

# 杭州地铁 5 号线一期工程车站(含区间)设备安装及装修工程 BIM 技术综合应用

张 波 蔡焕钧

(中建安装集团有限公司,南京 210023)

**【摘要】**杭州地铁 5 号线 BIM 技术综合应用,是在多座城市地铁工程建设经验的基础上,针对地铁工期紧、任务重、机电管线繁多、节点复杂等特点,开展的 BIM 专项工程应用案例。通过 BIM + CAM 软件,实现了 LOD400 产品级建模、利用 Revit + Fabrication 完成机电预制构件(机电装配式)深化设计; BIM 开发团队利用 Revit SDK 二次开发插件,实现了风管、管道的 NC 数控代码输出,实现了“工厂化预制、自动化生产、模块化安装”理论及方法流程的创新;利用 3D 打印技术(3D 打印的实体模型的预装配)开展 BIM 装配式设计的数字化验证。提高了施工精度、质量和效率,形成了地铁工程 BIM 深化设计的示范性指引案例,为我公司承建更多、更复杂基础设施建设工程,积累了宝贵的经验。

**【关键词】**杭州地铁; BIM 技术; 机电装配式; 管线综合; 预制构件; 3D 打印

**【中图分类号】**TU17 **【文献标识码】**A

**【版权声明】**本文被《土木工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

## 引言

为提高地铁机电工程建设的效率、精度、质量,我们提出以 BIM 技术为核心,以“模块化设计、工厂化生产、装配式施工”的应用理念,并在承建多个城市地铁工程建设中,取得显著的经济效益和社会效益。

以杭州地铁 5 号线机电设备安装和装修工程为例,解决了工期短、换乘车站多、周边环境复杂、机电避让精度高等诸多难题,本工程一个典型换乘车站:打铁关站的 BIM 整体土建模型,如图 1 所示。

## 1 BIM 机电装配式施工深化设计

### 1.1 BIM 多专业设计协同

为满足地铁车站专业化程度高、BIM 建模精度要求高、多专业协作程度高的深化要求,我们以 Revit 中心,以 Rhino 作为中间件转换平台,实现了机

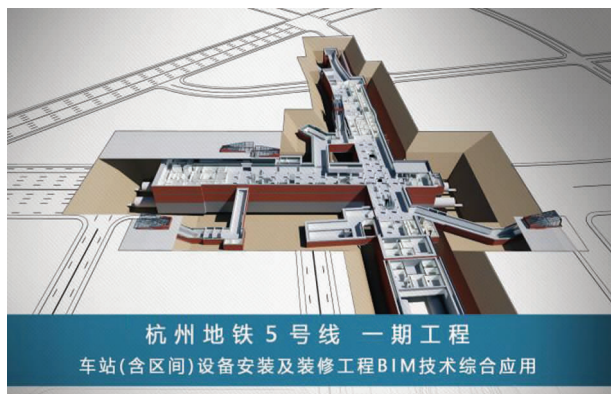


图 1 杭州地铁 5 号线“打铁关站”的整体模型

械产品构件与建设工程模型之间的转换与协同,其协调应用策划导图,如图 2 所示。

地铁工程机电管线多,电气桥架与通风风管、空调设备、给排水管道紧密层叠、相互交织<sup>[5]</sup>,BIM 深化设计要求满足较高的配合精度,如图 3-4 所示。

**【作者简介】**张波(1981-),男,一级建造师,注册(投资)咨询工程师,BIM 高级建模师,主要研究方向:BIM 总体应用策划、全专业 BIM 建模技术管理、电气设计师、机电工程咨询顾问;蔡焕钧(1987-),男,机电工程师,BIM 高级建模师,主要研究方向:机电工程管理、BIM 总体应用策划、全专业 BIM 建模技术管理、暖通设计师、机电工程咨询顾问。

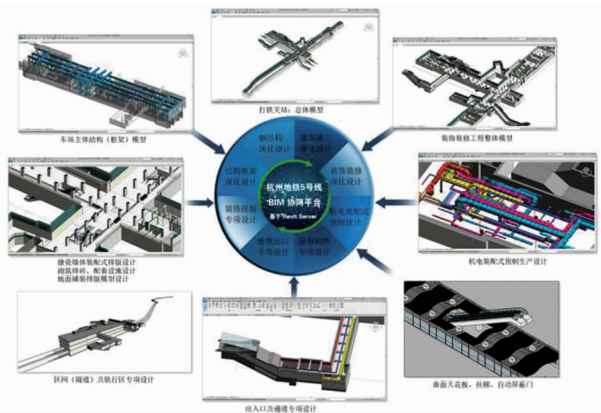


图2 多软件 BIM 平台协作的深化设计

心的总体 BIM 思路和应用目标,以 Revit + Fabrication 为设计平台,开展全面预制构件设计。如图 6 - 7 所示。

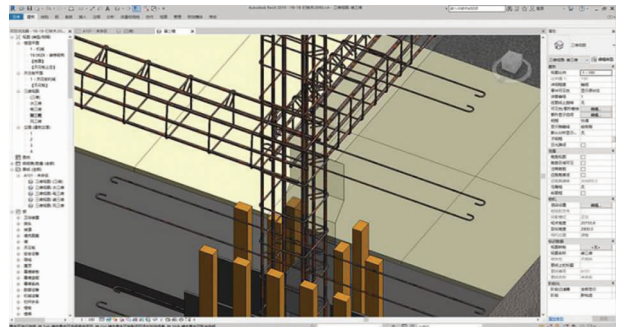


图5 砌筑及构造柱施工交底模型

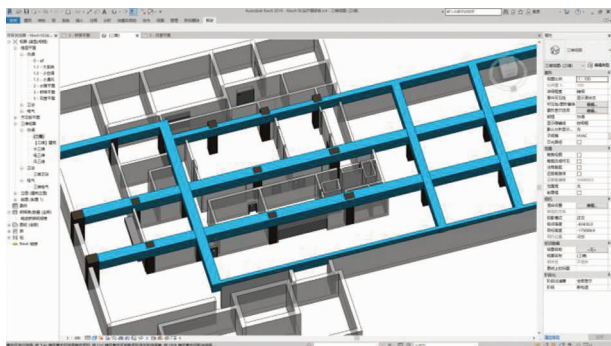


图3 建国路站:土建结构模型

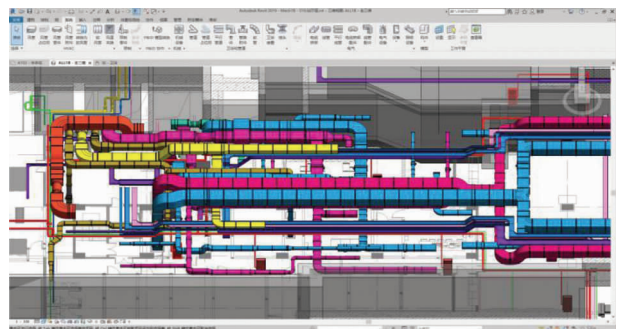


图6 Fabrication 风管分段与装配模型

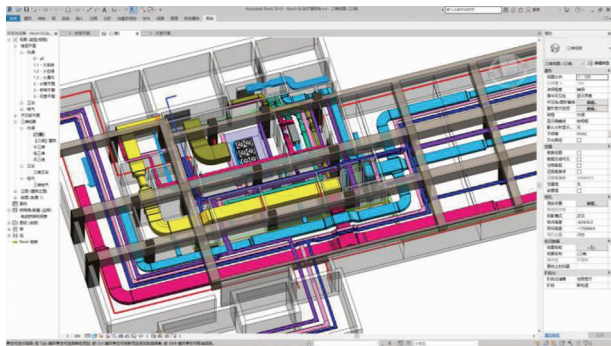


图4 建国路站:机电管综模型

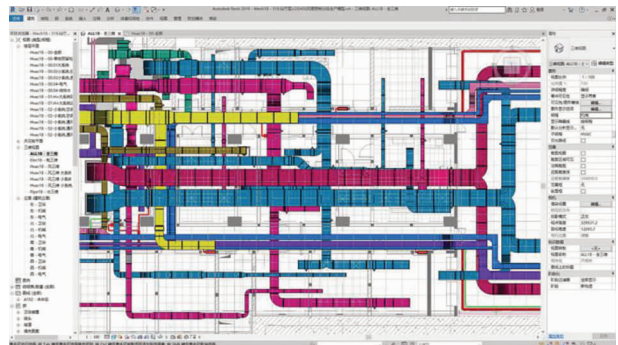


图7 Fabrication 导出分段排版平面图

## 1.2 局部详图节点的精细化设计

为提高地铁工程较高的砌筑质量要求,深化设计团队针对质量控制节点,进一步细化模型节点,明确每一根钢筋、模板的工艺要求,如图 5 所示,同时开展可视化技术较低<sup>[4]</sup>,在施工过程中,实现较高的工艺、质量控制水平。

## 1.3 “预制构件”设计

BIM 团队从施工准备阶段,就明确了以“预制构件(模块化)设计、工厂化生产、装配式施工”为中

为实现工厂化生产的产品级出图<sup>[12]</sup>,BIM 模型不仅要呈现机电管综设计、解决管线碰撞,还必须完成预制构件的数据输出<sup>[1]</sup>,这要求模型必须从传统的 LOD350 精度,提升到 LOD450 产品级精度,模型信息必须涵盖工厂化预制所需的全部生产数据,这些数据包括以下内容:

- 1) 订单信息:编号、型号、安装序号、系统类型;
- 2) 构件信息:材质、尺寸、接口类型、连接方式;
- 3) 生产信息:加工详图、数控 NC 数据;

4) 进场信息: 进场时间节点、吊装要求;

5) 装配信息: 二维码、装配详图、APP 物流定位数据。

Revit + Fabrication 提供了优秀的机电预制构件的设计方法, 从装配式设计模型, 到工厂化预制订单, 以及符合生产加工要求的详图数据。为实现高效的模型信息输出, 我们利用 Revit SDK 编写了导出生产订单信息的插件, 一次性导出全部预制装配件的订单表格和附图, 如图 8 所示。

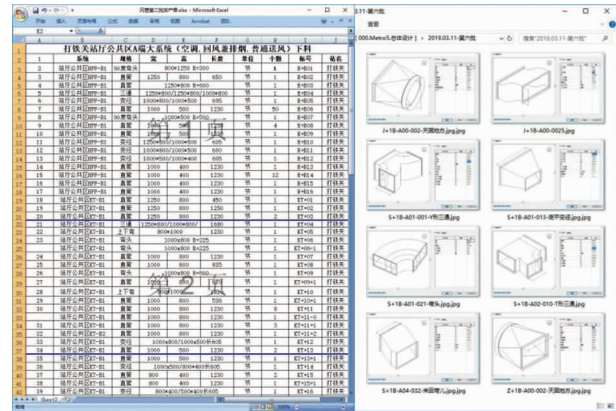


图 8 批量导出 Excel 订单报表 (节选)

生成订单的同时, 暖通专业工程师在模型中复核订单<sup>[7]</sup>, 如图 9 所示, 确认与最初 BIM 装配式设计一致, 确认满足现场的施工装配要求, 经确认的预制产品, 系统会自动分配唯一的产品 ID 标识数据, 计划专员在加工厂完成排产, 根据信息系统中预定的生产序号预制加工, 完成从 BIM 预制构件设计、工厂自动化生产、到现场装配式施工的完整流程。

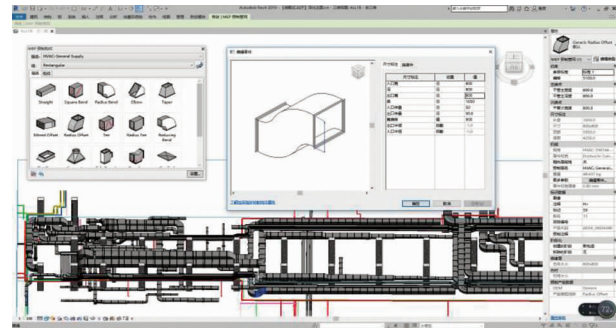


图 9 批量导出“预制构件”参数

### 1.4 “预制构件”的生产方式

预制加工厂技术人员的根据构件的复杂程度, 选择采用不同的生产方式:

#### (1) 全自动化生产(数控加工)

针对“标准”风管管段: 标准管段、标准弯头等, 预制加工厂优先采用成套数控加工设备, 进行全自动的生产, 目前很多风管加工厂都拥有 NC 代码的数控设备, 这种生产方式的生产效率高, 即使生产任务较重的订单, 一般也能在 24h 内装车送货。

#### (2) 半自动化生产

针对“非标”风管管件: 弯头, 三通等, 因规格尺寸差异较大, 通常会采用半自动化的生产方式, 即采用数控的板材生产机械完成板材生产和切割, 然后根据不同的复杂程度二次加工, 生产效率中, 但可以满足复杂形状, 特殊风管管件的定制要求, 如图 10 所示。

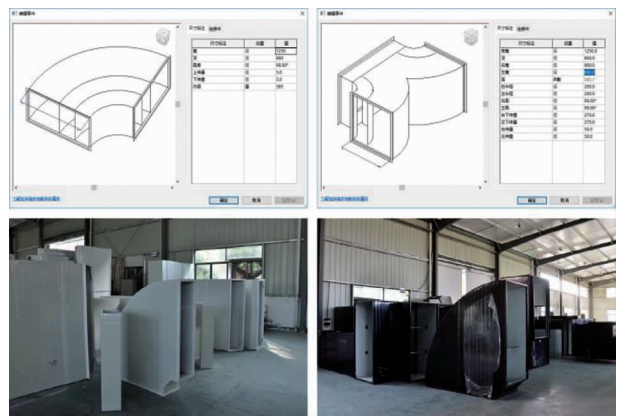


图 10 风管 Fabrication 构件设计和送货核对

### 1.6 BIM 虚拟“样板间”模型

为实现地铁工程标准、一致的质量要求和工艺标准, 建立 BIM 数字化样板模型、房间可视化 3D 模型, 作为质量控制的重要依据, 如图 11 所示。

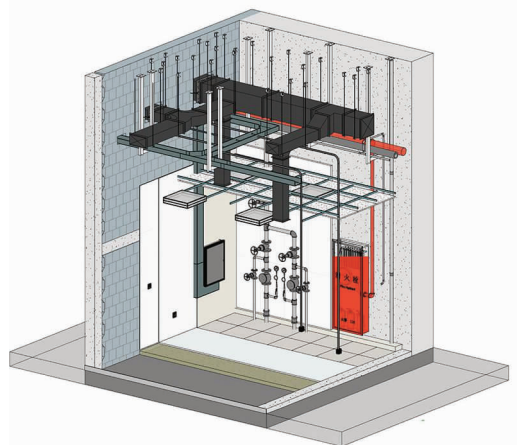


图 11 在 Revit 中完成的样板模型

“BIM 虚拟样板”可以作为现场样板的补充和丰富,可以建立 BIM 数字中心的形式全息展示,也可以用手机等移动端 APP 查看和交底。与施工现场,耗费大量实体材料建设的样板间、样板段相比,BIM 数字化的样板间具有诸多优势,如图 12 - 13 所示。

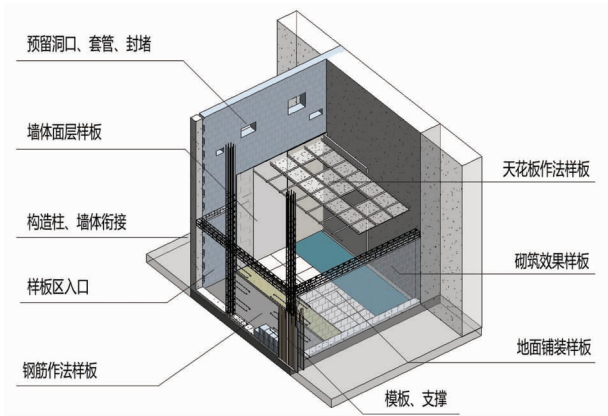


图 12 土建专业样板间模型及做法说明

与现场实际施工的实体样板相比,BIM 虚拟样板是随身携带的技术要求,且可以重复应用于后续的同类工程中,展现出实体样板无法比拟的应用价值:

- 1) 更精确的工艺展示,更全面的质量管控依据;
- 2) 可视化、可传承、更直观的技术交底效果;
- 3) 更低的设计成本,可在多个工程中重复利用。

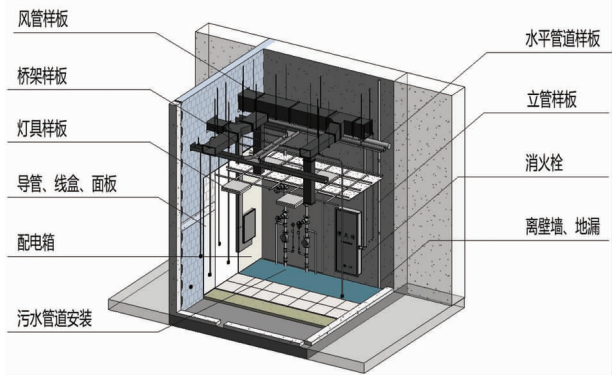


图 13 机电综合样板间模型及做法说明

### 1.7 暖通环控机房的 BIM 深化设计

地铁工程机房数量众多,其中暖通环控机房、冷冻机房是 BIM 设计的重点,这类机房内设备占用空间大,管道尺寸大、管道众多且系统复杂,在 BIM 中完成精确的设备建模和管综深化设计,如图 14 - 15 所示。

- (1) 通过优化机房内冷水机组、水泵、分集水器等设备布局,预留人员通行和设备检修空间;
- (2) 通过优化管道避让关系,让交织管道平直有序,呈现水管的自然美感,实现最佳的视觉感官质量;
- (3) 通过精确建模,优化各类阀门、仪表、过滤器位置朝向和标高,满足地铁运营的高标准功能要求。

为解决传统 BIM 软件对于双曲面、高精度模型处理能力弱的问题。我们利用 Rhino 作为中间件平

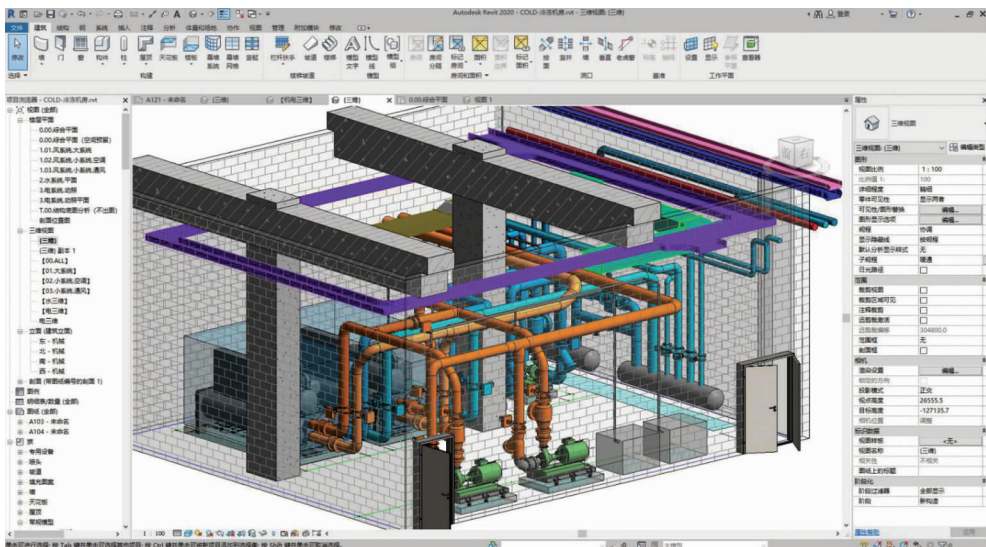


图 14 打铁关站冷冻机房模型

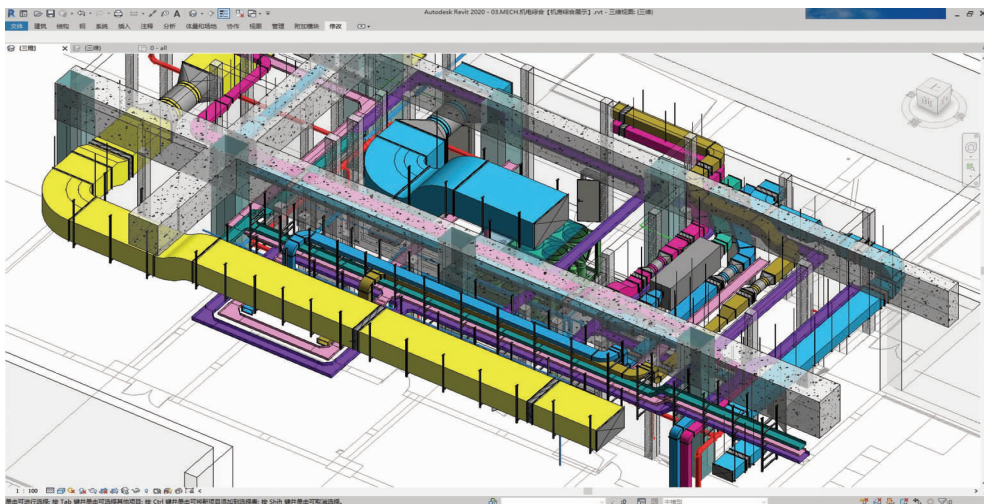


图 15 建国路站:环控机房(含综合支吊架)设计

台,打通机械 CAM 类建模平台与 BIM 建筑信息模型直接的行业壁垒,让工厂提供的 Pro/E、Solidworks 等高精度模型可以轻易进入 BIM 建模平台,实现高度统一的协调互用。

Rhino 是工业标准化的曲面设计软件,是处理高精度曲面模型设计的首先,同时与 BIM 类软件具有良好的交互接口(Revit 可直接导入 3DM 格式模型),同时也进一步提升了综合模型表现力,Rhino 完成的冷水机组模型,如图 16 所示。

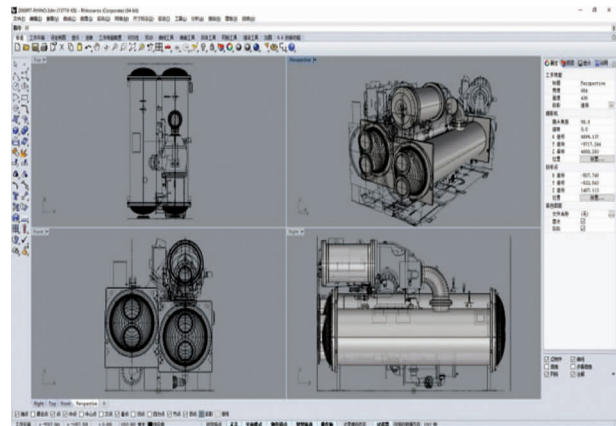


图 16 在 Rhino 中完成打铁关站的冷水机组模型

### 1.8 BIM 造价分析管理

借助广联达 BIM 5D 统一造价管理平台<sup>[11]</sup>,对比 BIM 导出明细表数据与广联达报表进行对比分析,搜寻机电设备和管线管路中的设计优化点,基于模型开展双优化管理。

借助广联达优秀的报表输出能力,生成分类工

程量数据汇总表、钢筋工程量分类明细表,这些造价信息表格与 Revit 模型相互对照,协同校核,如图 17 所示。

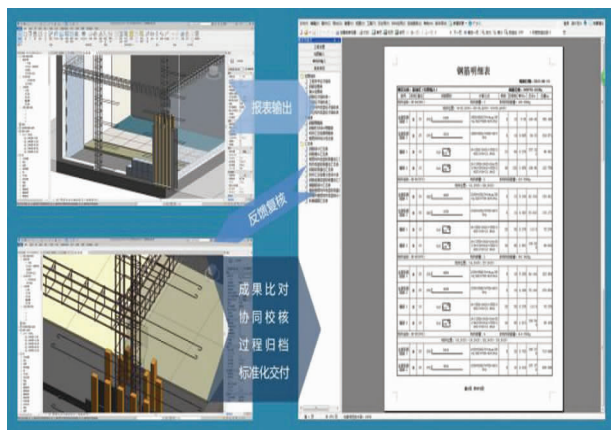


图 17 机电综合样板间模型及做法说明

### 1.9 综合支吊架设计(含抗震支架)

地铁机电管线多而复杂,综合支吊架的设计是深化设计的重点和难点,BIM 管线综合为综合支吊架设计提供了准确的空间依据。

地铁工程的设备区(环控机房、供电)管线繁多、走道上空纵横交错,为满足各类自动化控制清晰、美观的布置,引入了机械 CAM 参数化设计方法,LOD450 级别的钣金设计,满足 CAE 有限元分析所需的模型精度要求,通过 Revit SDK 二次开发接口,实现 BIM 管线综合→机械设计→有限元分析→支吊架详图,最终形成完整的支吊架设计模型,如图 18 - 19 所示。

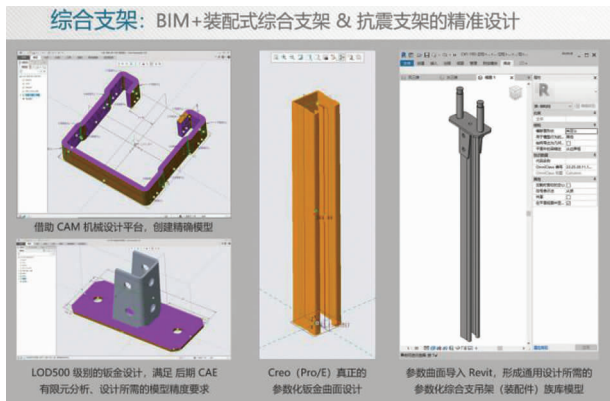


图 18 Creo (Pro/E) 中完成高精度支吊架,生成 Revit 族



图 19 支吊架模型导入 REVIT 设计模型,形成支吊架详图

## 2 BIM 创新建模与扩展应用

### 2.1 Revit SDK 二次开发插件

通过 Revit SDK 二次开发接口,编写墙体与管线之间的“空间交集”计算,自动生成预留洞口模型,快速生成标准的预留洞口“平法标注”的施工图纸,如图 20 所示。

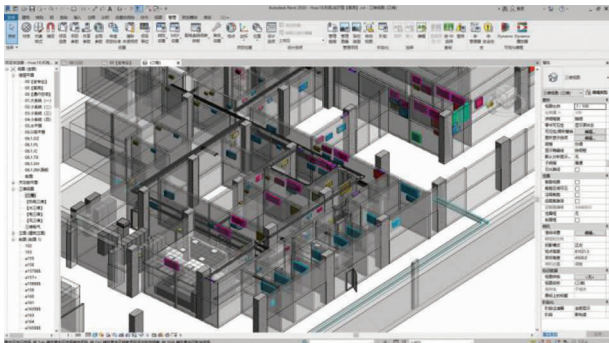


图 20 地铁工程:数量巨大的“预留洞口”模型

根据实际施工的统计结果,地铁一个车站 357 个预留洞口 (> DN50),与后开洞施工相比,二次开

发的插件以最低的设计成本和最快速度,完成预留洞口的设计出图,在实际施工中,取得了进度、成本、感官质量的多重效益。

### 2.2 3D 打印在 BIM 装配式设计中的应用

3D 打印技术可以实现多专业、多角度、多维度的审查设计成果,可以与蓝图叠合(等比例缩小的 3D 打印),相互对照,及时发现隐藏在设计图纸中的错误和问题,做到施工风险的事前控制,如图 21 所示。

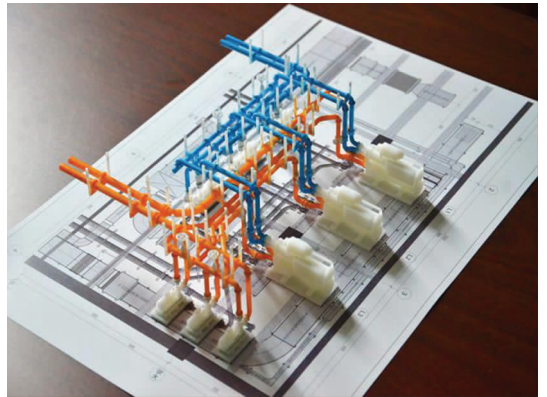


图 21 3D 打印的冷冻机房实体机电模型

装配式施工预演是一个关键环节,利用 3D 打印,输出等比缩小的预装配组合模块,像乐高一样进行施工预演和交底,如图 22 所示,在深化设计阶段开展全面的“装配式预演”和“预装配交底”,可以有效发现和解决装配式构件的设计问题,提高装配质量和装配进度。

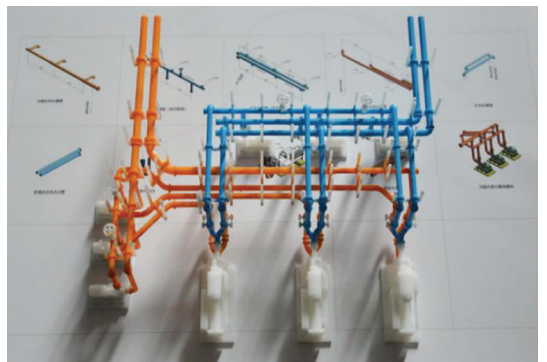


图 22 3D 打印与装配式“施工预演”

技术交底是现场施工能否达到技术要求的关键环节,但劳务人员流动性较大,能力水平参差不齐,对于蓝图的理解深浅不一。近几年,一些项目开展 BIM 三维交底,取得了显著的应用效果。

### 3 本项目 BIM 效益分析

#### 3.1 “模块化设计、工厂化生产、装配式设计”

本工程利用 Revit + Fabrication 预制构件建模,实现了 LOD350 到 LOD400 的飞跃,同时借助 CAD-mep、CAMduct 以及二次开发的接口插件,实现构件的自动化数控生产,利用编码技术实现装配式施工。

本工程“模块化设计、工厂化生产、装配式施工”完整的 BIM 方法体系和流程成果,对于难度大、工期紧的地铁工程,具有很高的推广价值和示范效应。

#### 3.2 高精度 BIM 协同设计的示范性效益

本工程利用 BIM + CAM 工业级设计方法,实现了高精度的协同设计,其建模成果实现了对于施工风险的准确预判,实现准确的空间配合、管综设计,洞口预留等,避免了后期开洞、剔凿、拆改等,取得了降低成本、提高工艺和感官质量的综合应用效益。

#### 3.3 3D 打印在模块化设计中的应用效益

3D 打印技术,让 BIM 设计模型,可以跳出屏幕,展现在技术交底的台面之上,让 BIM“可视化”进一步进化为“可触摸、可装配”的掌中实体建筑模型,实现对模块化设计的有效验证,真正实现 BIM 三维实体出图。

### 参考文献

- [1] Autodesk Asia Pte Ltd. FABRICATION 达人速成[M]. 上海:同济大学出版社,2018.
- [2] Autodesk Asia Pte Ltd. REVIT 二次开发基础教程[M]. 上海:同济大学出版社,2015.
- [3] 刘广文. Tekla 与 Bentley BIM 软件应用[M]. 上海:同济大学出版社,2017.
- [4] 廖小峰,王君峰. Revit2013/2014 建筑设计火星课堂[M]. 上海:人民邮电出版社,2013.
- [5] 王君峰,娄琮味,王亚男. Revit 建筑设计思维课堂[M]. 北京:机械工业出版社,2019.
- [6] 王君峰. Navisworks BIM 管理应用思维课堂[M]. 北京:机械工业出版社,2019.
- [7] 马最良,邹平华,陆亚俊. 暖通空调(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [8] 李文贵,何关培,邱奎宁. 建筑工程施工 BIM 应用指南(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [9] 李文贵,何关培,邱奎宁. 建筑工程设计 BIM 应用指南(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [10] 卫涛,李容,刘依莲,等. 基于 BIM 的 Revit 建筑与结构设计案例实战[M]. 北京:清华大学出版社,2017.
- [11] 卫涛,刘依莲,高洁,等. 基于 BIM 的 Revit 与广联达工程算量计价交互[M]. 北京:清华大学出版社,2017.
- [12] 卫涛. 基于 BIM 的 Revit 装配式建筑设计实战[M]. 北京:清华大学出版社,2018.

## Hangzhou Metro 5 Phase I Project Application of BIM Technologies

Zhang Bo, Cai HuanJun

(China Construction Industrial & Energy Engineering Group Co., Ltd., Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Hangzhou Metro 5 Phase I Project Application of BIM Technologies, Based on the experience of BIM construction in many cities, combined with the characteristics of tight construction period, heavy tasks, numerous mechanical and electrical pipelines and complex decoration nodes, we carry out specific BIM planning and BIM construction application management. We use BIM + CAM software to achieve LOD 400 product-level modeling, and use Revit + Fabrication to deepen the design of electromechanical prefabricated components; using the plug-in developed by Revit SDK to output the NC code of air ducts and pipes to achieve factory prefabrication, automatic production and modular installation; and using 3D printing technology (pre-assembly of 3D printing solid model) to verify the digitalization of BIM assembly design.

**Key Words:** Hangzhou Metro; BIM Technology; Electromechanical Prefabrication; Mechanical Pre-assembly; Pipeline Comprehensive; 3D Printing