

文章编号: 1674—8247(2019)02—0027—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.02.007

基于 BIM + GIS 的铁路隧道地质灾害辅助整治技术研究

赵亮亮 卢文渊 张广庆

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:为有效辅助工务管理单位进行隧道地质灾害整治,本文提出了一种基于 BIM 和 GIS 技术的隧道地质灾害辅助整治平台。在此平台中可建立隧道区域的地形地貌三维地理信息场景,集成线路、隧道、岩溶病害等模型、隧道台帐信息及物探数据,通过相应的查询和空间分析功能,可辅助管理人员和专家直观查看地质灾害与隧道的空间位置关系,科学提出整治措施,提高隧道地质灾害的整治效率。

关键词:BIM; GIS; 隧道; 地质灾害; 整治

中图分类号:U457⁺.2 **文献标志码:**A

Research on the Assistant Technology for Railway Tunnel Geological Disaster Management Based on BIM and GIS

ZHAO Liangliang LU Wenyuan ZHANG Guangqing

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

Abstract: In order to assist railway maintenance management to govern tunnel geological disasters, the paper proposed an auxiliary improvement platform for tunnel geological disasters based on the technology of BIM and GIS. In the platform, three-dimensional geographic information scene of topography and landform, integrated line, tunnel, karst disease model, tunnel account information and geophysical data of tunnel area can be established. With the help of corresponding query and spatial analysis function, it can assist managers and experts to visually examine the spatial location relationship between geological hazards and the tunnel, and scientifically put forward remediation measures to improve the remediation efficiency of geological hazards in the tunnel.

Key words: BIM; GIS; tunnel; geological disaster; management

1 现状

我国西南山区夏季降雨量丰富,常常造成部分铁路隧道漏水严重,极大影响了铁路运营安全。工务管理部门通过在隧道漏水处打孔放水的形式减轻隧道的漏水程度,但未能从根本上解决问题。采用 BIM 技术可将岩溶病害、地形、隧道以三维形式展现,再通过 GIS 技术将病害数据、地形、隧道进行整合,可非常直观地展示它们的相对位置关系,能有效辅助管理单位

进行隧道地质灾害整治。

2 技术路线

基于 BIM + GIS 技术进行隧道灾害辅助整治,首先应获取并建立各种三维基础数据,包括岩溶富水区三维 BIM 模型、隧道 BIM 模型、三维地形、三维线位。然后,通过 BIM 与 GIS 融合技术,将 BIM 模型在 GIS 场景中集成。最后,设计相关算法,量化查询岩溶富水区与隧道的相对位置关系,辅助隧道整治。具体技术

收稿日期:2018-03-19

作者简介:赵亮亮(1987-),男,工程师。

引文格式:赵亮亮,卢文渊,张广庆. 基于 BIM + GIS 的铁路隧道地质灾害辅助整治技术研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(2):27-32.

ZHAO Liangliang, LU Wenyuan, ZHANG Guangqing. Research on the Assistant Technology for Railway Tunnel Geological Disaster Management Based on BIM and GIS [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(2): 27-32.

流程,如图 1 所示。

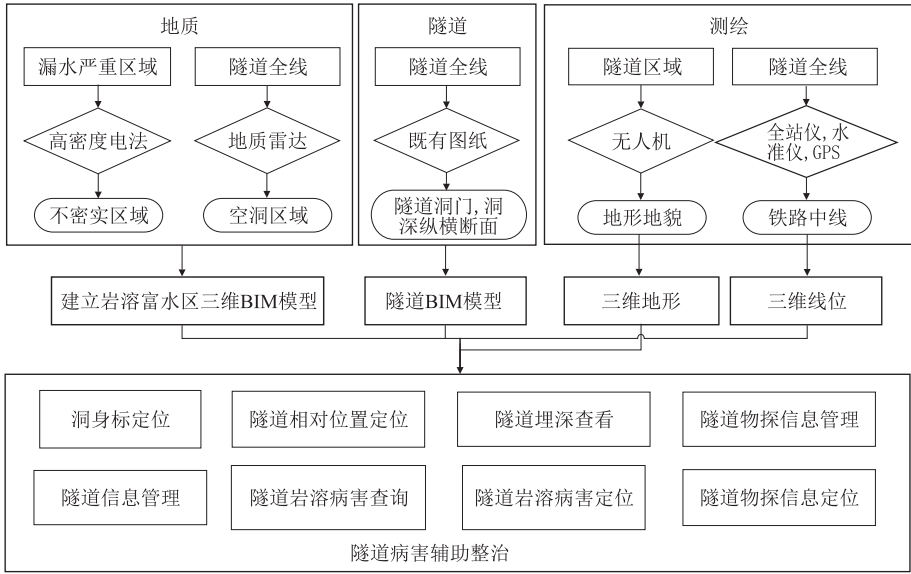


图 1 隧道灾害辅助整治技术路线示意图

3 GIS 场景建立

随着我国铁路勘察设计技术的不断提升,不同时间铁路建设所采用的坐标系也有不同,这为隧道地质灾害的统一管理带来了困难。因此,应进行空间坐标系的统一。由于当前国家控制点及相关基础测绘数据均采用 2 000 椭球,为便于后期基础测绘资料的搜集,推荐采用国家 2 000 椭球的地理坐标系作为统一基准。

3.1 三维地形模型建立

开展隧道地质灾害整治,须获取隧道区域的地形地貌,以辅助定位地质灾害在铁路线路的空间位置,为灾害整治提供决策依据。隧道区域一般范围较小,因此,可采用无人机的方式获取地形地貌,并通过空中三角测量和立体测图的方式生成隧道区域的正射影像和数字高程模型^[1]。

在正射影像和数字高程模型的基础上,通过四叉树进行切片,每一层图幅数均为前一层的 4 倍,形成影像金字塔和高程数据金字塔^[2]。这种切片技术是在同一空间参照下,根据需要以不同分辨率进行存储与显示,形成分辨率由粗到细、数据量由小到大的金字塔结构。金字塔结构用于图像编码和渐进式图像传输,是一种典型的分层数据结构形式,适合于栅格数据和影像数据的多分辨率组织,可显示海量的三维地形数据,三维地形模型如图 2 所示。

3.2 三维线位建立

定位隧道区域地质灾害位置,须获取隧道区域的铁路中线。西南山区大部分既有铁路运营繁忙,为保



图 2 三维地形模型

证人员的安全,铁路运营部门仅允许天窗时间进场测量。三维线位测量采用四等符合导线法进行。

(1)在隧道进出口各布设 1 对控制点,若通视较差,则视情况进行布设。点位平面和高程坐标通过与国家已知控制点进行 GPS 和水准联测的方式获取^[3]。

(2)在洞内每隔 100 m 布设 1 个导线点,并与隧道进出口控制点进行联测。

(3)基于导线点通过全站仪测量左、右钢轨中心点坐标,直线处每隔 50 m 1 个点,曲线处每隔 10 m 1 个点,在直缓点、缓直点、圆缓点、缓圆点等特征点处加测点,并记录相关的线路参数。

(4)通过线路参数和导线点拟合铁路三维中线。

3.3 隧道模型建立

通过在工务处调取隧道竣工图纸(包括洞门、洞身等部位),结合三维线位建立隧道三维模型,并与三维地形数据集成。隧道模型如图 3 所示。

3.4 岩溶富水区模型建立

隧道区域岩溶病害位置可采用高密度电法的方式进行探查,具体流程如下:

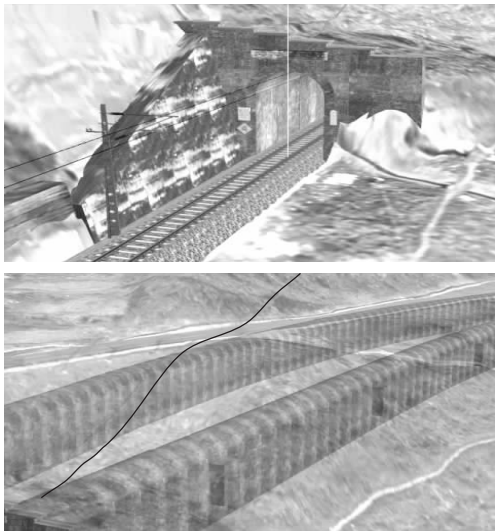


图 3 隧道模型

(1)在天窗时间进入隧道内部查看隧道漏水严重区域,并记录其所在洞身标。

(2)根据所测量的铁路中线和洞身标定位,获取漏水严重区域洞身标范围所对应的地面平面坐标,如图 4 所示。

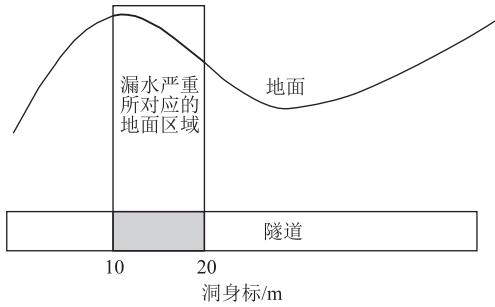


图 4 漏水严重区域所对应的地面点

(3)基于获取漏水严重区域所对应的地面平面坐标,通过 RTK 方式,在隧道上方地表进行放样,并以明显标识出^[4]。

(4)在所放样的中线上每隔 5 m 布设 1 个电极,利用高密度电法进行探测,生成电阻率纵断面。

(5)在地表电极线两侧 3 m,按照上步进行同样操作,并生成电阻率纵断面,三条高密度电法测线,如图 5 所示。

(6)根据电极法检测结果生成电阻率纵断面图,并提取生成岩溶病害纵断面和横断面图。

(7)以病害纵横断面数据为基础,通过软件拟合岩溶富水区模型,如图 6 所示。

(8)结合纵横断面数据,在三维场景真实地理位置上进行放置。

三维地形、三维线位、隧道、岩溶富水区等模型建

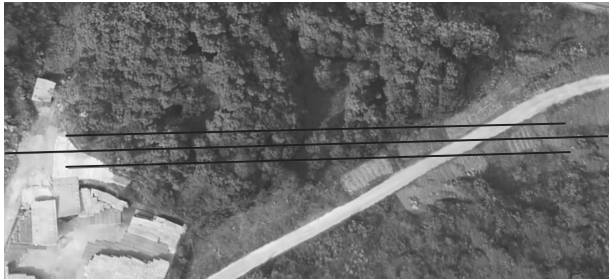


图 5 三条高密度电法测线

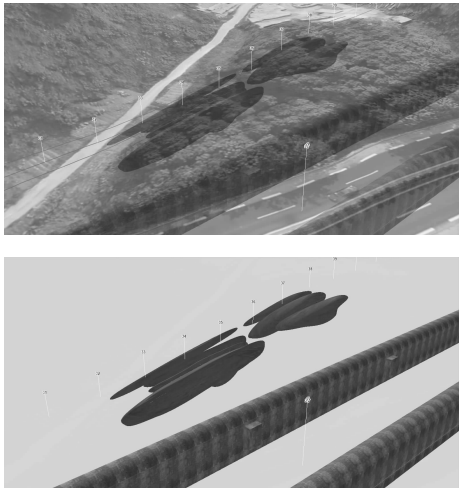


图 6 岩溶富水区模型

立后,在三维真实地理空间进行集成。同时,加上隧道、里程、公路、洞身标、水系等标注,形成了具有丰富信息的三维地理信息场景,并以此为基础开展相关辅助整治分析应用。

4 灾害整治平台建设

工程人员制定整治方案时,需随时定位隧道位置,查询其相关图片、图纸等,以及与岩溶病害区的相对位置关系。因此,本系统的辅助整治工具主要包括定位及分析功能、隧道台帐管理、隧道岩溶病害信息管理三部分。

4.1 定位及分析功能

(1)洞身标定位

在隧道灾害巡检过程中,工务管理人员一般通过记录隧道漏水区域的洞身标范围进行备案。基于上述需求,灾害辅助整治平台提供了洞身标定位的功能,通过输入相应的数字,场景可自动定位到相应位置,并高亮该处隧道洞身。

①基于所采集的铁路三维中线,从隧道进口开始,每 10 m 采集 1 个点,并存储其坐标、洞身标、隧道名称信息,洞身标信息如表 1 所示。

表 1 洞身标信息

经度	纬度	高程/m	洞身标	隧道
107.482 564 80° E	26.617 393 54° N	929.973	1	*** 隧道
107.482 466 46° E	26.617 375 36° N	930.013	2	*** 隧道
107.482 368 12° E	26.617 357 18° N	930.053	3	*** 隧道
107.482 269 79° E	26.617 339 01° N	930.093	4	*** 隧道
107.482 171 45° E	26.617 320 83° N	930.133	5	*** 隧道
.....
107.480 991 45° E	26.617 102 44° N	930.526	17	*** 隧道

- ②将上述信息存入数据库中,以备平台调用。
- ③通过该平台读取数据库中对应洞身标处的坐标,并高亮相应的隧道洞身实现定位,如图 7 所示。



图 7 洞身标定位

(2)隧道定位

在部分双洞单线隧道的灾害整治中,为防止一侧隧道施工对另一侧隧道造成影响,需获取临近隧道的位置,为灾害的科学整治提供依据。

- ①在 GIS 场景中集成两条隧道的 BIM 模型和线位。
- ②在输入相应的洞身标时,实时获取临近隧道最近坐标点位置,并计算其空间距离。
- ③通过 2 点形成 1 个垂直的平面,在 GIS 场景中

对隧道模型进行切割形成断面^[5],如图 8 所示,以形象表达两隧间的距离,如图 9 所示。

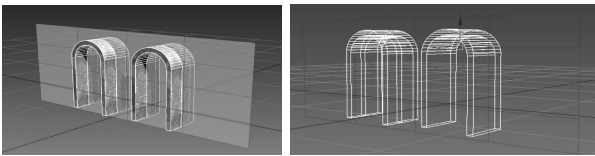


图 8 模型切割

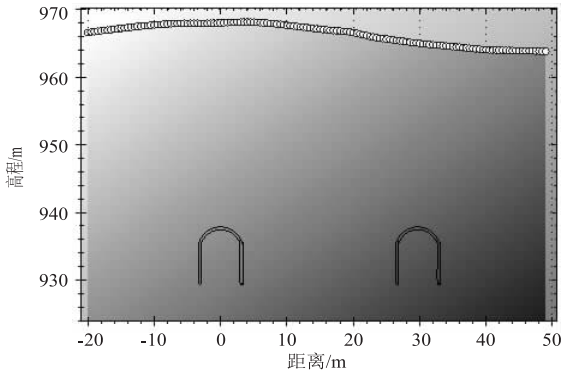


图 9 隧道距离展示

(3)隧道埋深查看

在进行隧道整治时,常常需要查看隧道与地表的距离,即隧道埋深。GIS 场景中具有高精度地形和模型数据,可采集隧道任意位置所对应的地表、岩溶富水区的位置和轮廓范围,进而形成隧道的纵断面。

- ①沿隧道中线每隔 0.5 m 采点,并获取对应地表高程,形成地面切割点。

$$Z_{\text{地表}} = f(x_{\text{中}}, y_{\text{中}}) \tag{1}$$

- ②将隧道中线点和地面切割点连接,形成切割面。
- ③将切割面与岩溶富水区模型、隧道模型进行求交,获取隧道埋深断面。
- ④提供查询面板,在任意位置查询隧道埋深,以及在垂直方向与岩溶富水区距离,如图 10 所示。

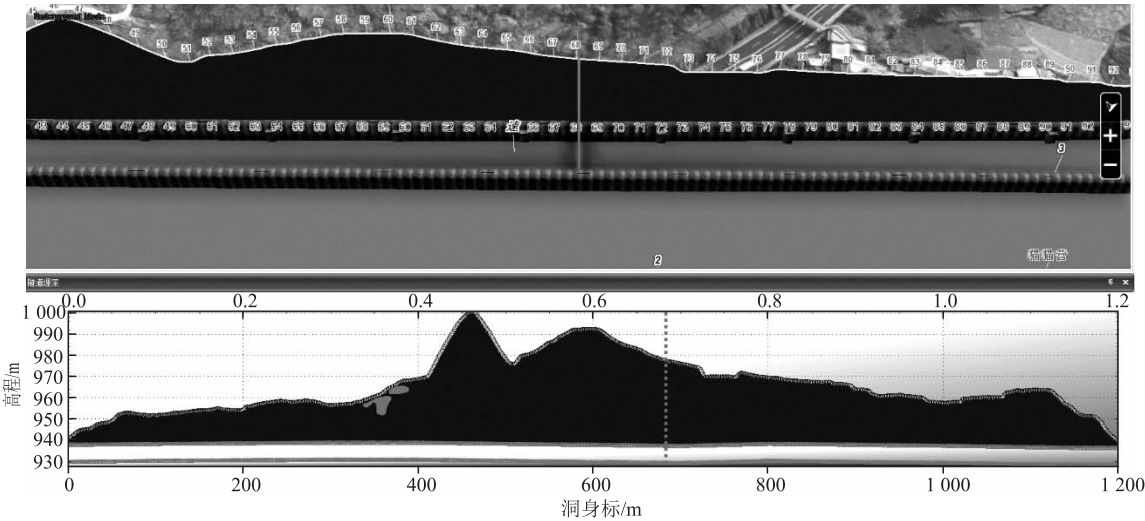


图 10 隧道埋深

4.2 隧道台账管理

(1)隧道信息管理

隧道信息管理即将隧道信息与隧道三维 BIM 模型进行关联,在 GIS 场景中可通过条件和空间查询的方式查询隧道的相关信息,包括所在线、隧道号、行别、中心里程、全长、所在区域、竣工图纸、现场照片等,并可随时定位隧道的出口和进口^[6],高亮其相应部位,辅助快速获取隧道信息,如图 11 所示。

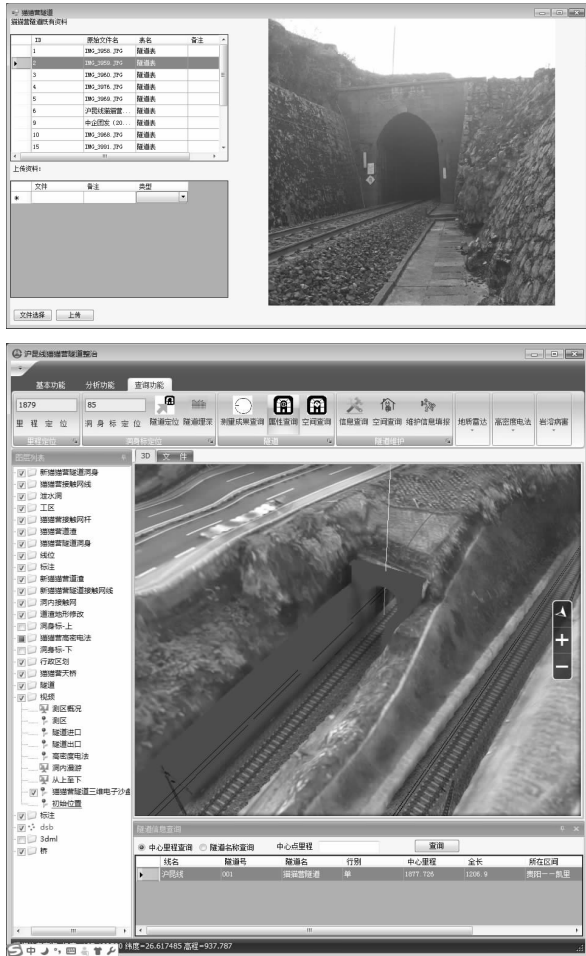


图 11 隧道信息管理

(2)隧道物探信息管理

物探工作组在完成外业物探工作后,需实时基于本平台完成物探数据的上传、管理,以保证灾害整治时基于本平台查询相关物探数据。

①地质雷达数据管理

可根据检查部位、洞身标、病害类型进行查询,根据查询的结果,基于洞身标将数据与隧道 BIM 模型进行关联^[7],基于 GIS 的空间定位功能,自动高亮相应位置,查看病害分布情况、病害位置、病害深度及地质雷达原始数据。

②高密度电法数据管理

对同一个隧道,存在在不同的区域采用高密度电法检测隧道岩溶富水区的情况。基于 GIS 平台可将测线在地理空间中进行定位,查询其成果图,并通过三维 GIS 的空间分析功能,以测线为基准将地表、岩溶模型、隧道进行切割,分析其纵断面图,如图 12 所示。

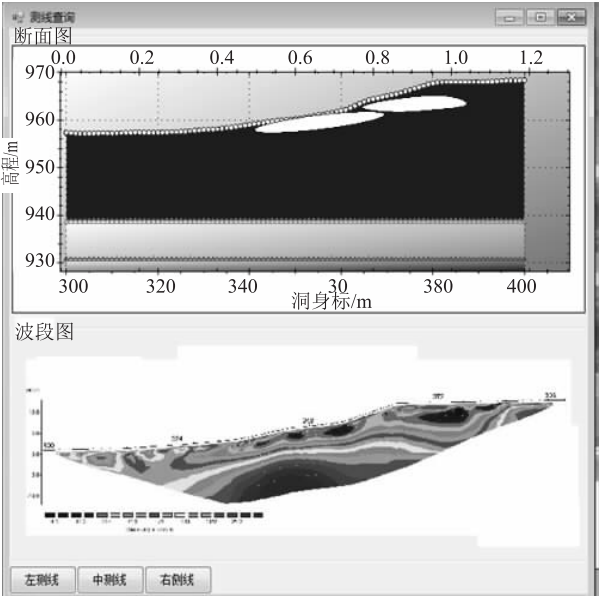


图 12 高密度电法数据查询及定位

4.3 隧道岩溶病害查询

在 GIS 场景中融合岩溶富水区模型后,须将岩溶富水区与隧道的相对位置关系和距离进行量化,才能为隧道整治施工提供相应的科学依据。本平台将岩溶富水区模型离散成一系列点坐标,同时获取相应垂直距离的隧道断面数据,将断面数据离散化,求其最近距离^[8],具体实施步骤如下:

(1)获取岩溶富水区模型,将其离散为点,并获取其点坐标。

$$P_1(x_1, y_1, z_1), P_2(x_2, y_2, z_2), P_3(x_3, y_3, z_3), \dots, P_n(x_n, y_n, z_n)$$

(2)计算每 1 个点坐标 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ 与铁路中线最近距离的坐标 $L_{\min}(x_{\min}, y_{\min}, z_{\min})$ 。

(3)根据铁路中线坐标,获取其位置的隧道断面数据。

(4)将隧道外轮廓断面离散为足够密度的点。

$$S_1(x_1, y_1, z_1), S_2(x_2, y_2, z_2), S_3(x_3, y_3, z_3), \dots, S_n(x_n, y_n, z_n)$$

(5)计算隧道断面离散点与岩溶富水区离散点距离,并存储。

$$D_p = \sqrt{(x_s - x_p)^2 + (y_s - y_p)^2 + (z_s - z_p)^2} \quad (2)$$

(6)对 $D_1, D_2 \dots D_n$ 排序,并获取其最小值 D_{\min} 。

(7) 获取 D_{\min} 所对应的 $P_i(x_i, y_i, z_{i2})$ 和 $S_i(x_i, y_i, z_i)$, 并计算器距离和空间相对位置, 如图 13 所示。

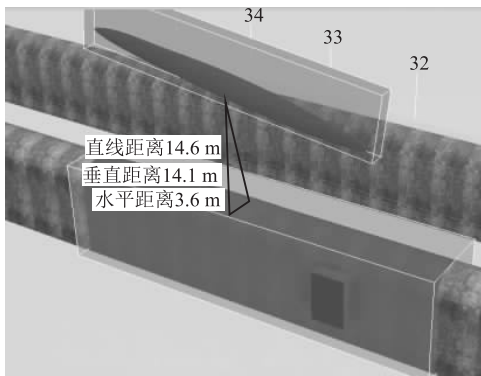


图 13 空间位置距离

5 结束语

本文基于 BIM 和 GIS 技术, 在空间真实位置中集成地形地貌数据、隧道 BIM 模型数据、岩溶富水区模型数据及物探数据, 形成三维辅助整治平台。基于本平台的查询、量测、分析功能, 可量化查询相邻隧道的距离、隧道埋深, 调取隧道任意区域、任意位置的物探数据、分析报告和相关文件, 量化分析和展示岩溶富水区与隧道的相对位置关系, 能够有效辅助设计人员科学提出地质灾害整治措施。

参考文献:

- [1] 许延丽, 刘兆刚. 基于航片建立数字高程模型及林分信息提取[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(11): 88-91.
XU Yanli, LIU Zhaogang. Establishment of Digital Elevation Model and Information Extraction for Forest Stands Based on Aerial Images[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(11): 88-91.
- [2] 王媛媛. 一种基于四叉树的大规模影像数据库构建方法[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(6): 128-129.
WANG Yuanyuan. Method of Building Large-scale Image Database Based on Quadtree[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2015, 38(6): 128-129.
- [3] 王斌, 胡珠寿, 金立新, 等. 基于 GPS 技术的铁路既有中线测量研究[J]. 北京交通大学学报(自然科学版), 2006, 30(1): 44-46.
WANG Bin, HU Zhushou, JIN Lixin, et al. Existing Railway Line Survey Using GPS[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Natural Science Edition), 2006, 30(1): 44-46.
- [4] 凌飞, 杨武, 蒋亚东. 高密度电法在隧道勘探中的应用[J]. 价值工程, 2015, 34(1): 278-279.
LING Fei, YANG Wu, JIANG Yadong. Application of High Density Resistivity Method to Tunnel Exploration[J]. Value Engineering, 2015, 34(1): 278-279.
- [5] 宁姣, 董晓, 冯宗雪, 等. 三维模型的任意角度平面切割算法研究[J]. 现代电子技术, 2018, 41(3): 54-56.
NING Jiao, DONG Xiao, FENG Zongxue, et al. Research on Arbitrary-angle Plane Cutting Algorithm of 3D Model[J]. Modern Electronics Technique, 2018, 41(3): 54-56.
- [6] 闵世平, 赵亮亮. 三维 GIS 技术在铁路全生命周期中的应用探讨[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(10): 15-20.
MIN Shiping, ZHAO Liangliang. The Application of 3D GIS Technology in the Whole Life Cycle of Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(10): 15-20.
- [7] 黄伟, 李大心, 唐庆兵, 等. 基于 GIS 技术的工程物探数据管理与处理解释系统[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(2): 140-145.
HUANG Wei, LI Daxin, TANG Qingbing, et al. Management Processing and Interpretation System of Engineering Geophysical Exploration Data Based on GIS Technology[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2002, 24(2): 140-145.
- [8] 朱良峰, 吴信才, 刘修国. 基于 GIS 的铁路地质灾害信息管理与预警预报系统[J]. 山地学报, 2004, 22(2): 230-235.
ZHU Liangfeng, WU Xincan, LIU Xiuguo. Information Management and Warning and Forecas System of Railway Geo-hazardsbased on GIS Technique[J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22(2): 230-235.

(编辑: 赵立红 苏玲梅)