

深部矿产地质调查中多元数据三维地质建模技术研究——以铜陵矿集区为例

杨波¹, 杜建国¹, 胡海风¹, 万秋¹, 兰学毅², 赵鹏飞¹, 安明²

(1. 安徽省地质调查院, 合肥 230001; 2. 安徽省勘查技术院, 合肥 230001)

摘要: 深部矿产地质调查以解析深部地质结构、寻找深部隐伏矿、半隐伏矿和难识别矿为主要目标。根据深部矿产地质调查工作的特点, 提出一套基于数据库、3S、三维建模、三维可视化等技术, 并适用于矿集区的三维地质建模技术方法。该技术方法以较全面的地质调查资料为基础, 以成矿系统理论为指导, 利用多元数据平行剖面建模法, 以研究区“含矿地质体”及其空间展布特征为目标, 分级构建“矿集区—矿田—矿床”模型并耦合, 实现矿集区2 000 m以浅三维成矿系统结构“透明化”展示。多元数据三维地质模型可为验证成矿模式、提取示矿信息、构建找矿模型及三维找矿预测等提供信息支撑, 该建模技术已在铜陵矿集区实践验证并取得良好效果, 可为其他地区开展类似工作提供借鉴。

关键词: 三维地质建模; 深部矿产地质调查; 多元数据; 成矿系统; 铜陵矿集区

中图分类号: P628⁺3

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2017)03-218-10

深部矿产地质调查, 简称“深部矿调”, 国外称之为深部地质填图或立体地质填图。上世纪60年代前苏联开展了矿田—矿床尺度的立体填图^[1], 上世纪80年代至90年代, 加拿大萨德伯里矿区通过深钻、井中物探等手段发现多处深部隐伏矿体。“七五”期间, 我国在铜陵、鄂东南成矿区开展了以找矿为重点的立体填图工作^[2]。2011年, 中国地质调查局启动“三维地质填图”、“深部矿产地质调查”试点工作, 推动地质调查“由传统向现代、由单一向综合、由二维向三维”的转变, 探索新技术在建立深部成矿地质(系统)结构、深部找矿预测和资源潜力评价等方面的应用。

传统地质图在三维向二维投影过程中信息易丢失, 无法全面、直观、准确地表达地质现象。三维地质建模技术具有实现三维信息模拟还原、地质现象三维可视化、模型分析评价等优势, 近些年已得到广泛研究和应用。目前常见的三维地质建模技术有基于钻孔建模、基于折剖面建模、基于平行剖面建模、基于交叉剖面建模、基于

属性数据拟合建模、基于多层DEM建模和基于多元数据建模等^[3-8]。本次研究基于国产MapGIS K9三维建模软件, 在铜陵矿集区探索基于平行剖面的多源数据三维地质建模技术, 并通过实践验证该技术的可行性, 为其他地区开展类似工作提供参考。

1 建模方法

1.1 建模流程

以丰富、可靠的地质资料为基础, 将不同时期、不同工作程度的地质资料按统一的地质认识、数据格式规范化处理, 集成建库。开展综合研究, 构建主要地质结构框架、典型成矿模式、找矿要素等概念模型。基于概念模型与地质调查成果数据, 开展以综合解译地质剖面为主要数据源的多元数据建模, 分别建立“矿集区—矿田—矿床”的地质实体模型, 将不同尺度模型耦合, 结合地质认识验证, 建模流程如图1所示。

* 收稿日期: 2016-09-23 修订日期: 2016-12-12 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质科学院“安徽铜陵地区深部矿产资源调查评价(编号: 1212011120868)”资助。

第一作者简介: 杨波, 1982年生, 男, 高级工程师, 主要从事地质信息化技术研究。

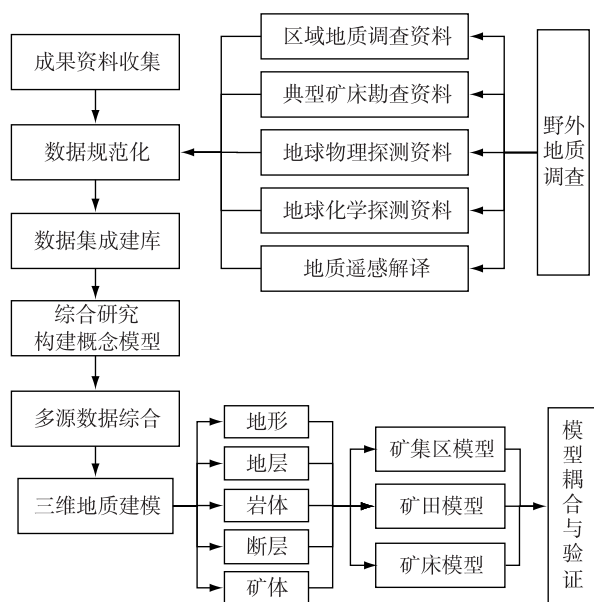


图 1 多元数据建模基本流程图

Fig. 1 Basic flowchart of multivariate data modeling

1.2 建模准备

本次三维地质建模主要研究各个地质界面的三维空间形态、空间耦合关系及以界面为基础的三维地质体空间展布,以如何构建“界面”为重点。地质结构简单的区域,依靠钻孔、剖面等数据源推断合理界面。地质结构复杂的区域,深部界面具有不连续性及不确定性,根据多类数据综合判断,建模时需注意以下几点。

1.2.1 全面研究与概化处理

建模前应获取研究区每个地质体的形成原因、深部结构、与周边地质体关系等信息(图 2)。受研究区工作程度、地质认识等限制,矿集区模型无法精细表达所有地质现象,因此,需根据模型应用目的对主要建模对象(容矿地层、侵入岩体、控矿构造等)精细构建,其余对象可适当概化。

1.2.2 数据综合研究

地质结构越复杂的区域,数据信息越丰富,对地质现象的认知应更准确,但不同来源的数据常出现解释冲突。受目前深部探测手段与工作周期限制,一般无法采集足够的样本数据,因此,进行数据综合研究时应以地质调查、钻探等高可信度数据为基础,结合重力、磁法、AMT 等探测手段联合解释。

1.2.3 构建概念模型

概念模型源于对地质现象的深入研究,经抽

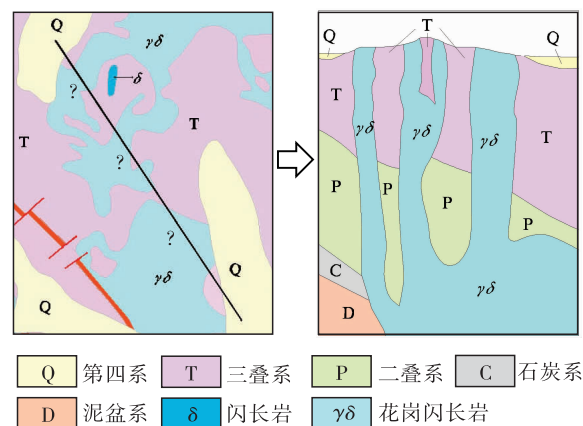


图 2 地表单元深部推测演示图

Fig. 2 Deep speculation maps of the Earth's units

象、简化和总结后形成地质认识,再根据先验知识对地质作用、形成原理提出说明或假设,并以文字、图形等方式表达。通过概念模型解释勾画基本地质结构和成矿模式,便于准确理解与把握建模方向。

1.2.4 地质模型分级构建

基于研究区统一地质认识,利用大比例尺调查数据对矿田、典型矿床进行精细地质建模,验证成矿模式,为成矿有利信息量、证据权等计算提供先验数据。将已知矿化信息标置于矿集区三维地质结构,建立矿集区三维找矿模型,查明矿化富集位置与地质结构关系,圈定找矿靶区。

2 实例研究

2.1 地质背景

铜陵矿集区是中国东部具有代表性的矽卡岩型大型矿集区。研究表明^[9-14],铜陵矿集区成矿作用在时空和成因上与岩浆活动关系密切。岩浆活动不仅提供成矿热液流体,也提供成矿物质组分,因此岩浆岩的含矿性和成矿专属性是该区矿床形成的决定因素。断裂、褶皱和层间滑脱构造、接触带等是该区主要容矿空间,尤其泥盆纪五通组顶部不整合界面至中石炭世黄龙组—早二叠世栖霞组灰岩之间是第一成矿空间最重要的容矿、控矿层位。一些专家^[10-12]认为长江中下游深部存在“第二成矿空间”,铜陵矿集区隐伏的志留纪/奥陶纪地层界面(Si/Ca)及奥陶纪灰岩是深部找矿的重要目标层位。

研究区位于大别造山带和江南造山带之间的下扬子拗陷带中部,南北两端分别以近 EW 向隐伏基底断裂带为界,东西两侧分别以 NE 向大断裂带

为界。该区属扬子地层区下扬子地层分区,出露的最老地层为奥陶系,除缺失下一中泥盆统外,志留系至第四系层序齐全。该区以碳酸盐岩最为发育,累计厚度可达1 500 m以上。区内岩浆活动强烈,地表出露多呈中—浅成相的小岩体、岩枝或岩墙。研究表明^[15-17],该区与成矿有关的岩体主要是同熔型(IMa型)中酸性侵入岩(135~151.8 Ma),岩石

类型为花岗(斑)岩、花岗闪长(斑)岩、辉石闪长(玢)岩、石英闪长(玢)岩、闪长(玢)岩等。该区岩浆岩主要受构造控制,成矿岩体与围岩具有一定的耦合关系,成矿时代以燕山期为主。该区主要构造有NE向、EW向、NNE向、SN向和NW向5组,其中NNE向和SN向构造与早期NE向、EW向构造复合控制该区成矿作用(图3)。

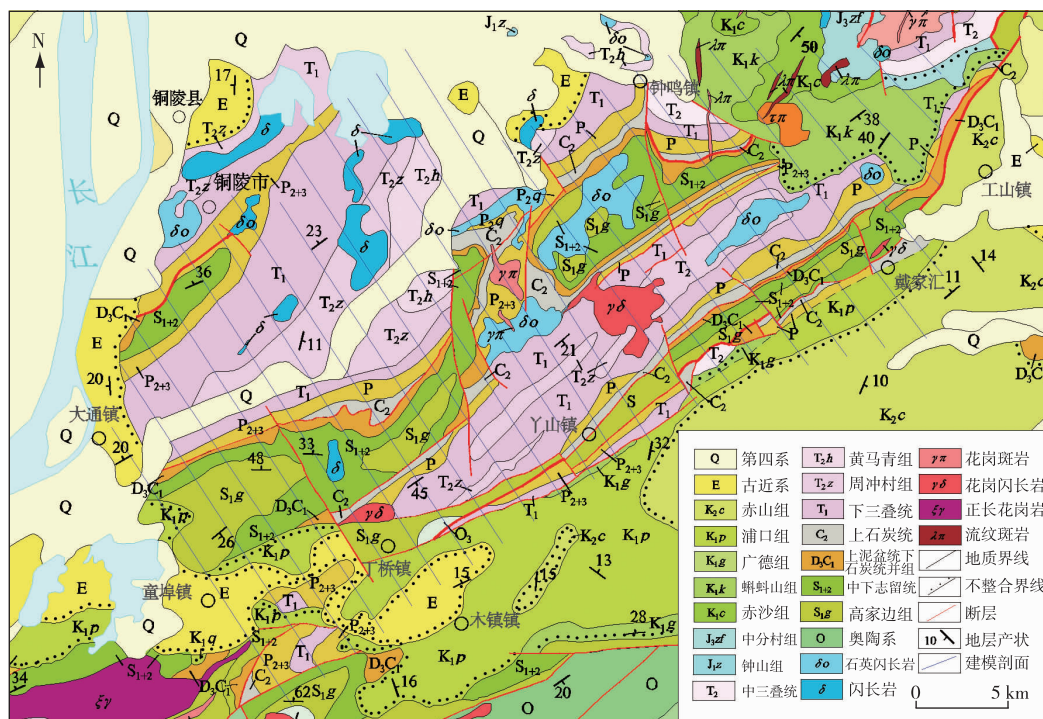


图3 铜陵矿集区地质简图(据1:500 000区域地质图修改)

Fig. 3 Geological sketch map of the Tongling ore cluster area (modified according to 1:500 000 regional geological map)

2.2 主要建模工作

2.2.1 地质条件分析

铜陵矿集区深部属于地质结构复杂区域,地质界面、构造具有不连续性及不确定性。岩体侵入、构造切割、倒转褶皱等多值面现象增加了模型单元空间及拓扑关系的处理难度。岩浆、构造和地层3个成矿要素的耦合构成区内成矿系统结构主体,其中岩浆成矿作用是成矿系统的核心,也是识别其是否存在的关键标志。从三维地质找矿预测出发,重要岩体、断层、容矿地层等成矿要素应采用多元数据联合约束、精细构建,确保三维地质找矿预测中成矿有利信息量的计算精度。

2.2.2 数据综合研究

以地质认识为基础,对不同方法技术获取的调查结果采用相互约束、综合解译的方法,查明并推断区

域2 000 m以浅的成矿系统地质结构及各类矿化信息标志。利用重、磁、电综合剖面二维半定量计算和重、磁三维物性反演技术,以基于地质调查、钻孔勘探、物性资料形成的地质剖面为初始模型,进行重、磁、电联合反演计算,不断修改初始模型及物性参数,达到最合理的重、磁、电拟合效果。分析地质断面层、块结构的合理性,修正地质剖面,建立以综合地质剖面为主体的区域深部三维地质格架(图4)。结合专家经验及其他地质调查数据,进一步推断格架间地质结构,构建成矿要素模型、三维物性反演模型等,形成深部研究成果数据集。

2.2.3 三维地质建模

(1) 确定主要建模对象

针对铜陵矿集区地质特征,结合典型矿床研究成果及深部找矿存在的问题,确定综合调查及建模

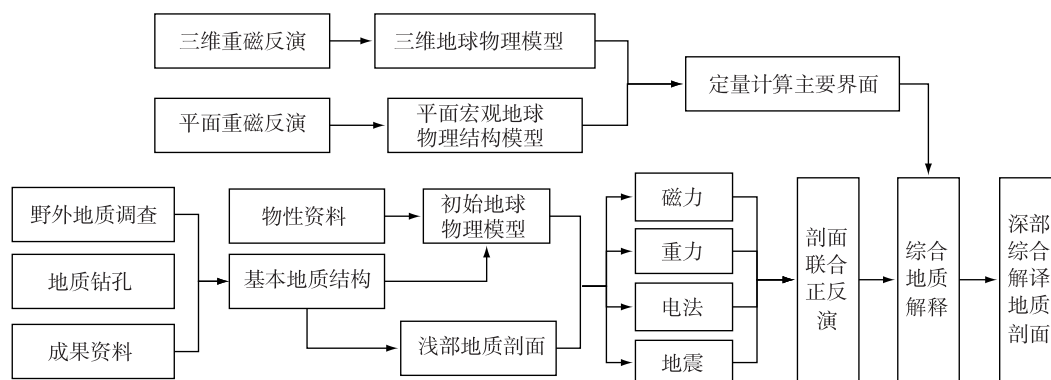


图 4 深部综合地质剖面解译流程图

Fig. 4 Flowchart of comprehensive interpretation for the deep geological sections

的主要对象为浅表—深部三维成矿系统结构、成矿和示矿信息,主要包括已知含矿地质体的三维空间分布(含典型矿床);区内石炭纪—二叠纪—三叠纪地层、深部奥陶纪地层三维空间展布;燕山期侵入体形态及三维空间展布;重要地质界面形态特征。根据铜陵矿集区地质结构垂直构造线方向设置地质剖面与 AMT 探测路线,通过浅部地质调查研究区域构造格架、地质体平面特征及产状,为深部综合

剖面解释提供依据。本次共布设 24 条综合剖面,间距 2 km,均匀覆盖全区,基本控制区内主要地质构造格架。主要地质建模单元见表 1。

(2)地质体约束模型构建

地表建模,利用钻孔孔口高程、高程点、等高线等数据,通过高程值离散网格化、内插值运算、平滑处理等生成 DEM 面(图 5a),将其与矢量地质图融合,控制地质模型顶面。

表 1 主要地质建模单元

Table 1 The main units of geological modeling

矿集区	矿田与矿床	矿集区	矿田与矿床	岩浆岩
第四系	第四系(Q)		栖霞组(P ₂ q)	辉石二长闪长岩(ηνδ)
古近系	古近系(E)		船山组(C ₂ P ₁ c)	石英二长闪长岩(ηδo)
白垩系	蝌蚪山组(K ₁ k)	石炭系	黄龙组(C ₂ h)	闪长岩(δ)
侏罗系	钟山组(J ₁ z)	泥盆系	五通组(D ₃ w)	石英闪长岩(δo)
	周冲村组(T ₁₋₂ z)	志留系	茅山组(S ₁₋₂ m)	正长斑岩(ξπ)
三叠系	南陵湖组(T ₁ n)		坟头组(S ₁ f)	正长花岗岩(ξγ)
	和龙山组(T ₁ h)		高家边组(S ₁ g)	花岗闪长岩(γδ)
	殷坑组(T ₁ y)	奥陶系	牯牛潭组(O ₂ g)	花岗斑岩(γπ)
	大隆组(P ₃ d)		东至组(O ₂ d)	流纹斑岩(λπ)
二叠纪	龙潭组(P ₂₋₃ l)		红花园组(O ₁ h)	辉长玢岩(νμ)
	孤峰组(P ₂ g)		仑山组(O ₁ l)	黑云母石英二长岩(Biηo)

断层建模,平面投影断层建模以平面地质图中的断层线为走向控制,根据断层产状、倾向、倾角、推测深度等信息向深部延展;纵投影的断层建模以剖面中断层垂直投影线为纵向延展控制,根据断层分布推断图及地质认识控制断层走向(图 5b)。

钻孔建模,基于规范化处理的钻孔属性数据生成三维钻孔柱,通过钻孔柱地质分层节点,推测并

控制地质界面走向、产状、范围等(图 5c)。

物性建模,以先验物性资料为依据,基于地质剖面(2D)和地球物理数据建立初始模型,根据重磁数据反演拟合,得到重磁反演模型(2.5D),再经 3D 物性反演纵切片的联合修正校验,经过多次人机交互形成重磁反演结果模型(图 5d)。根据地层、岩石密度及磁性参数,赋予模型地质意义并勾画三维形

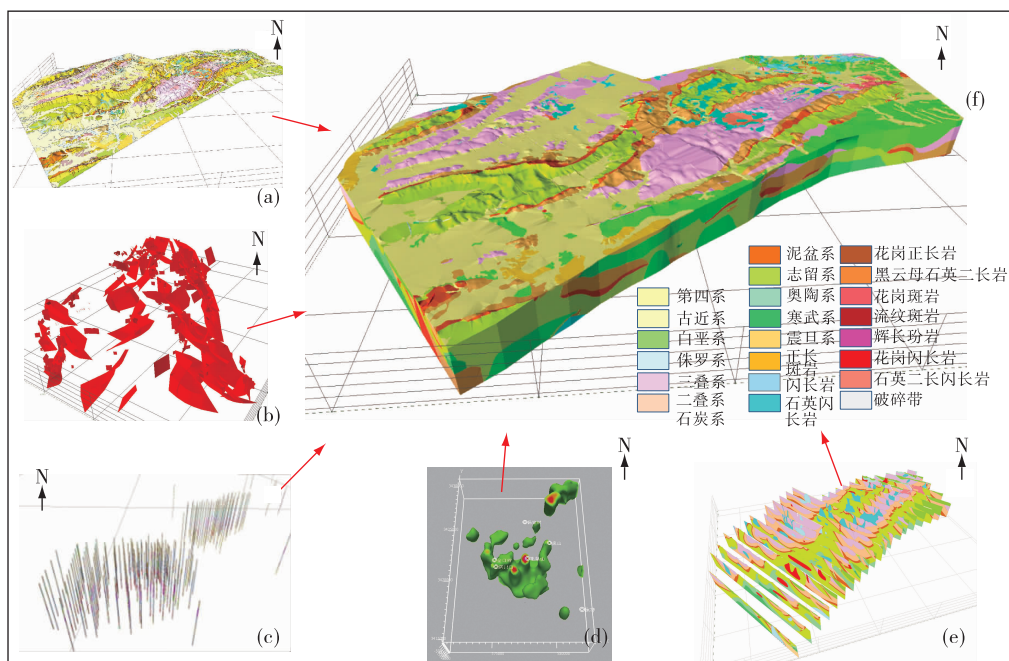


图 5 多实体模型联合约束三维地质建模

Fig. 5 Three-dimensional geological modeling constrained by multi-entity models

(a)-DEM 模型; (b)-剖面模型; (c)-断层模型; (d)-钻孔模型; (e)-物性反演岩体模型; (f)-铜陵矿集区地质模型

态,作为地质体建模依据。

(3) 地质实体模型构建

将参与建模的矢量图形、属性数据转换为三维空间模型,构成建模数据集,在人机交互建模过程中加入专家经验联合约束(图 5,图 6)。主要建模步骤如下。

确定建模关键技术参数及方法,如辅助线参数、面拼接、构网策略、地质体构建顺序和拓扑要求等。因区内岩体形态复杂,穿插、切割地层导致地层建模较困难。因此,分别构建岩体模型和不含岩体的地层模型,利用体布尔算法使岩体切割地层,再将切割后的地层与岩体进行镶嵌,降低建模难度。

以 24 条综合地质剖面模型为主体框架,将研究区分割为 23 个建模网格(图 5e),网格间补充地表模型、钻孔柱模型、断层模型和物性模型等,结合地质概念模型研究待建地质体空间结构特征,联合控制地质体分布及形态。

在建模网格中寻找对应的地层、岩体或矿体边界线,通过人机交互方式,基于约束数据与知识经验创建辅助线,控制地质体表面形态。将属于同一地质体的辅助线封闭为多边形并进行拓扑检查,创建 TIN 面,定义面属性。

逐一构建 TIN 面(地质体外表面),将属于同一地质体的面合并,拓扑检查通过后封闭成体,赋参数、属性。分网格完成地质体构建后,将各网格中同类地质块体按建模单元分别合并为整体,共同构成完整的地质模型(图 5f)。

3 模型分析验证

3.1 主要成矿地层

铜陵矿集区成矿系统中,已知控矿地层为石炭纪—二叠纪—三叠纪沉积地层。矿床赋矿层位及岩性组合显示, Si/Ca 界面对成矿具有重要的控制作用。石炭纪与泥盆纪地层界面(图 7)上部的碳酸盐岩与下伏的石英砂岩(富硅质)实际代表重要的 Si/Ca 界面,而志留纪与奥陶纪地层界面(图 8)是该区规模最大的 Si/Ca 界面,且已证实志留纪泥砂质碎屑岩是形成斑岩型铜矿的有利围岩,在 S/O 界面的 Si/Ca 面及下部的侵入体与奥陶纪碳酸盐岩接触带部位出现铜金矿化,预示在 C+P+T 之下的志留纪—奥陶纪地层在深部存在成矿系统,可能是区内“第二成矿空间”。

3.2 成矿构造系统

铜陵矿集区为断裂围限的隆起区,铜陵复向斜

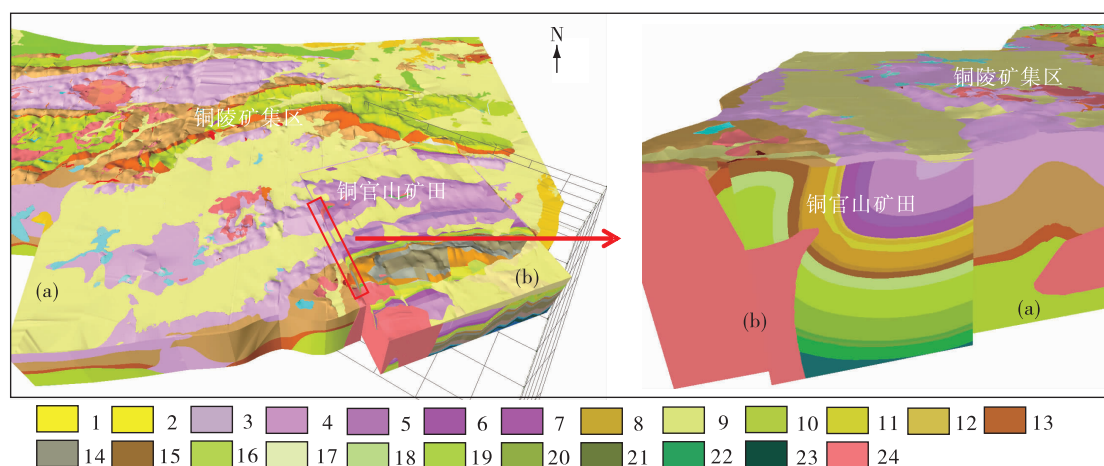


图 6 铜陵矿集区模型(a)与铜官山矿田模型(b)一致性对比

Fig. 6 Consistency comparison of geological models of the Tongling ore cluster area (a) and Tongguanshan ore field (b)

1-第四系;2-古近系;3-三叠系;4-周冲村组;5-南陵湖组;6-和龙山组;7-殷坑组;8-二叠系;9-大隆组;10-龙潭组;11-孤峰组;12-栖霞组;13-石炭系+泥盆系;14-石炭系中上统;15-五通组;16-志留系;17-茅山组;18-坎头组;19-高家边组;20-奥陶系中下统;21-东至组;22-红花园组;23-仑山组;24-闪长岩

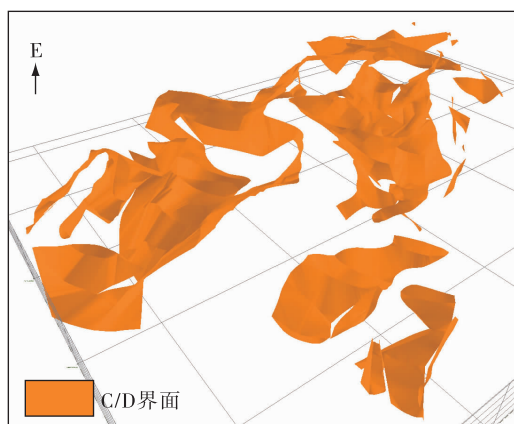


图 7 C/D 地质界面模型

Fig. 7 Model showing C/D geological interface

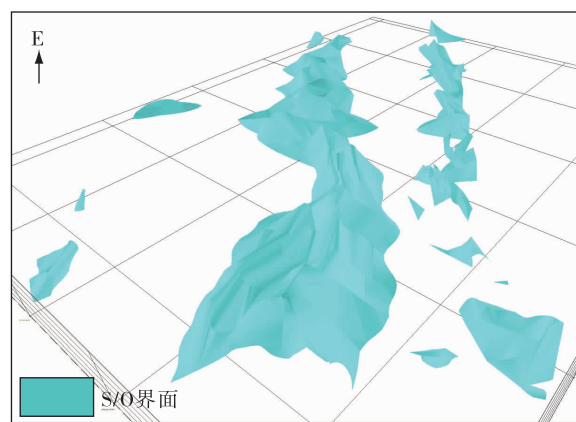


图 8 S/O 地质界面模型

Fig. 8 Model showing S/O geological interface

是其主体构造,呈“S”型复式褶皱带,其中部轴向为 45° ,南、北两端分别变为SWW向和NEE向,褶皱具有南西收敛、北东撒开之势,单一褶皱轴迹平面上也多为“S”型。在该复向斜带中,背斜较紧闭,且部分褶皱翼部倒转,向斜较宽缓,形成隔挡式褶皱(图9)。该区断裂主要走向为NE向、NW向、NS向、EW向,其中以NE向最发育。

由图9可知,铜陵矿集区沿铜陵—南陵基底东西向构造—岩浆岩带中分布铜官山、狮子山、新桥—舒家店、凤凰山、沙滩角(姚家岭)5个矿田,除凤凰山矿田之外,其余矿田均产于背斜构造核部或

转折端部位,说明背斜构造对岩浆成矿具有重要的控制作用。5个矿田呈近EW向、近等间距排列,矿床、矿体受盖层NNE向及NE向、SN向、NW向等多种构造控制。

3.3 岩浆岩

研究区侵入体对应的矿化特征为,花岗闪长岩对应于铜、金、银、铅、锌、钼等矿化,石英二长闪长岩对应于铜、金、铁矿化,辉石二长闪长岩对应于金、银、铅、锌矿化。在岩体与矿化富集部位,矿体集中出现在岩体外接触带、接触带、内接触带等部位,具有“三位一体”的特征(图10)。在岩体与成矿

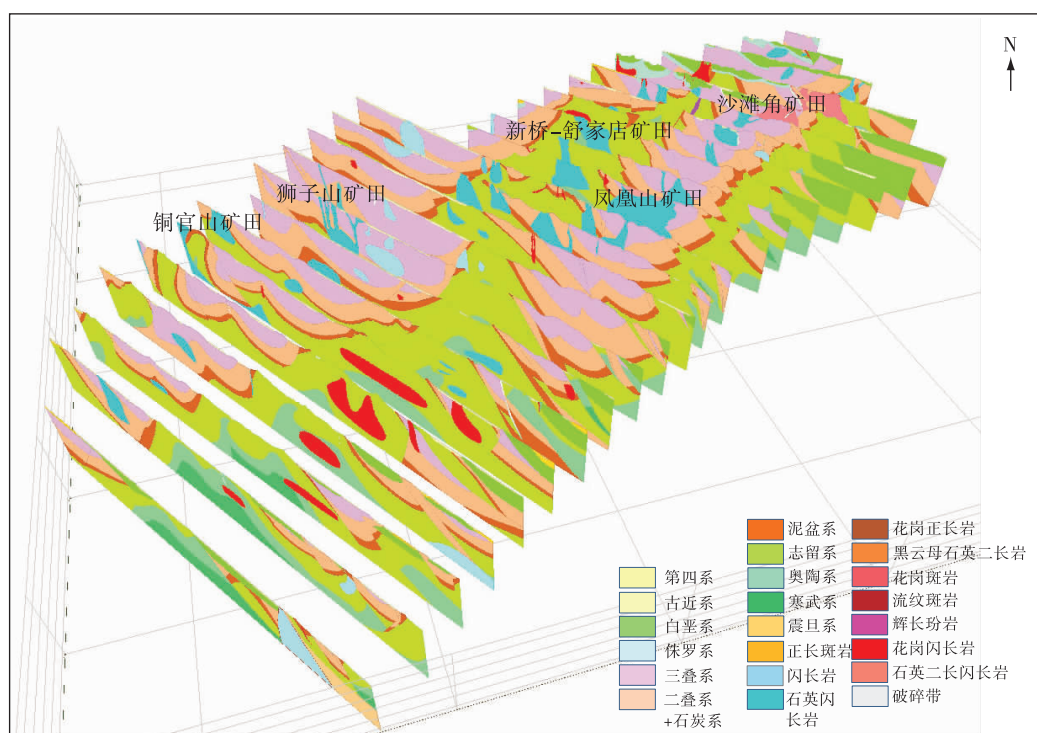


图 9 铜陵矿集区地质结构剖面与矿田分布模型

Fig. 9 Model showing geological structure sections and ore field distribution of the Tongling ore cluster area

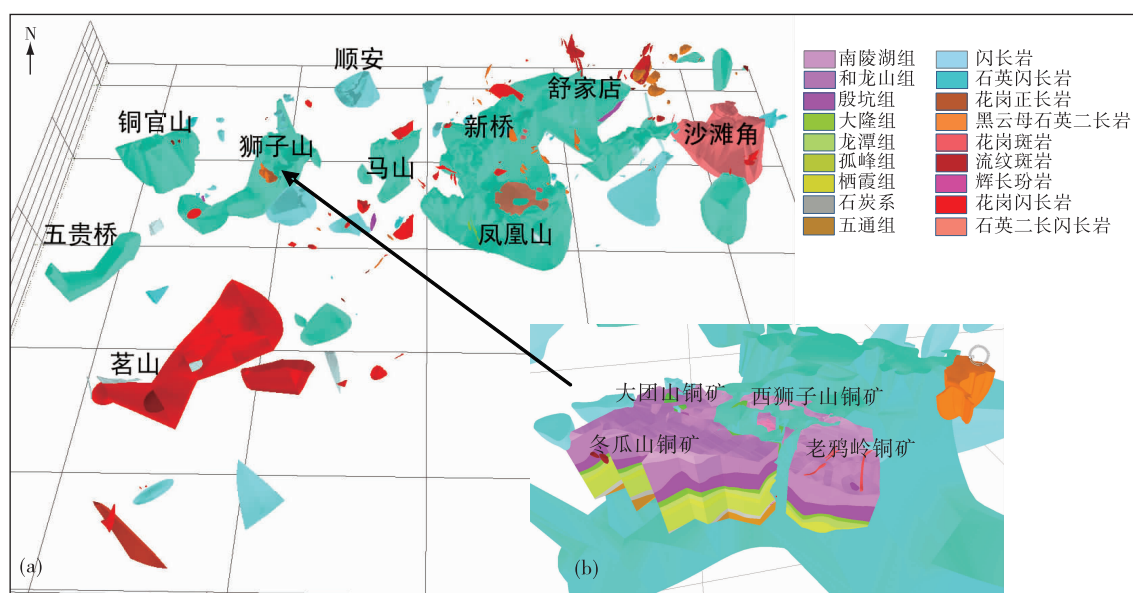


图 10 铜陵矿集区主要岩体三维地质模型(a)、狮子山矿田与狮子山岩体接触关系(b)

Fig. 10 3D geological model of main intrusive rocks in the Tongling ore cluster area (a) and contact relationship between Shizishan ore field and Shizishan intrusion (b)

关系中,SN 向具有铅锌—铜、金、铁—铅锌的对称分带,EW 向具有铜、铁、金—铜、金—铜、铅锌的分

带特征。岩体与不同控矿地层接触时,“层—体耦合”关系较明显,包括接触交代型矿床—三叠纪地

层、层间交代矽卡岩型矿床—二叠纪地层、层控热液叠改型矿床—石炭纪地层、斑岩型和热液型矿床—志留纪地层、热液型(矽卡岩型)矿床—奥陶纪地层等的耦合。铜陵矿集区地表出露的岩体较集中,岩浆活动集中区与矿田完全对应(图 10a)。

3.4 成矿规律

铜官山、狮子山、凤凰山矿田等均以成矿岩体为中心,在岩体与围岩接触带上分布一圈矿床。狮子山矿田各矿床主矿体赋存层位分别为,冬瓜山矿床(C_{2+3})→老鸦岭矿床(P_3d)→大团山矿床(T_{1y})→西狮子山矿床($T_{1y}-T_{1h}$)→东狮子山矿床(T_{1h} —

T_{1n}),具有按逆时针旋转叠置、赋矿层位依次变新的特征(图 10b)。凤凰山矿田以闪长岩为中心,在岩体与围岩接触带中分布 5 个铜矿床(点),矿床受成矿岩体控制。以凤凰山(药园山)矿床为例,该矿床为接触交代矽卡岩型矿床,主矿体赋存于凤凰山闪长岩体与早三叠世南陵湖组(T_{1n})接触带及其附近。矿体呈不规则透镜状、似板状,走向近 SN,倾向不定,倾角 $>70^\circ$,产状和形态受侵入体接触带控制(图 11)。综上,利用“层体耦合,多位成矿”成矿规律可指导该区围绕成矿有利岩体的不同部位寻找不同类型的矿床。

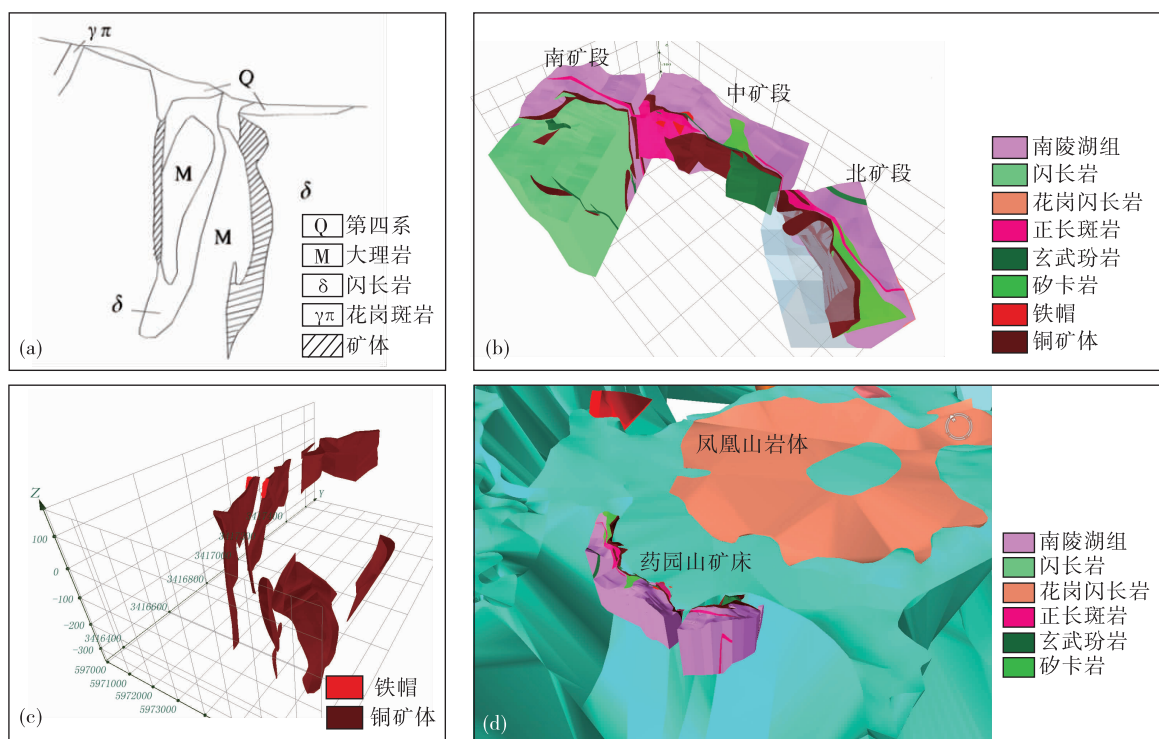


图 11 铜陵凤凰山(药园山)铜铁矿床三维地质模型

Fig. 11 3D geological model of the Fenghuangshan (Yaoyuanshan) copper and iron deposit in Tongling
(a)-药园山矿床成矿模式图; (b)-药园山矿床三维地质模型(北矿段闪长岩透明显示,中矿段闪长岩不显示); (c)-药园山矿床矿体模型; (d)-药园山矿床与凤凰山岩体接触关系

4 结 论

(1)基于铜陵矿集区成矿作用、矿床类型、时空配置关系的研究,结合深部成矿有关地层、侵入体的三维空间分布及“层—体耦合”关系认识,构建了铜陵矿集区三维地质模型。通过“矿集区—矿田—矿床”耦合的方式,可揭示矿集区深部地层、岩体、构造、成矿规律等,实现矿集区三维成矿系统结构

“透明化”。

(2)深部矿产地质调查中,单一方法一般具有一定局限性。针对目标地质体的具体特征,以地质条件为约束前提,通过“已知到未知、由浅入深、从 2D 到 3D、由局部到整体”的逐步解译认识过程,将不同方法技术获取的成果数据综合解译是决定方法有效性和针对性的关键。多元数据三维地质建模技术基于多种技术手段对目标地质体进行综合

解译、判别,为构建研究区浅表—深部成矿系统结构、成矿和示矿信息等“目标地质体”提供依据。

参考文献

- [1] 陈建平,于森,于萍萍,等.重点成矿带大中比例尺三维地质建模方法与实践[J].地质学报,2014,88(6):1187-1195.
- [2] 陈克强,高振家,李龙.有关深部地质填图和立体地质填图的几个问题[J].地质通报,2003,22(11/12):984-990.
- [3] 屈红刚,潘懋,明镜,等.基于交叉折剖面的高精度三维地质模型快速构建方法研究[J].北京大学学报:自然科学版,2008,44(6):915-920.
- [4] 周良辰,林冰仙,王丹,等.平面地质图的三维地质建模方法研究[J].地球信息科学学报,2013,15(1):46-54.
- [5] 吴志春,郭福生,姜勇彪,等.基于地质剖面构建三维地质模型的方法研究[J].地质与勘探,2016,52(2):363-375.
- [6] 李青元,张丽云,魏占营,等.三维地质建模软件发展现状及问题探讨[J].地质学刊,2013,37(4):554-561.
- [7] Wu Qing, Xu Hua, Zou Xukai. An effective method for 3D geological modeling with multi-source data integration[J]. Computer & Geosciences, 2005,31(1):35-43.
- [8] 薛林福,李文庆,张伟,等.分块区域三维地质建模方法[J].吉林大学学报:地球科学版,2014,44(6):2051-2058.
- [9] 邓晋福,戴圣潜,赵海玲,等.铜陵 Cu—Au(Ag)成矿区岩浆流体-成矿系统和亚系统的识别[J].矿床地质,2002,21(4):317-322.
- [10] 常印佛,刘湘培,吴言昌.长江中下游铜铁矿带[M].北京:地质出版社,1991.
- [11] 杜建国,常丹燕.长江中下游成矿带深部铁矿找矿的思考[J].地质学报,2011,85(5):687-698.
- [12] 唐永成,吴言昌,储国正,等.安徽沿江地区铜多金属矿床地质[M].北京:地质出版社,1998.
- [13] 姚孝德,杜建国,许卫,等.安徽省铜陵矿集区区域成矿模式[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2012,35(7):965-975.
- [14] 毛先成,唐艳华,赖健清,等.凤凰山矿田成矿地质体三维结构与控矿地质因素分析[J].地质学报,2011,85(9):1507-1518.
- [15] 吴才来,高前明,国和平,等.铜陵中酸性侵入岩成因及锆石 SHRIMP 定年[J].岩石学报,2010,26(9):2630-2652.
- [16] 吴才来,郭祥焱,王次松,等.铜陵地区高钾钙碱性系列侵入岩锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J].地球化学,2013,42(1):11-28.
- [17] 杜建国,万秋,兰学毅,等.安徽铜陵地区深部矿产地质调查与成矿预测[R].合肥:安徽省地质调查院,2015.
- [18] 吕鹏,张炜,刘国,等.国外重要地质调查机构三维地质填图工作进展[J].国土资源情报,2013(3):13-18.
- [19] 陈忠良,童劲松,吴雪峰,等.安徽运漕地区隐伏地质体三维模型构建及应用[J].华东地质,2015,36(2):123-129.
- [20] 兰学毅,杜建国,严加永,等.基于先验信息约束的重磁三维交互反演建模技术——以铜陵矿集区为例[J].地球物理学报,2015,58(12):4436-4449.
- [21] 祁光,吕庆田,严加永,等.基于先验信息约束的三维地质建模:以庐枞矿集区为例[J].地质学报,2014,88(4):466-477.
- [22] 孙莉,肖克炎,唐菊兴,等.基于 Minexplorer 探矿者软件的甲玛铜矿三维地质体建模[J].成都理工大学学报(自然科学版),2011,38(3):291-297.
- [23] 孙波,刘大安.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,2015,34(3):556-564.
- [24] 王功文,张寿庭,燕长海,等.基于地质与重磁数据集成的栾川钼多金属矿区三维地质建模[J].地球科学:中国地质大学学报,2015,36(2):360-366.
- [25] 杨志华,兰恒星,张永双.基于 GIS-GOCAD 耦合技术的三维地质建模[J].地理与地理信息科学,2012,28(5):16-20.
- [26] 张明明,李晓晖,袁峰,等.地层三维建模及面模型插值方法对比研究[J].安徽地质,2015,25(3):182-186.
- [27] 朱威,王大勇,刘桂芹,等.基于地球物理资料的九瑞矿集区三维地质模型分析[J].物探与化探,2015,39(5):915-922.

Three dimensional geological modeling technology of multivariate data in deep mineral survey: An example from the Tongling ore cluster area

YANG Bo¹, DU Jian-guo¹, HU Hai-feng¹, WAN Qiu¹, LAN Xue-yi², ZHAO Peng-fei¹, AN Ming²

(1. *Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China;*

2. *Anhui Exploration Technology Institute, Hefei 230001, China*)

Abstract: Deep mineral and geological survey focuses on studying deep geological structure and searching for deep concealed or semi-concealed ores and the mines which are difficult to identify. Combined with the characteristics of deep mineral investigation, a 3D geological modeling technique, which is also suitable for modeling of ore cluster areas, is proposed in the paper based on database, 3S, 3D modeling, and 3D visualization technology. According to the full-scale geological survey data and the metallogenic system theory, this method developed a model which combines ore cluster area, ore field and deposits together using multiple data parallel sections modeling. This model couples with ore-bearing geological bodies and their spatial distribution in the study area, realizing the “transparent” manifestation of the shallow 3D metallogenic system structure in the ore cluster area with a depth of 2 000 meters. The 3D modeling technique can provide an important support for verifying metallogenic model, extracting ore-forming data and constructing 3D exploration prediction. The technique has been verified and achieved good results in Tongling, thus providing reference for prospecting the deposits of the same kind in other areas.

Key words: 3D geological modeling; deep mineral survey; multivariate data; metallogenic system; Tongling ore cluster area