

# 贵州中东部中酸性侵入岩体圈定及三维空间形态研究

屈念念<sup>1,2</sup>, 姚炼<sup>2</sup>, 朱大友<sup>2</sup>, 李家斌<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京), 首都北京 100083; 2. 贵州省地质调查院, 贵州贵阳 550018)

**[摘要]**研究和寻找隐伏以及半隐伏中酸性岩体对深部找矿工作具有重要的指导意义。本文以重力资料为主, 结合航磁、地球化学及地质资料, 对研究区隐伏和半隐伏中酸性侵入岩体进行圈定, 并利用重力数据对圈定岩体进行三维反演, 获取岩体的三维空间赋存状态, 对其三维空间形态进行定量分析, 并结合相关资料综合分析岩体与矿产的关系, 对贵州省中东部地区深部找矿具有重要的指导意义。

**[关键词]** 中酸性岩体; 重磁特征; 3D; 深部找矿

**[中图分类号]** P631.1; P631.2\*22 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2016)02-0126-06

随着矿产勘查程度的提高, 地表矿和浅部矿越来越少, 寻找深部矿产的需求越来越迫切。其中内生金属矿产的形成直接或间接与岩浆热液活动有关, 多聚生于中酸性岩体的边缘及与围岩的接触带上; 贵州中酸性侵入岩体出露于梵净山地区和黔桂交界的从江地区, 且有与中酸性侵入岩体有关的矿产钨、锡、铜等金属矿产产出, 因此, 总结成矿规律, 研究隐伏以及半隐伏中酸性岩体对深部找矿工作具有重要的指导意义。

利用区域重磁数据来圈定异常体, 定性及半定量分析深部岩体、推断岩体空间形态的方法已广泛应用<sup>[1-3]</sup>, 如利用 2.5 维反演来半定量分析隐伏及半隐伏岩体深部空间形态, 均取得了较好的应用效果。对于贵州省深部岩体的研究, 王亮(2009, 2012年)利用区域重磁资料对贵州省境内的可能存在的隐伏岩体进行了初步的圈定<sup>[4,5]</sup>, 确定圈定岩体的最低尺度。本文在前人的研究基础上, 以重力资料为主, 结合航磁、地球化学及地质资料, 对研究区隐伏和半隐伏中酸性侵入岩体进行圈定, 并利用重力数据对贵州中东部的岩体异常进行三维反演解释, 获取岩体三维空间赋存形态, 对其空间形态进行定量分析, 如顶底埋深、顶底界面的起伏形态以及空间延伸等, 并进一步综合分析岩体与矿产的关系, 为深部找矿提供指示意义。

## 1 研究区地质概况

研究区位于江南造山带的西南段和扬子地块的东南缘, 经历了多期次构造运动, 构造复杂, 产出有各类褶皱、断裂和过渡性剪切带, 构造线方向主要为近南北向、北东向、北西向等。地层发育较齐全, 自新元古界至新生界第四系均有出露。新生界地层零星出露, 出露面积较小; 中生界地层中白垩系地层小面积出露, 侏罗系地层不发育, 三叠系地层出露较广, 主要分布于研究区的北部和西南部, 出露于向斜核部位置, 地层走向与主构造线方向一致为近南北向、北东向; 古生界地层发育齐全, 分布与研究区的北部和西南部, 范围较广; 新元古界地层在研究区东南部大面积出露。

贵州境内岩浆活动的构造旋回分属为武陵、雪峰—加里东、海西—燕山、喜马拉雅构造旋回, 这四个构造旋回控制着贵州省内岩浆活动演化规律。贵州省境内岩浆岩大部分集中出露于西部, 主要为玄武岩和辉绿岩, 少量煌斑岩出露。在研究区即贵州中东部地区主要以侵入岩为主, 其中中酸性侵入岩体出露于梵净山和黔桂交界的从江地区, 其中梵净山区出露的为白云母花岗岩, 并有花岗伟晶岩等, 地表所见岩体呈小的岩株、岩枝等, 出露面积小于 1 km<sup>2</sup>, 岩体侵位于梵净山群中, 与围岩突变接触, 内接触带不明显, 为武陵时

**[收稿日期]** 2016-02-19

**[作者简介]** 屈念念(1986—), 女, 在职博士, 工程师, 主要从事重、磁、电数据处理及解释工作。

期的产物;从江地区酸性侵入岩主要是摩天岭花岗岩,大部分位于广西境内,整个岩体呈长轴北北东的椭圆形,从江地区出露的是岩体的北段,岩体主要侵位于四堡群中,其形成时期为武陵期<sup>[6]</sup>。

## 2 中酸性侵入岩体的预测标志

根据贵州省中部和东部的岩石密度资料,中生界至新生界地层平均密度较小,在 $2.60 \text{ g/cm}^3$ 以下,属于低密度地层;上古生界地层平均密度较大,在 $2.67 \text{ g/cm}^3 \sim 2.74 \text{ g/cm}^3$ 之间,属于中等密度地层;志留系地层平均密度较小,在 $2.67 \text{ g/cm}^3$ 以下,属于较低密度地层;元古界至奥陶系地层平均密度较大,在 $2.70 \text{ g/cm}^3$ 以上,属于高密度地层;由此可以分析,研究区地层的密度随着地质年代的增加,密度呈逐渐增大的趋势,该区的中酸性侵入岩体平均密度为 $2.64 \text{ g/cm}^3$ ,结合研究区地层分布,主要为古生界至新元古界中等密度和高密度地层,因此中酸性侵入岩体的平均密度小于其围岩密度,为利用重力资料圈定中酸性侵入岩体提供了物性前提和依据,在剩余重力异常中显示为圈闭负异常。

研究区除新元古宇下江群组番召组地层局部富集有不均匀的磁黄铁矿、磁铁矿而具中等磁性,其余地层均为无磁性或弱磁性地层;岩浆岩从酸性—中型—基性—超基性,磁性逐渐增强,花岗岩一般为极弱或无磁性,因此中酸性侵入岩体在磁异常平面图中一般为负磁异常或较平缓的弱磁异常,异常值较小。

贵州省较为明确的,与岩浆热液成矿有关的异常组合为W-Sn-Bi-Mo,在中酸性岩体上方有分带性,是推断隐伏中酸性岩体的重要标志,其含量的分散、富集特征直接或间接反映了岩体的分布情况。

## 3 中酸性侵入岩体的圈定

重力以1:20万区域重力调查数据为主,网度为自由网,布格重力异常总精度为 $0.317 \sim 0.848 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。将原始区域重力数据经过各项改正得到布格重力异常,另外,提取剩余重力异常的方法很多,如滑动平均、趋势分析、补偿圆滑滤波等,但对于区域重力数据来说,提取效果几乎相同。本文采用滑动平均法,提取不同窗口半径的剩余

异常,根据重力垂向二阶导数零值线范围与不同窗口半径的剩余异常半极值进行对比,从而对不同规模的岩体选定最佳窗口半径的剩余异常。航磁以1:20万和1:50万航磁数据为主,为了减少测线方向对于网格的影响,航磁数据的网格化采用随机数据最小曲率网格化方法,再对航磁 $\Delta T$ 数据进行化极,消除斜磁化的影响。

如图1所示,研究区的布格重力异常特征表现为东部等值线密集呈陡变骤降,是大兴安岭—太行山—武陵山重力梯级带的南延部分,西部相对宽缓,其间分布不少圈闭正、负异常,在贵定—镇远一线呈向东弓状凸出,变现为布格重力异常等值线弯曲带。圈定的岩体沿西部的重力梯级带和中部的重力等值线弯曲带分布,即沿贵州省推断的重要隐伏断裂带<sup>[6]</sup>分布。如图2所示,研究区的剩余重力异常走向呈北北东向和近南北向,圈定岩体均分布于剩余重力负异常内。

如图3所示,研究区航磁异常特征表现为较宽缓的负磁异常,在思南、松桃、雷山和从江地区呈现圈闭正磁异常,结合地质资料,该区较宽缓的负磁异常是由大面积的沉积岩及浅变质碎屑岩引起,在松桃、雷山、从江一带的圈闭正磁异常可能是由含磁性物质地层以及基性—超基性岩体引起。大部分圈定岩体位于平缓的负磁异常区,与中酸性侵入岩体弱磁或无磁性有关。

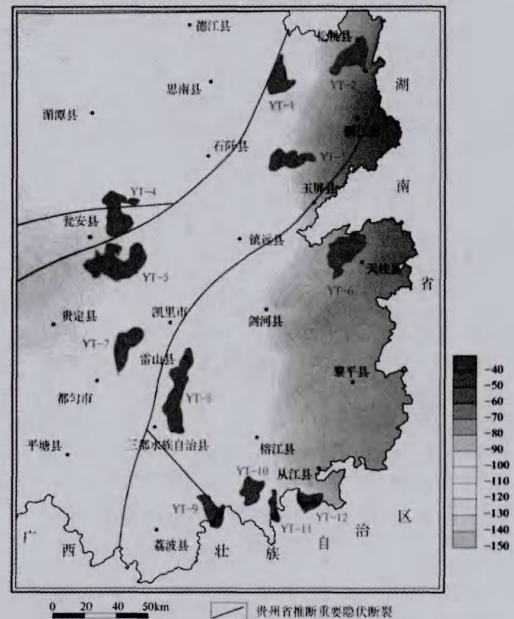


图1 布格重力异常与推断中酸性侵入岩体分布示意图

Fig. 1 Diagram of bouguer gravity anomaly and inferred intermediate-acid intrusive rock

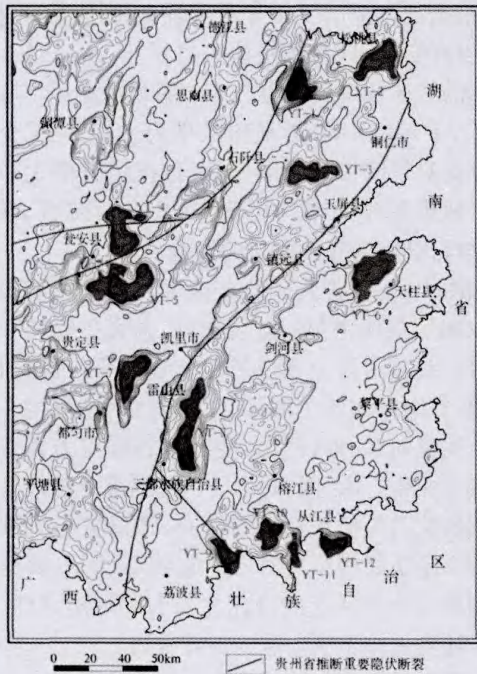


图2 剩余重力异常与推断中酸性侵入岩体分布示意图

Fig.2 Surplus gravity anomaly and inferred intermediate-acid intrusive rock distribution

岩的从江、梵净山地区的 W-Sn-Bi-Mo 综合异常规模为数百、上千平方千米,异常强度高,异常区内有钨、锡矿产出。其余圈定的隐伏岩体范围有 W、Sn、Mo、Bi 元素异常,各元素异常间都有一定的套合。

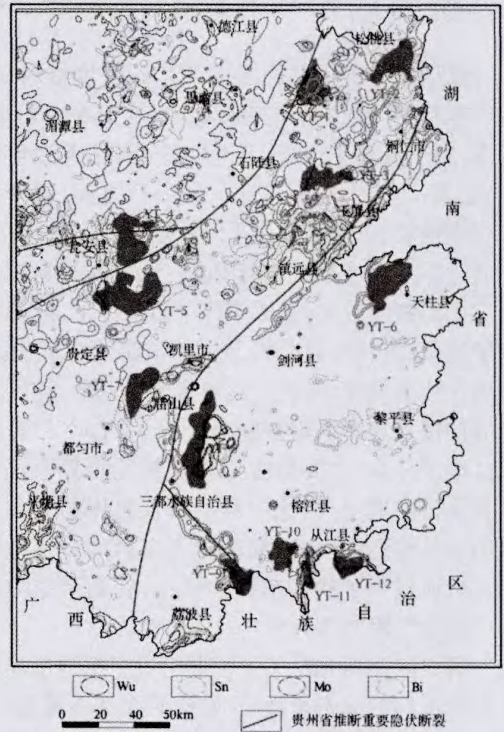


图4 W-Sn-Mo-Bi 化探元素异常与推断中酸性侵入岩体分布示意图

Fig.4 W-Sn-Mo-Bi chemical prospecting elements anomaly and inferred intermediate-acid intrusive rock distribution

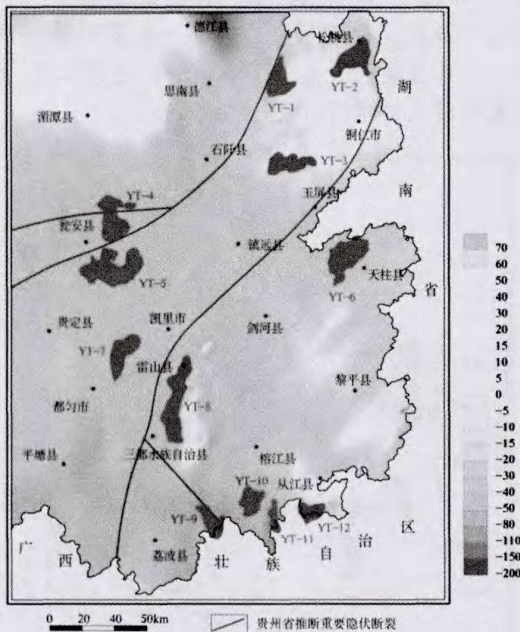


图3 航磁  $\Delta T$  化极异常与推断中酸性侵入岩体分布示意图

Fig.3 Aeromagnetic  $\Delta T$  reduction anomaly and inferred intermediate-acid intrusive rock distribution

化探以 1:50 万 W、Sn、Mo、Bi 元素地球化学异常为主,分布特征如图 4 所示。在已出露花岗

## 4 岩体三维空间形态特征研究及其意义

在利用区域重力、航磁、化探和地质资料对研究区的中酸性侵入岩体进行平面圈定及定性分析的基础上,将代表岩体的剩余异常信息作为反演的数据,进行三维成像反演,得到地下半空间密度分布的三维数据体,最后根据岩体与围岩的密度差,结合航磁、化探和地质信息,对三维数据体进行三维人工交互反演,确定岩体的三维空间赋存形态,并分析岩体与矿产的关系。

在反演的贵州省中东部 12 个中酸性侵入岩体中, YT-1、YT-11 和 YT-12 为半隐伏岩体,在地表小面积出露,其余岩体为隐伏岩体。图 5 和图 6 为岩体三维空间形态的俯视图和侧视图。

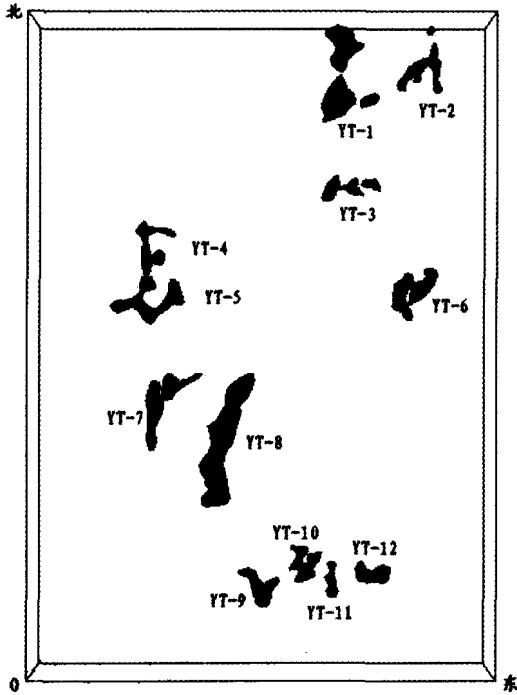


图 5 岩体三维空间形态—俯视图

Fig. 5 Three-dimensional spatial shapes of rock mass—top view

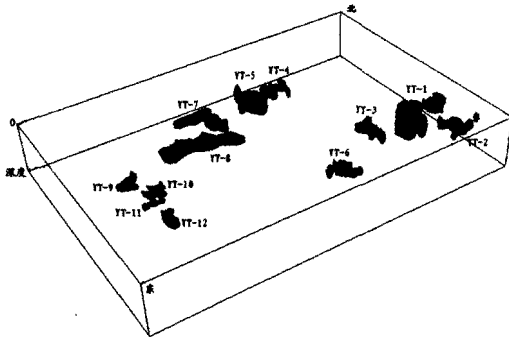


图 6 岩体三维空间形态—侧视图

Fig. 6 Three-dimensional spatial shapes of rock mass—side view

YT-1 岩体在地表出露,地表呈小的岩株、岩枝等,三维反演结果显示底深约为 7.3 km,整体呈“8”字状,岩体走向为南北向。浅部表现为不同的两个岩体,北侧岩体呈反“S”状,顶深在 1 km 至 4.5 km 之间变化,顶界面变化较陡,底深变化较平缓,宽约 10 km,长约 25 km;南侧岩体上部较窄,中部逐渐变宽,尾部收窄,在底边小面积出露,顶界面变化较北侧岩体平缓,底界面深度较北侧岩体深,宽在 5.3 km 至 15 km 变化,长约 21 km。两个岩体的下段和上段约在 2.7 km 深度处相连,实为一个岩体。出露于梵净山地区的 YT-1 岩体周围亦出露有基性—超基性岩体,岩体侵入于新元古界地层构成的背斜核部,背斜构造的核部亦是深部找矿的有利部位。岩体位于贵州省推断重

要隐伏断裂的东部,且周围次级断裂构造发育,为成岩、成矿提供了通道和储矿空间。岩体北部及东部外围具汞矿床,东北边缘具多个大型锰矿、镍钼钒矿,岩体上具铜矿、铁矿等。YT-1 岩体位于布格重力异常梯级带上,剩余重力负异常内,W-Sn-Bi-Mo 地球化学元素异常强度高,岩体顶界面变化较陡,岩体边部有岩枝和岩株,因此,综合分析在 YT-1 岩体外围及深部成矿条件优越,为有利找矿远景区。

YT-2 岩体顶深约为 1.1 km,底深约为 6.3 km,整体呈“叉子”状,在北部存在一小岩株,南部岩体为北东向岩枝和南北向岩枝相交。北东向岩枝顶面变化较陡,最深约为 2.8 km,南北向岩枝顶面变化亦较陡,变化趋势呈波浪起伏状,两岩枝底界面变化较缓。YT-3 岩体顶深约为 1.1 km,底深约为 7.0 km,分为两个岩体。西侧岩体呈“∞”状,宽约 18 km,南北向长变化剧烈,在岩体中部较窄约 2 km,向两边逐渐变大约 10 km,西部顶界面变化较陡,在西部中心存在一凹陷,东部顶界面变化较缓,底界面变化均较缓;东侧岩体规模较西侧岩体小,亦是呈“∞”状,宽约 10 km,长度变化在 3 km 至 5 km,顶界面变化趋势亦是呈波浪起伏状。YT-6 岩体顶深约为 1.2 km,底深约为 5.4 km,岩体整体呈不规则状,西侧岩体呈“C”状,顶界面变化很陡,在北部与东侧岩体相连,东侧岩体顶界面变化亦较陡,两岩体顶界面均呈波浪状起伏,底界面变化平缓。YT-2、YT-3、YT-6 岩体均侵入于新元古界地层中,位于贵州省推断的重要隐伏断裂带附近,岩体及周围具汞矿、铅锌矿、锰矿、磷矿、金、重晶石、镍钼钒、铁矿。三个岩体均位于布格重力异常梯级带附近,剩余重力负异常内,YT-2 岩体 W-Sn-Bi-Mo 地球化学元素异常强度较高,W-Sn-Bi-Mo 地球化学元素异常强度相对较弱,因此综合分析 YT-2、YT-3、YT-6 岩体外围及深部成矿条件较好,为较有利找矿远景区。

YT-4 岩体顶深约为 1.0 km,底深约为 7.0 km,岩体整体呈“F”状,总体走向为南北向,在顶部和中部延伸出东西向的岩枝和岩株,长约 28 km,宽度约 4.5 km,顶界面呈波浪状起伏,但不剧烈,底界面变化较缓。北部岩枝宽约 14 km,长约 3 km,顶底界面变化均较缓。南部岩株为规则圆体状,顶底界面变化较缓。YT-5 岩体顶深约为 1.0 km,底深约为 8.5 km,整体呈不规则状,整个岩体伸出不同走向的岩枝和岩株,岩体顶界面变

化较陡,呈波浪状起伏,底界面变化较缓。从反演结果来分析,YT-4岩体和YT-5岩体在2.0 km左右深度连为一体,形成一个规模较大的南北走向的隐伏岩体。YT-4、YT-5岩体位于瓮安一带,岩体侵入于新元古界地层构成的背斜核部,且有两条重要隐伏断裂通过,次级断裂构造发育,岩体及周围具有镍钼钒、铅锌、汞、磷、硫铁矿、铁矿、铝土矿和磷矿。YT-4、YT-5岩体位于布格重力异常等值线弯曲带,剩余重力负异常内,W-Sn-Bi-Mo地球化学元素异常强度较高,岩体顶界面变化较陡,岩体边部有岩枝,因此,综合分析在YT-4、YT-5岩体外围及深部成矿条件较好,为较有利找矿远景区。

YT-7岩体顶深约为0.9 km,底深约为7.9 km,整体呈倒“L”状,岩体为南北走向,在岩体东北端呈岩枝向北东方向延伸。浅部表现为不同的两个岩体,西侧岩体呈长条板状,顶深在1.6 km左右,底深在4.8 km左右,长约37 km,宽度在4 km至9 km之间变化,顶、底界面变化较缓;东侧岩体规模较西侧岩体小,呈烟斗状,顶深也在1.6 km左右,底深较东侧岩体深,在7.9 km左右,顶、底界面变化亦较缓,岩枝沿北东向延伸约15.5 km。两岩体在3 km左右深度相连。YT-8岩体顶深约为0.9 km,底深约为7.3 km,岩体呈不规则条状,走向为北北东向,侧视为板状,顶底界面变化均较缓。YT-7岩体和YT-8岩体地表均未出露岩体,岩体分布在贵州省重要隐伏断裂带中,在岩体周围及外围重晶石、汞、金、铅锌、铋、铁、萤石等矿产均有分布,该区尤其是金、铅锌、铋矿床均达中型以上,铋、汞矿床和矿点呈带状分布发育,这些矿床的形成是与花岗岩的岩浆期后热液活动有成因联系。YT-7、YT-8岩体位于布格重力异常梯级带附近,剩余重力负异常内,且异常幅值较大,在岩体周围亦有钨锡矿化、异常带,W-Sn-Bi-Mo地球化学元素异常强度高,岩体顶界面变化较陡,因此,综合分析在YT-7、YT-8岩体外围及深部成矿条件有利,为有利找矿远景区。

从江地区四个岩体YT-11和YT-12岩体在地表出露,YT-9和YT-10岩体顶深约为0.5 km左右,四个岩体底深在3.0 km左右变化。岩体均为不规则状。四个岩体属于黔桂边界摩天岭花岗岩体的一部分,摩天岭花岗岩体大部分位于广西境内,岩体均侵入于新元古界地层构成的背斜核部,亦位于贵州省重要隐伏断裂带上,岩体西边外

围具铅锌矿床、铁矿,岩体上具铜矿、钨锡矿等。四个岩体位于布格重力异常梯级带上,剩余重力负异常内,且异常幅值较大,W-Sn-Bi-Mo地球化学元素异常强度高,因此,综合分析在这四个岩体外围及深部成矿条件有利,为有利找矿远景区。

综合以上分析,贵州省中东部推断的中酸性侵入岩体均侵入于新元古界地层中,多位于背斜构造核部、区域断裂旁,侵入酸性岩体上均具有较高的W-Sn-Bi-Mo地球化学元素异常。岩体三维空间形态揭示,岩体的产状大部分都复杂多样,而且往往为不同类型产状的岩体连为一体,除梵净山YT-1岩体和从江地区YT-11、YT-12岩体在地表出露,其余均为隐伏岩体,从江地区隐伏岩体顶埋深较浅,其余隐伏岩体顶埋深在1000米左右,且顶界面的变化趋势较陡,利于矿产形成,为深部找矿的有利部位。

## 5 结论

在中酸性岩体与围岩之间存在一定的物性差异的前提条件下,利用区域重力数据,结合航磁、化探及地质资料,对中酸性岩体进行圈定,并对岩体进行三维反演,通过对反演所得的密度分布情况进行分析,获得岩体的三维空间赋存状态,例如岩体顶底埋深、顶底界面的起伏形态、空间延伸等信息,解释贵州省中东部酸性侵入岩体产状大部分都复杂多样,而且往往为不同类型产状的岩体连为一体,并结合地质、构造资料分析成矿有利条件,对寻找深部矿产有一定的指导意义。

### [参考文献]

- [1] 曾华霖. 重力场与重力勘探[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [2] 孙文珂,乔计花,许德树,等. 重力勘查资料解释手册[R]. 2013.
- [3] 管志宁,安玉林. 区域磁异常定量解释[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [4] 王亮,张应文,刘盛光. 区域重磁资料圈定贵州境内侵入岩体及局部地质构造[J]. 物探与化探,2009,33(3):245-249.
- [5] 王亮,陶平. 应用1:200000区域重磁资料推断贵州东部地区隐伏岩体[J]. 物探化探计算技术,2012,34(4):449-454.
- [6] 戴传固,王雪华,王敏,等. 贵州省区域地质志[R]. 贵州省地质调查院,2013,6.
- [7] 姚长利,元满,张聿文. 重磁异常三维物性反演随机子域法方法技术[J]. 地球物理学报,2007,50(5):1576-1583.

## Study of Three-Dimensional Spatial Shapes and Determination of Intermediate-acid Intrusive Rock in Middle and East Guizhou

QU Nian-nian<sup>1,2</sup>, YAO Lian<sup>2</sup>, ZHU Da-you<sup>2</sup>, LI Jia-bin<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550018, Guizhou, China)

**[Abstract]** With the higher exploration level of resources and the decreasing of surface mine, it is of great significance to find and delicate concealed and semi-concealed intermediate-acid intrusive bodies in the mineral exploration. Based on the regional gravity data, combining with magnetic data, geochemical data and previous geological research, we indentified concealed and semi-concealed intermediate-acid intrusive bodies, and obtained their three-dimensional spatial shapes by three dimensional inversion, quantitative analyzed their three-dimensional spatial shapes and the relationship with mineral, finally provides important information for deep prospecting.

**[Key words]** Intermediate-acid rock; Gravity and magnetic characteristics; Three dimensional; Deep prospecting.

### (上接第116页)

(3) 人类进行资源开发和各类经济工程活动之前,必须进行可行性调查研究,不但要考虑自身需要和眼前的经济效益,同时还要从可持续发展的高度,研究开发资源和工程建筑后的环境效果和致灾因素,确保不破坏人类生存环境<sup>[6]</sup>。

### [参考文献]

- [1] 邓雄业,易顺民. 广东省崩塌地质灾害的时空分布特征[J]. 工程地球物理学报. 2008,5(3):356-363.  
[2] 游桂芝,潘庆英. 六盘水市地质灾害现状调查及防治建议

- [J]. 贵州大学学报(自然科学版). 2011,28(4):126-129.  
[3] 马文瀚. 湖南省地质灾害孕灾机理及综合防治研究[D]. 湖南:中南大学,2012.  
[4] 刘德兵,等. 达州市地质灾害的时空分布特征及成因分析[J]. 四川地质学报. 2014,34:31-35.  
[5] 敖向红. 气候变化对喀斯特地区农业的影响及适应策略——以贵州西部六盘水市为例[J]. 贵阳学院学报. 2016,11(1):58-62.  
[6] 张春山,张业成,等. 中国地质灾害时空分布特征与形成条件[J]. 第四纪研究. 2000,20(6):559-566.

## Temporal-spatial Distribution and Influence Factor Analyses of Geologic Disaster in Shuicheng County

YIN Xian-e<sup>1</sup>, CHANG Zhi-sheng<sup>2</sup>

(1. Liupanshui Branch, Guizhou Institute of Geo-environment Monitoring, Liupanshui 553001, Guizhou, China; 2. 113 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Liupanshui 553001, Guizhou, China)

**[Abstract]** Shuicheng county situated in Wumeng mountain area of west Guizhou with high mountains, steep slopes and deep valley, the geographic and geologic conditions are bad, the geologic disaster happened usually. In this paper, according to the important geologic disaster detailed survey of important areas of Shuicheng, the background and leading factors of geologic disaster are studied in natural factors and human activity, by statistic analyses of geologic disaster risk in recent years, the temporal-spatial distribution rules and influence factors are summarized, it indicated the complex geo-environmental condition of Shuicheng is objective, the key point of geologic disaster prevention is reduce the influences of external factors.

**[Key words]** Disaster environment; Temporal-spatial distribution rule; Geologic disaster; Guizhou