

文章编号: 1674—8247(2020)06—0006—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.06.002

基于 EVS 的三维地质建模研究

陈 兵¹ 朱泳标¹ 张 燕²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 成都理工大学, 成都 610059)

摘 要: EVS 地质建模平台可实现真三维的地质体建模、分析及可视化, 提供了克里金法、自然邻点法、最近邻点法等 7 种空间插值方法, 支持矩形线性网格、有限差分网格、凸包网格等 4 种网格类型。本文系统介绍了 EVS 地层建模、岩性建模、混合建模等构造建模及属性建模的方法及流程, 总结了各类建模方法的适用地质条件, 为 EVS 在三维地质建模中的应用提供技术参考, 推进了地质 BIM 技术的发展。

关键词: BIM; 三维地质建模; EVS; 地层建模; 岩性建模; 属性建模

中图分类号: P628⁺.3 **文献标志码:** A

Research on EVS-based 3D Geological Modeling

CHEN Bing¹ ZHU Yongbiao¹ ZHANG Yan²

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 600031, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The EVS-based geological modeling platform can realize true three-dimensional modeling, analysis and visualization of geological bodies. It provides seven spatial interpolation methods (kriging method, natural neighbor method, the nearest neighbor method, etc.) and supports four types of grids (rectangular linear grid, finite difference grid, convex hull grid, etc.). This paper introduces systematically the methods and processes of structure modeling and property modeling (such as EVS-based stratum modeling, lithology modeling and hybrid modeling), summarizes the applicable geological conditions of various modeling methods, and provides technical reference for the application of EVS in 3D geological modeling, aiming to promote the development of geological BIM technology.

Key words: BIM; 3D geological modeling; EVS; stratum modeling; lithology modeling; property modeling

BIM 技术具有数字化、可视化、多维化、协同性、模拟性等特点, 在地质行业逐步得到了推广和应用。三维地质模型是地质 BIM 技术应用的核心, 同路基、桥梁、隧道、站场等专业的计算模型建模相比, 具有地层分界面不规则、地质认识的多解性、地质数据多样性、约束条件多等特点。在建模过程中, 需考虑地质体平面出露界线与地质剖面界线的空间耦合性、地质成因上的合理性等条件。因此, 选择适合的地质建模平台

极为重要, 既能表达地质对象的拓扑结构、几何结构及属性信息, 还需具备融合多源数据及地质模型动态更新的能力。

EVS(Earth Volumetric Studio)建模系统是应用于地球科学领域的 3D 建模软件^[1], 此软件基于数据驱动, 采用拖拽式功能模块, 灵活定制工作流, 具有数据可视化及模型动态更新的特点, 能较好地满足地质建模的需求。随着 BIM 技术的推广, EVS 地质建模平台

收稿日期: 2020-05-27

作者简介: 陈兵(1983-), 男, 高级工程师。

引文格式: 陈兵, 朱泳标, 张燕. 基于 EVS 的三维地质建模研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(6): 6-10.

CHEN Bing, ZHU Yongbiao, ZHANG Yan. Research on EVS-based 3D Geological Modeling[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(6): 6-10.

在越来越多的项目中得到运用,本文通过对 EVS 地质建模平台的建模理论介绍及应用方法总结,为使用 EVS 地质建模平台的地质技术人员提供参考。

1 EVS 建模理论

EVS 地质建模平台提供了多种空间插值方法和网格类型,根据选定的插值方法和网格类型可实现仿真三维地质体数据建模、分析及可视化,并可基于仿真三维地质模型制作动画展示。

1.1 插值方法

地质模拟中所用的数据主要为空间数据,空间数据插值法是常用的插值处理方法之一^[2],用于估计网格中与原始数据点不重合的节点数据。EVS 主要提供了以下七种空间插值方法:克里金(Kriging)法^[3]、自然邻点(Natural Neighbors)法、最近邻点(Nearest Neighbor)法^[4]、样条(Spline)法^[5]、谢别德(Shepard)法、改进谢别德(Franke/Nielson)法^[6]、径向基函数(FastRBF)法^[7],根据地质数据分布特征采用不同的空间插值方法。

1.2 网格类型

EVS 地质建模平台支持矩形线性网格、有限差分网格、凸包网格、自适应网格等多种网格类型。

1.2.1 矩形线性网格

矩形网格是最简单的网格类型之一,网格坐标轴平行于坐标系坐标轴,单元格大小和方向均为固定设置,通过网格的坐标范围即可计算所有节点的位置,网格的连接性直接可以用隐式表示。矩形线性网格易于创建且具有二维平面单元和三维体积单元的均匀性,如图 1 所示。

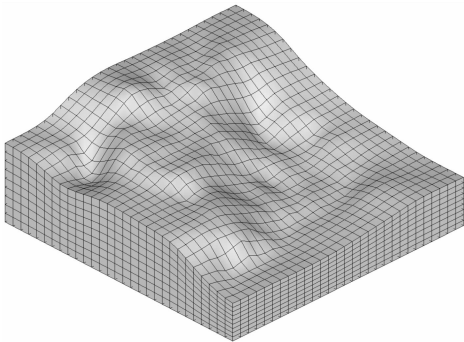


图 1 矩形线性网格图

1.2.2 有限差分网格

矩形线性网格由于每个网格的大小和方向都是固定的,在进行某些数据插值时,会产生大量外插没有意义的区域,增加插值计算时间,这种不足在铁路、公路

等线状工程建模中尤其突出。而有限差分网格可以调整网格间距,在保证网格方向一致的情况下可对所有网格进行旋转,如图 2 所示。

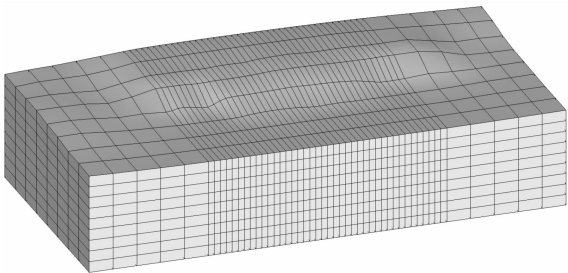


图 2 有限差分网格图

1.2.3 凸包网格

相对于矩形线性网格和有限差分网格,凸包网格并不规整,每个单元都可以是不一样的大小和方向,二维空间中一组点的凸包即为包含该集合的最小凸区域。使用凸包网格的模型所有点均可内插。其最大优势在于可以保证整个模型的每个地方都是内插,如图 3 所示。

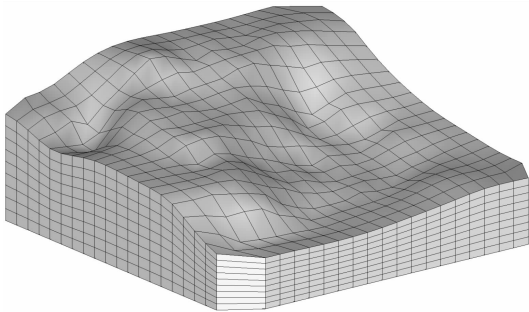


图 3 凸包网格图

1.2.4 自适应网格

当需要把每个原始数据点或者钻孔都放在网格节点上时,上述 3 种网格类型都很难做到。而自适应网格可以在保证计算效率的基础上,又可满足所有原始数据点落在节点上。自适应网格如图 4 所示。从图 4

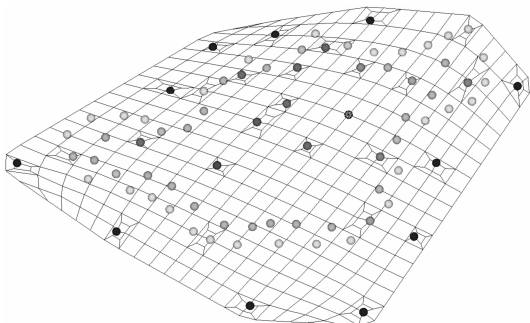


图 4 自适应网格图

可以看出,在原始数据点处增加了1个节点,模型对该节点所在的网格进行了细分。

2 EVS 数据类型

2.1 地质数据

地质数据具有多源异构特征,很难用一种统一的格式进行描述。在 EVS 平台下,可采用两种方法去描述地层信息:一种是包含钻孔数据的钻孔地层信息,数据文件格式为 PGF;一种是根据钻孔数据进行了地质解释的层序地层信息,数据文件格式为 GEO 或 GMF。

(1)PGF 文件

PGF 文件可利用 EVS 的 PGF 制作工具,将钻孔编录信息转换成 PGF 格式,每个部分代表单个钻孔的岩性。其格式如下:

```
Elevation " 1 | Silty Sand " " 2 | Clay "
"3|Gravel" m
162
630438.60 4272028.71 31.95 1 CSB-1
630438.60 4272028.71 22.46 1 CSB-1
630438.60 4272028.71 21.57 2 CSB-1
630438.60 4272028.71 -0.70 3 CSB-1
.....
```

第一行数据依次定义了分层位置(采用高程或深度模式)、岩性序号、岩性定名和单位;第二行为数据区行数;第三行及以后为数据区,包含钻孔东坐标、钻孔北坐标、岩性分层高程或深度、岩性序号和钻孔编号。若第一行定义为深度模式,须在数据区钻孔编号后增加钻孔高程数据。

(2)GEO 文件

GEO 文件以 PGF 文件为基础数据,利用 make_geo_hierarchy模块通过人机交互的方式创建而成。GEO 文件包含一系列对垂直钻孔分层岩性及分层位置进行空间插值运算取得的透镜体和倾斜地层的地质岩性和位置数据。其格式如下:

```
X Y Top Bot_0 Bot_1 Bot_2 Bot_3 Bore
Elevation " Silty Sand " " Silty Sand " " Clay "
"Gravel" m
45 4 1 1 2 3
630438 4272028 31.9 22.4 21.5 -0.7
"CSB-1"
630874 4271975 30.7 21.6 11.8 -0.7
"CSB-10"
```

```
630875 4272007 30.4 21.1 13.2 -0.7
"CSB-11"
```

.....

第一行数据依次定义东坐标、北坐标、第一层顶面名称、第一层底面名称、第二层底面名称、钻孔编号;第二行数据定义了分层位置为高程或深度模式及各分层面岩性定名;第三行数据依次描述了数据行数、岩性分界面个数、各分界面序号;第四行以后为各钻孔在对应岩层面上的点数据描述,若分层数据缺失,用 pinch 表示。

(3)GMF 文件

GMF 文件以 PGF 文件或 GEO 文件为基础数据制作而成,包含一系列用于定义地层各分层点的数据。GMF 文件不限于垂直钻孔,每一层都可有任意数量的坐标点,需要采用插值算法来处理透镜体和倾斜地层。其格式如下:

```
units m
surface 0 Top
11086.5 12830.7 4.5
11199.0 12810.2 4
.....
```

第一行定义数据单位;第二行定义层面序号及名称;第三行以后为数据区,包含东坐标、北坐标、高程。

2.2 属性数据

在地质数据中,除岩性数据、构造数据外,还有密度、孔隙度、电导率、重力、温度、地震、电阻等物探数据,污染物浓度、盐度、浮游生物密度等环境数据,以及如地下水位的变化、地形变化等带有时间效应的数据。针对这些属性数据可以选用合适的插值方法进行三维属性建模。EVS 中采用两种不同的 ASCII 数据格式来表示属性数据,具体格式如下:

(1)APDV:一种空间点数据格式,表示在某一点进行测量的分析数据。其格式如下:

```
X Y ELEV @@ 1-DCA 1-DCE TCE VC SITE_ID
Elevation m
50 4 mg/kg ug/kg ug/kg mg/kg
12008 12431 22.9 22 ND 500 <0.01 CSB-39
12008 12431 18.9 <0.01 <0.01 2800 <0.01
CSB-39
12008 12431 13.4 <0.01 <0.01 290 <0.01
CSB-39
.....
```

第一行数据依次定义东坐标、北坐标、高程、数据项1、数据项2、……、点编号;第二行定义分层位置高程模式及单位;第三行依次定义数据区行数、数据项个数、数据项单位;第四行以后为数据区,若分析数据未检出,用“ND”表示。

(2) AIDV:一种空间区间数据格式,表示在某一段高程(深度)范围内测量的分析数据。该数据格式与 APDV 格式数据类似,区别在于把某一点的高程用某一段的起始高程来表示。

3 EVS 建模方法

EVS 内置上百个功能模块,用户可根据需求进行模块组合,灵活定制工作流,实现各种功能。地质实体的几何形态建模是建立地质结构模型,为构造建模。地质实体内部属性参数的建模是建立地质体内部物理、化学属性参数模型,为属性建模^[8]。

3.1 构造建模

EVS 主要有地层建模和岩性建模两种基本方法,在建模时这两种方法可以相互套用,进行混合建模,也可加入地质剖面作为建模约束条件,进行剖面建模,以满足实际需求。

3.1.1 地层建模

地层建模适用于地层层序比较清晰、地层新老关系比较明确、钻孔分层相对简单的情况,根据地质剖面界面界线以及钻孔分层数据建立地层分界面,用地层分界面模拟出地质体,地层建模流程如图 5 所示。该方法在人机交互层面划分过程中结合了地质人员的认识,优点是建模过程中插值速度快,缺点是对于透镜体分布较多及溶洞、采空区等多 Z 值地质体的表达能

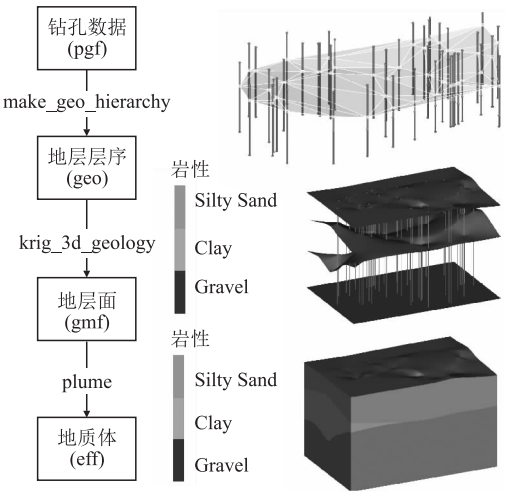


图5 地层建模流程图

力差。

3.1.2 岩性建模

岩性建模适用于地层无新老关系、钻孔分层复杂、层序不能一目了然或存在不规则岩体、脉体、岩溶、采空区等多 Z 值地质体的情况,采用克里金法和随机模拟法等统计方法,根据已知岩性的分布位置,计算出各种岩性在空间上的分布概率,其本质是地统计学的数值模拟,岩性建模流程如图 6 所示。该方法优点可实现程序化工作,无需人工干预,缺点是数值模拟结果可能会出现与地质认识不符的情况。

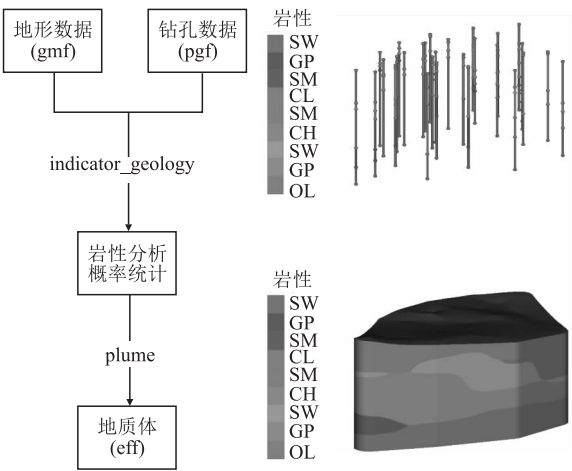


图6 岩性建模流程图

3.1.3 混合建模

多数地质条件表现为无序分布,这种情况下就需要先进行主层的地层建模,再进行亚层的岩性建模,最终建立区域内的地质模型,如图 7 所示。

3.1.4 剖面建模

在钻孔比较少的地质区域,需添加辅助剖面,可把辅助剖面作为建模的层位约束条件,其建模流程如图 8 所示。

3.2 属性建模

地质建模除表达地层岩性分布特征外,还需进一步根据区域内电阻率、温度、地应力等属性数据建立三维属性模型。EVS 根据属性数据文件,利用 krig_3d 模块选用相应的插值方法对属性数据进行插值建立三维属性模型,如图 9 所示。

4 结束语

EVS 是一个可进行仿真三维地质建模的平台,结合地质数据分布特征,选用合适的空间插值方法及网格类型,根据不同地质条件选用相应的建模方法及流

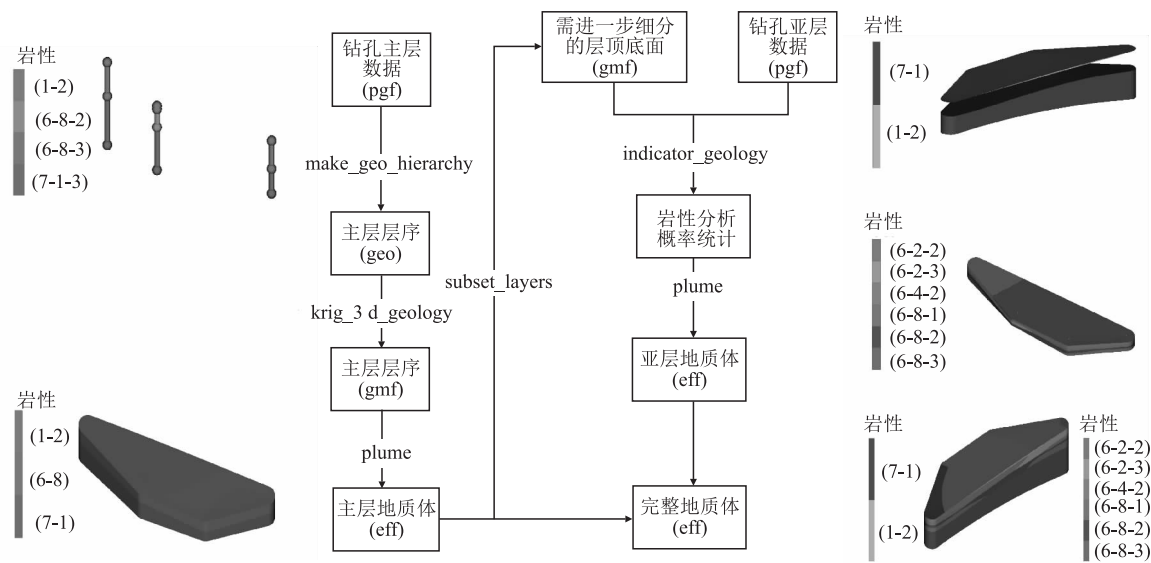


图7 混合建模流程图

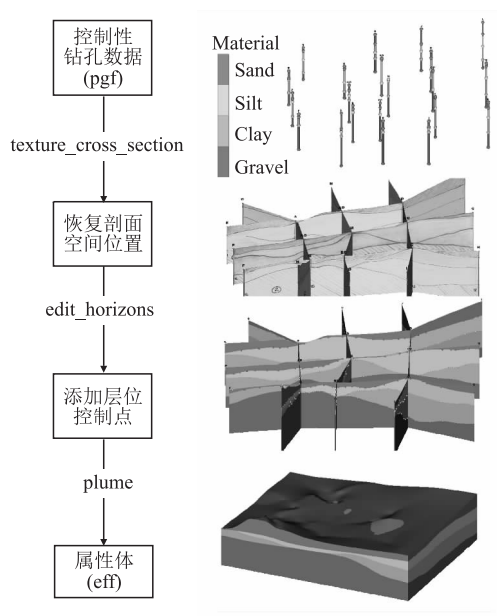


图8 剖面建模流程图

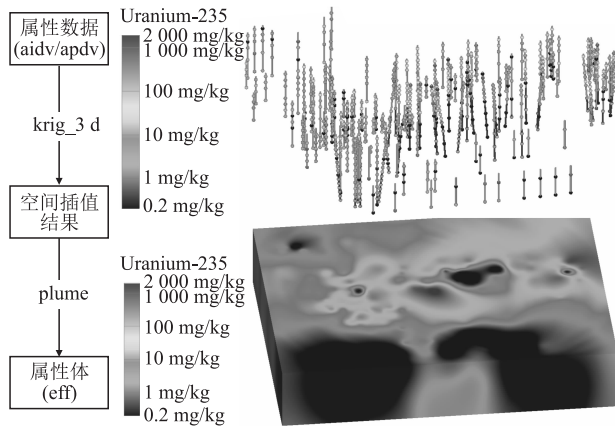


图9 属性建模流程图

参考文献:

[1] 雷赟,孔金玲,张峰,等. 基于EVS Pro的3D地质建模[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 107-110.
LEI Yun, KONG Jinling, ZHANG Feng, et al. 3D Geologic Modelling and Practice Based on EVS Pro[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(1): 107-110.

[2] 吴春发,李星. 地质模拟中数据插值方法的应用[J]. 地球信息科学, 2004, 6(2): 50-52.
WU Chunfa, LI Xing. Interpolation Methods in Geological Simulation[J]. Geo-Information Science, 2004, 6(2): 50-52.

[3] 王仁铎,胡光道. 线性地质统计学[M]. 北京:地质出版社, 1988.
WANG Renduo, HU Guangdao. Linear Geostatistics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988.

[4] 陈欢欢,李星,丁文秀. Suffer 8.0等值线绘制中的十二种插值方法[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(1): 52-57.

程进行地质建模,可真实反映地质构造形态、构造关系及地质体内部属性的变化规律,以及查看地质体模型内部地质结构及属性的分布,对于尖灭、透镜体、断层及溶洞等特殊地质体也有很好的处理能力。

EVS 可与 ArcGIS、Revit、Civil 3D 等软件进行数据交互,进而建立地上、地下一体化实景模型,实现三维地质模型对不同来源、不同维度、不同类型、不同精度的地质数据的无缝整合与同化,这也是大数据时代对地质勘探信息处理的必然要求^[9-10]。EVS 目前在钻孔数据、平面地质界线、剖面数据等多条件约束下的建模过程智能化等方面尚存不足之处,有待进一步改进。

- TB 10101-2018 Code for Railway Engineering Survey [S].
- [4] 顾建华, 张芳芳, 刘鹏. 高速铁路天窗设置探讨[J]. 中国铁路, 2010(10): 45-47.
- GU Jianhua, ZHANG Fangfang, LIU Peng. Discussion on Arrangement of Maintenance Window for High Speed Railways[J]. Chinese Railways, 2010(10): 45-47.
- [5] 张金魁. V形天窗既有铁路 CPⅢ技术方案探讨[J]. 铁道勘察, 2016, 42(4): 1-3.
- ZHANG Jinkui. Discussion on Technology of CPⅢ of Existing Operating Railway for the V-Type Maintenance Gap[J]. Railway Investigation and Surveying, 2016, 42(4): 1-3.
- [6] 张海涛. 高速铁路 CPⅢ控制网单边测量精度分析及应用研究[J]. 铁道勘察, 2016, 42(1): 15-18.
- ZHANG Haitao. Accuracy Analysis and Application Research of Single-side Surveying for High-speed Railway CPⅢ Control Network[J]. Railway Investigation and Surveying, 2016, 42(1): 15-18.
- [7] 唐恩奎, 刘成龙, 刘志, 等. 单侧形式 CPⅢ平面网测量的可行性研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2016, 13(12): 2368-2374.
- TANG Enkui, LIU Chenglong, LIU Zhi, et al. The Feasibility Research of the One-tailed CPⅢ Plane Network Measurement[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2016, 13(12): 2368-2374.
- [8] 周东卫. 高速铁路轨道控制网精密测量数据处理[J]. 测绘科学, 2013, 38(1): 118-121.
- ZHOU Dongwei. Data Processing in Precise Surveying of Control Network for Ballastless Track of High-speed Railway[J]. Science of Surveying and Mapping, 2013, 38(1): 118-121.
- [9] 周东卫. 高速铁路通用地面控制测量数据处理自动化系统研制[J]. 测绘信息与工程, 2011(6): 21-25.
- ZHOU Dongwei. Development of General Data Processing Automation System for Ground-based Engineering Surveying Control Networks in High-speed Railway[J]. Journal of Geomatics, 2011(6): 21-25.
- [10] 安国栋. 高速铁路精密工程测量技术标准的研究与应用[J]. 铁道学报, 2010, 32(2): 98-104.
- AN Guodong. Study on Technical Standard for Precise Engineering Surveying of High-speed Railways and Its Applications[J]. Journal of the China Railway Society, 2010, 32(2): 98-104.
- [11] 武瑞宏. 兰渝铁路兰州至广元段精密工程控制测量技术体系及特点[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(11): 35-40.
- WU Ruihong. The Precise Control Survey Technology System and Its Characteristics for Lanzhou to Guangyuan Line on Lanzhou-Chongqing Railway[J]. Railway Standard Design, 2019, 63(11): 35-40.
- [12] 朱郭勤. 高速铁路线上加密 CPⅡ和 CPⅢ网复测方法优化探讨[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(11): 14-18.
- ZHU Guoqin. Discussion on Optimization of Repetition Measurement of CPⅡ and CPⅢ Plan Network for High Speed Railway in Operation[J]. Railway Standard Design, 2018, 62(11): 14-18.
- [13] 梅熙, 赖鸿斌, 李学仕, 等. 高速铁路工程测量体系建设与创新[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(2): 68-72.
- MEI Xi, LAI Hongbin, LI Xueshi, et al. Establishment and Innovation of High Speed Railway Engineering Survey System[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 68-72.
- [14] 颜廷祥. 160 km/h 有砟铁路轨道控制网建立新方法研究[J]. 铁道勘察, 2016, 42(1): 4-7.
- YAN Tingxiang. 160 KM/H Ballasted Railway Track Control Network Establish Research New Methodologies[J]. Railway Investigation and Surveying, 2016, 42(1): 4-7.
- [15] 徐永刚. 高速铁路精密测量技术在城市轨道交通中的应用研究[J]. 铁道勘察, 2013, 39(2): 7-9.
- XU Yonggang. Precision Measurement Technology for High-speed Railway in the Urban Rail Transit[J]. Railway Investigation and Surveying, 2013, 39(2): 7-9.
- [16] 罗远刚, 刘成龙, 杨雪峰, 等. 普速铁路新型轨道控制网平面网建网方法及精度探讨[J]. 铁道科学与工程学报, 2014, 11(1): 55-59.
- LUO Yuangang, LIU Chenglong, YANG Xuefeng, et al. A New Method for Establishment of Plane Network of Ordinary-speed Railway Track Control Network and Its Accuracy Discussion[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2014, 11(1): 55-59.
- [17] 周东卫. 高速铁路精密工程测量管理关键环节及对策[J]. 工程勘察, 2015, 43(6): 66-72.
- ZHOU Dongwei. The Key Control Elements for Precise Engineering Surveying Management of High-speed Railway[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2015, 43(6): 66-72.
- (上接第 10 页)
- CHEN Huanhuan, LI Xing, DING Wenxiu. Twelve Kinds of Gridding Methods of Surfer 8.0 in Isoline Drawing[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2007, 4(1): 52-57.
- [5] T. 厄特金(Turgay Ertekin)等编. 张烈辉编译. 实用油藏模拟技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- Turgay Ertekin, ZHANG Liehui. Applied Reservoir Simulation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [6] 唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
- TANG Zesheng. Visualization of 3D data field[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1991.
- [7] 白世彪, 陈晔, 王建. 等值线绘图软件 SURFER7.0 中九种插值法介绍[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(2): 157-162.
- BAI Shibiao, CHEN Ye, WANG Jian. An Introduction to Nine Gridding Methods and Their Application in Surfer Version 7.0[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2002, 24(2): 157-162.
- [8] 刘少华, 肖克炎, 王新海. 地质三维属性建模及其可视化[J]. 地质通报, 2010, 29(10): 1554-1557.
- LIU Shaohua, XIAO Keyan, WANG Xinhai. Three Dimensionation Geological Property Model and Its Visualization[J]. Geological Bulletin OF China, 2010, 29(10): 1554-1557.
- [9] 李青元, 张洛宜, 曹代勇, 等. 三维地质建模的用途、现状、问题、趋势与建议[J]. 地质与勘探, 2016, 52(4): 759-767.
- LI Qingyuan, ZHANG Luoyi, CAO Daiyong, et al. Usage, Status, Problems, Trends and Suggestions of 3D Geological Modeling[J]. Geology and Prospecting, 2016, 52(4): 759-767.
- [10] 刘江涛, 胡光常. BIM 在铁路设计中的应用研究[J]. 高速铁路技术, 2014, 5(5): 5-9.
- LIU Jiangtao, HU Guangchang. A Study on BIM Application in Railway Design[J]. High Speed Railway Technology, 2014, 5(5): 5-9.