

长沙万家丽电力盾构隧道工程 施工阶段 BIM 技术应用

陈亚军 王 灏 吕 涛 周艳文 徐志柏 刘 珍 龙 彪 王 文

(中建五局土木工程有限公司,长沙 410004)

【摘 要】随着施工技术的高速发展,BIM 技术在工程施工阶段的作用越来越显著。文本针对湖南省首条电力盾构隧道即长沙市万家丽路 220KV 电力隧道项目的建设特点与难点,通过对 BIM 技术进行借鉴以及创新应用,探索其在施工阶段的 BIM 技术应用点。从基础功能应用、优化功能应用和施工管理应用三方面着手开展 BIM 技术应用点的研究,针对指导现场施工,优化施工工艺和场地布置,控制盾构隧道小半径区间的线形偏等方面整理出了一些具有推广价值的 BIM 技术应用点。通过 BIM 技术在本工程的应用,质量、安全、进度、施工技术、社会效益、人才培养等方面都取得了良好的成果,得到了社会各界的好评,为今后电力盾构隧道施工领域的 BIM 技术应用提供了借鉴以及宝贵的经验。

【关键词】BIM 技术; 电力隧道; 盾构隧道; 小半径区间; 应用点

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木建筑工程信息技术》、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。

1 工程概况

1.1 项目简介

万家丽路 220KV 电力隧道项目是湖南省首条电力盾构隧道,跨越长沙市开福区、芙蓉区以及长沙县。项目建成后隧道内将接入 220KV 电缆 4 回,110KV 电缆 8 回,可满足区域内湖南广电中心的国际会展中心项目、城际铁路交通、长沙地铁 3 号及 5 号线用电,改善长沙市河东城区北部电网结构,缩短供电距离,提高电网供电可靠性、运行经济性(图 1)。

万家丽路 220KV 电力隧道项目(以下简称“本工程”)施工内容包括一条 6km 长的隧道,隧道内径 3.6m,采用盾构法施工;隧道地表沿线施工 10 个竖井,包括 3 个盾构工作井和 7 个电缆出线井。同时隧道包含 2 个盾构区间:2 号盾构井~1 号盾构井、2 号盾构井~3 号盾构井。采用两台土压平衡盾构



图 1 项目平面位置图

机在 2 号盾构井内进行南、北双向始发掘进(图 2)。盾构机外径 4.36m,全长 128m,包括盾体以及 17 节台车。总造价 3.74 亿元,工期 720 天,工程总承包单位为中建五局土木工程有限公司。

【基金项目】湖南省建筑业新技术应用示范工程创建计划项目+万家丽路 220KV 电力隧道工程盾构段施工总承包项目(编号:2018 年第四批 No.43)

【作者简介】陈亚军(1990 -),男,工程师,技术部经理,主要研究方向:施工技术及 BIM 技术研究。

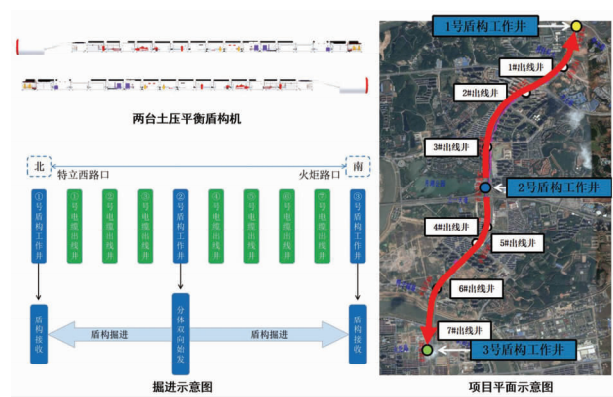


图2 施工示意图

1.2 工程特点及难点

由于本工程为湖南省首条电力盾构隧道,其综合技术几乎没有类似工程的参考经验,因此无论竖井施工、盾构始发还是盾构掘进均存在非常大的技术难点和安全风险。结合项目特点,本工程难点主要有以下三个方面。

1.2.1 施工条件复杂

本工程盾构机长 128m,而盾构始发井尺寸仅 30m * 10m,尺寸狭小难以进行始发;隧道内径仅 3.6m,洞内狭小工人操作困难;沿线竖井施工均受高压线影响,最低净空仅 12.3m;侧穿既有桥桩,侧穿距离仅 2m;下穿既有地铁车站,下穿距离仅 4.5m。

1.2.2 盾构线型复杂

本工程盾构机单次掘进长度较长,约 3km;同时曲线长度占比高,约 58%,共 3.5km;小曲率半径 (R = 150m) 曲线长度共约 1.3km;“S”形连续转弯数量共计 18 个。

1.2.3 水文地质复杂

本工程隧道穿越地层囊括长沙市所有地层类型,始发井地层平均渗透系数为 $3.78E+01m \cdot d^{-1}$,是正常情况的 100 倍;单位长度隧道最大涌水量为 $970.77m^3 \cdot d^{-1}$,是正常情况的 800 倍;同时盾构隧道需下穿浏阳河,下穿距离仅 9.5 m,因此安全风险非常高。

2 BIM 实施策划

2.1 BIM 应用目标

针对本工程小曲率半径电力隧道盾构施工的建设特点与难点,对 BIM 技术进行借鉴以及创新应

用,以解决本工程的难点,指导现场施工^[1-2],优化施工工艺以及场地布置^[3-5],控制盾构隧道小半径区间的线形偏差,达到提升管理,节约成本,加快工期,同时将本工程的 BIM 应用新技术进行推广的目的。响应本公司发展 BIM 及时提高核心竞争力的号召,也为本工程创全国建设工程项目施工安全生产标准化工地、全国建筑业绿色施工示范工程、湖南省建筑工程质量标准化示范基地打下良好的基础。

2.2 团队组织与软硬件环境

2.2.1 团队组织

为更好地开展本工程 BIM 技术应用工作,项目经理部在公司 BIM 技术中心的指导下成立项目 BIM 小组,由项目经理担任组长,项目技术负责人担任副组长,项目 BIM 工程师负责本工程施工全生命周期内的 BIM 应用,同时协调各部门落实各项 BIM 技术应用点。

2.2.1 软硬件环境

本工程 BIM 技术的开展主要以 Revit 的主要建模软件,3D max 作为可视化应用、虚拟样板的辅助软件^[6],After Effects、Premiere、Photoshop 作为后期处理的主要软件,应用 Abaqus、Solidworks 作为节点优化以及盾构线型纠偏的主要软件^[7-9],应用 RAV-VAR 平台进行 AR 模型的建立^[10],同时应用移动端的 BIM5D 进行工程协同管理^[11]。配备移动工作站、无人机、一体控触机等硬件设施保障 BIM 技术的开展与应用。

2.3 BIM 实施标准

BIM 小组根据行业规范《建筑信息模型施工应用标准 GB/T51235-2017》^[12]和公司相关标准,编制 BIM 实施策划方案和 BIM 建模标准。统一确定名称、格式、提高建模精度(表 1),明确 BIM 实施目标,打造 BIM 应用标准,规范人员管理分工,提高工作效率和质量。

3 BIM 技术应用

3.1 基础功能应用

3.1.1 建立标准化族库

本工程包括土建工程以及盾构工程,零构件较多。小组依据专业图纸以及建模标准,建立标准化族库,包括土建工程 53 个族,盾构工程 39 个族,提高模型的利用效率,加快 BIM 工程师的工作进度(图 3)。

表 1 BIM 模型标准		
项目	标准	
单位、坐标	模型长度单位为 mm,标高的单位为 m。	
构件模型 信息标准	地连墙	基本属性:墙厚、墙深、材料信息 表面材质:混凝土,RGB 0 170 170
	灌注桩	基本属性:桩直径、桩长、材料信息 表面材质:混凝土,RGB 0 170 170
钢支撑	钢支撑	基本属性:直径、壁厚、材料信息 表面材质:钢,RGB 250 0 0
	砼支撑	基本属性:截面尺寸、材料信息 表面材质:混凝土,RGB 100 14 140
盾构管片	盾构管片	基本属性:管片长、宽、管片信息,材料信息 表面材质:混凝土,RGB 0 170 170
	土建领域	工程名称—盾构井名称—分项工程—构件—尺寸
模型 命名标准	盾构领域	工程名称—区间名称—分项工程—构件—尺寸

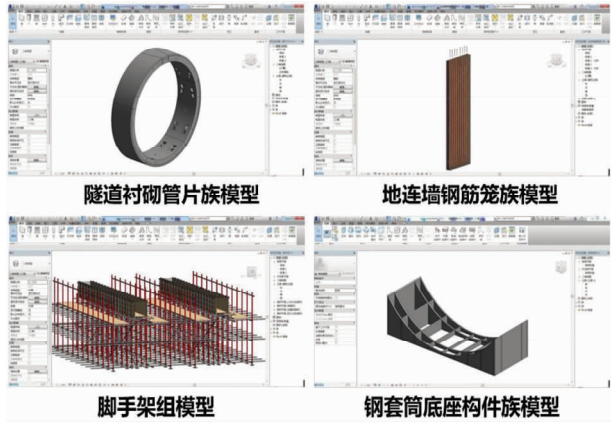


图 3 BIM 族模型

3.1.2 创建 BIM 实体模型

根据 BIM 建模标准,规范整个项目 BIM 建模体系,对模型进行整体深化,提升模型精度,保证模型与施工现场的一致性,截止目前为止已完成工作井模型 10 个、围护结构 10 个、场地布置模型 10 个、管片模拟拼装 6 000 环、盾构机及配套设施模型等,工程实体建模覆盖率 100%(图 4)。

3.1.3 模型渲染出图

在方案编制过程中,利用 BIM 模型进行渲染出图,作为图示以对方案进行说明,至今已应用在本工程所有的 54 个施工方案中。提高了方案的理解效率,加速了监理、业主的审批速度(图 5)。

在进行科研创新如编制专利、工法等材料时,将创新思路进行 BIM 建模后渲染出图,逼真地展示科研成果思路,同时对科研成果加以优化(图 6)。

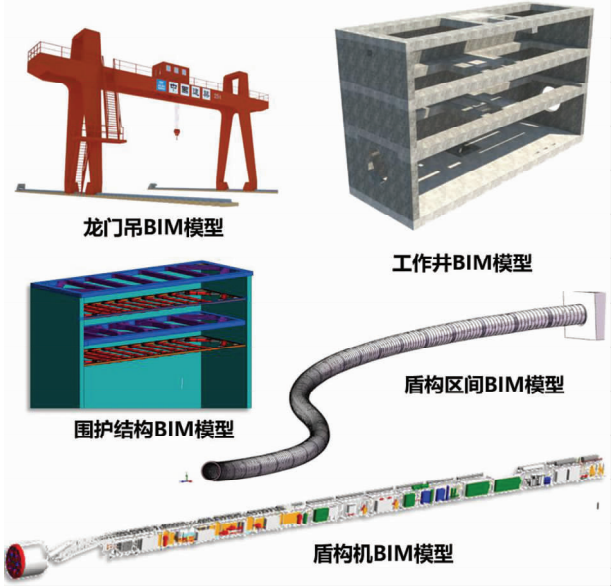


图 4 实体 BIM 模型

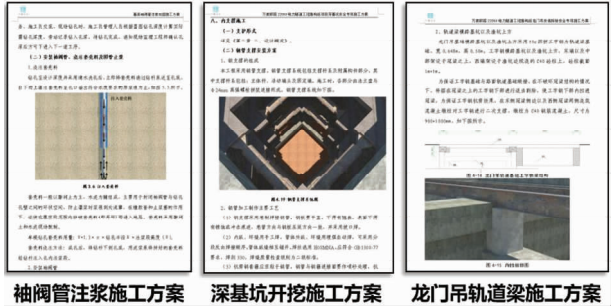


图 5 方案编制

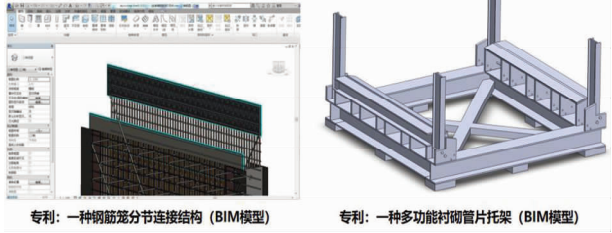


图 6 辅助科研创新

3.1.4 模型指导施工

对现场以及驻地的布置进行参数化合理布置模拟,BIM 直接出图用以指导现场施工,达到节地、节材,合理利用场地的效果。对关键施工工序提前建立 BIM 模型并深化后直接指导现场施工,确保现场施工效果与模型 100% 吻合(图 7)。同时采用 BIM 设计软件模拟优化装配式集装箱的建造过程,建立构件集装箱尺寸、材料总数据库,有效地解决

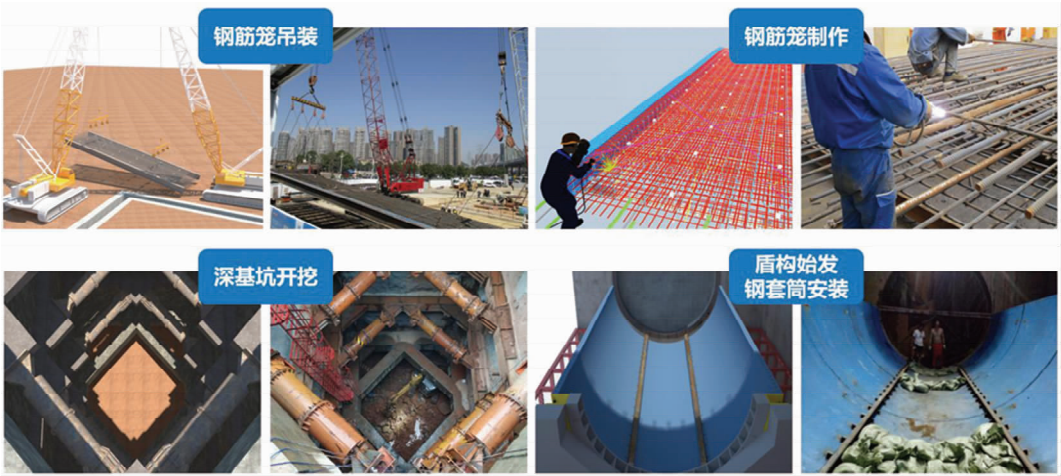


图 7 模型指导施工

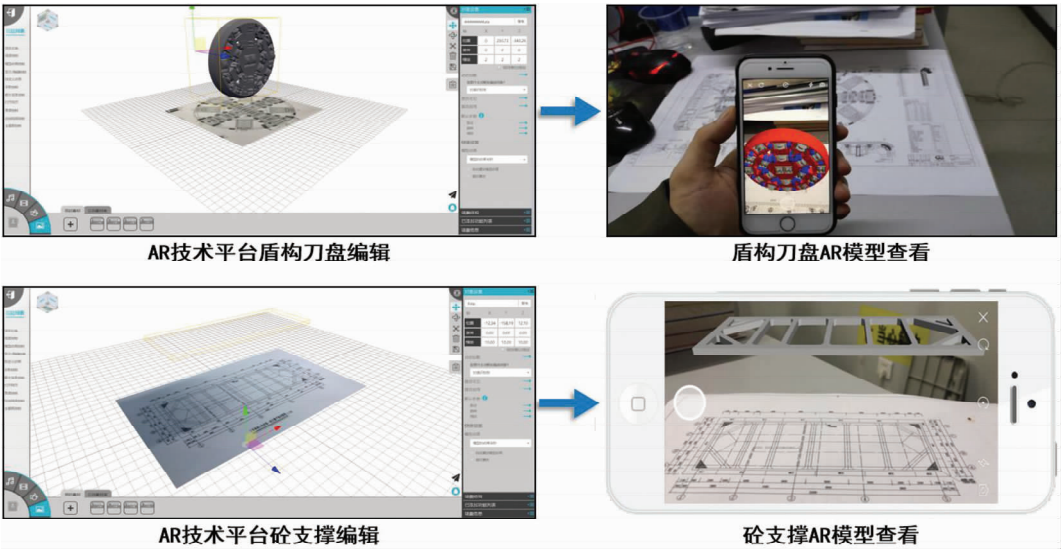


图 8 AR 虚拟样板技术应用

了在装配过程中“错、漏、碰、缺”等问题,提高装配精度以及装配效果。建立始发井周边地层模型,清晰地展示周边土质条件与特点,同时配合盾构监控平台,对掘进参数进行动态管理,更好地对盾构始发进行风险源预判以及安全管控^[13]。

3.1.5 AR 虚拟样板技术应用

利用 RAVVAR 技术平台结合 Revit 模型,技术平台结合,生成 AR 虚拟样板模型。只需用手机在图纸上进行扫描,手机中的画面则会生动地出现一个三维 BIM 模型,位于图纸的上方,同时可移动手机对模型进行全方位的观察。减少由于对图纸的误读和信息传递失真所造成的巨大损失,减少施工人员反复读图、识图所耗费的时间^[14](图 8)。

3.2 优化功能应用

3.2.1 优化场地布置

通过 BIM 技术对施工场地进行优化、协调管理,检验施工场地布置的合理性。模拟完成现场由土建施工阶段场地布置到盾构施工阶段场地布置的转变(图 9),从源头减少安全隐患,利用率提高约 15%,冲突率下降约 30%,节省工期约 20 天,充分体现现场绿色施工特点^[15]。

3.2.2 优化设计图纸

通过模型进行碰撞检查,发现设计图纸中的问题,形成碰撞冲突报告^[16],避免因图纸问题而造成返工损失以及对进度所带来的影响,累计发现并解决主体结构碰撞问题 11 处。



图 9 优化场地布置



图 10 狭小盾构井盾构机优化分体

利用 BIM 软件模拟竖井施工区域和高压架空线的空间位置关系,与实地调查结果进行对比符合。通过该方法发现了有几处竖井施工区域周边环境与设计给出的数据不相符的情况,最后都及时予以了纠正及优化。

本工程盾构区间管片原设计采用标准衬砌环管片,拟变更为通用衬砌环管片。通过 BIM 技术分别建立盾构标准环管片和盾构通用环管片的盾构区间,同时分别导出所需的管片数量、零构件数量以及工期等参数。

3.2.3 优化施工方案

(1)狭小盾构井盾构机优化分体

本工程盾构机总长 128m,而始发井长度仅 29m,始发时无法采用常规方法将盾构机直接放入井下始发掘进。因此采用 BIM 技术,模拟优化盾构机的始发方案,对盾构机进行分体始发(图 10)。最终形成工法以及专利。

(2)钢套筒过渡环优化

本工程始发位置地下水丰富,始发安全风险高,项目创新采用钢套筒密闭始发施工工艺。原方案中钢套筒顶端的过渡环宽度为 1.0m,在 BIM 模型的基础上进行理论分析,最终将过渡环宽度优化为 1.5m,保证了始发施工的安全(图 11)。

(3)工况分析优化

利用 BIM 技术,建立 BIM 模型,导入有限元分析软件 ABAQUS 进行施工工况的节点分析、计算、验算,如钢筋笼吊装、小半径盾构掘进等,更好地指导施工(图 12)。

3.2.4 小半径区间线形控制

创新采用工业设计软件“SolidWorks”,以 Revit 模型为基础建立高精度的衬砌管片模型。随后在“SolidWorks”中根据现场管片实际拼装点位进行管

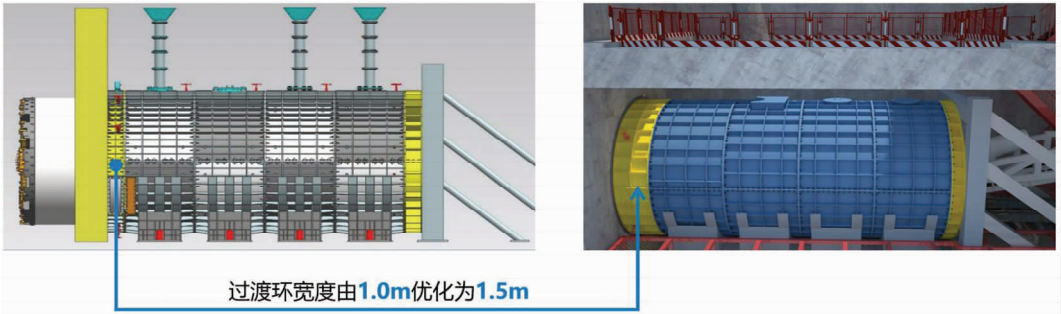


图 11 钢套筒过渡环优化

片模型的可视化排布以及预排布,生成盾构隧道区间模型。随后再将盾构区间设计轴线的 CAD 模型导入“SolidWorks”内,将其移动至与盾构隧道区间模型的始发点位置和方向重叠,此时便可以进行可视化路径偏差,清晰地展示出当前掘进情况,进行小半径区间线形控制,同时更加方便现场盾构管片的拼装(图 13)。

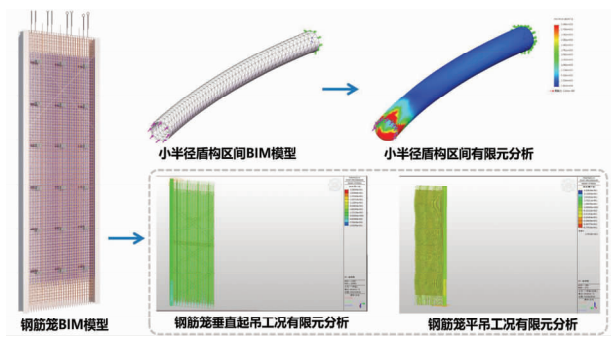


图 12 工况分析优化

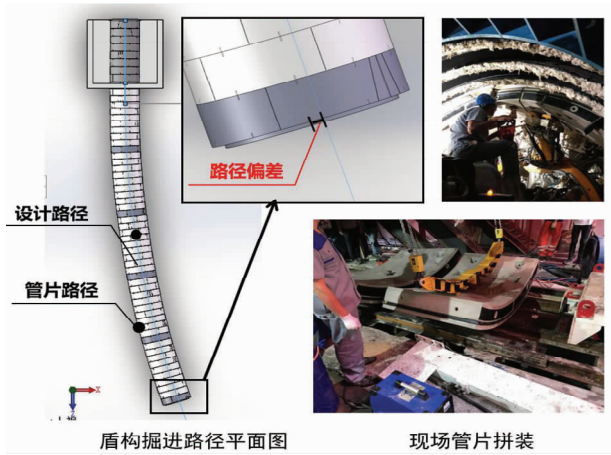


图 13 工况分析优化

3.3 施工管理应用

3.3.1 质量安全协同管理

利用 BIM5D 平台,对工程质量、安全进行线上协同管理,将现场发现的质量安全问题,通过手机移动端上传至 BIM5D 平台,同时在平台内的 BIM 模型中进行安全质量问题发生地点的定位,随后编辑质量安全整改信息,最终在线上下发整改通知,实现高效协同管理(图 14)。

3.3.2 材料成本管理

对 Revit 模型进行材料信息导出,根据导出的材料信息结合节点要求编制材料计划,细化到材料型号及尺寸,以便进行精细化管理。同时建立 BIM 模型后导入至 Glodon GCL 算量软件,提供施工图预算进行目标成本控制,为工程过程成本管理、与分包进行工程结算提供数据支持^[17-18]。

3.3.3 进度管理

利用 Navisworks,结合 Revit 模型动态模拟当前施工进度。提取数据分析计划进度与实际施工进度偏差,进行多次对比,若有偏差,及时分析并采取纠偏措施。

3.3.4 信息化管理

利用二维码信息技术,将工程实体实名制信息及模型信息,通过二维码的形式记录在实体上,实现工程实体质量信息的公开化,为质检人员进行成品复测和验收提供参考,质检时减少了不必要的资料,实现“轻量化”管理,也便于产品的追溯本源(图 15)。

4 项目应用效果

通过 BIM 技术在本工程的应用,在安全质量方面,提升了现场施工质量,盾构线型偏差控制在 $\pm$

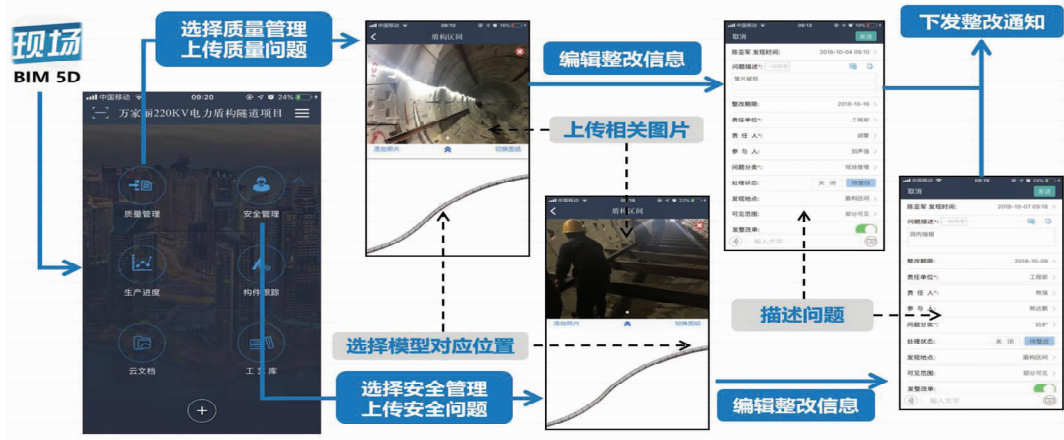


图 14 质量安全协同管理

表 2 BIM 应用点统计表

分类	应用点	应用情况	推广程度
基础功能应用	建立标准族库	建立标准族数量:土建工程: 53 个; 盾构工程: 39 个。	★★★★☆
	创建实体模型	工程实体建模覆盖率 100%。	★★★★☆
	模型渲染出图	用于 54 个施工方案内; 对现场进行全景 VR 展示; 辅助科研创新	★★★★☆
	模型指导施工	现场施工与模型 100% 吻合; 地层风险预判; 模拟现场漫游动画。	★★★★☆
	AR 技术应用	利用睿视 AR 技术平台结合 BIM 模型,生成 AR 模型。	★★★★★
优化设计应用	优化场地布置	始发井场地利用率提高 15%, 冲突率下降 30%, 节省工期 20 天。	★★★★☆
	优化设计图纸	碰撞检查 11 处; 周边环境复核; 辅助变更创效 600 万。	★★★★★
	优化施工方案	优化分体盾构始发、钢套筒始发、低净空钢吊装方案及结构优化。	★★★★★
	线形控制	采用 SolidWorks 进行管片模型的可视化排布以及预排布。	★★★★★
施工管理应用	质量安全管理	利用 BIM5D 平台,对工程质量、安全进行线上协同管理。	★★★★☆
	材料管理	生成材料计划以及材料用量精细化把控。	★★★★☆
	进度管理	利用 Navisworks,提取数据分析计划进度与实际施工进度偏差。	★★★★☆
	成本管理	形成材料采购清单,确定成本与结算依据。	★★★★☆
	信息化管理	利用二维码信息技术结合 BIM 模型进行项目全方面的管理。	★★★★★



图 15 盾构管片质量信息

30mm,教育效果显著,安全零事故,通过 BIM 可视化交底,完成 1 300 人次的安全教育;在进度方面,改变了传统的工作模式,提高了工作效率。计划始发需 180 天,实际仅 150 天;截止至今盾构共掘进 2 500 环,计划 130 天,实际 100 天。共节省工期 60 天;在社会效益方面,通过参加各项 BIM 赛事、观摩和湖南卫视等主流媒体的报道,塑造了良好的品牌形象,极大地提升了企业知名度和竞争力;在技术效益方面,已借助 BIM 技术申报 11 项专利, 3 篇工法, 2 个 QC 成果;在人才培养方面,组织开展 BIM 培训活动达 20 余次,赴北京、西安等地学习交流 3 次,培养 BIM 骨干 9 人。得到了社会各界的好评,为今后电力盾构隧道施工领域的 BIM 技术应用提供了借鉴以及宝贵的经验。

5 结语

通过 BIM 技术在电力盾构隧道工程的应用,成

功地保证了本工程的顺利施工,同时也获得了不错的成果。同时快速地掌握大量的工程施工数据,创建 BIM 信息数据库,为后续类似工程施工提供参考依据。项目对本 BIM 技术应用点进行情况统计并确定可推广程度(表 2)。

尽管本工程应用 BIM 技术取得了较好的成果,但是在 BIM 技术的应用过程中,仍然存在一些问题值得改善: 1)项目应用 BIM 技术需要全员参与; 2)应建立项目族库,减少低水平重复; 3)应注重信息数据的收集与传递工作; 4)应统一各线条标准,提高协同效率。综上所述,就总体而言,当前对 BIM 技术的研究仍然属于初级阶段,BIM 技术在土木建筑领域上还有很多环节有待深入的研究发展。

参考文献

[1] 付永建. 论 BIM 技术如何更高效指导工程施工[J]. 中国标准化, 2019(10): 49-50.

[2] 刘满平. BIM 技术在施工企业中的应用研究[D]. 北京建筑大学, 2016.

[3] 尹湘, 梅明磊, 王柳磊. BIM 技术在工程建设节约成本方面的应用[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2018, 27(1): 24-27.

[3] 赵一帆. 基于 BIM 技术的施工方案优化分析[J]. 福建建材, 2019(6): 43 - 44 + 85.

[4] 李西禄. 基于 BIM 技术的施工场地布置优化研究[D]. 北京建筑大学, 2019.

[5] 张彦文, 张超, 张志强, 等. BIM 平台优化施工图设计及施工指导的策略研究[J]. 山西建筑, 2019, 45(4):

- 117-118.
- [6] 李芳, 王轶, 柳志丹, 等. 基于 3DMAX 的隧道工程施工动画建模研究[J]. 山西建筑, 2018, 44(27): 164-165.
- [7] 郭胜豪, 鄢多多, 游彦蔚. 基于 BIM 及 ABAQUS 建模的过街天桥增设方案研究[J]. 山西建筑, 2018, 44(33): 152-154.
- [8] 贺刘芳. 基于 SolidWorks 软件的三维技术探讨[J]. 南方农机, 2018, 49(21): 135 + 137.
- [9] 温仕明. 三维建模软件 Solidworks 在科研革新中的应用分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2019, 9(4): 12 - 13 + 26.
- [10] 覃月金, 唐际宇, 唐阁威, 等. BIM 与 AR 技术结合在施工质量控制中的应用[J]. 建筑施工, 2018, 40(12): 2149 - 2150 + 2154.
- [11] 刘长安. BIM 技术在工程项目协同管理中的应用研究[J]. 居业, 2019(2): 36-37.
- [12] GB/T 51235-2017, 建筑信息模型施工应用标准[S].
- [13] 齐宝库, 魏思宇. BIM 功能及其应用分析[J]. 建筑与预算, 2019(6): 5-10.
- [14] 张宏春. 基于 BIM 与 AR 的建筑施工质量控制要点分析[J]. 住宅与房地产, 2018(31): 141.
- [15] 张文博. BIM 技术在施工场布优化中的应用分析[J]. 住宅与房地产, 2018(30): 182.
- [16] 李小娟. BIM 碰撞检查技术对建筑施工图纸的优化探析[J]. 建材与装饰, 2019(2): 5-6.
- [17] 朱梓菲. 基于 BIM 的工程项目施工成本控制研究[D]. 长江大学, 2018.
- [18] 刘祖雄. 基于 BIM 技术的施工材料精细化管理的应用研究[D]. 武汉理工大学, 2018.

BIM Application in Construction Stage of Wanjiali Power Shield Tunnel Project in Changsha

Chen Yajun, Wang Hao, Lv Tao, Zhou Yanwen,
Xu Zhibo, Liu Zhen, Long Biao, Wang Wen

(CCFEB Civil Engineering Co., Ltd., Changsha 410004, China)

Abstract: The rapid development of construction technology has made the BIM technology increasingly influential during the construction stage of projects. In views of the construction characteristics and difficulties of the 220kV power tunnel project of Wanjiali Road in Changsha, the first power shield tunnel in Hunan province, this paper explores the application of BIM technology in the construction stage by referring the innovative BIM applications. The research on BIM technology application is carried out mainly from three aspects of the application of basic function, optimization function and construction management. There have been some applications of BIM technology concluded with significant popularization value, respectively aiming at guiding the field construction, optimizing the construction technology and site layout, and controlling the linear deviation of small radius section of shield tunnel. The application of BIM technology in this project has achieved good results in many areas including quality, safety, progress, construction technology, social benefits, personnel training, and etc., receiving favorable comments by all communities. The research also provides reference and valuable experience for the application of the BIM technology in the field of shield tunnel construction in the future.

Key Words: BIM Technology; Electric Power Tunnel; Shield Tunnel; Small Radius Interval; Application