

# 轨道交通工程总承包项目智能管控 方法与平台应用研究\*

徐加兵 陈 前 崔力波

(中铁建华南建设有限公司, 511458, 广州)

**摘 要** [目的] 针对轨道交通工程总承包精细化管理落地难、进度管控信息滞后、安全生产监管任务重、数字化移交难以实现等技术难题, 提出一种基于 BIM(建筑信息模型) 的工程总承包项目智能管控方法与平台应用关键技术。[方法] 分析了工程总承包项目存在的主要管理痛点及难点; 按照系统工程与敏捷开发理论进行工程总承包业务需求分析和总体架构设计; 研究了模型轻量化及三维显示、模型与计划自动关联、基于数据迭代的动态施工组织模拟等关键技术; 定制开发了一套基于 BIM 的工程总承包管理平台, 并应用于轨道交通工程。[结果及结论] 所开发的 12 项智能设计智慧建模插件能大幅提高模型质量和建模效率, 且能够较好地解决图模一致性的问题。基于数据迭代的动态施工组织模拟技术能够充分利用实际数据预测工程进度趋势, 提前采取纠偏措施, 实现对大型项目整体工期目标的有效控制。利用派工单对重点作业进行许可审批管理, 综合利用物联网等技术手段规范施工人员、材料、机械设备配置及验收管理流程, 约束参建各方正确履行监督管理程序, 确保执行机制的有效性 & 信息传递的可靠性, 实现项目全过程的数字化移交。

**关键词** 轨道交通; 工程总承包; 智能管控; 建筑信息模型  
**中图分类号** U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.07.045

## Intelligent Management-control Method and Platform Application for Rail Transit EPC Projects

XU Jiabing, CHEN Qian, CUI Libo

(China Railway Construction South China Construction Co., Ltd., 511458, Guangzhou, China)

**Abstract** [Objective] Targeting the technical challenges including difficult implementation of refined management, lagged progress control information, heavy safety supervision tasks, and difficulties in achieving digital handover in rail transit engineering, procurement, and construction (EPC) projects, an intelligent management-control method and the key technolo-

gies for platform application of the EPC projects based on BIM (building information modeling) is proposed. [Method] The main management pain points and difficulties existing in EPC projects are analyzed. Business requirement analysis and overall architecture design for EPC based on system engineering and agile development theories are carried out. Key technologies such as lightweight modeling and 3D visualization, model-plan automatic association, and dynamic construction organization simulation based on data iteration are investigated. The above EPC management platform based on BIM is specially developed and applied to rail transit projects. [Result & Conclusion] The developed 12 intelligent design and smart modeling plugins can significantly improve model quality and modeling efficiency, and effectively address issues of graph-model consistency. The dynamic construction organization simulation technology based on data iteration can fully utilize actual data to predict project progress trends, enabling proactive corrective measures and effective control of overall engineering schedule objectives for large-scale projects. Work orders are used for approving critical on-site operations, and technological means such as IoT (Internet of Things) are comprehensively integrated to regulate construction personnel, material, and equipment configuration, as well as acceptance management processes, constraining all parties involved to correctly follow supervision and management procedures, thus ensuring the effectiveness of execution mechanisms and the reliability of information delivery while achieving digital handover throughout project full process.

**Key words** rail transit; EPC; intelligent management-control; BIM

2020 年, 中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家发展和改革委员会联合印发的(建市规[2019]12 号)《房屋建筑和市政基础设施项目工程总承包管理办法》正式施行。随着工程

\* 住房和城乡建设部科技示范项目(S20200010); 中国铁建股份有限公司科技研发计划项目(2022-C64)

建设项目组织实施方式的改革,我国大型工程项目更多地采用工程总承包模式。然而,大型工程项目的总承包模式比传统小标段项目的管理风险因素要高,因此应建立相对完善的项目管理体系,并采用先进的管理技术。

我国关于工程总承包模式下的项目管理研究大多集中在与传统模式的对比分析、项目管理方法和体系的构建等方面<sup>[1-2]</sup>。近几年来,BIM(建筑信息模型)技术的应用研究备受关注,总体上可分为:①工程信息和系统集成理论及方法研究;②根据项目需求定制开发的BIM管理系统研究,其大多处于试点或研究阶段,且主要用于施工总承包管理;③购买商业BIM软件的应用研究,如BIM5D软件、Navisworks软件等。由于商业平台的应用层次较低,目前BIM软件的应用研究仅限于文档管理、数据填报和模型可视化<sup>[3]</sup>等方面。

综上所述,现有的项目管理系统普遍缺乏信息集成性,与工程总承包的生产管理体系结合较少,仍停留在管理信息系统的层面。基于此,本文提出了一套基于BIM的工程总承包管理方法,重点解决模型轻量化及三维显示、模型与计划自动关联、基于数据迭代的动态施工组织模拟等关键技术问题,并研发了一套基于BIM的工程总承包管理平台,结合实际工程案例验证该平台的应用价值。本文研究对提高地铁工程总承包项目管理水平,推动BIM与生产管理深度融合发展具有重要的意义。

## 1 工程总承包管理业务需求分析

### 1.1 设计建模效率和质量亟需提升

目前,研究人员越来越重视BIM正向设计的研究<sup>[4]</sup>,但BIM模型如何快速生成二维蓝图仍是技术难题。实际工程工期紧,设计出图压力大,因此大多是先出施工蓝图后出BIM模型,采用Revit等常规建模软件完成1 km的盾构区间全专业模型大约需要1个月时间(颗粒度为LOD 400,LOD用于定义BIM模型从概念化时期到运维时期不断深化的细致程度),且图模一致的质量无法保证。如何提高三维建模的效率,如何保证模型质量,以及BIM模型与二维图纸的一致性设计阶段BIM应用的关键问题。

### 1.2 施工进度控制缺乏协同管理工具

工程总承包方通常根据车站和区间分段施工原则对全线进行工点划分,并在全线确定一条或多

条关键线路,然后总承包方以工点为单位,通过开会或发文的形式向工点单位下达总、年、季、月等节点计划并进行过程跟踪。然而,这种以文件传输的非结构化数据难以动态跟踪管理,需要投入大量的人力进行汇总、校核及分析。如何做到动态跟踪计划执行情况,实时分析进度趋势,并能进行快速调整,确保下达节点计划的兑现率是总承包方关心的问题。

### 1.3 安全生产缺乏高效的监管措施

目前,利用视频监控集成、自动化环境监测、关键部位监控等应用研究已趋于成熟<sup>[3]</sup>,然而影响安全生产的因素还包括人的不安全行为、管理缺陷等。大型总承包项目劳务人员往往超过万人,关于如何降低人员的不确定性和风险、如何提高安全检查效率的研究是非常必要的。

### 1.4 数字化交付缺乏技术支撑

小标段项目的竣工验收移交通常费时费力,有的甚至需要耗费两、三个月才能完成工程验收资料的收集整理,大量的非结构化数据资料无法应用于运维。如何确保工程质量验收数据的及时性和真实性,做到工程实体与验收资料同步完成,建立以模型为载体的信息集成交付系统,在提高验收效率的同时满足业主方后期运维管理的资料检索需求,是目前的研究重点。

## 2 基于BIM的总承包管理平台架构

### 2.1 总体设计思路

平台顶层设计上采用“大中台,小系统”的设计理念,充分利用移动终端汇聚工程数据,再以数据迭代驱动项目管理。

### 2.2 整体架构

平台整体包括BIM数据中台、业务应用系统和用户终端三层结构。平台整体架构示意图如图1所示。整个框架基于.Net开发,编程语言以C#6.0版本为主,利用IaaS(基础设施即服务)模式部署在商业公有云服务器集群上,能够实现自由伸缩和快速部署。平台的主要运行环境为Windows操作系统。用户终端通过公共网络实现交互操作。

#### 2.2.1 BIM数据中台

BIM数据中台模块根据统一的工程项目管理数据标准,对各业务应用系统所采集的数据进行汇聚、清洗、存储和计算,在此基础上形成标准化的数据资产,通过公共WebAPI(网络应用程序编程接

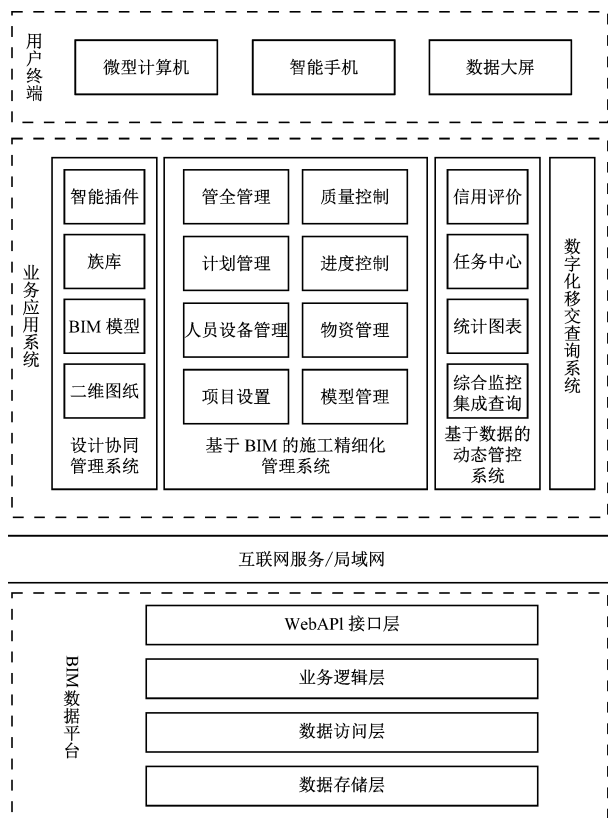


图1 平台整体架构示意图

Fig.1 Diagram of platform overall architecture

口)为项目所有参与方提供标准化数据共享服务。共享服务包括:①数据存储层采用分布式数据库(PostgreSQL 和 MongoDB)持久化存储所有数据;②数据访问层作为业务逻辑层和数据存储层交互的桥梁,用于控制数据的读取及写入;③业务逻辑层主要用于清洗、计算和分析业务数据,包括计算引擎、搜索引擎、模型轻量化引擎、工作流引擎等核心组件;④WebAPI 接口层用于对外发布标准服务,供其他系统调用,实现数据共享。API(应用程序编程接口)与用户通信采用 HTTPs 协议。API 的身份认证采用 OAuth 2.0 框架。服务器返回的数据格式统一为 JSON。

### 2.2.2 业务应用系统

业务应用系统是针对不同项目参与方的岗位职责及工作场景而设计的。每个项目的组织架构、管理制度、流程标准及数字化基础都不尽相同,因此业务应用系统要结合项目实际进行详细设计。采用“大中台,小系统”的设计路线快速响应用户需求变化,大大降低不同工程项目中业务模块之间的耦合度,使得平台具备不断扩展业务功能的基础,而不会越来越笨重。

### 2.2.3 用户终端

用户终端模块包含若干台用户终端操作设备,用户通过微型计算机、智能手机和数据大屏使用业务应用系统,业务应用系统向 BIM 数据中台发送业务请求,以实现多参与方、多终端、跨阶段的信息集成应用。

## 2.3 功能设计

基于上述需求分析和整体架构,平台的功能设计主要集中于四大业务的应用系统。平台的功能设计主要包括:①设计协同管理系统。该系统主要用于项目设计、总包、分包之间的二维图纸、BIM 模型、标准化族库、智能插件的协同管理。②基于 BIM 的施工精细化管理系统。该系统主要提供给分包项目部一线管理人员使用,用于指导精细化施工、规范作业过程和采集施工过程数据。基于 BIM 的施工精细化管理系统功能结构示意图如图 2 所示。③基于数据的动态管控系统。该系统主要提供给建设方及总承包方分管生产的技术管理人员使用,用于随时随地掌握项目建设动态信息,以实现基于动态数据的科学决策与管控。系统功能点主要为综合监控集成、任务中心、统计图表、信用评价等。④数字化移交查询系统。该系统用于竣工验收移交阶段的技术资料快速查询,提高竣工验收效率,降低后期项目的运维管理成本。

## 2.4 系统应用流程

系统应用流程主要分为:

步骤 1 以线路为对象,由总承包方新建项目,分配项目数据权限和功能权限,并设定总体工期计划和地图信息。

步骤 2 以工点(一般为子单位工程)为对象,依据总体工期计划,由总承包方计划管理部门依次按年、季、月下达工点产值目标和形象进度计划。

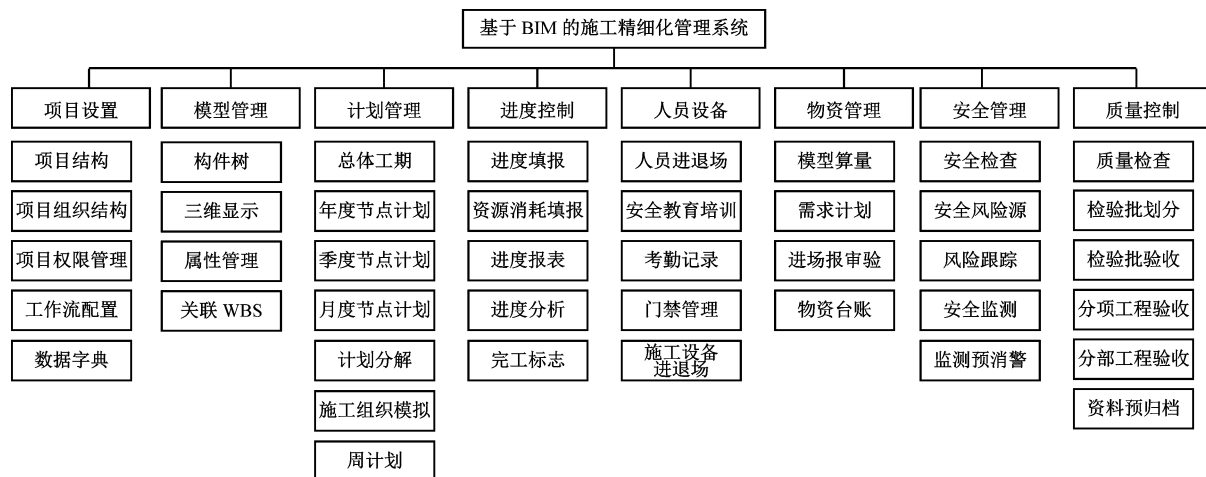
步骤 3 设计方交付工点 BIM 模型给总承包方审核,分包方根据权限获取工点 BIM,并完成模型编码及平台验证。

步骤 4 分包方按月(分解到周)细化分项工程目标节点形成具体施工计划,平台完成模型与计划自动关联。

步骤 5 分包方或现场监理利用施工组织模拟工具,检查施工计划的可实施性,提前发现工序转换、作业面冲突、资源消耗不均衡等问题,形成工点的最优施工组织。

步骤 6 根据最优施工组织,分包方提交施工





注:WBS 为工作分解结构。

图2 基于BIM的施工精细化管理系统功能结构示意图

Fig.2 Functionality structure diagram of BIM-based construction refined management system

人员、材料、机械设备进场计划给现场监理审批,形成到场合格资源库。

步骤7 分包方按照最优施工组织安排作业,并反馈实际进度、资源消耗等情况,在实际进度为100%时,监理工程师检查确认进度。

步骤8 总承包方组织安全检查与考核,并运用平台数据辅助考核。此外,现场监理、分包方完成检验批、分项工程等质量验收,实现档案验收资料与工程实体同步完成。

步骤9 通过综合监控模块的信息集成,为总承包方生成数据看板,实现基于数据的动态管控。

步骤10 基于步骤1—步骤9的循环,聚合生成数字化移交竣工模型。

### 3 平台关键技术

#### 3.1 模型轻量化及三维显示技术

一般模型传输、加载、显示需要消耗大量的显卡资源,图形平台性能的优劣直接决定了业务层的用户体验,是平台研究的首要关键技术。本文主要对数据存储、模型压缩、模型三维显示等方面的轻量化处理进行分析。

##### 3.1.1 数据存储

将模型的几何数据和扩展属性分开存储,非几何数据存储至 MongoDB 文件数据库中,几何数据需要经过轻量化压缩处理后进行存储。当用户终端需要浏览 BIM 模型时,首先会从 BIM 数据中台获取轻量化的几何数据,然后按需向 BIM 数据中台请求模型的非几何属性,这种处理方式可大大减少

模型的网络传输时间。

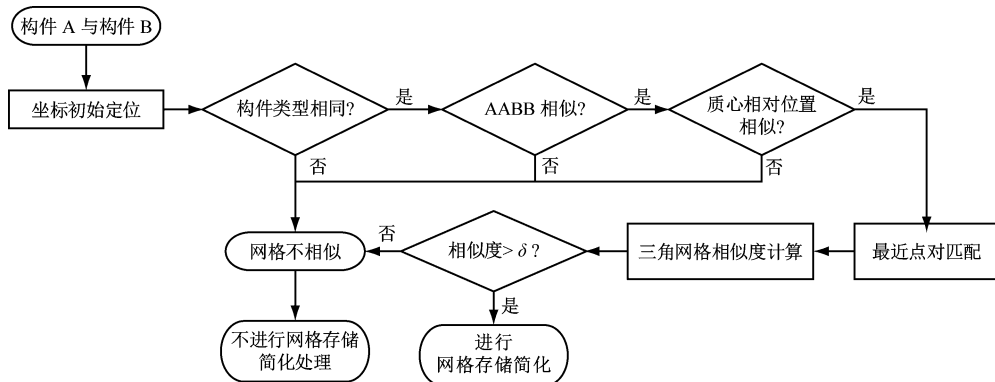
为解决几何数据的轻量化问题,本文针对建筑工程领域模型特点提出一种基于网格相似度的模型简化算法。基于网格相似度的模型简化算法流程示意图如图3所示。所提简化算法的基本思路是找到相似构件或相同网格,以减少存储量。具体步骤为:① 初始定位——先计算模型的质心位置,并将质心统一移到原点位置;② 粗略快速判断——从构件类型、包围盒、质心位置三方面判断是否为相似构件;③ 三角网格相似性计算——按照距离与法向量加权误差最小原则寻找最近点对序列,并进行相似度评估,若相似度大于指定阈值,则认为两构件外形相同,只存储一次;④ 三角网格的存储简化——减少网格顶点法向量的存储所需字节,以及三角网格点线面相同信息的存储次数。

##### 3.1.2 模型压缩

模型压缩包括有损压缩和无损压缩两方面,研究难点在于有损压缩。有损压缩,即三角网格简化,是通过删除或修改模型中对形状变化影响较小的三角网格来减少显示所需的三角形数量,从而达到优化存储的目的。本文采用改进的 PM(渐进网格)算法<sup>[5]</sup>,并加入了 QEM(二次误差测度)简化算法<sup>[6]</sup>、权值计算等优化方法。不同压缩比例下的三角网格简化效果软件截图如图4所示。

##### 3.1.3 模型显示

本文采用网格局部重建法对模型的显示进行优化。网格局部重建法在离视点近的区域内部使用最高精度的网格模型,使得模型的细节信息获得



注:AABB 为构件 A 和构件 B 的包围盒; $\delta$  为给定的相似度阈值。

图 3 基于网格相似度的模型简化算法流程示意图

Fig. 3 Diagram of model simplification algorithm flow based on grid similarity

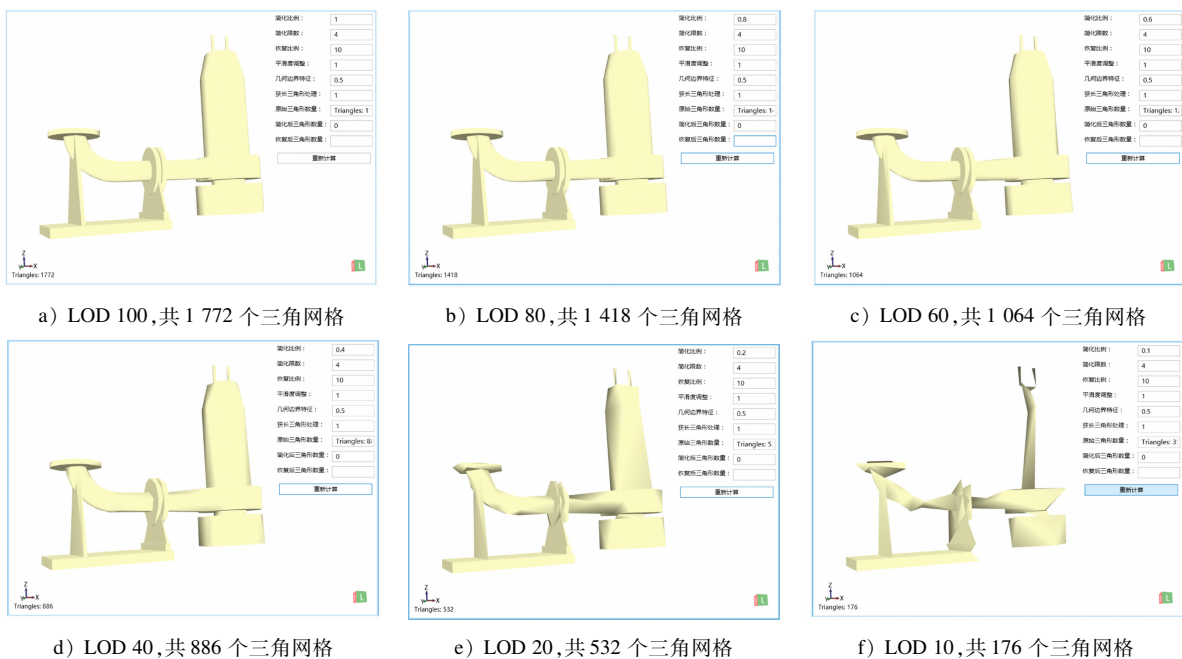


图 4 不同压缩比例下的三角网格简化效果软件截图

Fig. 4 Software screenshots of triangular meshes simplification effects under different compression ratios

完全展示;在离视点远的区域,则保持最低精度的网格模型,即简化网格的分辨率。上述方法通过对选择区域的局部细化,在满足观察者对局部细节观察需求的前提下,使网格模型中的三角形数目大大减少,从而减少了模型的数据量,减轻了绘制和传输模型的负担,提高了图形的显示效率。

### 3.2 模型与计划自动关联技术

现有的 BIM 技术中,模型与计划关联大多为手动关联,但由于地铁工程项目的构件数多为百万级,且模型与计划变化多,导致关联工作量巨大。为了解决这一难题,本文建立了地铁工程的模型编码体系,模型构件编码体系示意图如图 5 所示。同

时,本文还制定了不同工法标准工序的分解指引,并建立了标准工序与模型编码的映射关系,将其作为配置参数输入平台。

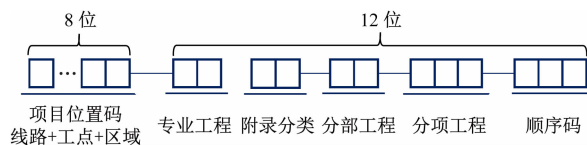


图 5 模型构件编码体系示意图

Fig. 5 Diagram of model component coding system

一般来说,土建专业施工计划通常包括构件流水号,机电专业施工计划通常包括轴网空间。若计划中含有构件流水号,则可通过计划完整信息直接

绑定对应的编码模型;若计划中没有构件流水号,则判断该类型构件包围盒的中心是否位于计划的轴网空间内,若是,则关联对应类型构件。

### 3.3 基于数据迭代的动态施工组织模拟技术

现有的研究或商业平台大多围绕虚拟建造动画、4D 进度模拟、5D 施工过程模拟等展开,本文从总承包模式下的“大施组”角度进行分析,研究基于数据迭代的动态施工组织模拟方法。具体流程为:① 由总承包方统一规定不同工法的标准工序划分、关联的构件类别及计量单位等;② 以工点为单位,由分包方根据地层设置不同工法的进度指标和资源消耗指标;③ 利用施工组织模拟,分包方检验节点工期能否被满足,并动态分析每一天或每一周的施工人员、材料、机械设备资源计划曲线,能否保证工序衔接紧密,施工区域交叉作业影响程度等,以检查施工组织的合理性;④ 现场监理确认的实际进度进入标准工期指标数据库,分包方反馈的实际资源消耗信息进入资源消耗指标数据库。

基于数据迭代的动态施工组织模拟方法能为施工组织模拟的迭代优化提供更精准的动态指标,利用实际数据预测进度趋势,进而对工程进度、人员配置、材料进场和施工设备使用情况进行精细化动态管理,实现对整体工期目标的有效控制。

## 4 平台应用实例分析

### 4.1 工程概况

广州地铁 18 号线及广州地铁 22 号线(以下简称“18 号线”“22 号线”)为全地下铁路工程,列车设计速度为 160 km/h。18 号线全长 62.7 km,包含 9 站 8 区间,以及车辆段、停车场各 1 座;22 号线全长 31.0 km,包含 8 站 7 区间,以及 1 座停车场。地铁项目中标价约 436 亿元,采用设计-施工总承包模式,项目首通段工期最为紧张,计划在 38 个月开通 75.0 km。作为项目总承包方,中铁建华南建设有限公司代表中国铁建股份有限公司进行该项目的建设管理,并提出全过程采用 BIM 技术实现数字化移交的目标,其中包括了基于 BIM 的工程总承包管理平台研发。18 号线及 22 号线作为首个试点项目,全线 43 个工点已完成了试点应用。

### 4.2 设计协同

地铁工程设计涉及规划、线路、建筑、结构及机电工程等 20 多个不同专业。传统的二维设计模式主要为上、下游的单线程工作方式,设计接口繁杂,

非结构化的图纸管理困难。本文使用 ProjectWise 软件搭建了“一个中心、不同工作集”的协同环境。各专业协同设计应用成果示意图如图 6 所示。

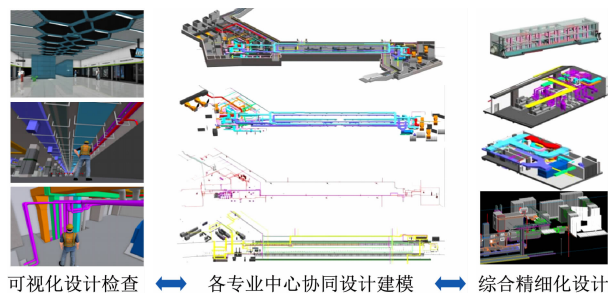


图 6 各专业协同设计应用成果示意图

Fig. 6 Diagram of collaborative design application results among disciplines

### 4.3 智能设计插件

根据所输入的施工蓝图快速生成 BIM 模型的技术路线,本文与设计团队合作开发了三维地质、地下管线快速建模、轨行区全专业自动化建模插件等 10 多项设计建模插件。

以三维地质建模插件为例,利用区间线路设计的平纵断面图、详勘数据表、限界图纸等输入条件,在施工前,由计算机在几个小时内完成全线 93.0 km 的盾构区间及车站的地质模型建模任务,而这样的建模任务以往需要建模人员耗费两、三周时间才能完成。基于智能设计插件的三维地质建模软件截图如图 7 所示。

### 4.4 施工技术方案分析

18 号线下穿大河流及水系 11 条,其中,下穿珠江 1 600 m,下穿既有地铁线路 8 条、铁路线路 2 条,沿线穿越大量房屋及市政桥梁等建(构)筑物。以下穿既有地铁为例,施工前对新建线路下穿运营线路进行建模,根据设计、勘察、测量图纸建立下穿区域地质模型及注浆孔模型。通过合模及断面剖切分析,能够可视化查看任意位置隧道拱顶地层信息及辅助穿越过程中的风险分析。地层风险近接分析模型软件截图如图 8 所示。

### 4.5 施工进度控制

#### 4.5.1 工程总承包施工组织

大型工程总承包项目现场影响因素众多,施工组织必然是动态均衡的。目前,施工组织模拟工具已应用于 5 个车站、11 个中间风井工点,能够提前解决大量施工安排不合理的问题,大幅提高了工序转换效率。以 18 号线番禺广场站为例,平均能检查



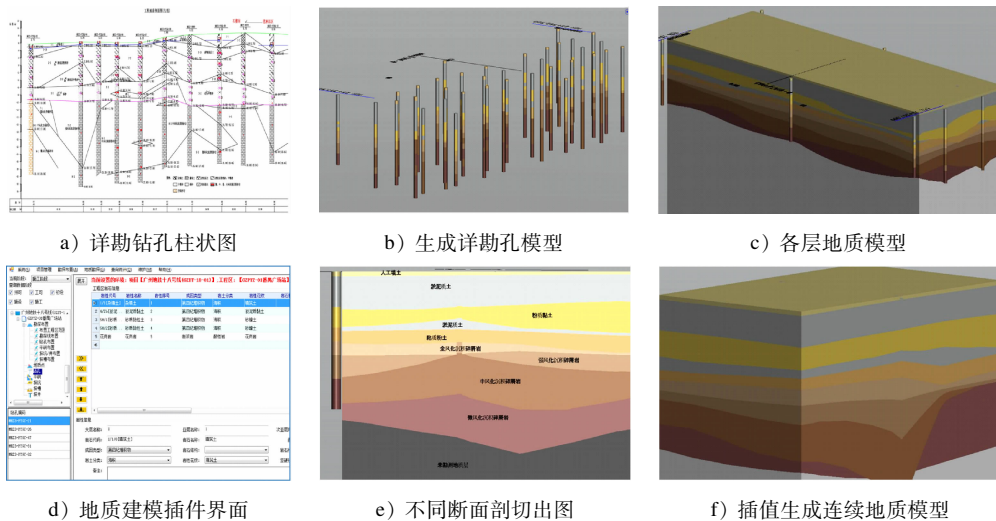


图 7 基于智能设计插件的三维地质建模软件截图

Fig. 7 Software screenshots of 3D stratigraphical modeling based on intelligent design plugins

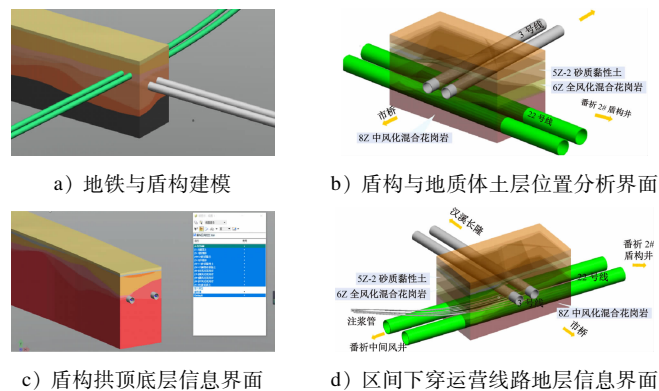


图 8 地层风险近接分析模型软件截图

Fig. 8 Software screenshots of stratigraphical risk analysis model under-crossing in proximity

出每月第 1 版施工计划的 22 个问题。某中间风井围护结构任意时段施工组织模拟计算结果软件截图如图 9 所示。

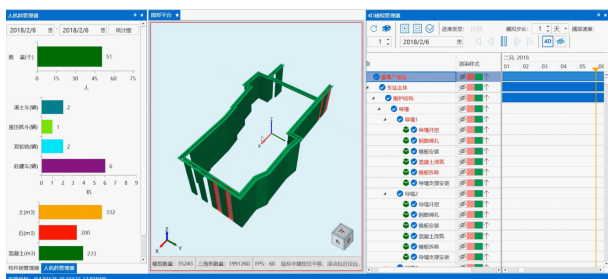


图 9 某中间风井围护结构任意时段施工组织模拟计算结果软件截图

Fig. 9 Software screenshot of construction organization simulation calculation results for a middle wind shaft enclosure structure at any time period

#### 4.5.2 进度执行与跟踪

利用上述施工组织模拟结果,由系统自动派发

周工作计划,生产负责人可对周工作计划进行调整,经过现场监理例会审批后即可指导施工。进度执行管理循环示意图如图 10 所示。



图 10 进度执行管理循环示意图

Fig. 10 Diagram of progress execution management cycle

现场完工情况将通过进度报表模块反馈回平台,并在所关联的模型上直观地显示形象进度,所有参建各方都能方便地获取任意施工作业面的形象进度(见图 11),并可以直观地查看实体工程的进度滞后分析。

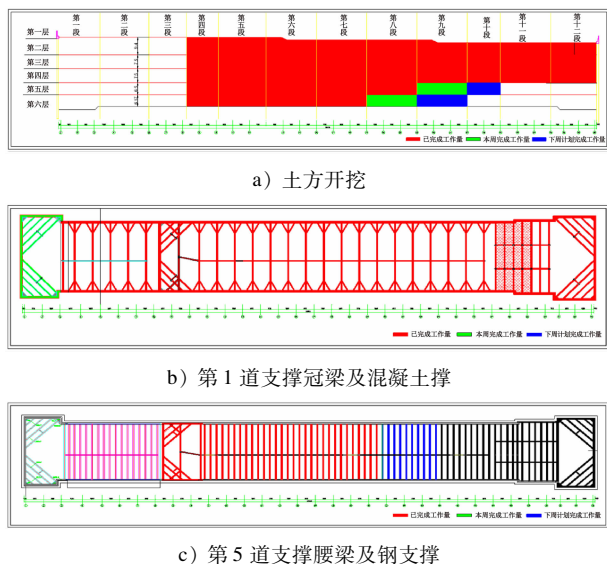


图 11 任意施工作业面形象进度软件截图

Fig. 11 Software screenshot of visual progress of any construction work surface

由于平台中的计算规则是由项目参建各方反复讨论确定的,因此平台的计算结果具有可信度,能够提高每周现场监理例会的沟通效率。

#### 4.6 施工安全管理

##### 4.6.1 劳务人员安全管理

本文建立了实名制人员信息库,包括身份证、特种作业证、安全培训等 20 多项信息,要求现场技术人员必须通过移动终端上传每天作业前的班前交底信息。只有安全培训及班前交底记录验证通过的技术员才有权限进入施工现场,这是管理的预控环节。其次是监管环节,通过人脸识别技术、RFID(射频识别)定位技术、图像分析技术的集成应用,实现对人员的精细化管理,降低了人员这个最不可控的风险因素。在施工过程中,平台将劳务人员的行为信息记录下来,包括门禁进出记录、不安全行为记录、参与的工程质量合格率等,形成一个以人员为核心的综合信息展示界面。动态关联的实名制信息库软件截图如图 12 所示。

##### 4.6.2 安全检查管理

安全检查的应用核心在于建立隐患分类检查标准,规范工作流程,将随机检查转变为量化检查,并且将整改工作与责任人建立对应关系,缩短问题整改周期。安全检查应用流程示意图如图 13 所示。

#### 4.7 施工质量控制

项目现场技术人员通过工地门禁位置验证和手机 App 人脸识别双重验证后,采用机器视觉测量技



图 12 动态关联的实名制信息库软件截图

Fig. 12 Software screenshot of dynamically associated real-name information database



图 13 安全检查应用流程示意图

Fig. 13 Diagram of security inspection application process

术及图像 AI(人工智能)识别技术实现管线、预埋件等安装位置、几何尺寸、数量的自动化量测,同时与所设计的 BIM 模型进行对比,计算出构件的施工误差与合格率,并由技术人员确认与复核发起检验批等验收自检,将自检数据录入平台。通知监理方进场验收,并用手机 App 录入验收数据。验收通过后,形成数字组卷归档及辅助资料员线下归档。目前,试点的 2 座车站的档案资料质量大幅提升,能为业主方的运维提供增值服务。

#### 4.8 数字化交付

目前,数字化移交查询系统的基本功能已配备完成,实际工程还处于施工阶段。总体应用方案为:当建设方或运营方登录系统,选择要查询的工点时,就能检索到任何一个模型构件关联的全部信息,包括施工人员、材料、施工设备、质量验收记录、施工进度、施工安全信息等。

## 5 结语

本文深入分析了工程总承包管理的业务需求,研发了基于 BIM 的工程总承包管理平台。目前,该平台已经成功应用在 18 号线和 22 号线的建设管理中,推动了项目管理工具的创新,提高了总承包方的信息化管理水平,具有突出的经济效益和社会效益,



并形成了示范工程效应。主要获得以下结论:

1) 基于 Autodesk、Bentley 等三维设计软件开发的 12 项智能设计智慧建模插件能大幅提高模型质量和建模效率,且能够较好地解决图模一致性的问题。同时,平台基于 IFC(工程数据交换)标准打通了设计信息向施工管理、数字化移交的全过程信息继承、传递、共享的链路。

2) 基于数据迭代的动态施工组织模拟技术能够充分利用实际数据来预测工程进度趋势,提前采取纠偏措施,实现对整体工期目标的有效控制。对移动终端实时数据进行采集,同时向管理层提供可视化进度数据,能够快速找出进度偏差,确保执行机制的有效性 & 信息传递的可靠性。

3) 利用派工单对现场作业进行许可审批管理,综合利用物联网等技术手段规范施工人员、材料、机械设备配置及验收管理流程,约束参建各方正确履行监督管理程序,降低安全风险,确保执行机制的有效性 & 信息传递的可靠性。

4) 利用机器视觉测量技术和图像 AI 识别等技术手段规范参建各方的质量验收行为,通过双重验证机制确保参建各方正确履行监督管理程序,真实开展现场实测实量,并填报量测数据,避免质量验收流于形式,提高数字化交付的效率。

## 参考文献

- [1] 周红, 成虎. 工程总承包项目管理研究[J]. 施工技术, 2004, 33(12): 4.  
ZHOU Hong, CHENG Hu. Study of general contract project management[J]. Construction Technology, 2004, 33(12): 4.
- [2] 蔡绍宽. 水电工程 EPC 总承包项目管理的理论与实践[J].

天津大学学报, 2008, 41(9): 1091.

CAI Shaokuan. Theory and practice of EPC project management in hydropower engineering[J]. Journal of Tianjin University, 2008, 41(9): 1091.

- [3] 刘坤弘, 庞佳丽. 基于 BIM-5D 平台的施工总承包管理: 以中建八局汉峪金融商务中心项目为例[J]. 价值工程, 2018, 37(2): 38.

LIU Kunhong, PANG Jiali. Construction contract management based on BIM-5D platform: taking the project of Hanyu Financial Business Center of China Construction Eighth Engineering Division as an example[J]. Value Engineering, 2018, 37(2): 38.

- [4] 徐博. 基于 BIM 技术的铁路工程正向设计方法研究[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(4): 35.

XU Bo. Research on forward design method of railway engineering based on BIM technology[J]. Railway Standard Design, 2018, 62(4): 35.

- [5] 冯洁, 查红彬. 大型三维网格模型的简化及基于视点的 LOD 控制[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(2): 186.

FENG Jie, ZHA Hongbin. Simplification and view-dependent LOD control for large 3D mesh models[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(2): 186.

- [6] 李红波, 刘昱晟, 吴渝, 等. 基于二次误差度量的大型网格模型简化算法[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(9): 3158.

LI Hongbo, LIU Yusheng, WU Yu, et al. Simplification algorithm for large mesh models based on quadric error metrics[J]. Computer Engineering and Design, 2013, 34(9): 3158.

· 收稿日期:2022-09-13 修回日期:2022-10-13 出版日期:2024-07-10

Received:2022-09-13 Revised:2022-10-13 Published:2024-07-10

· 第一作者:徐加兵,高级工程师,ercchnjsjgb@163.com

通信作者:陈前,工程师,914780456@qq.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 265 页)

ZHANG Yu, ZHANG Xingming, ZHOU Zhijun. Analysis of loess collapsibility and the influence factors[J]. Highway, 2020, 65(8): 69.

- [8] 王立新, 刘保健, 白阳阳. 湿陷性黄土与地铁地下结构相互作用机理研究[J]. 现代隧道技术, 2019, 56(1): 72.

WANG Lixin, LIU Baojian, BAI Yangyang. Study on interaction mechanism between collapsible loess and the subway underground structure[J]. Modern Tunnelling Technology, 2019, 56(1): 72.

· 收稿日期:2022-01-13 修回日期:2022-03-13 出版日期:2024-07-10

Received:2022-01-13 Revised:2022-03-13 Published:2024-07-10

· 第一作者:潘红伟,高级工程师,279677908@qq.com

通信作者:吴友川,硕士研究生,xauatwyc@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821