

文章编号: 1674—8247(2022)02—0020—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.02.004

## 基于实景三维地形铁路选线技术与实现

胥海燕 周玉辉 刘 威

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**铁路与公路工程为带状线性工程,线路长度通常达数百甚至上千公里,涉及区域多、范围广。基础地理信息数据通常采用 1:10 000 及 1:2 000 地形图,基于此进行二维选线设计。随着航空摄影技术的出现,可对地形进行全方位的拍摄,获得实景三维地图,在此基础上开展铁路及公路选线设计工作,比二维地形图具有更好的直观性、信息量和精确性。本文将实景三维地形和三维建模技术相结合,实现了设计成果的真实展现,为未来工程建设规划设计的实体再现提供技术支撑。

**关键词:**道路与铁道工程;实景三维地形;三维建模技术;选线设计

中图分类号:U212;U285

文献标志码:A

## Technology and Implementation of Railway Route Selection based on Live 3D Terrain

XU Haiyan ZHOU Yuhui LIU Wei

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

**Abstract:** Railway and highway projects are strip-shaped linear projects, and the length of the line usually reaches hundreds or even thousands of kilometers, involving many areas and a wide range. The basic geographic information data is usually based on 1:10 000 and 1:2 000 topographic maps, on which the two-dimensional route selection design is carried out. With the emergence of aerial photography technology, the topography can be photographed in an all-around way to obtain live 3D maps, on which basis the design of railway and highway route selection can be carried out, and it has better intuition, information, and accuracy than 2D topographic maps. In this paper, the combination of live 3D topography and 3D modeling technology realizes the real presentation of design results and provides technical support for the physical representation of future engineering construction planning and design.

**Key words:** road and railway engineering; live 3D terrain; 3D modeling technology; route selection design

铁路及公路工程是一项牵涉面广,影响因素多,技术层次高的复杂系统工程,铁路选线设计是一项以线路为纽带,包括站场、桥梁、隧道、路基、轨道、接触网等工程实体的组合体。目前铁路选线主要依靠二维设计软件系统在数字地形图(DLG)或数字高程模型(DEM)上确定线路方案的空间位置,并布置各种铁路

工程建筑物。进入 20 世纪来,随着飞机和卫星等的出现,航空摄影、卫星摄影技术日趋完善,获得了一个全新的视角对地形进行全方位拍摄,实景三维地形图其直观性、信息量和精确性远胜于二维地形图,并逐步在工程建设、城市管理、自然环境等各个领域广泛应用。韩雨书<sup>[1]</sup>提出基于 GIS 的三维空间公路智能选线动态

收稿日期:2021-11-16

作者简介:胥海燕(1984-),男,工程师。

基金项目:中铁二院工程集团有限责任公司科技发展计划项目(KSNQ202021)

引文格式:胥海燕,周玉辉,刘威.基于实景三维地形铁路选线技术与实现[J].高速铁路技术,2022,13(2):20-24.

XU Haiyan, ZHOU Yuhui, LIU Wei. Technology and Implementation of Railway Route Selection based on Live 3D Terrain[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(2):20-24.

规划方法设计,通过基于GIS的三维空间公路智能选线动态规划方法设计研究,以及场景动态的三维立体化展现,实现智能选线;易思蓉<sup>[2]</sup>等提出基于虚拟地理环境的铁路数字化选线设计系统,系统基于航测影像信息和卫星遥感信息,建立了一个可逼真显示的铁路虚拟地理环境,采用BIM技术,构建了铁路构造物基元模型库,并在三维环境下对其进行检查修改,比选不同结构类型,实现三维实体选线设计;以上研究均为基于虚拟三维场景方面的选线设计研究工作。朱庆<sup>[3]</sup>等在实景三维空间信息平台方面也开展了一些研究工作,提出了实景三维空间信息平台的总体架构与功能组成等。目前,基于实景三维地形开展铁路选线设计并实时进行三维数字化场景展示的研究相对较少,因此有必要进一步开展该方面的技术方案研究,并能在规划设计中实现应用、提高规划设计技术水平。

## 1 实景三维地形平台系统设计

实景三维地形可应用于铁路规划设计的瓶颈是平台系统,一般的操作系统单机基础版一套约15万元以上,使用成本高,且难以满足铁路工程项目带状地形大场景展示和使用的特殊要求,难以满足铁路规划设计、施工及运营维护管理等相关需求。因此,要实现实景三维地形的铁路选线设计,需研究一款满足其相关功能需求,且成本低、运行效率高的应用平台。

基于设计需求研究开发的三维实景地形应用平台3D reality terrain application platform(简称3DRAP),具有成本低、扩展升级便捷的特点,已在中铁二院工程集团有限责任公司成功应用。

### 1.1 三维实景地形应用平台系统的主要设计原则及思路

(1)采用开源且可商用的三维渲染引擎或所使用的其他相关软件具有中国企业的自主知识产权,形成的平台系统拥有自主知识产权。

(2)设计者与计算机协调运行,具有较强的人机交互功能。

(3)平台系统具有二次开发功能,并与既有的规划设计软件系统实现无缝对接。

(4)平台系统运行稳定性、快速性、便捷性、易维护性高。

### 1.2 实景三维地形应用平台框架设计

根据平台系统的设计原则及思路,采用开源且可商用的三维渲染引擎及国产梦想CAD软件,实现软件

系统的知识产权国产化,如图1所示。

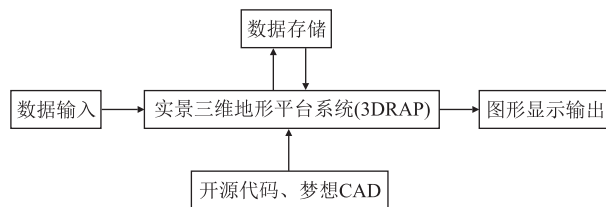


图1 实景三维地形平台系统架构图

利用开源且可商用的三维渲染引擎、梦想CAD软件,通过理论推导,构建利用实景地形数据解析线路平面曲线要素计算、高程解析的数学算法模型等,搭建实景三维地形平台系统(3DRAP)。

### 1.3 实景三维地形应用平台主要功能设计

实景三维地形应用平台主要功能设计有:

(1)通过多源地理数据输入,结合实景三维地形平台系统的人机交互式处理,实现测绘、地质数据添加<sup>[4]</sup>以及三维量测等功能。

(2)通过人机交互处理,实现多源地理数据与实景三维地球融合处理渲染显示及数据存储。

(3)通过BIM技术,实现铁路工程建模,并与实景三维地形切割搭接,实现规划设计实景再现。

## 2 实景三维选线技术

目前设计专业图纸,以二维CAD图为主,如线路平面图上需反映出的中线、地形等高线、地物、不良地质、规划等,均以平面形式展示,提供第三方咨询、审查等。本文在中铁二院工程集团有限责任公司研究完成的三维实景地形应用平台(3DRAP)基础上,进行实景三维铁路选线设计系统3D railway selection line design(简称3DRSD)二次开发,进行三维铁路选线设计。

### 2.1 三维选线系统框架设计

三维铁路选线设计系统分为4层,分别为应用层、逻辑层、处理层和基础数据层,系统架构如图2所示。

(1)应用层:用户可进入实景三维铁路选线设计系统。主要针对线路设计人员,进行项目工程管理、配置设计参数、权限管理等操作。

(2)逻辑层:分为平面线形生成、纵断面生成、桥梁隧道等工程模型生成、工程数量表生成等功能模块。

(3)处理层:用户进行线路平面设计、线路纵断面设计、铁路工程BIM参数化建模、地质数据矢量化等。

(4)基础数据层:导入用户准备地实景三维地形图、既有线路设计数据库、地质数据库及其他数据(如地方规划资料、军事管理区资料)等<sup>[5]</sup>。

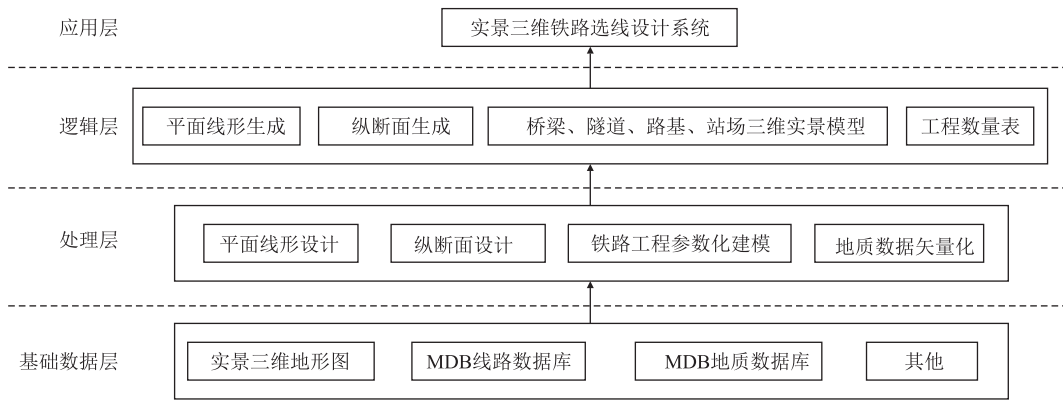


图 2 实景三维铁路选线系统架构图

2.2 三维地形选线主要功能设计

鉴于目前铁路工程勘察设计行业现状,铁路建设分为规划设计、咨询评估、评审、立项、施工建设等多个流程。在铁路线路规划设计中,文件需经过多环节的中间流程,尽管采用实景三维地形开展铁路选线设计能有效提高工作效率,工程设计实体与实景三维地形场景融合现实性好,但对设备性能、工程技术人员的技术水平要求高,因此在进行三维实景地形选线设计系统功能设计时,应考虑既有的设计方法、设计软件系统、设计出图以二维 CAD 出图为主的要求,将二、三维设计有机的结合起来,做到二、三维设计联动的无缝对接。

2.2.1 功能设计原则及思路

(1)系统研究开发语言:C++,运行环境:Microsoft Windows 7.0 及其以上,图形操作系统采用国内企业拥有自主知识产权的梦想 CAD,避免或减少因 AutoCAD 版本的升级而引起对系统的维护工作。

(2)新建工程文件后,自动在新建工程文件夹中,生成本工程文件的数据库 XXX. MDB,该数据库为空数据库,数据库的对应资料名称及存放位置与第三方线路设计软件一致,并与实景三维地形上开展的线路平面设计形成逻辑关系,操作中所采集的数据在保存时自动保存到数据库中。在后续的工作中,临时文件及成果均保存在该文件夹中,主要用于直接在实景三维地形上进行选线设计模式。

(3)项目已经开展了二维选线设计,有现成的初步数据库资料,如预可研阶段、规划阶段已经有相应的资料,进行详细选线设计阶段;也可在可研阶段基础上开展初步设计阶段或施工图设计;也可对已经完成的选线设计方案,在实景三维地形上进行 BIM 初步展示设计,用于制作电子沙盘、铁路工程漫游等。

(4)对数据库的约定,每天的工作保存为 1 个数据库,时间作为后缀,如 XXX20210816. MDB,同 1 天的工作内容保存在 1 个数据库中;第二天工作时,在第一天或其他时间的数据库的基础上开展工作,保存在 XXX20210817. MDB 中,便于查询,避免因设计资料版本多而没有追溯性。

(5)在三维地形中插入不良地质图层(滑坡、断层、采矿区、堆积体、规划区等),并在三维地形表面形成不良地质界线,以地形与不良地质相结合的选线设计为主<sup>[6]</sup>。

2.2.2 主要功能模块设计

为实现在实景三维地形上开展平面选线设计并达到现实性方案优化,提高工作效率,对主要工程快速进行 BIM 模型展示,用于项目方案咨询评审,在实际工作中,可根据项目的技术标准建立相应的参数化建模。主要功能分为 6 个,分别是工程设置、视图、实景三维、线路设计、BIM 展示、CAD 交互设计等,功能模块结构如图 3 所示。



图 3 功能模块结构图

2.3 主要功能设计

2.3.1 工程模块

创建新建工程文件或导入既有工程文件,导入既有工程 MDB 数据库以及 MDB 版本维护。对于 MDB 版本,自动按天保存,并可指定当前有效的数据库。

2.3.2 视图模块

该功能用于显示隐藏的 CAD 界面。

2.3.3 实景模块

功能包括3部分,分别是测绘数据的添加、地质数据添加,以及三维量测。

(1)测绘数据包括实景三维模型、LIDAR点云数据、DEM及DOM数据、单个三维模型、图像的矢量数据。

(2)地质数据主要是地质图的矢量数据和表格,并提供不良地质绘制功能。

①在三维地球上只对影响线路方案设计的不良地质进行融合处理(数据量太大影响计算机运行速度),更详细的地质资料由地质专业数据平台管理发布。

②地质专业提供不良地质图层,可在实景三维地形及二维地形上以不同的颜色表现在三维地球表面,同时与二维CAD地形图同步联动表现。

③在全线不良地质进行浏览时,不同的不良地质可全线显现。

④三维信息查询。

(3)三维量测提供空间距离、表面距离、面积量测等。

2.3.4 线路平面、纵断面设计<sup>[7]</sup>

(1)线路三维平面设计

结合线路方案与不良地质关系功能,与不良地质、环评、地物的空间位置,工程措施等开展线路三维平面设计。

①根据既有选线设计的MDB数据库或新建线路设计MDB数据库生成自定义线位实体,并进行MDB数据库设计的更新。

②具有多种方式的线型优化手段、表格形式的线

路参数修改等。

③可对线路方案进行检查,并生成报告。

④可与二维地形图联动,生成二维CAD线路平面图。

(2)第二线设计

①第一线为直线,变线间距设计第二线。

②一、二线等线间距并行。

③一、二线切线边平行不等间距并行。

④一、二线一条切线边等线间距,另外一边不平行。

(2)三维纵断面设计

在三维实景地形上提取地面高程,生成纵断面图。

2.3.5 BIM展示

(1)主要是线路参数化建模、线路地形修改、附属设置添加。

(2)铁路模型生成通过参数配置后一键式生成。

(3)路基、隧道、桥梁的地形修整通过交互式实现。

(4)车站及附属设施添加采用添加模型部件方式实现<sup>[8]</sup>。

2.3.6 CAD互动设计

可以将图纸对象与三维场景的数据进行互通,实现二、三维联动操作。

2.3.7 线路经过不良地质、规划区统计

根据线路方案与主要不良地质的空间位置,统计已穿过或临近线路方案的主要不良地质或规划区域,如表1所示。

表1 线路方案与主要不良地质规划区域关联表

序号	名称	里程范围	穿过长度/m	邻近距离/m	交叉角度/(°)	备注
1	滑坡	DK 100 + 150 ~ DK 100 + 200	50	-	-	穿过上缘
2	滑坡	DK 105 + 700	-	100	-	右侧
3	活动断裂带	DK 110 + 120	-	-	75	-
4	规划区	DK 125 + 100 ~ DK 125 + 200	100	-	-	工业园区
...	...	.....	...	...	...	...

3 工程应用

3.1 项目概况

宁淮城际铁路位于江苏、安徽两省境内,线路自北向南由江苏省淮安市在建淮安东站引出,向南经淮安市洪泽区、金湖县,进入安徽省天长市(县级市)并设站,出站后线路继续向南由川桥水库东侧郑集镇通过,后跨过省界再次进入江苏省境内,经南京市六合区至

浦口区,引入位于江北林场村的新南京北站,新建线路正线长度183 km(双线),设计时速350 km。在施工图设计中,通过二维设计数据库应用实景三维铁路选线设计系统,在三维实景地形上进行桥梁、隧道、车站等结构物进行参数化建模,并实现BIM模型的快速浏览,以进一步优化设计。

3.2 技术验证

在宁淮城际铁路应用中,通过二维与三维联动设

计及三维实景 BIM 图的快速浏览应用等,为进一步优化设计创造了必要的技术手段,并实现了以下主要技术验证:

(1) 铁路工程长大带状实景展示坐标体系设计。

(2) 工程实体模型与实景三维地形的地物空间关系处理技术研究。

(3) 实景地形表面整平挖空等处理、实体模型与实景地形的全局光影效果协调处理技术研究、大体量铁路工程数据调度优化研究。

(4) 根据桥梁、隧道等专业设计需求,实现了桥梁不同孔跨、隧道不同结构形式间快速参数化建模技术,解决了结合实景地形的铁路工程快速可视化技术难题。

## 4 结束语

当前国内外针对实景三维线路设计应用研究开展了大量工作,并取得了一些成果,但大多都是先在二维图上进行设计,然后针对三维实景平台做方案综合展示,还无真正意义上的全过程、全阶段的实景三维地形选线设计平台。本文开展拥有自主知识产权的实景三维地球技术研究及基于实景三维地形进行铁路选线设计软件系统研究,不仅解决了目前铁路选线不直观、质量难以把控等问题,同时还通过将设计过程三维化、高精度化减少设计过程中的差、漏、错,提高选线工作的效率。主要有如下创新:

(1) 通过对二、三维设计数据格式的约定,完成了线路设计相关的数据标准体系和数据库结构的物理实现。

(2) 在实景三维平台的基础上,能够根据设计需求自动生成结构物展示高精度模型<sup>[9]</sup>、能够交互式调整设计参数并及时更新显示,进行二、三维联动和数据共享等。

(3) 基于 BIM 技术,实现了铁路线路规划 BIM 正向设计,建立桥梁、隧道、轨道、路基、站场等工程数据库,动态展示规划设计实施后工程实景。

(4) 基于实景三维地形综合选线系统是基于开源且可商用的三维渲染引擎及国内企业应用软件而开发,完全拥有自主知识产权,对提升铁路、公路等交通领域规划设计技术水平具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 韩雨书. 基于 GIS 的三维空间公路智能选线动态规划方法设计[J]. 公路工程, 2018, 43(1): 165-168.  
HAN Yushu. Design of Dynamic Planning Method for Intelligent Line Selection of 3D Space Highway Based on[J]. Highway Engineering, 2018, 43(1): 165-168.
- [2] 易思蓉, 聂良涛. 基于虚拟地理环境的铁路数字化选线设计系统[J]. 西南交通大学学报, 2016, 51(2): 373-380.  
YI Sirong, NIE Liangtao. Digital Railway Location System Based on Virtual Geographic Environment[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2016, 51(2): 373-380.
- [3] 朱庆, 朱军, 黄华平, 等. 实景三维空间信息平台与数字孪生川藏铁路[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(2): 46-53.  
ZHU Qing, ZHU Jun, HUANG Huaping, et al. Real 3D Spatial Information Platform and Digital Twin Sichuan-Tibet Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 46-53.
- [4] 朱颖, 吕希奎, 许佑顶. 铁路三维地质选线理论与方法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.  
ZHU Ying, LV Xikui, XU Youding. The Theory and Method of Three-dimensional Geological Selection of Railway [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2019.
- [5] 宋章, 魏永幸, 王朋, 等. 复杂艰险山区地质灾害特征及减灾选线研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(5): 8-12.  
SONG Zhang, WEI Yongxing, WANG Peng, et al. Research on Geological Disaster Characteristics and Location for Disaster Reduction in Complex and Dangerous Mountainous Areas [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5): 8-12.
- [6] 朱颖, 姚令侃, 魏永幸. 复杂艰险山区铁路减灾选线理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2016.  
ZHU Ying, YAO Lingkan, WEI Yongxing. The Theory and Technology of the Railway Selection Line for Disaster Reduction in Complex and Dangerous Mountainous Area [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [7] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].  
TB 10098-2017 Code for Design of Railway Line [S].
- [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.  
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.
- [9] 闫智, 韩春华, 卢玉韬. 基于 BIM 快速生成高精度三维模型的方法研究及其探索[J]. 土木工程信息技术, 2018, 10(4): 33-40.  
YAN Zhi, HAN Chunhua, LU Yutao. Research on BIM-Based Rapid Generation Method of High-Precision 3D Models and Its Application[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2018, 10(4): 33-40.