

危机矿山重磁资料精细处理与解释： 以湖北省大冶铁矿为例

李淑玲^{1,2}, 孟小红^{1,2}, 范正国³, 姚长利^{1,2}, 于长春³, 郭良辉^{1,2}, 万建华³, 张洪瑞³

1. 地质过程与矿产资源国家重点实验室和地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学地球物理与信息技术学院, 北京 100083

3. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083

摘要: 针对湖北大冶矿区复杂的地质问题, 基于高精度重磁实测数据, 采用三维重磁数据概率分析和物性反演技术, 实现了大冶矿区重磁资料的精细化处理与解释, 为大冶危机矿山深部及外围找矿提供了重要的参考。在无约束条件下对高磁异常源进行了三维概率成像反演, 并结合地质先验信息完成了矿区航磁异常的带地形人机交互三维反演, 预测了矿区沉积岩类与闪长岩体接触带的空间延展形态, 定量反演了矿区的三维物性特征, 反演结果显示在矿区深部(1 000 m 以下)及接触带弯折部位为有利的找矿区域, 目前通过实钻已得到证实。

关键词: 危机矿山; 重磁精细处理与解释; 概率成像; 人机交互三维反演。

中图分类号: P631.2

文章编号: 1000-2383(2007)04-0559-05

收稿日期: 2007-04-12

Application of Fine Gravity and Magnetic Data Processing and Interpretation in the Prospecting of Crisis Mines

LI Shu-ling^{1,2}, MENG Xiao-hong^{1,2}, FAN Zheng-guo³, YAO Chang-li^{1,2}, YU Chang-chun³,
GUO Liang-hui^{1,2}, WAN Jian-hua³, ZHANG Hong-rui³

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources; Geodetic Laboratory of the Ministry of Education, Beijing 100083, China

2. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China

Abstract: Aimed at solving the complicated geological problem of Daye iron deposit in Hubei Province, this paper applies the techniques of probability analysis and physical property inversion to realize fine processing and interpreting of high-precision 3D gravity and magnetic data in the Daye iron deposit, and proposes a significant reference for the prospecting in the deep and surrounding of mines. We inverted the strong aeromagnetic anomaly with 3D probability tomography under no-constraints, completed 3D magnetic interactive inversion with the help of topography and other prior geological information, and forecasted the space extended state for the contact zone of sedimentary rock and diorite in the mining areas. Then we inverted 3D physical property characters within a fixed quantity in the areas. The inverse results show that the significant prospecting zones are distributed in the deep (under 1 000 m) and the flexures of the contact zones in the mining areas. These predicted zones had been proved by the practical logging.

Key words: crisis mines; fine gravity and magnetic data processing and interpreting; probability tomography; three-dimensional interactive inversion.

面对全国危机矿山接替资源找矿的地质需求, 危机矿山“探边摸底”的资源勘查工作迫切要求地球

基金项目: 北京市重点学科“地球探测与信息技术(No. XK104910598)”资助; 国家自然科学基金项目(No. 40674066); 中国地质大学(北京)“地下信息探测技术与仪器”教育部重点实验室开放课题项目(No. GDL0609)。

作者简介: 李淑玲(1971—), 女, 讲师, 现在中国地质大学(北京)从事地球物理科研工作。E-mail: lisl@cugb.edu.cn

物理勘查方法技术推陈出新、数据处理与解释更加精细。由于老矿山经多年开采,地面建筑、浅层矿产开挖状况复杂等人文干扰十分严重,加上老矿山地质构造复杂,其深部及外围可能存在的矿体由于埋深大、规模小(吕志成等,2005),其地球物理异常信号弱,从地球物理总场特征中较难识别与提取,这些因素使得常规较粗放的数据处理与反演解释方法难以适合于危机矿山的深部与外围找矿的要求。因此我们以湖北省大冶铁矿为例,针对矿区复杂的地质条件,探索新的研究思路、数据处理与反演技术,利用三维位场概率成像、特征标定与三维可视化、人机交互三维物性反演等技术,对大冶矿区高精度重磁数据进行了精细处理与解释,取得了新的地质认识,为大冶老矿区的进一步挖潜提供了重要参考。

1 综合控矿地质条件

本文提及的研究区为大冶危机矿山的局部矿段。矿区地处扬子准地台下扬子拗陷褶皱带内,矿床类型属高温热液接触交代的矽卡岩型铁矿。但目前对灰岩与岩体接触带附近发育的大理岩和矽卡岩的成因还存在争议,有新的地质证据(汪劲草等,2006)表明大理岩和矽卡岩为岩浆成因而非热变质接触交代。对接触带内变质岩成因的不同认识直接影响着成矿理论的指导性和矿产勘查的方向。

研究区在燕山期岩浆活动频繁,燕山期岩浆活动与矿床形成密切相关;矿床直接受一系列北西西—南东东向的挤压构造带控制,另外岩体内部的大理岩捕虏体也是重要的控矿因素。控矿岩体主要由燕山期多期次侵入的闪长岩类组成;控矿地层主要为三叠系灰岩。

2 地球物理场特征

重磁异常是铁矿找矿中十分重要的标志,重磁方法是基于矿体与围岩的密度、磁性差异来寻找铁矿的直接、有效的方法(董英君,2006)。在经多年开挖的老矿区内寻找深部及外围铁矿,则需排除浅部矿体及早期开采因素(如回填的矿渣等)带来的影响,提取深部盲矿体引起的仅有几十纳特的弱异常信号(朱永刚和于长春,2006),因此需要深入研究矿区内各类岩矿石的物性特征及重磁场特征,以获得

更精细的处理与解释结果。

矿区内除地表为氧化矿外,铁(铜)矿床主要为富磁铁铁矿的矿床。区内岩矿石的密度特征表现为:磁铁铁矿的密度最大,其与围岩密度差约为 1.0 g/cm^3 ;沉积岩类密度低,约为 2.54 g/cm^3 ;一般闪长岩类密度值稍高于沉积岩类,约为 $2.5 \sim 2.68 \text{ g/cm}^3$;另外接触带附近的沉积岩类因变质作用密度值偏高,平均密度约在 2.70 g/cm^3 以上。区内岩矿石的磁性特征表现为:磁铁铁矿的磁性最强,平均磁化率约为 $80\,000 \times 10^{-5} \text{ SI}$,感应磁化强度稳定,约为 $50\,000 \times 10^{-3} \text{ A/M}$,剩余磁化强度大于感应磁化强度,磁铁铁矿在矿区的不同矿段、矿体的不同深度处因组分、结构等因素的不同表现出明显的磁性差异(朱永刚和于长春,2006);区内沉积岩类基本无磁性,闪长岩类因岩相不同也显示一定的磁性差异($1\,000 \times 10^{-5} \sim 7\,000 \times 10^{-5} \text{ SI}$);接触带附近矿化后的矽卡岩类表现为强磁性,磁化率变化范围较大,约为 $10\,000 \times 10^{-5} \sim 100\,000 \times 10^{-5} \text{ SI}$ 。

结合本区的物性特征和地质信息对重磁场特征进行了比对分析,本区布格重力异常场总体表现为两低夹一高的异常展布特征,北部重力低异常未形成圈闭,与中部呈弧形贯穿东西的重力高异常之间有明显的重力梯级带,南部重力低异常变化较为平缓。重力场特征与区内构造及岩类分布有较好的对应关系,从场源性质分析,南北的重力低异常分别对应闪长岩岩体和沉积岩类,中部的重力高异常对应岩体与沉积岩接触带附近的变质岩类及铁矿床。

另外,本区的航磁异常总体仍表现为两低夹一高的特征,考虑到本区处于中低纬度地区,斜磁化现象较为严重,化极后的磁异常特征与该区构造方向基本一致,表现出北高南低的正负异常伴生,仅在北侧有小范围的未圈闭负异常,在沉积岩类与闪长岩体接触带边缘磁异常强度大,呈线性展布,其上有串珠状的4个圈闭强磁异常,异常幅值达 $2\,000 \text{ nT}$ 。总之,航磁异常特征与构造及岩类分布显示出密切的关系,而且强磁异常带上的局部正异常与已知矿床(段)对应良好。

为了进一步把握重磁异常特征反映的场源性质,我们对重磁异常特征进行了叠合对比分析,分析显示强磁异常区与重力高对应较好,说明在岩体与沉积岩类的接触带附近场源具有较高的同源性。

3 重磁资料精细处理与解释

通过对本区地质条件与地球物理场的综合分析, 确定了重磁资料精细处理与解释的研究方法和技术路线(图 1)。

高精度航磁数据是寻找铁矿直接而有利的证据, 我们基于本区 1 : 1 万高精度航磁实测数据进行了精细处理与解释, 除采用常规位场数据处理方法外, 我们采用了三维位场概率成像、特征标定与三维可视化、人机交互三维物性反演新技术, 取得了良好的应用成果。下面简要介绍磁测数据的精细处理与解释方法及其应用效果。

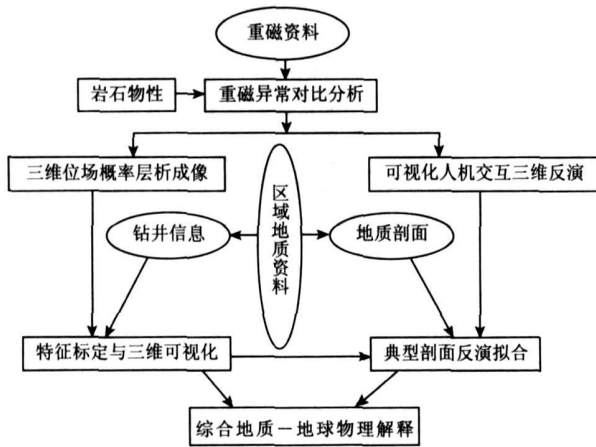


图 1 重磁资料精细处理与解释流程图

Fig. 1 Flow chart of fine gravity and magnetic data processing and interpretation

3.1 三维位场概率成像

概率成像方法在地球物理领域的应用研究始于上世纪末, 意大利物理学家 Paolo and Domenico (1999)首次将概率成像思想用于自然电场异常的解释, 而后推广到重磁研究领域 (Teresa *et al.*, 2000)。

位场概率成像方法是一种重磁场无约束反演方法, 它基于观测位场数据, 通过定义扫描函数与位场的归一化互相关运算, 计算出地下半空间存在场源(质量点源或磁偶极子)的概率值, 从而反映地下异常源的空间展布特征。

位场概率成像方法的基本原理: 首先对勘测区域下半空间进行网格化剖分, 基于观测位场对地下每个网格节点进行反演运算, 得出每个节点相应的概率值, 这个概率值描述的是该点为某个异常点源

的概率为多大, 由此得出整个下半空间所有节点为异常源的概率值, 其结果定性地描述了异常场源的三维空间展布特征。

以重力场为例, 场源位于地下 r_q 点的概率值为:

$$\eta(r_q) = C_q \int_{-x}^x \int_{-y}^y g(r) s(r_q - r) T(z) dx dy .$$

其中:

$$C_q = \left\{ \int_{-x}^x \int_{-y}^y g^2(r) T(z) dx dy \right\}^{-\frac{1}{2}}$$

为归一化因子;

$g(r)$ 为实测重力异常; $s(r_q - r) = \frac{r_q - r}{|r_q - r|^3}$ 为扫描函数;

$T(z) = \sqrt{1 + (\partial_z / \partial x)^2 + (\partial_z / \partial y)^2}$ 为地形在平面上的投影。

由于三维概率发生函数 $\eta(x_q, y_q, z_q)$ 是一个互相关的运算结果, 所以 η 的取值范围为:

$$-1 \leq \eta(x_q, y_q, z_q) \leq +1 .$$

位场概率成像方法的优点在于: 它不依赖任何先验地质信息和约束条件, 仅利用实测位场数据便可实现三维位场概率反演; 反演所得的数据体能直观地反映出地下半空间存在场源概率的三维特征。另外, 该方法能克服常规反演病态、计算量大、计算速度慢等问题, 且能够实现不同地球物理场之间的联合成像。下面简要说明研究区高精度航磁的三维概率成像效果。

我们对化极后的航磁异常进行了三维概率成像反演, 并沿 x 、 y 、 z 不同方向对反演数据体进行了切片式的层析显示(图 2), 从图中可直观地观察地下半空间磁性场源的高低及强磁性地质体的空间展布特征, 另外, 还可根据研究目标的实际需求, 结合地质信息从三维反演数据体中提取任意方向任意范围的剖面成像特征, 如可利用地质剖面的坐标位置提取沿地质剖面的剖面概率成像特征, 以进行综合地质-地球物理定量模拟与解释。

3.2 特征标定与三维可视化

为了进一步细化或更直观地分析与矿体相关的高磁异常区的三维展布特征, 我们利用已知地质信息(如地质剖面、钻井信息等)对三维概率成像数据体进行了特征标定: 首先我们充分利用该区的地质信息, 沿实际地质剖面提取了概率成像剖面特征, 并将矿区已知的钻井信息(井位、井深、见矿及见矿深度与规模等)综合投影在航磁概率成像剖面图中, 对见矿与非见矿信息以不同的色标进行特征分类与

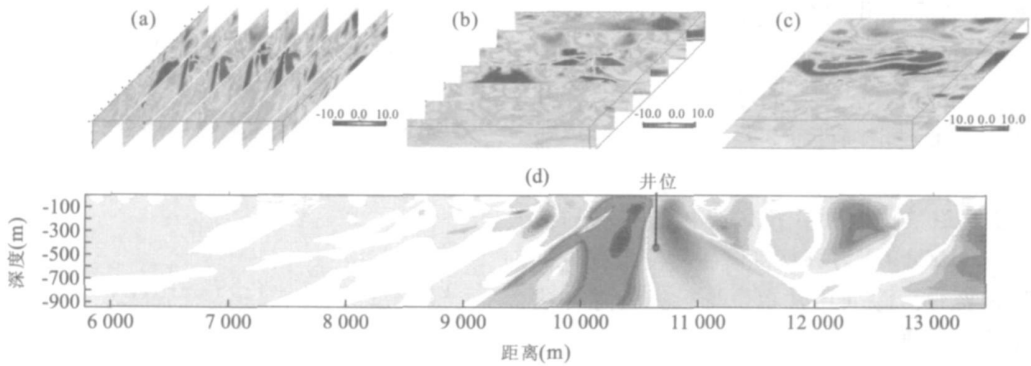


图 2 三维概率成像图

Fig. 2 Three-dimensional probability tomography

a. 沿 X 轴方向的概率成像图; b. 沿 Y 轴方向的概率成像图; c. 沿 Z 轴方向的概率成像图; d. 沿某地质剖面提取的同范围概率成像图

平、剖面的特征标定(图 2d), 并将统一标定色标应用于整个三维概率成像数据体, 完成三维概率成像数据体的特征标定. 此后, 利用三维可视化技术全方位地展示了矿区三维概率成像效果(图 3), 二者的结合可随意显示某一特征值范围内场源概率的三维展布特征, 这对于直观而形象地分析和预测目标地质体的实际赋存形态具有重要的启发意义, 对后续定量解释中的地质建模提供了新思路, 如高磁异常源的三维展布范围、岩体与沉积岩类接触带的三维展布特征等.

3.3 可视化人机交互三维物性反演

可视化人机交互三维物性反演是当前实用性很强的位场定量反演新方法, 通过人与计算机的高度互动, 完成地质模型的平剖面联合建模与正反演拟合计算. 本方法的优点是可以借助已知地质、地球物理信息建立地质模型进行三维物性反演, 反演时利用丰富的先验信息进行约束, 约束信息越丰富, 反演结果越切合实际的地质情况.

考虑到矿山浅部地质特征大部分已由钻井控制, 利用如地层、岩体、接触带、矿体的磁性与赋存形态等已知的地质剖面信息, 建立起浅层地质模型; 另外, 根据三维概率成像的平面及剖面反演结果, 辅助建立深部地质模型. 在如上两种信息相互补充的基础上完成研究区地质模型的建立, 以实现带地形条件下的三维物性反演. 图 4 为测区内沿某一勘探线的航磁异常人机交互物性反演剖面.

3.4 三维重磁反演结果的地质解释

如上所述, 我们基于大冶老矿区高精度实测航磁数据, 进行了三维位场概率成像反演, 预测了老矿区主要控矿带(沉积岩类与闪长岩体的接触带)在三维

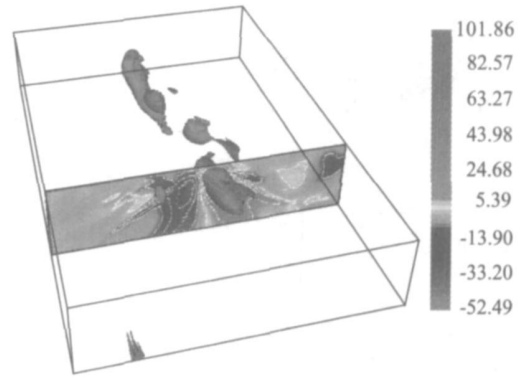


图 3 高磁异常源的三维可视化概率成像图

Fig. 3 3D visualization of probability tomography of high magnetic anomaly

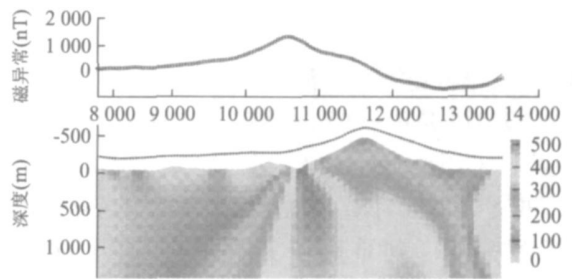


图 4 航磁异常人机交互反演剖面

Fig. 4 Interactive inversion profile of magnetic anomaly

空间上的延展形态及变化趋势, 分析认为沉积岩类与闪长岩体间的接触带形态复杂, 接触带的浅部表现为向沉积岩一侧的陡倾状, 深部并没有继承浅部的延展趋势, 接触带在深度约 500 m 以下向岩体一侧发生扭曲偏移; 另外结合强磁异常源的三维概率成像结果和人机交互物性反演结果, 推测了矿区深部(约 1 km 以

下)及接触带弯折部位是盲矿(磁铁矿)的有利赋存区域,并提出了钻井布设建议,目前通过实钻在900 m以下已发现具有开采价值的磁铁矿。

4 结论

近年来,用于矿产资源勘查的重磁数据处理新方法有了很大的发展,数据处理与解释技术也更趋于精细化,某些新方法技术如小波分析(刘大为等,2005,刘天佑等,2007)、三维重磁反演(刘天佑等,2006)等在危机矿山挖潜中已经取得了明显的地质找矿效果。但由于危机矿山成矿条件与现存地质条件非常复杂,靠单一方法找矿难度大、盲点多,因此加强地质理论指导、重视物化探等方法的结合(李惠等,2006)、加强各类新方法技术的联合应用,通过信息的相互补充与印证来提高重磁数据处理与解释的精度和可靠性。

本文针对大冶矿区实际的地质问题,采用新思路与新方法对高精度重磁资料进行了精细处理与解释,取得了有意义的地质认识,为危机矿山深部及外围找矿作出了有益的探索与研究。

References

- Dong Y. J., 2006. Effects of applying gravity and magnetic method to exploration of iron deposits: Case study of Madao iron deposit in Jianchang County, Liaoning Province. *Mineral Deposits*, 25(3): 321—328 (in Chinese with English abstract).
- Li H., Cen K., Shen Y. L., et al., 2006. New geochemical methods and best technique combination for prediction of blind orebody in the deep and surrounding of crisis mines. *Geology and Prospecting*, 42(4): 62—66 (in Chinese with English abstract).
- Liu D. W., Liu T. Y., Dong J. H., 2005. Application of wavelet multi-scale analysis in magnetic prospecting of the burnt coal area. *Coal Geology and Exploration*, 33(6): 61—63 (in Chinese with English abstract).
- Liu T. Y., Liu D. W., Zhan Y. L., et al., 2006. The application of new magnetic data processing methods to the potentiality exploration in crisis mines. *Geophysics and Geochemical Exploration*, 30(5): 377—381 (in Chinese with English abstract).
- Liu T. Y., Wu Z. C., Zhan Y. L., et al., 2007. Wavelet

multi-scale decomposition of magnetic anomaly and its application in searching for deep-buried minerals in crisis mines: A case study from Daye iron mines. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(1): 135—140.

- Lü, Z. C., Dai Z. X., Lin, Z. Y., et al., 2005. The mineralization theories and techniques related to the exploration for continued resources of the crisis mines. *Resources and Industries*, 7(3): 80—84 (in Chinese with English abstract).
- Paolo, M., Domenico, P., 1999. Principles of probability tomography for natural-source electromagnetic induction fields. *Geophysics*, 64(5): 1403—1417.
- Teresa, I., Paolo, M., Domenico, P., 2000. Looking inside Mount Vesuvius by potential fields integrated probability tomographies. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113: 363—378.
- Wang J. C., Zhao, B., Zhao, J. S., et al., 2006. Magmatogenic marble discovered in contact zone of Daye iron deposit. *Journal of Guilin University of Technology*, 26(2): 302—304 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Y. G., Yu C. C., 2006. Analysis of magnetic properties of Daye iron deposition in Hubei Province. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 21(Suppl.): 155—159.

附中文参考文献

- 董英君, 2006. 应用重磁方法勘查铁矿的效果——以辽宁建昌县马道铁矿为例. *矿床地质*, 25(3): 321—328.
- 李惠, 岑况, 沈辅立, 等. 2006. 危机矿山深部及其外围盲矿预测的化探新方法及其最佳组合. *地质与勘探*, 42(4): 62—66.
- 刘大为, 刘天佑, 董建华. 2005. 小波多尺度分析在煤田火烧区磁法探测中的应用. *煤田地质与勘探*, 33(6): 61—63.
- 刘天佑, 刘大为, 詹应林, 等. 2006. 磁测资料处理新方法以及在危机矿山挖潜中的应用. *物探与化探*, 30(5): 377—381.
- 刘天佑, 吴招才, 詹应林, 等. 2007. 磁异常小波多尺度分解及危机矿山的深部找矿: 以大冶铁矿为例. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(1): 135—140.
- 吕志成, 戴自希, 蔺志永, 等. 2005. 危机矿山接替资源找矿勘查相关成矿理论与技术方法. *资源与产业*, 7(3): 80—84.
- 汪劲草, 赵斌, 赵劲松, 等. 2006. 大冶铁矿接触带发现岩浆成因的大理岩. *桂林工学院学报*, 26(2): 302—304.
- 朱永刚, 于长春. 2006. 湖北省大冶铁矿区矿石磁性特征分析. *地质找矿论丛*, 21(增刊): 155—159.