

科技研究

基于数字化技术的铁道工程线路规划与设计优化研究

袁野

成都西南交通大学设计研究院有限公司云南分公司

DOI:10.12238/jpm.v6i10.8481

[摘要] 为破解传统铁道工程线路规划中勘察效率低、设计协同弱、方案优化不足等难题，本文系统研究数字化技术在铁道线路规划与设计优化中的应用体系。通过整合 BIM 与 GIS 融合技术、人工智能算法、空天地一体化勘察手段，构建“数据采集 - 模型构建 - 智能优化 - 协同交付”全流程数字化框架。结合 CEC3DRODS 系统应用案例与国家重点研发计划成果，重点分析多源数据统一管理、三维场景构建、二三维联动设计、多目标智能选线等关键技术创新。实践表明，数字化技术可实现外业工作内业化、内业工作智能化，使勘察设计效率提升 30%~50%，显著降低工程成本并提升设计成果质量。该研究为复杂艰险山区铁路等重大工程的线路规划提供技术支撑，推动铁道工程设计向智能 3.0 阶段跨越。

[关键词] 铁道工程；数字化技术；线路规划；BIM-GIS 融合；智能选线；设计优化

Research on Railway Engineering Line Planning and Design Optimization Based on Digital Technology

Yuan Ye

Yunnan Branch, Chengdu Southwest Jiaotong University Design Research Institute Co., Ltd.

[Abstract] To address challenges such as low survey efficiency, weak design collaboration, and insufficient solution optimization in traditional railway engineering line planning, this paper systematically explores the application system of digital technologies in railway line planning and design optimization. By integrating BIM and GIS fusion technologies, artificial intelligence algorithms, and integrated aerial-terrestrial-space survey methods, a comprehensive digital framework of "data collection - model construction - intelligent optimization - collaborative delivery" is established. Drawing on the application case of the CEC3DRODS system and achievements from the National Key R&D Program, the study focuses on key technological innovations, including unified management of multi-source data, 3D scene construction, 2D-3D interactive design, and multi-objective intelligent route selection. Practical results demonstrate that digital technologies enable the transformation of fieldwork into office-based tasks and office work into intelligent processes, improving survey and design efficiency by 30% - 50%, significantly reducing project costs, and enhancing the quality of design outcomes. This research provides technical support for line planning in major projects such as railways in complex and hazardous mountainous areas, advancing railway engineering design toward the intelligent 3.0 stage.

[Key words] Railway Engineering; Digital Technology; Route Planning; BIM-GIS Integration; Intelligent Route Selection; Design Optimization

一、引言

1.1 研究背景

铁道工程线路作为铁路运输的核心基础设施，其规划设计质量直接决定工程投资、运营安全与经济效益。传统线路设计依赖二维图纸与现场踏勘，存在三大瓶颈：一是地形地质勘察受自然条件限制，效率低且数据精度不足；二是多专业数据割裂，协同设计难度大；三是方案优化依赖经验判断，难以实现安全、经济、环保多目标平衡。随着数字经济与新质生产力发展，BIM、GIS、人工智能等技术的深度融合为线路设计转型提供契机，推动行业从计算机辅助 2.0 迈向智能设计 3.0 阶段。

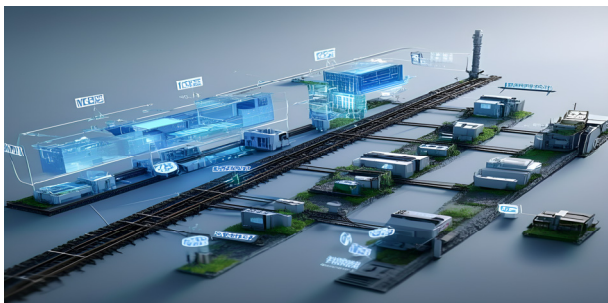
1.2 研究现状

国内外学者已开展数字化线路设计研究：中铁工程设计咨询集团研发 CEC3DRODS 系统，实现 BIM 与 GIS 技术的工程化应用；铁四院通过国家重点研发计划构建“两平台七系统”智能勘察体系；高速铁路建造技术国家工程研究中心创立复杂山区减灾选线理论，成果应用于川藏铁路等重大工程。现有研究已验证数字化技术的可行性，但在多源数据融合深度、极端环境适配性等方面仍需深化，本文据此展开系统研究。

二、数字化线路规划与设计的技术体系

2.1 核心技术架构

数字化线路设计体系以“数据层 - 技术层 - 应用层”三级架构为支撑：数据层构建铁路勘察设计基础数据库，整合 DEM、DOM、BIM 模型等多源数据，通过权限分级机制实现数据同步管理；技术层融合 BIM-GIS 建模、人工智能解译、进程间通信等关键技术；应用层实现三维踏勘、智能选线、协同设计等功能，形成全流程数字化闭环。



2.2 关键支撑技术

2.2.1 空天地一体化数据采集技术

采用北斗基准站网（精度达 2 厘米）、机载激光雷达与倾斜相机协同采集系统，结合 20 万张影像样本库训练的智能解译算法，实现地形、地质、构筑物等要素的高效提取，采集效率提升 16%，解译准确度超 90%。该技术在宜涪高铁 170 公里路段的应用，替代传统 GPS 精测网，大幅减少外业工作量。

2.2.2 BIM 与 GIS 融合建模技术

通过加载三维地理空间数据与 BIM 模型，构建真实可量测的三维大场景。CEC3DRODS 系统采用规则建模技术快速生成路基、桥梁、隧道等模型，实现线路 - 构筑物 - 环境的一体

化表达。在通苏嘉甬铁路隧道设计中，该技术验证盾构隧道埋深合理性，节约地下空间资源。

2.2.3 多目标智能优化技术

基于知识图谱与仿生进化算法，构建安全、经济、环保多目标优化模型。智能选线系统可在 3 分钟内生成 45 公里三维线路方案群，通过人机迭代实现最优方案推荐。川藏铁路应用表明，该技术能有效规避滑坡、岩溶等灾害风险，降低工程灾害损失。

2.2.4 跨专业协同设计技术

通过 C/S 架构与协同设计系统，打通 26 个专业的数据接口，实现设计数据实时共享。CEC3DRODS 的后台管理系统支持数据上传下载同步，在如通苏湖铁路项目中，线路与桥梁专业通过数据联动实现桥墩布置优化，协同效率提升 40% 以上。

三、数字化设计优化的实施流程

3.1 勘察数字化：从现场采样到智能解译

首先构建北斗地基增强站网与星基增强系统，实现高精度定位服务；其次通过激光雷达采集地形数据，结合 AI 算法提取水体、植被等控制要素；最后建立三维地质模型，智能识别滑坡、断层等风险点。该流程在沪渝蓉高铁五峰段应用，使勘察周期缩短 30%。

3.2 设计智能化：从二维绘图到三维联动

基于统一数据库构建三维设计场景，通过二三维联动技术实现线路平纵断面同步调整。设计师可在虚拟场景中开展三维踏勘，提取断面数据并计算工程量。如三峡旅游轨道交通项目中，利用该技术对比分析两个站位方案的观景效果与工程可行性，最终确定远站位高架站方案。

3.3 方案优化：从经验判断到数据决策

采用多方案比选模块生成线路方案群，通过智能算法评估各方案的工程成本、地质风险、环保影响。在宜涪铁路隧道设计中，结合 BIM-GIS 模型验证埋深参数，实现与城际铁路隧道的空间优化布置；环保专业则通过虚拟踏勘识别噪声敏感点，优化线位规避居民区。

3.4 交付数字化：从图纸交付到模型交付

通过数字化交付平台整合设计成果，形成图、模、量一体化交付物。系统支持线路漫游飞行与工点可视化分析，便于后期施工与运维。铁四院研发的交付系统已在 G4 京港澳高速公路推广，实现设计成果的全生命周期复用。

四、工程应用案例分析

在实际应用中，数字化交付的潜力尚未被充分挖掘。例如，在某高铁项目中，虽然实现了模型交付，但后续运维阶段的数据利用率较低，导致前期投入的价值未能完全体现。此外，部分项目在实施过程中过度依赖传统经验，忽视了数字化工具在风险预测和质量管理中的作用，使得整体效益大打折扣。因此，未来需要更加注重交付内容与实际需求的匹配，确保数字化成果能够在全生命周期内持续发挥作用。

4.1 CEC3DRODS 系统多项目应用成效显著

中铁咨询自主研发的 CEC3DRODS 三维协同设计系统自 2021 年投入实际工程应用以来,已在多个国家重点铁路建设项目中取得显著成效。该系统先后在文蒙铁路、温福铁路等重大项目中进行深度应用,展现出强大的技术优势。以如通苏湖铁路定测项目为例,线路专业设计人员通过系统的二三维联动功能,实现了平面曲线的智能调整与优化,大幅提升设计效率达 35%;桥梁专业则依托系统强大的模拟分析能力,对跨台高高速的桥墩布置方案进行了全方位验证,有效规避了与接触网系统的潜在冲突。该系统通过“外业内业化”的创新工作模式,将传统需要多次现场踏勘的工作转为室内数字化处理,累计减少现场踏勘次数超过 60%,既提高了工作效率,又显著降低了工程成本。

4.2 国家重点研发计划示范工程成果丰硕

国家重点研发计划“陆路交通基础设施智能化设计”项目在沪渝蓉高铁等三大重点工程中进行了全面示范应用,取得了令人瞩目的技术突破和经济效益。项目研发的智能选线系统具备强大的方案比选能力,可快速生成千公里级的备选线路方案群,通过多目标优化最终实现工程投资节约 5% 的显著成效。其协同设计系统采用先进的 BIM 技术,实现了 26 个专业设计数据的实时共享与协同工作,使全流程设计效率提升 30%~50%。这套数字化技术体系在 G6 京藏高速公路改扩建工程中进一步推广应用,成功验证了其在不同类型交通基础设施项目中的普适性和可靠性,为行业数字化转型提供了重要参考。

4.3 复杂山区铁路减灾选线技术创新应用

由高速铁路建造技术国家工程研究中心研发的智能选线技术,在川藏铁路、成贵高铁等复杂山区铁路项目中完成超过 6000 公里的成功应用。该技术通过构建融合多源数据的减灾选线知识图谱和建立多专业协同优化模型,实现了对地质灾害的风险精准评估。在具体实施过程中,系统成功指导设计团队避开了高烈度地震区和岩溶强烈发育带等高风险区域,使隧道工程灾害风险总体降低 40%,大幅提升了铁路运营安全性。这项创新技术不仅取得了显著的社会经济效益,还荣获四川省科技进步一等奖,为复杂地质条件下的铁路选线设计提供了可靠的技术支撑和实践范例。

五、现存问题与优化路径

5.1 主要挑战

当前铁路工程数字化设计领域仍面临诸多技术瓶颈,主要体现在以下三个关键方面:首先,在极端地理环境下的数据采集存在显著困难,特别是在高海拔山区等复杂地形区域,由于卫星信号接收强度弱、多路径效应严重,导致三维建模的几何精度和纹理还原度大幅降低;其次,不同专业设计软件之间的数据格式存在严重兼容性问题,各系统间缺乏有效的数据交换机制,形成了阻碍信息共享的“信息孤岛”现象;再者,现有的

智能算法对训练样本数据的依赖性过强,在遇到复杂地质构造、特殊岩土条件等非典型工况时,模型的泛化能力和预测准确性明显不足。这些问题严重制约了数字化设计技术在铁路工程中的深入应用。

5.2 改进策略

针对上述技术难题,本研究提出系统性的优化解决方案:第一,重点突破北斗卫星导航系统与 5G 通信技术的融合应用,开发适用于复杂山区环境的多源数据协同采集装备,显著提升恶劣工况下的数据获取质量和效率;第二,建立铁路行业 BIM (建筑信息模型) 数据的标准化体系,研制支持 IFC 等国际通用格式的数据转换中间件,构建开放式的跨平台数据交互通道;第三,系统性地扩充地质样本数据库规模,特别要加强特殊地质区域的样本覆盖,同时引入迁移学习框架,使算法能够快速适应新的地质条件。从长远发展来看,可深度融合数字孪生技术,建立涵盖设计、施工、运维全过程的动态优化机制,实现铁路工程全生命周期的智能化管理。

六、结论

本文构建的数字化铁道线路设计体系,通过多源数据融合、三维场景构建、智能优化算法与协同设计技术的集成应用,有效解决传统设计的效率与质量瓶颈。工程实践表明,该体系可使勘察设计效率提升 30%~50%,显著降低工程风险与投资成本。CEC3DRODS 系统与国家重点研发计划成果的推广应用,标志着我国铁路设计已跻身国际领先水平。未来随着 AI 与数字孪生技术的深度融合,将实现线路设计的自主化与动态化,为智能高铁 2.0 建设提供核心技术支撑。

[参考文献]

- [1]孙亮,姜毅,张驰,等.列车数字无线调度通信系统空中接口协议一致性测试研究[J].铁道通信信号,2025,1-11[2025-10-21].<https://link.cnki.net/urlid/11.1975.U.20251011.1721.002>.
- [2]黄博.新时代工匠精神下高职院校铁道工程人才培养方案关键问题研究[J].科技风,2025,(27):13-15.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.202527005.
- [3]梁玉雄,成刚,吴必涛,等.智能建造背景下铁道工程专业课实践教学创新研究[J].创新创业理论与实践,2024,7(24):48-50.DOI:CNKI:SUN:CXYL.0.2024-24-014.
- [4]廖倩.数字化时代“铁道工程 BIM 技术”课程的教学改革与探索[J].科学咨询,2023,(18):117-119.DOI:CNKI:SUN:KXZK.0.2023-18-039.
- [5]张先文,铁道工程地质钻探数字化智能化采集管理应用系统(dePad Plus).陕西省,中铁第一勘察设计院集团有限公司,2022-04-28.