

文章编号: 1674—8247(2024)06—0001—07

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.001

成渝中线高速铁路智能勘察设计技术创新与实践

王同军¹ 谢毅² 严瑾²

(1. 中国铁道学会, 北京 100844; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:基于中国铁路建设数字化、智能化的发展趋势和当前智能建造的体系架构,文章探讨了智能勘察设计在智能建造全过程中的源头驱动作用,结合成渝中线高速铁路的工程特点和需求,提出了基于“模数驱动、轴面协同”理论,以数智设计一体化平台为中心,空天地一体化智能勘察、智能选线与集成设计、基于 BIM 的协同设计等 3 大系统为支撑的技术方案,进一步解决了专业接口差错漏碰、跨阶段数据流转困难等问题;提出了基于模数一体的数字解析技术和成果交付形式,推动了勘察设计交付数据的创新应用,扎实打造了全生命周期数据链条的第一环,为后续智能施工、智能运维奠定坚实基础。

关键词:智能建造;智能勘察设计;BIM 协同设计;模数一体

中图分类号:U212

文献标志码:A

Innovation and Practice of Intelligent Survey and Design Technology for the Middle Line of Chengdu-Chongqing High-speed Railway

WANG Tongjun¹ XIE Yi² YAN Jin²

(1. China Railway Society, Beijing 100844, China;

2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Based on the development trend of digitalization and intelligence in China's railway construction and the current system architecture of intelligent construction, this paper explored the source-driven impetus of intelligent survey and design in the entire process of intelligent construction. Combined with the engineering characteristics and main requirements of the Middle Line of Chengdu-Chongqing High-speed Railway, a theory based on “MDD-APC (Model data driven, Axis plane coordination)” was proposed. a technical solution centered on the integrated platform of digital and intelligent design, supported by three systems: the integrated intelligent survey system, the intelligent route selection and integrated design system, and the collaborative design based on BIM, is proposed to substantially solve problems such as interfaces, errors, omissions, and cross stage data flow. Additionally, the paper introduced digital analytic techniques and deliverable formats based on modulus integration, fostering innovative applications of survey and design deliverables. This effort solidly establishes the first link in the data chain spanning the full lifecycle, laying a robust foundation for subsequent intelligent construction and intelligent operation and maintenance.

Key words: intelligent construction; intelligent survey and design; BIM collaborative design; modulus integration

收稿日期:2024-10-29

作者简介:王同军(1964-),男,教授级高级工程师。

基金项目:国家重点研发计划资助(2022YFB2603400)

引文格式:王同军,谢毅,严瑾.成渝中线高速铁路智能勘察设计技术创新与实践[J].高速铁路技术,2024,15(6):1-7.

WANG Tongjun, XIE Yi, YAN Jin. Innovation and Practice of Intelligent Survey and Design Technology for the Middle Line of Chengdu-Chongqing High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6):1-7.

1 研究背景

随着科技的飞速进步,在交通基础设施建设领域,尤其是高速铁路的建设,智能建造技术已成为推动工程质量和提升工程效率的关键力量。高速铁路作为现代交通体系的重要组成部分,对施工精度、安全性和效率提出了极高的要求,而智能建造正是满足这些要求的有效途径。

智能建造在高速铁路领域的应用,覆盖了从前期勘察设计、中期施工组织,到后期运营维护的全生命周期。智能勘察设计作为高速铁路智能建造的前端环节,是工程建设的重要基础,不仅关系到工程建设质量、效率和可持续性,更是全面迈向数字化、智能化的关键一环,在智能建造全过程中发挥着重要的源头驱动作用。

1.1 源头作用方面

勘察设计处于项目全生命周期的起始阶段,在智能建造全过程中扮演着至关重要的源头角色。它是智能建造数据链的起点,为参建各方提供精准的基础勘察设计数据成果和统一的数据基准;是智能建造创新链的引擎,为智能建造顺利实施提供高质量的创新设计方案和统一的工作基准;是智能建造产业链的基石,为智能建造产业链协同、可持续发展奠定重要产业基础。

1.2 驱动作用方面

当前,智能勘察设计技术正处于快速发展阶段。传统勘察设计模式面临着数据获取难度大、处理效率低、设计精度有限等问题,难以满足现代项目对高效、精准、可持续的需求。智能勘察设计技术通过集成大数据、云计算、人工智能、物联网等先进技术,实现了勘察数据的快速采集、智能分析与处理,以及设计方案的优化与创新,为工程项目提供了更科学、合理的决策依据。面对新形势与新任务,智能勘察设计技术的发展已成为推动行业转型升级、实现高质量发展的关键^[1]。

在智能建造模式下,勘察设计不再是孤立的阶段活动,而是需要为后续智能施工、智能运营阶段创新应用提供精准全面的基础数据和决策依据,充分发挥全过程设计数据智能驱动价值。同时,设计单位优化建造方案、推动技术创新,及时提供高质量智能建造新方案,可以助力智能建造的“新赛道、新技术、新平台、新机制”转型升级^[2]。

目前,高速铁路智能建造应用探索在智能勘察设计的支撑下取得显著成效。第一,制定了中国铁路BIM标准,并得到了国内外同行的充分认可,是智能建

造标准体系的重要组成部分;第二,构建了智能建造1.0技术体系,围绕铁路工程“六位一体”建设管理需求,深入研究BIM、GIS、云计算、大数据、物联网等新技术^[3],建立了全路统一的铁路工程管理平台,满足了铁路工程建设管理需要。根据中国智能高速铁路的发展规划,近5年是智能建造攻关任务的重要突破阶段,是实现智能高速铁路体系架构2.0的关键时期,需要进一步对智能勘察设计技术开展持续创新研究和系统化、规模化应用。

成渝中线(重庆—成都)高速铁路(以下简称“成渝中线高速铁路”)线路全长291.3 km,共有车站8座,桥隧比85.5%,是国家“八纵八横”高速铁路网沪渝蓉沿江高速铁路大通道的重要组成部分,是贯彻国家战略成渝地区双城经济圈建设的重要举措,更是铁路把握新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局、实现高质量发展、展现大作为的重要体现^[4]。按照国家决策部署,成渝中线高速铁路不仅是CR450科技创新工程的依托项目,也是智能高速铁路2.0科技攻关项目^[5]。因此,在成渝中线高速铁路开展智能勘察设计研究及创新应用,具有重要意义。

2 智能勘察设计需求分析

2.1 复杂工程勘察设计需求

成渝中线高速铁路沿线不良地质现象众多,主要有矿场采空区、岩溶及岩溶水、有害气体、危岩及岩堆、高温热水和滑坡等,线路穿越多处山脉和水系,紧邻多处自然保护区、风景名胜等环境敏感区域,在设计、施工阶段需要及时快速地掌握现场的地质情况和生态变化,通过智能分析和决策,降低建设风险,有效控制工程投资。

同时,成渝中线高速铁路两端分别为成都和重庆两座超大城市,具有建筑物密集、多种城市交通运输方式交织、市政地下管网密布等特点,对设计选线和工程建设要求极高,需要开展动态、精细化设计,保障工程建设的安全和质量。

2.2 高质量工程勘察设计需求

2.2.1 数据高效采集与处理

成渝中线高速铁路项目规模大、复杂度高,勘察技术需要集成无人机、机器人、物联网等先进技术,实现数据的自动化、智能化采集^[6]。

2.2.2 设计优化与创新

为了对成渝中线高速铁路勘察设计过程中获取的海量数据进行快速处理,设计技术需通过数据分析提高数据处理效率和精度,为设计人员提供科学合理的决策支持。同时,本工程设计涵盖多专业、接口复杂,

需进一步优化协同设计^[7]。

2.2.3 设计数据全生命周期传递

为实现成渝中线高速铁路勘察设计数据从设计、施工到运营全生命周期的传递,通过构建设计一体化平台,实现数据的实时共享和智能分析,为项目决策提供全面、准确的信息支持。

2.3 高标准工程建设管理需求

为高标准推进成渝中线高速铁路建设,需从建设管理智能化、勘察设计智能化、工程施工管理智能化、保障体系等方面系统开展创新应用。通过人工智能、大数据分析等技术,实现资源最优配置及进度有效管控,支撑施工环境中安全风险的准确预测和精细化管理,推进模型数据从设计向施工、施工向运营交付,全面提升全生命周期数据流转能力,提高工程项目管理和智能建造水平。

3 智能勘察设计总体原则

(1)智能勘察设计需要从项目规划、设计、施工到运营维护直至拆除的全生命周期考虑。通过数字化手段对项目各阶段进行模拟优化,确保设计方案在全生命周期内均能满足性能、安全和成本效益的要求。

(2)智能勘察设计需要建立一个集中的数据管理控制系统,以确保数据的一致性、完整性和安全性。包括对数据访问权限的管理、数据质量的监控、数据变更的跟踪等,保障设计的连贯性和可靠性。

(3)智能勘察设计需要在一个统一的平台上共享数据和信息,实现无缝协作,提高工作效率的同时减少因信息孤岛造成的错误或重复工作。

4 智能勘察设计关键技术

4.1 多源数据融合技术

智能勘察设计涵盖多种类型的数据,如地质数据、环境数据、设计数据等。如何有效融合这些多源数据,提高数据处理效率和精度,实现多源数据的无缝对接和高效利用,是智能勘察设计技术的重要挑战^[8]。

4.2 智能算法分析技术

智能勘察设计依赖于人工智能算法进行数据分析和决策支持。需研究基于“模数驱动、轴面协同”理论,通过适用于勘察设计的智能算法,如机器学习、深度学习、知识图谱等,提高数据分析的准确性和效率。同时,还需要研究算法的优化和自适应技术,以应对不同项目和场景的复杂需求。

4.3 虚拟现实与增强现实技术

虚拟现实和增强现实技术为智能勘察设计提供了全新的展示和交互方式,研究如何将VR/AR技术应

用于设计方案的展示和修改中,是实现设计方案的沉浸式体验和交互式调整的重要一环。

4.4 云计算与大数据处理技术

智能勘察设计过程中产生的大量数据需要高效存储、处理和分析。研究通过云计算和大数据处理技术,为设计提供强大的计算能力和可扩展的存储资源,进行大规模数据处理和实时分析,同时,挖掘数据背后的潜在价值,为设计决策提供更加精准的依据。

5 成渝中线高速铁路智能勘察设计实践

5.1 智能勘察设计总体技术方案架构

结合成渝中线高速铁路的设计及建设管理需求,本线智能高速铁路建设按照智能高速铁路2.0总体规划,针对成渝中线高速铁路工程特点,系统构建智能勘察设计技术支撑体系,包括数智设计一体化平台,以及空天地一体化智能勘察、智能选线与集成设计、BIM协同设计等3大系统^[9],实现智能勘察设计数据向铁路工程管理平台交付。智能勘察设计技术支撑体系构成如图1所示。

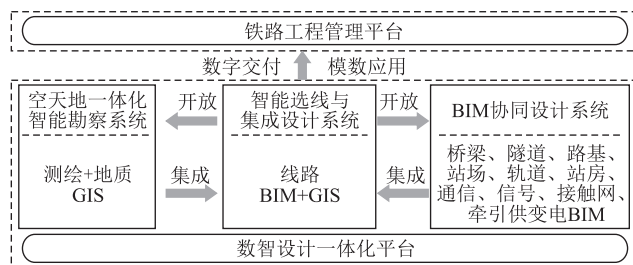


图1 智能勘察设计技术支撑体系构成图

5.1.1 数智设计一体化平台

基于模数一体,“模数驱动、轴面协同”理论,成渝中线高速铁路构建了铁路工程数智设计一体化平台,通过该平台对成渝中线高速铁路勘察设计全专业、全阶段的多源异构数据和设计成果进行分类组织、统一管理、融合应用,最终向铁路工程管理平台集中交付,为建设管理提供数据支撑。

数智设计一体化平台为设计数据积累、设计经验传承、设计大数据处理和交付等奠定基础。

5.1.2 空天地一体化铁路工程智能勘察

成渝中线高速铁路构建了集地理地质勘察智能化采集、地理地质信息智能融合与处理、地理地质综合信息表达等3大功能模块于一体的空天地一体化铁路工程智能勘察系统,贯穿地理地质勘察综合信息的全生命周期。系统的各功能模块通过网络接口实现相互调用和同步,由表达模块实现采集、处理模块的成果汇聚和展示。空天地一体化铁路工程智能勘察系统如图2

所示。

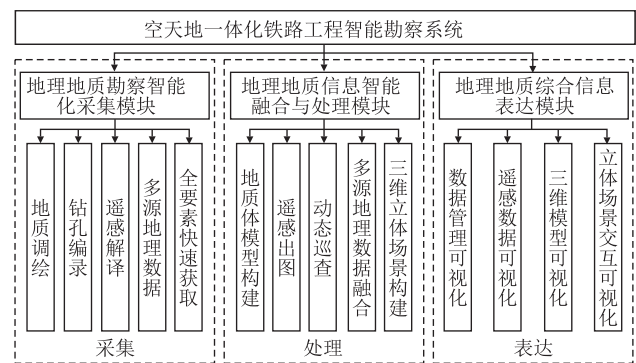


图2 空天地一体化铁路工程智能勘察系统图

(1) 地理地质勘察智能化采集模块

地理地质勘察智能化采集模块将地质调绘、钻孔编录数据进行规范化、结构化处理,通过在移动端部署应用程序,实现钻孔、地质点、地质构造数据采集管理功能,同步集成智能岩性判识、智能节理裂隙判识、电子罗盘等多种智能化加强方法。同时,通过开展外业采集应用示范,形成功能开发与应用互馈机制,达到提高地质勘察效率、降低数据采集难度的效果。

(2) 地理地质信息智能融合与处理模块

地理地质信息智能融合与处理模块集成航飞、无人机、激光 LiDAR 等多种测绘手段,获取成渝中线高速铁路沿线的全要素数据;利用多源地理数据快速获取融合,通过三维场景构建技术,将多源数据融合到统一坐标系统下,构建三维模型,形成条理清晰的各类地理数据,综合展示成渝中线高速铁路沿线各类地形地貌及周边地物;利用基于地形、遥感、钻探分层、物探解译等多源数据模型构建处理技术、深度学习架构和知识库技术及多源异构多模态新生地质灾害信息智能挖掘与快速提取技术,实现铁路沿线地质灾害的快速识别和动态巡查功能。

(3) 地理地质综合信息表达模块

地理地质综合信息表达模块采用融合卫片、航片、无人机影像的多源立体大场景构建和网络化多专业共享应用关键技术,通过影像快速拼接融合、立体重投影等过程,形成全线高分辨率左右眼视觉立体影像,提供交互绘制、矢量成果输出等功能,提高高分辨率测绘数据的高效率应用和地质遥感解译的效率与质量;利用基于 B/S 架构的地质勘察综合信息可视化模块,实现地理、地质、遥感、物探、勘探等空-天-地不同视域数据的全生命周期管理;采用三维轻量化、二维瓦片化、接口分布式等技术,通过微服务架构和三维实景框架部署应用,直观展示地质勘察结果和特征,达到降低数据处理负载和提高终端用户体验的效果。

5.1.3 铁路智能选线与集成设计

成渝中线高速铁路构建了贯通智能勘察和 BIM 协同设计的三维智能选线系统,包括了项目管理、智能选线和三维协同 3 大功能模块,以及 10 项创新应用。智能选线与集成设计系统框架如图 3 所示。

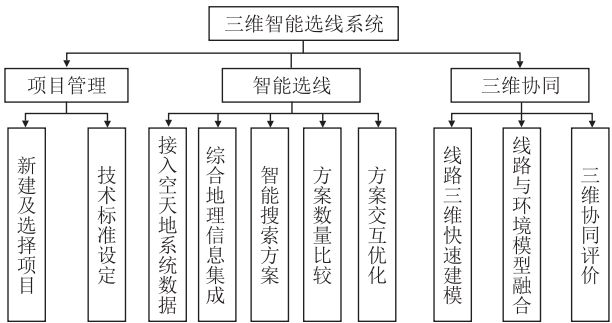


图3 智能选线与集成设计系统框架图

(1) 搭建了涵盖地形、地质、环保、水系、路网、控制性地物等基础数据的三维智能选线与集成设计环境,实现了从二维设计向三维设计的转变。综合地理信息模型如图 4 所示。

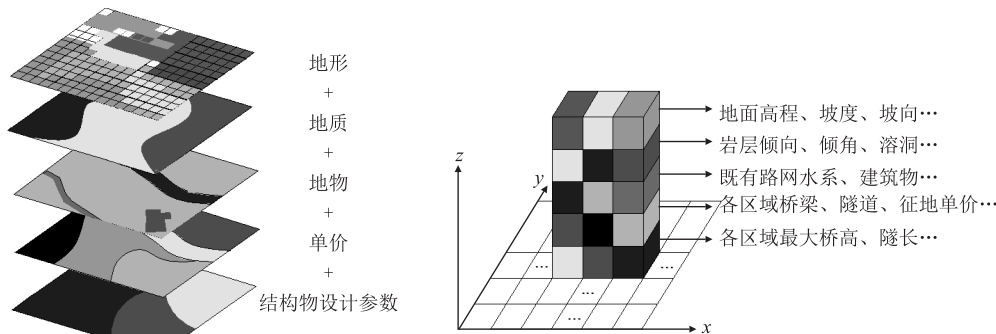


图4 综合地理信息模型图

(2) 综合多元约束条件、选线技术标准、工程经济等因素,通过建立铁路线路方案综合评价指标体系和

多目标综合评价模型,增加了算法的全局性,提升了方案的合理性和可行性。选线设计复杂耦合约束特征如

图5所示。

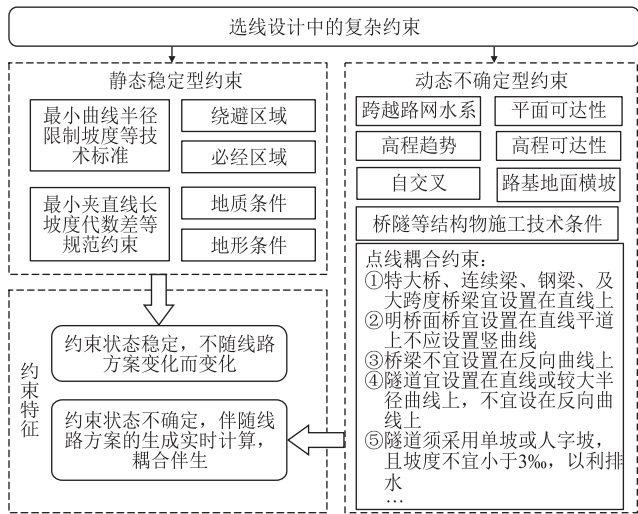


图5 选线设计复杂耦合约束特征图

(3)提出了铁路点线协同快速搜索方法,提升了系统效率,能快速为人工优化选线提供高价值参考。铁路点线协同快速搜索方法如图6所示。

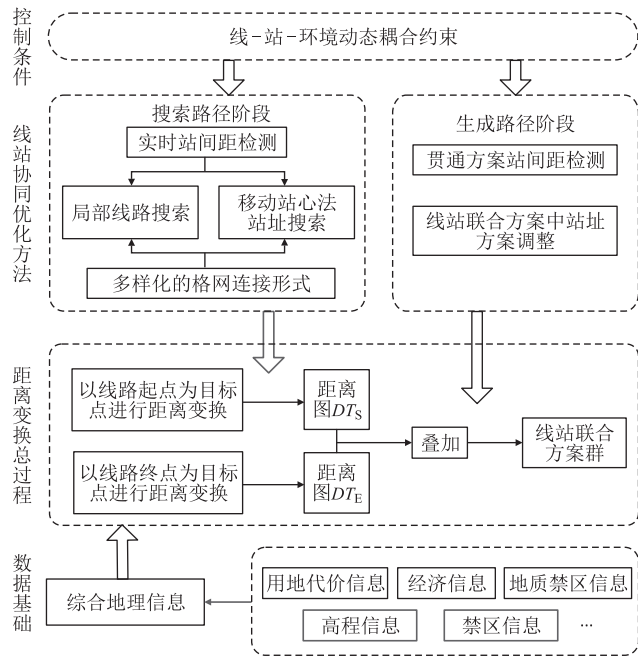


图6 铁路点线协同快速搜索方法图

(4)基于集成设计环境,可快速自动生成线路方案的BIM模型,辅助精细优化线路空间走向和桥、隧、路、站等结构物设置,为各专业的BIM协同设计提供了统一的线位基准和集成优化环境。

基于上述理论与方法开发“三维智能选线系统”,在成渝中线高速铁路线路设计中试用。应用结果表明系统可在地形、地质极端复杂的条件下快速搜索出一系列满足设计要求的线路方案,同时考虑技术、经济、

安全、环保等因素推荐多目标综合最优方案。三维智能选线系统与三维协同软件无缝连接,能够带来显著的技术、经济与社会效益,可推广到公路及其他有类似特征的空间决策或土木工程设计领域。基于线路方案的三维快速建模如图7所示。

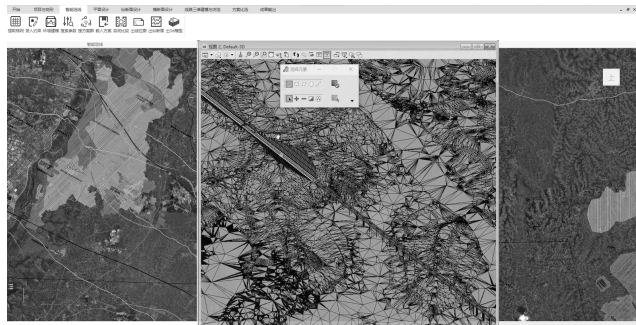


图7 基于线路方案的三维快速建模图

5.1.4 基于BIM的协同设计

成渝中线高速铁路工程设计具有工作体量大、涉及专业多、专业间接口交互繁杂等特点。传统的二维CAD设计模式下,各专业间的设计成果以独立图纸形式存在,信息交互不顺畅,易导致设计错误、遗漏或冲突^[10]。BIM协同设计软件则强调数据集成与共享,能够在统一的三维模型平台上进行多专业协作,消除信息孤岛。

以国家科技部“十四五”国产BIM平台重点专项为依托,结合成渝中线高速铁路BIM协同设计开展了国产BIM平台在铁路工程中的应用攻关。基于数智设计一体化平台,在统一的数据定义支撑下,集成基类方法工具,研发了铁路构件库、线路、轨道、路基、桥梁、隧道、站场、四电等三维专业设计软件。基于国产BIM平台构建的铁路协同设计架构如图8所示。

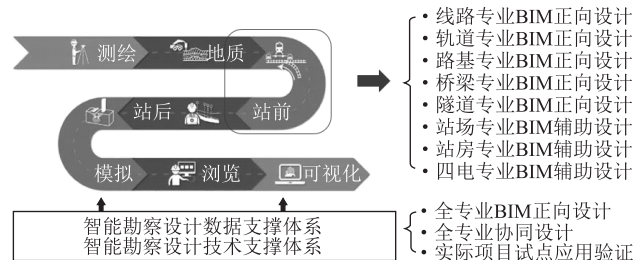


图8 基于国产BIM平台构建的铁路协同设计架构图

基于国产BIM平台,构建了站前、站房、四电等专业的协同设计框架,统一了专业实体的虚基类及专业派生类。

5.2 技术创新应用

5.2.1 创新研发基于模数一体的数字解析技术

成渝中线高速铁路创新采用基于模数一体的数字

解析技术,打通了设计施工数据传递通道。将设计信息模型中实体间的逻辑关系和实体中属性集合,解析为 xml 格式表达的实体结构树和实体属性集合数据文件,并对解析后的数据自动核检,形成模数一体的解析

技术,解决设计信息模型应用难的问题,打通了设计数据到施工建设管理应用的最后 1 km。

四电软件主要功能及组成体系如图 9 所示。

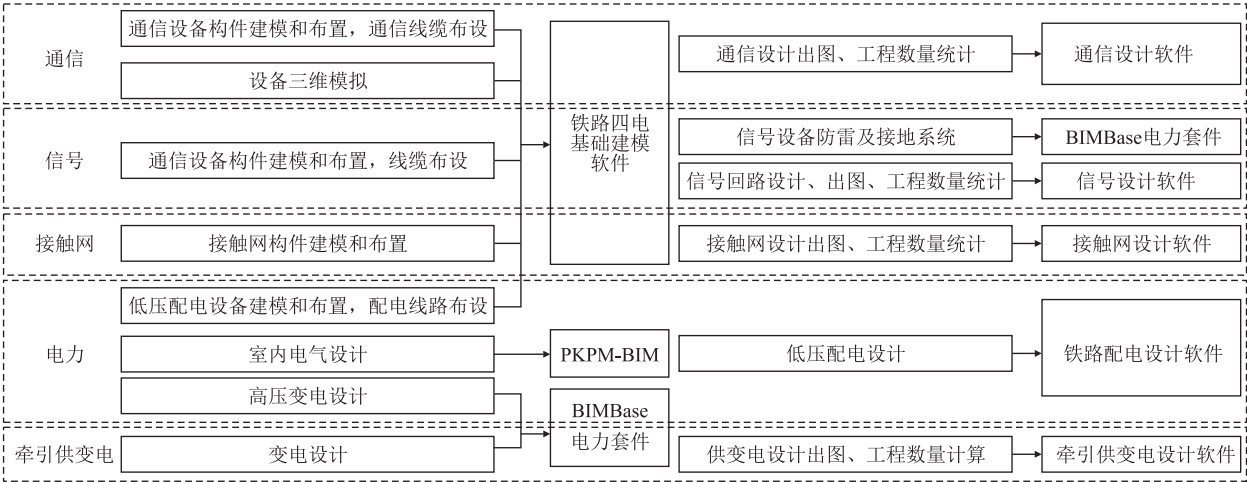


图 9 四电软件主要功能及组成体系图

5.2.2 提出基于模数一体的成果交付方式

成渝中线高速铁路创新性提出模数一体的数字化成果交付方式,为设计优化及建设、施工、监理管理提供统一数据。结合模数一体解析技术,形成了适用于智能建造的设计信息模型原型+实体结构树+属性集合的交付方式,完成了全线桥隧路等设计成果数字化交付,有力支撑了成渝中线高速铁路建设、施工、监理管理和设计优化业务。

建设管理方面:设计单位交付的 LOD300 信息模型可为建设管理系统提供基础数据,结合建设过程数据实现直观、形象的工程项目管理,提升参建各方沟通效率,优化人、机、料等统筹调度,节约建设成本。

施工管理方面:向施工单位交付的 LOD300 信息模型,是实现质量、安全、进度等数字化管理工作的数据基础;交付的 LOD350 信息模型,是实现施工组织、施工模拟、工序优化、成本控制等数字化管理工作的数据基础;交付的项目结构树、属性集合、工点表等数字化成果,满足了智能建造过程中各类智能化生产系统对基础数据的需求。

监理管理方面:结合智能建造中各生产管理系统数据,分析施工中各工况对工程质量、安全、进度、成本的影响,及时比较现场施工数据与设计数据的差异,为正常施工、停工变更等决策提供支持。

设计优化方面:以铁路工程管理平台为中心,将设计数据分配给相关智能施工、智能生产管理系统,并收集现场应用数据,反馈给设计单位开展设计的迭代优化。

5.2.3 基于勘察设计交付数据的应用创新

成渝中线高速铁路实现了基于统一勘察设计交付数据的应用创新,为智能建造全产业链协同提供基础支撑。

(1) 可视化交底应用

针对井口双线特大桥下穿既有兰渝铁路的复杂施工工况,基于设计 BIM 模型(如图 10 所示),开展桥墩托换专项施工方案可视化交底,形象模拟推演了桥墩托换施工工艺,辅助施工人员快速掌握施工要点。

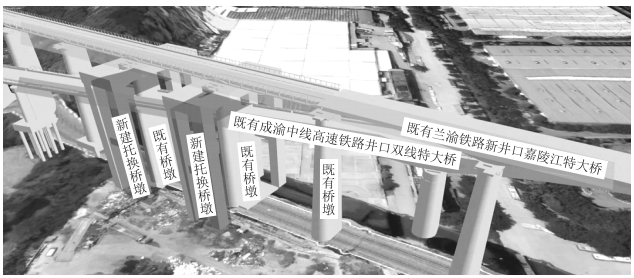


图 10 井口双线特大桥下穿既有兰渝铁路 BIM 模型图

(2) 现场测量放样应用

利用 BIM 协同设计成果,解决了复杂环境下的快速放样及校核等问题,其中老房子沟特大桥实现了一键提取全桥关键点三维坐标,提取结果批量导入测量仪器,高效指导现场测量放样。

(3) 钢筋自动加工应用

从 BIM 模型快速提取钢筋加工数据,直接接入数字工厂的钢筋加工系统,为钢筋远程数字加工、钢筋制造的无人化、少人化提供了可靠数据。

6 结论

智能勘察设计作为智能建造的源头,设计质量控制尤为关键,为后续智能施工、智能运维奠定良好基础;同时,智能勘察设计是智能建造全产业赋能的重要驱动力,模数一体的数字交付支撑了设计成果在智能建造全过程中的贯通应用,为智能建造全产业数字赋能提供了重要支持。

智能勘察设计体系建设是一个长期过程。目前,智能勘察设计领域技术体系尚不健全、智能高速铁路相关标准规范缺乏,阻碍了智能勘察设计的广泛应用。下一步将系统完善设计、施工、验收、取费、数字资产利用等方面的相关标准,以适应智能建造规模化发展需求;同时充分发挥设计数据的源头作用和基础价值,强化勘察设计阶段全过程数据顺序传递、全流程需求逆向表达、全专业正向协同设计,扎实打造全生命周期数据链条的第一环,助力中国铁路新发展。

参考文献:

- [1] 朱铎先,赵敏. 机智:从数字化车间走向智能制造[M]. 北京:机械工业出版社,2018.
ZHU Duoxian, ZHAO Min. Machine Intelligence—From Digital Workshop to Intelligent Manufacturing[M]. Beijing: China Machine Press, 2018.
- [2] 冯川川,刘学东,王雅倩,等. 我国勘察设计企业数字化转型路径探索[J]. 中国建设信息化,2023(11):70-74.
FENG Chuanchuan, LIU Xuedong, WANG Yaqian, et al. Exploration on Digital Transformation Path of Survey and Design Enterprises in China[J]. Informatization of China Construction, 2023(11):70-74.
- [3] 方宜,卓建成,杜梦飞. 数字孪生在轨道交通智能建造业中的应用发展[J]. 高速铁路技术,2024,15(1):68-73,78.
FANG Yi, ZHUO Jiancheng, DU Mengfei. Application and Development of Digital Twin in Intelligent Construction of Rail Transit[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1):68-73, 78.
- [4] 陆东福. 交通强国铁路先行为促进经济社会持续健康发展做出更大贡献——在中国铁路总公司工作会议上的报告(摘要)[J]. 铁路计算机应用,2018,27(1):1-3.
LU Dongfu. Transportation Powerhouse: Railways Take the Lead Make Greater Contributions to Promoting Sustainable and Healthy Economic and Social Development—Report at the Working Conference of China Railway Corporation (Abstract)[J]. Railway Computer Application, 2018, 27(1):1-3.
- [5] 王同军. 中国智能高速铁路2.0的内涵特征、体系架构与实施路径[J]. 铁路计算机应用,2022,31(7):1-9.
WANG Tongjun. The Connotation Characteristics, System Architecture and Implementation Path of China's Intelligent High-speed Railway 2.0[J]. Railway Computer Application, 2022, 31(7):1-9.
- [6] 叶年发,杨岗,严谨,等. 浅析铁路智能旅客车站系统的现状和发展[J]. 高速铁路技术,2020,11(2):40-45.
YE Nianfa, YANG Gang, YAN Jin, et al. Analysis of Current Situation and Development of Intelligent System for Railway Passenger Station[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2):40-45.
- [7] 王广明,刘美霞,王洁凝. 数字化勘察设计关键技术及典型应用场景研究[J]. 中国勘察设计,2024(5):62-64.
WANG Guangming, LIU Meixia, WANG Jiening. Research on Key Technologies and Typical Application Scenarios of Digital Survey and Design[J]. China Engineering Consulting, 2024(5):62-64.
- [8] 路宏遥,吴佳欣,李雅雯,等. 基于BIM技术的铁路车站智能信息管理模式研究[J]. 高速铁路技术,2020,11(4):84-87,94.
LU Hongyao, WU Jiaxin, LI Yawen, et al. Research on Intelligent Information Management Mode of Railway Station Based on BIM Technology[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4):84-87, 94.
- [9] 何华武,朱亮,李平,等. 智能高铁体系框架研究[J]. 中国铁路,2019(3):1-8.
HE Huawu, ZHU Liang, LI Ping, et al. Study on the System Framework of Intelligent High Speed Railway[J]. China Railway, 2019(3):1-8.
- [10] 王同军. 基于BIM技术的铁路工程建设管理创新与实践[J]. 铁道学报,2019,41(1):1-9.
WANG Tongjun. Innovation and Practice of Railway Engineering Construction Management Based on BIM Technology[J]. Journal of the China Railway Society, 2019, 41(1):1-9.