

BIM 技术在接触网工程设计与施工中的应用

王久琿

中铁二院重庆勘察设计研究院有限责任公司 重庆 渝北 400000

摘 要：针对轨道交通接触网工程传统二维设计精度不足、施工工序混乱、多专业协同低效、全生命周期管理缺失等痛点，本文依托 BIM 技术可视化、参数化、模拟仿真及数据协同的核心优势，系统探究其在接触网设计、施工准备、现场施工及竣工运维阶段的具体应用。同时梳理当前技术应用中族库不完善、现场落地不足、数据协同不畅等问题，提出针对性优化对策，并展望智能化、装配式融合发展趋势，为接触网工程数字化提质增效提供参考。

关键词：BIM 技术；接触网工程；设计；施工；应用

引言：轨道交通接触网工程结构繁杂、施工精度要求高、交叉作业密集，且受现场环境影响极大，传统二维施工模式易出现设计偏差、工序冲突、质量溯源难等问题，难以适配现代铁路工程高质量建设需求。BIM 技术作为数字化工程核心手段，可实现工程全生命周期信息化管控。基于此，本文结合接触网工程特性与 BIM 核心技术，全方位剖析其工程应用场景，剖析现存短板并给出优化方案，助力轨道交通接触网工程数字化、精细化升级发展。

1 接触网工程与 BIM 技术核心理论

1.1 接触网工程概述

(1) 接触网工程组成：接触网由支柱基础、腕臂结构、承力索、接触线与定位装置等核心构件组成。支柱作为承载骨架，提供物理支撑；腕臂用于调节承力索与接触线空间位置；承力索承担主要张力荷载，接触线直接为电力机车供电，定位装置则保证受电弓平稳取流，各构件协同工作，构成完整的供电网络。(2) 接触网工程施工特点：施工呈现精度要求高（毫米级安装误差控制）、高空作业多（腕臂与线索架设均属高风险作业）、交叉施工频繁（与站前工程及信号、通信专业交叉密集）、受现场环境影响大（风、雨、温湿度直接影响测量与架线精度）、运维标准严苛（接触线平顺度及张力需长期保持设计值）等显著工程特性^[1]。(3) 传统工程模式痛点：传统二维图纸难以直观表达空间几何关系，易产生设计歧义；人工放线受测量误差累积影响，定位精度不足；施工工序组织依赖经验，交叉作业冲突频发；竣工资料以纸质为主，质量溯源困难，不利于全生命周期管理。

1.2 BIM 技术核心原理与特性

(1) BIM 技术基本概念：建筑信息模型是以三维数字技术为基础，集成工程项目全生命周期几何与非几何信息的数字化表达，其核心内涵在于以信息驱动决策，具备数字化存储、可视化呈现及参数化关联三大核心优势，为工程管理提供统一的数据底座。(2) BIM 技术核心特性：三维可视化实现设计成果立体呈现与虚拟漫游；参数化建模支持构件尺寸、材质等属性联动修改；协同化设计允许多专业同平台并行作业；模拟仿真可对施工过程及受力状态进行预演；数据集成化将设计参数、施工记录与运维信息统一管理，打破信息孤岛。(3) BIM 技术应用层级：LOD (Level of Development) 模型标准涵盖 LOD100~500 五级精度，分别对应概念设计、初步设计、施工图设计、施工深化与竣工交付阶段。接触网工程设计中，方案比选阶段采用 LOD100~200，施工图设计采用 LOD300，施工深化及预制加工适配 LOD350~400，竣工交付需达到 LOD500，以满足各阶段管理需求。

1.3 接触网工程 BIM 关键支撑技术

(1) 参数化建模技术：基于接触网专业构件（支柱、腕臂、绝缘子、定位器等）的几何与物理参数，搭建标准化族库，支持快速实例化建模与动态调整，提升设计效率与模型复用能力。(2) 碰撞检测技术：在三维协同环境中，针对接触网与桥梁、隧道、信号设备等周边构筑物进行空间冲突校核，提前发现硬碰撞与软碰撞问题，减少施工返工。(3) 4D 施工模拟技术：将 BIM 模型与施工进度计划 (Project Schedule) 关联，生成 4D 动态施工模拟，实现工序排布可视化推演与进度优化，辅助识别工期风险。(4) 数据协同管理技术：依托云协同管理平台，实现设计、施工、监理多方数据共享与版

本统一,建立完整的工程数据变更与审批流程,保障设计参数、施工记录与检验数据全程可追溯。

2 BIM 技术在接触网工程设计与施工中的具体应用

2.1 BIM 技术在接触网工程设计阶段的应用

(1) 三维参数化建模:依托标准化构件族库(含支柱、腕臂、绝缘子、定位器及锚固装置等),搭建接触网系统整体三维模型。以立体可视化替代二维图纸,支持多视角、多尺度呈现工程布局与细部构造,为设计优化提供精准数字载体。(2) 多专业协同优化设计:基于 BIM 协同平台,将接触网模型与线路平纵断面、桥梁、隧道、信号等专业模型空间集成。各专业在统一坐标系下并行设计,通过实时共享与版本管控,在设计初期消除接口冲突,避免“错、漏、碰、缺”。(3) 碰撞检测与方案优化:利用 BIM 碰撞检查功能,对硬碰撞(几何侵入)与软碰撞(安全距离不足)系统校核,重点排查腕臂与拱顶、锚栓与翼缘板、支柱与信号机等关键部位冲突。依据检测报告提前优化设计、调整定位或修改参数,大幅减少施工阶段设计变更^[2]。(4) 工程量精准统计:依据 BIM 构件属性信息,按区段、按类型自动统计支柱数量、腕臂组装件、承力索及接触线长度、金具用量等数据。以明细表输出,精度显著高于人工估算,为招投标、采购及造价动态管控提供可靠数据支撑。

2.2 BIM 技术在接触网工程施工准备阶段的应用

(1) 施工场地可视化规划:利用 BIM 三维场地布置模型,结合施工区域地形地貌及既有设施分布,对材料堆放区、构件预制场地、大型吊装设备站位、施工便道及临时设施进行立体化规划与方案比选,优化物流路径与空间利用效率。(2) 施工方案模拟推演:针对腕臂支柱组立、承力索架设、接触线架设与落锚等关键工序,建立精细化施工过程模拟,明确吊车回转半径、牵引张力设定值、作业平台高度等关键参数,提前发现方案缺陷,优化工序衔接与资源配置。(3) 施工技术交底可视化:摒弃纯文字交底方式,基于 BIM 模型及施工动画,向作业班组直观展示工序操作要点、构件安装顺序及质量验收标准,使复杂工艺一目了然,显著降低因理解偏差导致的操作失误。

2.3 BIM 技术在接触网工程现场施工阶段的应用

(1) 精细化预制施工:依据 BIM 模型精确参数,将腕臂组装、吊弦预制、锚固件加工等环节前移至工厂完成,利用数字化加工设备提高构件预制精度。现场仅需按编号拼装,有效降低现场切割、焊接及调整作业造成的累积误差与质量波动。(2) 4D 进度动态管控:将

BIM 模型与施工进度计划关联,形成 4D 施工管理模型。现场通过移动端定期录入实际施工进度,系统自动对比计划进度与实际进度,以颜色预警方式直观显示滞后区段,辅助管理人员及时分析原因并动态调整资源投入与工序安排。(3) 施工质量实时管控:现场测量数据(如支柱倾斜度、承力索高度、接触线拉出值等)与 BIM 模型对应设计值进行实时比对,实现安装精度动态校核。对偏差超限部位即时预警,督促整改,确保每一道工序质量可控、可追溯。(4) 施工安全风险防控:基于 BIM 模型结合施工组织设计,对高空作业(腕臂安装、线索调整)、大型机械吊装作业及邻近既有线施工等高风险环节进行风险场景模拟,提前辨识坠落、碰撞、触电等危险源,辅助制定防护围栏设置、安全网搭设及人员防护用品配备等专项防控措施,从源头降低安全事故发生概率^[3]。

2.4 BIM 技术在工程竣工与运维衔接中的应用

(1) 竣工模型轻量化整改:在施工过程中持续积累设计变更、现场签证及隐蔽工程验收资料,经全面核查与修正后形成竣工 BIM 模型,确保模型中每一根支柱、每一段线索及每一处附属设施均与现场实际完全一致。同时采用轻量化处理技术,保障大型竣工模型在常规终端设备上的流畅浏览与操作体验。(2) 工程资料数字化归档:以竣工 BIM 模型为核心载体,集成施工图纸、设计变更单、进场材料检验报告、隐蔽工程影像记录及工序验收表格等全部工程文档,形成结构清晰、关联紧密的数字化工程档案。所有资料均按区段、按类型索引存储,实现快速检索与精准溯源,改变传统纸质档案查阅繁琐、易丢失等弊端^[4]。(3) 为后期运维提供数据支撑:完整的竣工交付 BIM 模型承载了接触网系统全空间定位信息、构件型号规格、安装日期、设计参数等关键数据,可直接移交运维管理平台。在后期检修维护、设备更换或线路改造时,运维人员可随时调取模型获取精确的空间定位与属性信息,辅助故障原因分析与维修方案决策,实现 BIM 模型价值向运维阶段的有效延伸。

3 应用现存问题与优化对策

3.1 BIM 技术在接触网工程应用中的现存问题

(1) 专业标准化族库不完善:接触网异形构件(如特殊腕臂、非标准定位器、新型补偿装置)及新型设备众多,行业缺乏统一完备的标准化族库。各项目重复建模,数据格式不一,制约模型复用与跨项目共享。(2) 技术落地专业性不足:现场管理人员及班组对 BIM 认知与操作能力薄弱,多沿用传统方式。BIM 模型常沦为展示工具,未融入工序交底、安装校核与验收,模型与施

工脱节,重形式、轻应用。(3)多专业数据协同性差:接触网与线路、桥梁、隧道、信号、供电等专业模型交汇,但因软件平台、数据格式及编码标准不统一,集成困难、信息丢失严重。数据共享依赖线下拷贝与人工整合,协同效率低,版本混乱。(4)全生命周期应用体系不健全:BIM应用多限于设计与施工前期,竣工后运维阶段断链。竣工模型未承载运维关键数据(维护周期、检修记录、备件信息等),前期投入难以在运维中发挥延伸价值,数字化闭环未形成。

3.2 BIM 技术应用优化对策

(1)搭建标准化接触网专业族库:由行业主管部门或大型设计院牵头,依据接触网工程设计标准与施工验收规范,系统梳理各类支柱、腕臂、定位装置、锚固设备等构件的通用参数与几何约束规则,搭建统一、开放的标准化族库,实现构件模型的标准化创建与跨项目复用。(2)强化现场人员技术培训:分层分类制定BIM培训计划,面向项目经理开展BIM管理理念培训,面向技术负责人开展模型应用与审核培训,面向一线作业班组开展可视化交底与移动端模型查看操作培训。通过将BIM应用纳入岗位考核,推动数字化管理手段真正下沉至施工现场。(3)统一数据标准与协同平台:参照国家标准与行业BIM交付标准,统一各专业模型的数据格式、坐标系与编码体系。搭建基于云端的协同管理平台,实现设计模型在线发布、问题在线追溯、版本统一管控,打通各参与方数据流通壁垒,实现“一个平台、一套数据、多方共享”^[5]。(4)构建全生命周期应用体系:制定从设计到运维全过程BIM应用实施规划,在设计阶段即明确竣工模型交付标准与运维数据需求。在施工过程中持续积累安装记录、检测报告及变更签证等信息,通过平台集成形成竣工交付数据资产,为运维管理平台直接调用奠定基础,实现BIM价值向运维端的有效延伸。

3.3 工程应用展望

(1)智能化融合发展:未来BIM将与物联网传感技术深度融合,通过在接触网关键部位部署应力、位移、温度等智能传感器,实时监测服役状态并上传至BIM模

型,结合大数据分析 with 人工智能算法,实现接触网系统异常预警与故障智能诊断,推动事后检修向状态检修模式转型升级。(2)装配式施工深度融合:依托BIM模型的精准参数输出,推动腕臂组装、吊弦预制、锚固件加工等环节全面工厂化、装配化。通过模拟装配过程优化构件拆分方案与连接节点设计,配合二维码、RFID等技术实现构件从生产、运输到安装的全过程数字化追踪,进一步提升施工效率与安装精度。(3)行业标准化完善:通过大量工程实践积累,推动行业层面出台接触网工程BIM技术应用标准、模型交付规范及验收评定细则,明确各阶段模型深度要求与数据格式规范,为全行业BIM技术推广应用提供制度保障,助力轨道交通工程数字化转型与高质量发展。

结束语

本文全面梳理了BIM技术在接触网工程设计、施工、竣工运维全流程的应用价值,明确其在优化设计方案、严控施工质量、规避安全风险、实现数据溯源等方面的核心作用。同时指出当前行业应用存在的标准化、落地性、协同性等短板,提出系统性优化策略。未来需深化BIM与智能传感、装配式施工融合,完善行业标准体系,构建全生命周期数字化闭环,推动轨道交通工程建设高质量发展。

参考文献

- [1] 李平,李瑞,张雪.基于BIM技术的高铁接触网全生命周期管理研究[J].铁路计算机应用,2024,33(11):44-48.
- [2] 张振海,刘艳杰,张凝.基于BIM的铁路四电工程施工管理平台关键技术研究[J].铁道技术标准,2022,4(12):98-102.
- [3] 刘北胜,江若飞,吕向茹.面向铁路基础设施全生命周期数据传递的通用数据模型研究[J].铁道标准设计,2024,68(05):71-78.
- [4] 赵耀,彭涛,袁强.规划设计阶段数字孪生牵引供电系统数据融合方法及应用研究[J].铁道标准设计,2025,69(03):36-42.
- [5] 张毅.基于BIM的接触网腕臂装配设计系统研究[J].铁路计算机应用,2025,34(02):56-60.