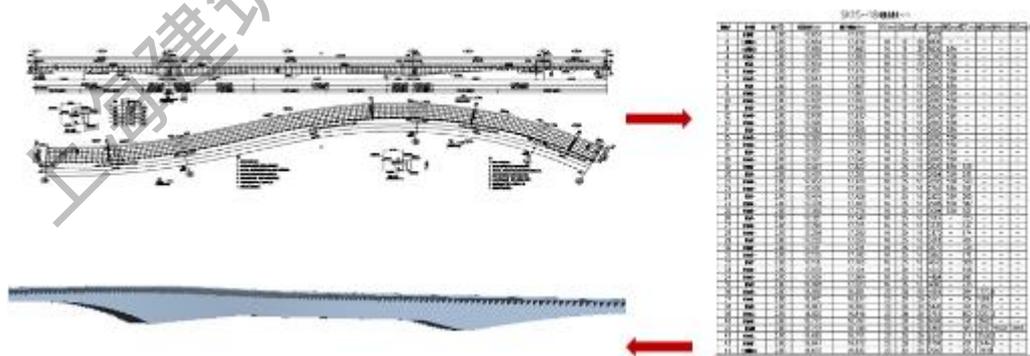


图 11 图纸导出数据

2) 构件制作

利用族编辑器功能，分类创建预制拼装桥梁结构中的主要构件：包括了桩基，承台，立柱，盖梁，小箱梁等。实现主要尺寸灵活可变，并将各类构件族载入到项目文件样板中，便于程序调用。

3) 构件赋予信息

将需要录入的信息整理在 EXCEL 表单中，对于类型参数和实例参数需进行区分，参数名与参数值等内容可通过调用 REVIT API，用 C#语言进行二次开发，最终实现一键录入。

尺寸标注	数值	文字	规格
盖梁高	2800.0	高强砂浆 (默认)	M60
盖梁长	31610.0	预应力钢筋线	Φ15.20高强低松弛预应力钢筋
盖梁纵坡角度 (默认)	0.327°	锚具 (默认)	M15.2-9j
盖梁底宽	6896.3	箍筋等级	HPB300
盖梁厚	2500.0	主筋钢筋等级	HRB400
e	437.5	节段重量 (默认)	
d	300.0	灌浆料	高强无收缩水泥灌浆料
c	550.0	灌浆套筒	铸铁
b	1500.0	混凝土等级	C50
a	1068.0	施工是否分节 (默认)	<input type="checkbox"/>
其他		施工工法	整体吊装
盖梁坡度	0.005700	塑料波纹管	内径70mm, 外径81mm

图 12 构件参数化及信息录入

4) 模型生成

加载编写好的 Dynamo 功能模块，程序会自动调用 EXCEL 表中的定位数据赋予各构件，同时可在程序中对个别参数进行调整，可实现修改模型的功能。模型生成后还可在建模环境中手动对构件进行二次调整。

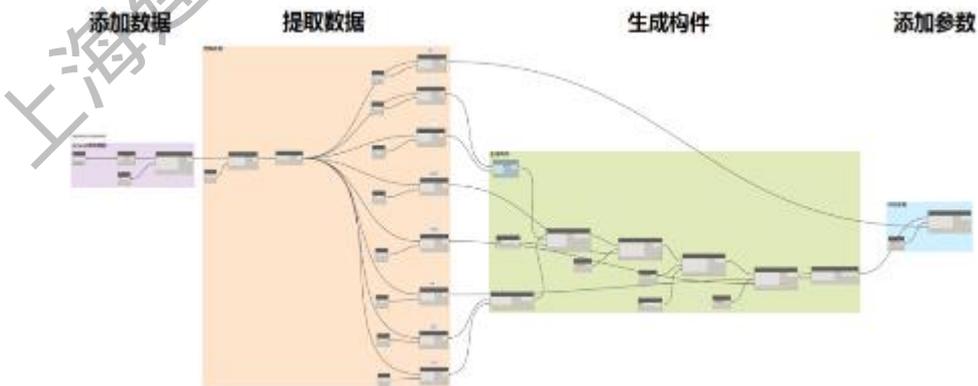


图 13 Dynamo 工具模块流程图

在北虹路立交主线段中试验段，该路段以双向 6 车道规模的标准断面为主，主线并非全部处于直线段。下部结构中的立柱、盖梁采用预制拼装技术，灌浆套筒连接形式，上部结构为钢箱梁。

在设计提供道路中心线、边界线、桥位平面等必要资料后，通过参数化手段，从导出线形数据，构件参数化建族，信息自动录入，到构件自动组装，整个过程非常快捷，包含模型构件建族的时间，总共仅需要 2 天左右，而且当模型构件制作和信息录入在形成统一的构件样板库后效率还有提升的空间。

(2) 构件库

在北横通道 BIM 设计中，采用了 Bentley 公司的 PowerCivil 软件进行明挖段的设计。与工民建工程项目不同，市政道路工程项目族库的重复利用率低，而模板库的利用率高，根据北横项目特点，把通用的顶板、中板、底板、路面、空腔以及排水沟等进行模块化定义。

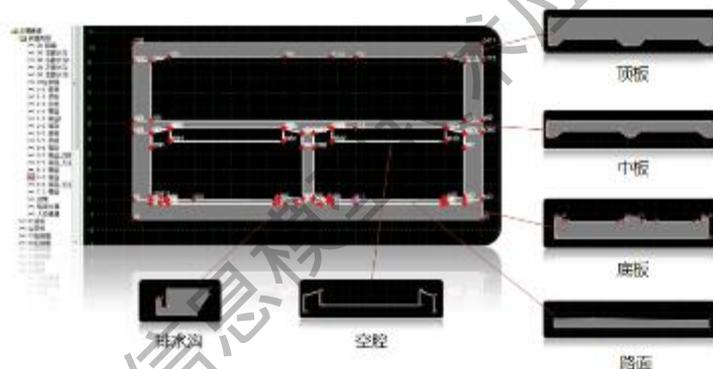


图 14 构件库拆分

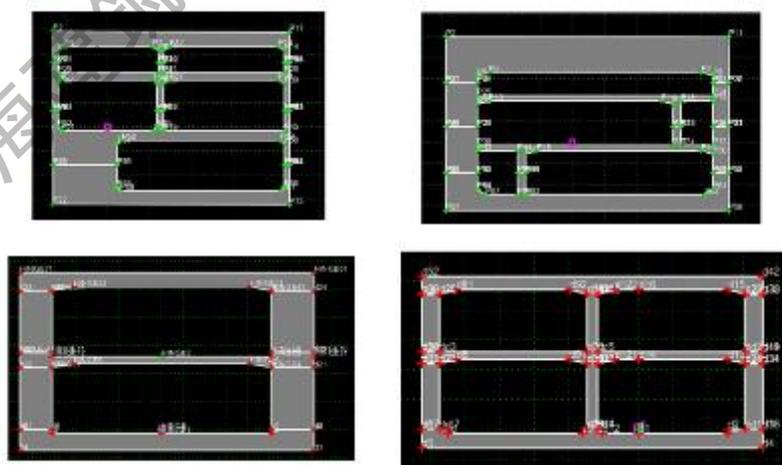


图 15 模板组合

(3) 碰撞检查

天目路立交为了节约工期、倡导绿色环保，在结构设计上采用了小箱梁和钢箱梁的结构形式，但由于线性复杂、匝辅道数量多、截面尺寸变化频繁，整个项目中约有 90% 的小箱梁互不相同，盖梁的尺寸也较为复杂，参数繁多，因此对施工图的质量有很高的要求，要做到所有尺寸零出错，才能保证现场顺利安装。为了保证设计质量，在施工图设计中，同步进行 BIM 模型的设计，并开展小箱梁和盖梁的碰撞检查。通过全参数化的盖梁及小箱梁模型设计及精准的虚拟拼装，最终检查出小箱梁和盖梁的碰撞 15 处，辅助设计人员及时修改了图纸。最终天目路立交图纸的院内审核流程所花费的时间比预想缩短了 5 个工作日左右。

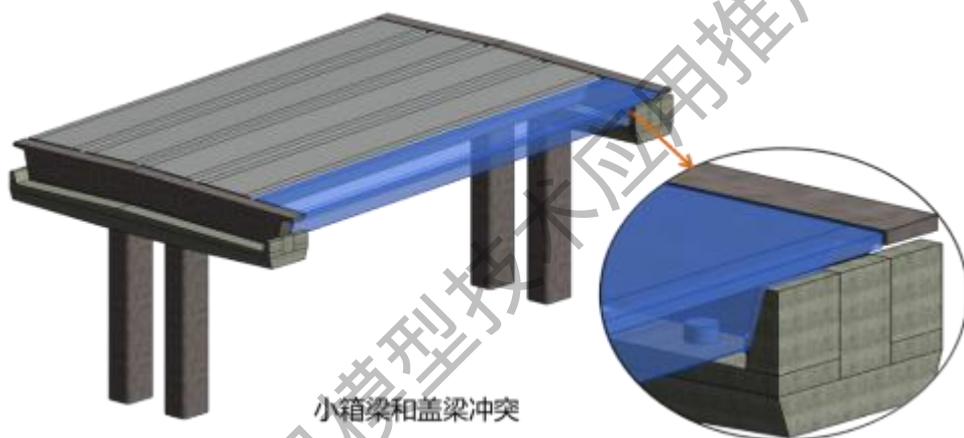


图 16 碰撞检查

(6) 驾驶舱模拟

城市地下道路数量越来越多、类型越来越多，尤其是系统性多点进出地下道路，需要标志系统对出口进行引导，且受地下道路特殊环境影响、驾驶员对标志的依赖性强，使得交通标志设置比地上具有更高的要求。在本项目中研究结合 BIM 技术和专业软件，通过驾驶员视角对隧道内标牌的字高、标志材料选型以及标牌位置设置等进行体验，大幅提高工作效率。



图 17 驾驶模拟器

改变标志不同字体高度

字体h	字宽		汉字粗细		I字高1/3h		II字高		数字高h		斜字宽		斜字 高度
	上	下	1/10h	1/14h	1/3h	1/2h	1/3h	1/2h	1/3h	1/2h	1/3h	1/2h	
20	20	15	2	1.5	10	5	20	10					
25	25	18	-	2	12.5	6	25	12.5					
30	30	22.5	-	2	15	7.5	30	15					
35	35	-	-	2.5	17.5	10	35	17.5					
40	40	30	-	2	20	10	40	20					
45	45	-	-	3	22.5	15	45	22.5					
50	50	37.5	-	2.5	25	12.5	50	25					

仿真模拟驾驶人员

年龄	性别	人数
20-35	男	3
	女	3
35-50	男	3
	女	3
>50	男	3



字高0.30



字高0.35

图 18 字体试验方案



图 19 标牌材料选型



图 20 标牌设置

4. 施工准备阶段

(1) 交通组织模拟

在北虹路立交段交通疏解情况比较复杂，在先前根据设计院提供的模型及根据交通疏解方案建立的模型基础上，通过静态模拟的方式对北虹路立交交通疏解方案进行分阶段、分区域的展示，将复杂的位置关系在静态模拟中反映出来，以便施

工人员在模型中直观的了解各个施工阶段中管线搬迁施工与当期交通情况、周边绿化的位置关系，明白施工中容易发生碰撞的位置，提前预防，扫除盲点。



图 21 北虹路立交交通疏解方案展示



图 22 北虹路立交交通疏解方案展示

(2) 施工设施模型深化

1) 自移动式龙门钢模架

圆隧道上层车道板施工采用现浇，为满足盾构推进所需材料的通行门洞尺寸，留有的上层车道板模架搭设范围非常有限。因此选用定加工的“自移动式龙门钢模架”取代传统模板支架，确保车道板施工模架刚度的同时，提高车道板现浇质量及美观程度。钢模架总体架构由面层、框架、立柱、油压千斤顶、机械式千斤顶以及行走动力系统组成。施工单位根据图纸对钢模架进行精细化建模，直观展示钢模架外形，检验隧道内钢模架使用的可行性，优化设计方案，为后续施工方案模拟做准备。



图 23 整体自移动式龙门钢模架

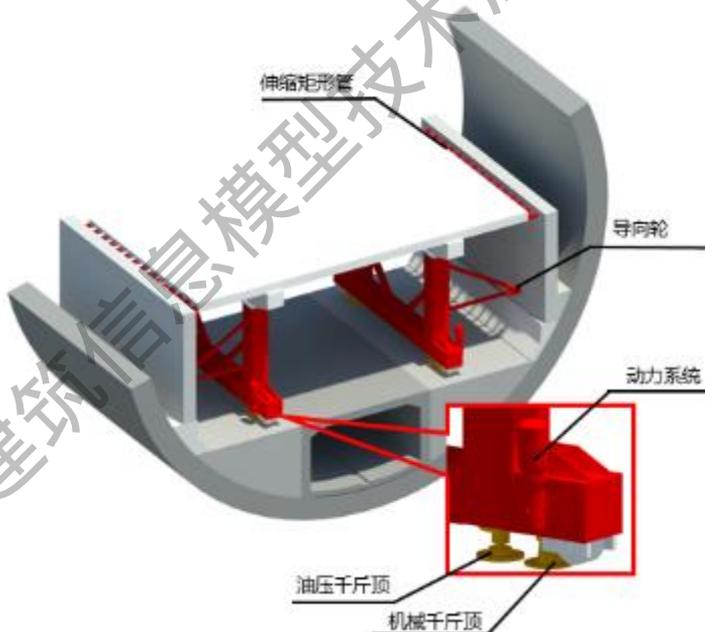


图 24 单节自移动式龙门钢模架

2) 侧墙模板行架

圆隧道侧墙为清水混凝土，模板及支架系统是清水混凝土质量和效果保证的重要方面，综合考虑本工程的特点及施工作业环境条件整体大钢模和移动式台车作业清水混凝土的模板支架系统，量身定制了侧墙模板行架系统。

模板系统包括：内侧（靠近隧道侧）钢模、外侧（远离隧道侧）钢模、门式移动台车等。施工单位根据图纸对行架系统进行精细化建模，直观展示模架外形，检验隧道内行架使用的可行性，同样起到了优化设计方案，为后续施工方案模拟做准备的作用。

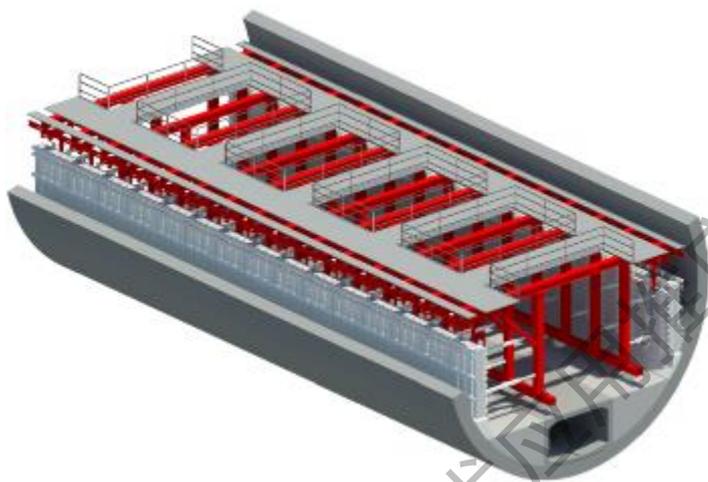


图 25 整体侧墙模板行架

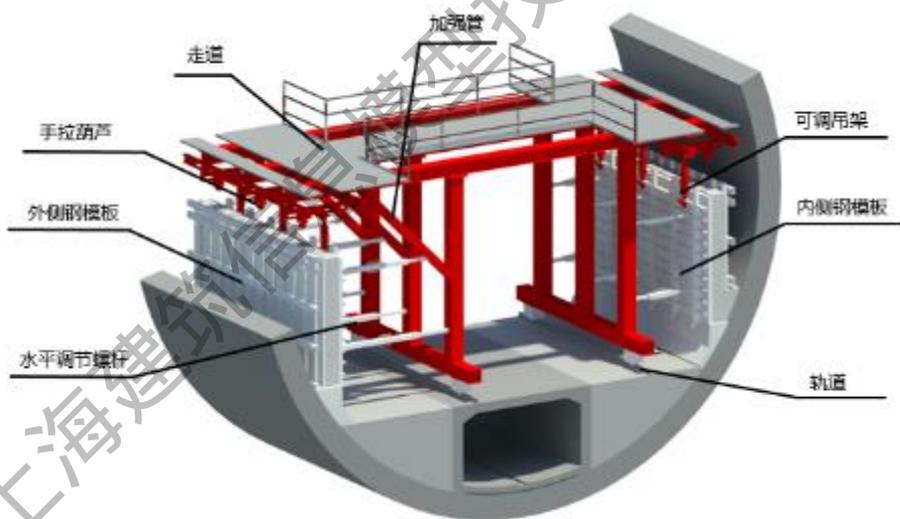


图 26 单节侧墙模板行架

(3) 施工方案模拟

1) 拔桩施工方案模拟

与其他拔桩工程相比，北横通道工程华阳路 A330 拔桩存在以下难点：首先桩的位置与数量均存在不确定性，桩身上部有钢筋笼，下部为素混凝土；再者紧邻建

筑有精密设备工作，桩基处理振动控制要求苛刻；而且回填要求高，必须满足盾构穿越施工的要求；施工单位需在场地条件十分受限的情况下，在盾构穿越前 3 个月必须完成桩基处理，工期十分紧迫。应用 BIM “未建先施” 的特点，施工单位预先对拔桩方案进行施工模拟，检验拔桩工序是否合理，检查对周边环境的影响，优化施工方案，辅助现场施工交底。

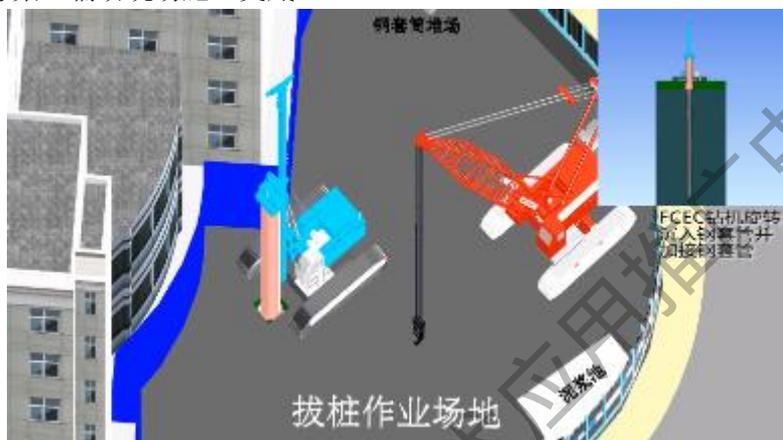


图 27 打设钢套管

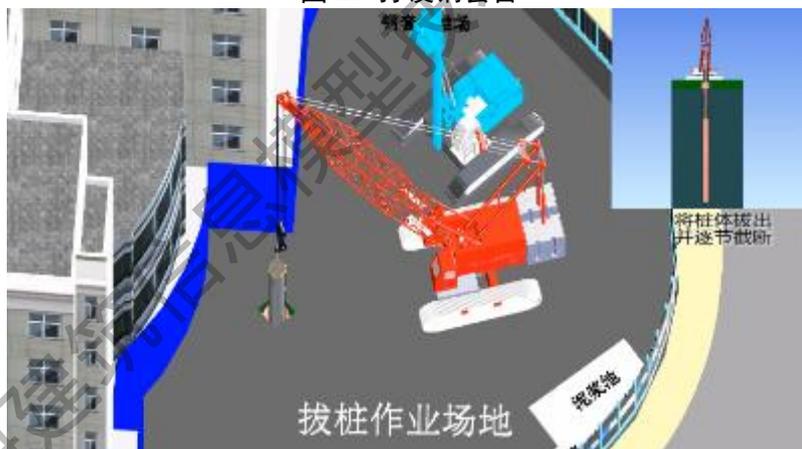


图 28 拔出桩体

2) 圆隧道侧墙清水混凝土施工方案模拟

隧道内部施工作业空间封闭、狭小，且各作业面同步施工，属于在有限的封闭空间内进行多工种立体交叉作业的情况，施工组织难度很大。考虑到清水混凝土对外观质量要求极高，施工单位预先对清水混凝土方案进行施工模拟，检验施工车辆在隧道内部通行的可行性，检验清水混凝土的浇筑工序，优化施工方案。

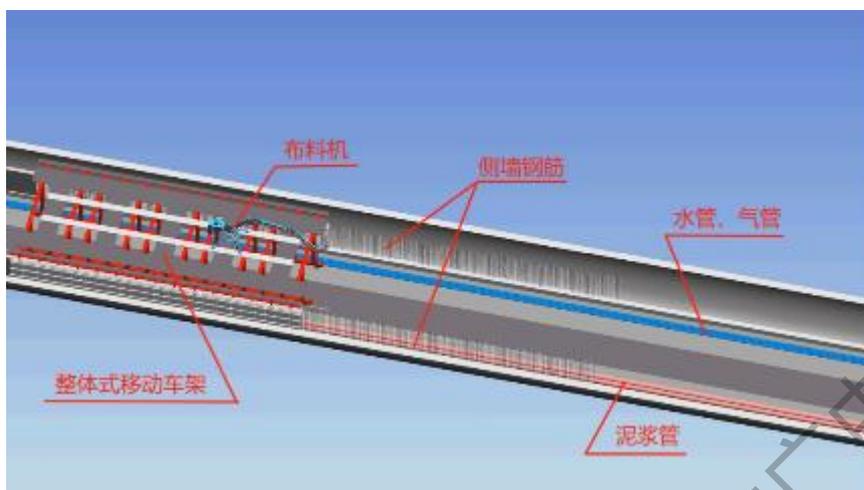


图 29 清水混凝土施工方案模拟

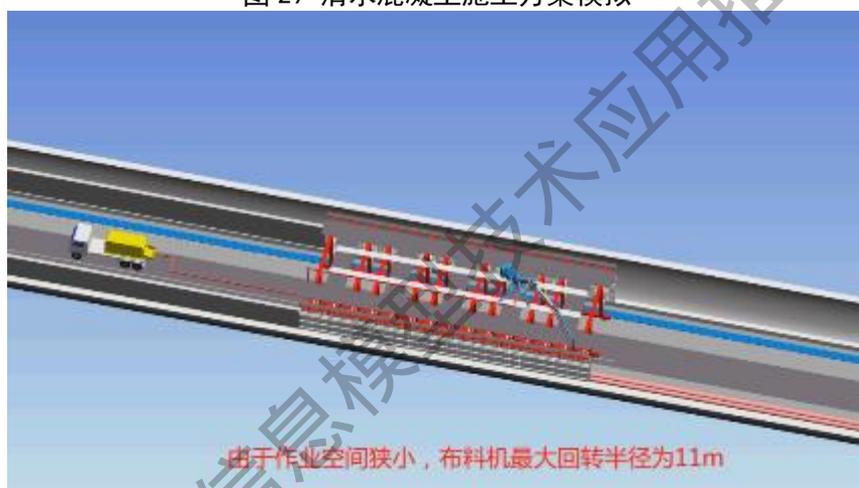


图 30 清水混凝土施工方案模拟

5. 施工实施阶段

在圆隧道内部结构施工期间，盾构掘进施工、“口”型构件吊装、再生砣填充、基座施工、侧墙施工、上层车道板以及烟道牛腿、烟道板等各施工作业面并存，导致隧道内存在大量混凝土运输车、泵车及材料运输车、吊车等通行，多种施工人员同时作业以及各种建筑材料的堆放。考虑到内部结构施工工序较多，施工作业面交错复杂，施工单位预先对内部结构同步施工方案进行施工模拟，合理设置圆隧道内部结构各作业面施工的相对距离，深化施工工序，优化施工方案。

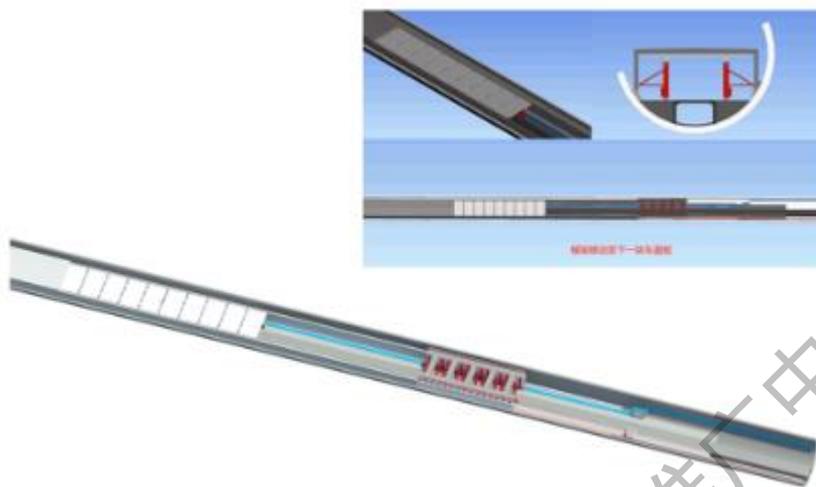


图 31 圆隧道同步施工方案模拟

6. 协同管理平台

北横通道项目具有工程类型多、体量大、建设周期长、参与方众多、与周边环境交涉多的特点，在北横通道项目管理过程中，为提高管理效率、应对超大信息交互量以及多方的统筹协调工作，上海城投公路投资（集团）有限公司联合上海市地下空间设计研究总院有限公司自主研发了基于 BIM 与 GIS 技术的特大型城市道路工程全生命周期协同管理平台（以下简称“平台”），实现多源、异构、海量信息的集成、整合、存储和高效调用，实现各参与方的协同交流与信息共享，实现对项目建设的质量、安全、进度和成本的动态控制，实现可视化、智能化和移动化管理，提升精细化管理水平，提高工程管理和决策效率，减少返工浪费，保证工期，提高工程质量和投资效益。

（1）关键技术研究

经过前期对建设单位、设计院、施工单位、监理单位的需求调研，明确了平台从规划到设计到施工再到运维全生命周期的建设定位。面对具有至少 735 万面数、10GB 大小的 BIM 模型数据，165 万面数、20GB 大小的周边环境数据，4400 万面数、8GB 大小的 GIS 数据的庞大体量模型，平台建设过程中研究攻克了多源异构模型融合和大量模型在线高速展现技术。

1) 多源异构模型融合

将 BIM 模型导入 GIS 场景时，读取 BIM 模型的坐标系信息，自动计算与 GIS

坐标系的转换公式，并依据公式将 BIM 模型的所有坐标转换为 GIS 投影坐标，完成 GIS 与 BIM 的集成。针对 Revit 模型、GIS 数据、测绘院模型等，通过分析格式之间的差异，在保证模型信息不丢失的前提下，基于格式扩展与转换技术，实现多模型无缝融合。

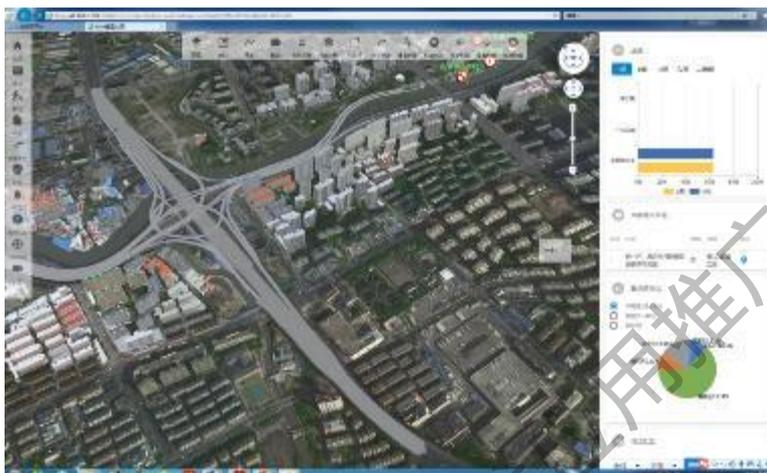


图 32 平台三维场景展示

2) 大体量模型在线高速展现

为提高模型在线展示速度，采用 LOD 分层加载和动态加载方法，对数据自动分层分块，内部用 bsp 树组织场景，客户端按需请求必要的的数据，保证每次请求的数据量不会太大，加快客户端加载速度。数据下载与模型渲染采用多线程方式并行处理，但模型渲染的优先级高，从而保证用户在浏览操作时不会因为数据下载而卡顿。数据下载模块同样采用多线程技术，同时采用异步机制，利用下载队列进行数据下载管理。

(2) 平台设计思路

以 GIS 和 BIM 三维空间模型为载体，将工程全生命周期的过程信息整合在一起，通过信息传递和交换平台，打破工程中不同阶段、不同专业、不同角色之间的信息沟通壁垒，实现信息的准确传递。并以此为基础，建立工程协同管理平台，围绕规划期、设计期、施工期、运维期的核心管理目标，使管理人员能够通过快速、形象、便捷的信息入口，进行工程全生命周期协同和智慧管理，改变市政行业传统管理和运营模式，提升市政工程的质量和效益。项目整体框架如图所示：

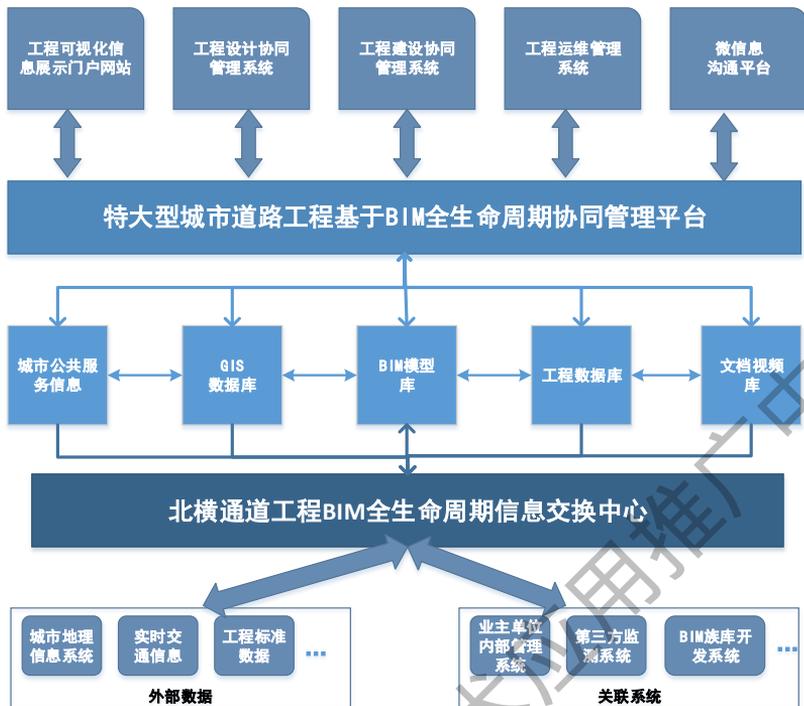


图 33 平台架构

(3) 工程建设协同管理子系统

工程建设协同管理主要是对施工进行进度、质量、投资和安全的的全过程管理，使得各参与方不仅能够全面了解施工状态、而且能够系统提升施工管理能力。

1) 进度管理

进度分析利用 WBS 编辑器，完成施工段划分、WBS 和进度计划创建，建立 WBS 与 Microsoft Project 的双向链接；通过 BIM 模型，对施工进度进行查询、调整和控制，使计划进度和实际进度既可以用甘特图表示，也可以以动态的 3D 图形展现出来，实现施工进度的 4D 动态管理；可提供任意 WBS 节点或 3D 施工段及构件工程信息的实时查询、计划与实际进度的追踪和分析等功能。



图 34 进度管理界面

2) 质量管理

质量分析以验收数据为依据，围绕部件、区域和时间展开分析，并给出结论。质量分析主要以验收数据为依据，围绕部件、区域和时间展开分析，并给出结论和建议。系统将质量或检验报告与 BIM 信息模型相关联，可以实时查询任意 WBS 节点或施工段及构件的施工安全质量情况，并可自动生成工程质量安全统计分析报表。

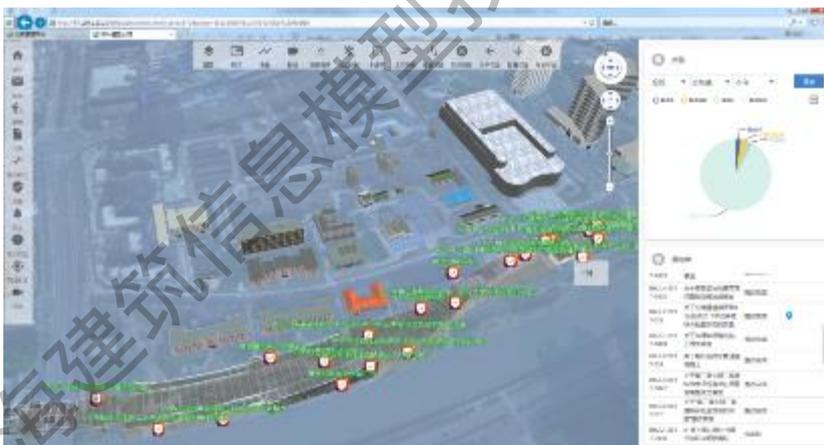


图 35 质量管理界面

3) 风险管理

平台通过设置风险判定规则或相关人员手动录入相关数据，针对不同风险源位置以及风险等级，标注相应的风险或安全标识；亦可实时展现工程风险状态分布；相关人员也可以通过移动端拍照和定位功能，实现风险监察。

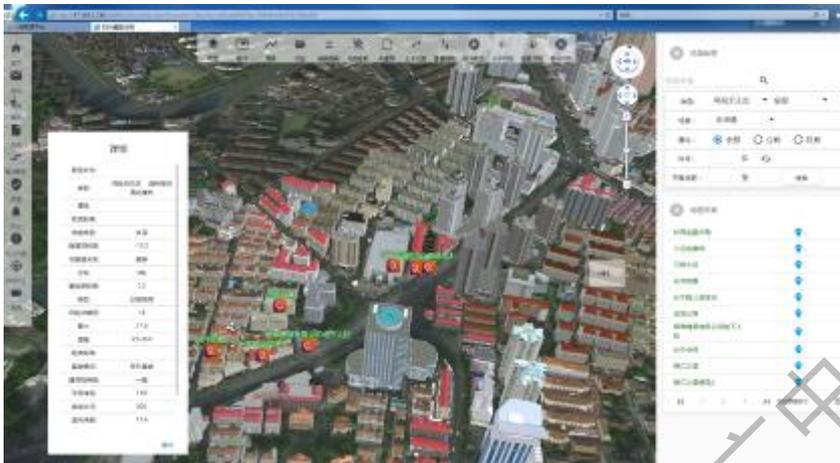


图 36 风险管理界面

7. 装配式应用

(1) 深化设计

在收到设计院传递的施工图阶段钢箱梁 BIM 模型后，施工单位根据施工方案对模型进行拆分，并且根据图纸的施工编号，将数据录入模型中，方便后期在北横通道管理平台中使用模型。

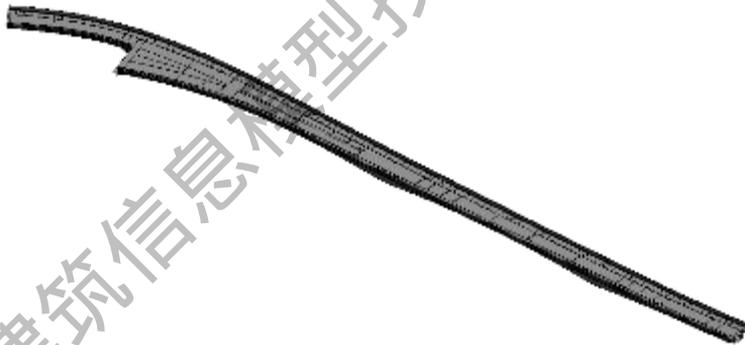


图 37 BIM 深化模型

(2) 预制构件生产

北横通道隧道段“口”型构件预制一改以往其他大直径隧道的“侧卧式”施工工艺，而采用“站立式”浇筑混凝土。此施工工艺不仅更加精确的把控构件楔形量，也杜绝了构件因在吊运过程中多次“翻身”、碰撞而造成的表面混凝土剥落。

对此项创新施工工艺，运用 BIM 技术进行施工方案模拟，检验施工工序的合理性，结合实际施工环境，将原方案“1→3→2→5→4”的施工顺序优化为“1→2→3→4→5”，缩短施工工期，细化进度计划，直观表达此项新工艺的生产流程，辅助工人对生产工艺的理解。



图 38 原方案施工工序

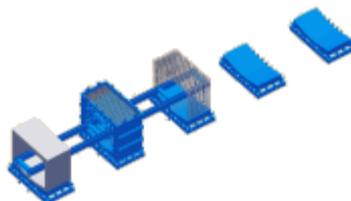


图 39 优化后施工工序

(3) 预制结构拼装

北虹路立交部分立柱采用预制双节立柱,其施工安装方式与通常的立柱有区别,为了模拟立柱吊装的情况,施工单位根据相应的图纸以及相关的数,将盖梁立柱以及吊装过程中所涉及到的构件进行了精细化的建模,为后续制作模拟准确反应现场情况做铺垫。



图 40 预制构件模型

在之前建立的模型基础上,北虹立交预制立柱盖梁安装施工根据项目编制的安装方案进行 BIM 模拟,对立柱、盖梁位置的设置、吊机站位的可行性做出了实际有效的判断,对安装方案的改进起到指导性作用。



图 41 预制构件安装模拟

(四) BIM 应用效益及测算方法

1. BIM 投入

北横通道工程目前 BIM 总投入 1443 万元，包括：业主为 BIM 采购的软硬件费用、BIM 咨询费用、设计方 BIM 费用、施工方 BIM 费用，具体金额如下：

表 3 项目 BIM 应用投入情况

总投入	1443（万元）	BIM 咨询费	453（万元）
硬件投入	37.5（万元）	软件投入	35.5（万元）
设计方 BIM 费用	517（万元）	施工方 BIM 费用	400（万元）

2. BIM 产出

(1) 设计阶段

通过建模软件的二次开发对高架桥梁参数化建模的价值是显而易见的，首先解决了常规手段较难处理的空间线形问题，其次采用程序自动生成的方式极大提高了高架模型建立的效率，依据粗略对比，在构件建立完成后，通过数据驱动，程序生成的方式较传统手动方式创建高架模型效率提升至少 10 倍以上，而且项目约长，优势约明显。

另外，用数据驱动的方式也便于检查与修改，使人为误差降至最低。北横高架主线长约 2.5 公里，包各类匝道约 4 公里。常规方式一板一眼建立高架、立交模型需约 1~2 个月/公里，参数化手段最多可提升至 3~5 天/公里。北横通道高架段一次性建模人工时（不含设计调整与变更）至少节约 60%。最大程度保证了 BIM 实施

的进度，及时为项目提供支撑。

(2) 施工阶段

北虹路立交段通过事先规范好的模型交付标准与行为标准，设计模型能够顺利移交施工方并进行拆分应用，即节省了施工方重新建模时间，也保证了模型和信息的延续性。以高架立交为例，施工方按传统方式拆分、深化钢箱梁模型约 2 个月/公里，北虹路立交模型数据向施工方移交成功率 100%，施工方后期深化工作节省时间约 10%，一次性节约人工时（不含设计调整与变更）约 5%。大部分吊装工作做了 BIM 施工模拟，施工模拟按照方案以及进度计划进行模拟，在实际吊装过程中解决了一部分碰撞及方案调整的问题，节省了人力物力成本，预计节省经济成本占比 5%。通过 BIM 模型深化钢箱梁分段模型，节省了临时支架的使用，约 200t 钢材。北虹路立交悬臂拼装施工共约 11 处，节省了大量钢管型钢支架的搭设，约节省 200t 钢管型钢，占比 20%。

另外在中山公园工作井土方开挖阶段运用 BIM 模拟开挖流程，优化了开挖分段分层。使原 102 天工期提前了 3 天，节约工期 3%；在支撑切割拆除时，为降低风险和提升功效。通过模拟切割，合理分配切割分段及重量，使原 25 天工期提前 1 天完成，节约工期 4%；主体结构施工时，对脚手架进行预拼装模拟，降低了脚手架周转损耗 5%。同样对结构模板进行预拼装模拟，把主体结构外墙侧模支架优化成上下两节组合形式，根据不同标高所需，采取分合并用，提高模板重复利用率近 50%。

(3) 协同平台

协同管理平台在北横通道工程全线得到了全面应用，目前质量/安全通知单、信访工单及危大工程方案都实现了在线流转与审批，当前平台正式注册用户 100 余人，流转工单共计 240 余条，做到真正意义上的协同管理，大幅提高各方沟通效率，并且通过微信推送方式分级提醒工单处理，1 张工单约缩短流转时间 2~5 天，通过协同平台各方沟通效率提高 10%。

3. 综合效益

(1) 交通方案模拟提高沟通效率

对于市政工程，BIM 技术在交通方案模拟方面应用所带来的效益是极大的。以北虹路立交 WS 匝道为例，在与拆除前相比，除了线形发生变化之外，沿线导向标

志，标线均有所变化。为了更清晰表达交通方案，以及提前发现问题，采用交通安全设施模型创建，通过模型漫游浏览提前发现设计中的问题，同时在向交警沟通，方案报批中起到一定的促进作用，通车方案报审一次性通过。

(2) 三维可视化提高施工质量及交底效率

三维建模有别于以往的 2D 平面图纸，不在生硬难懂。特别在结构复杂环境中更能体现其优势。利用三维模型可视化，进行施工前的节点碰撞检测、施工工况模拟、可视化施工技术交底，减少实际施工中可能产生的错误损失和返工带了经济及工期损失。本工程在支撑拆除阶段进行模拟，发现吊车把杆碰着结构楼板。后项目迅速优化方案，避免了工期延误，同时确保了施工质量安全。

(3) 提高施工工作效率

BIM 在施工过程中不仅可以起到协助优化方案，加强工作效率，协助方案编制人员发现方案存在的问题，提高施工现场的安全度。还在方案交底方案汇报的时候，以三维模型或者视频截图的形式替代传统的方案汇报，便于非专业人员理解，提高了工作效率。

(4) 协同管理平台应用提高管理水平

基于北横通道的项目特点，充分发挥 BIM 技术的优势，结合 GIS、物联网、云平台 and 大数据挖掘等技术，实现对项目建设的进度、成本、质量安全的动态控制，实现可视化、智能化和移动化管理，提升北横通道项目的精细化管理水平，提高工程管理和决策效率，减少返工浪费，保证工期，提高工程质量和投资效益。

(五) 应用推广与思考

在北横通道项目上经过近 3 年的 BIM 实施经验积累，结合行业特点，总结以下可在行业内乃至全市范围内可推广可复制的应用成果：

- 1、研究形成了一套基于 BIM 的特大型市政工程项目管理体系，为同类项目提供了参考依据；

- 2、建立了针对特大型城市道路工程的基于 BIM 与 GIS 技术的信息协同管理平台，为项目各参与方提供沟通、信息交互及工程管理统一平台，提高大型市政工程精细化管理水平；

- 3、形成一套北横通道项目 BIM 实施系列标准，提供一个具有可操作性，兼容

性强的基准及规范和统一各参与方的 BIM 应用实施细节，以指导本项目在设计及施工过程中，各阶段数据的建立、传递和交付，各专业之间的协同，建设参与各方的协作等过程，规避各阶段成本浪费、信息冲突等风险，实现设计、施工、竣工验收、试运营各阶段及各参与方之间的数据无缝整合、资源及成果共享、BIM 模型数据可持续利用。

北横通道项目还在建设过程中，随着项目的不断推进以及建筑业信息化的发展，北横项目将更加关注于 BIM 技术与新兴信息技术的融合应用，以及 BIM 技术与专业软件的结合应用，更好地用于解决工程实际问题；另一方面将持续推进平台在北横通道项目全线全面的应用，做到项目信息的可追溯、可持续应用与挖掘，通过在北横通道项目上的不断实践，平台不断完善、升级，最终服务于城市智慧建设。

三、黄浦区小东门 616、735 街坊地块项目

(一) 项目概况

1. 项目基本情况

黄浦区小东门 616、735 街坊地块项目 BIM 咨询项目位于上海历史悠久的老城厢——南外滩地块，滨临黄浦江，是集写字楼、品牌商业、星级酒店、住宅等为一体的大型现代服务业综合项目，总建筑面积 119 万平方米。本项目由 4 栋超高层塔楼（300m、240m、150m、141m）、9 栋超甲级办公楼、8 栋高品质住宅楼以及高端商业地块组成，业态多、体量大，同时项目范围内还包含两栋上海市级文物保护单位：上海最早的商船会馆以及记载了天主教在上海发展的董家渡天主堂。项目北侧地块超大面积地下室，是近年来上海同类项目中绝无仅有的。本项目于 2016 年 11 月被上海市列为第四批“上海市建模信息模型技术应用试点项目”，作为超大型城市综合体的试点，BIM 技术将在初步设计阶段、施工图设计阶段、施工准备阶段及施工实施阶段。

2. 项目重难点分析

本项目地块切分复杂，牵涉到的业态丰富，专业繁多，BIM 建模的体量非常巨大，是 BIM 团队前所未有的挑战，如何建立项目的核心团队，合理分配团队的资源，是该项目最大的难点。

项目参建方多，如何在 BIM 服务实施阶段进行资源的协调和整合是难点。

该项目申请了示范项目，如何配合业主方进行示范项目的相关汇报，找到示范项目的 BIM 技术应用亮点是难点。

业主对最终交付的综合模型要求非常高，体量很大，对软硬件、合模技术，信息整合的要求很高，BIM 顾问如何在项目实施过程中配合总承包及业主在钢结构、幕墙、装修等专业分包及满足总体模拟、综合模型等的要求是难点。施工同时要兼顾文物保护建筑的修缮保护。项目含有和一栋 100M 塔楼，结构超高、规模庞大、功能繁多、系统复杂、造价高、施工周期长，工程质量控制难度高。

表 1 工程难点及应用点策划

序号	特点及难点	BIM 应用需求分析	BIM 应用点策划
1	工程体量大、业态丰富，建模工作量巨大	通过三维模型及地理信息的融合，直观展示工程设计方案的整体现状，辅助决策。	基于 BIM 与 GIS 的工程信息管理平台
2	周边环境复杂	本项目建立工程模型与周边环境模型，直观展示工程与周边环境的干涉关系。	周边环境场地分析
3	施工期交通组织难度大	结合周边环境及工程模型，进行各关键节点的道路翻浇及交通组织仿真，直观展示与辅助决策。	道路翻交及交通组织仿真
4	建设参与方多、信息交互量大	搭建基于 BIM 的工程信息协同管理平台，为工程建设提供多方信息交流与传递平台。	基于 BIM 的工程信息协同管理平台
5	施工工艺多、环境控制要求高	施工监测信息与工程三维模型管理，直观反映各阶段工程及周边环境影响情况，实现智能预警。	施工深化设计 可视化动态监测与预警
6	施工环境苛刻，施工场地有限	通过工程模型及周边环境模型，直观反映施工用地、施工方案可行性等。	施工场地规划 施工方案模拟
7	关键工程节点施工筹划复杂	基于工程模型及交通组织等信息，关联时间，形成 4D 模型，辅助工程筹划及施工进度管理。	工程筹划及进度管理

(二) BIM 技术应用概况

1. 项目 BIM 技术应用的目标

本项目 BIM 技术应用的整体目标为：以实现建设工程项目全生命周期 BIM 的 3D/4D/5D 应用为目标，落实 BIM 技术的应用，进而进行项目成本控制与管理，提升项目效益，进而实现整个过程中效率的提高和增长。

为了实现该整体目标，通过 BIM 技术实施，BIM 技术应用的目标分解为以下子目标：

1) 优化设计，减少设计变更

利用 BIM 模型进行单专业三维设计和多专业综合协调，实现高效地多专业整合协调，减少各专业之间的冲突及其带来的设计变更，通过设计图纸完成前、施工开始前的综合协调，可以减少二维图纸不能发现的功能布局、建筑空间碰撞等引起的变更，进而节约项目工期和成本。通过 BIM 技术应用，努力实现应用目标。

2) 提高工程进度控制效率

通过 BIM 模型与时间变量的结合，实现 4D 施工进度模拟，实现不同范围的施工进度的精确控制，为整体施工方案比选和关键工艺节点优化提供依据，强化对施工过程的管控能力，减少甚至避免工期延误和人、物、机、料的浪费。尝试 BIM 模型与工程量（价）的结合，并进行 5D 工程量（价）计算模拟；BIM 模型与工程量导出、工程款支付相结合，并将成果应用于本项目的预结算工作中。

3) 加强协同工作，避免不必要的信息传递延迟与失误

BIM 技术不但可以实现设计阶段各专业之间的协同，而且可以实现建筑全生命周期各阶段各参与方之间的协同。利用 BIM 技术进行 3D 技术交底，实现各阶段各参与方信息共享、对称一致，避免信息沟通不畅带来的变更或返工；同时，通过虚拟建造、施工方案模拟等技术和方法，提前进行方案论证，实现“后续工作前置化”，使各参与方了解和熟悉关键节点的施工难点和重点，提高各参与方工作效率和质量。

4) 便于样板展示

BIM 模型不仅记载了建筑三维几何信息，而且可以附带无限量的非几何信息。通过不断地加载模型信息，逐渐形成一个与实体交付信息量对等的记录模型。结合项目特点，样板展示的应用重点包括：酒店客房、商业样板房。

2. BIM 技术应用范围和阶段

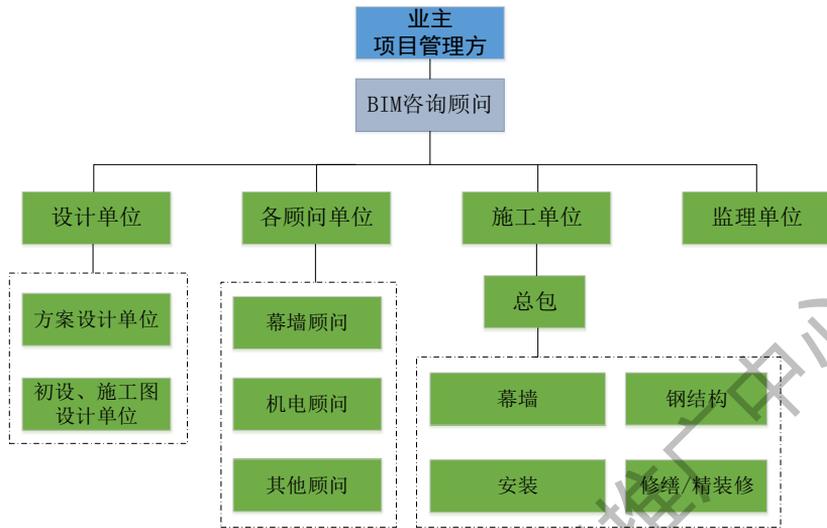
该项目的 BIM 技术应用范围为从设计阶段到施工阶段。

设计阶段：设计协同；可视化研判；基于模型的多专业、多系统、多顾问协调；虚拟建造；设计优化；辅助出图；管线碰撞检查；

施工阶段：管线综合；虚拟建造；4D 模拟；5D 工程量；样板展示；汇总入综合模型；

阶段	BIM 技术应用内容	交付物
初步设计阶段	BIM 实施策划	BIM 实施标准、合同规范、实施细则。
	现状模型，周边环境模型的建立	现状体量模型
	建筑、结构、机电专业模型构建	BIM 各专业模型
	建筑结构平面、立面、剖面检查	检查报告
	面积明细表统计	统计报告
施工图设计阶段	各专业模型构建	BIM 各专业施工模型
	冲突检查及三维管线综合	碰撞冲突检测报告
	虚拟仿真漫游	漫游动画
施工准备阶段	施工深化设计	BIM 施工深化模型
	施工方案模拟	4D 模拟动画，报告
	协同平台的搭建	协同平台
文保建筑 BIM 实施策划方案	明清古建 BIM 建模与应用体系	模型和虚拟成果、课题、辅助插件开发、编码体系
施工实施阶段	施工现场场布模拟	模型，模拟动画
	虚拟进度和实际进度比对	比对报告
	管线综合	模型，碰撞报告
	设备与材料管理	单独设备模型，相关信息
	各专业施工模型的建立	各专业施工模型
	竣工模型构建	竣工模型

1) 组织架构



2) BIM 技术应用职责分工

参与方	主要职责
业主方	<ul style="list-style-type: none"> ● 确认方案； ● 确认 BIM 实施规划； ● 协调推进、监督执行、整体把控与协调。
BIM 咨询顾问	<ul style="list-style-type: none"> ● 总体策划，制定实施规划和标准，职责界面划分； ● 服务范围内的 BIM 模型建模、建立、更新、深化、整合； ● 基于 BIM 模型的分析报告； ● 对总包、分包等第三方公司提交的 BIM 成果进行整合、审核和分析，以及监督第三方公司的模型修改； ● 进行工程量和材料统计，完成竣工模型； ● 制作 4D 或 5D 模拟动画； ● 提供 BIM 培训； ● 提出运维阶段的 BIM 服务建议。
设计单位	<ul style="list-style-type: none"> ● 按照合约要求定期提供设计成果，进行技术配合，并参与研讨 BIM 技术在设计阶段的应用； ● 按照合约要求完成数据信息的收集、集成、更新和完善等

	工作（设计阶段 BIM 模型的专业信息，见表 3-2 所示）。
施工单位	<ul style="list-style-type: none"> ● 接收施工图设计模型，对合约范围内的施工图设计模型进行必要的校核和调整，完善成为施工图深化设计模型，并在施工过程中及时更新，保持适用性，成为施工过程 BIM 模型； ● 统筹管理各分包方 BIM 团队施工深化设计模型和施工过程模型，方便各专业间模型互用； ● 提供施工组织方案、进度安排等，完成 BIM 在施工阶段的应用并按业主方要求提交应用成果； ● 按照合约要求，进行施工阶段 BIM 模型专业信息收集、更新和完善（施工阶段 BIM 模型的专业信息，见表 3-3）。
监理单位	<ul style="list-style-type: none"> ● 现场模型比对、设计变更发生时，确认 BIM 模型的更新； ● 审核施工信息，督促施工方确保施工模型与现场的一致性。
其他单位	<ul style="list-style-type: none"> ● 按照合约要求和 BIM 实施规划要求提交相关数据资料。

（三）BIM 技术应用成果与特色

在设计阶段 BIM 技术应用是各专业模型构建并进行优化设计的复杂过程，主要包括建筑、结构、给排水、暖通、电气等专业建模，并通过冲突检查、管线综合、净空分析等基本应用，完成初步设计、施工图设计的多次优化问题。BIM 在设计阶段的主要作用是各专业人员沟通、讨论、协调、决策的过程中，建立一个三维可视的环境，有利于各专业的协同工作，同时也有利于对建筑空间进行合理性优化，为后续深化设计、4D 模拟、冲突检查、管线综合等提供模型工作依据。

1. 方案设计阶段

本项目业态多，有办公、酒店、商业、住宅，同时地块划分复杂，因此，与之对应的设计方案也非常繁多，在方案设计阶段，利用 BIM 技术对一些设计的关键方案进行论证和优化。

（1）基于三维可视化的辅助设计。利用 BIM 软件建模，对屋顶擦窗机进行预建模，对屋顶设备占位进行预判，协助设计单位进行进一步设计。此外，利用 BIM 可视化建模特性，对幕墙预埋件进行提资分析，提高设计单位的设计效率。

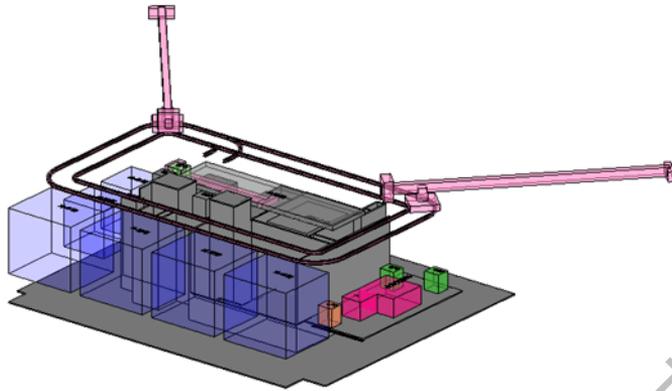


图 1 屋顶擦窗机运行干涉分析

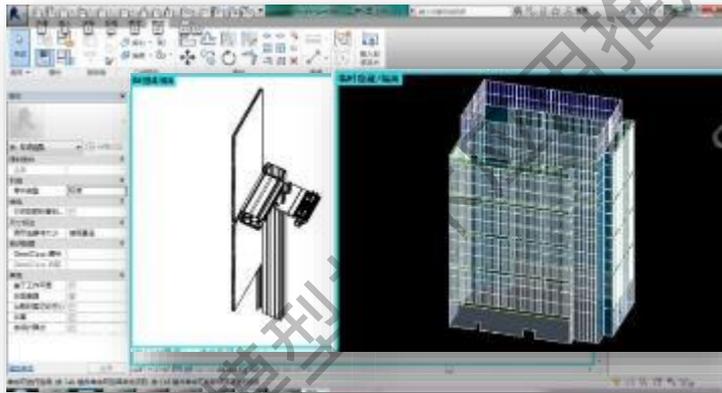
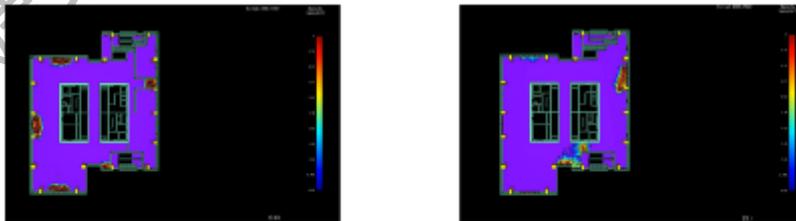


图 2 幕墙方案可视化辅助

(2) 疏散模拟。利用 BIM 相关软件对设计方案进行论证，帮助设计单位更好的进行人流疏散设计，并提供优化建议。



结论：*
基于人群逃生理想的行动模型，模拟完成全部疏散，模拟通过；*
通过对南北轴的疏散宽度，适当的假定，使东西轴保持原设计的前提下，疏散方向在首层达到较稳定的疏散时间，几乎等同最优状态；*
东西轴方向的其他疏散口，可以经由南北轴方向的加大疏导，而更为减轻压力。*

图 3 疏散人流模拟

2. 初步设计阶段

在设计单位及顾问单位优化方案设计之后，初步设计阶段的 BIM 工作主要体现在帮助业主提升设计质量、完善节点设计，本阶段的 BIM 成果及亮点包括以下内容：

(1) 图纸问题清单：对设计单位提供的图纸进行初步建模和审校，及时发现图纸上的可见问题，并反馈给设计单位，方便设计单位进行修改。

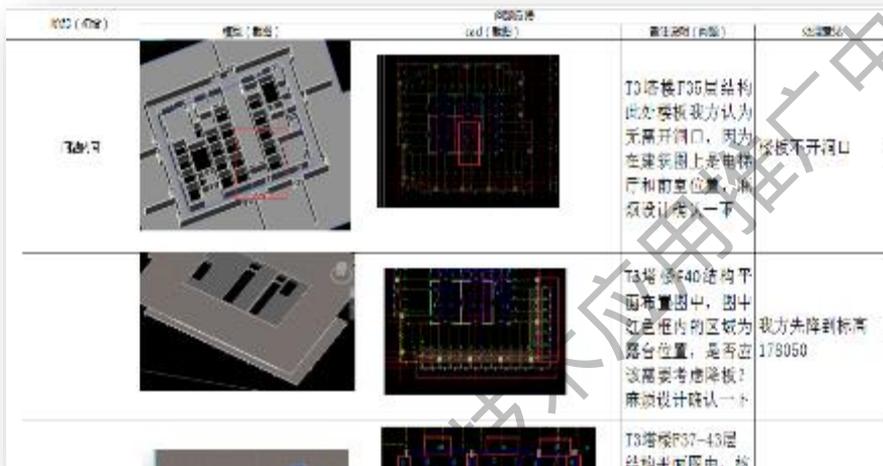


图 4 图纸、3D 模型对应清单

(2) 重点区域净高控制：针对不同业态及功能需求，结合业主要求，对每个地块，每个功能区进行建模，并得出相应的净高数据，反提给业主及设计院，提升设计质量。

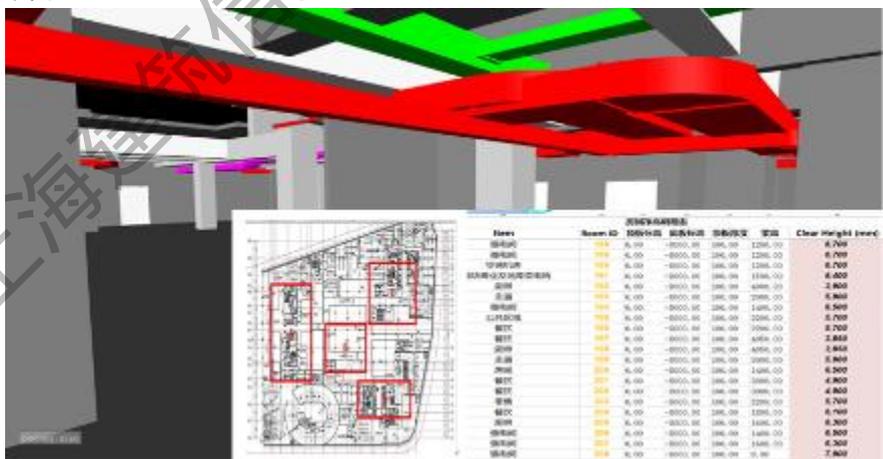


图 5 初设阶段重点区域层高优化与净高综合分析

(3) 复杂坡道的构型与叠合：由于地形限制，本项目存在多处复杂多叠合坡

道，相对于传统的二维设计图纸，BIM 三维建模可以清晰的显示所有细节节点情况，对于设计完善坡道图纸大有裨益。

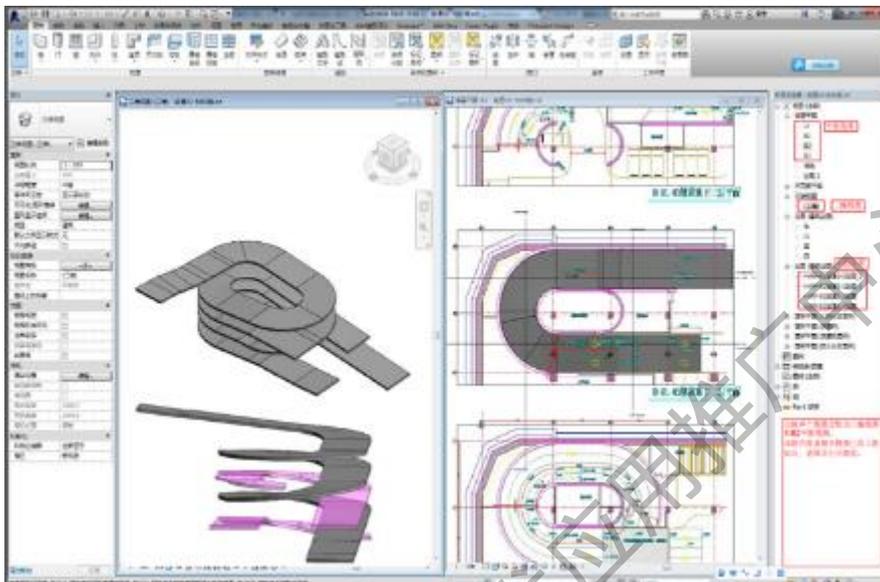


图 6 坡道构型与叠合分析



图 7 协助设计，对关键节点进行优化设计

(4) 虚拟仿真：在初步设计阶段 BIM 建模后，结合业主的施工计划，进行开发计划的模拟，对施工进度、设计进度进行模拟仿真，方便业主调整实际施工方案、加快施工单位进场的准备工作。

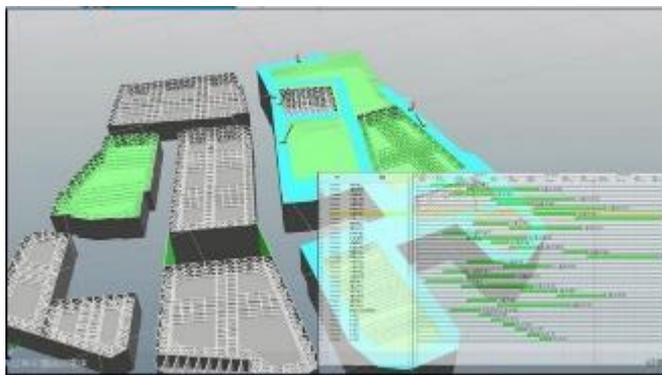


图 8 地下开发计划模拟



图 9 总体开发进度模拟

3. 施工图设计阶段

施工图设计阶段，施工图阶段，BIM 工作立足于对设计图纸的进一步审查，如进行机电管线与土建结构的碰撞，复杂区域管线的空的再复核。

(1) 碰撞检测：对于设计单位的最终版施工图进行建模和碰撞测试，减少设计变更。

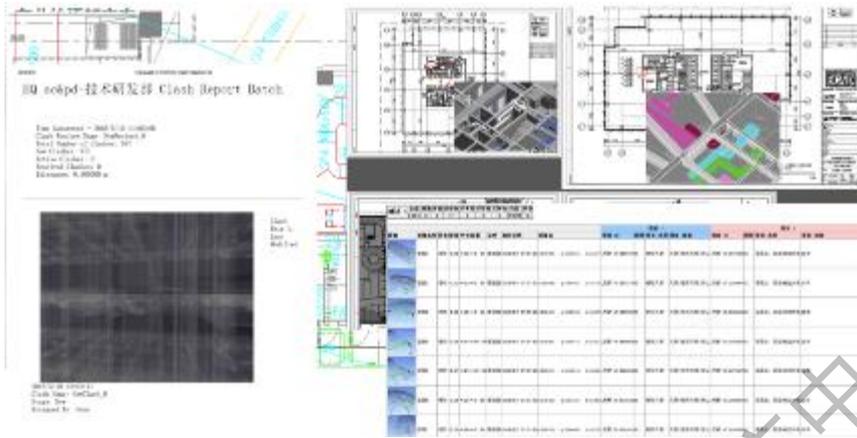


图 10 碰撞报告及解决提案

(2) 管线综合及净空优化：对重点区域净高进行进一步复核，形成管综综合报告。

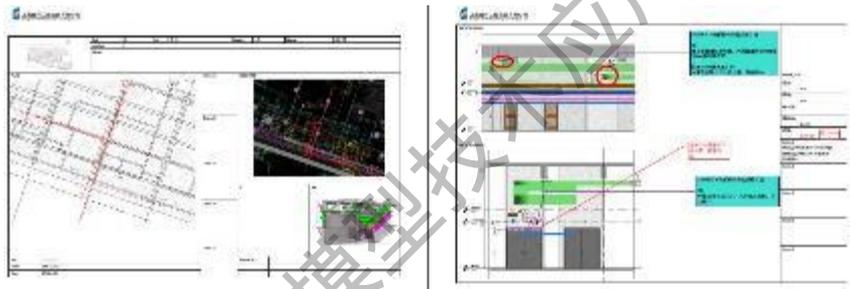


图 11 管综报告及净空优化

(3) 辅助制图：对于复杂的坡道，机电管线叠合处多的区域，利用 BIM 技术，主动建模，利用模型自带的详细信息，直接出图，提供给设计单位，辅助施工图设计。

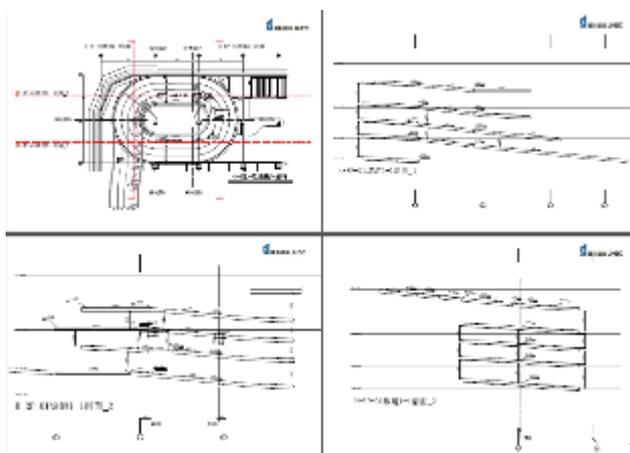


图 12 坡道辅助出图供设计自校

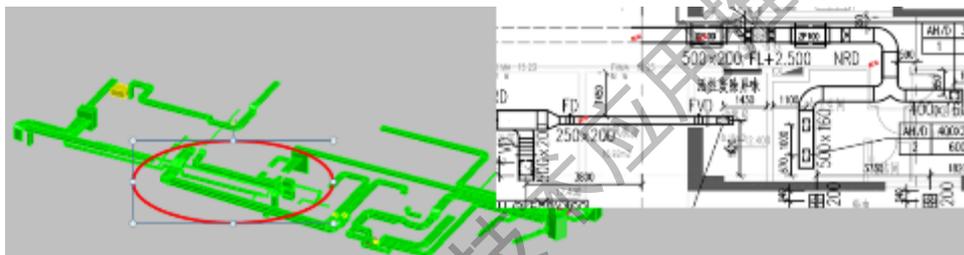


图 13 暖通专业复杂节点辅助出图

4. 施工准备阶段

(1) 场布模拟。本项目周边存在居民区，地铁、还有正在建设中的中山南路隧道，周边行车道路、堆场布置等十分复杂，为了保证不影响周边居民、企业的日常生活工作，施工单位根据施工现场的实际情况，定期更新项目场布模型，做到每周场布模型与现场对应，对施工场地周边及安全设施进行监控和调整。



图 14 南地块施工场地布置图

(4) 特殊工艺模拟演示。本项目采用了多项新技术，如北地块逆作法区的一柱一桩的激光调垂，在施工准备阶段，对技术进行预操作和演示，提高施工质量。

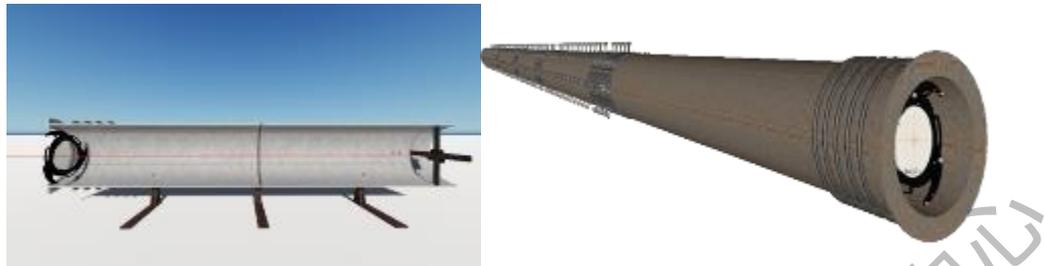


图 18 一柱一桩的激光调垂

5. 施工阶段

(1) 进度管理。项目根据现有模型制作进度以及现场施工进度，将主体结构的施工劳务以及完成时间分别录入到项目模型信息中。并在每周工程例会中向业主展示。

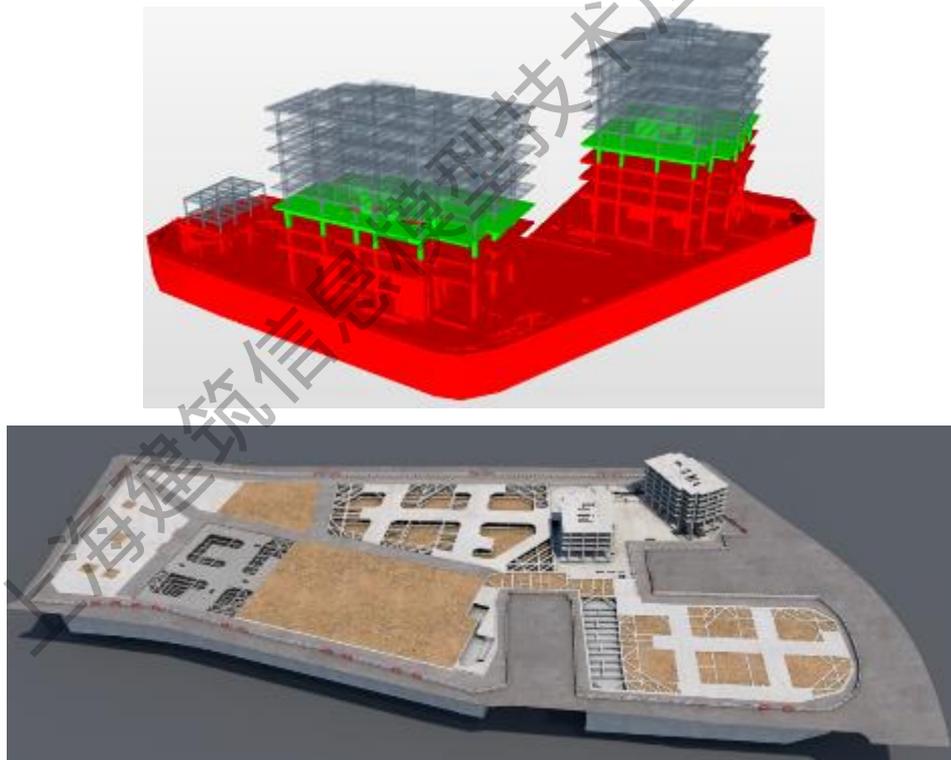


图 19 北地块施工进度展示

(2) 细节节点可视化施工指导。通过 BIM 模型建立细节节点，指导现场施

工，如剪力墙钢筋施工、模板体系搭设、梁柱复杂节点钢筋绑扎等。

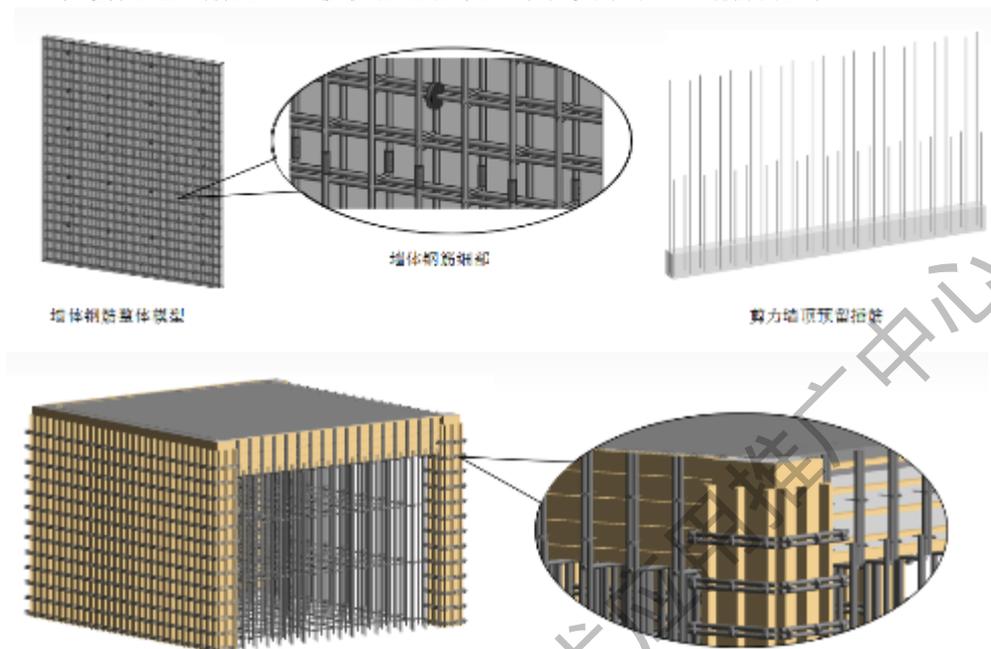


图 20 模架体系搭设演示

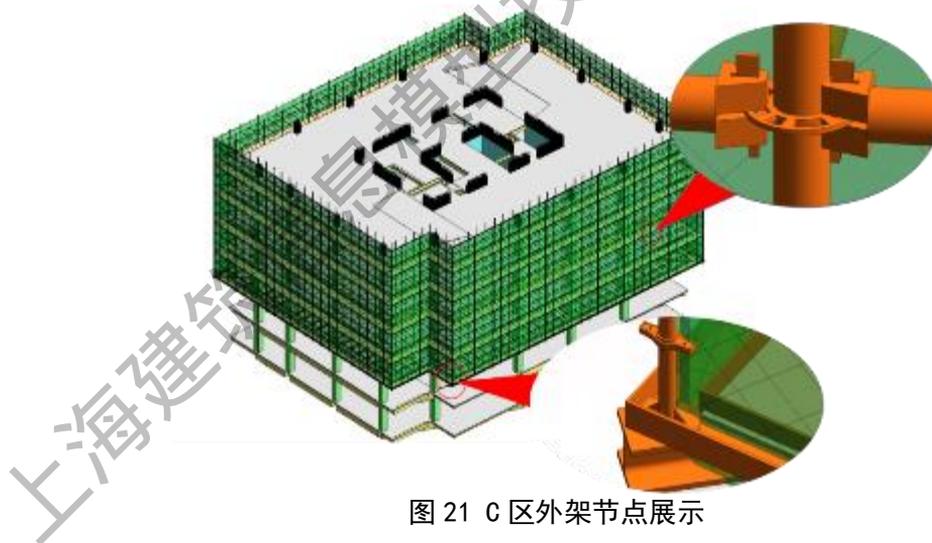


图 21 C 区外架节点展示

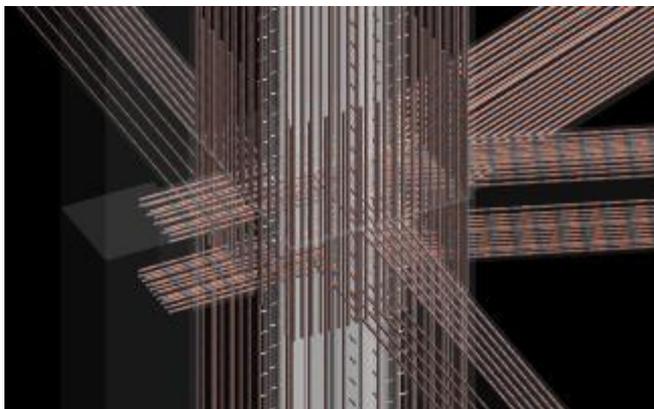


图 22 H 区地下室梁柱复杂节点展示

(3) 通过重大方案进行施工模拟和优化, 合理调整现场施工布置以及机械行驶路线。安排施工节奏, 确定关键路线。

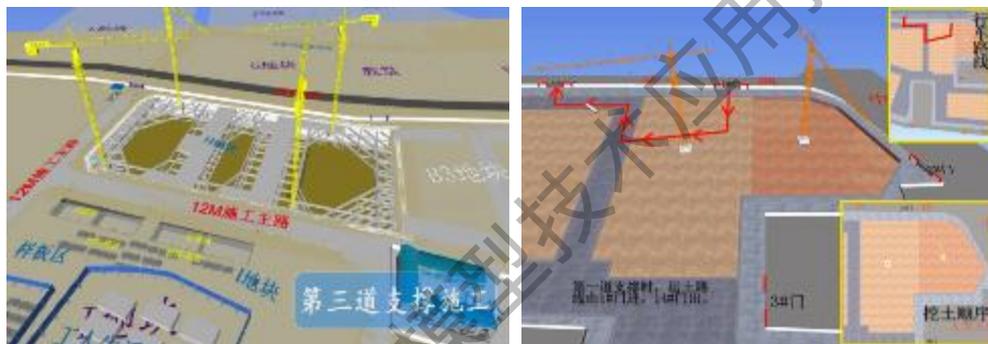


图 23 深基坑施工模拟

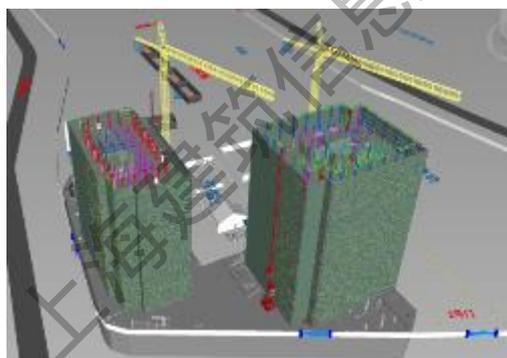


图 24 C 地块地上施工模拟图

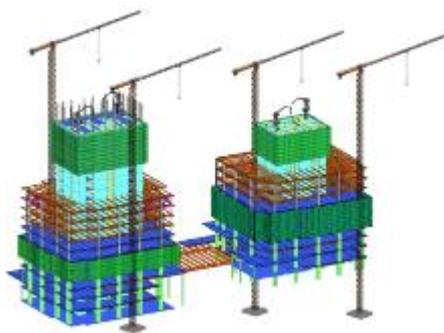


图 25 H 区超高层施工流水演示

(4) 安全管理, 利用 BIM 技术对临边防护及挑网进行可视化、对洞口防护展示。

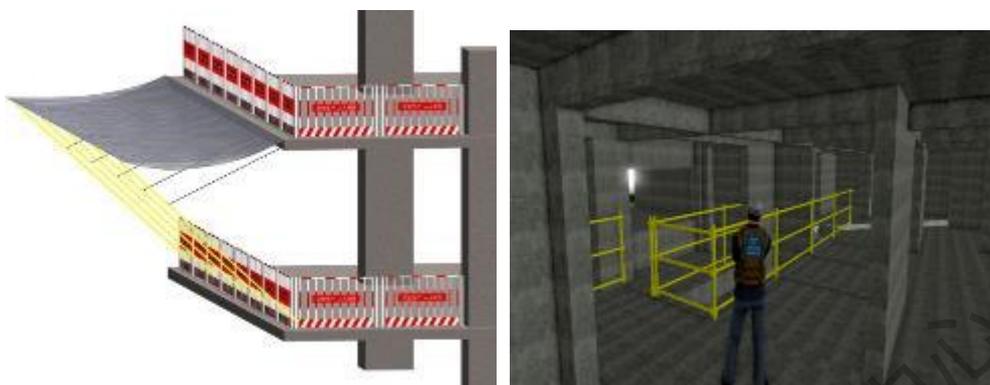


图 26 洞口防护可视化展示

(5) 设计管理，项目开发了 Leiliro 软件并申请专利，通过该软件读写原模型中构件参数属性并生成 Excel 表格，并通过 Excel 表格对构件参数进行批量编辑，再通过改软件将编辑后的构件参数重新赋予模型，达到批量输入模型参数，极大的减少了 revit 模型信息录入以及修改时需要大量人力物力的麻烦。



图 27 原创专利软件提供模型信息化录入

6. BIM 成果汇总

表 4 董家渡金融城项目 BIM 成果一览表（施工阶段现有部分）

应用分项	应用目标及成果
群坑施工协同应用	深基坑施工应用
	深基坑地下结构施工模拟
	深基坑挖土、支撑施工模拟
	GL 区一柱一桩深化设计应用
	GL 区逆作法施工应用
	基坑地下施工对地铁沿线的保护应用
	深基坑沉降云监测 BIM 应用

应用分项	应用目标及成果
超高层 BIM 应用	型钢结构与混凝土结构施工工艺模拟（北区）
	钢平台、爬架顶升等施工工艺模拟（北区）
	钢平台爬升流程模拟
	T3 超高层施工阶段数值模拟计算（南区）
装配式 BIM 应用	南地块装配式 PC 吊装施工模拟
	构建预拼装深化设计及生产加工应用
	PC 结构与互联网+二维码技术应用
文物保护修缮 BIM 应用	商船会馆落架重建应用
	商船会馆落架重建 VR 体验
文物保护修缮 BIM 应用	董家渡天主教堂保护
	董家渡天主教堂加固施工模拟
施工管理应用	各阶段场布模型
	施工总进度模拟
	交通组织模拟
	地块级施工进度模拟
	施工样本区 VR 体验
	安全体验区 VR 体验
其他常规性 BIM 应用 工作	各专业 BIM 建模工作
	机电管线综合深化设计 BIM 应用
	钢结构节点深化设计 BIM 应用
	幕墙深化设计 BIM 应用
	复杂部位节点施工模拟应用

(四) BIM 应用效益及测算方法

(1) 设计各阶段 BIM 效益分析

阶段	分项	效益分析
方案设计	辅助设计	单项节约设计管理协调时间 20 小时；
	方案比选	单项减少设计联合体工作时间 10 小时；

	疏散模拟	单项减少一轮图纸返工，约 8 小时；
	虚拟仿真	单项提高项目决策者 8 小时；
	复杂坡道的构型与叠合	单项减少设计联合体校核时间 80 小时；
初步设计	图纸问题清单	图纸瑕疵 2500 余项；顾问间专业界面矛盾点 100 余项；
	重点区域净高控制	消除方案阶段专业碰撞 30000 余个；反提控高数据 700 余项；
	信息清单	辅助校核设计材料 10 余次；
	设计协同	累积节约设计团队一个月工时；
施工图设计	碰撞检测	消除初设 1000 余个有效碰撞点；传递至机电深化施工阶段，变更数控制在 1 个/5000~10000m ² ；
	管线综合及净空优化	解决控制难点 400 余；净高控制失效让步点 1 个/50000 m ² ；
	辅助制图	辅助出图三个专业、共 5 版；

(2) 综合效益分析

BIM 工作成果应使得参建方切实地感受到 BIM 的价值，确保在 BIM 的投入，达成预期回报；与此同时，在 BIM 模型的基础上，持续通过专业技能将模型转化为子目标的分析过程，并作为咨询建议输出，从而在后续建设、运营过程中为招标人的早期投入带来增值。

(五) 应用推广与思考

1. 历史保护建筑施工应用体系

本项目范围内有两处历史保护建筑和市级文物保护单位：董家渡天主教堂和商船会馆。其中董家渡天主教堂所在的地块周边基坑情况复杂，离既有建筑基坑，周边地铁、隧道等基坑十分近，运用 BIM 的 4D 虚拟施工、碰撞测试等技术，可以非常有效地推进基坑的施工。此外，商船会馆因为要涉及保护性修缮，运用 BIM 技术的 3D 建模、虚拟漫游等技术，可以帮助保护性修缮的进行，保护

历史建筑脆弱的结构。为今后同类型的项目提供技术支撑。

2. 超高层建筑设计和施工协同

超高层建筑有非常复杂的结构，在施工中可能会遇到和设计的冲突的问题，本项目中有 4 栋超过 100 米的建筑，运用 BIM 技术，分类建模、进行施工模拟，碰撞测试等，将问题及时通过平台与各设计方进行沟通，发挥 BIM 技术协同的优势。

3. 多业态综合体 BIM 应用

多业态综合体有着不同的商业布局，防火分区，存在着复杂的结构体系。运用 BIM 技术，通过虚拟漫游，4D 模拟，将可预见的问题逐一解决。为今后多业态综合体的建设施工，提供借鉴。

4. 地下空间综合 BIM 应用

本项目有着非常大的地下空间，考虑到不同坡道，管线的分布，利用 BIM 技术的碰撞测试，模拟施工，为设计和施工提供指导。对类似的大地下空间项目提供案列参考，体现 BIM 技术的价值。

5. 协同管理体系

通过手机移动端、PC 端进行 BIM 模型的查看和数据的交流，能使各参建方及时得到最新的信息或者反馈。协同可以使 BIM 技术的价值发挥最大化，创造最大的效益。

四、上海市胸科医院科教综合楼项目 BIM 应用

(一) 项目概况

上海市胸科医院新建科教综合楼项目位于上海市徐汇区内环以内，北临淮海西路，南邻番禺绿地，东面为安顺路，本项目位于胸科医院东北角。项目总投资 18596 万元，项目类型为医疗卫生公共建筑，投资性质为政府投资以及医院自筹，总建筑面积 24208 平方米，建筑高度约 60 米。该项目施工场地非常狭小，北侧又与地铁 10 号线相邻，基坑变形控制要求高，施工难度大。为提高建设过程中的精细化管理能力，充分发挥 BIM 技术在该项目上的积极作用，项目采用了建设单位驱动的全生命周期 BIM 应用模式，同时该项目于 2015 年 12 月被列为上海市第一批 BIM 试点项目政府投资工程。项目已经于 2017 年 10 月 31 日顺利通过竣工验收，并获得上海市“白玉兰”奖。

该工程实行施工总承包管理模式，主要参建单位有：华东建筑设计研究院有限公司（设计单位）；上海建工二建集团有限公司（施工总承包单位）；上海容基工程项目管理有限公司（监理单位）；上海科瑞真诚建设项目管理有限公司（BIM 顾问）；上海科瑞漫拓信息技术有限公司（软件供应商）。

(二) BIM 技术应用概况

1. 应用范围

(1) 可研阶段针对项目选址特征、不同方案效果、周边环境影响、项目规模等进行论证。

(2) 通过三维建模以及虚拟仿真，实现三维空间的漫游，特殊功能空间的模拟，辅助建设方决策和优化各类功能区域的空间布局。

(3) 对动力、空调、热力、给水、排水、弱电、强电和消防等管线平面、立面布置进行碰撞检查，以进行合理优化。

(4) 施工模拟，运用 4D 技术，结合施工进度计划进行工期进度模拟；针对狭小区域下的桩基施工、新旧建筑连廊施工等开展专项施工方案模拟。

(5) 施工现场管理，通过终端设备 APP 开发，实现施工过程中对现场人员、

机械、材料、质量、安全、环境信息的实时管理。

(6) 基于 BIM 的造价管理，通过各方统计工程量的对比检查，控制工程造价。

(7) 设计变更管理，通过对变更内容的建模检查，实现对变更的正确性、经济性、可实施性等方面的决策支持。

(8) 运维方面，提供最终的竣工模型，为将来的信息化管理提供数字化基础。开发基于 BIM 的可视化智能运维平台。

2. 应用目标

基于 BIM 在工程建设方面的应用实践所体现出来的优势，尤其是在设计阶段的三维模拟和设备管线碰撞优化、施工过程的空间和进度可视化展示、竣工阶段的设备管线模型信息移交等方面的价值；为更好地开展上海市胸科医院科教综合楼的项目管理工作，达到项目设定的安全、质量、进度、投资等各项管理目标，建立工程 3D 模型、结合 4D/5D 动态工程筹划及造价等 BIM 先进管理手段，以数字化、信息化和可视化的方式实现基于 BIM 的建设项目管理，提升前期策划、设计管理和施工管理的深度和精度；基于建设阶段的 BIM 模型运维转换和运维平台开发，提升医院后勤智能化管理水平。

3. 应用阶段

(1) 决策期 BIM 应用

在前期及策划阶段，根据医院工程项目的具体情况，研究医疗设施建设项目的总体控制目标，包括总体质量目标、总体进度目标、总体投资目标、总体安全管理目标、总体可持续建设目标，采用先进的管理仿真技术对其进行模拟，并推演分析实现这些目标的主要保证措施。结合 BIM 方案模型，研究医院工艺流程、平面布局、规模测算、造价估算以及人流、物流动线分析等，以进一步提高医院建设方案的科学性和合理性。

利用 BIM 的三维可视化和数字化技术，以及人流、物流和工艺模拟分析技术，通过方案论证集成会议，可充分吸收医院管理方、运营方、代建方、设计方、咨询方甚至施工方和设备供货方的意见和建议，通过价值工程和多方案可视化比较，进一步提高医院决策方案的科学性，减少后期重大变更，充分体现全寿命周期和最终

用户需求的建设理念。

(2) 实施期 BIM 应用

在设计与施工准备阶段，通过建立各专业 BIM 模型，进行方案构思、协调建筑外部环境和内部功能布局分析；进行设计效果分析，3D 漫游，对设计方案进行深入研究；进行专业管线综合，利用 BIM 技术，通过搭建各专业的 BIM 模型，进行碰撞冲突，从而大大提高管线综合的设计能力和工作效率；基于 BIM 模型进行专业分析和价值工程论证，在建立 BIM 模型的基础上，组织专家会议，优化设计成果，进行特殊设计方案的专项论证和模拟，能进一步提高医院设计方案的质量水平。由于医院项目功能和构成的复杂性，传统二维设计方法经常出现设计的错漏碰缺，带来后期的设计变更，利用 BIM 的三维碰撞检测，可有效提高设计方案质量，减少设计变更，以及由此引发的投资浪费和进度拖延问题。

通过三维建模进行可施工性分析，例如碰撞检查和四维施工模拟，将建筑模型与现场的设施、机械、设备、管线等信息加以整合，检查空间与空间，空间与时间之间是否冲突，以便于在施工开始之前就能够发现施工中可能出现的问题；进行造价测算，通过 BIM 得到准确的工程量基础数据，将工程基础数据分解到构件级、材料级，有效控制施工成本，实现全过程的造价管理实现成本控制；应用 RFID（Radio Frequency Identification，无线射频识别）等技术，对核心的构件进行身份标识从而实现从制作到安装的全过程跟踪管理，便于核心部件的施工质量掌控；基于 BIM 模型，通过对各施工单位现场设备及人员的动态芯片跟踪，实现现场的安全管理及预警。

在施工阶段，通过三维建模、四维施工模拟、造价测算、RFID 等射频技术应用、现场安全管理等辅助施工阶段项目管理，能进一步提高医院建设管理的精细化水平。利用 BIM 以及基于 BIM 的工程量 and 造价的智能计算、施工方案论证、4D 进度计划和智慧安全管理等技术，可有效实施价值工程，提高造价计算的精度和效率，辅助复杂施工组织、施工方案和进度论证与优化，以及更主动的质量和安全管理等，进一步提高医院建设管理的精细化和智能化水平。

(3) 运营期 BIM 应用

在竣工验收与使用阶段，通过 BIM 与施工过程记录信息的关联，包括隐蔽工程资料在内的竣工信息集成，为后续的物业管理及未来进行的翻新、改造、扩建过

程中为业主及项目团队提供有效的历史信息；建立运维模型和维护计划，BIM 模型结合运营维护管理系统可以充分发挥空间定位和数据记录的优势，协助运维单位合理制定维护计划，分配专人专项维护工作，以降低建筑物在使用过程中出现突发状况的概率。BIM 模型是一个可视化的建筑三维模型，通过和已有 BA 系统（Building Automation System，建筑自动化系统）进行集成，包括监控系统、门禁系统、能源管理系统、车位管理系统等，形成基于 BIM 的智慧医院后勤管理平台。BIM 中包含的大量建筑设备信息通过导入设施管理系统，可实现三维可视化的 BA 运维管理。结合已有的移动终端技术，能便捷的实现运维检查及设施维护。

4. 建模方式

胸科医院科教综合楼项目的主要使用 REVIT 软件进行 BIM 完全正向建模。当建模工作量较大时，将制作模型工作集并采取多人协同的建模方式以提高建模效率。胸科医院所有专业的模型都基于同一模型原点搭建，相互之间可以快速链接。

5. 组织方式

考虑到上海市级医院普遍采用项目代建模式，一般由建设单位和代建单位共同实施合作项目管理，因此，在 BIM 应用中，采用“建设单位驱动、BIM 咨询单位全过程服务、其他参建单位共同参与的组织模式”，其组织架构如图 1 所示。

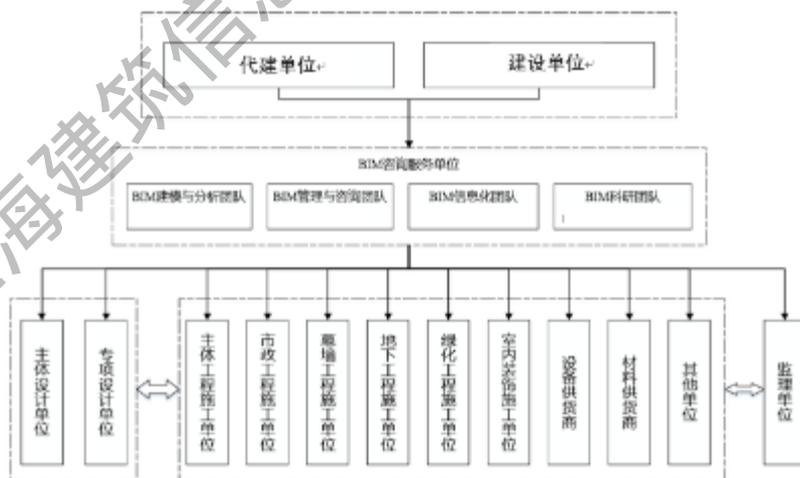


图 1 上海市胸科医院医院 BIM 应用组织架构图

6. 团队配置

本项目 BIM 应用实施组织与传统项目管理组织相融合,采用 BIM 咨询单位辅助建设方总协调的方式展开。由上海市胸科医院主持成立本项目 BIM 工作小组,并指派专人作为组长,2 人为组员。BIM 咨询单位指派 5 人作为组员,负责协助处理本方与 BIM 服务实施相关的事务。其它参建各方(设计、总包、分包、BIM 服务单位、监理等)指派至少 2 人作为组员,负责处理本方与 BIM 咨询实施相关的事务。

BIM 工作小组旨在整个 BIM 服务实施过程中推动各阶段 BIM 应用的具体工作,协调工程建设全生命周期中各参与方的 BIM 应用,督促相关方各类数据输入和成果信息输出,确保 BIM 实施成果的增值应用,研究和推进基于 BIM 的 PM 管理中各项创新应用实践。

7. 协同工作机制

BIM 技术的出现为建筑相关信息的及时、有效、完全共享和集成提供了可能,为构建信息的无缝管理平台提供了相对可靠的手段,而这也是为解决上海市胸科医院科教综合楼项目参与方众多、信息量巨大而产生的管理难题提供了一个积极有效的手段。

(1) 软件技术协同

上海市胸科医院科教综合楼项目的 BIM 技术运用是通过构建数字化信息模型,打破设计、建造、施工和运营之间的传统隔阂,实现项目各参与方之间的信息交流和共享,通过信息的集成和应用,辅助全寿命期项目管理。从根本上解决项目各参与方基于纸介质方式进行信息交流形成的“信息断层”和应用系统之间“信息孤岛”问题;通过 BIM 实现可视化沟通,加强对成本、进度计划及质量的直观控制;通过基础的数字化模型,实现各种功能和物理性能的模拟,寻求最佳项目方案;通过构建 BIM 信息平台,协调整合各种绿色建筑设计、技术和策略。在设计、施工、及运营阶段全方位实施 BIM 技术,以有效地控制项目各个阶段过程当中工程信息的采集、加工、存储和交流,从而支持项目的最高决策者对项目进行合理的协调、规划、控制,最终达到项目全寿命周期内的技术和经济指标的最优化。

BIM 的基础是模型,灵魂是数据和信息,重点是共享和协同,而工具则是软

件和管理平台。为了实现上海市胸科医院科教综合楼的全寿命期 BIM 应用，同时根据胸科医院的精益化管理设计原则和管理的主要内容及职责分工，并吸收已有建设项目管理模式的优势，制定胸科医院科教综合楼项目软件实施技术框架。

该技术框架体系的基础是 BIM 模型，即建筑、结构、水暖电各专业的建筑模型信息，以及设备设施的运维信息。管理的时间维度包括设计阶段、施工阶段和运营阶段三个阶段。其中，设计阶段的精益化管理主要体现在采用 BIM 技术进行精细化设计，施工阶段的精益化管理主要是施工技术、方案、管理和目标控制的精细化，运营阶段的精益化管理主要体现在后勤智能化管理的可视化服务。

(2) 数据技术协同

虽然各参建方会根据自身的应用目的来创建各自的 BIM 模型，但为确保与其他团队的协同工作，所建模型应包括满足项目 BIM 应用所需的元素。而且，由于该项目 BIM 数据最终都将用于运营维护阶段，各建模方都应理解 BIM 数据未来的用途，并对建模内容采用统一标准。该项目中，各分包方应建立专业 BIM 子模型的专业/系统包括：土建、钢结构、幕墙、垂直电梯、机电系统、精装修。

同时各参建方达到如下技术要求：

数据交换：胸科医院科教综合楼项目各建模方可以采用不同的软件来创建模型，但需确保 BIM 模型数据可以被 Navisworks 读取，并能转成 Navisworks 的格式，供之后集成模型之用。对于项目参与方的其他 BIM 数据转换要求，经 BIM 咨询单位同意，建模方可提供原始的 BIM 模型文档，数据转换工作由要求方自行负责。

模型的检查：准确的模型和信息是确保后期高效利用 BIM 系统进行运营维护的保证，除了 BIM 咨询单位以外，总包、代建和业主方、监理方等同时也需要确保 BIM 模型的完整性和准确性。

集成模型：在施工阶段，施工总包/BIM 咨询团队负责采用 Autodesk Navisworks 来集成各施工分包提供的各专业的 BIM 模型，并确保在分部分项工程施工前完成协调和应用工作。各施工分包除提供原始的 BIM 模型文档外，还要提供相应的 Navisworks 的格式文档。集成模型被用于协调各专业模型，减少各专业的冲突，同时也是施工期间项目 BIM 应用的基础。

模型交付：竣工 BIM 模型应真实准确，原则上应与项目实际完成状况一致。

但由于实际操作起来有难度，目前在竣工标准的制订过程中，对 BIM 模型和实际完成情况之间的容差作出了具体规定。竣工模型的提交还要求包括原始模型和转换完成的 IFC 模型，提交前须进行病毒检查、清除不必要的信息等。

此外，模型应包含必要的工程数据，比如对于建筑设备，应包括基本的名称、描述、尺寸、制造商、序列编号、重量、电压等，这些要求都会在 BIM 标准中进行具体的规定，从而确保建设方和物业管理公司在运营阶段具备充足的信息。在项目建设过程中，BIM 模型的应用会有很多，各项目参与方应积极拓展其他与各自业务相关的应用点，在项目建设过程中最大化应用 BIM。

(3) 管理技术协同

如前所述，胸科医院科教综合楼项目的管理模式定位为“业主方主导、BIM 咨询单位全过程支撑，各参建单位共同参与的基于 BIM 技术的精益化管理模式”，即作为业主方需要主导项目各阶段的 BIM 应用，咨询单位提供设计、施工和运维阶段专业化的管理和技术服务，而参与医院项目的各方各尽其职，负责工作范围内的 BIM 应用和实施。

为了达到上述目标，在工程最初招标时，建设方应该将 BIM 的工作要求一起写入总包招标文件以及后来的主要分项工程的招标文件中。其中详细规定各承包商 BIM 模型创建和维护工作，包括碰撞检查、施工模拟等在内的 BIM 技术应用要求，BIM 数据所有权等内容，BIM 咨询单位也制定了各种管理制度、合同条件、文档要求等。

8. 应用阶段和应用项列表

表 1 应用阶段和应用项列表

应用阶段		应用点及上海市指南对应关系		应用效果	工具软件
		本项目应用点	对应关系		
设计阶段	方案设计	1) 场地分析	涉及	论证建设用地布局、景观合理性，优化高效的交通流线和消防路线方案。	Revit [®] Pathfinder
		2) 建筑性能模拟分析	涉及	对场地风环境、室内自然采光和自然风等进行模拟，为后续深化	Autodesk Energy Analysis

			设计改进提供了参考。	
	3) 设计方案比选	涉及	比选及优化门厅设计、样板房装修、楼层功能布置及基坑施工方案、钢连廊方案等。	Revit
	4) 虚拟仿真漫游	涉及	整栋楼漫游为功能设计和需求验证提供基础。	Lumion [®]
	5) 特殊设施模拟	新增	优化院内交通和机械停车库外围运行方案, 提供高峰时段疏导措施、车辆等待的方式和数量, 并对车流通畅提出了保证措施。	VISSIM [®]
	6) 特殊场所疏散模拟	新增	为整栋楼及顶层会议室提供疏散路线、保证安全及采取的设计优化措施。	Pathfinder [®]
初步设计	7) 建筑、结构专业模型构建	涉及	实现了设计过程可视化的目的, 为施工图设计提供了设计模型和依据。	Revit, Thsware [®] ,
	8) 建筑结构平面、立面、剖面检查	涉及	针对建筑图纸与结构图纸优化不同步导致的碰撞和矛盾问题提出了相应建议。	Revit
	9) 面积明细表统计	涉及	对各楼层医疗用房面积与业主进行校对分析, 从而保证了设计的精确性, 尽量避免后期使用过程中房间使用功能的变更。	Revit
	10) 设备选型分析	涉及	对电梯、空调及医用气体系统设备进行模拟, 避免了计算失误造成的设备不足或浪费。	EnergyPlus
施工图设计	11) 各专业模型构建	涉及	建筑、结构模型调整, 构建暖通、给排水、电气模型, 为碰撞分析等奠定基础。	Revit, Thsware,
	12) 碰撞检测及三维管线综合	涉及	碰撞分析, 避免空间冲突, 最大化避免了设计错误传递到施工阶段。	Revit, Navisworks
	13) 竖向净空分析	涉及	达到各区在不改变结构和系统情况下的最大管线安装高度。	Revit, Navisworks
	14) 虚拟仿真动画漫游	涉及	减少由于事先规划不周全而造成的浪费等。	Lumion
	15) 建筑专业辅助施工图设计	涉及	输出 2D 图纸, 辅助设计优化。	Revit

		(2D 制图)				
施工阶段	施工准备	16) 施工深化设计	涉及	对机械停车库、连廊钢结构、精装修、变电站和管线综合等深化设计改, 优化施工图。	Revit、Navisworks	
		17) 施工方案模拟	涉及	通过对地下工程、主体工程、连廊钢结构、变电站等关键施工工艺模拟, 优化施工方案。	Revit、Navisworks	
		18) 预制构件深化设计	涉及	对机械停车库、钢结构连廊进行了深化设计, 提高了设计和施工准确性。	Revit、Navisworks	
		19) 预制构件碰撞检测	涉及	通过对机械停车库的构件设计与结构模型进行碰撞检测, 提高了设计和施工准确性。	Revit、Navisworks	
		20) 预制构件施工模拟	涉及	通过钢结构连廊的施工模拟, 提高了施工的精准性、安全性, 也加快了进度。	Revit、Navisworks	
		21) 预制构件进度管理	涉及	同上。	Navisworks	
	施工实施		22) 构件预制生产加工	涉及	对地下停车库、钢结构连廊构件实现流水化生产, 提高了构件加工质量, 缩短了现场施工工期, 降低劳动成本。	Revit、Navisworks
			23) 进度管理	涉及	通过 4D 的模拟、跟踪分析、控制分析以及进度的事后评价, 使计划更精细、更可行	Navisworks
			24) 工程造价管理	涉及	包括提高造价计算准确度、进行材料设备统计及限额设计、控制变更及进款支付角度, 等更好的控制工程造价。	Revit、Thsware
			25) 设计概算工程量	涉及	有效辅助造价预测和控制。	Revit、Thsware
			26) 招标清单工程量核对	涉及	对招标工程量辅助校对, 提高了招标工程量的准确度。	Revit、Thsware
			27) 竣工结算工程量计算	涉及	对桩基础结算辅助校对, 提高了结算准确度。	Revit、Thsware
		28) 质量与安全管理	涉及	提高了设计质量, 通过云平台实现质量过程控制。通过 BIM 的安全检查、安全培训和安全交底,	Revit、漫拓微现场	

				提高了安全管理水平。	
		29)竣工模型构建	涉及	提高了竣工模型的数据准确度,为竣工验收及后续运维提供了模型和数据基础。	Revit
信息管理平台开发与应用		30)基于BIM的现场管理信息平台开发和完善	新增	通过二次开发,满足了个性化需求,为信息共享、协同管理提供了平台基础。	漫拓微现场
		31-34)基于BIM现场管理平台的协同管理	涉及	基于自主开发的协同平台,实现了参与各方协同管理,提高了管理效率。	漫拓微现场
运维阶段		35)运维方案策划	涉及	通过方案策划,完善了运维导向的建设阶段BIM应用,为后期运维提供指导。	/
		36-37)运维系统搭建及维护	涉及	开发运维平台,为医院运维提供个性化平台支撑。	漫拓云设施
		38)运维模型构建及维护	涉及	完善运维模型,为后期运维提供模型基础和数据基础。	Revit
		39-41)空间、资产、能源管理	涉及	提高医院运维管理的可视化、数字化、精细化、智能化等管理水平和管理效果。	Revit、漫拓云设施
应用指南建设		42)医院领域BIM指南	新增	包括信息、数据、编码、空间分类、颜色等规定,为提高医院全寿命期应用及行业领域标准化奠定基础。	/

9. 软硬件配置

表 2 软硬件配置表

1.软件配置 (阐述软件选型和配置方案,以及满足项目建设实际、协同管理和数据共享的要求的实现方式和经济性、合理性的考虑。)

应用	软件	版本
三维建模软件	Autodesk Revit	2015 以上
漫游动画软件	Autodesk infraworks	2014 以上
三维建模软件	Autodesk Civil 3D	2014 以上
二维绘图软件	AutoCAD	2014 以上
文档生成软件	Microsoft office	2013 以上
进度计划软件	Microsoft Project	2013 以上

漫游动画软件	Lumion	5.0 以上
施工模拟软件	Autodesk Naviswork	2015 以上
施工进度模拟	Synchro	Pro
模型浏览软件	漫拓云工程平台	自主研发
基于 BIM 的项目管理平台	漫拓云工程平台	自主研发

2.硬件配置（阐述软件运行的计算机、网络及其设备选型方案，以及经济性、适用性、可靠性和可维性的考虑。）

序号	主要用途	建议配置参数
1	模型工作站 (2 台)	<p>DELL Precision T7600</p> <p>双英特尔®至强®处理器 E5-2643 (3.3GHz 10M)</p> <p>64GB (8x8GB) DDR3 RDIMM 内存, 1600MHz, 2TB 7200 RPM 硬盘</p> <p>2 个戴尔™ Ultra Sharp U2412M 24 LED 显示器</p> <p>显卡: 2.5GB NVidia Quadro 5000</p> <p>双显示器 (带 2 个 DP 和 1 个 DVI-I) (1 个 DP-DVI 和 1 个 DVI-VGA 适配器) (HEGA17)</p> <hr/> <p>Mac Pro</p> <p>英特尔 Xeon E5 3.5GHz 六核处理器</p> <p>64GB (8x8GB) DDR3 RDIMM 内存, 1600MHz, 512GB 固态硬盘</p> <p>2 个 Apple 27 英寸 LED Cinema Display</p> <p>显卡: AMD FirePro D500</p>
2	建模 pc 机 (5 台)	<p>DELL Precision T5600</p> <p>双英特尔®至强®处理器 E5-2630 (2.3GHz 15M)</p> <p>32GB (4x8GB) DDR3 RDIMM 内存, 1600MHz, ECC</p> <p>1TB 7200RPM 3.5" 512e/4K 硬盘</p> <p>显卡: 2GB NVidia Quadro 4000</p>
3	移动工作设备 (5 台)	<p>小米平板</p> <p>屏幕尺寸: 7.9 英寸</p> <p>操作系统: Android 7.0</p> <p>处理器: mt8176</p> <p>系统内存: 6GB</p> <p>存储容量: 64GB</p> <p>屏幕分辨率: 2048*1536</p>

4	VR (1 台)	HTC VIVE 眼镜
5	无人机 (1 台)	大疆 Mavic Pro

(三) BIM 技术应用成果与特色

1. 方案设计阶段 BIM 应用

BIM 技术在上海市胸科医院科研综合楼方案设计阶段的应用, 具体应用如下:

(1) 场地分析

1) 通过对上海市胸科医院科研综合楼的平面布局及周围环境分析, 论证了工程项目在建设用地中的合理布局;

胸科医院整体出发重新进行各流线设计, 提出了高效的各交通流线方案。

(2) 设计方案比选

1) 对基坑施工的顺作法、逆作法进行了 BIM 模拟, 并且从造价、工期、基坑周边环境保护、场地布置、安全文明、绿色施工等方面对两种方案进行了综合比较, 提出了合理的基坑施工方案;

2) 对楼层的功能布局进行了 BIM 模拟, 基于各房间及科室的规划面积, 结合业主过往对房间的使用情况以及相关经验, 对划分排部有争议或难以决定的楼层进行了多方案模拟, 从而优化了科教综合楼的楼层功能布局;

3) 对样板间进行了 BIM 模拟, 通过 BIM 的优秀可视化效果, 对样板间的多个装饰方案进行了模拟, 结合业主及财务监理的意见, 在造价控制范围内为业主采纳合适的设计方案提供了辅助与支撑;

4) 对建筑门厅的三种装饰方案进行了 BIM 模拟, 从而确定了既符合医院风格, 又美观实用的门厅装饰方案;

5) 对多个钢连廊方案进行了模拟比对, 从立面风格和抗震特点方面给出了钢连廊方案选择建议, 最终达到辅助业主对钢连廊方案进行决策的目的。

(3) 特殊设施模拟

1) 通过 BIM 技术模拟了车辆进入医院后, 在车库外围的交通路线情况。车辆进入院内, 设计了三条不同的路线进入地下停车库, 对三条线路以及可能出现的意

外情况进行了模拟，给出了通行效率最高的方案，同时也给出了在高峰时段采取疏导的措施；

2) 通过 BIM 技术模拟了车辆进入停车库后运行情况，模拟了不同情况入库、出库的流程和耗时。从提高存取车的效率角度，对结构构件（梁、板、柱）的空间位置给出了建议，并且对存取车方式、停车库的机械设备参数提出了建议；

3) 对于院内等待入库和存车的情况进行了模拟。提出了车辆等待的方式和数量，并且对于保证车流畅通提出了保证措施。

(4) 特殊场所疏散模拟

通过 BIM 技术对上海市胸科医院科研综合楼整栋建筑以及顶层的人群在突发情况下的疏散进行了模拟。通过模拟结果给出了具体的疏散路线以及保证安全采取的措施。

(5) 建筑性能模拟分析

通过 BIM 技术对上海市胸科医院科研综合楼场地风环境、室内自然采光、以及室内通风进行了模拟分析。通过模拟分析结果，比照《绿色建筑评价标准》，对胸科医院科研综合楼的建筑性能进行了评价，并且在各方面与《绿色建筑评价标准》存在的差距，为今后的深化设计采取改进措施指明了方向。

2. 初步设计阶段 BIM 应用

BIM 技术在上海市胸科医院初步设计阶段的实践应用情况。结合《指南》，BIM 技术在以下几个方面得以实施：

(1) 建筑、结构模型构建。

利用 BIM 软件，建立了上海市胸科医院科研楼的三维几何实体模型，进一步细化建筑、结构专业在方案设计阶段的三维模型，实现了设计过程的可视化的目的，为施工图设计提供了设计模型和依据。

(2) 建筑结构平面、立面、剖面检查。

在此阶段，利用已建好的三维模型，检查修改后的建筑、结构专业模型。模型深度和构件要求需符合初步设计阶段的建筑、结构专业模型内容及其基本信息要求。通过检查，得到以下信息：

1) 上海市胸科医院扩初设计阶段建筑图、结构图与剖面图之间存在的误差，属于图纸优化不同步导致的问题，其中梁不一致是因为以上各位置的梁在结构图

中各层具体的位置并不相同，但在剖面图中位置则完全一致；楼梯不相符可能是因为剖面图中对该层楼梯进行了具体设计，但没有对相应结构图做同步变更所致；

2) 扩初设计阶段建筑图与结构图之间存在的误差，属于建筑图纸与结构图纸优化不同步导致的碰撞问题，其中墙柱碰撞是因立柱尺寸在建筑图与结构图中没有统一。根据上述检查结果，分别提出了相应建议。

(3) 面积明细表统计。

面积明细表统计的主要目的是利用建筑模型，提取房间面积信息，精确统计各项常用面积指标，以辅助进行技术指标测算；并能在建筑模型修改过程中，发挥关联修改作用，实现精确快速统计。本节对胸科医院科研楼各楼层布置情况进行了模拟，并且详细统计了各楼层医疗用房的面积占用情况，与业主进行了面积校对分析，从而保证了设计的精确性，避免了后期使用过程中由于面积不足而造成的房间使用功能的变更。通过对各类科研用房进行统计，胸科医院有明显的专科医院特点，即门急诊用房比例小，住院用房比例大，其中由于门急诊用房小而导致医疗用房总数偏小。由于基数小，住院用房比例就相对提高了，因此虽然比例大，但是住院的绝对面积还是基本符合医院的使用需求的。

(4) 设备选型

对上海市胸科医院的科研楼的设备进行了分析，初步确定了电梯、空调、医用气体系统等设备的需求参数，然后利用 BIM 技术对设备使用情况进行了模拟，避免了由于计算失误造成的设备不足或浪费，在满足使用功能要求的前提下，大大节省了设备的投资。

3. 施工图设计阶段 BIM 应用

BIM 技术在上海市胸科医院施工图设计阶段的实践应用情况。结合《指南》，BIM 在施工图设计阶段主要应用于以下几个方面：

(1) 各专业模型的构建。

利用 BIM 软件，建立了上海市胸科医院科研楼的暖通、给排水、电气三维模型，为下一步进行碰撞冲突检测分析奠定了基础。

(2) 冲突检测及三维管线综合。

在此阶段，利用已建好的建筑、结构及各专业三维模型，应用 BIM 软件检查施工图设计阶段的碰撞，完成建筑项目设计图纸范围内各种管线布设与建筑、结构

平面布置和竖向高程相协调的三维协同设计工作，以避免空间冲突，尽可能减少碰撞，避免设计错误传递到施工阶段。

1) 检查了地下施工现场与周围管线的关系。通过检查，发现施工现场与场地的东、南、西侧现存的管线均有冲突，提出了管线搬迁建议，以防影响施工进度；施工场地北侧与地铁隧道距离过近，地下场地开挖后很容易造成隧道周边土体变形，从而影响地铁的安全性。因此，建议在地下工程开挖时务必提前做好基坑的支护工作，保证地铁的运行安全。

2) 对建筑结构进行了检测。通过碰撞分析，发现设计中建筑图与结构图之间存在的误差，碰撞结果显示建筑图与结构图立柱尺寸不符导致墙柱冲突 12 处、建筑图与结构图板开洞尺寸不符导致冲突 11 处、建筑外墙与结构墙因图纸不符导致墙墙碰撞 1 处。这些碰撞必须进行修改，优化施工图的准确度，保证施工进度正常进行，防止工程返工的发生。

3) 进行了管线与结构间的碰撞检测分析，结构图与管线图之间存在 5 处碰撞情况。根据碰撞结果及时对图纸进行修改，消除误差，优化施工图的准确度。

4) 对暖通管线与管线之间进行了检测。通过检测总计发现 30 处属于设计图纸误差引起的碰撞情况。这些问题包括风管标高标注错误导致风管与梁的碰撞、部分风管标高过高导致与梁的碰撞、图纸更新后风管洞口不一致导致的碰撞、重新设计结构图时，遗漏了对屋顶结构做修改，导致新设计的风管与之碰撞等。

(3) 竖向净空优化

BIM 模型基于设计单位提供的管线综合图，并参照最终施工图，以最初设定的功能区域的最低净空标准要求为依据，通过 BIM 模拟，合理优化管线布置，配合施工安装标准，以达到各区在不改变结构和系统情况下的最大管线安装高度。

1) 通过 BIM 管线模拟，先对管线的排布进行基本调整后，对胸科医院的所有楼层进行净空高度的校核，得到净空高度的相关数据。

2) 由于地下室采用机械式停车库，机械式停车库对地下室的有净空要求，为满足要求通过 BIM 模拟调整了地下室的部分管线，准确校准管线的排布，对于无法满足净空要求的位置，向设计院提出管线穿梁的设计变更。

3) 模拟仿真漫游。利用 BIM 软件模拟建筑物的三维空间，通过漫游、动画的形式提供身临其境的视觉、空间感受，及时发现不易察觉的设计缺陷或问题，减少

由于事先规划不周全而造成的损失，有利于设计与管理人員对设计方案进行辅助设计与方案评审，促进工程项目的规划、设计、投标、报批与管理。举例说明地下泵房进行 BIM 仿真漫游，发现部分管线虽不与建筑结构发生碰撞但存在影响维修人員工作的隐患，并针对该问题进行了管线调整。

4. 施工准备阶段 BIM 应用

施工准备阶段是 BIM 技术在医院建设项目中应用的关键阶段，这是连接设计阶段和施工阶段的桥梁与纽带。主要基于上海市胸科医院工程项目全过程 BIM 应用的实践，论述了 BIM 技术在施工深化设计、施工模拟和构件预制加工 3 个方面的应用：

（1）基于 BIM 的深化设计

主要包括专业性深化设计和综合性深化设计两类，分别执行严谨的管理流程，参与 BIM 深化设计流程操作的单位包括建设单位、设计单位、BIM 咨询单位、监理单位、施工总承包单位和分包单位。上海市胸科医院地下室机械式停车库、连廊钢结构、精装修房间、变电站改建的 BIM 专业性深化设计，充分发挥了 BIM 技术的可视化、参数化和共享性的特质，提高了设计质量，尤其对装饰工程和管线工程的 BIM 深化设计策划，有效地用于指导精细化施工，为争创上海市“白玉兰”优质工程奖奠定良好的基础。管线综合的综合性深化设计，解决水、暖、电、通风、空调、消防、医用气体等各专业间管线、设备的“硬碰撞”和“软碰撞”，从而减少管线安装施工阶段的返工与窝工。

（2）基于 BIM 的施工模拟

事先在电脑上试错、纠错，优化现场布置、优化施工工序、优化施工进度，最终达到优化施工实施方案的目的。上海市胸科医院科教楼的地下工程 BIM-4D 施工模拟、主体工程 BIM-4D 施工模拟、连廊钢结构 BIM-4D 施工模拟和地下电缆套管及变电站改建施工方案模拟，取得了节省施工工期、提高施工质量与安全性、降低工程造价的良好效果，为类似工程提供借鉴作用。

（3）基于 BIM 的构件预制加工

实现建筑产业现代化的重要内容和途径。上海市胸科医院科教综合楼，针对地下室机械停车库和钢结构连廊构件，应用了基于 BIM 的构件预制加工技术。实现流水化生产，提高了构件加工质量，缩短了现场施工工期，降低劳动成本。

5. 施工阶段 BIM 应用

施工阶段是 BIM 技术在医院建设项目中应用的重中之重阶段，BIM 技术的应用价值将在施工过程的进度、造价、质量和安全等建设项目管理的目标方面获得充分的体现。主要基于上海市胸科医院工程项目全过程 BIM 应用的实践，论述了 BIM 技术在进度管理、工程造价管理、质量与安全管理、技术管理、设备与材料管理、竣工验收管理等方面的应用：

(1) 基于 BIM 技术进行施工进度管理

首先，依据 BIM 技术的合优势，集成 BIM 施工进度管理流程之中，形成优化后的进度管理流程图；然后，应用 BIM 模拟技术将每一个施工环节的先行状态模拟出来，结合现场实际经验进行进度计划的编制，涉及总进度计划、二级进度计划、周进度计划、每日进度计划四个层次；同时，应用 BIM 技术进行施工进度的多方案模拟、跟踪分析、控制分析；最后进行施工进度事后分析，胸科医院科教综合楼项目施工工期合理缩短了约 3 个月时间，佐证了 BIM 技术在施工进度管理方面的应用价值。

(2) 施工造价控制

集成三维 BIM 模型、施工进度、成本造价三个部分于一体，形成 BIM-5D 模型，对工程造价进行管理，实现成本费用的实时模拟和核算。并且以 BIM 施工预算控制人力资源和物质资源的消耗、基于 BIM-5D 的变更管理、快速实现进度款支付等造价管理，通过 BIM 技术精细化的造价控制，胸科医院科教综合楼项目投资控制在概算内，达到了良好的管理效果。

(3) 施工质量管理

贯穿了设计阶段、施工准备阶段和施工阶段。前期的 BIM 应用为施工阶段的质量管理奠定良好的基础。构建了基于 BIM 的质量管理操作流程图，为 BIM 技术的引入质量管理提供实施路径。基于 BIM 深化设计的质量管理、基于 BIM 虚拟施工的质量管理、基于 BIM 现场监控的质量管理，系统地实施了医院建筑从设计文件质量至建筑材料、构件和结构等实物质量的全方位的质量管理。

(4) 施工安全管理；

由于胸科医院科教综合楼工程建设项目具有高度大、施工工艺复杂、工程量大、工期紧、交叉作业频繁等特点，安全管理工作面临较大的挑战。在安全管理方

面主要实施了：基于 BIM-3D 漫游的安全防护检查、基于 BIM 模拟分析的施工场地安全管理、基于 BIM 的专项方案优化、基于 BIM 的临时设施搭设、基于 BIM 的安全培训和安全技术交底、基于 BIM 云平台的动态安全管理。

（5）施工技术管理

为了促进 BIM 技术在施工阶段的深度应用，充分发挥 BIM 技术在施工阶段的应用价值，胸科医院科教综合楼工程实施了基于 BIM 的施工技术管理，主要包括：技术策划、技术交底、技术控制、专项施工方案制订、BIM 技术管理等 5 个方面的工作，使得进度控制、质量控制、安全控制和造价控制等建设项目管理流程皆体现技术管理的重要作用。

（6）施工设备管理

基于 BIM 技术的设备管理主要包括：掌握建设工程项目机械设备的分类信息、正确选型和合理调配机械设备、正确使用和及时保养、提高效率等方面。基于 BIM 技术的材料管理主要包括：材料计划管理、材料采购管控、材料进场验收、材料的储存与保管、材料领发与回收、材料使用监督等方面。

（7）竣工验收管理

主要包括竣工模型形成过程、竣工结算、BIM 应用效果总结等内容。胸科医院综合楼项目基于 BIM 技术的深度应用，克服了紧邻地铁的施工难度，通过了“上海市文明工地”验收、“上海市优质结构”验收、“上海市建设工程绿色施工样板工程”验收，为争创“上海市建设工程白玉兰奖”奠定良好的基础。

6. 运维阶段 BIM 应用

随着医疗建筑越来越复杂，涉及多种系统、设备及管线，这些系统需要为医疗活动提供高可靠性的服务保障。但同时，由于后勤人员的退休和更换以及医院需求和改造活动的不断开展，传统的基于纸质和二维 CAD 图纸的工作方式已经无法满足实际需要，医院设备设施的运行监控和维护管理碰到了越来越大的现实挑战，而 BIM 的优势能较好地解决这一问题，其与传统运维系统的结合，则助推医院后勤智能化运维达到了新的革命性水平。依托上海市胸科医院，结合既有运维平台的应用经验，设计开发了基于 BIM 技术的医院建筑运维平台，该后勤智能化管理平台尚处于开发试运营阶段，下文重点展示功能模块的阶段性成果。

结合医院的实际需求、BIM 技术优势、现有平台运行情况以及未来的技术发

建筑漫游通过模型加载，楼宇基建通过期初导入和实时录入实现实时查询，而空间管理则通过期初导入和后期录入方式。模型管理通过模型加载处理方式，而导航则通过实时计算方式实现。



图 3 基于 BIM 医院后勤管理的院区总揽功能

图 3 为上海市胸科医院基于 BIM 医院后勤管理的院区总揽功能，通过这一功能可以实现院区 3 维总揽，各个单体的聚焦总揽，以及根据树形结构进行多层次模型查看。另外，利用重新设计、开发和组合的 Viewer 工具条，可进行漫游、展示，以方便对院区建筑和设备设施的总体展示和了解。



图 4 基于 BIM 医院后勤管理的多条件搜索功能

图 4 所示分别是园区总揽和条件搜索方式的具体实现，通过这一功能，可以对模型及数据库中的任何信息进行多条件搜索功能，搜索结果将通过列表方式展示，也可通过搜索结果进行模型定位。针对单一对象搜索，可直接进行定位，以了解设备设施的空间位置以及运行状态，同时，通过不同数据源的数据读取和集成，可通过基于模型进行可视化集成展示，方便维护人员掌握整体情况。图 5 所示是基于 BIM 和数据关联的电气系统拓扑结构分析功能。

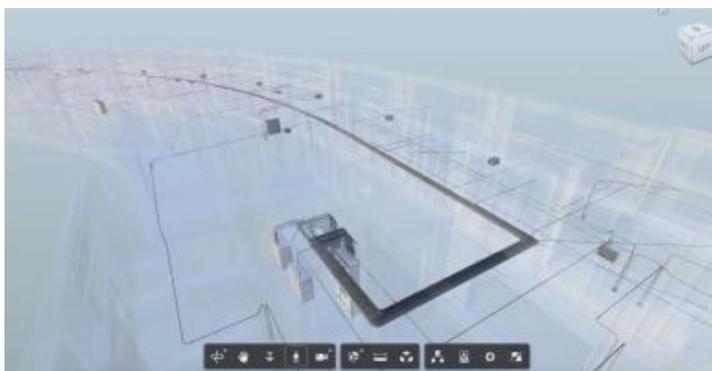


图 5 基于 BIM 医院后勤管理的系统拓扑结构分析

7. 工程量计算 BIM 应用

基于 BIM 技术的工程算量在科教综合楼项目上的充分应用，基本实现了工程算量全覆盖、全透明，结合投资监理单位提供的综合单价得出实际工程造价，提高建设周期的投资控制能力，做到招标阶段清单精准化，施工过程造价变更透明化，竣工结算高效化。

(1) C01 标段桩基工程 BIM 竣工模型造价结算分析

通过构建桩基竣工模型，对该工程 167 根实际竣工的工程桩的桩号、桩长、桩标高信息及桩位偏差等主要信息进行了竣工核验与工程信息录入，以便后期查阅（图 6 所示）。同时运用算量软件对桩基工程进行了 BIM 模型算量，所获得的算量结果与投资监理提供的该标段桩基工程预算工程量进行了对比，旨在提高工程算量精度，并结合该工程综合单价得出 BIM 工程造价为桩基工程竣工结算提供参考与支撑（目前误差在 1% 以内）。

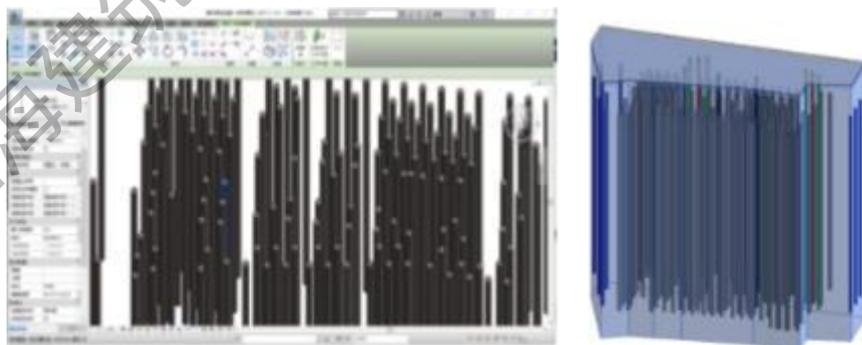


图 6 桩基竣工结算 BIM 模型及造价分析

(2) 铝合金门窗 BIM 工程量计算分析

基于设计院提供的建筑图纸，在 REVIT 软件下建立的建筑模型，运用算量软件对建筑模型的门窗进行了 BIM 模型算量，所获得的算量结果与投资监理提供的铝合金门窗清单的工程量进行了对比，旨在提高工程算量精度，减少模型或图纸在算量时产生的误差，为工程招投标和造价控制提供参考与支撑。例如，铝合金门算量对比（表 3），经过 BIM 精确计算后调整，更好地控制工程造价。

表 3 铝合金门算量对比表

项目编号	项目名称	单位	数量(原清单单)	投资 量(A)	BIM 量(B)	工程差 值C (B-A)	误差率(%) (C/A)	技术要求说明	分析备注
020404006001	单扇玻璃门(包含材料、安装费、地弹簧、拉手、地锁及所有五金配件等)	m ²	4.2	4.2	0	-4.2	-100.00		按图无单扇门,按原清单暂保留。
020404006002	双扇玻璃门(包含材料、安装费、地弹簧、拉手、地锁及所有五金配件等)	m ²	37.65	38.25	38.25	0	0.00	双扇玻璃门,应分别列项,技术要求请设计落实。	
020402001001	单扇铝合金平开门(包含材料、安装费、门锁及所有五金配件等)	m ²	4.2	10.5	10.5	0	0.00		
020402001002	双扇铝合金平开门(包含材料、安装费、门锁及所有五金配件等)	m ²	18.69	8.82	8.82	0	0.00		
	合计	m ²	64.71	61.77	58.57	-4.2	-6.80		

(3) 施工准备阶段主体建筑结构 BIM 工程量计算分析

基于设计院提供的审图图纸，在 REVIT 软件下建立的建筑结构施工图初步模型，运用斯维尔算量软件对建筑结构进行了 BIM 模型算量，所获得的算量结果与投资监理提供的《补充协议附件 PDF 文件》中的工程量进行了对比，旨在提高工程算量精度，减少模型或图纸在算量时产生的误差，为工程投资和造价控制提供参考与支撑。例如，结构梁板算量对比（表 4），经过 BIM 精确计算后调整，更好地控制工程造价。

表 4 结构梁板算量对比表

项目名称	计量单位	投资监理 算量(A)	BIM 算量 (B)	差值 (B-A)	误差率 (%)
地下室底板	m ³	2269.13	2171.64	-97.49	-4.30
地下室底板后浇带	m ³	26.65	26.48	-0.17	-0.64
地下室有梁板 C35 (抗渗等级 P8)	m ³	295.69	275.47	-20.22	-6.84
地下室有梁板 C35	m ³	897.20	848.94	-48.26	-5.38
地下室顶板后浇带	m ³	11.05	10.02	-1.03	-9.32

项目名称	计量单位	投资监理 算量(A)	BIM 算量 (B)	差值 (B-A)	误差率 (%)
有梁板 C30	m ³	4122.69	4111.36	-11.33	-0.27
矩形梁 C35	m ³	19.09	18.96	-0.13	-0.68
矩形梁 C30	m ³	46.78	34.52	-12.26	-26.21
矩形梁 C30 (观光 电梯)	m ³	18.89	19.73	0.84	4.45
弧形、拱形梁 C35	m ³	0.46	0.45	-0.01	-2.17
弧形、拱形梁 C30	m ³	14.64	14.86	0.22	1.50
合计	m ³	7722.27	7532.43	-189.84	-2.46

8. 协同管理平台 BIM 应用

(1) 实现基于 Web-BIM 模式的协同

Web-BIM 模式是指，将 Revit 模型实现效果在 Web 服务和浏览器中展现，利用模型的物理特性以及三维可视化视图构建项目的真实信息，为各参与方沟通和决策提供数据的直观支持。

上海市胸科医院经过两年努力，实现了基于 Web-BIM 模式的协同管理平台，可在浏览器中实现建筑模型漫游、旋转、移动等操作；针对模型可以进行视点观察，可以根据各参与方的需求自定义视角了解模型。通过该平台的实践应用，可以模拟出真实的施工进度，反映真实的工况。

(2) 实现基于 Cloud-BIM 模式的协同

Cloud-BIM 是指将云计算技术及 BIM 技术有机结合在一起，将 BIM 所需的软件、运算能力、存储能力分布于云端。

上海市胸科医院基于 BIM 的协同管理平台，将利用移动互联网技术，将 BIM 技术与智能手机、平板电脑、笔记本、RFID 设备连接同一公有 Cloud-BIM 平台，实现项目各参建方全方位的协同工作。项目各参建方在异地通过多种客户端访问平台，并获得返回信息和数据，从而实现对施工现场实时把控。与传统的协同工作平台相比，基于 Cloud-BIM 概念的 BIM 协同管理平台具有通用性强、容错性高、对终端要求低等优势。

(3) 实现基于 BIM 的项目多维信息集成协同

构建基于 BIM 协同管理平台的重要的任务是做好建设过程产生的 BIM 信息的提取、与管理信息的无缝集成以及基于权限的项目参与方共享访问。

上海市胸科医院在基于 BIM 协同管理平台的应用过程中，实现了项目决策阶段、设计阶段、施工阶段、运营阶段 28 类 BIM 信息和 9 大类管理信息的集成协同。各参建方用户向云端服务器发送信息查询、业务处理、模型上传、模型下载等操作请求，系统根据用户需求提取数据并进行加工，通过可视化界面反馈给用户。

(4) 实现了基于 BIM 全生命周期的协同

在基于 BIM 协同管理平台构建中，模型层起到了核心作用。需要针对全生命周期中不同阶段的功能模块的应用需求，关联对应的 BIM 模型，从数据层获取信息，产生相应的子信息模型。在这个过程中，BIM 模型的关联修改、一致性、协同等工作非常重要，这些是实现 BIM 在全生命周期各个阶段集成应用的基础。

在上海市胸科医院基于 BIM 协同管理平台构建过程中，设计阶段，建筑模型、结构模型、水暖电模型之间信息流动和传递，结合形成设计信息模型，设计信息模型是后续阶段 BIM 模型建立的基础。施工阶段，根据协同管理平台的功能需求，可以直接从 BIM 数据库中提取决策和设计阶段的部分信息，并从进度、质量、资源等方面在模型上进行信息扩展，逐渐形成施工信息模型。到运营阶段，BIM 模型集成了策划、设计、施工阶段的地理位置、规模尺寸、建筑构件信息、设备信息、空间布局信息等，实现了 BIM 模型和信息的持续应用，避免了信息丢失和信息断层。

上海市胸科医院基于 BIM 协同管理平台中的 BIM 模型和信息的应用，是和项目建设过程同步的连续过程，BIM 模型和信息随着项目开展不断深化和细化，确保全生命期管理者通过平台获取的数据和信息及时、准确。

(四) BIM 应用效益及测算方法

1. BIM 投入

本项目采用建设单位主导，BIM 单位提供全生命周期咨询，各参建单位积极参与的 BIM 应用模式，因此在项目层面上，建设单位 BIM 投入就主要为 BIM 咨询费用，即 BIM 顾问费用，此项费用为 280 万元（含运维阶段）；同时在施工阶段，施工总包单位 BIM 单独投入费用为 20 万元，主要用于在施工阶段的 BIM 应

用支出；此外基于该项目进行 BIM 标准建设课题投入为 5 万元。本项目的其他参与单位的 BIM 投入均包含合同服务费用内，未有单独 BIM 投入费用。

表 5 BIM 投入费用表

总投入	305 (万元)	BIM 咨询费	280 (万元)
硬件投入	40 (万元)	软件投入	30 (万元)
设计方 BIM 费用	0 (万元)	施工方 BIM 费用	20 (万元)
BIM 培训费	0 (万元)	其他费用	5 (万元)

2. BIM 产出

胸科医院科教综合楼项目管理应用 BIM 带来经济效益是参建单位共享的，建设单位、施工单位都得到了可观的好处。

(1) 建设单位方面(设计阶段、施工图阶段):

1) 直接避免支出 994.3 万元，包括:

①通过 BIM 优化设计图纸，减少各专业图纸之间的矛盾，避免支出 129.4 万元（表 6）。

表 6 优化图纸，避免多支出

BIM 分析工作	发现问题	经济效益	主要经济指标
建筑结构问题	193 处	57.9 万元	避免碰撞点造成的返工及材料损失费用；建筑结构碰撞点每个按 3000 元计算；管线碰撞点每个按 5000 元计算
地上管线综合问题	44 处	22 万元	
地下管线综合问题	99 处	49.5 万元	

共计节省费用：129.4 万元

②通过 BIM 作施工模拟，优化施工方案，减少支出 110 万元（表 7）（施工阶段）。

表 7 施工模拟，避免多支出

指标名称	优化内容	经济效益	主要经济指标
3 号楼裙楼设备移机	通过 BIM 精确建模及施工模拟，发现可以避免移机	10 万元	(1) 3 号楼裙楼设备移机费：10

连廊方案设计 及吊装工 程优化	原定采用：120T+30T 汽车吊施 工 7 天，出于安全原因 3 号楼 地下室钢管回顶加固费用 25 万元。钢结构设计方案优化 20 万元。 通过 BIM 模拟优化降低汽车吊 重量为 50T+25T 汽车吊施工 6 天，同时降低了人力成本及安 全风险。	70 万元	万元 (2) 120T 汽车 吊：5300 元/天 (3) 30T 汽车 吊：2000 元/天 (4) 50T 汽车 吊：2500 元/天 (5) 25T 汽车 吊：1800 元/天 (6) 地下室结构 加固：25 万元
主体建筑结 构及装饰方 案优化及 BIM 工程 算量校核	建筑外立面材料变更及装饰修 改、大厅装饰材料变更、内部装 饰方案优化等节省费用，结构 预留洞口校核	30 万元	
共计节省费用：110 万元			

③三维算量精确、透明、快速，降低工程结算费用，避免建设单位多支付施工单位工程费用 704.9 万元（表 8）。

表 8 三维算量，避免多支出

BIM 分析工作	经济效益	主要经济指标
对桩基工程量进行 BIM 造价核算	220.1 万元	按工程量差额乘以各种材 料或构件的综合单价（包 含规费措施费并平摊人材 机费用）
对建筑结构工程量进行 BIM 造价 核算	305.4 万元	
对机电工程量进行 BIM 造价核算	179.4 万元	
共计节省费用：704.9 万元		

2) 工期提前 3 个月的社会效益

预估相关医疗业务量提早增长，以 2017 年第一季度数据为对比基础（一季度门急诊人次 150731、出院人次 14672、手术人次 2787）：门急诊量 3 个月增长量合计为 5.58 万人次，增长率为 37%（按面积增长比例计算）；出院量 3 个月增长量合计 0.54 万人次，增长率为 37%（按面积增长比例计算）；手术量 3 个月增长量合计 0.12 万例，增长率为 43%（科教综合楼楼建成，功能调整，其他用房改建成手术室，14 间手术室增加至 20 间）。同时科教综合楼的提前建成，我院科研教

育用房数量增多、环境改善，对医院“十三五”期间医、教、研的拓展是不可估量的，无法简单量化的。

(2) 施工单位方面：

1) 通过 BIM 优化施工场布、模拟施工方案，加快工程进度，减少施工成本 662.7 万元（表 197.8）。

表 9 通过 BIM 技术优化工期经济效益

建设阶段	优化内容	优化工期	经济效益	主要经济指标
桩基工程	通过 BIM-4D 模拟优化施工场地布置、顺序及设备数量。	15 天	64.5 万元	(1) 人员管理费：10000 元/天 (2) 设备租赁(塔吊、运输电梯、打桩机、清障设备、运输车辆等)：10000 元/天
地下结构施工	通过 BIM-4D 模拟优化施工场地布置、顺序。	20 天	86 万元	(3) 开办费(生活水电、临时房租赁、集装箱、设备折旧等)：10000 元/天
地上结构施工	通过 BIM-4D 模拟优化施工场地布置、顺序。	11 天	47.3 万元	(4) 周转材料(模板、钢管、脚手架等)：10000 元/天 (5) 规费及税金：2000 元/天 (7) 资金利息：1000 元/天
共计节省费用：197.8 万元				

(3) 运维阶段

目前，后勤智能化管理运维平台尚处于开发试运营阶段。

(4) 协同平台

1) 模型版本管理：上海市胸科医院科教综合楼项目应用至今，模型已植入 6 个版本。

表 10 BIM 协同管理平台模型版本管理表

时间	模型版本	模型包含内容
2015/11/30	第一版	建筑、结构、水、暖通、电

2016/1/29	第二版	主体模型（建筑、结构、水、暖通、电）、车库预埋件模型、其他模型（市政管线、基坑模型、周边及地下模型）
2016/3/11	第三版	建筑、结构、基坑
2016/8/1	第四版	建筑、结构、管线综合、连廊
2017/4/7	第五版	建筑、结构、管线综合、连廊、胸科医院周边模型
2017/10	第六版	竣工模型

2)业务管理 基于 BIM 协同管理平台应用过程中,实现管理业务和数据如下。

表 11 BIM 协同管理平台业务和数据统计表

功能模块	业务数据	管理效果
工程监测	254 个监测测点	减少了基坑开挖阶段工程风险
现场工况	实现 115 条工况业务处理	提高了管理效率
日报管理	产生施工日志 251 条, 监理日志 259 条	形成了工程重要资料
设备材料进场管理	23 条进场记录	加强了成本管理
项目资料库	1007 个文档	实现了信息共享, 资料归档管理
检查管理	64 条检查记录	加强了工程质量和安全管理

3. 综合效益

(1) BIM 技术应用的综合效益

科教综合楼项目充分发挥了 BIM 技术在医院项目中可视化、虚拟化、协同管理、成本和进度控制等优势,从而提升了工程决策、规划、设计、施工和运营的管理水平,实现了减少返工浪费,科学地缩短工期,提高工程质量和投资效益。本项目应用 BIM 技术进行精细化的项目管理,在工程安全、质量、进度和造价控制方面获得良好的效果如下:

1) 安全控制方面

基于 BIM 技术对施工安全进行管理,建设期间无安全事故,获得施工阶段和装饰阶段“文明施工工地”。

2) 进度控制方面

基于 BIM-4D 技术进行进度控制,科学安排施工工序,节省施工时间,与原计划相比,提前 3 个月竣工验收。

3) 质量控制方面

基于 BIM 对工程的质量进行控制,项目目前已获得优质结构奖、绿色施工样板工地,以及白玉兰奖。

4) 造价控制方面

通过应用 BIM 技术,进行碰撞冲突分析、漫游检查等应用,预先发现建筑结构问题共计 193 处、地下管线综合问题共计 9 类 99 处、地上管线综合问题共计 5 类 44 处。并且基于 BIM 进行工程量审核与造价跟踪管理,累计节省造价 1669.2 万元,其中通过 BIM 技术提前工期创造经济效益 662.7 万元,通过 BIM 技术优化设计及施工方案创造经济效益 100 万元,通过 BIM 技术优化设计图纸创造经济效益 201.6 万元,通过 BIM 造价核算优化经济效益 704.9 万元。

(2) 协同管理平台实现的管理效益

作为政府公共项目,上海市胸科教学综合楼具有标准高、系统配置复杂、受众人群复杂的特点,在策划、设计、施工和运维的阶段都存在诸多挑战。基于 BIM 信息技术的开发平台,将不同来源、不同格式、不同特点性质的数据在逻辑上有机地集中,为各参与方实现全面的数据信息共享。通过该 BIM 平台,使施工现场情况具有共享性、透明性的特点,便于进度、设备材料、安全和现场管理等。针对安全问题以及潜在问题,可以及时提出解决方案,并在后期追溯该问题的解决状态,方便管理人员对项目的整体控制。

(五) 应用推广与思考

1. 应用推广

(1) 应用模式的推广

经过本项目的 BIM 应用实践,证明了 BIM 咨询公司和建设单位、代建单位等共同组成一体化的 BIM 应用组织的应用模式的优势,在该模式下,由 BIM 经验相对丰富的 BIM 咨询公司与落实管理能力较强的建设单位与代建单位共同主导贯彻 BIM 应用、可充分利用各参建单位各自专业性特长来完成 BIM 工作并利用 BIM 技

术解决项目问题，讲 BIM 与项目管理（PM）充分结合，解决了 BIM 落实“两张皮”的问题。

（2）管理平台的推广

医院建筑建设过程具有专业性和高度复杂性，无法完全参考其他类建筑的建设管理过程。如果在平台后续实施应用中，通过上海市胸科医院科研综合楼项目数据，对建设过程审视分析，观察全生命周期中风险程度最高的部位、专业及阶段，为后续其他医院类建筑项目管理所参考，可以降低项目风险。

2. 应用经验

医院项目具有功能和专业系统复杂，物业和设施长期持有特点，在运营过程中需要根据不断变化的实际需求进行功能重组、改建和扩建，这就决定了医院项目需要探索符合自身特征的应用模式。通过上海市胸科医院的应用实践，我们认为，业主主导、专业 BIM 咨询公司全过程服务、面向全寿命期的 BIM 应用是充分发挥 BIM 价值的最佳模式之一。该模式的应用包含以下内涵和支撑要素：

（1）BIM 应用和前期决策管理、实施期项目管理和运维期后勤管理深度结合
BIM 应用不能和全过程管理两张皮，不能为了 BIM 而 BIM，应结合每个医院项目特点，做好全过程应用点的策划，从实际需求出发，充分发挥 BIM 的价值。应发挥不同阶段 BIM 模型成果、数据成果和研究成果的价值，最大化减少阶段转换所带来的信息和知识丢失。在 BIM 应用策划时，应充分体现运维导向的 BIM 应用理念，从使用需求出发、从运维需求出发，建立应用组织、管理流程、协调机制、数据要求和应用标准等，应将医生需求、行政管理人员需求、病人需求、后勤运维需求等进行充分的体现，将施工和运维等后续单位、部门或人员的项目参与充分前置，将后续数据要求标准化、制度化，尽可能地保证数据创建、共享和管理的及时性、实时性和完整性，以提高项目前期决策管理、实施期项目管理以及运维期后勤管理整体水平。

（2）业主方驱动、BIM 咨询、全员参与的组织模式

BIM 应用是一个系统工程，涉及到工程管理的绝大部分内容以及几乎所有的参与方。因此，作为总组织者、总协调者和总集成者，业主需要在 BIM 中发挥关键作用。而鉴于医院建设单位的特点以及 BIM 应用的专业性，BIM 咨询公司在医院项目 BIM 应用中具有重要地位，是业主在 BIM 应用方面“脑的延伸，手的延

长”。但同时，BIM 咨询单位应具有项目管理能力、BIM 建模与应用能力、BIM 信息化能力以及相应科研创新能力，以适应业主在 BIM 应用方面的现实需求。另外，BIM 的应用离不开几乎所有参建单位的参与和支持，因此各参建单位应在 BIM 应用方面配置相应人才，按照各自分工，积极参与 BIM 应用中。当然，由于各项目的特征不同、管理模式不同、参建单位 BIM 应用水平不同，具体的应用模式和应用分工应根据项目情况进行适应性调整。

(3) 制定 BIM 应用的应用规划、实施方案、组织协调机制和相应标准

从总体而言，BIM 在医院项目中的应用还在探索阶段，还没有形成成熟的应用模式、应用指南和应用标准。另外，由于项目的差异性，每个项目 BIM 应用的模式、需求、深度等都不尽相同，因此就有必要针对项目制定应用规划作为 BIM 应用的最高纲领，编制具体的实施方案作为 BIM 应用的操作依据，必要的话，制定相应技术标准作为 BIM 建模与协同应用、信息化平台构建以及模型移交和验收的依据。同时，需要借助信息化管理软件，搭建 BIM 应用的信息共享和沟通平台，形成 BIM 会议机制，充分发挥 BIM 的信息集成、信息共享以及可视化和数字化优势，进行价值工程分析，为项目精益建设和项目全过程增值提供服务。

3. 应用展望

随着 BIM 技术、建造技术、互联网、物联网以及大数据等技术的飞速发展，以及政府职能转换、精益建造、项目交付模式等新的管理模式和管理理念应用，医院项目全寿命期 BIM 应用具有极其广阔的前景。结合上海市胸科医院应用经验，以及目前技术、管理发展趋势，就 BIM 在医院项目中的应用展望提出如下设想。

(1) BIM 技术与 nD 的结合

根据麦肯锡研究报告，建筑业利用新技术颠覆传统模式的时代已经到来，而 5DBIM 将是一项重要技术应用。报告认为，下一代 5DBIM 能为任何一个项目提供实体和功能特征的 5 维信息，即除了标准的 3D 空间设计参数以外，还包括项目的成本和进度等。同时也包括一些细节，例如几何结构、规格、美学、热能和声学特性。一个 5DBIM 平台能为业主和承包商提供项目成本和进度变更影响的识别、分析和记录。

同时，随着 BIM 与项目全寿命期管理的融合，BIM 将融合越来越多的信息，实现基于 nD 的管理。

(2) BIM 技术与医疗工艺的结合应用

医院建筑作为医疗服务的基础设施，在空间上影响了医生、患者及管理人员等最终用户的行为路线，也影响了医疗服务的效率和效果。因此，将 BIM 的可视化及参数化模型与医疗工艺和医疗服务流程相结合，进行空间功能布局优化、功能重组优化、规模优化、行为动线优化等，会大幅度提高医院功能设计、规模设计、医院管理和服务流程（一级、二级和三级）的科学性，从而提高医院管理水平、病患服务水平以及各类最终用户的满意度。

此外，针对特殊空间（如公共空间、手术空间等）以及服务对象行为的模拟，可优化空间布局，提高空间的使用效率和舒适度。如果有多栋建筑，还可以模拟不同建筑之间的功能关系和动线关系，从而为医院未来的新建、改建、扩建、大修等提供弹性空间规划指导，也可以为医院方案设计提供决策支持。

(3) BIM 技术与预制装配式建筑的结合应用

预制化 (Precast Concrete, PC)、模块化和装配化是建筑生产方式的一个变革，也是我国建筑业技术创新的重要方向。由于该种生产方式借鉴了工业行业的经验，因此具有更好的生产效率、质量品质和材料节约，也更有助于智慧施工管理。随着我国预制装配式建筑的不断推进，医院建筑采用该方式逐渐成为可能。

在医院建筑预制装配式建造过程中，BIM 可以在模块设计、参数控制、模块生产、采购管理、供应链和物流管理、现场模块组合、施工方案、现场装配、质量控制以及后期跟踪服务等方面发挥重要作用，更有助于智慧建造和精益建造理念的实施，也为医院建筑标准化提供了重要基础。

(4) BIM 技术与绿色医院的结合应用

现代医学的研究表明，医护环境对病人的康复起着重要作用。同时，作为公共建筑，医疗卫生建筑也是建筑能耗大户。随着医疗需求的变化，以及可持续发展理念的落实，绿色医院、健康医院逐渐成为潜在需求。其既涉及医院规划、设计、建造过程的技术问题，也包括医患关系和医院管理等软环境问题，具体表现为绿色、质量和效率三个方面。例如，医院环境和设施对医源性感染、医疗事故、病人跌倒、病人心理和生理等都具有很大影响。同时，场地规划、水资源利用、能源利用、材料和资源的可持续性等等又影响了医院能源消耗和可持续发展。

利用 BIM 技术，可对医院建筑的能耗进行定量化分析和模拟，通过材料创新、

布局优化等价值工程方法,实现全寿命周期成本分析的降低。还可以通过设施的布置、优化与仿真,通过沉浸式体验等辅助方式,以及温度、风流动、光照模拟等打造用户友好型、环境友好型医院环境。

随着物联网和互联网的飞速发展,万物互联成为趋势。在此背景下,智慧医疗、远程医疗、精准医疗、智慧医院等成为医疗卫生服务领域的重要发展方向。而医院建筑、设备和设施的可视化、数字化和管理智能化是这些目标实现的关键基础设施。从总体上看,医院建筑、设备和实施的数字化程度还远远不够,还存在巨大的发展空间。物联网、移动互联、VR、AR 等技术的成熟与普及,为智慧医院、智慧医疗等的实现提供了技术基础。

在决策和设计阶段,通过 VR 和 AR 设备,可以使管理者和使用者沉浸式体验医院的设计方案和使用效果,提高用户满意度,为医院空间设计、功能设计、流线设计、环境设计等提供需求基础,为方案优化和提高方案决策质量提供了重要依据。在施工阶段,通过物联网等设备,可以提高施工智能化水平、提高施工组织和施工方案质量,以及现场安全管理水平。在运维阶段,利用这些技术设备,可以对后勤管理人员进行体验式培训,提高后勤智能化水平,也为医患人员和行政管理人员提供相应可视化和智能化服务。

(5) BIM 技术与医院后勤智能化和数字资产管理的结合应用

经过多年的信息化建设,国内医院后勤管理基本实现了信息化,但从总体而言,后勤智能化管理水平还不高。其原因既包括重视程度、投入程度、管理水平等主观原因,也包括技术手段发展水平等客观原因,尤其是数据收集、处理、展示和分析技术,还无法支持深度智能化需求。另一方面,传统的医院建造和管理方式,使得医院建成后大量的信息丢失、失真,为后期运维管理和改造带来了很大困难,设备设施信息的不准确、不完整、纸质化、碎片化等成为后勤智能化和医院资产管理的重要障碍,亟需进行技术手段的变革。

BIM 的产生为后勤智能化管理提供了新的技术突破,其集成的数字模型为医院设备设施的运维管理和运维效能的智能分析提供了重要的数据基础,其可视化的模型展现为运维管理提供了更为直观、便捷和高效的用户界面和表现形式,其全寿命周期的信息模型为后勤运维管理信息的无缝集成和数据融合提供了信息基础。因此,基于 BIM 的医院后勤智能化管理是后勤管理信息化的重要变革。

(6) BIM 技术与大数据、人工智能等的结合应用

大数据及人工智能是当前信息技术革命的重要趋势，各行各业都在思考如何应用这些技术进行管理或业务革命的突破或创新。如前所述，智慧医疗、精准医疗等发展离不开这些技术的应用。在医院建筑、设备和设施的决策、建造和管理过程中，要提高前期决策质量和效率、实施控制的精准化和管理的精细化、以及运行的智能化，大数据和人工智能技术的应用不可或缺。尤其是随着互联网和物联网的发展，设备数据开放后的数据共享，基于传感技术的数据自动收集等，都使得大数据及人工智能的应用成为可能，并具有巨大的应用潜力。

随着项目全寿命期 BIM 的应用，BIM 成为各类设备设施数据的重要载体。进一步的，当这些数据互联、互通以及进一步与运维数据融合后，就产生了大规模、多样化以及增量速度快的大数据。基于这些数据，结合决策技术、仿真技术、数据分析技术、流程处理技术等，可进一步形成智能决策、数据驱动管理、流程自动化、能耗分析智慧化等应用场景，为医院的投资决策、建设实施和运维管理提供服务。

(7) BIM 技术与方案决策、政府审批与管理程序的结合应用

建筑业水平的落后不仅仅是建筑生产方式的落后和管理水平的低下，还表现在政府管理方式方法与现代化管理要求的不适应。随着经济和社会的飞速发展，建筑业市场竞争的日益激烈，新的技术不断应用，生产方式不断变革，随之带来的管理方式也需要进一步变革，这就倒逼政府管理方式的深度创新。包括方案决策与审批、图纸审批与规范检查、报批报建、竣工验收和档案管理等，都可能随着新技术的应用发生重大变革。

五、张马泵站工程

(一) 项目概况

张马泵站工程位于上海市青浦区东泖河东岸的西长港支河口上，现状张马套闸南侧，是青松片区外围一座排涝及引水调度双向功能的综合性泵站，其总投资 14845 万元，建设规模为双向引排水 $60\text{m}^3/\text{s}$ 。本次新建张马泵站工程主要功能是防洪排涝，同时兼顾改善水环境。工程建成后与其他主要泵站共同发挥作用，将青松片除涝标准提高到 20 年一遇。同时，解决青松大控制片受太湖、江苏淀泖区洪水和黄浦江潮水的威胁。

该项目是上海市水务海洋局十二五重大水利工程项目，由上海市堤防（泵闸）设施管理处负责建设，经过招投标，确定了设计单位为上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，施工单位为上海市水利工程集团有限公司，目前工程已经完成施工图设计工作，正处于现场施工阶段。

(二) BIM 技术应用概况

BIM 技术的推广已成为工程技术发展必然的趋势。目前 BIM 在国内建筑行业已全面铺开，但在水利行业的应用尚处于起步阶段，仅有屈指可数的几座大型水电站采用了 BIM 进行规划设计。而从行业特性来看，水利行业具有大型化、多异形构建、设备装卸复杂、运行管理复杂等特点，且水利项目往往关系到民生，关系到社会安全，重要性十分突出。而利用 BIM 技术正是能够更好地进行复杂结构的设计，设备装卸模拟及实时运维管理。由此可见水利行业能从 BIM 技术中获得更多的益处。张马泵站工程由于其重要性及结构复杂性，正适合作为水利行业 BIM 应用的试点项目。为此上海市水务局高度重视 BIM 技术的应用，为推广 BIM 技术在上海市水务行业的应用，明确了由上海市堤防（泵闸）设施管理处牵头、上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司及上海市水利工程集团有限公司配合开展张马泵站的 BIM 应用工作。

在设计阶段，设计团队建立了设计三维模型，在此基础上进行设计优化，使项目在各专业协同工作中的沟通、讨论、决策在三维模型的状态下进行，并对工艺进

行合理性优化,为后续冲突检测及三维管线综合等提供模型依据;此外,通过 BIM 模型,进行了虚拟仿真漫游,通过漫游、动画的形式提供身临其境的视觉、空间感受,及时发现不易察觉的设计缺陷或问题,减少损失;最后,实现了施工图纸直接利用模型生成,重要结构模板图应达到 100%由模型直接生成,提高出图质量。

在施工阶段,复用设计 BIM 模型,结合施工方进度计划进行了 4D 施工模拟,协调各方优化时间安排,根据模拟结果指导现场施工;并且构建设备与材料管理模型,在施工实施过程中,不断完善模型构件的产品信息及施工、安装信息;最后在施工过程中,在 BIM 模型中输入主要工艺、电气设备的必要信息,如设备名称、制造商、型号、用途等,为后续运维管理打下一定的基础。

本次 BIM 设计工作以二次建模为主。在方案阶段已确定的主要结构基本尺度和位置的基础上,采用二次建模可较快速的完成主要构件的模型搭建。在此基础上完成其它构件及细部结构深化设计。设计阶段内的数据传递、交换及共享以 Autodesk Revit 平台提供的工作集协作功能为基础,根据不同专业、不同人员拆分工作集。专业负责人对各专业模型工作集拥有最高权限,其它人员对其负责的模型具有借用权限。在建模需要使用本专业间其它人员所建模型或其它专业的模型时,需向本专业或其它专业负责人申请权限。为保证模型数据能够在不同阶段、不同主体之间进行有效传递,将根据合同的方式进行明确与约定,确定模型从设计向施工的传递。在施工阶段,复用设计单位提供 BIM 模型,避免了重复建模,减少了不必要的工作量,并通过 Autodesk Revit、AECOSim Building Designer 等软件进行施工进度、质量、费用等内容的管理。

整个工程的 BIM 应用在 Bentley ProjectWise 协同平台上进行,由设计单位负责提供及维护张马泵站的 BIM 模型数据;施工单位根据施工需要使用模型文件,并在施工过程中不断进行模型信息的语义丰富;建设单位负责总体协调,并制定协同规则,规范化其余单位的 BIM 应用操作。

(三) BIM 技术应用成果与特色

1. 初步设计阶段

参照《2017 上海市建筑信息模型技术应用指南》,结合本工程实际情况,完成了张马泵站的初步设计及施工图设计阶段的 BIM 应用。主要应用成果如下:

(1) 工程场地模型创建

通过地形测绘、地质勘查资料，建立张马泵站的场地三维模型，不仅可以作为可视化和表现现有场地条件的有力工具，为后期构筑物模型布置提供地形基础的，也可以为土方量的精确计算提供模型支持；此外，可对场地提供更为客观科学的分析基础，优化方案阶段的设计成果。



图 1 现状地形模型搭建

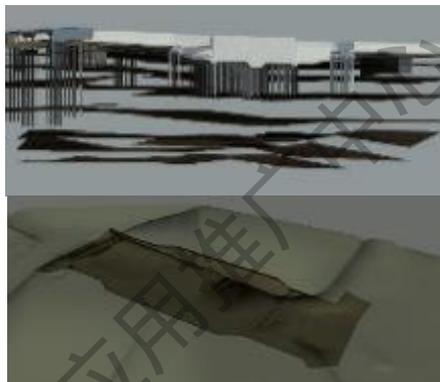


图 2 工程地质模型及基坑开挖模型

通过工程场地模型的创建，本项目快速精确地统计出了工程的开挖土方量，与实际开挖方量的误差仅为 1.78%，极大提高了算量的速度与准确性。

(2) 各专业初步设计 BIM 模型

在结合工程实际情况的基础上，根据《2017 上海市建筑信息模型技术应用指南》规定，并参考其他相关专业的 BIM 标准，在指南原有内容上增加了水工、水机等专业内容的初步设计阶段的模型深度及交付物要求，我方完成了所有专业的初步设计 BIM 模型。

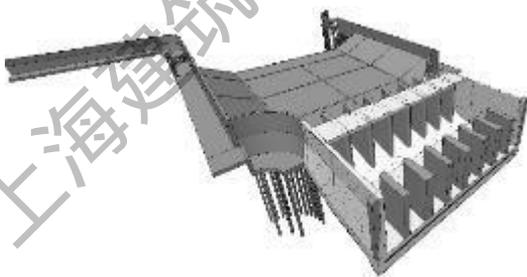


图 3 水工专业初步设计 BIM 模型



图 4 泵室水机、金结及电气初步设计 BIM 模型

表 1 张马泵站初步设计阶段各专业模型内容及基本信息要求

专业	模型内容	基本信息
建筑	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要建筑构造部件的基本尺寸、位置：非承重墙、门窗（幕墙）、楼梯、阳台、台阶等； ➤ 主要建筑装饰构件的大概尺寸（近似形状）、位置：栏杆、扶手等。 	增加主要建筑构件材料信息。
结构	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 基础的基本尺寸、位置：桩基础、筏形基础、独立基础等； ➤ 混凝土结构主要构件的基本尺寸、位置：柱、梁、剪力墙、楼板等； ➤ 主要结构洞大概尺寸、位置。 	主要结构构件材料信息。
水工	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要构件的精确尺寸和位置：主要包括泵室、内外河消力池、内外河海漫段及反滤垫层等各构件； ➤ 各构件的主要钢筋位置和尺寸：主要包括泵室底板、侧墙、流道、竖井、内外河消力池、海漫段翼墙等； ➤ 二次浇注、止水结构及预留孔洞的大致尺寸和位置 	主要结构构件材料信息。
桥梁	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要构件的精确尺寸和位置：主要桩、桥台、桥墩、梁、板等； ➤ 各构件的主要钢筋位置和尺寸：主要包括桥台、桥墩、梁、板等。 	主要结构构件材料信息。
水机	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主泵及辅助设备的大致形状和精确位置：主泵、供水泵、检修泵、渗漏泵、起重机等； ➤ 各构件之间水管、阀门、传感器位置和尺寸。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要构件参数； ➤ 主要构件材料信息：管径、数量、长度等。
金结	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要设备尺寸、外形、定位：工作闸门、事故闸门、检修闸门、拦污栅、启闭机、清污机、皮带机； ➤ 辅助设备尺寸、外形、定位：液压泵站、油管 	主要设备产品信息：主要技术参数、材料、规格、型号；

电气	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要设备的基本尺寸、位置：机柜、配电箱、变压器、发电机等； ➤ 其他设备的大概尺寸（近似形状）、位置：照明灯具、视频监控、报警器、警铃、探测器等。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 系统信息：负荷容量、控制方式等； ➤ 设备信息：主要性能数据、规格信息等； ➤ 电缆信息：材质、型号等。
给排水	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要设备的基本尺寸、位置：锅炉、冷冻机、换热设备、水箱水池等； ➤ 主要构筑物的大概尺寸、位置：闸门井、水表井、检查井等； ➤ 主要干管的基本尺寸、位置； ➤ 主要附件的大概尺寸（近似形状）、位置：阀门、计量表、开关等。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 系统信息：水质、水量等； ➤ 设备信息：主要性能数据、规格信息等； ➤ 管道信息：管材信息等。
暖通	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要设备的基本尺寸、位置：冷水机组、新风机组、空调器、通风机、散热器等； ➤ 主要管道、风道干管的基本尺寸、位置，及主要风口位置； ➤ 主要附件的大概尺寸（近似形状）、位置：阀门、计量表、开关、传感器等。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 系统信息：热负荷、冷负荷、风量、空调冷热水量等基础信息； ➤ 设备信息：主要性能数据、规格信息等； ➤ 管道信息：管材信息及保温材料等。
景观	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要景观小品、路面铺装精确位置及大概尺寸； ➤ 植物的大致形状及位置 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 铺装材料信息； ➤ 植物名称信息。

(3) 各类工程量统计清单

根据初步设计阶段 BIM 模型成果，自动生成根类工程量统计清单，包括根据建筑专业模型生成的面积明细表、水工专业模型生成的各类构筑物材料统计表、场地单位模型生成的挖填方统计表等报表。由于 BIM 模型富含丰富的属性信息，因此可以非常客观精确地根据模型属性进行分类统计，极大提高了工程概算的精度和速度。

图 5 根据 BIM 模型统计的张马泵站各项工程量清单

通过模型的快速算量，释放了以往需要长时间人工统计的工作量。此外，泵闸工程不同于建筑项目，其包含了多样化的异形结构，包括泵站流道的结构等，这在以往工程量统计过程中均采用近似方法统计，而 BIM 技术能够为统计这些异形结构的工程量提供十分准确的数值，极大提高了统计效率和精度，如混凝土算量，与实际浇筑相比，误差仅为 1.62%。

2. 施工图设计阶段

施工图设计是建筑设计的重要阶段，也是最后阶段。该阶段的成果是后续施工中工艺做法、技术措施、材料选取等实施的依据。

本工程施工图设计阶段的 BIM 应用在初步设计模型的基础上，进一步按照施工图的要求进行深化，使其满足施工图设计阶段模型深度，并整合各专业模型内容，从而进行碰撞检测、三维管线综合、净高优化等应用，多次对施工图设计模型进行优化，为现场施工提供更高质量的依据，主要应用成果有：

(1) 各专业 BIM 模型深化

结合工程实际情况的基础上，根据《2017 上海市建筑信息模型技术应用指南》规定，并参考其他相关专业的 BIM 标准，在指南原有内容上增加了水工、水机等专业内容的施工图设计阶段的模型深度及交付物要求。根据该要求，各专业在初步设计阶段 BIM 模型的基础上进行了深化，完成各专业施工图阶段 BIM 模型的创建。

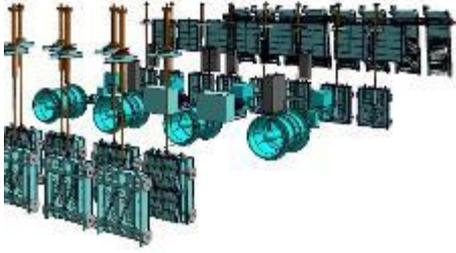


图 6 泵室水机、金结及
电气施工图 BIM 模型



图 7 建筑、结构专业施工图 BIM 模型

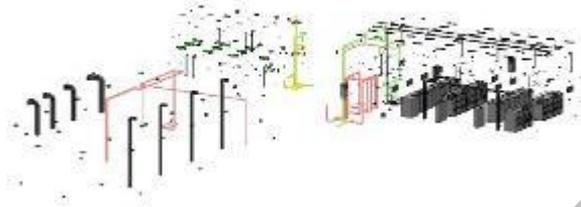


图 8 上部建筑电气、给排水、暖通、照明
施工图 BIM 模型



图 9 桥梁主体结构
施工图 BIM 模型

表 2 张马泵站施工图设计阶段各专业模型内容及基本信息要求

专业	模型内容	基本信息
建筑	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 建筑构造部件的实际尺寸和位置：非承重墙、门窗（幕墙）、楼梯、阳台、雨篷、台阶、坡道等； ➢ 主要建筑设备和固定家具的实际尺寸和位置：卫生器具、隔断等 ➢ 主要建筑装饰构件的实际尺寸和位置：栏杆、扶手等。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要构件和设备实际实施过程：施工信息、安装信息等； ➢ 主要构件和设备产品信息：材料参数、技术参数、生产厂家、出厂编号等。
结构	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要构件的实际尺寸和位置：基础、结构梁、结构柱、结构板、结构墙、桁架等； ➢ 其他构件的实际尺寸和位置：楼梯、坡道、排水沟、集水坑等； ➢ 主要预埋件的近似形状、实际位置。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要构件实际实施过程：施工信息、安装信息、连接信息等； ➢ 主要构件产品信息：材料参数、技术参数、生产厂家、出厂编号等。
水工	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要构件的实际尺寸和位置：主要包括泵室、内外河消力池及海漫段各构 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要结构构件材料信息；

专业	模型内容	基本信息
	<p>件；</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 各构件钢筋位置和尺寸：主要包括泵室底板、侧墙、流道、竖井、内外河消力池、海漫段翼墙等； ➤ 二次浇注、止水结构及预留孔洞的实际尺寸和位置 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要结构构件施工要求； ➤ 钢筋型号及尺寸。
桥梁	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要构件的实际尺寸和位置：主要桩、桥台、桥墩、梁、板等； ➤ 各构件钢筋位置和尺寸：主要包括桥台、桥墩、梁、板等。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要结构构件材料信息； ➤ 主要结构构件施工要求； ➤ 钢筋型号及尺寸。
水机	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主泵及辅助设备的精确尺寸和位置：主泵、供水泵、检修泵、渗漏泵、起重机等； ➤ 各构件之间水管、阀门、传感器位置和尺寸。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要构件精确型号和尺寸； ➤ 主要构件材料信息：管径、数量、长度、价格等。
金结	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要设备尺寸、外形、定位：工作闸门、事故闸门、检修闸门、拦污栅、启闭机、清污机、皮带机； ➤ 辅助设备尺寸、外形、定位：启闭机支架、液压泵站、油管； ➤ 次要设备的大概尺寸、大致外形、位置：阀组、补油箱、电机等。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要设备产品信息：主要技术参数、材料、规格、型号； ➤ 设备制造、安装要求。
电气	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要设备的实际尺寸和位置：开关柜、配电箱、变压器、配电箱、弱电机柜等； ➤ 其他设备的近似形状、基本尺寸、实际位置：照明灯具、视频监控、报警器、警铃、探测器等； ➤ 桥架（线槽）的实际尺寸和位置。 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 主要设备和桥架（线槽）实际实施过程：施工信息、安装信息、连接信息等； ➤ 主要设备、桥架（线槽）和附件产品信息：材料参数、技术参数、生产厂家、出厂编号等； ➤ 主要设备、桥架（线槽）和附件采购信息：供应

张马泵站工程

专业	模型内容	基本信息
		商、计量单位、数量（如长度、体积等）、采购价格等。
给排水	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要设备的实际尺寸和位置：锅炉、冷冻机、换热设备、水箱水池等； ➢ 给排水管道、消防水管道的实际尺寸和位置（如管径、标高等）； ➢ 主要设备和管道的实际连接； ➢ 管道末端设备（喷头等）的近似形状、基本尺寸、实际位置； ➢ 主要附件的近似形状、基本尺寸、实际位置：阀门、计量表、开关等； ➢ 固定支架等近似形状、基本尺寸、实际位置。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要设备和管道实际实施过程：施工信息、安装信息、连接信息等； ➢ 主要设备、管道和附件产品信息：材料参数、技术参数、生产厂家、出厂编号等； ➢ 主要设备、管道和附件采购信息：供应商、计量单位、数量（如长度、体积等）、采购价格等。
暖通	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要设备的实际尺寸和位置：冷水机组、新风机组、空调器、通风机、散热器、水箱等； ➢ 其他设备的实际尺寸和位置：伸缩器、入口装置、减压装置、消声器等； ➢ 管道、风道的实际尺寸和位置（如管径、标高等）； ➢ 主要设备和管道、风道的实际连接； ➢ 风道末端（风口）的近似形状、基本尺寸、实际位置； ➢ 主要附件的近似形状、基本尺寸、实际位置：阀门、计量表、开关、传感器等； ➢ 固定支架等近似形状、基本尺寸、实际位置。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要设备和管道实际实施过程：施工信息、安装信息、连接信息等； ➢ 主要设备、管道和附件产品信息：材料参数、技术参数、生产厂家、出厂编号等； ➢ 主要设备、管道和附件采购信息：供应商、计量单位、数量（如长度、体积等）、采购价格等。
景观	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 主要景观小品、路面铺装的实际尺寸和位置； ➢ 植物的近似形状，实际位置。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 铺装材料信息； ➢ 植物名称信息。

(2) 各专业模型整合及碰撞检查

本次张马泵站 BIM 技术应用工程范围囊括了本工程所有的专业内容，具体包括水工、桥梁、金结、水机、电气、建筑、结构、给排水、暖通、景观等 9 个专业，各专业均参与了 BIM 设计工作。各个专业在 Revit 统一中心文件的基础上，采用工作集的方式进行设计，项目负责人定期进行模型整合、碰撞检查，对冲突部位及时进行修正，减少了设计返工，极大缩短了设计周期。



图 10 最终的张马泵站总体 BIM 模型

在张马泵闸设计过程中，摒弃了传统设计过程为递进式设计流程，即各专业通过多次交接及反馈后，方能形成最终施工图，本次采用 BIM 协同设计，在一个 BIM 模型中完成设计过程，加快了设计效率。根据统计，本次各专业间进行了定期碰撞检查，使得修改工时共减少 25 小时。

（3）二维施工图出图

依托张马泵站 BIM 模型，准确生成平立剖图、综合管线图、综合结构留洞图，减少了传统二维设计中绘制剖面图的工作量，提高了设计工作效率。

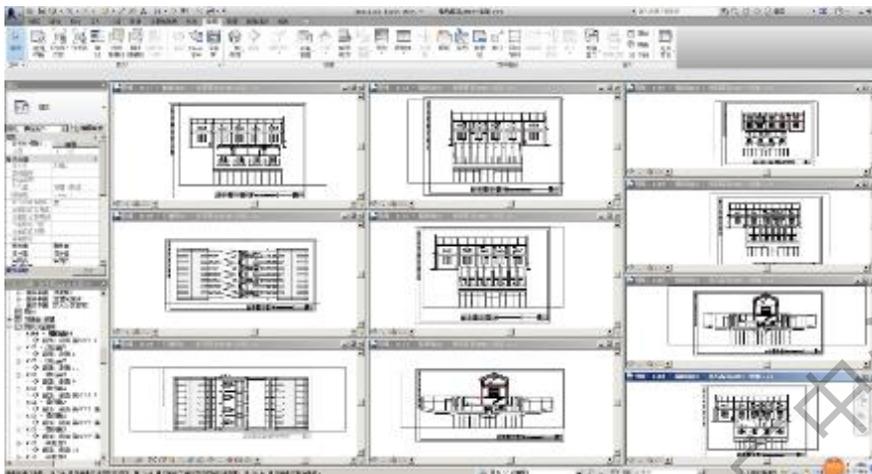


图 11 根据张马泵站 BIM 模型生成所需施工图纸

根据统计，本次基于 BIM 工程的快速出图，相比较以往同规模泵闸工程设计时间，节约了 60 小时。

(4) 泵站各工况三维动画演示

张马泵站能否发挥其功效很大程度取决于其在各种工况下能否正常运行，本次 BIM 应用增加了设备安装、维修，泵站运行工况演示，用于向泵站运行管理单位形象地展示泵站的运行、检修等复杂工序的具体步骤，一定程度上提高管理人员的业务水平。



图 12 张马泵站各运行工况展示

(5) 细部结构展示，指导施工过程

利用张马泵站施工 BIM 模型，可以很好的向施工单位展示构筑物中复杂部位的细部结构，提高施工单位对设计方案的理解，为工程的顺利施工提供保障。



图 13 张马泵站流道处的钢筋布置

(6) 工程全范围虚拟仿真漫游

以张马泵站施工图设计 BIM 模型为基础,创建工程全范围虚拟仿真漫游程序,为政府单位、业主、施工单位、监理单位等提供三维可视化展示,加深对工程总体布置、构筑物设计、细节构造等有全方位的认识及理解。



图 14 张马泵站虚拟仿真漫游程序

3. 设计阶段 BIM 技术应用特色

作为一个综合性的工程,张马泵站在设计阶段 BIM 技术应用的主要特色有:

(1) 多专业协同设计

张马泵站需要多个专业协同工作。泵室、进出水池及海漫段主体结构的建造属于水工结构专业,水泵的选型、安装及维护属于水机专业,工作闸门、检修闸门以及闸门启闭属于金属结构专业,泵站的供配电需要电气专业,泵站的运行控制需要仪表控制专业。一般泵站都有一定规模的泵房、管理用房、综合楼开关站等建筑,

又需要建筑领域包括建筑、结构、给排水、暖通、照明等工民建相关专业。此外，目前工程项目越来越讲究美观，因此若要建设一个花园式的泵站，景观专业也必不可少。可见虽然张马泵站工程一般属于节点水利工程，但所需要的专业是综合性的。

本次 BIM 设计利用 Autodesk Revit 建模软件，建立中心文件，并根据不同专业、不同人员拆分工作集。专业负责人对各专业模型工作集拥有最高权限，其它人员对其负责的模型具有借用权限。在建模需要使用本专业间其它人员所建模型或其它专业的模型时，需向本专业或其它专业负责人申请权限。模型的更新与维护由专人负责，保证了模型的安全。

此外，各专业 BIM 模型在统一中心的文件基础上，能够定期进行整合、碰撞检查，及时修改冲突内容，避免了传统设计工作中不断进行的专业交接、冲突修改、再交接等过程，极大提高了设计效率。

(2) 工程设计人员直接参与 BIM 设计

现如今，大部分 BIM 设计采用二维出图、三维翻模的设计流程，工程设计人员与 BIM 设计人员存在设计方案交接过程，使得 BIM 设计人员需要在建模过程中一次次地与专业设计人员沟通，以理解其设计意图，方能进行 BIM 设计，降低设计效率的同时，也难以发挥 BIM 技术在工程设计中的优势。

本次张马泵站 BIM 技术应用的参与人员均为本项目的专业设计人员，拥有丰富的设计经验，无需进行设计方案的二次理解，即可完成 BIM 设计工作，可以充分发挥 BIM 技术在协同设计、碰撞检查、快速出图等方面的应用优势。

4. 施工实施阶段

①大临设施建模。项目初期采用 BIM 技术进行现场总平面布置，优化现场区域划分、临设布置、现场用电、场内排水等，指导安全文明施工。





图 15 大临设施效果图

②碰撞检查。利用 Revit 自带碰撞检查功能,对结构、金结模型进行碰撞检查,发现以下问题:

- (1) 泵房底板面层钢筋与门槽底坎预埋件碰撞;
- (2) 电机层框柱与门洞碰撞;
- (3) 主泵房 L(4)梁与流道二期砼碰撞。

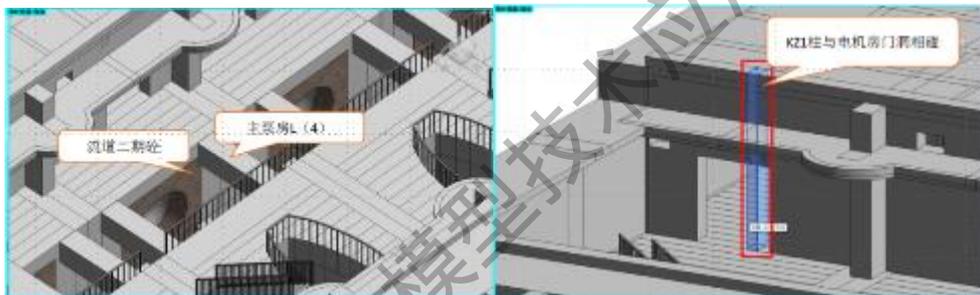


图 16 结构、金结碰撞检查

③为确保泵房底板(大体积混凝土)施工质量,项目部利用 BIM 技术,结合现场施工条件对底板施工缝位置进行比选,最终确定底板单独浇筑的施工方案。为确保内河侧流道出口处导流锥安装精度和整体性,利用 BIM 模型三维可视化功能,与设计、设备安装、业主方共同进行方案比选,优化施工工艺,最终确定合理的施工缝位置和二期砼浇筑部位。

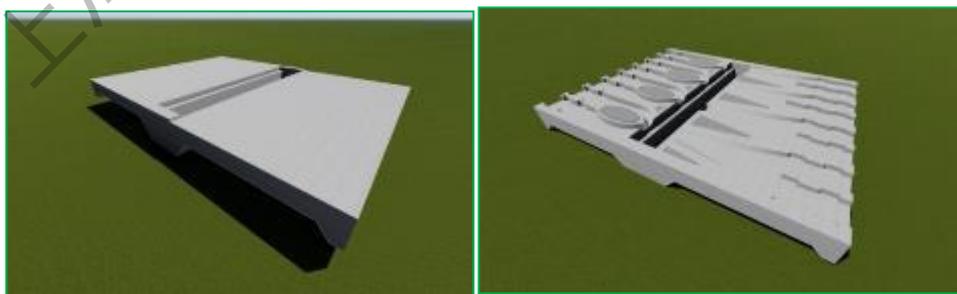


图 17 底板施工方案比选

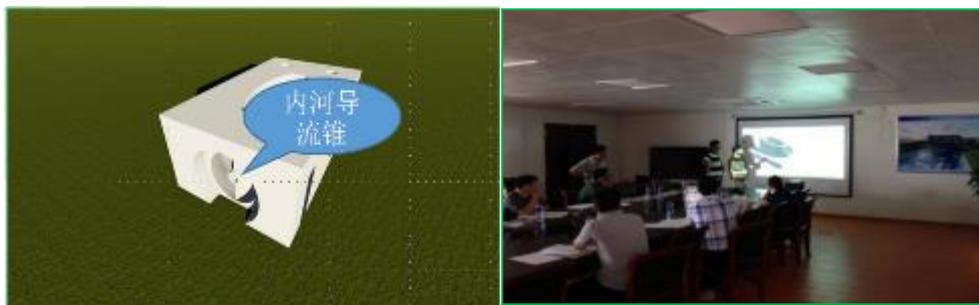


图 18 流道导流锥施工方案比选

④采用 Navisworks 结合 Lumion 软件所制作的施工方案模拟，能够以三维立体的形式向作业人员展示具体施工流程、要求，使得施工方案得到有效落实。



图 19 方桩施工模拟利用

图 20 施工模拟进行交底



图 21 流道钢模吊装施工模拟

⑤项目管理，促进项目部各项工作开展。

(1) 项目部利用 BIM 技术，对底板钢筋进行建模，同时核对分析钢筋表，确保钢筋绑扎快速有序；

(2) 利用 Navisworks 进行施工总进度模拟，并根据实际施工进度进行对比、调整；

(3) 利用 Ansys 对泵房底板进行温控分析，同时结合埋设的温度探头进行验证；

(4) 对施工用外排脚手架、满堂支撑架等配置安全模型，明确步距、立杆间距、灭火器配置等关键参数，并进行脚手架稳定性验算，确保施工有序推进。



图 22 底板钢筋建模

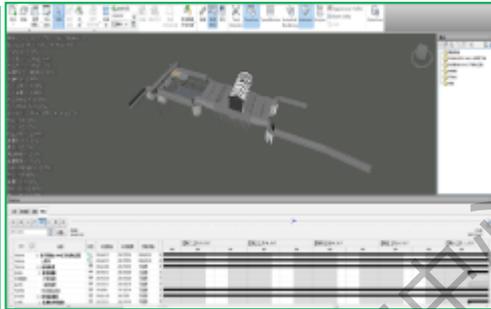


图 23 施工总进度计划模拟

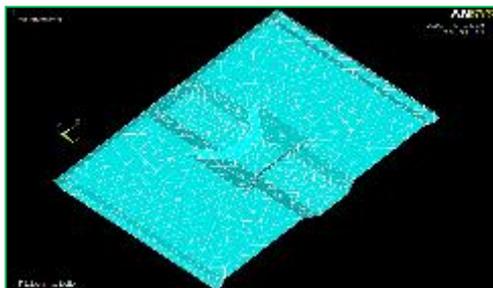


图 24 大体积混凝土温控模拟

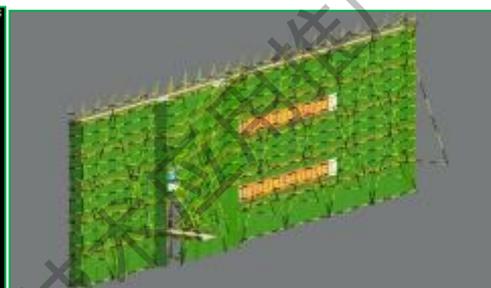


图 25 外排脚手架安全配置模型

⑥ 工程量统计

通过以上 6 方面的 BIM 技术运用，项目部取得了一定经济效益，主要体现在进度提前与成本节约两个方面，具体如下表所示：

5. 工程量计算

(1) 对张马泵站进、出水异形流道进行建模，直接导出单个流道混凝土浇筑方量分别为 193.2m³ 和 157.1m³，与实际浇筑方量一致。

(2) 对张马泵站一期土方开挖进行分层建模，计算每层土方开挖量，确定土方平衡方案。经模型统计，一期土方开挖总量为 49156 方，与传统方法计算结果基本一致。

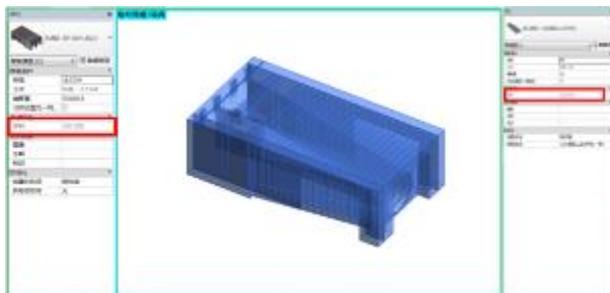


图 26 异形结构混凝土工程量统计

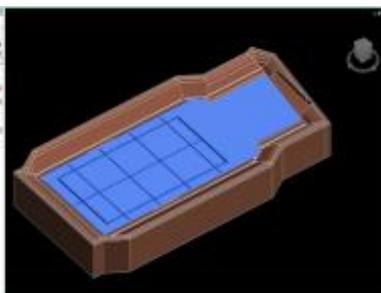


图 27 土方开挖工程量统计

6. 协同管理平台

为推进 BIM 技术的应用，上海市堤防（泵闸）设施管理处基于水利工程数字化模型管理平台，将张马泵站项目作为 BIM 应用试点，对项目设计、施工阶段的数据、信息进行了有效管控。

采用 BIM 三维模型可视化手段，在计算机中对张马泵站的建设过程进行了模拟仿真，再现了张马泵站的建设过程，并对张马未来的建设过程进行了模拟推演。通过对模拟结果的对比分析优化工程施工计划，确定最佳施工方案，实现加快工程建设进度的目的。

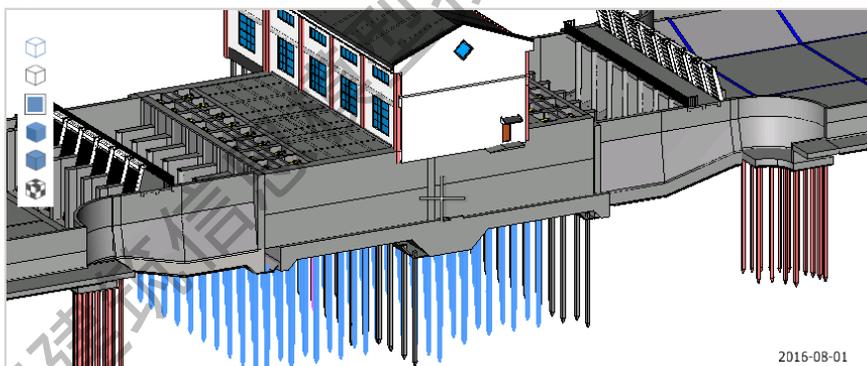


图 28 施工仿真

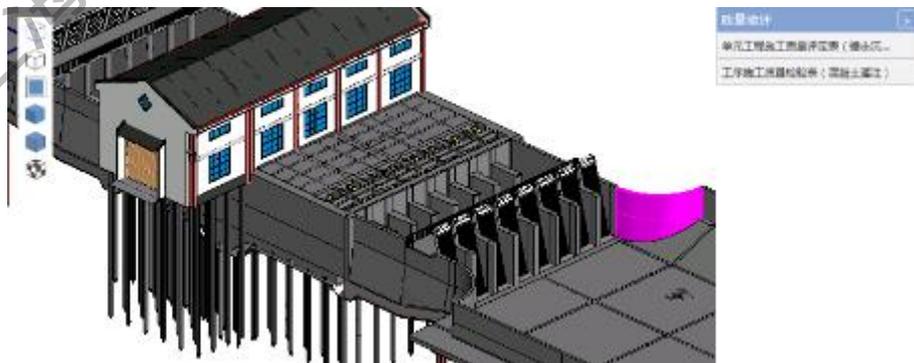


图 29 可视化查询质量数据

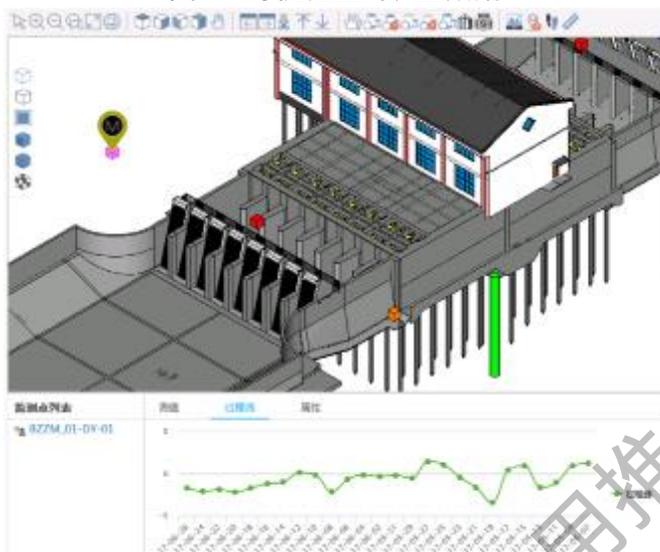


图 30 可视化查询安全监测数据

(1) 制定四份 BIM 标准，将整个水利工程建设过程进行了规范化管理。依据编码标准对工程对象进行编码，并通过编码将相关信息与 BIM 模型进行关联，实现基于 BIM 模型的可视化查询技术。

(2) 采用“互联网+”思想，研发质量验评移动端应用，现场人员可实时将验评数据以及相关现场资料采集并签名后上传至工程数据中心，系统会对上传的数据进行规范化整理及存储。由于所有的流程以及数据都以电子形式流转，因此该功能的实现推动了水利行业无纸化办公进程，有效提高了质量验评工作效率，节省了大量的相关办公开支。同时移动质量验评 APP 具备及时记录现场影音图片，上传至 BIM 管理平台并与 BIM 模型进行关联的功能，为今后问题的追踪以及排除提供了追寻途径。



图 31 质量验评移动端应用

(3) 系统中采用先进的流程引擎，录入至数据库中的数据均已经过严格的审核流程管控，确保了录入至数据库中数据的可靠性、以及精确性。



图 32 系统流程审核记录

(4) 采用 Bentley 公司的 ProjectWise 作为核心的工程协同管理平台，为项目的建设提供了一个流程化、标准化、协同化的管理平台，确保项目的各参与方、信息能够按照工作流程实现一体化异地协同工作过程。克服了水利工程建设投资规模大、涉及专业多、施工周期长；项目标段划分多，专业复杂，协调管理工作量大，给工程协同管理工作所带来的难题。采用 PW 进行的协同管理工作，不仅降低了

项目成本，同时也保证了沟通信息内容的及时性和准确性。

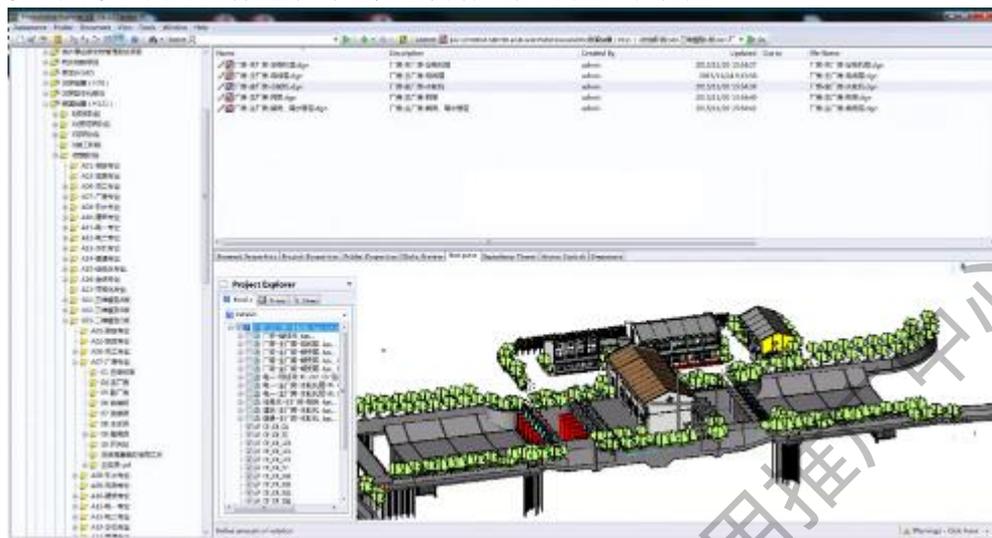


图 33 ProjectWise 协同管理平台

(5) BIM 模型的工程全生命期应用。采用全生命周期的管理模式对 BIM 模型及其相关属性信息进行了有效管理。施工单位在设计院提供的模型基础上进行处理，形成等级更高的施工模型。同时在后期运维阶段，相关的运维数据也接入至平台，形成全生命期的 BIM 应用。采用的全生命期的管理模式，使得建筑项目全生命周期中上下游各专业的无缝衔接和高效配合，达到高质高效的同时，显著降低项目成本。

(四) BIM 应用效益及测算方法

7. BIM 投入

本项目 BIM 投入包括 BIM 团队人员费、设备购置及培训费用等，详见表 3。

表 3 BIM 投入

序号	内容	费用 (万元)	备注
1	项目人员费	113	
(1)	教授级高级工程师	10	
(2)	高级工程师	40	
(3)	工程师	48	
(4)	助理工程师	9	
(5)	辅助人员	6	
2	专用设备费	7	

张马泵站工程

(1)	设备购置费	3	含软件
(2)	设备制作费	2	三维模型打印
(3)	设备租赁费	1	
(4)	通用办公设备费	1	
3	业务费	3	
(1)	资料费	2	
(2)	培训费	1	
4	前期费	77	
	总计	200	

8. BIM 产出

(1) 设计阶段

根据 BIM 技术应用内容以及 BIM 效益产生机制，针对投资、进度、质量及安全性建立了 BIM 效益指标如下表所示：

表 4 设计阶段 BIM 效益评价指标

指标层次	序号	指标	指标类型	单位
投资	1	节约成本	定量	万元
	2	BIM 费用	定量	万元
	3	BIM 人才培养	定量	万元
进度	4	设计工时节约率	定量	%
	5	校审工时节约率	定量	%
	6	修改工时节约率	定量	%
	7	出图工时节约率	定量	%
	8	可重复利用率	定量	%
质量	9	方案合理性	定性	
	10	图纸准确率	定量	%
	11	工程量准确率	定量	%
	12	可视化	定性	
	13	业主满意度	定性	
	14	竞争优势	定性	
安全性	15	设计成果安全性	定性	

各项指标评价方法：

1、节约成本：

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 应用后对设计成本的影响，具体计算

如下式：

$$\text{节约成本}=\text{总节约工时} \times 60 \text{ 元}$$

$$\text{总节约工时}=\text{设计工时节约数}+\text{校审工时节约数}+\text{修改工时节约数}+\text{出图工时节约数}$$

本工程总节约工时为 $200+10+25+60=320$ 小时，节约成本为 1.77 万元。

2、BIM 费用：

该指标为定量指标，主要用来评价应用 BIM 的费用，同时应考虑可循环多次使用的因素，具体计算如下式：

$$\text{BIM 费用}=(\text{BIM 软、硬件购置费}) \times 0.2+\text{系统维护费}$$

本工程 BIM 软件购置费 5 万，硬件购置费 8 万，系统维护费按半年计为 3 万，则 BIM 费用为 5.6 万。

3、BIM 人才培养

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 应用人员的培训费用，同时应考虑一次培养可长期发挥人才价值的因素，具体计算如下式：

$$\text{BIM 人才培养}=\text{BIM 技术人员培训费} \times 0.2$$

本工程 BIM 技术人员培训费为 15 万，则 BIM 人才培养共 3 万。

4、设计工时节约率

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 应用对设计人员的效率提升情况，具体计算如下式：

$$\text{设计工时节约率}=\text{设计缩短工时} / \text{总设计工时} \times 100\%$$

由于本次 BIM 应用为水利行业的首次尝试，设计工时共节约 200 小时，总工时为 4800 小时，设计工时节约率为 4.2%。

5、校审工时节约率

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 应用对校审人员的效率提升情况，具体计算如下式：

$$\text{校审工时节约率}=\text{校审缩短工时} / \text{总校审工时} \times 100\%$$

由于本次 BIM 应用为水利行业的首次尝试，较审工时共节约 10 小时，总工时为 120 小时，设计工时节约率为 8.3%。

6、修改工时节约率

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 应用对设计人员修改图纸的效率提升情况，具体计算如下式：

$$\text{修改工时节约率}=\text{修改缩短工时}/\text{总修改工时}\times 100\%$$

BIM 修改工作较平面出图的修改更加便捷且准确，直接于模型修改大幅减少了修改的工时，本次修改工时共减少 25 小时，总修改工时为 130 小时，则修改工时节约率 19%。

7、出图工时节约率

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 应用对设计人员出图的效率提升情况，具体计算如下式：

$$\text{出图工时节约率}=\text{出图缩短工时}/\text{总出图工时}\times 100\%$$

由于本次 BIM 应用为水利行业的首次尝试，BIM 直接出图前需完成模板制作工作，后期还要进行适当的尺寸标注工作，因此总的出图工时共节约 60 小时，总工时为 200 小时，设计工时节约率为 30%。

8、可重复利用率

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 应用过程中所创建的构建族库可重复使用的比例，比例越高对之后的 BIM 设计效率越有利，具体计算如下式：

$$\text{可重复利用率}=\text{自建族库构件数}/\text{总自建构件数}\times 100\%$$

本次 BIM 应用为提高可重复使用性，自建了大量的构件族，自建族库构件数为 102 个，总自建构件数为 238 个，可重复利用率为 42.8%。

9、方案合理性

该指标为定性指标，主要用来评价 BIM 应用对方案合理性的提升。

本次 BIM 应用在设计过程中多次对原方案进行了修正及优化，一定程度上提高了工程的美观性及使用便捷性。

10、图纸准确率

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 直接出图的图纸质量，具体计算如下式：

$$\text{图纸准确率}=(1-\text{设计变更图纸数}/\text{总图纸数})\times 100\%$$

本次工程设计变更的图纸数共 15 张，总图纸数为 521 张，图纸准确率为 97.1%。

11、工程量准确率

该指标为定量指标，主要用来评价 BIM 直接生成的工程量清单准确性，具体计算如下式：

$$\text{工程量准确率} = (\text{BIM 统计混凝土工程量} / \text{实际工程量} + \text{BIM 统计土方工程量} / \text{实际工程量}) \times 50\%$$

本次工程 BIM 统计的总混凝土方量为 11028 方，实际工程量为 11210 方，BIM 统计土方工程量为 144401 方，实际土方工程量为 147020 方，则工程量准确率为 98.3%。

12、可视化

该指标为定性指标，主要用来评价 BIM 应用对可视化的提升。

本次工程 BIM 应用明显提升了设计成果的可视化性，使方案中不合理的地方更容易被发现，也使得业主、施工单位均更便于理解设计意图。

13、业主满意度

该指标为定性指标，主要用来评价 BIM 应用对业主满意度的提升。

本次工程 BIM 应用虽然是水利行业的首次尝试，但已取得了不俗的成绩，业主也对设计单位的设计质量和最终的设计成果十分满意。

14、竞争优势

该指标为定性指标，主要用来评价 BIM 应用对设计单位在行业内的竞争优势的提升。

本次工程 BIM 应用的成果将对上海地区水利行业的 BIM 应用产生示范作用，大大提高了设计单位的竞争力，在同样的设计资质条件下，在越来越重视 BIM 的大环境下，使得走在 BIM 应用前列的单位更具备了竞争优势。

15、设计成果

该指标为定性指标，主要用来评价 BIM 应用对设计单位的设计成果的保密安全性的提升。

BIM 应用成果以中心文件的形式保存在专用服务器上，设计人员只有修改的权限，无复制的权限，对整个设计成果的安全性具有较大的提升。

张马泵站工程的 BIM 应用效益计算成果如下表所示：

表 5 设计阶段 BIM 效益计算值

指标层次	序号	指标	指标类型	单位	计算值

张马泵站工程

投资	1	节约成本	定量	万元	1.77
	2	BIM 费用	定量	万元	5.6
	3	BIM 人才培养	定量	万元	3.0
进度	4	设计工时节约率	定量	%	4.2
	5	校审工时节约率	定量	%	8.3
	6	修改工时节约率	定量	%	19
	7	出图工时节约率	定量	%	30
	8	可重复利用率	定量	%	42.8
质量	9	方案合理性	定性		
	10	图纸准确率	定量	%	97.1
	11	工程量准确率	定量	%	98.3
	12	可视化	定性		
	13	业主满意度	定性		
	14	竞争优势	定性		
安全性	15	设计成果安全性	定性		

(2) 施工阶段

表 6 张马泵站工程 BIM 运用经济效益表

序号	应用点	进度提前 (天)	成本节约 (万元)
1	大临设施建模指导施工	15	3.4
2	碰撞检查	30	2.2
3	方案比选优化	15	5.4
4	方案模拟	10	2
5	钢筋建模	7	1.5
6	施工总进度模拟	30	12
7	安全配置模型	13	8
8	温控分析	10	4
合计		130	38.5

本次张马泵站工程的 BIM 技术应用，极大优化了工程的设计及施工过程，在质量、进度、费用、管理等方面取得了诸多定性和定量的价值及效益。

仅从本工程效益上，设计阶段的 BIM 碰撞检查、快速出图等技术应用，相较传统设计工作，共节省了设计工时近 300 小时，工程量准确率高达 98.3%，为工程的按时施工提供了重要保障；在施工阶段，通过基于 BIM 技术的模拟施工、温控分析、方案比选等引用，将建设工期缩短了约 130 天，节约了工程费用约 38.5 万元，为将来提前保质保量的完成建设工作奠定了基础。

从长远效益上看，本次 BIM 技术应用为上海市水利行业培养了一批较为成熟的 BIM 设计、施工专业工程师，为将来 BIM 在上海市水利行业的推广和应用开了个好头；此外，由于张马泵站是上海市水利行业 BIM 技术应用的第一批示范工程，这为上海市水利模型构件库的建立和扩展、设计流程及建模规范、技术标准的创建等技术基础工作提供了实际工程数据。

(五) 应用推广与思考

本项目将结合水利工程特点，并参考建筑行业 BIM 应用指南，探索水利行业的 BIM 正向设计流程，研究适用于水利工程 BIM 应用各阶段、各参建方的数据共享规则和信息传递模式为今后水利工程的 BIM 应用提供参考依据，充分发挥 BIM 技术在提高效率、节约成本和缩短工期等方面的重要作用，主要经验总结有：

(1) 本次工程为上海市堤防（泵闸）设施管理处领导协调，设计单位及施工单位参与的总体组织架构，很好地发挥了建设单位的领导作用，能够更好的对设计单位、施工单位进行规范与约束，协调各方的进度、利益、质量的管理工作。

(2) 建立了不同设计阶段的水利模型深度要求，包括水工、水机、金结、电气、建筑、结构、景观、给排水、暖通等相关专业，为上海市水利 BIM 技术标准的建立提供了参考。

(3) ProjectWise 协同平台的应用，降低了交接工作的时长，降低了沟通成本，方便了各方对数据进行管理和使用；且协同平台提供的版本控制、权限管控等内容，使得文件的准确性、安全型、可追溯性得到了加强。

不过，由于本次为上海市水利行业的在 BIM 领域的首批尝试，因此也存在一定的不足及缺陷，需要后续工程进行不断修正和完善，主要有：

(1) **BIM** 正向设计能力不足。本次方案设计阶段已经基本确定了设计方案，因此 **BIM** 技术应用从初步设计阶段开始，主要以二次建模为主，在一定程度上降低了 **BIM** 技术的应用效果，如其方案比选等内容上的优势得不到体现。

(2) **BIM** 技术及应用标准缺乏。本工程开展初期，缺乏相应的技术及应用标准，因此前期主要工作基本上是通过借鉴建筑、其他市政等行业的 **BIM** 技术标准，而后根据工程特点，对精细度、编码等内容进行了一定的补充和优化，这极大降低了工作效率，且标准内容仅为特定工程标准，无法成为水利行业标准化方案，这为上海市水利行业 **BIM** 技术标准制定工作的推进提出了迫切要求。

上海建筑信息模型技术应用推广中心

六、前滩 29-03 地块项目

(一) 项目概况

1. 项目基本概况

前滩 29-03 地块项目位于上海市浦东新区前滩地区，东至杨思西路，南至海阳西路，西至平家桥路，北至钱家滩路（规划尚未建成），西侧临近轨道交通 8 号线，占地面积 13578m²。

本项目由上海前滩国际商务区投资（集团）有限公司承建，上海建工四建集团有限公司进行总承包管理，设计单位为上海建筑设计研究院有限公司、上海市隧道工程轨道交通设计研究院，监理单位为上海浩建工程顾问有限公司，主要分包单位包括中建钢构有限公司、北京江河幕墙股份有限公司、苏州金螳螂建筑装饰股份有限公司等。

本项目为新建公共建筑类型，总建筑面积 131291m²，合同造价 46072.66 万元，合同工期为 2015 年 5 月 28 日至 2019 年 3 月 7 日。

项目拟建三栋建筑，分别为 1 号楼（办公楼）、2 号楼（公寓式酒店）和 3 号楼（商业裙房）。其中，1 号楼地上 30 层，高度 149.9m，为型钢混凝土框架-钢筋混凝土核心筒结构；2 号楼地上 24 层，高度 99.6m，为钢筋混凝土框架-剪力墙结构；3 号楼地上 3 层，高度 16.5m，为钢框架结构。三栋建筑共用一整体地下室，地下室 3 层，局部设有夹层。地下三层、地下二层部分区域为人防区域。本工程基础采用桩筏基础，混凝土筒体、剪力墙和柱下采用厚承台，其他为筏板。桩基采用钢筋混凝土钻孔灌注桩。

目前项目正处于现场施工阶段，现阶段结构已封顶，正进行室内粗、精装修施



图 1 项目效果图

工。

2. 工程难点分析

本项目结构形式多样，施工难度较大，主要的技术难点有：

- 1) 项目西侧紧邻运营中的地铁 8 号线，最近处距离仅有 13.3m，且四周海阳路杨思路上有多条市政管线，环境保护要求高。
- 2) 设计地下室三层，整体挖深达 13.9 米，属于深基坑施工，且项目基坑共分五个分区，分块较多，钢管支撑和砼支撑交替施工，支撑体系复杂，亦增加了施工难度。
- 3) 项目四围用地红线紧贴市政道路，场内可利用场地狭小，而本项目含大量钢结构及幕墙预制构件，材料堆场紧张，现场场布规划实施条件严苛。
- 4) 1、2、3 号楼功能和结构类型不一，同阶段施工工序繁复，技术掌握和施工管控难度较大，需很好的调配和管理以保证每栋单体的施工进度。
- 5) 1 号楼以及 2 号楼按照超高层标准进行施工，难度进一步提高。

为满足项目苛刻的施工条件，本项目推广采用了一系列有代表性的新技术、新工艺，以配合现场推进更高效更安全的施工作业，如：①自动补偿钢管支撑技术，②整体电动提升爬架技术，③组拼式钢模板技术，④盘扣式钢管脚手架技术等。

同时，对 BIM 的需求也是应运而生。本项目基于 BIM 技术的协同公共管理平

台完成项目运作期间全部信息模型的使用、整理和归档，逐渐将工作模式由二维转到三维，由平面转到立面，借助平台进行日常管理信息的交互与反馈，提升现场管理效率和办公体验；采用专业的 BIM 软件进行日常建模和优化分析，提高结构设计安全性和合理性，辅助解决施工现场疑难问题，提高整体施工效率和工程质量。

(二) BIM 技术应用概况

1. BIM 技术应用点

本项目主要应用范围是在施工准备和施工实施阶段，后期运维管理的应用也在近期纳入会议讨论中。项目最初的 BIM 规划也主要是围绕现场施工展开的，力求借助 BIM 技术辅助指导现场施工管理和进度、质量控制，协助施工图纸深化和纠错，在一定层面上能够完成简单算量，特别在处理一些细部和疑难节点上起到平面图纸难以反映和掌握的效果。

本项目现阶段 BIM 应用处在施工阶段的后期，同时在业主方 BIM 顾问的指导下准备 BIM 竣工模型的搭建和与运维管理方面上的接轨。此项目所有建模方式都是完全正向建模，在各专业单位进场以前要求完成其专业模型的搭建，提前发现问题，解决问题，实现减少工程返工、提高生产效率的目标。

表 1 项目 BIM 技术应用点

序号	应用点	设计阶段	施工阶段	运维阶段	应用价值
1	施工深化设计及三维出图	/	●	/	提升深化后建筑信息模型的准确性、可校核性。将施工操作规范与施工工艺融入施工作业模型，使施工图满足实际生产作业的需求。
2	基于移动平台的现场施工指导	/	●	/	基于移动电子设备，辅助现场进行传统施工测量、放样工作，借助三维图像进行技术交底，提高施工效率和容错率。

3	施工方案模拟	/	●	/	进行施工过程中的可视化模拟,并充分利用建筑信息模型对方案难点进行分析和优化,提高方案内容充实度和可信度,确保方案质量。
4	预制构件辅助加工	/	●	/	利用 BIM 技术提高构件预制化加工精确度,将有利于降低成本,提高工作效率,提升工程质量等。
5	机电管线综合	/	●	/	三维可视化进行机电管综,可以更加直观的解决疑难碰撞问题,极大地提高管综效率和优化率。
6	精细化 4D 进度模拟	/	●	/	运用 4D 动画模拟演示充分展示不同进度安排的差异,充分把握项目实时进程,实现对项目进度的合理控制和优化。
7	工程量统计	/	●	○	从模型获取直接的工程量清单子目与材料信息,辅助人工算量,可以明显提高造价人员计算各阶段材料用量和费用的效率与准确度。
8	设备与材料信息化管理	/	●	○	实现构件从工厂生产到进出场管理,再至现场施工耗材的整体流程跟踪控制,提升现场材料管控水平。
9	质量与安全控制	/	●	○	借助模型辅助现场验收和管理,提高质量检查的效率

					和精准度，并能更高效地发现潜在危险源，实现现场安全管理的长治久安。
10	竣工模型 验收	/	○	○	按照园区 BIM 竣工验收标准修改搭建竣工模型，确保与实体建筑信息的一致性，形成竣工模型，以满足三维交付和后期运维要求。
11	后期运维 开发	/		○	为满足业主未来商业开发和物业维护需求，按需搭建项目运维模型，实现真正意义上的建筑生命全周期三维管理和控制。

注释： ● 表示项目计划并已实施的应用项； ○ 表示项目计划但未实施的应用项。

2. 组织架构

本项目是由业主方主导，施工总包方协调管理，项目管理公司和监理方进行监督配合，其他参建分包开展负责各自工作的管理模式。同时，园区还派遣专业的 BIM 顾问团队进行项目 BIM 全周期的技术指导和质量把关，以实现从施工阶段向后期运维阶段的技术过渡。

各参建方基于自身的专业特点和管理模式，负责执行各自范围内的 BIM 建模和运用工作，并借助园区的三维协同公共管理平台进行日常模型和信息的交流、交互，保证数据的时效性和完整性，实现对现场施工的实时监管和信息化办公。

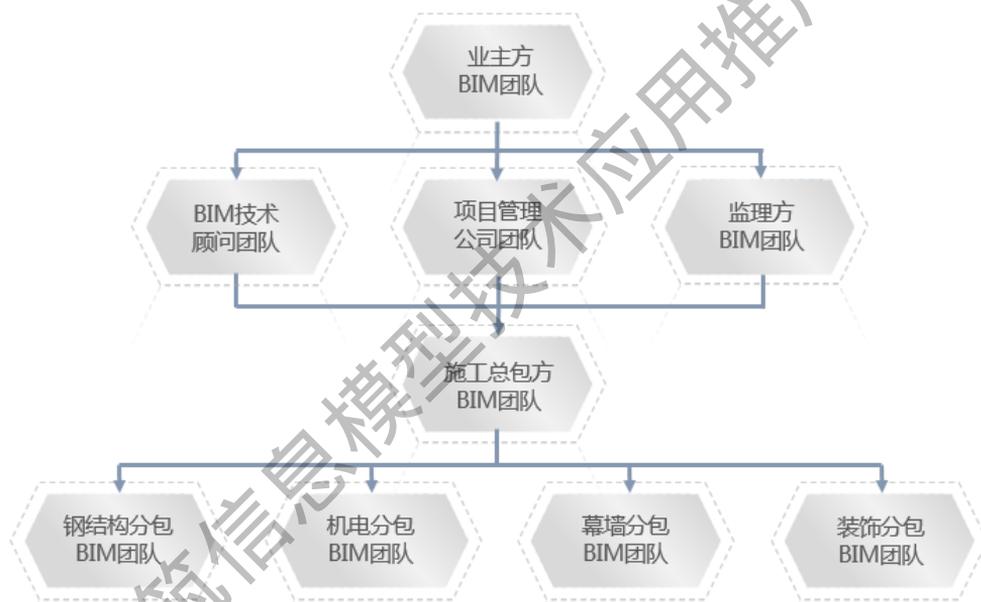


图 2 项目 BIM 团队组织架构

3. 参建单位及职责分工

表 2 项目 BIM 团队人员分配及职责分工

项目定位	参建单位	团队人数	职责分工
建设单位	上海前滩国际商务区投资（集团）有限公司	4	<p>项目 BIM 团队的总体负责、总牵头者。</p> <ol style="list-style-type: none"> 负责总体方向的把控，制定和规划 BIM 发展路线； 主导制定和审批项目 BIM 开展计划，合理控制项目 BIM 进程； 组织编写 BIM 技术方案，确定 BIM 技术应用点； 负责编写 BIM 实施要点、审核实施标准和 BIM 竣工标准； 监督协调项目各参与方的资源调配，平衡各方需求。
管理公司	艾奕康咨询（深圳）有限公司上海分公司	2	<p>项目 BIM 团队的监督、协调者。</p> <ol style="list-style-type: none"> 协助业主审核 BIM 技术方案和工作计划，督促各方按照计划提交工作成果，合理控制项目 BIM 进程； 负责沟通协调各参与方，整合各方意见，进行合理的资源调配和进度安排； 协助业主方进行日常 BIM 运
监理单位	上海浩建工程顾问有限公司	2	

项目定位	参建单位	团队人数	职责分工
			营管理, 主持各项 BIM 会议的开展和落实;
设计单位	上海建筑设计研究院有限公司 上海市隧道工程轨道交通设计研究院	/	配合解决施工过程中发现的技术问题和难点, 沟通协商各参建方有关设计优化方面的建议。
施工总包单位	上海建工四建集团有限公司	3	<p>项目 BIM 团队的推进、协调和执行者。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 根据业主方及 BIM 顾问单位的指示意见, 编写相应 BIM 实施方案和项目 BIM 总进度计划; 2) 搭建土建部分模型并进行过程中的维护和更新, 反馈设计院进行合理的优化设计和变更; 3) 按最新前滩 BIM 竣工标准整理完成竣工模型, 在过程中协助业主满足后期运营开发需求; 4) 监督各参建分包建立并提供各专业 BIM 模型和相关数据信息, 指导各专业进行 BIM 技术运用; 5) 按月整合汇总模型及资料, 并上传至协同整体平台。

项目 定位	参建单位	团 队 人 数	职责分工
分包 单位	中建钢构有限公司	3	<p>项目 BIM 团队的专业执行者。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 负责钢结构模型的建立和钢结构深化相关工作，反馈设计院进行合理的优化设计和变更； 2) 通过日常 BIM 技术运用配合加工厂进行钢构件的预制化生产加工，配合现场钢结构吊装和施工工作； 3) 按前滩 BIM 竣工标准要求提交合格的竣工模型。
分包 单位	上海建工四建安装有限公司	4	<p>项目 BIM 团队的专业执行者。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 负责机电模型的建立和管综深化相关工作，反馈设计院进行合理的优化设计和变更； 2) 通过日常 BIM 技术运用配合加工厂进行管道构件的预制化生产加工，配合现场管道结构吊装和施工工作； 3) 按前滩 BIM 竣工标准要求提交合格的竣工模型。
	北京江河幕墙股份有限公司	2	<p>项目 BIM 团队的专业执行者。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 负责幕墙模型的建立和幕墙板块深化相关工作，协助幕墙设计师完成幕墙布置优化； 2) 通过日常 BIM 技术运用配合

项目定位	参建单位	团队人数	职责分工
			<p>加工厂进行幕墙板块的预制化生产加工，配合现场幕墙板块吊装和施工，以及幕墙埋件定位放样工作等；</p> <p>3) 按前滩 BIM 竣工标准要求提交合格的竣工模型。</p>
	苏州金螳螂建筑装饰股份有限公司	1	<p>项目 BIM 团队的专业执行者。</p> <p>1) 负责精装修模型的建立和装饰深化相关工作，反馈设计院进行合理的优化设计和变更；</p>
	上海全筑建筑装饰集团股份有限公司	1	<p>2) 通过日常 BIM 技术运用配合加工厂进行装饰构件的预制化生产加工，配合现场装修施工；</p> <p>3) 按前滩 BIM 竣工标准要求提交合格的竣工模型。</p>
BIM 顾问单位	上海宗升工程科技有限公司	2	<p>项目 BIM 团队的审核者，提供技术指导和质量把关。</p> <p>1) 协助业主方编制整个园区的 BIM 大纲和竣工验收标准，规划 BIM 总体进度</p> <p>2) 负责日常协同平台的维护和管理，负责整理、归档各项目 BIM 数据资料</p> <p>3) 负责审核项目 BIM 模型精度和材料完整性，并提出相应指</p>

项目 定位	参建单位	团 队 人 数	职责分工
			导性意见,对各项目 BIM 质量进行把关控制 4) 提供技术支持与服务,配合业主方推进“智慧城市”目标的规划和发展。

上海建筑信息模型技术应用推广中心

表 3 项目 BIM 应用点参与度分析

序号	应用点	建设单位	总包单位	管理公司	监理单位	分包单位	BIM 顾问
1	施工深化设计及三维出图		P/E	C	C	E	
2	基于移动平台的现场施工指导		E	C	C	E	
3	施工方案模拟		E	P	C	E	
4	预制构件辅助加工		P/E	C	C	E	
5	机电管线综合		E	C	C	E	
6	精细化 4D 进度模拟	D	E	P	C	I	
7	工程量统计		P/E	C	C	I	C
8	设备与材料信息化管理		P/E	C	C	E	C
9	质量与安全控制		E	P	C	E	
10	竣工模型验收	P/D	E	C	C	E	C
11	后期运维开发	P/D	E	C	C	I	C

注释： P-筹划 D-决策 E-执行 C-检查 I-提供信息

4. 工作流程及基本要求

在本项目 BIM 实施周期内，各专业单位要求在设计施工图基础上建立施工图 BIM 模型，每月月底时将最新版模型文件按园区交付标准整理汇总后，发送给施工总包单位，提交的同时应附有相关的变更说明，简明扼要地表示出模型更新的内容以及模型本身还存在的问题和缺陷。由总包方进行模型的初审后，上传至园区 FTP 信息交互与协同管理平台，每次提交须以提交日期为版本号，以前上传的模

型需存档留底。各参建方可自行查看并下载，供各方审阅、进行后续的工作。

文件提交后，由施工总包方 BIM 团队和项目管理公司团队、监理方 BIM 团队共同同步审核建模准确度，并以报告形式告知各方。各参建方如有一方提出异议，则通过项目短会的形式进行讨论确认，并推进下一步工作。如果是专业单位建模错误，则由建模单位负责按照设计图纸改正；如果是设计单位图纸不清，则形成记录与设计方沟通解决。完成后专业单位针对顾问团队校核的报告回复一份更正报告，报告中会注明更改依据、图纸版次和其他内容。

一旦有新版变更指令发出后，各专业单位同样应及时更新模型数据，以保证模型的时效性和准确性。

模型的整合与分析在信息平台和整合软件中进行，这里采用的整合软件统一为 Navisworks。整合和分析输入信息主要包括业主方需求、专业分包 BIM 模型、甲方采购设备材料的信息、工程变更等；输出成果主要有施工过程模型、分析报告、图纸文件和信息文件等。

模型整合完成后形成竣工模型，竣工模型需要得到业主方、设计方的认可后发布，以确保模型与现场的吻合性。

模型二次开发的切入点并不强求必须在竣工模型完成后开始，可根据业主方的营销和运维需求，在模型基本完成后，不影响开发成果应用的前提下提前进行。

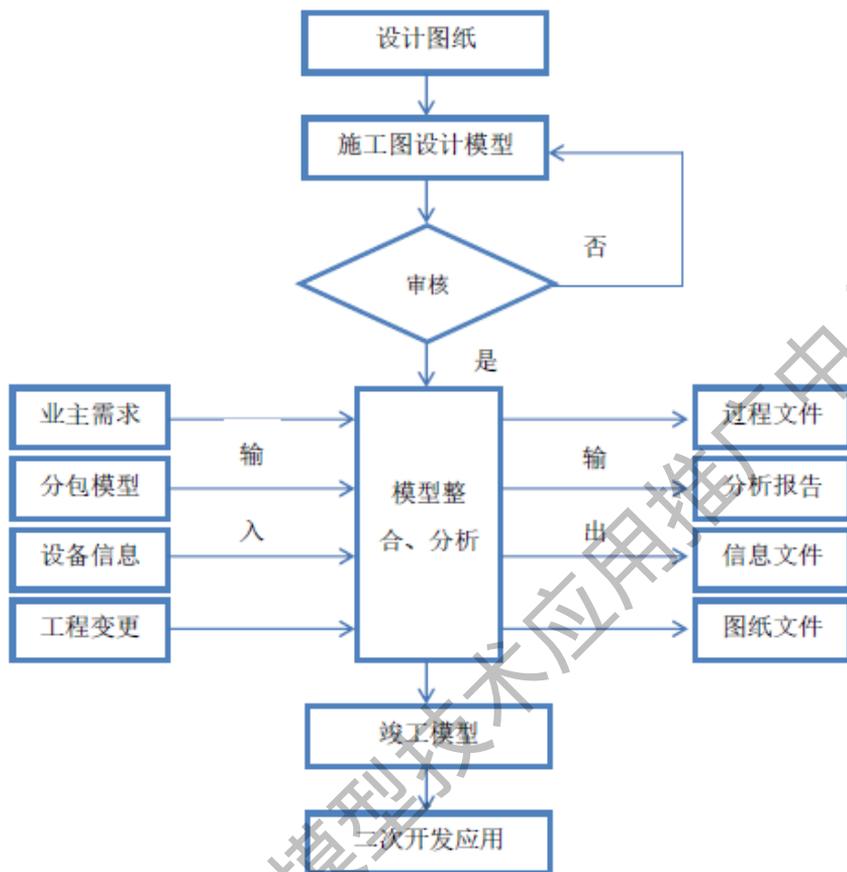


图 3 项目 BIM 工作流程图

此外，每月月底需提交本月 BIM 月报一份，园区还组织一次月度模型审核会议，在会议上会简要点评顾问团队对各地块项目模型审核的结果，并提出改进意见和要求；每半年进行一次 BIM 阶段性汇报会，以总结评点半年度项目 BIM 成果和经验，并商讨下半年度 BIM 开展工作计划和内容。

为保证建模软件的统一性，确保各专业整合协作的流畅，建模统一采用 Revit 系列软件。其中钢结构分包基于其专业特点，采用 Tekla 作为建模软件，而幕墙因 Revit 曲面建模功能的不足而决定选用 Rhino 软件建模，其后要求导出 IFC 模型在 Navisworks 软件中进行专业整合。

为保证 BIM 工作质量，对交互的模型质量要求如下：

- 1) 所提交的模型，各专业内部及专业之间无构件碰撞问题存在。
- 2) 严格按照本方案的建模要求分别完成模型的各阶段深度。

3) 严格保证 BIM 模型与二维 CAD 图纸包含信息一致。

4) 机电管线系统建模采用 Revit MEP。提交模型时必须同时提供 NWC 格式模型，用于 Navisworks 下的模型整合。

5) 为限制文件大小，所有模型在提交时必须清除未使用项，删除所有导入文件和外部参照链接，同时模型中的所有视图必须经过整理，只保留默认的视图和视点，其他都删除。

6) 与模型文件一同提交的说明文档中必须包括：模型的原点坐标描述，模型建立所参照的 CAD 图纸情况。

(三) BIM 技术应用成果与特色

本项目前期设计阶段未采用 BIM 技术进行预建模，真正开展推进 BIM 工作是在施工准备阶段开始的。项目施工招投标阶段即将 BIM 纳入各专业标书及合同内容中，所有项目参建方均是掌握 BIM 技术的专业单位。在各专业进场动工前，即施工准备阶段，要求各专业单位完成各自主要施工图深化和建模工作，施工模型的搭建进度要求走在现场实际生产的前面。

多方面、全方位地运用 BIM 技术，为本项目在施工准备和实施阶段提供技术支撑和方案优化数据，保障了本工程在施工进度方面的领先。通过实时结合工期核算现场人、货流量，综合考虑施工流水段，对现场的塔吊、施工电梯、混凝土泵管的型号数量、附墙位置等进行精细可视化模拟，从而确保塔吊能够便利地安装和拆除，人、货电梯能够满足现场垂直运输需求，混凝土泵管布设节约科学、泵点布设合理。优化施工组织设计，提高现场施工生产的效率和效能。在钢结构、幕墙、机电深化设计过程中，借助三维模型发现设计问题，提出解决方案，直接对话设计方，使得施工图深化设计的效率得到极大提升，同时减少现场施工阶段至少过半的变更问题，节省了大批量的人力、材料等返工工作，经济效益在此表现显著。

1. 专业模型整合与碰撞检测

项目体量庞大，结构类型复杂，且各家分包使用软件类型多样，虽然都是基于 Navisworks 完成的日常的软件整合和检查工作，但对于专门负责整合和核查的技术人员就需要掌握各式建模软件，也因此对其提出了更高的要求。

项目模型在专业单位间的使用是有层级关系的，必须结合现场施工进度计划安排，先施工的单位须率先完成其工期范围的模型，再将其模型传递至后施工单位，后施工单位再在上—级的模型基础上进行新建和使用，进行常规的碰撞检测。



图 4 单体整合模型

本项目在专业单位工作任务前期，完成此专业在该阶段的模型建立、整合以及碰撞检测工作，提前发现问题，编制相应的碰撞检测报告，整理并与设计方沟通协调，反馈解决方案，在不影响现场施工进度的同时，还避免了大量的返工，节约材料、人力和时间成本，为本项目最直接的 BIM 应用效益来源。

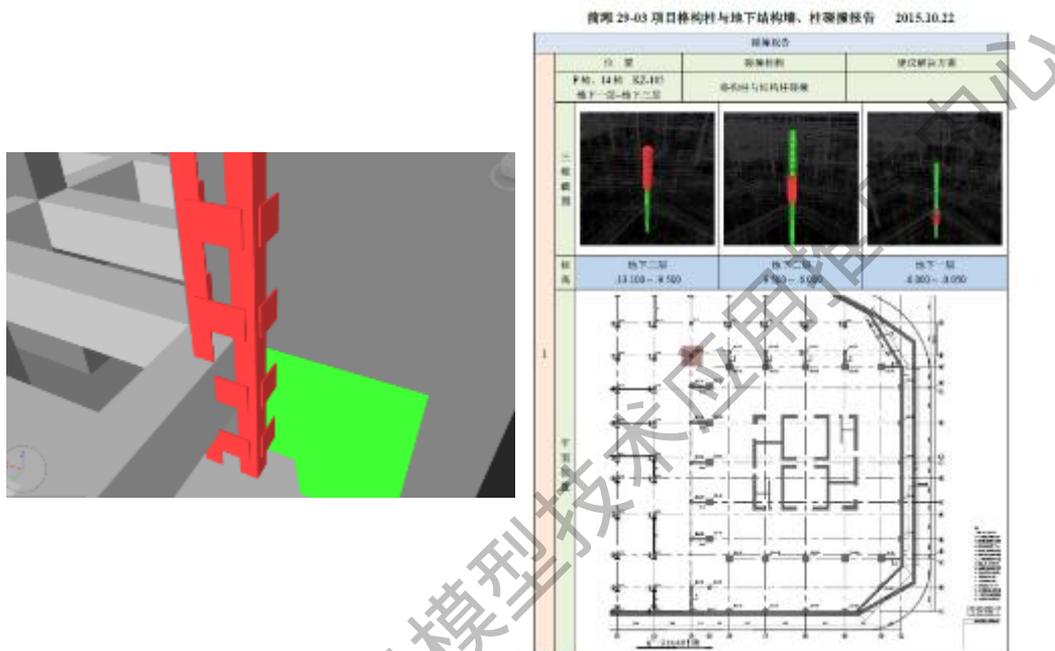


图 5 地下室格构柱碰撞检测

2. 4D 土方开挖模拟

此项目地理位置非常临近地铁 8 号线，故深基坑开挖需要对其精细分块、分层、定量，并且需要与地铁公司保持实时密切的沟通。项目很好的利用了 4D 动画模拟的技术手段，以辅助基坑施工准备阶段土方开挖方案的制定和优化，合理安排调控基坑开挖顺序，综合考虑土方驳运路线，借助土方开挖的模拟动画，与地铁管理方展开三维可视化沟通与交流，极大地提高了决策效率，最终将五个基坑分区施工整体完成时间提前了 100 多个日历天。

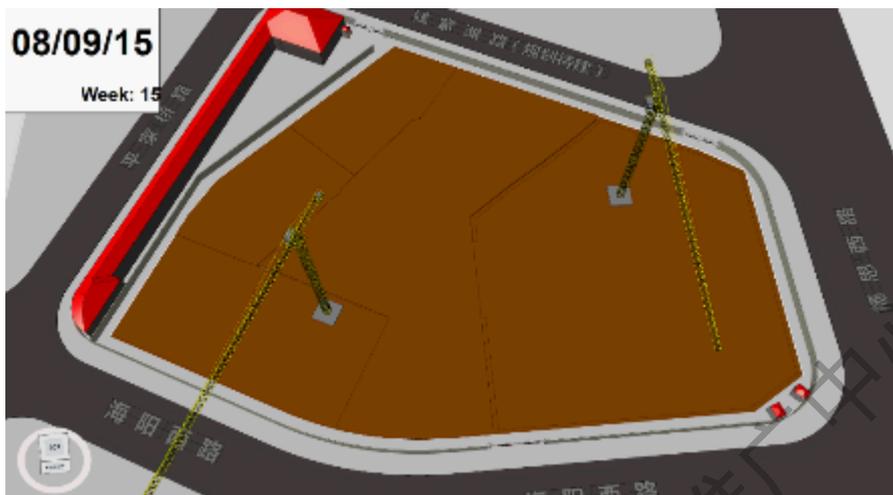


图 6 4D 土方开挖动画模拟



图 7 模拟塔吊施工风险评估

同时 4D 可视化施工模拟也布置了塔吊等大型器械，在综合考虑塔吊位置、型号等信息的同时，也为现场场地布置及施工区域风险分析提供了可靠的参考。

3. 精确辅助施工现场放线及放置预埋件

现场施工过程中，某些工艺工序需要极高精度的定位和测量，由此借助 BIM 技术的精确性优势可以辅助完成一系列工作。例如，在放线和放置预埋件时，我们采用 BIM 技术辅助现场进行定位放线，从而很好地保证了钢结构、幕墙等施工精度，提高了施工容错率。

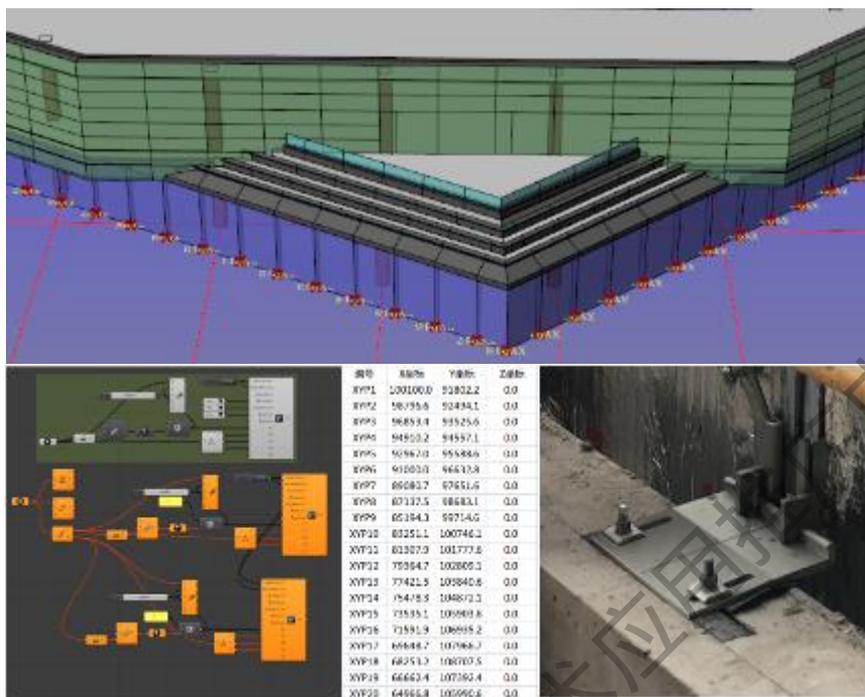


图 6 辅助幕墙预埋件精准放样

4. 大型构件的信息化平台管理

传统的含大面积钢结构、幕墙工程的大型项目体在运作过程中会发现很多现场管理难点，例如电子版资料更新频繁，进度信息难以共享等，加之现场构件多，若有构件因纸面标识不清、堆放不能追根溯源，常常容易发生混淆，进而造成管理失误和大量返工，极大影响现场施工效率和正确性。

基于 BIM 技术的强大的信息交互平台应运而生。在推广使用 BIM 技术以后，借助 BIM 的信息化平台，钢结构和幕墙等专业将施工全过程划分为深化设计、材料管理、构件制造、项目安装四大阶段，以工序流程化管理为基础，应用物联网、BIM 等信息技术，实现可视化的项目管理。

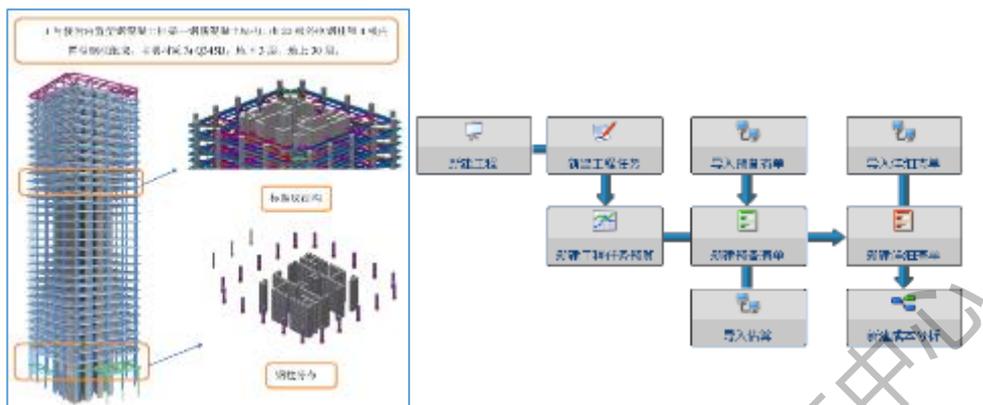


图 97 钢结构构件信息化管理流程



图 10 钢结构二维码扫描认证

钢结构、幕墙专业根据整体工期制定相应的工期计划，将每幢楼的钢柱和幕墙板块划分成若干批次，在管理平台中体现为单独的一项工程任务。通过管理平台将指定构件或单元块一一对应相应的工程路线，建立起清晰的结构施工管理流程。借助扫描枪等跟踪手段对各构件及板块进行二维码身份认证，实时进行状态反馈，实现对施工流程中的制定构件及板块的动态管控，对每一块从工厂预制化生产到现场安装完毕的大型钢构件和幕墙单元快监督负责。

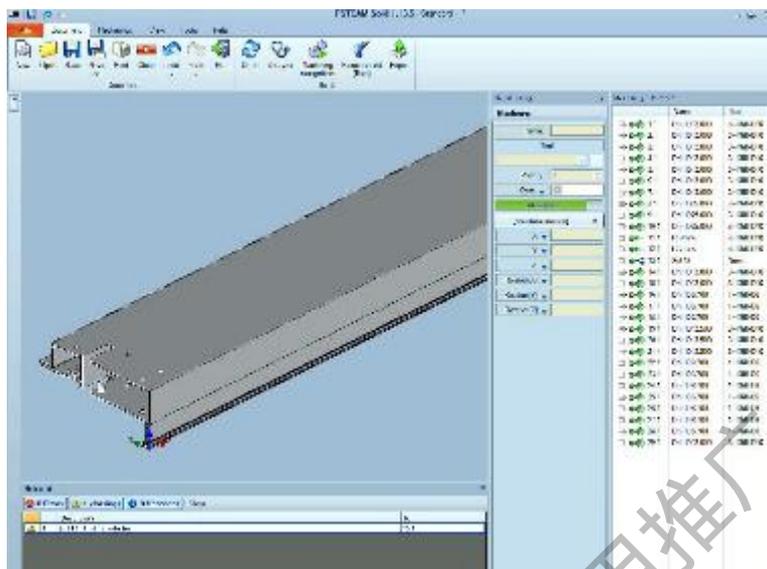


图 8 幕墙板块加工机床信息交互

5. 基于移动端的现场质量安全管理

本工程作为超高层结构存在着大量复杂节点，运用常规手段展现这些复杂节点的具体情况存在着相当难度，而运用 BIM 技术进行相应的可视化模拟则确保了工程进展中的高质量和低返工率。

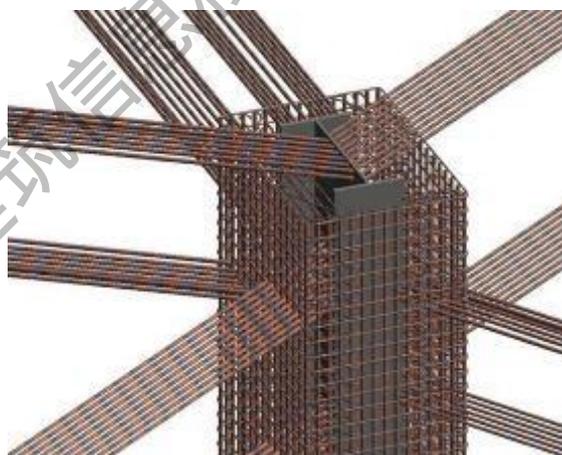


图 9 1 号楼劲性柱梁柱节点钢筋优化布置

在项目行进过程中从事前、事中、事后全方面对建筑质量进行严格把控。事前，在深化设计阶段对潜在的问题进行全面的发掘和协调处理，并结合三维模型的可视化作好施工前的交底工作；事中，还可以通过在手持式的移动设备，如手机、Pad 上加载 BIM 模型，将模型带入现场的施工指导、质量监察环节当中。通过直观的对比测量可以快捷地发现现场存在的质量问题，并通过拍照、邮件、平台协同等技术手段对现存的质量问题进行发布、处理跟踪。确保现场的施工质量可靠，避免整改翻工。



图 10 1 号楼标准层外框渲染图



图 11 1 号楼标准层外框现场实景

安全施工管理是本项目超高层建筑施工的重中之重。由于本工程施工过程中的基坑特别深、主体结构特别高、工序特别复杂，故应当特别作好现场的安全防护工作。本项目通过对阶段模型进行安全分析，结合现场的实际情况优化，建立了安

全施工模型,从而指导现场的安全施工,真正做到横向到边,纵向到底,措施到位,责任到人。



图 12 基于移动端的现场施工指导

6. 三维管综设计及出图

本工程机电专业全部采用三维管线综合来发现管线排布与优化问题,并直接三维出图指导现场施工生产。

此阶段由项目部中经验丰富的施工员及项目工程师,按以往相似工程案例经验并结合本项目特色,制定大体管线排布方案,进而交由 BIM 工程师在模型中实现此方案。在此过程中,发现了部分较小的问题直接与设计方进行沟通解决,部分涉及的一结构修改面难度较大的问题,则由业主方牵头协调优化设计原项目方案。

其中,1号楼通过建模+管综多套方案优化,经多方协调,反推结构进行净高优化,提高1号楼标准层核心筒外空间高度 200mm。



图 13 1号楼标准层管道穿钢梁优化效果图及现场实景

在解决 1 号楼外框管线走向问题时，与钢结构协调配合，特殊部位提前处理，优化管道留洞和布置，最小化钢结构钢梁上留洞数量，提资并很好的配合钢结构构件加工，节约了大量的成本。

在二结构砌筑施工中，提前优化布置砌块墙体留洞，在 2 个号房，54 个层面上共计留洞近 900 平方，采用了 BIM 技术可以更好的提升留洞准确性及效率，减少现场返工，大量节约人力和时间成本。



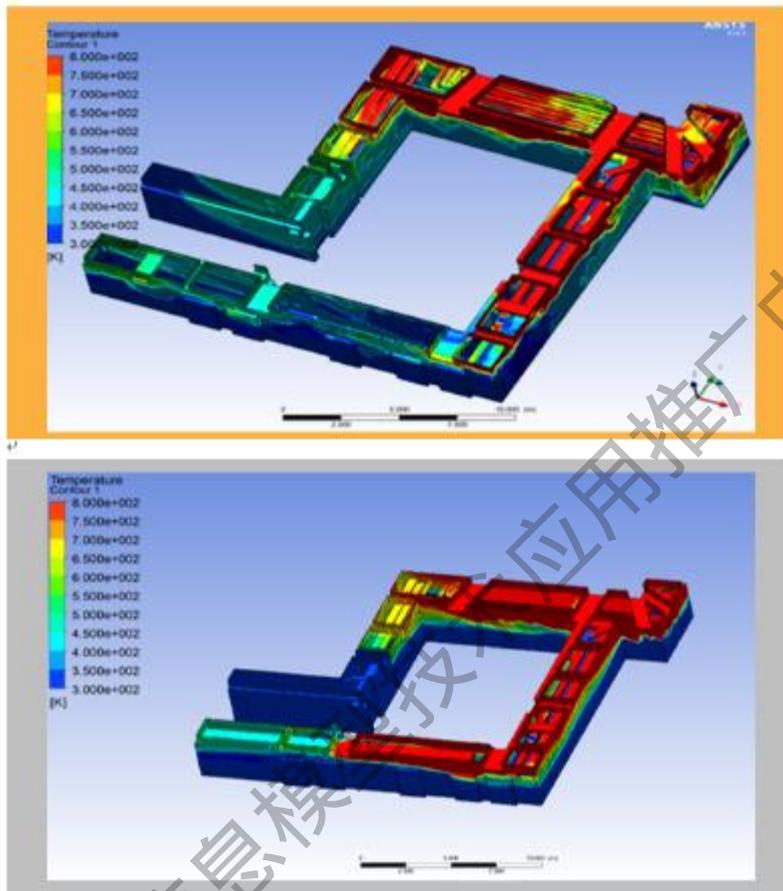
图 14 2 号楼标准层管综优化节点及三维出图

7. 工程量计算与成本控制

传统的基于二维图纸的造价算量方式工作量巨大，疑难节点的材料用量考虑全凭造价人员的空间思维。

本项目在借助传统的 BIM 算量工具和软件，如广联达、鲁班 BIM 等，进行工程量的预结算，同时 Revit 自带导出明细表功能，分系统导出材料表单，配合出量可以进行一些简单的校核和参考，以此指导现场的人工、材料进出场安排，精准的控量可以很好的避免时效性建材，如砣、预拌砂浆的浪费，带来非常明显的经济效益。

少了计算时间，降低了人力投入。



9. Revit 动态水力计算

为协助进行机电管线的合理优化布置，本项目还采用了 Revit 动态水力计算功能辅助管综设计。

Revit 自带的动态水力计算将计算结果与 3D 模型相对应，可直接在模型中读取每一处管段的局部水力参数，方便操作和查看。省去了以往人工核算风量的麻烦，自动识别管道最不利环路。对于一般标准管附件，可直接应用 revit 自带的 ASHRAE 表中的规范参数，大幅度减少参数的重复输入，实现了高效的水力计算。由于计算数据直接与项目机电模型关联，因此在进行管线调整时，管道分析结果可

图 17 地下一层两种排风方案的 CFD 模拟排风量对比

随着模型修改实现数据的实时变更，大大减轻因局部机电管线综合的变更而导致手动调整计算的工作量。用 revit 完成水力计算仅需对管道末端、管件族的连接件及阻力系数稍作调整就可正常使用。通过该类模板的积累保存，可轻松复制到往后项目的水力计算。

在项目实施过程中，标准层的机电布置发生过多次管线深化调整，通过直接使用 revit 水力计算工具，为深化设计方案的合理性提供了可靠的理论数据支撑，节省了数据复核时间，一定程度上保证了项目的顺利进行。

上海建筑信息模型技术应用推广中心

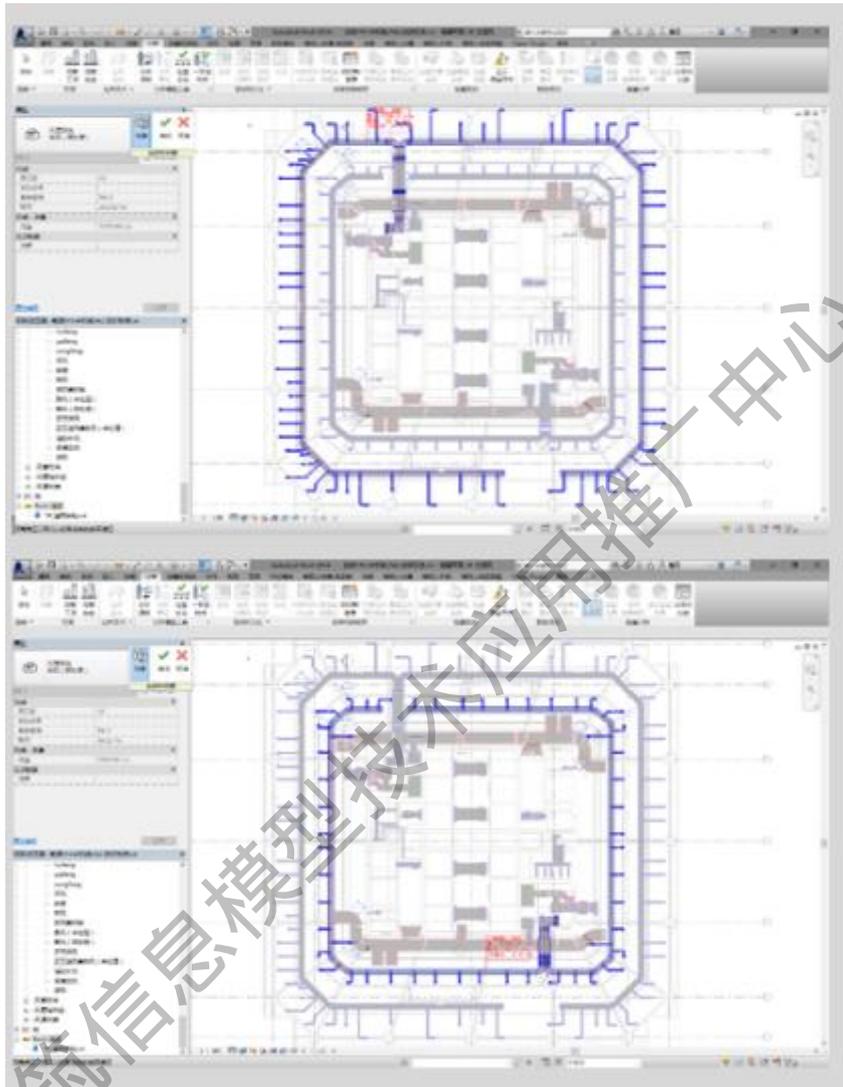


图 18 1 号楼避难层两种水动力计算优化布置

10. 远瞻运维开发的协同平台管理

基于业主的 FTP 云端服务器是整个前滩地区进行 BIM 信息和数据交互的园区协同管理平台。每月月底前，按园区交付标准要求，将各专业最新版的模型和材料统一交由施工总包 BIM 团队整理后上传至 FTP 交互管理平台，至此各参建方进行 BIM 信息交互就通过此平台来完成。

协同管理平台使得所有参与到此项目的单位得到整个项目 BIM 模型的共享，免去了各自用邮件、硬盘下载拷贝文件的繁琐，实现了信息高效传递及信息集成协同工作，很直观地提升了信息传递和管理效率。

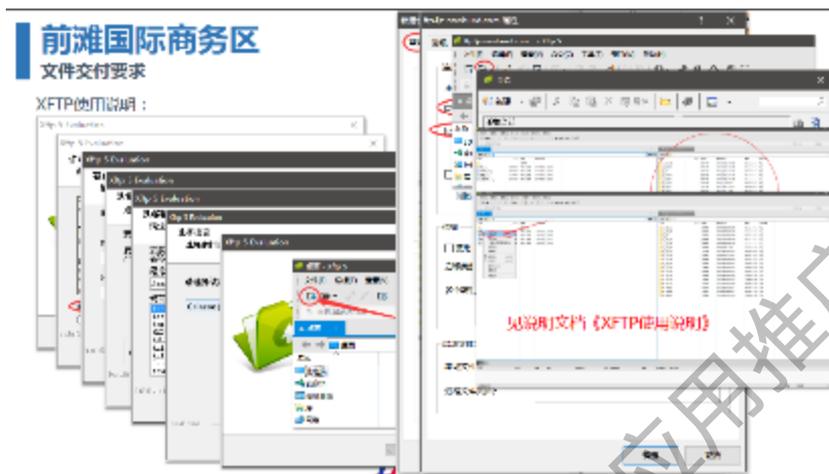


图 192 前滩园区 XFTP 协同平台说明



图 203 项目协同平台日常管理归档

(四) BIM 应用效益及测算方法

1. BIM 投入

本项目业主 BIM 团队费用预计投入 80 万元；施工方土建部分预计投入 40 万

元，幕墙部分预计投入 20 万元，钢结构部分预计投入 30 万元，机电部分预计投入 50 万元，精装修预计投入 10 万元，其他专业单位预计 20 万元。

硬件投入预计 40 万元，软件 12 万元，其他培训、参观和会议支出等预估 0.2 万元。

2. BIM 产出

1) 设计阶段

虽然本项目没有涉及到设计阶段 BIM 应用，但在施工阶段深化设计时幕墙单位参与了与设计院全面商讨的深化设计，其中：参数化设计减少幕墙面积 150 平方米，节约成本 20 万元；碰撞检查解决 45 处大节点问题，节约成本 60 万元；三维协同设计，缩短设计周期 20 天左右。

2) 施工阶段

施工阶段土建深化，解决问题 18 类共 90 处，节约成本 40 万元；机电深化，解决问题 235 类，节约成本 90 万元；钢结构深化，减少钢材用量 80 吨，节约成本 60 万元。

3) 协同平台

运用协同平台文控体系，管理文档 1600 个，数据 120G，用户 10 个，提高数据管理效率；进度管理，任务信息 385 条，提高任务完成效率；减少文件传递共享时间 80% 以上。

3. 综合效益

整体质量效益，预计减少项目设计变更 30% 以上，消除碰撞 3700 处，预计减少返工量 70% 以上，避免损失共计 300 万元；项目总进度至少提前 40 日历天，总时间减少 3%，产生效益共计 270 万元；节省材料共计 100 万元，节约运营成本 80 万元；工程量计算与投资总量误差 0.5%，缩短预结算时间 15 天左右；

(五) 应用推广与思考

1. BIM 应用推广经验与收获

本项目自开工以来，BIM 技术也推行两年之久，在这一段时间里，本项目各参建方也基本都是跟随上海市住建委的指导，一步步经历了一个从无到有，从有到

精的磨合、历练的过程，其中所学虽小，但无疑对于本扎根于传统建筑领域的项目技术和管理人员是一种全新的认知，是一堂必学的课程。

本项目作为前滩园区推行和实施 BIM 技术的领航团队，对于 BIM 运用在现场施工领域中的理解和认识上有了以下的几点思考和经验：

1) 统筹协调好各方参与团队，发扬所长，协同管理

一个大型公建项目涵盖了包括建筑、结构、电气、给排水、园林等各行各业，各参建方也是多方多面，每个专业每家公司都有其独特的专业背景、技术支撑和管理模式，不能一概而论。

园区推行 BIM 技术初期，制定的一套实施标准里要求，统一采用 Revit 作为标准配套软件。然而在项目实际建设过程中，不断包容了不同的分包单位使用各类其他建模软件，例如：钢结构使用的 Tekla，幕墙使用 Rhino 等。虽然统一配套软件以后，可以大大方便信息数据的标准化和协同化，再者也避免了不同软件使用过程中的信息传递困难、数据丢失等问题，然而对于像钢结构、幕墙这样需要做精细化深化设计的专业，可能比较大众化的 Revit 建模无法满足其办公要求，或在某一方面的数据表现上不太理想。

BIM 是一类信息数据化软件的统称，我们应当是在各个专业的信息交互问题上找到一个平衡点，发挥各类专业软件所长，以满足实际生产为目的，实现项目体各方收益平衡，共同推进 BIM 技术的普及化。

2) 严格控制模型的时效性和精确性，确保二维三维图纸一一对应

在施工端推行 BIM 建模和运用有很多的局限性，其中莫过于模型更新的滞后性，三维模型的细节建模不到位。

施工阶段建模是一个由平面图纸翻成三维模型的纯体力劳动过程，无论是从设计方发出新版变更也好，还是在三维建模过程中发现问题再提出与设计方交涉也好，经过的是一个漫长的反射弧。这个过程少则一星期，多则两三月，过程中可能丢失大量细节性的描述和信息，这是其一。

再者，现在施工方参与建模的人员大多都不是专职于 BIM 技术岗位，也是兼职接手 BIM 工作，很大程度上不能保证图纸与模型、模型与现场信息的实时反馈，更难以确保模型的准确性和精细度。

所以需要项目现场从事 BIM 工作的技术人员合理分配工作重心，平时养成发

现问题就记录在案的好习惯，发现问题及时反馈答疑，收到变更及时更新模型，尽量避免工程遗留问题，提高办公效率；同时，业主方和管理单位等需严抓进度，督促设计存疑问题及时交互反馈，在协调满足各方需求的前提下，保证模型的时效性和准确性。

3) 促进各方各条线沟通交流，实现全员 BIM 的施工管理和运作

虽然本项目已通过 BIM 技术的运用取得了一定成效，但其过程也着实非常坎坷。从传统的二维图纸直接迈入三维的深化模式，跨入信息化的管理模式，其跃进不可谓不大，对于一线的操作人员而言，这些技术管理的革新是陌生的，是难以理解的。本项目虽然从项目开展伊始就非常注重对于基层管理人员、班组技术人员的普及性知识教育，但对于实际生产班组人员甚至是大多数项目管理人员，BIM 还只是停留在一个立体模型的认知范畴，一个项目上也仅有少数人会在日常生产管理中运用 BIM 来解决问题，这使得大量的 BIM 投入所应该产生的效益也仅仅只能有这一小部分人能创收。

所以我们深刻的认识到，我们需要由业主方、管理公司带头，指导其他各参建方领导班组的思维导向，促进项目主要技术骨干参与日常 BIM 的学习和使用，使得 BIM 概念自上而下普及革新。同时，在每次的管理例会和交流会上，我们也邀请各方一起来探讨现阶段 BIM 技术存在的问题，以及如何更快更高效地去解决问题，从而真正让 BIM 技术成为一种工具，掌握在每一个项目人员手中，而不再是一项专科，为少数人所用。

2. BIM 应用过程中的技术难点和需求

项目在 BIM 实施过程中，亦是发现一些亟待解决的技术难点和需求。

1) 不同软件交互整合过程中信息丢失问题

本项目鉴于各专业建模软件的着重点和优劣性不同，尝试采用不同的软件进行不同专业的建模。其中，在幕墙专业使用传统的 Rhino 系列软件自身不带有导出 ifc 共享参数文件格式的功能的情况下，试采用插件导出的 ifc 文件整合到平台时，有一定模型、材质等不同程度的构件、信息缺失，影响模型的使用。

Rhino 系列软件相较于 Revit，曲面功能更为强大，更适合幕墙专业使用，故此问题较难从改变软件的选用习惯上进行解决。

2) 施工模型向运维模型的过渡过程难度大

一般情况下，业主方要求的施工阶段模型的精度要求是越高越好，而后期运维模型则需相应进行简化。此过程有时却不仅仅只是一个删除构件删除属性信息的过程，可能还会根据运维开发要求去采集和补足在施工阶段一些不必要的参数信息，这一阶段的工作量更能引起争议。

所以希望可以较为平滑过渡的指导性文件或章节来参考，约束前后两阶段的工作量界定以及衔接，使得 BIM 简化和交接的部分能顺利进行。

3. 总结

本项目开展并推进 BIM 技术至今，所取得的实际意义上的成果有目共睹，但其隐藏的更值得发掘的价值和带来的潜在的收益更是不可估量。本项目仍会持之以恒地坚持上海市住建委的指导方针，坚持在 BIM 方向的实践和努力，希望能够成为促进前滩园区，乃至整个行业 BIM 技术发展的标杆性工程！

七、上海市青浦区赵巷镇新城一站大型社区 63A-03A 地块项目

(一) 项目概况

1. 项目背景

本工程位于青浦新城东部，距离人民广场约 42 公里。项目属于上海市青浦区新城一站大型社区的规划范围，基地北侧是城市次干道规划四路，南侧是北淀浦河路，东侧是规划五路，西侧毗邻配套学校，项目总用地面积 27938.2 m²，拟建 8 栋 16-18 层装配式住宅（其中 8#楼裙房为社区和商业配套）、一座地下车库、一座垃圾房和一座变电站，总建筑面积 83218.35 m²，其中地上建筑面积 56917.49 m²（其中计容面积为 55873.69 m²）。

表 1 上海市青浦区赵巷镇新城一站大型社区 63A-03A 地块项目概况

上海市青浦区赵巷镇新城一站大型社区 63A-03A 地块项目概况			
序号	项目类型	保障房、商住、商业	
1	投资总额	10 亿	
2	投资性质	社会投资项目	
3	建设规模	总建筑面积 8321.35 m ²	
4	项目当前监管阶段	现场施工	
5	承发包模式	设计-建筑（DB）	
6	项目参建单位	业主	上海宝悦房地产开发有限公司
		设计	华东建筑设计研究院有限公司
		监理	上海建科工程咨询有限公司
		咨询	上海紫宝住宅工业有限公司
		施工	浙江宝业住宅产业化有限公司
		软件	内梅切克软件工程（上海）有限公司 欧特克软件（中国）有限公司



图 1 宝业爱多邦效果图

2. 项目建设特点

1) 采用可复制可推广的创新 PC 结构体系—叠合板式混凝土剪力墙结构体系

叠合板式混凝土剪力墙结构是由叠合式墙板和叠合式楼板，辅以必要的现浇混凝土墙、边缘约束构件、预制梁、预制阳台、预制楼梯等共同形成的剪力墙结构体系。相关预制构件采用工业化生产方式，现场采用机械化的施工方式，通过浇筑混凝土使整个建筑形成一个有机整体。叠合板式混凝土剪力墙结构因其独特的体系，具有更好的整体性，优异的防水性，预制叠合构件生产灵活，边缘约束构件定型化、模数化、标准化，经济优势突出，高质量、低污染等性能特点。

2) 预制构件采用工业化智能生产方式

深化设计阶段利用 Allplan 软件采用参数化设计，利用云端数据库将构件设计图纸以数据形式传输到工厂，工厂由主控计算机读取数据，由自动机械手放线支模，并由全自动流水生产线进行构件生产。实现了从设计到生产环节数据包的无缝传递对接，使预制构件实现工业化智能生产。

3) BIM 信息化管理

在装配式建筑的设计、生产、运输、施工等全寿命周期建设过程中运用 BIM 技术，实现项目信息的无障碍交流，提高工作效率及产品质量。

BIM 协同平台：本项目通过搭建 BIM 协同平台，实现在平台上将项目相关信息进行收集、交换、更新、存储，为建设项目全寿命周期的不同阶段、不同参与方

提供及时、准确的信息，支持项目不同阶段之间、不同项目参与方之间及不同应用软件之间的信息交流和共享。

图纸与文档协调管理：利用计算机等辅助输出设备，在同一平台上观看三维图纸和文档资料，更加方便现场施工。且所用图纸均在同一平台上，任何一方均可在第一时间了解图纸更改信息，方便沟通，避免图纸信息不对称造成的损失和不便。

快速统计工程量：借助 BIM 模型，快速、准确完成项目工程量信息的统计，大大提高财务和采购部门工作效率，同时，即时、准确的成本变化评估，为决策层调整制定战略决策提供强有力依据。

3. 项目建设难点

1) 础开挖深、难度大：普遍开挖深 6m，局部车库区域开挖深 8m。

2) 施工场地狭小：钢筋、木工加工场地无法固定设置，材料堆放场地紧张，需使用 BIM 手段合理布置场地。

3) PC 结构施工节点复杂：钢筋绑扎、穿插难度较大；截面尺寸大，自重大，模板支撑体系要采取特殊措施；砼亦属于大体积砼施工，对施工作业专业人员技术要求高 BIM 需前置大量的工作。

4) 工期要求紧，质量要求高：必须使用信息化手段组织协调好工期、安全与质量的关系，采取具体措施，确保对约定工期的实现。

5) 科技创新、新技术应用多。

6) 信息量大、参建方多且跨地域，有效传递难度大。

(二) BIM 技术应用概况

1. 工程范围：

8 栋单体装配式住宅（其中 8#楼裙房为社区和商业配套）、一座地下整体车库，总建筑面积约 8 万平方米。

2. 应用阶段：

本项目从设计、生产、施工等阶段探索 BIM 技术的探索应用。

选择理由：基于集团全产业链优势，结合在建 BIM 系统应用平台，能高效协调集团公司各参建单位。

3. BIM 技术实现目标：

工期：项目整体工期比计划工期节约 10%。

成本：减少图纸问题变更导致的成本增加，大幅减少施工浪费，做到项目精细化管理。

质量：避免项目返工 95% 以上，达到验收一次合格。

绿色建筑：降低现场能耗，严格控制现场环境污染。

提高生产力：智能化管理现场。

4. 组织架构

宝业集体上海公司旗下拥有房地产开发企业、BIM 咨询团队、结构深化设计团队、预制构件生产加工厂、施工企业等多个子企业。各企业之间具有良好的沟通协调能力，从而保障了 BIM 在以业主为主导的模式下顺利开展实施。

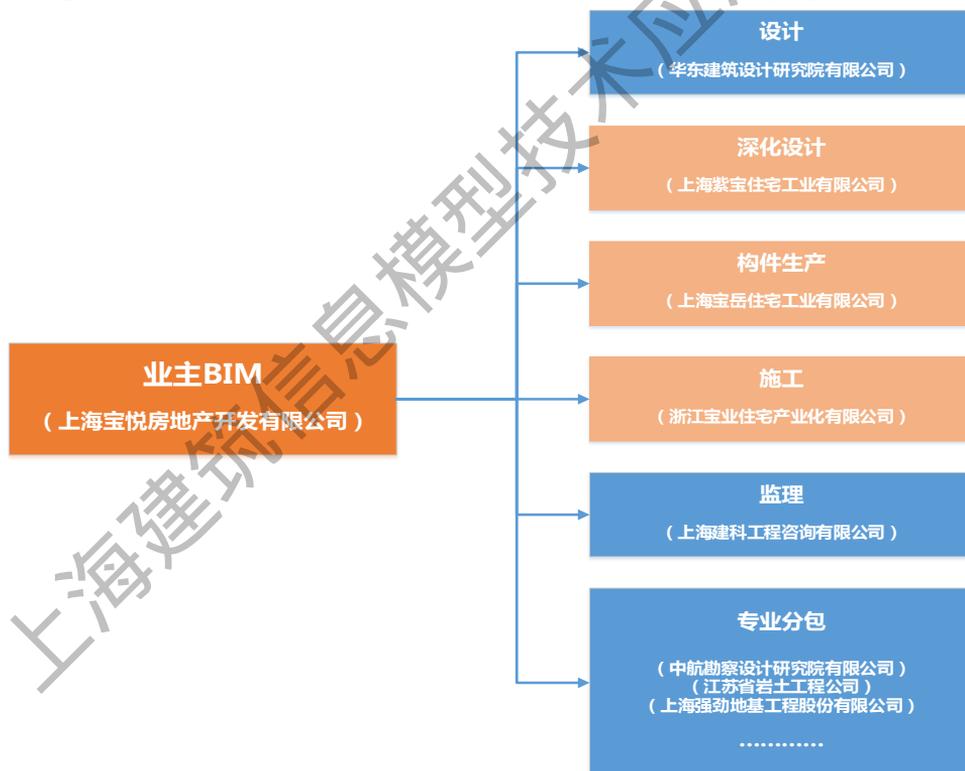


图 2 组织架构图

5. 人员配置

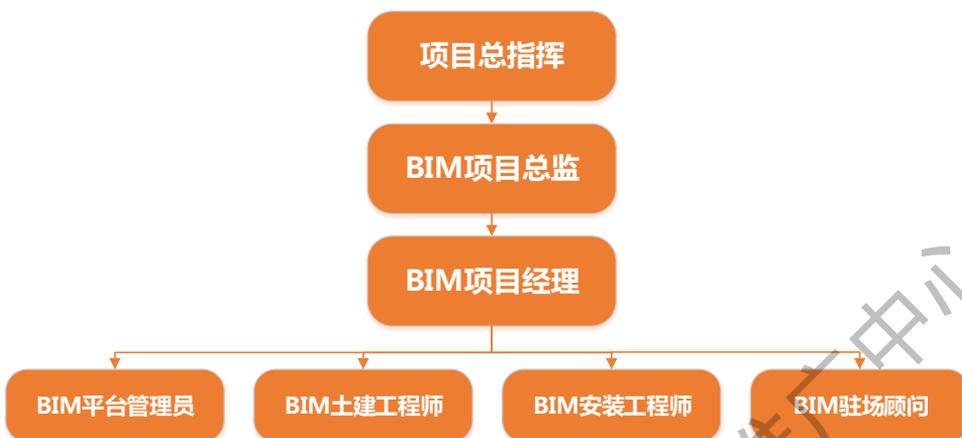


图 3 人员配置图

管理层

表 2 管理层人员配置

角色	人数	BIM 参与工作
项目总指挥	1 人	BIM 全员参与推进工作的最高倡导者，提供 BIM 协同平台建设的全方位支持
BIM 项目总监	1 人	技术掌舵者，为 BIM 协同平台建设提供资深专业指导意见
BIM 项目经理	1 人	指导开展各项 BIM 工作，统筹 BIM 实施进度

实施层

表 3 实施层人员配置

角色	人数	岗位职责
BIM 平台管理员	1 人	负责 BIM 应用系统、数据协同及存储系统、构件库管理系统的日常维护、备份等工作；负责各系统的人员及权限的设置与维护等

BIM 土建工程师	3 人	协助项目负责人完成从方案到施工图阶段的建模及施工图制作；搭建 BIM 建筑信息模型工作，独立完成各专业建筑构件的建模等
BIM 安装工程师	3 人	配合项目需求，进行 BIM 管线综合、节能分析、可视化设计、室内外渲染、虚拟漫游、建筑动画、虚拟施工周期、工程量统计等应用技术
BIM 驻场顾问	2 人	负责项目现场 BIM 实施的技术指导和进度跟踪；BIM 模型的数据维护等

6. 基于 BIM 的协同流程

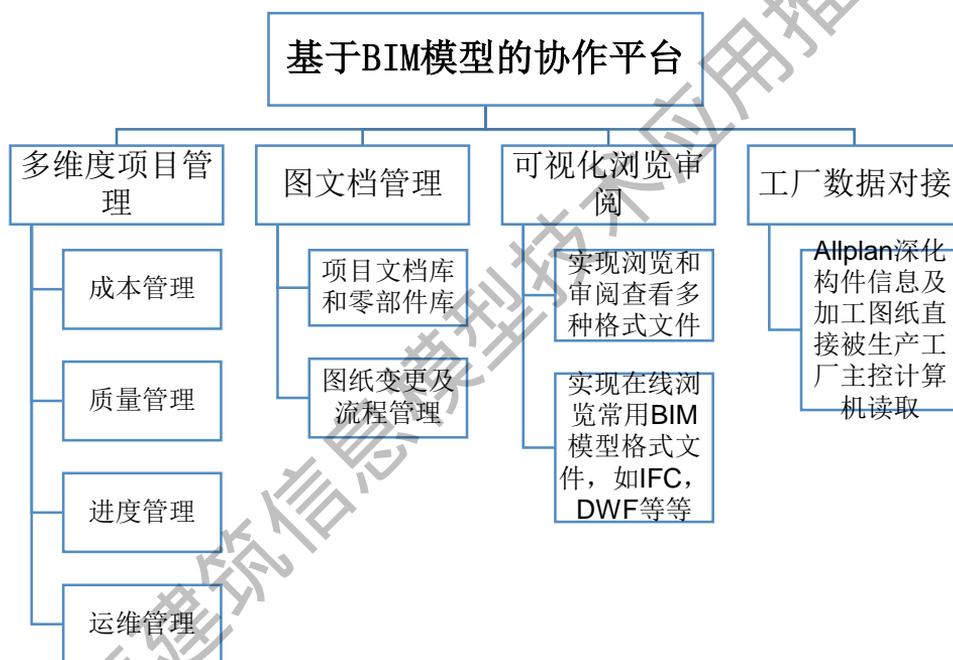


图 4 基于 BIM 的协同流程图

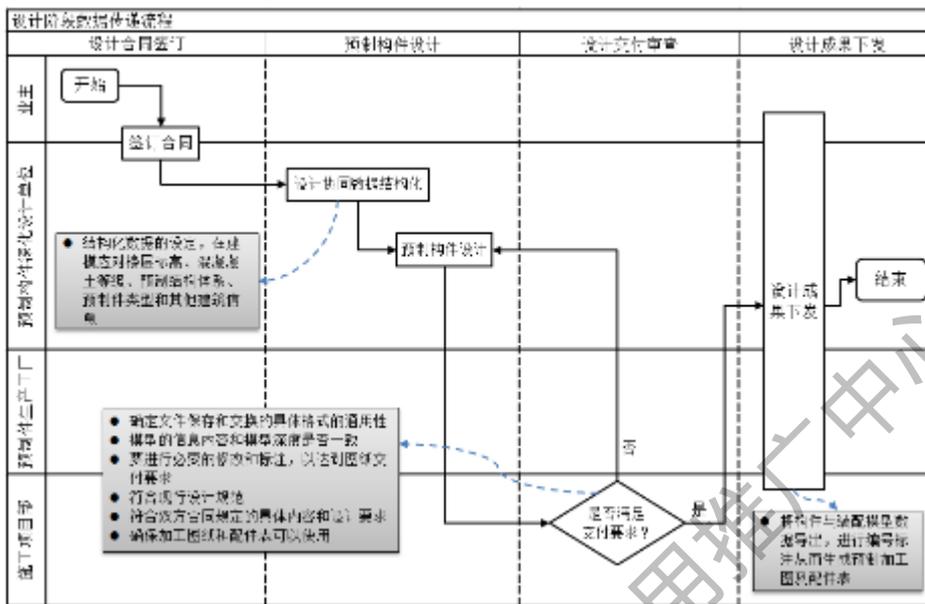


图 5 设计阶段工作流程图

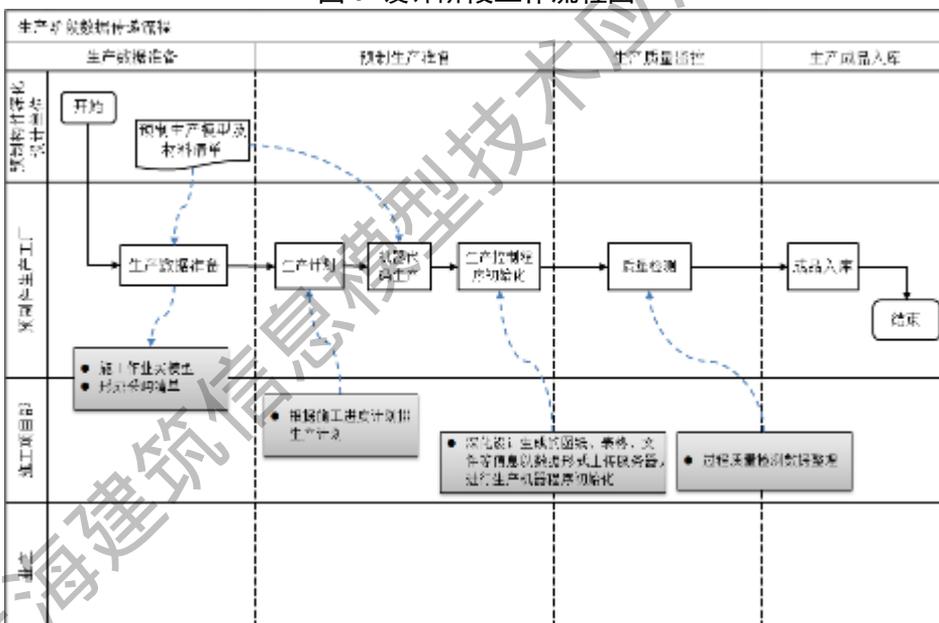


图 6 生产阶段工作流程图

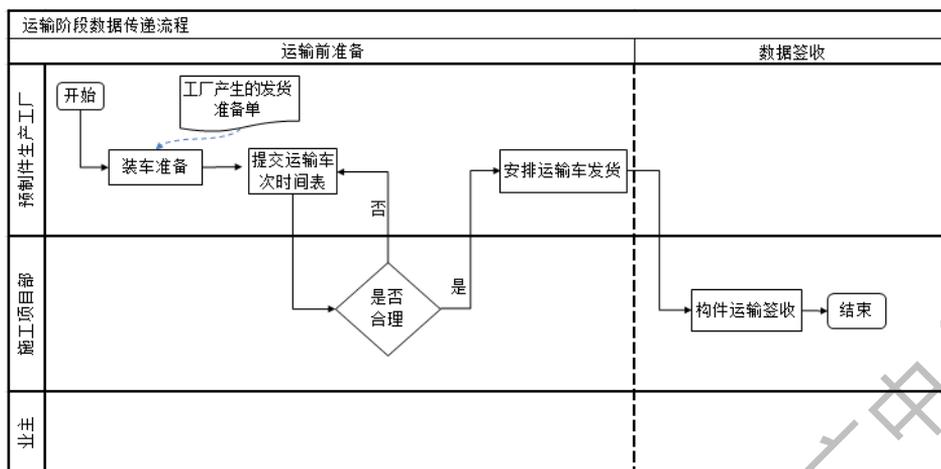


图 7 运输阶段工作流程图

7. 应用阶段和应用项列表

表 4 项目实施总体计划表

项目 BIM 实施总体计划			
序号	阶段	时间	工作内容
1	调研阶段	2014.8-2014.9	实施方案
2	方案设计	2014.10-2014.11	户型分析
3			能量分析
4			建筑外立面方案筛选
5	初步设计	2014.12-2015.1	3D 协调设计
6			辅助施工图出图
7			辅助节点深化设计
8	施工图设计	2015.2-2015.7	深化设计
9			多专业碰撞检测
10			工程量统计
11			预留空洞定位
12			管线综合指导
13	施工准备	2015.8-2015.12	场地动态布置
14			施工进度模拟

上海市青浦赵巷镇新城一站大型社区 63A-03A 地块项目

15			预制构建库加工
16			土方开挖及围护结构分析
17	系统部署 及 BIM 上传	2015.10-2015.11	系统部署、账号、权限分配
18	培训	2015.11-2015.12	BIM 系统应用培训
19			BIM 模型维护培训
20	施工实施	2016.1-2017.7	预制构建库二维码管理
21			复杂节点工艺
22			管线综合指导
23			5D 成本进度审核
24			三算对比分析
25			资料信息集成管理
26	竣工	2017.7-2017.12	量审核配合
27			竣工模型搭建与信息集成

8. 软硬件配置

表 5 软硬件配置表

设备名称	用途
操作系统	Windows 7
应用软件	Office 2010 套装
	Buzzsaw 客户端
BIM 软件	Revit2013 (三维模型)
	Navisworks2013 (仿真模拟)
	Quantity Takeoff (成本计量)
	MagiCAD (机电)
	Xsteel (钢构)
	AutoCAD2013 操作软件
	Allplan (三维模型)

设备名称	用途
	Auto360（性能检测）
域服务器	用于实现局域网“域”管理
千兆交换机	用于实现局域网内千兆到桌面
文件服务器	用于局域网内文件共享
磁盘阵列柜	用于实现局域网内数据存储
磁带机	用于数据备份
UPS	核心设备不间断电源保障
操作工作站	用于创建和维护项目 BIM 局部模型
协同工作站（在建）	用于整合和展示项目 BIM 整体模型
移动工作站	用于方便施工现场展示 BIM 模型

(三) BIM 技术应用成果与特色

1. 性能化分析

通过建立 BIM 三维模型，模拟分析建筑采光、通风、隔声，并对建筑不断优化，提升建筑绿色性能。通过优化设计后，建筑主要功能房间通风开口面积比例大于 8.0%；建筑外窗可开启面积比例大于 30%；建筑构件隔声满足《民用建筑隔声设计规范》GB50118 中高要求标准；冬季建筑物室外风速放大系数大于 2，且除第一排迎风建筑外，建筑迎风面与背风面表面风压差不大于 5Pa；夏季、过渡季（春季、秋季）50%以上可开启外窗室内外表面的风压差大于 0.5Pa，建筑的立面压差有利于自然通风，满足《绿色建筑评价标准》中相关要求。提高了建筑的舒适、绿色、安全及合理性，充分体现“以人为本，因地制宜，绿色可持续发展”的设计理念。

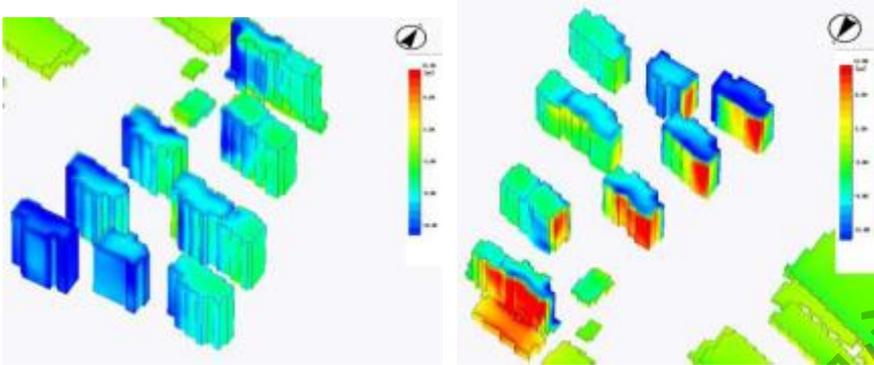


图 8 冬季风压分布云图

2. 三维可视化设计

1) 碰撞检查

通过建立 BIM 模型，检查二维图纸中存在的错漏碰缺问题，共发现 10 余处设计错误，管线碰撞 800 处，并得到及时更正，大大降低了后期施工过程中存在的设计变更几率。

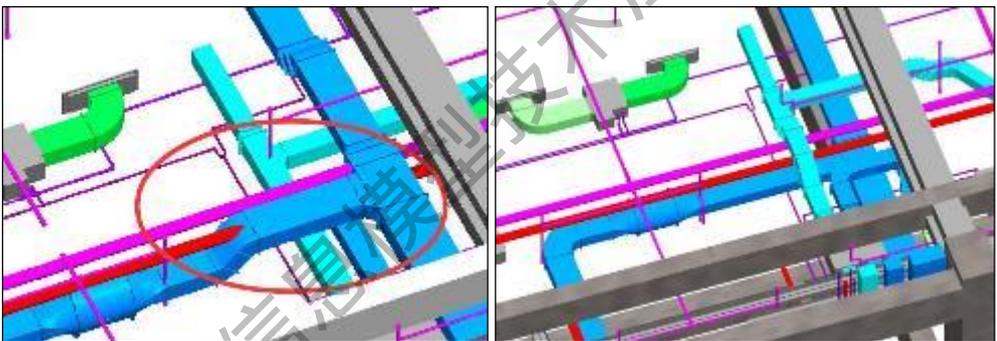


图 9 碰撞检查

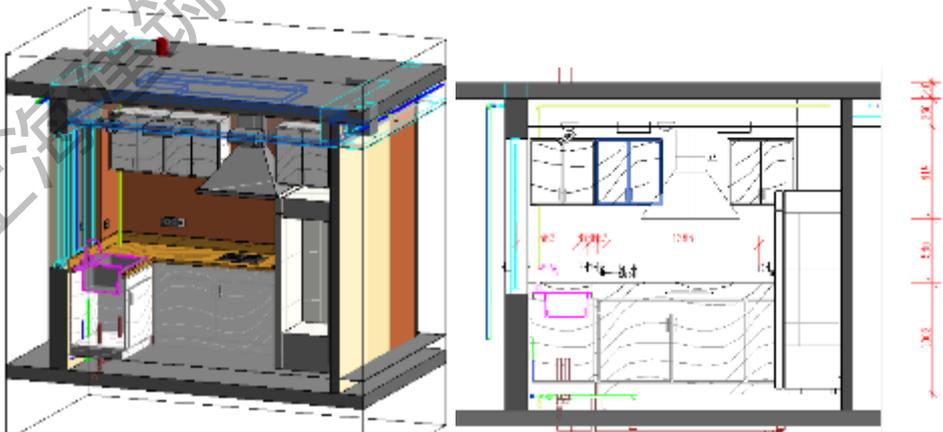


图 10 精装修碰撞检查

2) 管线综合

通过各专业 BIM 模型的建立与整合，进行多专业协同，管线综合排布为后期指导精确施工提供质量保证，有效避免了施工过程中因管线碰撞而造成的返工情况。

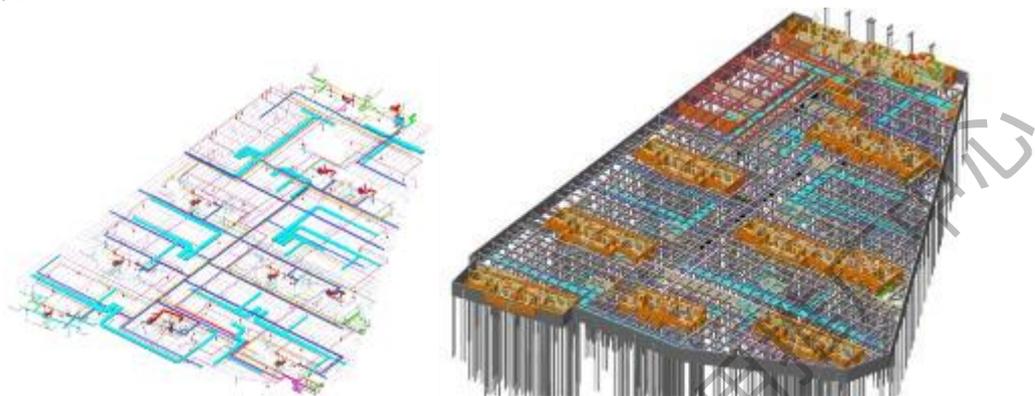


图 11 地下室管线综合模型

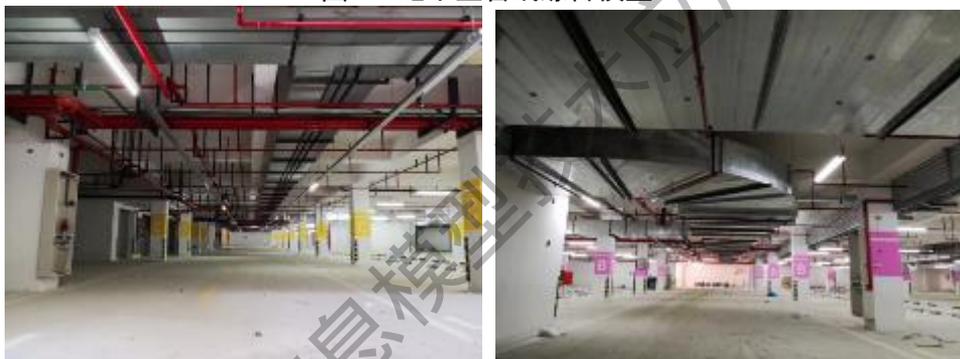


图 12 项目实际效果

3. 基于 AllPlan 的预制构件深化设计

1) 预制组合方案展示

通过 BIM 技术直观地把各个构件拆分展示，定制墙，板，柱，梁，阳台，楼梯，空调板等预制件，更有效地表达了预制方案，从而提高生产质量，提高现场安装效率，最大限度避免图纸出错。

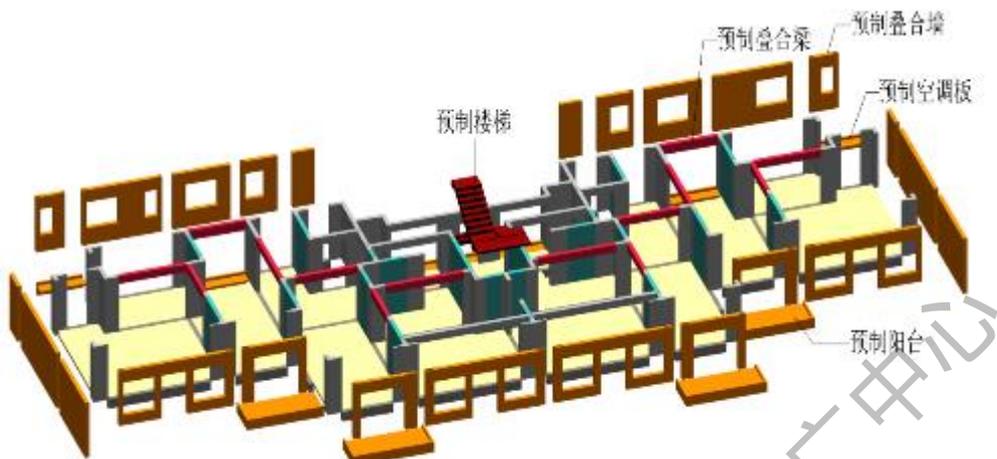


图 13 预制组合方案展示图

2) 预制件深化

预制件深化设计工作有预制件钢筋碰撞检测、内部检查纠偏：各绘制专业间相互穿插检查、图纸变更后的处理方式及纠偏方法：修改变更表，记录变更模型的基本信息，以便查阅。从而最大限度避免图纸出错，提高生产质量，提高现场安装效率。

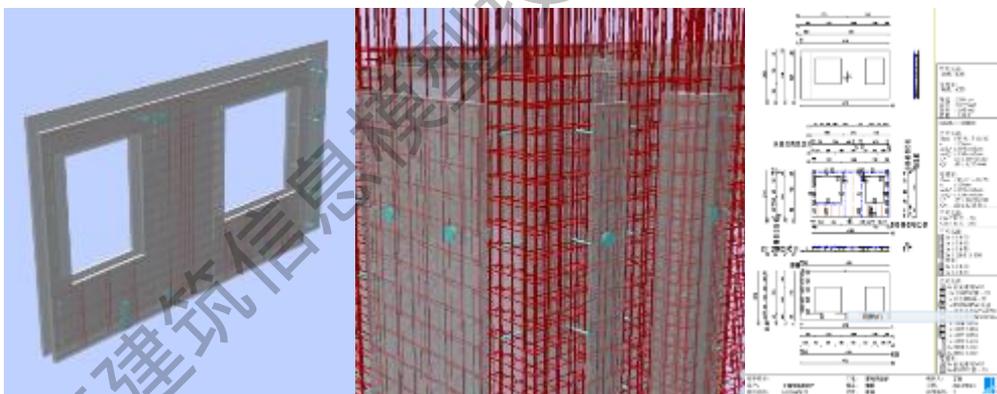


图 14 预制构件深化设计

3) 物料清单输出

预制件自身的物理属性可生成可视化的数据明细表，包括混凝土用量、尺寸表、测量清单、钢筋用量和类型、预埋件型号和数量、堆放清单等信息。通过 ERP 企业管理系统格式从模型中导出数据并与 ERP 系统对接，以便于预制构件工厂根据相应数据清单准确的进行物料采购，进而有效的安排组织生产计划，进行成品堆场整理准备等工作。

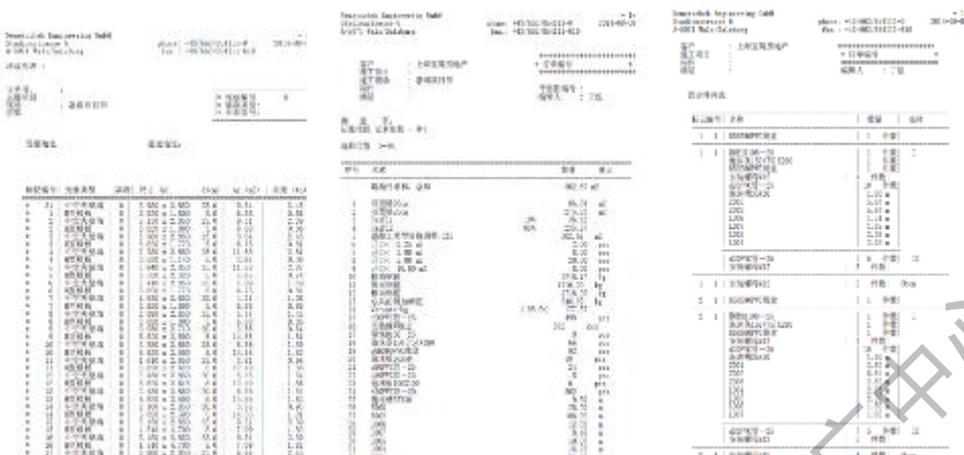


图 15 基于 Allplan 输出的物料清单

4. 预制构件自动化生产

预制构件生产工厂通过生产设备直接读取 Allplan 模型中的构件生产信息，实现预制构件智能化生产，减少传统人工作业产生的误差。通过控制系统能对生产过程的故障、拖延、非正常进行有效的监控，及时反映，避免人为问题。自动总结各种产品的生产效率与人工，提高生产管理效率。

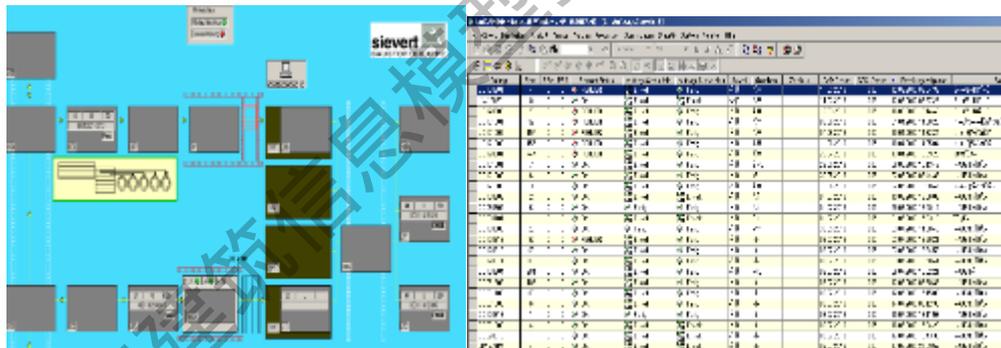


图 16 Allplan 模型中读取的生产信息



图 17 预制构件智能生产

5. 运输方案模拟

通过建立 BIM 模型，在预制构件装车前，模拟预制构件装车方案，通过优化调整，提升车辆运输效率，降低运输成本。

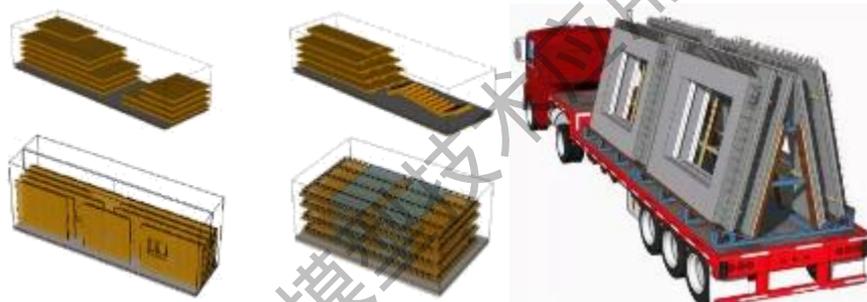


图 18 运输阶段装车堆放优化模拟示意图

3.6 施工场地布置

利用 BIM 技术建立场地模型，合理规划现场临建、预制构件堆场位置，提高场地利用率，节约用地资源；通过科学合理布置塔吊位置、预制构件堆放位置，提高现场吊装效率；合理规划场地内运输车辆进出路线，避免现场施工产生问题。

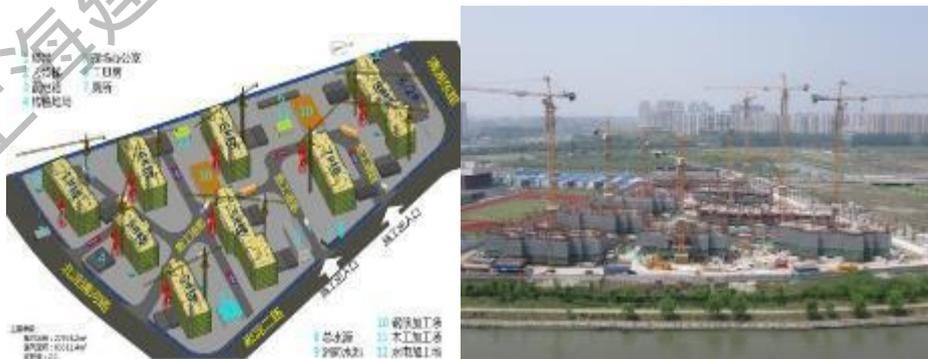


图 19 场地布置图



图 20 群塔作业分析

6. 施工指导

1) 复杂节点三维展示

通过对机房、结构连接节点等关键部位和节点三维展示，辅助施工方案技术交底，提高了工人现场施工质量与效率，避免施工过程中因施工不当造成材料浪费。

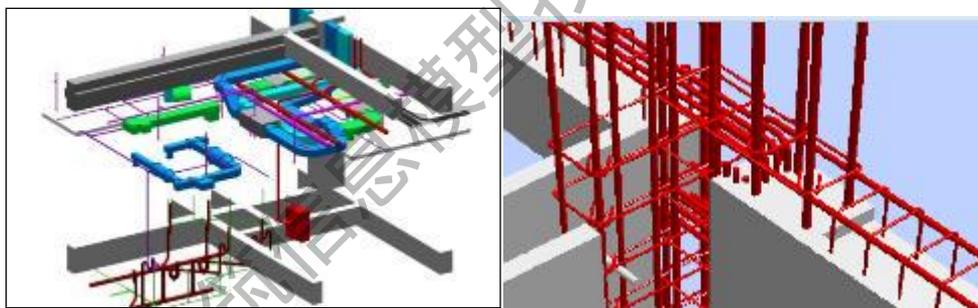


图 21 复杂节点三维展示图



图 22 模型出图指导施工



图 23 BIM 模型与现场对比图

2) 复杂施工工艺 4D 演示

4D 施工模拟技术可以在项目建造过程中合理制定施工计划、精确掌握施工进度，优化使用施工资源以及科学的进行场地布路，对整个工程的施工进度、资源和质量进行统一管理和控制，以缩短工期、降低成本、提高质量。



图 24 施工模拟图



图 25 预制构件安装模拟

7. 协同管理平台

将基于 Allplan 深化设计图纸导入宝业集团 BIM 信息化协同平台，支持预制构件自动编号、生成物料报表信息、生产计划查询、构件信息查询、物流管理等信息，对预制构件生产订单、备料、生产、堆放、运输、安装施工、问题跟踪等流程进行实时监控管理，有效控制原材料利用效率，预制构件生产质量，充分发挥预制构件运输车辆的运输效能，提高 8.6% 以上运输效率。同时，大大提高了参与各方的沟通效率。在数据权限管理方面，不同的参与方在平台使用过程中拥有不同的权限，既满足协同工作要求，又保障了数据安全。



图 26 BIM 协同管理平台的运用

在预制构件安装现场，工人通过扫描预制构件二维码，就能快速定位预制构件安装位置，极大的提高了现场安装效率，有效避免错误安装造成的返工、材料浪费等问题。

(四) BIM 应用效益及测算方法

1. BIM 投入

表 3 项目 BIM 应用投入情况

序号	费用投入项	投入资金/万元
1	BIM 软硬件采购费用	205

2	BIM 顾问费用	20
3	设计方 BIM 费用	60
4	施工方 BIM 费用	120
5	BIM 培训费	10
6	其他 BIM 相关费用	85

2. BIM 产出

1) 提高设计、施工质量

本项目在设计中均建立了三维模型，各专业设计之间可以共享三维设计模型数据，进行专业协同、碰撞检查，避免了数据的重复录入，大大提高设计效率，设计周期缩短 15 天。在施工准备阶段进行管线综合，发现并解决碰撞 800 处，预留孔洞精确定位 1300 余处，有效避免了施工过程中因管线碰撞而造成的返工情况，保障了施工质量。

2) 提高管理效率

本项目依托 BIM 协同管理平台，共产生管理文档 2000 个，数据 122G，在线审批流程 3 个，发出变更单 65 个，发布任务信息 12 条，大大提升了项目参建各方之间的沟通效率。

3) 缩短施工工期

本项目采用 BIM 技术产生的施工方案模拟、复杂工艺模拟、复杂管线排布等视频约 8 个，为项目实施过程中提供科学合理的技术指导，预制构件安装时间缩短 30%，机电管线安装工期缩短 4% 左右。

5) 节省成本

在本项目采用 BIM 技术后，参建各方形成了高效的项目管理效率、提高了施工质量，大幅降低返工几率，缩短施工工期，节约成本。在本项目产生的费用中按每处碰撞费用 180 元，共碰撞 800 个点，直接产生 144,000 元（180 元 X 800）；预留洞按每处 80 元，共 1300 处，直接产生 104000 元（80 元 x 1300），以及项目工期缩短、材料节省、人工减少、变更减少等隐性成本。

3. 综合效益

本项目在 BIM 技术运用过程中，综合效益明显。协同设计提高设计效率，缩短设计周期，减少设计错误发生，有效避免将设计错误传递到施工阶段，减少了后期设计变更所带来的成本增加；BIM 三维可视化设计，提高了项目参建各方沟通协调效率；项目协同管理平台的运用，进一步提升项目进度及质量的把控力度，减少施工工期；工厂智能化生产平台的引入，减少用人成本，同时预制构件产品质量也得到有效把控。

(五) 应用推广与思考

从本项目 BIM 应用情况看，管线综合、碰撞检测、预制构件 BIM 深化设计及智能制造、工厂生产管理平台所产生的直接经济效益最为显著，共计消除碰撞 200 余个，避免损失共计 200 余万元；工期减少 90 天，产生效益共计 180 万元；节省材料共计 40 万元，节约运营成本 60 万元。

本项目采用二维图纸到 BIM 模型再到二维图纸的技术路线，在项目实践中存在以下几点问题：1、各软件数据接口不匹配。2、当前 BIM 软件出图不满足国内制图标准，BIM 模型中导出的图纸仍需人工修改。3、先制作二维图纸，再创建 BIM 模型技术路线，存在加大设计师工作量，在设计院推广难度大。4、BIM 市场行业规范不完善，BIM 技术人员能力参差不齐，BIM 模型质量难以把控。5、项目全流程协同管理难度大。

针对上述问题提出以下几点建议：（1）国家相关职能部门应建立并健全 BIM 模型审查机制，从二维图纸审查过渡到三维信息模型审查。（2）鼓励在设计院推广 BIM 正向设计，增加设计投入，减少施工设计变更带来的成本增量。（3）各大软件厂商应做好软件本土化工作，将国内相关行业标准植入软件，使创建的模型符合国内相关行业标准。（4）完善 BIM 国产软件市场产品体系。（5）各高校和企业应加大 BIM 人才培养力度，解决目前 BIM 人才市场上存在“懂 BIM，不懂专业；懂专业，不懂 BIM”的现象。

综合本项目 BIM 应用实践，管线综合、碰撞检测、平面图纸校核 BIM 应用成本投入相对较低，BIM 产出效果明显，适合大面积推广使用。预制构件智能生产、项目协同管理平台等 BIM 应用设备成本投入大，企业应根据自身情况及未来发展规划进行 BIM 应用的推进。

八、复旦大学江湾校区理工科楼群新建工程

(一) 项目概况

1. 项目基本情况

复旦大学江湾校区理工学科楼群新建工程项目为上海市重大建设项目。项目位于上海市杨浦区淞沪路 2005 号，校区占地 1600 亩，总建筑面积 25 万平方米。复旦大学江湾校区定位为理工科楼，校园内有湖景，分三期建设。一期建设从 2003 年开始，到 2016 年完成。二期建设从 2013 年开始，到 2018 年全部完成。目前复旦大学对二期建设中的八个单体建筑相继开展 BIM 工作，推进 BIM 技术应用。



图 21 江湾校区效果图

根据《上海市建筑信息模型技术应用指南》，策划和编制复旦项目 BIM 实施规划，搭建项目 BIM 实施的组织体系，编制 BIM 实施的软硬件系统配置方案，编制项目建模、应用和验收的标准，形成以交付标准为基础的 BIM 优化实施方案。编制完成《复旦大学建设工程项目 BIM 模型标准（试行）》，在校区各工程项目中统一实施应用。

项目 BIM 技术应用工作根据整体规划，分步实施的原则进行。第一批建筑（化

学楼、物理科研楼、环境科学楼、上海数学中心)目前已经完成竣工验收,处在竣工交付使用阶段, BIM 应用工作主要为建立和完善四个单体建筑的竣工模型,为后期的楼宇运营和管理工作提供空间坐标、数据支撑和信息保障,实行“先行先试、树立标杆”,逐步建立基于 BIM 技术的校区园区运营管理模式。第二批建筑(一号交叉学科楼、二号交叉学科楼、综合体育馆、发育生物学研究所实验动物房)目前处于项目建设施工阶段,运用 BIM 技术,搭建 BIM 组织管理架构并优化工作流程,指导和辅助施工、监理、设计等单位开展工程建设工作,在实践中不断完善基于 BIM 技术的工程全过程管理体系。

2. 工程特点分析

复旦大学江湾校区目前处在规模性建设状态。江湾校区理工科楼群项目由复旦大学基建处负责建设,建设完成后,建筑物交付院系使用并交接给学校的其它职能部门进行日常管理,总务处负责设备维修维保、资产处负责资产维护和盘点、保卫处负责安防安保工作等。

理工科楼的空间功能中,实验室比较多。为适应理工科建筑物的未来空间使用功能的不断变化,需要为实验空间提前考虑改建可实施性、提前预留空间和设备接口。在后续改建过程中需要原图纸档案和设备数据,以备复核利于改造。

以往高校基建管理的传统模式较为粗放,管理精细化程度较低。以基建档案为例,完整的基建档案是学校宝贵的数据资产,是学校各类基建工程项目从规划立项、设计到施工完成并交付全过程中的真实、原始记录,也是学校日后对工程项目进行维修、维护、改造、改建的重要依据,但是基建档案普遍存在不完整、不齐全、资料缺失等问题。

复旦大学基本建设项目秉承“科学决策、程序规范、合理设计、权责一致、运行公开、质量第一”的原则进行建设管理,对利用科技信息化手段提升项目管理非常重视,积极推动 BIM 技术的应用。

复旦大学江湾校区建设项目的特点体现在三个“多”。

1) 项目用途多

复旦大学江湾校区理工科楼群项目涉及到体育馆、物理实验室、生物研究室、综合会议厅等各种用途的空间要求。建筑功能多样化,且各具特点。物理科研楼、

环境科研楼、化学楼、数学中心、一号交叉学科楼、二号交叉学科楼为综合性科研教学楼；除此之外，综合体育馆是上海市唯一的双游泳池，屋面为大跨度可开启钢结构。发育生物学研究所实验动物房为国家重大项目，是我国重要的发育遗传学和生物医学研究和教学基地。

2) 应用模式多

在 2016 年进行 BIM 方案策划并实施的时候，整个理工科楼群已经处于次第建设状态，有的还在设计阶段、有的尚在施工初期、有的已经进入竣工交付阶段。考虑到整个项目进程中不同标段的切入点不同、整个项目对于 BIM 技术应用的认知度不同，以 BIM 技术应用的现实条件为出发点，建设方为复旦大学江湾校区的 BIM 技术应用在“全生命期应用”的大框架下，针对不同项目单体特点及 BIM 介入时的项目状态，针对项目特点进行不同模式的应用。

3) 参与团队多

由于建设体量大，八个建筑单体由不同的承包商负责参与，整个复旦大学江湾校区理工科楼群的和 BIM 技术应用相关的监理单位、设计单位、施工单位、投资监理单位达到近 20 家之多。考虑到 BIM 技术应用“整体规划、分步实施”的大原则，建设方也要求在不同的单体项目上做重点应用，以取得实效为原则，设立标杆，先行先试，再适度推行。

3. 建筑单体介绍

1) 单体列表

表 1 单体应用概况表

基本信息 项目名称	面积 (m ²)	方案设计	初步设计	施工图设计	施工准备	施工实施	竣工	运维
江湾校区化学楼	59410	-	-	-	-	-	√	计划实施
江湾校区物理楼	28998	-	-	-	-	-	√	计划实施
江湾校区环境科学楼	24380	-	-	-	-	-	√	计划实施

上海数学中心	14289	-	-	-	-	-	√	计划实施
江湾校区一号交叉学科楼	32110	-	-	-	-	√	计划实施	计划实施
江湾校区二号交叉学科楼	54853	-	-	-	-	√	计划实施	计划实施
江湾校区综合体育馆	28800	-	-	-	-	√	计划实施	计划实施
江湾校区发育生物学研究所实验动物房	9986	-	-	√	√	√	计划实施	计划实施

2) 典型单体

理科研楼总建筑面积 28998 平方米，地下 1 层，地上 5 层，建筑高度 24.50 米。BIM 工作开展阶段为竣工阶段，以完成一个带有基础运维信息的竣工交付模型为目的进行 BIM 实施，为后期该单体及整个校区的运维管理打下了坚实的基础。该项目 BIM 实施流程分为六个阶段，依次是：创建模型；现场复核；完善模型；数据结构化；录入数据；交付移交。



图 22 物理科研楼渲染图

发育生物学研究所实验动物房项目工程规划占地面积 3045.23m²，总投资 9998 万元。建设内容主要包括发育生物学研究所实验动物房和其配套集中站房，给排水、供电、通信等配套设施以及道路和停车场，总建筑面积为 9989.54m²。实验动

物房为地上 4 层框架结构，集中站房为一层框架结构。考虑到该项目为国家重点项目且建设难度大，项目采用了全过程的 BIM 管理和实施。发育所 BIM 应用将成为学校数字化校区建设的重要组成部分。



图 23 发育所模型截图

(二) BIM 技术应用概况

1. 应用目标

通过 BIM 实施应用强化管理，降低风险，成为业主方项目管理的抓手，提升交付质量，减少变更浪费，降低项目进程中的综合性风险。另一方面，以 BIM 模型为存档，应用于校园建设。通过数字化数据存档，达到长效应用，随时调用的状态。

2. 组织架构

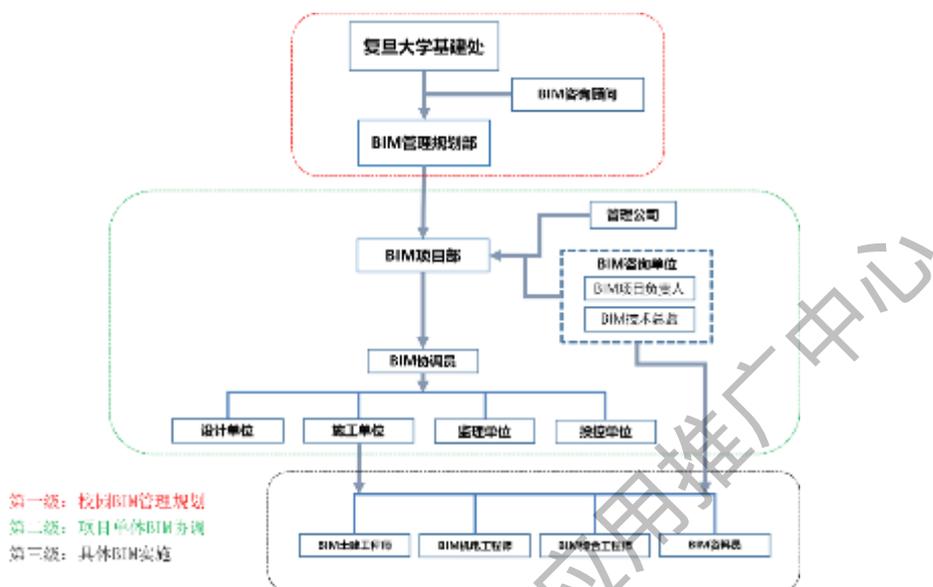


图 24 组织架构图

3. 分工职责

表格 2 BIM 职责分工

参与方	工作职责
基建处	<ol style="list-style-type: none"> 对本项目的 BIM 实施提出要求。 审核 BIM 实施标准和 BIM 实施手册。 审核 BIM 进度计划，并监督 BIM 顾问和各参与方按要求执行。 按需参加 BIM 专项协调会议、BIM 阶段汇报及 BIM 月汇报会议。 协助 BIM 顾问协调好各方的协作。
BIM 咨询单位	<ol style="list-style-type: none"> 对本项目的 BIM 实施进行统一管理协调。 编制项目 BIM 实施手册、实施标准，制定 BIM 工作流程。 提供 BIM 培训（BIM 实施手册、BIM 软件培训等）。 编制 BIM 进度计划，提交业主审核，并根据项目进展情况进行调整。 组织 BIM 专项协调例会，BIM 月例会及阶段性 BIM 例会，对各参与方的 BIM 应用情况汇报作出整体评价。 审核各参与方制定的 BIM 工作计划，对 BIM 工作计划进行总体把控。

	<ul style="list-style-type: none"> 7) 对各阶段 BIM 实施工作进行过程监督。 8) 对各阶段 BIM 成果（模型及 BIM 应用报告）质量进行审核，并填写审核报告单。 9) 负责对项目各阶段 BIM 资料进行收集和整理，保证资料的正确性与完整性。 10) 竣工模型搭建并支撑运维。
设计方	<ul style="list-style-type: none"> 1) 参与本项目 BIM 实施手册的讨论。 2) 制定设计各阶段 BIM 进度计划，并提交业主及 BIM 顾问方审查。 3) 对 BIM 顾问方的审查意见作出回应，并在修改相关内容。 4) 按需参加 BIM 专项协调会议。
施工总包 BIM 团队	<ul style="list-style-type: none"> 1) 参与本项目 BIM 实施手册的讨论。 2) 施工总包应按照经批准的本项目 BIM 实施手册相关内容对专业分包提出 BIM 要求。 3) 按需参加 BIM 专项协调会议。 4) 利用 BIM 模型进行工程量复核，为材料采购及投资控制提供参考依据。 5) 创建施工模型。

4. 工作模式

由于校区新建楼群规模大，且各个项目项目周期不同。BIM 综合实施开始时，部分单体已进入竣工阶段。从 BIM 总体应用规划角度出发，八个建筑单体可分为三种实施模式。1) 竣工实施模式（化学楼、物理科研楼、环境科学楼和上海数学中心）。2) BIM 施工管理模式（一号交叉学科楼、二号交叉学科楼和综合体育馆）。3) BIM 全过程管理（发育生物研究所实验动物房）工作流程如图 5 所示。

1) 全过程管理工作流程

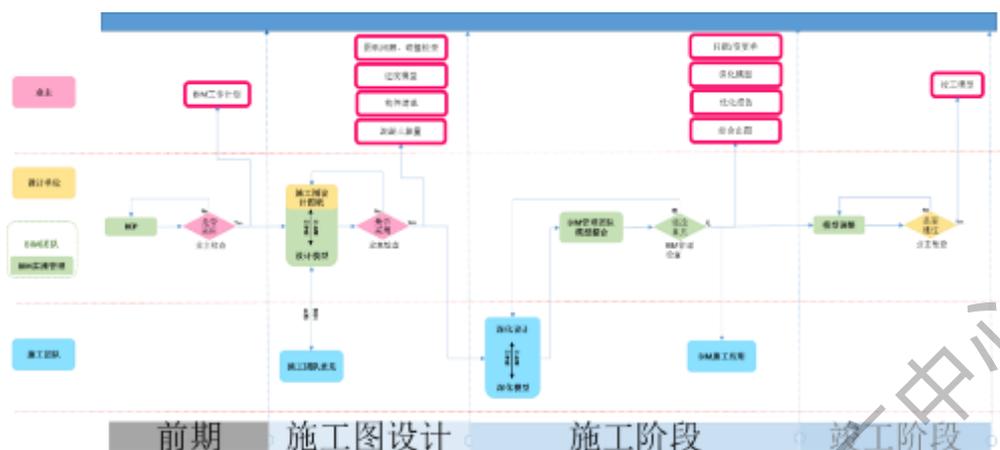


图 25 全周期项目实施流程

2) 竣工实施工作流程

竣工项目由管理公司提供完整施工或竣工图纸、施工单位按 BIM 咨询单位要求提供深化图纸。由 BIM 咨询单位进行实施。

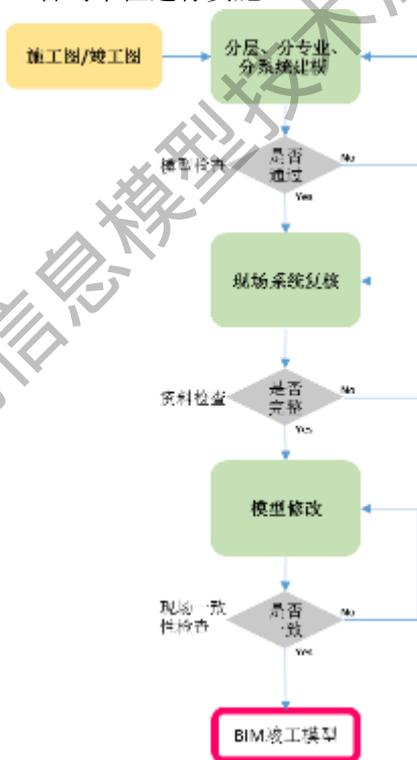


图 26 既有建筑竣工模型搭建流程

(三) BIM 技术应用成果与特色

基于 2017 上海市 BIM 应用指南要求，同时结合复旦大学项目特点来制定项目 BIM 实施应用计划。

表格 3 项目应用计划

阶段	任务名称	任务拆分
目前 期	项目筹备	项目启动
		项目策划
		项目合同拟定
		项目资料整理和熟悉
		项目实施标准制定
		项目实施计划制定
设计 阶段	模型创建	场地建模
		建筑建模
		结构建模
		暖通建模
		给排水建模
		电气建模
	模型核查	土建模型核查和调整
		机电模型核查和调整
	模型检查	模型核查报告
		土建问题集整理
	模型整合	机电问题集整理
		各专业模型整合
	模型管理	模型资料、版本和权限管理
设计协调	问题集沟通和协调	
碰撞优化与净空优化	第一版机电管线综合调整	
	净空分析报告	
施工 阶段	三维平面管理	施工场地布置建模
	4D 施工进度模拟	施工进度视频
	三维施工技术交底	日常协调解决问题
		每周四工程例会现场协调解决问题
		BIM 管线综合协调会
	大型设备安装模拟	与设备供应商商讨需求和最佳方案
		大型设备安装模拟视频
机电管线深化	机电管线综合调整优化	

阶段	任务名称	任务拆分
		管线综合布线图
		各专业管线安装图
		墙体留洞图
	精装图纸配合	简单装修模型建模
		跨专业二次机电协调
		机电模型调整
	管理与监督	管理与监督各分包 BIM 实施进度， 审核 BIM 成果
	协调与更新	依据新版本图纸调整和更新模型
		依据修改单、技术核定单、现场签证 调整和更新模型
依据现场实际施工情况调整和更新模 型		
竣工阶段	竣工交付	竣工模型调整和规范
		竣工模型交付说明书
		BIM 成果交付
运维阶段	运维支持	制定运维模型深度要求
		运维需求调研
		运维管理技术支持

(一) 初步设计阶段

1) 无人机

定期对物理科研楼进行实地信息采集，生成点云模型并与 BIM 模型相结合。完善物理楼与现场一致性。



图 27 物理楼点云模型

(二) 施工图设计阶段

1) 模型创建

基于各专业施工图纸完成模型创建,包括场地模型,建筑模型,结构模型,暖通模型,给排水模型,电气模型。各专业模型标准和深度依据《复旦大学工程建设 BIM 实施管理手册-在建项目》。

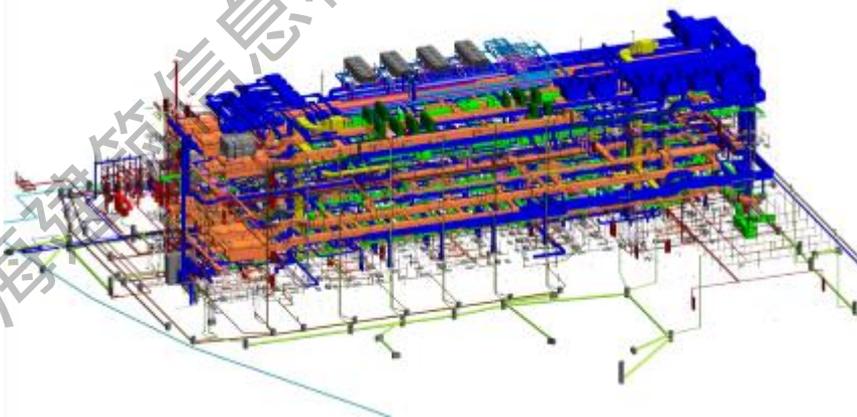


图 28 发育所机电模型

2) 模型核查

完成模型创建之后,对模型的完整性进行了系统的核查并整理发现的问题。对于模型不规范和遗漏问题进行完善,尤其是机电专业模型。考虑到该项目机

电管线是难点也是重点，因此从系统梳理出发到各系统的构件进行一一梳理和完善。

3) 模型检查

基于完成的各专业模型，对各专业施工图表达的信息进行检查，主要检查图纸信息问题、设计表达问题、专业遗漏问题和专业协调问题。通过《问题集》这种书面的模型对相关的问题进行记录和沟通，最终解决的《问题集》形成归档文本由各方盖章确认之后作为真实的设计交底辅助文件，有效的指导施工。已累计解决 112 个问题，遗留 5 各问题需机电分包进场之后协调解决。

A 专业	B 编号	C 状态	D 问题数
建筑（动物房）	发育所-WTJ-JZ-001-20170523	发出/设计院回复/慧之建回复/设计院回复/慧之建回复	9 (FYS-Arc-001 FYS-Arc-009)
	发育所-WTJ-JZ-002-20170918	发出/设计院回复/慧之建回复	14 (FYS-Arc-001 FYS-Arc-014)
结构（动物房）	发育所-WTJ-JG-001-20170426	发出/设计院回复/慧之建回复/慧之建回复	14 (FYS-Str-001 FYS-Str-014)
	发育所-WTJ-JG-002-20170725(设计协调会)	发出/设计院回复/慧之建回复/	4 (FYS-Str-001 FYS-Str-04)
	发育所-WTJ-JG-003-20170918	发出/设计院回复/慧之建回复/	13 (FYS-Str-001 FYS-Str-13)
	发育所-WTJ-JG-004-20171023	发出	5 (FYS-Str-001 FYS-Str-5)
暖通（动物房）	发育所-WTJ-NT-001-20170519	发出/设计院回复/慧之建回复/慧之建回复	5 (FYS-Mech-001 FYS-Mech-005)
	发育所-WTJ-NT-002-20170704	发出/慧之建回复	1 (FYS-Mech-001)
给排水（动物房）	发育所-WTJ-JPS-001-20170519-P1	发出/设计院回复/慧之建回复/慧之建回复	16 (FYS-Plmb-001 FYS-Plmb-013, FYS-Plmb-018, FYS-Plmb-020)
	发育所-WTJ-JPS-001-20170519-P2	发出/设计院回复/慧之建回复/慧之建回复	4 (FYS-Plmb-014, FYS-Plmb-015, FYS-Plmb-016, FYS-Plmb-017)

图 29 发育所问题集管理和统计

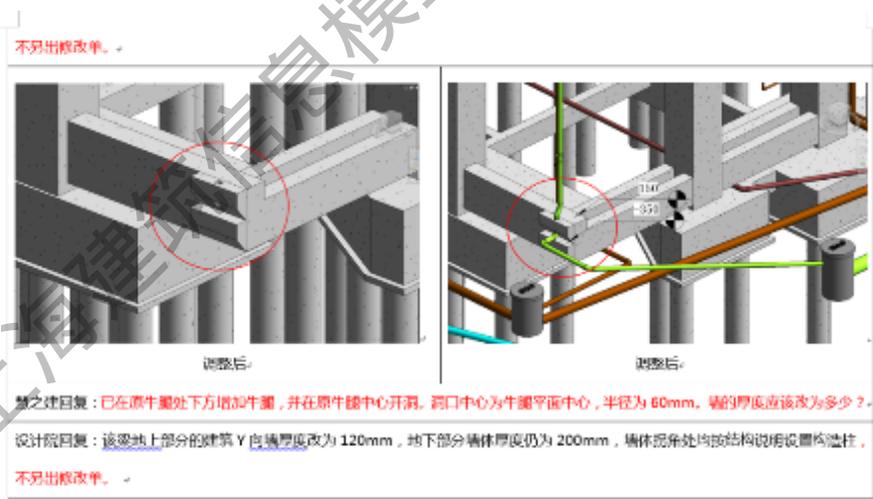


图 30 发育所问题集案例

基于 BIM 咨询单位的核查报告，各方签章确认并形成文本。



图 31 发育所问题集文本打印盖章

4) 模型整合

为便于其它参建方查看模型,基于 NAVISWORKS 进行了各专业模型整合。整合模型由 A (建筑)、S (结构)、M (暖通)、P (给排水)、P (消防)、P (室外管网)、E (电气) 和 Site (场地)。模型中发现的问题也会保存相关的试点, 方便查看和追踪。

5) 模型管理

作为 BIM 管理方,对于图纸版本、模型版本和资料权限进行管理,定期整合和发布最新的整合模型。其中,模型的拆分、模型文件命名严格按照标准,模型版本可通过时间后缀进行追溯,关键阶段的模型单独进行保存。

6) 设计协调

通过前期 BIM 管理组织系统的搭建,过程中不断沟通和磨合,已充分发挥

BIM 的协调能力，使业主、管理公司、设计、总包和监理等参建方沟通更加紧密，信息传达效率更高。

以 BIM 为桥梁，除了《问题集》这种直接沟通的方式之外，还通过邮件、电话、微信等渠道有效的解决设计表达、施工疑问和各方沟通问题。截止目前各专业累计修改单数为 43，各专业变更单数如下表所示：

表格 4 修改单统计表

序号	专业	修改单（个数）
1	建筑	4
2	结构	20
3	暖通	3
4	给排水	5
5	电气	1
6	室外管线	10
合计		43

7) 碰撞优化与净空优化

基于已创建的模型进行第一次管线碰撞检查、管线优化和净空优化，此版管线调整以主管为主，以确保各专业管线安装空间和净高要求。

由于碰撞较多，因此碰撞报告仅对典型的碰撞进行了记录，计划先进行一轮管线优化把明显的碰撞调整掉，先保证管道各专业管线安装空间和净高要求。

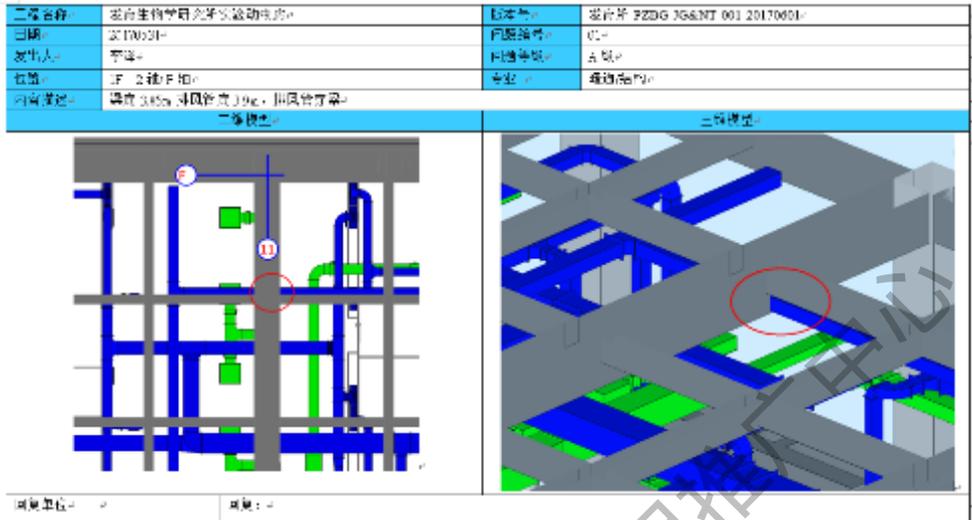


图 32 发育所碰撞报告

管线优化之后完成了净空分析报告，确保满足净高要求。



图 33 发育所净空分析报告

(三) 施工实施阶段

1) 三维施工技术交底



图 34 现场协调&设计协调会



图 35 设计院直接协调& BIM 管线综合协调会

2) 机电管线深化

基于第一版管线优化的基础上，配合施工单位进行管线深化和过道管线排布及二次结构洞口预留。目前已完成一层机电管线深化，导出《发育所 BIM 辅助出图-1F 管线综合布线图》和《发育所 BIM 辅助出图-1F 墙体留洞图》，其中《发育所 BIM 辅助出图-1F 管线综合布线图》包含 19 张过道剖面图。BIM 作为辅助工具，已将发现的问题和目前管线排布的结果发给设计和施工，等设计和施工基本 BIM 管线的排布进行讨论和反馈，最终形成满足现场实际安装条件的机电管线排布。目前遇到的困难是机电分包众多反馈效率不高，有些分包还未进场导致有些管

线位置无法确定。

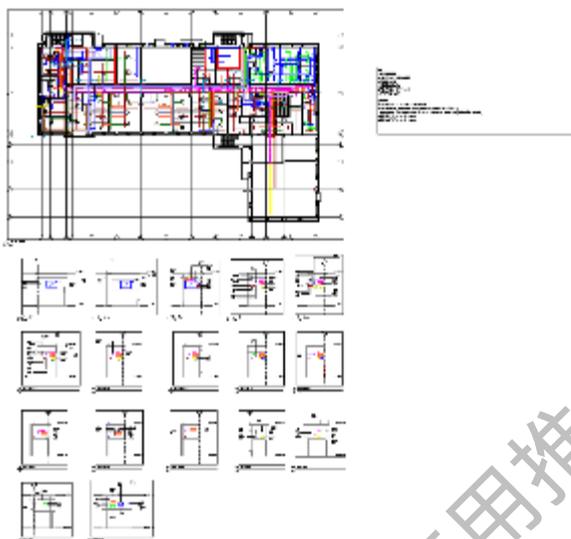


图 36 发育所 BIM 辅助出图-1F 管线综合布线图

3) 协调与更新

该应用点主要针对模型的更新问题，需对模型进行按时更新才能有效的反应问题和辅助现场施工。由于施工过程中，会出现各种变动，因此，模型需整合各类变动并反馈更新到模型中。导致模型更新的变动主要包括以下方面：

- 依据新版本图纸调整和更新模型
- 依据修改单、技术核定单、现场签证调整和更新模型
- 依据现场实际施工情况调整和更新模型

目前该项目已依据两版各专业图纸，43 个设计变更单和数个现场实际施工情况完成模型更新，确保模型的时效性。

(四) 竣工阶段

1) 现场复核

现场检查分楼层分区分房间进行，保证所有空间都能检查到。进入房间后依据图纸或模型与现场进行初步核对，检查是否存在遗漏或是修改的地方。如存在变动，则在图纸上标记并采集照片及视频记录。

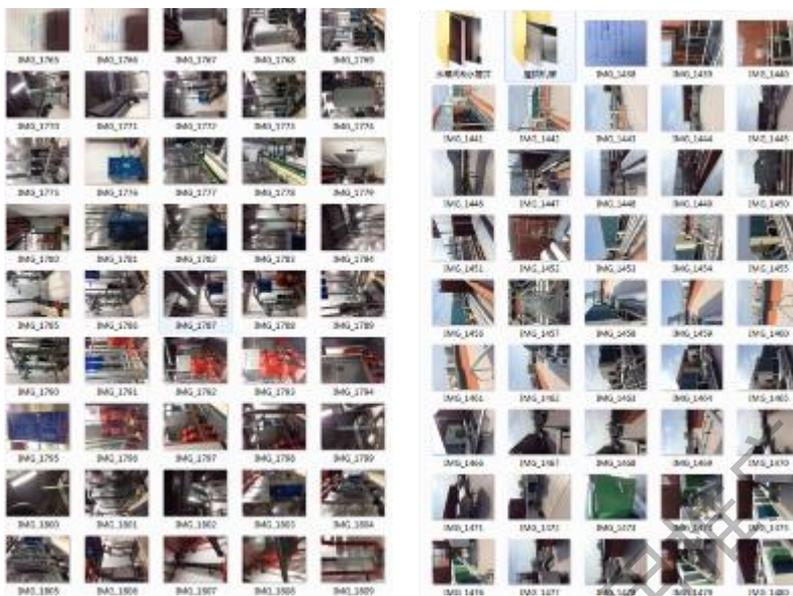


图 37 现场复核照片及视频



图 38 现场复核图纸

现场复核结束后，对当天采集的复核信息进行梳理。文件夹也按照分层分区分房间的规则进行设置。

将现场存在的变动详细记录并存档。



图 39 某实验室的风井隔墙被拉齐



图 40 工具房边增加的台阶



图 41 针对隐蔽工程需要掀开天花查看

复核中制定了一套现场复核要求来保证记录数据的稳定性和准确性。

复核过程中也采用了 3D 激光扫描这样的新技术进行现场测量。根据现场勘察经验，3D 激光扫描适合与比较开放的大空间的测量。其特点是勘察准确度高且没有遗漏。

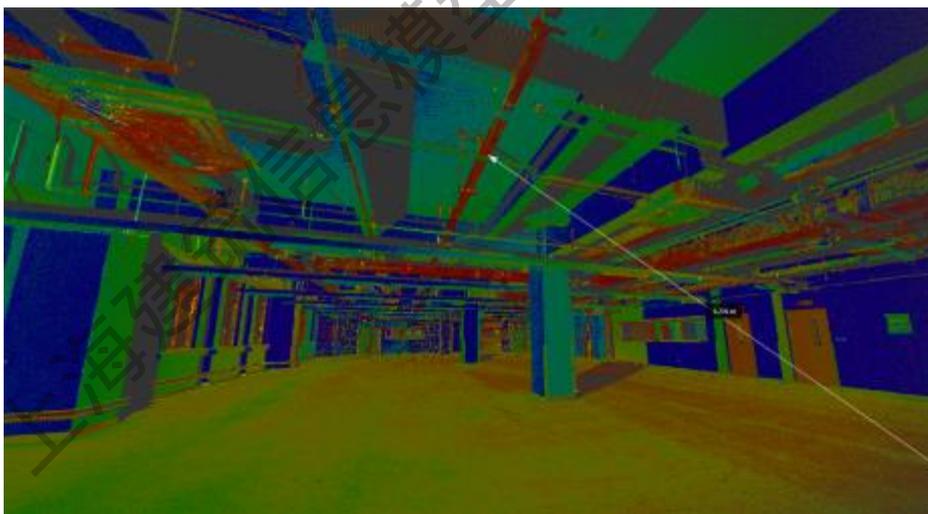


图 42 激光扫描点云模型

2) 模型修改

由于现场复核记录都是按房间进行,当所有照片和视频信息都进行归档后,模型修改可依据归档信息逐个房间进行对照和修改。最后将模型修改与现场一致。

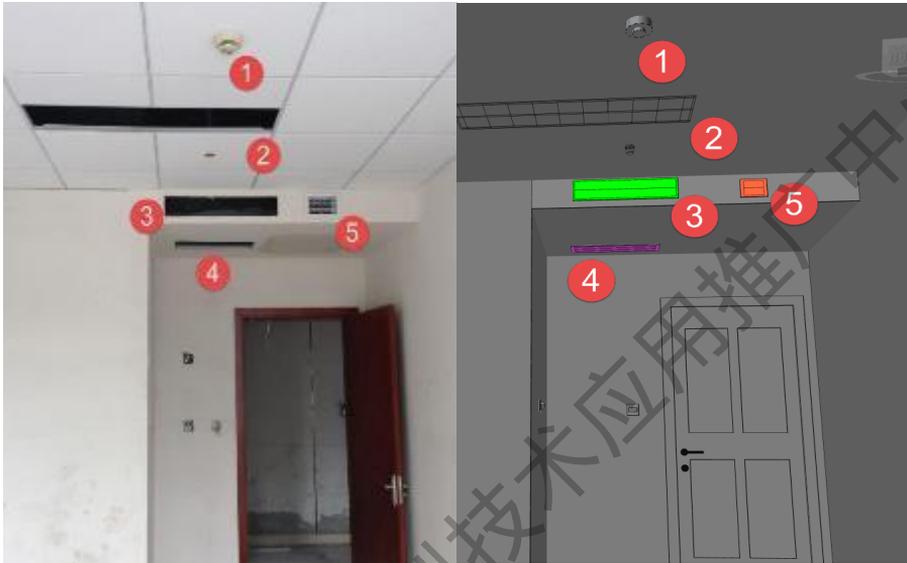


图 43 某办公室现场复核与模型对比

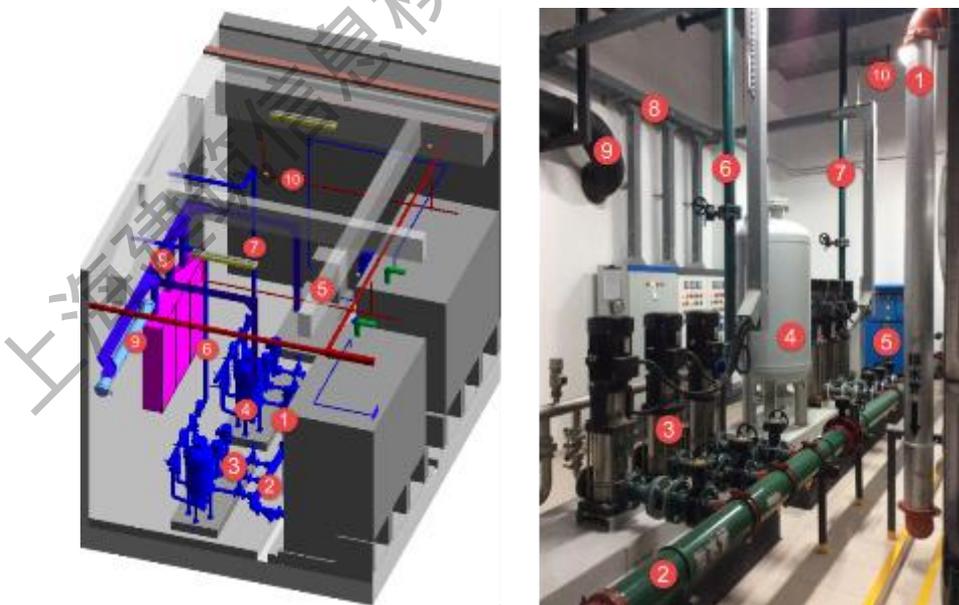


图 44 某水泵房机电与现场一致展示

实际复核中既有建筑已存在的隐蔽工程不能完全被发现或观测到（如天花已封且无法打开，管线埋在墙体中，部分结构梁不可见等），对这些不能复核到的区域需要说明情况。

（五） 运维阶段

1) 运维阶段的规划

随着校区的单体陆续的竣工，数字校园平台目前也从单个单体的数据调用逐步走向校区信息综合平台。目前已初步完成整个江湾校区的模型呈现，不久将实现整个校区的信息查看与调用，并随着调研的不断深入，更多更实用的功能模块也将不断加入到平台中。



图 45 江湾校区运维平台

（四） BIM 应用效益及测算方法

1. BIM 产出

1) 通过邮件、电话、微信等渠道有效的解决设计表达、施工疑问和各方沟通问题。截止目前各专业累计修改单数为 43。

竣工项目

2) 设备及空间管理

目前已竣工单体共累积录入 2213 个设备模型的数据信息。累积录入 2677 个房间信息。模型设备表单与分包提供的设备表单一一进行核对,对每个设备的信息进行整理和完善,拓展信息包括名称、规格、型号、功率、品牌、安装地点等等,确保信息的完整性,准确性和易交互性。

表格 5 运维数据量表

项目	设备数量(个)	房间数量(个)
江湾校区化学楼	1015	1427
江湾校区物理楼	333	510
江湾校区环境科学楼	487	379
上海数学中心	530	361

2. 综合效益

发育所项目通过 BIM 应用提前发现并解决设计问题,这将大大减少施工阶段的返工,提升施工效率与质量。

竣工项目的 BIM 实施在竣工档案提交和验收阶段介入。一方面辅助业主方和施工单位通过基于模型的现场复核查找一些错漏残缺并完善竣工图等资料。另一方面,所有复核资料都妥善保存并修改或录入至竣工模型中,提供了与现场一致的 BIM 竣工模型,完成了复旦大学校方档案馆的要求。

通过在实施过程中不断进行技术的总结与积累,打造基于 BIM 技术的校区运营管理新模式,已带有基础运维信息的竣工模型为基础,助力基于 BIM 的数字化校园建设。

(五) 应用推广与思考

1. 关于竣工模型创建

既有建筑的竣工模型搭建方法目前在整个 BIM 应用体系中还是个空缺。如何制定合理、规范、高效的实施流程与策略需要在不断的实践中总结提升。除了复旦大学江湾校区的四个竣工项目外,慧之建还参与了包括复旦大学邯郸校区及复旦

大学枫林校区的竣工项目，通过累积共 10 个竣工单体的 BIM 实施，总结了一套既有建筑竣工模型创建的实施办法，其中包括实施流程、现场复核办法及竣工模型核查体系等。

2. 关于 BIM 组织模式的思考：

BIM 咨询公司做 BIM 管理，总包及各分包进行具体的 BIM 实施这样的组织方式更加合理有序。这种组织模式可从以下几个方面分析：

- BIM 咨询公司集中做 BIM 管理，分析项目难点和需求，制定合理可执行的 BIM 标准和策划，对 BIM 实施团队的成果进行审核和把控，确保 BIM 成果的质量和应用的目的是。这样比单独一方同时做 BIM 管理和 BIM 实施更加可监督和可靠。
- 对于行业定位来说 BIM 咨询单位所拥有的技能更加侧重。目前，由于大多数设计或者施工单位 BIM 能力偏弱，很多项目都是由 BIM 咨询单位进行 BIM 实施与自我管理。这会一定的影响 BIM 应用的深度和成果。所以目前有许多对于 BIM “无用论”或者“花架子”的误解。相信随着 BIM 的推广，设计和施工单位的 BIM 应用能力逐渐提高，BIM 咨询单位的咨询能力不断专业化，整个组织方式在逐渐往“专人做专事”的方向发展，这也是行业发展的需求和 BIM 可持续发展的必然结果。

3. 关于 BIM 交付材料作为项目依据的尝试

本项目“模型检查”应用点采用《问题集》的形式形成了“BIM-设计-施工”这样能解决实际问题的有效沟通渠道和方式。首先，在工程例会上，由设计牵头认可 BIM 《问题集》可作为设计交底辅助文件，会上各方同意之后采取这种模式。这种模式从 BIM 实施方发现问题编写《问题集》，再到设计回复《问题集》，然后各方讨论，调整和确认，最终的闭合《问题集》将打印盖章作为设计交底辅助文件。这种模式的优点有以下几点：

- 各方形成了认可的可行的沟通问题和解决问题的方式
- 一些微小的调整可直接在《问题集》中进行记录，设计确认即可，可合理的减少设计的图纸修改和变更单数量。
- 施工单位收到由各方盖章的《问题集》，一是很多问题提前解决了，二是这种正式的文件可消除没有施工依据的担忧。

- BIM 在预计问题和解决问题上发挥了实际作用，而且以高效的方式不仅没有增加其他参与方的工作量反而提供了可行有效的解决问题方式，自然 BIM 的应用能得到其他参与方的认可和支持。

上海建筑信息模型技术应用推广中心