

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2022.02.013

皖北第四系覆盖区三维地质结构建模研究

王义梅, 周春静, 杨 波, 管后春, 胡海凤

WANG Yi-Mei, ZHOU Chun-Jing, YANG Bo, GUAN Hou-Chun, HU Hai-Feng

安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001

Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, Anhui, China

摘要: 基于皖北楚店集、望町集、江集、高炉集 4 幅 1:5 万综合地质调查, 较系统的查明了区内第四系盖层与深部基岩层地质结构并划分建模单元。运用地质分区建模法与平行剖面多元数据联合建模法, 分别构建研究区第四系盖层、深部基岩层三维地质结构模型, 揭示了 1500 m 以浅第四系、古河道、基岩层等地质结构与空间展布特征。从建模数据、验证剖面对比两个方面, 对模型精度进行了验证。成果为区域综合地质研究与评价分析提供了数据支撑, 为今后开展类似工作提供借鉴。

关键词: 三维建模; 第四系; 基岩; 多元数据; 皖北

中图分类号: P285

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2022)02-0321-09

Wang Y M, Zhou C J, Yang B, Guan H C and Hu H F. 2022. Research on 3D Geological Structure Modeling of Quaternary Coverage Area in Northern Anhui. *South China Geology*, 38(2):321-329.

Abstract: Based on the 1:50,000 comprehensive geological survey in Chudianji, Wangdingji, Jiangji and Gaoluji in northern Anhui, the geological structure of the Quaternary caprock and deep bedrock in the area was systematically identified and the modeling units were divided. Using geological zoning modeling method and parallel section multivariate data joint modeling method, three-dimensional geological structure models of Quaternary caprock and deep bedrock in the study area were respectively constructed, revealing the geological structure and space of Quaternary strata, ancient river channels, and bedrock layers shallower than 1500 meters. The accuracy of the model is verified from the comparison of modeling data and the comparison of verification profiles. The distribution characteristics provide data support for regional comprehensive geological research and evaluation analysis, and provide reference for similar work in the future.

Key words: 3D modeling; Quaternary; bedrock; multivariate data

随着计算机技术的不断发展, 三维地质建模技术近年来取得了长足进步。在国内近年开展的深部矿产勘查、综合地质调查、城市地质调查、矿山储量估算、立体地质填图等方面已有较为广泛的应用

(张洋洋等, 2013; 刘同文等, 2018; 何紫兰等, 2018; 许珂等, 2018; Li N et al., 2019; 尚浩等, 2019; 邓超等, 2020; 潘卓等, 2020)。三维地质模型相比二维图件, 在直观展示地质结构、精确表达深部信息等方

收稿日期: 2021-10-20; 修回日期: 2021-12-11

基金项目: 安徽省公益性地质项目 (2016-g-3-32)

第一作者: 王义梅 (1978—), 女, 工程师, 主要从事地质信息技术方面应用研究, Email: 592893563@qq.com

面都表现出了更高的优越性,已成为一种地质数据集成、展示的新形式,在地学信息服务、支撑地质多要素定量分析评价等方面发挥越来越重要的作用(潘懋等,2007;李青元等,2013,2016;杨波等,2019;万晓明等,2020)。

三维地质模型建设过程中首先依据勘查钻孔、平面地质图、纵向剖面图及物探地质解译数据等构建地质结构框架,再结合专家经验认识,遵循地质规律对地质体空间展布特征进行推断,合理补充模型细节,实现地下地质体的三维可视化(孙波和刘大安,2015;孙月成等,2019;Guo F S et al., 2020)。具体建模方式方法目前已有数十种,主要包括钻孔建模法、剖面建模法、属性建模法、多源数据联合建模法等几大类型,分别适用于不同的地质背景与研究方向(武强和徐华,2004;周良辰等,2013;汤圣君等,2014;唐丙寅等,2015;李敏等,2018)。

本次研究综合基础、水文、矿产、物探等地质专业认识,较系统的查明了皖北楚店集等四幅 1:5 万调查区内第四系盖层与深部基岩层的地质结构。基于 MapGIS-TDE 软件,运用地质分区建模法与平行剖面多元数据联合建模法,分别构建研究区第四系盖

层与基岩层三维地质模型并耦合,为本区域多要素综合地质研究与三维定量评价分析提供了数据支撑。

1 地质背景

研究区地处安徽淮北平原,地形地貌平坦,仅在小涧集以东分布零星低丘。属于淮河二级支流的涡河和西淝河呈南东向贯穿全区。区内第四系主要包括晚全新世蚌埠组(Qhb)、晚更新世荊塘组(Qp_{3m})、中更新世临泉组(Qp_{2l})、早更新世太和组(Qp_{1t}),地层大多为近水平层状连续分布(图 1)。地表基本为厚层第四系覆盖,仅在东南侧狼山-齐山-黄柏山一带有小范围岩体出露。

深部基岩层在东南方向地质结构相对简单,主要为五河群、二长花岗岩与辉长岩;而在西北方向地质结构较复杂,寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、古近系等地层受蚌埠期、凤阳期、霍邱期、加里东期、海西期、印支期、燕山期、喜山期八个构造期活动影响,地层褶皱、断裂现象普遍。据地质物探联合剖面解译显示,西北部区域剖面间地质体空间分布连续性较差,形态变化幅度较大。

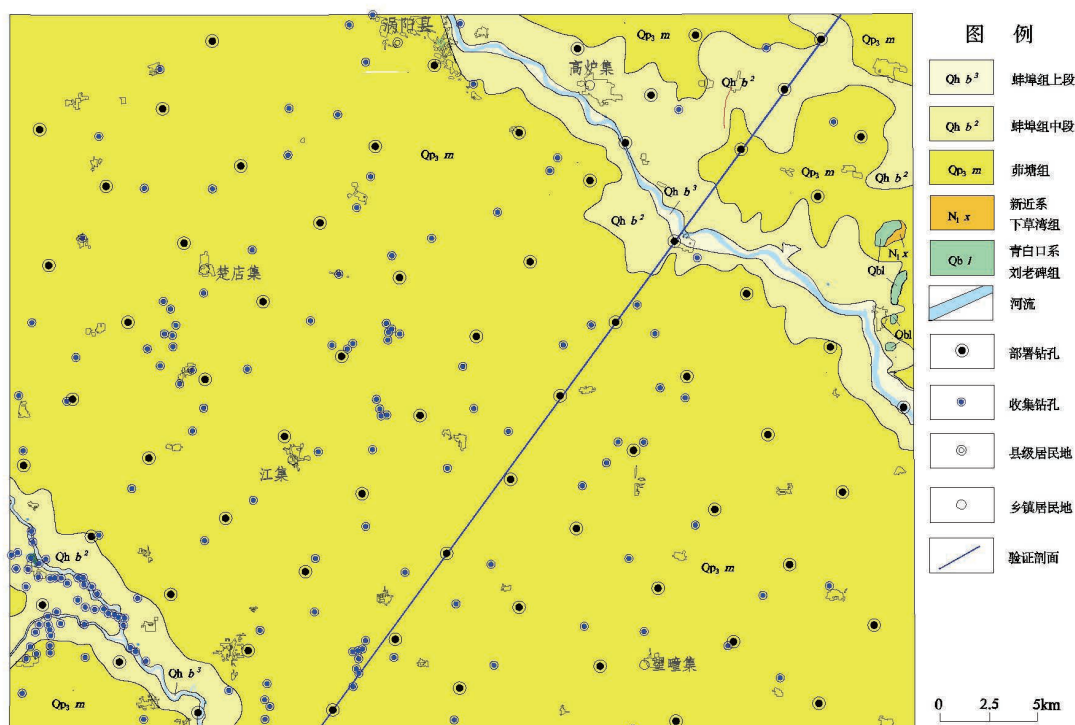


图 1 研究区地质简图(含勘查工程部署)

Fig. 1 Geological map of the study area (including exploration engineering deployment)

2 研究数据与建模思路

2.1 主要研究数据

丰富的地质资料是三维地质建模的重要依据, 基于野外实际调查数据, 结合专业认识, 从平面与垂向上联合揭示区内地质单元空间分布特征(张园园等, 2021; 何紫兰等, 2020)。所有建模数据经过统一数据格式、地质认识、空间参照等标准化处理, 联合参与建模。本次建模过程中主要使用的数据见表 1。

表 1 主要建模数据

Table 1 Main modeling data

序号	数据类型	数据量
1	1:5 万综合地质调查	1760 km ²
2	第四系地质钻孔	31 孔
3	水文地质钻孔	126 孔
4	工程地质钻孔	8 孔
5	地质矿产钻孔	212 孔
6	1:5 万区域地质图	4 幅
7	1:10 万岩相古地理图	3 幅
8	1:10 万基岩地质图	1 幅
9	1:10 万地层等深线图	10 幅
10	综合解译地质剖面	16 条

2.2 第四系建模思路

研究区地形地貌平坦, 仅东部有零星低丘, 基岩面北东最高、北西次之, 南西最低, 形成了“两丘夹一谷”的形态。第四纪地层分布较为规律, 总体呈从北东向南西逐渐增厚的趋势, 大多为近水平层理状(图 1)。部署的第四系、水文、工程地质钻孔对第四系地质单元的空间展布、走向、厚度等主要结构

控制要素起到良好控制作用, 因此第四系建模主要基于地质钻孔、地形地质图、基岩地质图、岩相古地理图等数据, 运用地质分区建模法构建。

建模过程中首先基于钻孔绘制各地层分区图, 结合等深线, 在平面以及纵向上控制各类地质单元的空间展布特征, 再以此为依据分别构建地层、古河道模型, 最后对具有相交关系的地质单元进行体布尔运算, 融合形成第四系地质结构模型。第四系及古河道建模主要流程见图 2。

2.3 基岩层建模思路

研究区深部基岩(图 3)地质建模难度主要在于深部地质构造复杂, 地质体形态、分布不规则、不连续等方面, 仅依靠地质钻孔、基岩地质图等数据难以准确控制、刻画地质单元空间展布(范春玉等, 2020; 宋越和高振记, 2020)。经过数据研究分析及方法对比后, 本次深部建模采用基于平行剖面的多元数据联合建模法, 以深部钻探、物探、地质调查等数据及综合研究成果为基础, 以 16 条均匀分布的地质物探综合解译平行剖面为框架开展深部建模工作。

建模过程中运用三维辅助线约束、界面封闭成体、界面裁切成体等方式, 将地质专家经验、认识融入建模过程中, 合理构建、控制地质体空间形态, 以数据、知识双重驱动建模流程(图 4)。

3 三维地质建模

3.1 浅部地质建模

基于第四系钻孔、地层分区图以及相应的深度、厚度、空间位置等信息, 运用地质分区图建模法

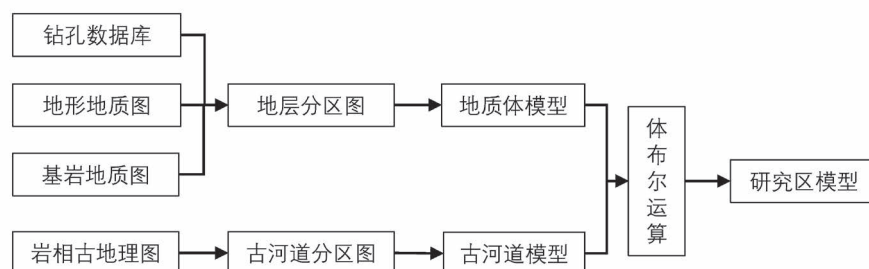


图 2 浅部建模主要流程图

Fig. 2 Main flow chart of shallow modeling

分别构建各个地质单元的三维地质结构模型,建模单元见表2。

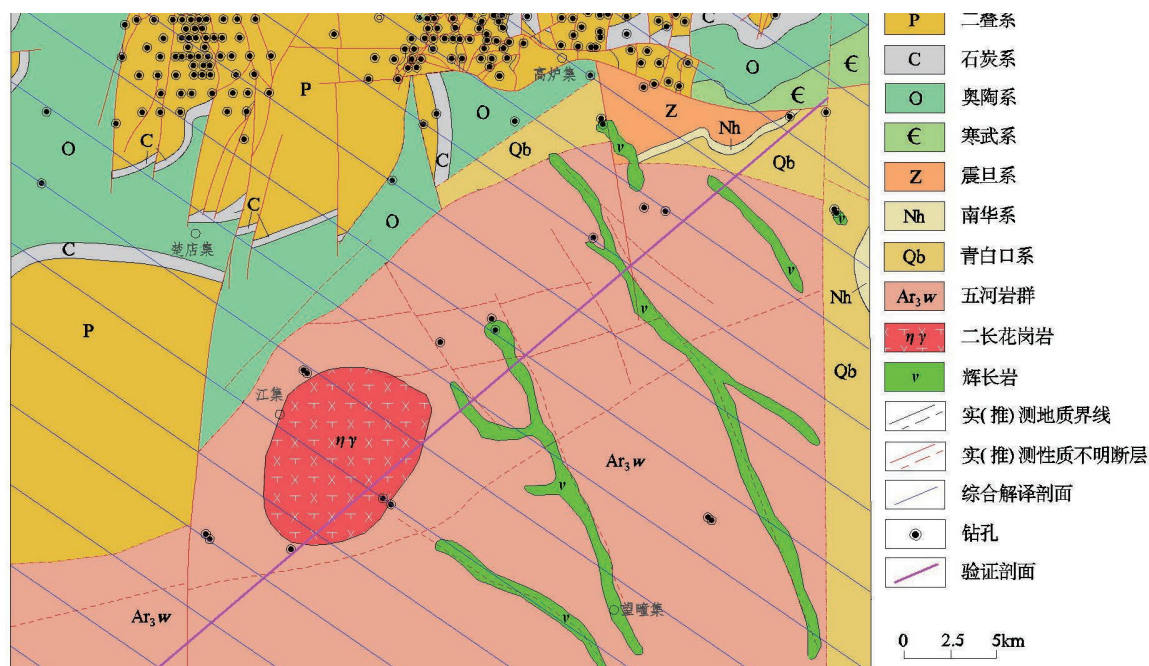


图3 研究区基岩地质图(含深部勘查工程部署)

Fig. 3 Geological map of bedrock in the study area (including deployment of deep exploration projects)

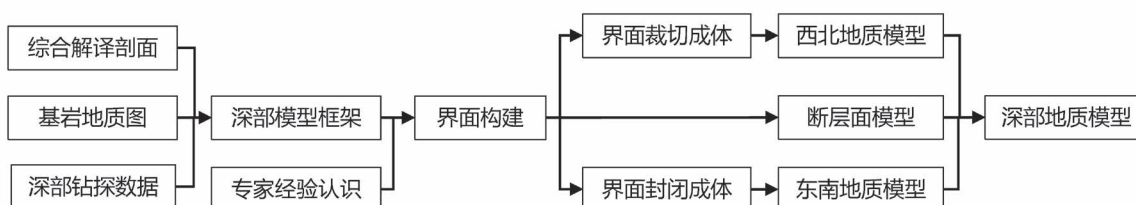


图4 深部建模主要流程图

Fig. 4 Main flow chart of deep modeling

表2 浅部地质建模单元列表

Table 2 List of shallow geological modeling units

建模单元	代号	名称
第四系	Qhb	全更新世蚌埠组(上段、中段、下段)
	Qp ₃ m	晚更新世茆塘组(上段、中段、下段)
	Qp ₂ l	中更新世临泉组(上段、中段、下段)
	Qp ₁ t	早更新世太和组(上段、中段、下段)
新近系	N ₂ g	上新世固镇组
	N ₁ x	中新世下草湾组
古河道		茆塘期古河道(早期、中期、晚期)

浅部地质体简要建模流程(图2)如下:

(1)依据地质钻孔、建模目标地层的顶、底板分区图数据确定该地层在水平方向的顶、底面空间分布;

(2)提取钻孔、等深线图中地层深度、厚度等信息,控制目标地层顶、底板面在三维空间的起伏状态,判断是否存在顶、底板界面相交情况并进行相应的拓扑处理;

(3)对建模目标地层的顶、底板面进行圈闭,四周构建侧面,将顶、底、侧面共同封闭为完整地质体;

(4)基于岩相古地理数据,控制古河道平面空间分布,结合钻孔、剖面揭示的河道深度以及地质人员

认识等条件,共同约束构建古河道三维体模型;

(5)地层模型、古河道模型分别建模完成后,利用古河道模型对地层模型进行体体切割,去除古河道模型体占据部分,再将古河道模型与切割后的地层模型融合,形成完整的第四纪三维地质结构模型(图 5)。

3.2 基岩层地质建模

深部基岩层三维地质建模以 16 条覆盖全区,均匀分布的平行地质剖面为主框架,结合基岩地质图、深部钻孔以及断层模型数据等共同约束、控制深部地质体空间展布特征,深部基岩主要建模单元见表 3。

表 3 深部基岩建模单元列表

Table 3 list of deep bedrock modeling units

建模单元	代号	名称
地层	P+C	二叠系、石炭系并层
	O	奥陶系
	Є	寒武系
	Z	震旦系
	Nh	南华系
	Qb	青白口系

岩体	Ar ₃ w	五河岩群
	ηγ	二长花岗岩
	ν	辉长岩

基岩层建模过程依据不同地质结构特点采取了不同方式构建,主要流程(图 4)如下:

(1)对平面图、剖面图、钻孔等数据在三维空间中的数据一致性进行检查、处理,保证所有数据地质认识基本一致。工作区东南部地质结构相对简单,西北部较为复杂,因此将工作区分为南、北两块,采取不同方法分别建模;

(2)南部区域地质建模主要依据剖面之间的相关性,通过人机交互方式,构建三维辅助线,约束创建地质单元分界面,再将构建的地质单元分界面与相邻剖面上对应的地质单元面组合、封闭,形成三维地质体;

(3)北部区域由于断裂、褶皱、岩体侵入等导致地层不连续、扭曲、破碎等,在建模过程中地质单元的空间一致性与拓扑关系较难处理,因此主要运用地质界面裁切地质体方式进行处理。

首先构建相邻剖面间完整的地质体模型,再分别构建地层分界面,利用各个分界面对地质体进行连续切割,最终将分次裁切的地质体镶嵌、融合形

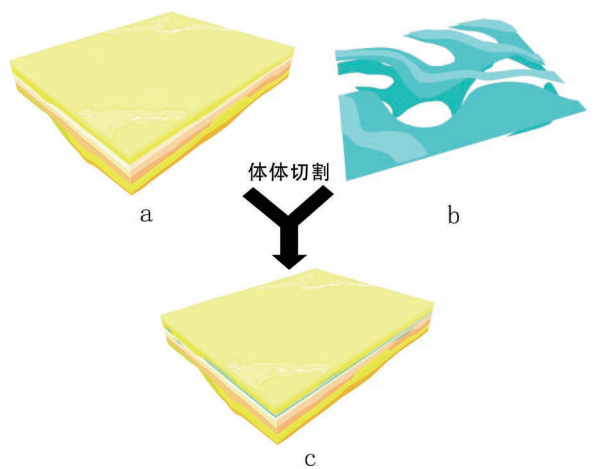


图 5 浅部地质模型切割与融合

Fig. 5 Cutting and fusion of shallow geological model

a. 浅部地质体模型;b. 古河道模型;c. 切割后合并完整的浅部地质模型

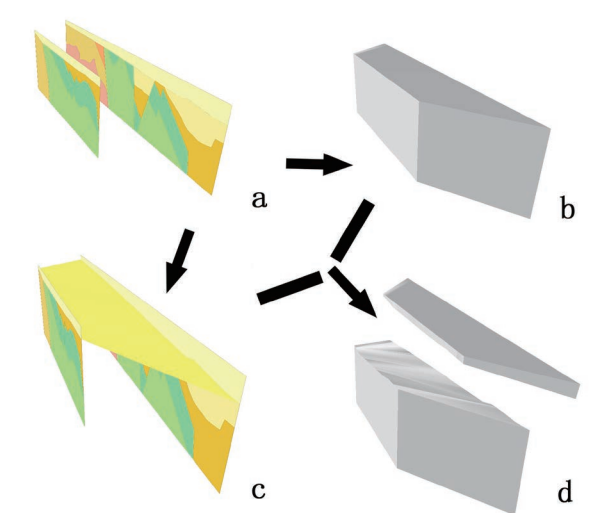


图 6 深部地质单元裁切建模过程

Fig. 6 Geological unit cutting modeling

a. 剖面模型;b. 完整体模型;c. 地质单元分界面;d. 模型裁切

成完整模型(图 6)。此建模方式仅需考虑地质体形成的时代先后以及实际的侵入、切割关系等,简化了复杂地质体的空间关系处理,有效的降低了建模难度。

4 三维建模成果

本次建模过程中对有真实数据控制的建模区域,严格遵循控制数据;无真实数据控制区域,根据地质调查认识、专家经验,结合周边数据进行合理推测。构建完成的三维地质结构模型较为准确的反映了研究区基本地质认识与主要地质结构特征。

4.1 第四系地质模型

从模型(图 7)可以看出,研究区第四系从老到新依次为早更新世太和组、中更新世临泉组、晚更新世茆塘组、全新世蚌埠组。太和组、临泉组在区内未出露地表,但在地下浅层广泛分布;茆塘组中段、上段在区内广泛出露,地貌上为河间地块,茆塘组下段未出露地表,但在浅部同样分布较广;蚌埠组在区内主要沿涡河和西淝河河道及其两岸分布。区内古河道埋深在 15~35 m 之间,从其空间展布、

沉积相可推断出当地在晚更新世时期经历了由气候湿热、河流泛滥到气候干冷,河湖消亡的变迁过程。

4.2 基岩层地质模型

基岩层上部为第四纪、新近纪地层掩盖,顶板埋深 187.97~476.13 m 不等,除东南角出露青白口系刘老碑组外,其余岩层均隐伏于新生界松散层之下,以板桥断裂为界划分为北部淮北褶断带和南部蚌埠隆起两个三级构造单元。东南部主要为青白口系、五河岩群变质基底地层、二长花岗岩与辉长岩等岩体,西北部主要有古近系、二叠系、石炭系、奥陶系、寒武系、南华系等多期地层分布。

本次研究共推断出主要断裂构造 15 条,按走向分为四组,即近东西向断裂 1 条、北东东—北东向断裂 6 条、近南北向断裂 1 条、北西向断裂 7 条。推测近东西向断裂发育最早,次为北东东、北东向断裂,再次为北西向断裂,最后为南北向断裂(图 8)。

4.3 模型验证

模型构建完成后,为检验模型总体质量与精确性,从建模数据对比、验证剖面对比两个方面进行了检验。建模数据是野外调查与综合研究认识所形

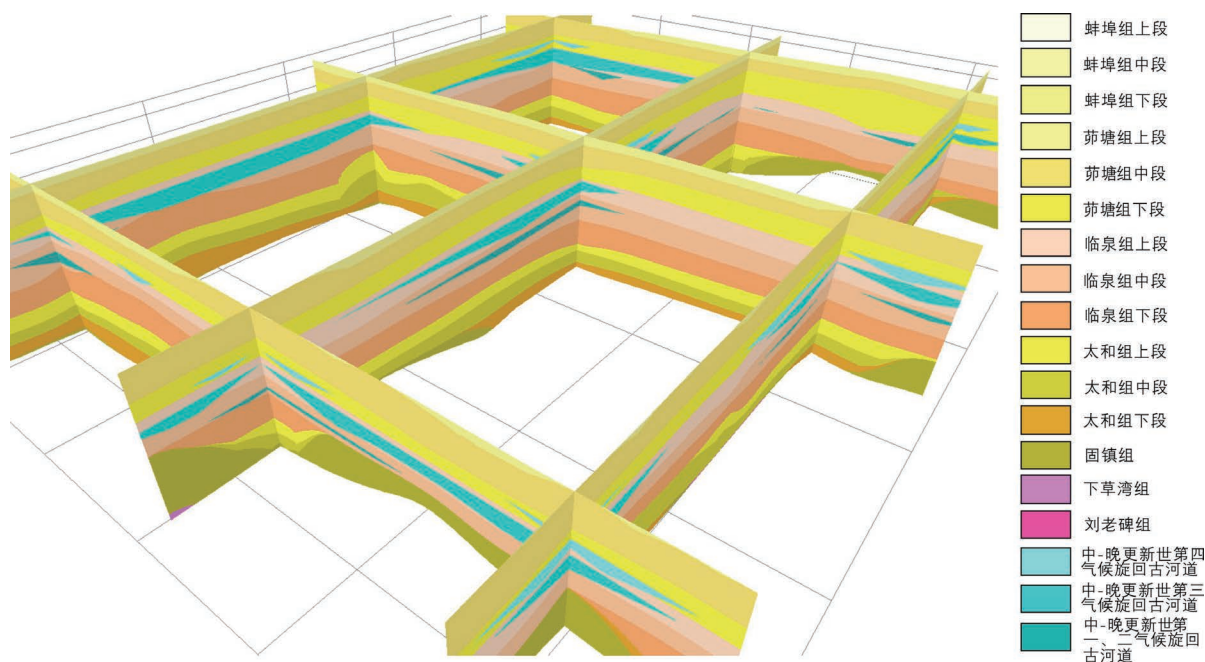


图 7 浅部地质模型剖切图

Fig. 7 Sectional view of shallow geological model

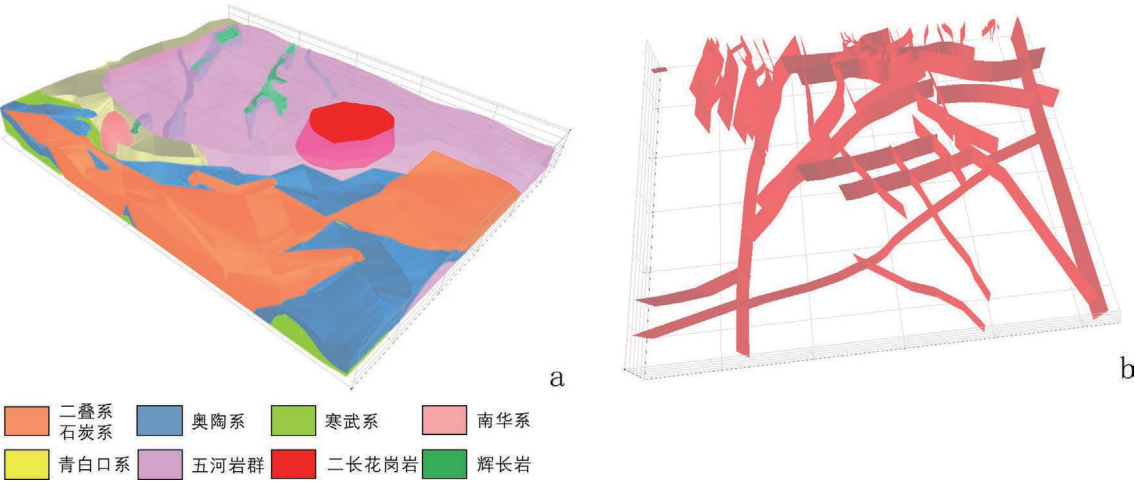


图 8 研究区基岩地质模型(a) (五河岩群半透明显示)与断层模型(b)
Fig. 8 Bedrock geological model (a) (translucent display of Wuhe rock group) and fault model (b) in the study area

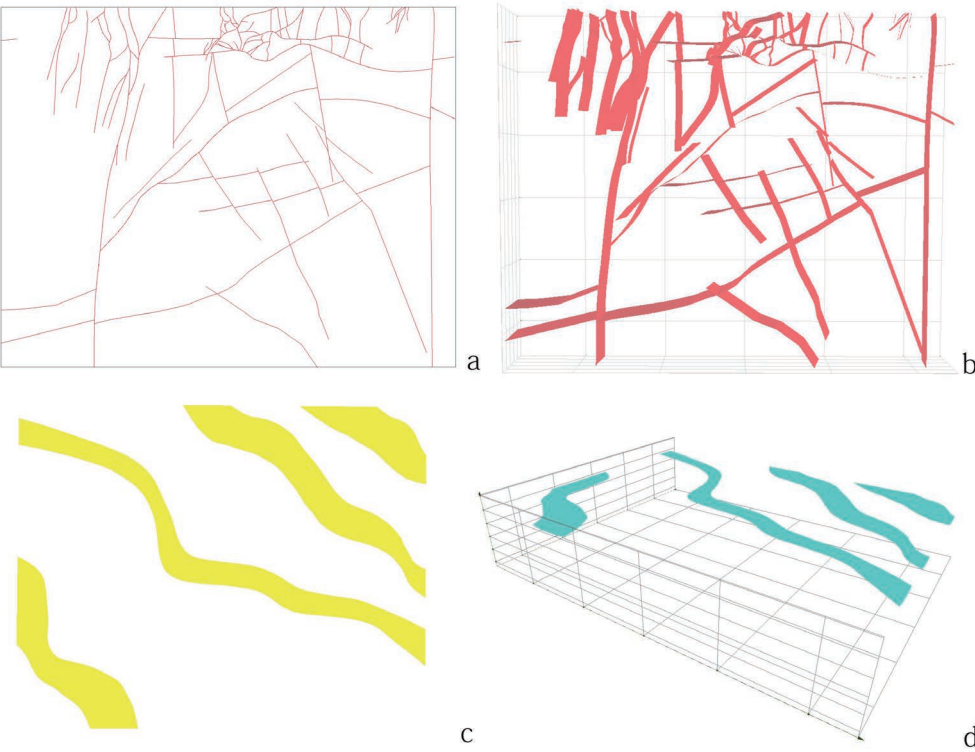


图 9 古河道、断层建模数据与模型对比
Fig. 9 Comparison between modeling data and model
a. 断层平面图; b. 断层模型; c. 古河道平面图; d. 古河道模型

成的成果,直接参与模型构建,是建模的主要依据,对三维地质体的形态、分布起到强约束作用。从图 9 可见,本次构建的古河道模型、深部断层模型与二维成果图基本保持一致,较为准确的遵循了建模数据约束。

模型剖切剖面与实测验证剖面对比可检验模型地质单元空间分布、形态以及接触关系是否符合调查研究认识。从图 10 可见,浅部、深部模型剖切剖面与实测验证剖面中的地质单元在空间位置、整体形态等方面基本保持一致,较为准确的反映了现

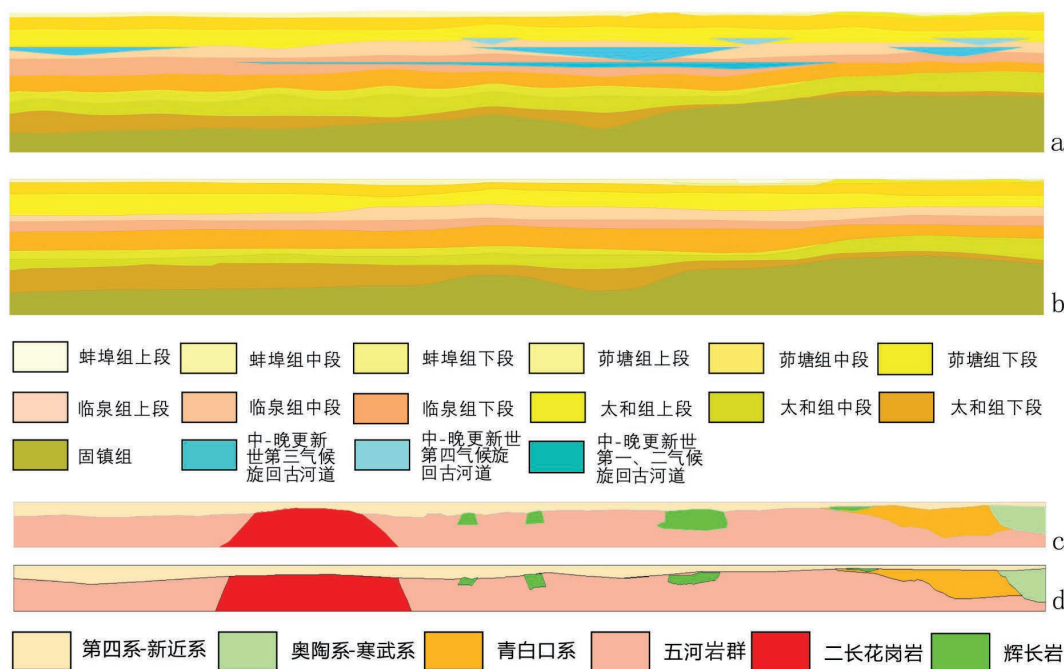


图 10 剖面对比验证

Fig. 10 Section comparison verification

a. 浅部模型剖切剖面; b. 浅部实测地质剖面; c. 深部模型剖切剖面; d. 深部实测地质剖面

有地质认识。

综上所述,本次研究构建的浅部模型与深部模型,都较为准确的遵循了建模数据的约束,与验证数据对比的一致性较好,模型总体质量符合研究要求。

5 结论

(1)本次建模过程中对获取的地质调查、物探、钻探等多元数据进行了综合研究、分析,初步建立地质概念模型。以此为基础,对研究区地质情况进行了详细分析与数据对比检验,使多元数据信息能够较为准确、一致的揭示深部地质情况,为建模工作提供准确、可靠的数据支持。

(2)通过多专业、多种类数据联合约束方式,基本查清研究区第四系盖层、基岩层主要地质结构特征,探索出了一套可行的覆盖区及深部多元数据联合建模的方法与工作流程,构建了第四系与深部基岩层三维地质结构模型并进行了精度验证,为后期的三维 GIS 定量评价提供了数据支持,同时也为今后类似工作提供了借鉴经验。

参考文献:

- 邓超,何政伟,郝明,王东辉,薛东剑.2020.基于MapGIS的成都市城市三维地质建模[J].地理空间信息,18(7):51-54+7.
- 范春玉,曾玉清,毛寅,贺安生.2020.丘陵地区复杂三维城市地质模型精度评价研究——以长株潭城市群核心区为例[J].中国金属通报,(2):84-85+87.
- 何紫兰,朱鹏飞,马恒,王文杰,白芸,曹珂.2018.基于多源数据融合的相山火山盆地三维地质建模[J].地质与勘探,54(2):404-414.
- 何紫兰,朱鹏飞,白芸,曹珂,孔维豪.2020.复杂地质体三维实体建模方法[J].地质与勘探,56(1):190-197.
- 李敏,刘钊,韩征,张海龙,张雪.2018.城市区域三维地质结构模型建设与集成方法[J].城市地质,13(2):93-97.
- 李青元,张丽云,魏占营,孙黎明.2013.三维地质建模软件发展现状及问题探讨[J].地质学刊,37(4):554-561.
- 李青元,张洛宜,曹代勇,董前林,崔扬,陈春梅.2016.三维地质建模的用途、现状、问题、趋势与建议[J].地质与勘探,52(4):759-767.
- 刘同文,于广婷,张志进,宋冠涵.2018.胶东金矿三维地质

- 建模技术研究[J]. 地矿测绘, 34(2):1-3.
- 潘懋, 方裕, 屈红刚. 2007. 三维地质建模若干基本问题探讨[J]. 地理与地理信息科学, 23(3):1-5.
- 潘卓, 邓波, 李嘉宝. 2020. 基于 MapGis K10 平台的张家界市中心城区三维地质模型建立[J]. 国土资源导刊, 17(2):74-79.
- 尚浩, 宋晓帅, 李虎, 严姗姗. 2019. 济南泉域岩溶地区多源多尺度数据三维耦合模型及应用[J]. 地质学刊, 43(3):385-392.
- 孙波, 刘大安. 2015. 复杂地质界面三维重构与评价方法[J]. 岩石力学与工程学报, 34(3):556-564.
- 孙月成, 李永飞, 孙守亮. 2019. 高精度三维地质建模新方法与关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 47(9):241-248.
- 宋越, 高振记. 2020. 煤系地层三维地质模型精细化表达研究[J]. 中国矿业, 29(9):147-151+159.
- 汤圣君, 张叶廷, 许伟平, 谢潇, 朱庆, 韩元利, 吴强. 2014. 三维 GIS 中的参数化建模方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 39(9):1086-1090+1097.
- 唐丙寅, 吴冲龙, 李新川, 陈麒玉, 慕洪涛. 2015. 一种基于钻孔地质数据的快速递进三维地质建模方法[J]. 岩土力学, 36(12):3633-3638.
- 万晓明, 凌丹丹, 马国玺, 马宇梅, 万小红. 2020. 基于 GIS 的三维水文地质建模及应用——以咸阳市为例[J]. 华南地质与矿产, 36(1):72-79.
- 武强, 徐华. 2004. 三维地质建模与可视化方法研究[J]. 中国科学(D 辑): 地球科学, 34(1):54-60.
- 许珂, 徐亚杏. 2018. 基于 MapGIS-K9 软件的城市三维地质建模方法探讨——以武汉市为例[J]. 华南地质与矿产, 34(3):244-252.
- 杨波, 胡海风, 赵文广, 魏国辉. 2019. 基于多源数据的安徽庐枞盆地三维地质建模[J]. 地质学刊, 43(3):377-384.
- 张洋洋, 周万蓬, 吴志春, 郭福生, 郑翔. 2013. 三维地质建模技术发展现状及建模实例[J]. 东华理工大学学报(社会科学版), 32(3):403-409.
- 张园园, 何欣, 杜红旺. 2021. 北京市通州区工程建设层三维地质建模应用[J]. 城市地质, 16(3):260-266.
- 周良辰, 林冰仙, 王丹, 闫国年. 2013. 平面地质图的三维地质体建模方法研究[J]. 地球信息科学学报, 15(1):46-54.
- Guo F S, Li G R, Wu Z C, Yang H Y, Lin Z Y, Zhou W P. 2020. 3D Geological Modeling of the Xiangshan Uraniferous Volcanic, Jiangxi Province[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 94(4):1319-1320.
- Li N, Song X L, Li C B, Xiao K Y, Li S M, Chen H Y. 2019. 3D Geological Modeling for Mineral System Approach to GIS-Based Prospectivity Analysis: Case Study of an MVT Pb-Zn Deposit[J]. Natural Resources Research, 28(3):995-1019.