

面向山地地区的区域地质三维模型构建

李 劫¹ 明 镜¹ 王俊勇¹ 邱 月¹ 詹 勇¹

1 重庆市勘测院,重庆市江北区电测村 231 号,400020

摘 要: 针对山地地区地质构造复杂的特点,研究现有三维地质模型构建方法。结合已有地质资料,设计从构建剖面框架、绘制剖面到构建地质模型等流程,构建山地地区的区域地质三维模型,实现区域地质三维模型在三维数字城市平台的可视化集成模拟,以及三维场景中区域地质的管理查询。

关键词: 山地地区;区域地质;三维地质模型;三维数字城市平台

中图分类号: P208

文献标识码: A

利用三维地质建模与可视化技术还原地质信息和地质现象,加强城市地质信息管理与服务,减少城市地质灾害影响,是国内外城市发展的迫切需求^[1]。但是,山地地区地势起伏大、地质构造复杂,至今未形成适合的区域地质三维模型构建方法和成果^[2-3]。本文结合山地地区地质构造特点,研发适合山地地区的区域地质三维模型构建集成方法。

1 研究思路

1.1 总体思路

研究的总体思路是:首先研究国内外三维地质建模方法和重庆区域地质特点,设计山地地区区域地质建模中构建剖面框架、绘制剖面 and 模型构建 3 大步骤;确定每个步骤的工作方法,包括资料收集、剖面布设、二维剖面绘制、三维剖面转化、网格划分、单个网格内模型构建、全区模型合并集成;同时完成具体实施,包括结合地质资料人工布设剖面,对地形数据和地质数据进行预处理、形成剖面框架、CAD 剖面绘制、剖面数据转换、网格内模型构建、全区模型合并集成。

1.2 山地地区区域地质三维模型构建方法

山地地区区域地质三维模型构建中的关键技术包括:

1) 构建剖面网格。针对基础地形、地质等数据,进行地性线、地质分界线的求交,得到剖面网格框架。然后,根据网格地质体的性质、网格间关联点和面的特点来确定剖面网格的拓扑关系^[4]。

2) 确定拓扑关系。剖面网格拓扑关系包含各

个网格之间的拓扑关系;而对于单个网格,则包含其中各个地质体、地质界面之间的拓扑关系。合理地定义这些拓扑关系,对于模型的构建、集成和应用十分关键^[5-7]。

3) 定义虚拟钻孔。为保证交叉剖面的一致性,在绘制剖面时引入虚拟钻孔。通过虚拟钻孔指导地层分界点高程和上下地质界面属性,保证剖面网格间正确的拓扑关系,确保剖面绘制准确。

4) 地质层面构建。结合地质层面构建特点,研究多种地质层面三角剖分方法,并根据剖面网格内地层面框架线和地质层面间相邻关系,选用不同的方法构建地质层面。除了使用传统的无内插点三角剖分、基于 DSI 算法的三角剖分外,还使用作者研发的基于 Morphing 算法^[8-10]的三角剖分地质层面构建方法。

5) 地质数据可视化集成。根据地质三维模型数据和自主研发的集景三维数字城市基础平台的特点,解决针对地质数据的可视化集成方法。

1.3 技术流程

1.3.1 构建区域地质剖面框架

构建区域地质剖面框架包括基础资料收集、在二维地质调查平面图上布设剖面、剖面线与地形地质数据预处理、形成区域地质二维剖面图。

基础数据收集是针对实验区域收集其基础遥感影像资料、基础地形 DEM 资料、区域地质调查图、区域地质调查剖面、区域地质调查报告等。之后,针对该区域的地质构造特点,在垂直和平行地质构造轴向方向布设剖面线,形成该区域的剖面

网格。对于已经布设好的剖面,结合该区域的地形 DEM 数据、区域地质分界线数据进行剖面线数据预处理,给剖面线赋予地形高程值,标定地质分界线坐标和相邻区域的地质属性,形成能够在 CAD 进行绘制的二维剖面框架图。同时,根据二维剖面网格间的公共点、公共面以及最终的模型构建顺序,确定剖面网格的拓扑关系。

1.3.2 绘制区域地质剖面

绘制区域地质剖面包括导入虚拟钻孔、剖面绘制、剖面地层年代属性检查修改、三维地质剖面成果输出。

通过以上流程,得到能够在 CAD 中绘制的二维剖面框架图。为得到该区域的三维剖面网格,需专业地质人员在剖面框架的基础上结合区域地质调查资料中的地层产状进行剖面绘制。导入虚拟钻孔并结合地层产状,就可以绘制相应的剖面图(图 1)。

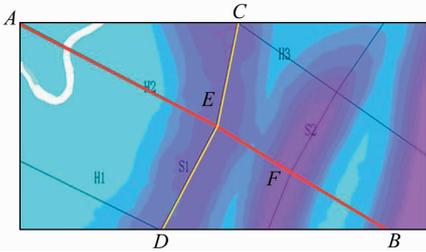


图 1 剖面网格中 AEFB 剖面与 CED 剖面的相交位置关系

Fig. 1 The intersection relationship of the AEFB section and CED section in the grid

如图 1, AEFB 剖面和 CED 剖面有共同的交点 E。通过剖面位置和地质调查底图的关系可以发现, AEFB 剖面为与该区域构造地质产状相垂直的剖面, CED 剖面为与该区域构造地质产状相平行的剖面。首先绘制有较多地层产状参考信息的 AEFB 剖面,再绘制地层产状参考信息较少的 CED 剖面。

如图 2,在绘制第一条剖面 AEFB 时,结合获取的剖面框架,同时结合该区域地质调查资料中此段剖面线上的地层产状信息,人工绘制不同的地层界面线。

如图 3,在 AEFB 剖面中绘制的不同地层界面线同 A、E、F、B 4 个剖面拐点相交。将 A、E、F、B 4 个拐点定义为虚拟钻孔点,记录其沿线与地层界面相交点的位置、高程及交点上下界面的属性信息,并保存为虚拟钻孔数据。

如图 4,绘制 CED 剖面。由于 CED 剖面所含地层产状信息较少,需导入 CED 同 AEFB 交点 E 点的虚拟钻孔数据,通过 E 点的高程、上下

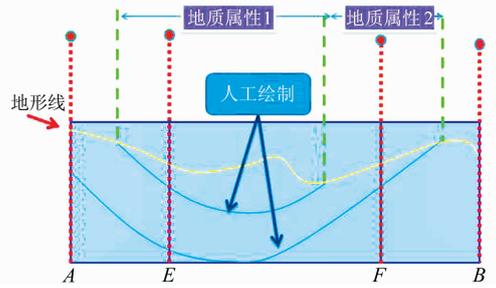


图 2 绘制 AEFB 剖面
Fig. 2 Drawing AEFB section

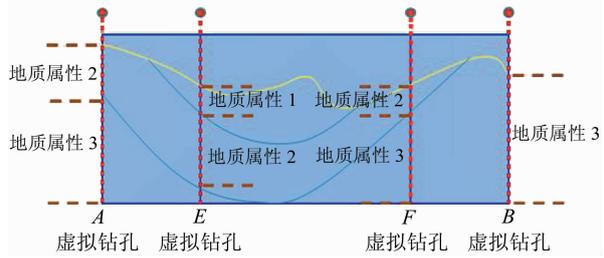


图 3 虚拟钻孔示意
Fig. 3 The virtual drill

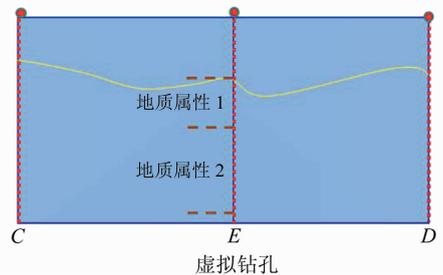


图 4 绘制 CED 剖面
Fig. 4 Drawing CED section

属性来绘制 CED 剖面的地层界面线。

通过区域地质调查资料和虚拟钻孔完成所有二维剖面绘制后,对绘制好的剖面面域进行地层年代属性检查,修改错误的地质属性。之后,对绘制的二维剖面数据进行二维到三维的坐标转换处理。

1.3.3 构建区域地质三维模型

构建区域地质三维模型包括:构建区域三维剖面网格、单个网格地质模型构建、全区网格地质模型拼合、全区区域地质模型成果输出。

通过上文方法得到该区域全部三维剖面图,导入“集景三维地质建模软件”,形成区域三维剖面网格。针对每个剖面网格,根据具体的地层面状况,通过选择无内插点三角剖分、DSI 三角剖分或 Morphing 三角剖分来构建相应的地层面,最终形成闭合的地质体。

单个网格内,利用地质体之间的地质层面拓扑关系,对单个地质体进行叠加,形成该网格的地质构造模型。图 5(a)显示了单个网格内地质模型的叠加构建过程。通过其所属网格、位置属性和两个地质体之间的公共地层界面,形成地质体之间的拓

扑关系。利用该拓扑关系,即可对地质体进行叠加,形成单个网格内完整的地质体。利用剖面网格

间的拓扑关系,对整个网格地质模型进行拼合,形成全区的三维地质模型,如图 5(b)所示。

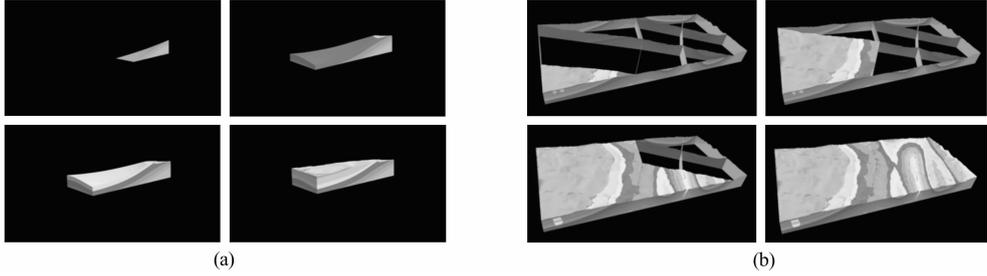


图 5 单格网和全区格网地质体叠加

Fig. 5 Superposition of geologic body in one grid and the regional geology grid

1.3.4 区域地质模型成果集成

区域地质三维模型成果的集成包括全区区域地质三维模型成果数据转换、创建成果数据集成索引文件、区域地质三维模型成果集成模拟显示。完成以上步骤,形成整个区域的区域地质三维模型,并保存格式为 .ts。在已有的三维数字城市平台上,首先对形成区域地质三维模型的 ts 成果数据进行格式转换,转换成能够被平台集成的 .obj 格式的通用三维模型。利用 GeoML 索引生成工具,通过导入所有三维模型 obj 文件的文件名和对应的地层属性文件,生成用于集成区域地质三维模型的 GeoML 索引文件。最终通过索引文件将区域地质三维模型成果集成到三维数字城市平台中,并进行相关地质分析。

对应的地性线。

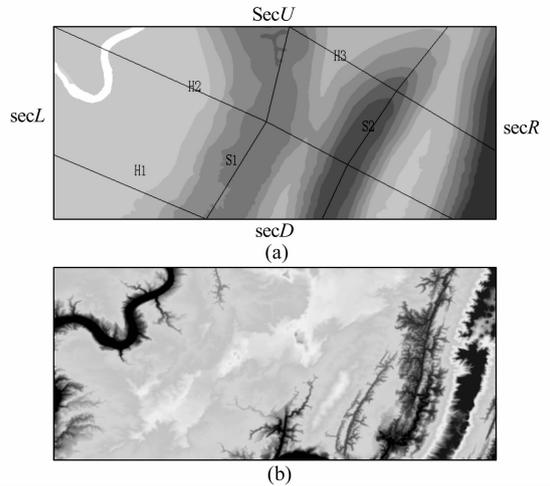


图 6 网格剖面图和 DEM

Fig. 6 The section grid figure and DEM

2 应用

结合重庆市两江四山的地理特点,以及缙云山、中梁山、铜锣山、明月山的格挡式褶皱构造特征,选取地处中梁山和铜锣山之间的重庆市北部新区悦来场、人和场、沙坪场和石柱场之间 10 km × 20 km 作为实验区。

对实验区区域地质调查图进行数字化,用线框表示不同地质属性区域的边界。为提取剖面线同地质属性区域的边界交点,在最终形成的剖面框架添加地质属性分界标示。对数字化后地质属性线框数据按地层年代进行编码,如表 1。

表 1 地质编码表

Tab. 1 Geological coding table

系	统	组	组代码	段	编码		
侏罗系	上统	蓬莱镇	J3p		432		
		遂宁	J3s		430		
					J2s3	428	
	中统		上沙溪庙	J2s	J2s2	427	
					J2s1	426	
			下沙溪庙	J2xs		425	
			新田沟	J2x		422	
		下中统		自流井	J1-2z		420
			下统	珍珠冲	J1z		410
		三叠系	上统			T3xj6	336
须家河	T3xj			T3xj1-5	331		
中统	雷口坡		T2l		320		
	嘉陵江		T1j		311		
	飞仙关		T1f		310		
二叠系	上统	长兴	P2c		220		
		龙潭	P2l		210		

该区域地层地质时代分布主要为中生代,除中下三叠统为海相地层外,其余均为陆相沉积。海相地层岩性岩相较为稳定,陆相地层岩性岩相变化大。三叠系及下侏罗统是重要的含矿层位,具有工业价值的矿产有煤、铁、水泥用石灰岩、耐火粘土、冶金用白云岩等。另外,嘉陵江组有丰富的地下热水,须家河组含偏硅酸饮用天然矿泉水,沙溪庙组局部富集红层承压水,从新到老依次为侏罗纪中统上沙溪庙组(三段、二段、一段)、中统下沙溪庙组、中统新田沟组、中下统自流井组、下统珍珠冲组、三叠系上统须家河组(上段、下段)、中统雷口坡组。

在实验区布设如图 6(a)所示的剖面网格,并同图 6(b)所示的 DEM 数据进行交点计算,提取

利用地表标示的不同地质属性的地质区域线,对区域 DEM 进行切割,形成用于构建顶层地质模型的 DEM 面;再通过层层构建地质体面,叠

加拼合形成实验区区域地质三维模型;最终通过成果数据转换等,在“集景三维数字城市平台”中对区域地质三维模型成果进行集成应用,如图 7、8。

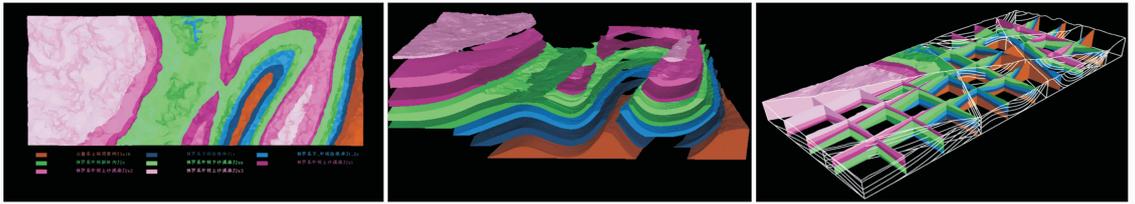


图 7 模型成果
Fig. 7 Model

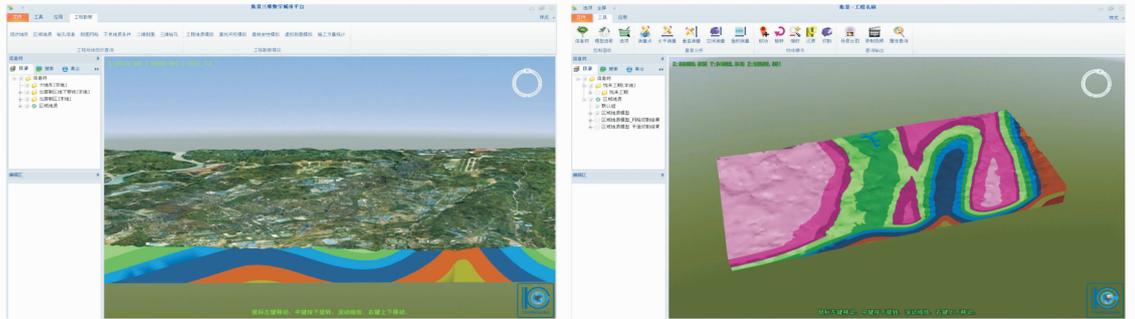


图 8 集景三维数字城市平台集成效果
Fig. 8 Integration effect in the Geoging Explorer

3 结 语

1)通过对三维地质建模的研究,结合重庆市区域地质特点和工程地质三维建模经验,理清了针对山地地区区域地质进行三维建模的思路。

2)根据重庆市区域地质建模思路,利用 AutoCAD 软件工具进行工具开发,形成针对实际数据的区域地质三维建模流程。

3)选定重庆市北部新区 200 km² 实验区,利用区域地质三维建模方法,建立该地区的区域地质模型。将 3D GIS 与地质信息化相结合,实现在虚拟现实环境下辅助地质勘察,提高行业决策能力和效率。

参考文献

[1] 李琦,吴少岩. 数字地球:人类认识地球的第三次飞跃[M]. 北京:北京大学出版社,1999(Li Qi, Wu Shaoyan. The Digital Earth: Human Understanding of the Earth's Third Leap[M]. Beijing: Peking University Press, 1999)

[2] 朱良峰. 基于 GIS 的三维地质建模及可视化系统关键技术研究[J]. 岩土力学与工程学报, 2005, 24(19): 203(Zhu Liang-feng. Study on Key Techniques of 3D Geological Modeling and Visualization System Based on GIS[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(19): 203)

[3] Wu Q, Xu H, Zou X. An Effective Method for 3D Geological Modeling with Multi-Source Data Integration[J]. Computers & Geosciences, 2005, 31(1): 35-43

[4] 马照亭,潘懋,胡金星,等. 一种基于 TIN 的地形剖面线生成算法[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 44(6): 28-30(Ma Zhaoting, Pan Mao, Hu Jinxing, et al. An Algorithm for

Generating Terrain Section Line Based on TIN[J]. Geography and Geo-Information Science, 2003, 44(6): 28-30)

[5] Tipper J C. The Study of Geological Objects in Three Dimensions by the Computerized Reconstruction of Serial Sections[J]. The Journal of Geology, 1976, 84(4): 476-484

[6] 屈红刚,潘懋,王勇,等. 基于含拓扑剖面的三维地质建模[J]. 北京大学学报:自然科学版, 2006, 42(6): 717-723(Qu Honggang, Pan Mao, Wang Yong, et al. Three-Dimensional Geological Modeling from Topological Cross-Sections[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(6): 717-723)

[7] 明镜,潘懋,屈红刚,等. 基于网状含拓扑剖面的三维地质多体建模[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(9): 1 376-1 382 (Ming Jing, Pan Mao, Qu Honggang, et al. Three-Dimensional Geological Multi-Bbody Modeling from Netlike Cross-Ssections with Topology [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(9): 1 376-1 382)

[8] 明镜,颜玫. 基于 Morphing 的三维地质界面生成[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(1): 37-40(Ming Jing, Yan Mei. Three-Dimensional Geological Surface Creation Based on Morphing [J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(1): 37-40)

[9] 邓敏,彭东亮,徐震,等. 一种基于弯曲结构的线状要素 Morphing 方法[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2012, 43(7): 2 674-2 682(Deng Min, Peng Dongliang, Xu Zhen, et al. A Morphing Method Based on Bend Structures for Linear Features[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(7): 2 674-2 682)

[10] Gotsman C, Surazhsky V. Guaranteed Intersection-Free Polygon Morphing[J]. Computers & Graphics, 2001, 25(1): 67-75