

铁矿床深部矿体定位预测的一种新途径 ——以西藏恰功铁矿为例

李志华¹, 贾文¹, 张玲玲¹, 刘兴平², 范云飞¹, 王超勇¹

(1 内蒙古自治区矿产实验研究所, 呼和浩特 010031; 2 湖北省鄂东北地质大队, 孝感 432100)

[摘要] 恰功铁矿是近几年新发现的矿山, 矿体的形态、大小、位置、产状、边界等几何特征还没有清楚的认识, 为了弄清这些问题, 文章首先通过小波多尺度分析方法将恰功铁矿磁异常资料进行了位场信号分离, 然后应用欧拉反褶积方法反演了异常与其场源深度的对应定量关系, 最后把位场分离后的异常场源深度叠加起来, 就可以对矿山深部找矿提供一种全新的思路。

[关键词] 深部矿体定位预测 地面高精度磁法测量 离散小波变换 欧拉反褶积方法 恰功铁矿
[中图分类号] P618.31; P631.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2009)02-0090-08

Li Zhi-hua, Jia Wen, Zhang Ling-ling, et al. A new defining method of deep concealed ore bodies, a case study at the Qiagong iron deposit in Tibet[J]. *Geology and Exploration*, 2009, 45(2): 90-97.

0 引言

恰功铁矿位于西藏谢通门县, 地理坐标东经 88°24'20", 北纬 29°52'15", 海拔 5150m, 是近几年新发现的矿山, 矿体的形态、大小、位置、产状、边界等几何特征还没有清楚的认识。2006 年, 使用 ENV1 型质子磁力仪, 在矿区内进行了比例尺为 1:1 万地面高精度磁法测量, 目的之一就是查清异常分布, 确定磁性地质体的位置、产状及边界。

1 矿区地质特征

恰功铁矿区出露的主要地层为白垩系下统 - 塔克那组 (K_1t)、白垩系上统 - 古新统典中组 (K_2E_1d)、古近系始新统 - 年波组 (E_2n) 和第四系残坡积物^[1]。矿区中部分布塔克那组 (K_1t), 主要岩性为浅灰 - 深灰色中薄层灰岩夹泥质粉砂岩、粉砂岩。典中组 (K_2E_1d) 分布于矿区北部, 在南边也有少量出露, 与北东部的年波组呈平行不整合接触, 主要岩性为浅灰色晶屑凝灰岩、角砾凝灰岩等。年波组 (E_2n) 分布于矿区北东, 其岩性主要为角砾熔岩、熔结凝灰岩等。受构造和岩浆热液的影响, 岩石中具绿帘石化、绿泥石化和褐铁矿化蚀变现象。出露的岩浆岩有中新世中粗粒斑状黑云二长花岗岩 ($N_1\eta\gamma$) 和始新世细粒闪长岩 ($E_2\delta$), 分布于矿区的南部和西部, 与塔克那组 (K_1t)、年波组 (E_2n) 地层

侵入接触, 形成接触带构造 (图 1)。

2 方法技术原理

地面高精度磁法测量应用于矿产勘查, 不仅效果较好, 而且快速、高效、经济, 是寻找铁矿的一种有效手段。磁测数据经日变校正、正常场校正、高度校正、基点校正之后, 磁异常反映的是来自不同深度和不同尺度源体的位场叠加, 既体现了地质体的纵向分层, 同时也体现了地壳密度的横向不均匀。如何从磁异常中有效的分离出反映其纵向不同尺度地质体产生的异常场, 从而研究其几何形态、物性参数等诸多地球物理问题, 一直是人们努力探索的目标。传统的解析延拓、匹配滤波等方法总是不尽人意, 也很难进行位场的分离, Fourier 分析方法只能获得信号的整体频谱, 不能获得信号的局部特性。小波多尺度分析方法是数据处理的一种新方法, 能够将实测磁异常精细地分解到多个不同尺度上来反映不同深度地质体产生的异常, 从而获得目的地质体的形态、埋深等信息^[2]。然而, 位场信号分离后, 与其场源深度的对应定量关系, 一直困扰着地球物理学家。欧拉反褶积方法是一种对重、磁位场数据进行快速反演解释的方法, 并能在较少先验信息的情况下自动或半自动地确定场源位置、解释场源起因, 有效地圈定出构造体的范围, 推算出构造体的具体位置的方法^[3-10]。

[收稿日期] 2008-07-21; [修订日期] 2008-10-17。[责任编辑] 杨欣。

[第一作者简介] 李志华 (1982—), 男, 2008 年毕业于中国地质大学地球探测与信息技术专业, 获硕士学位, 助理工程师, 现主要从事地球物理资料处理与解释方面的应用研究。

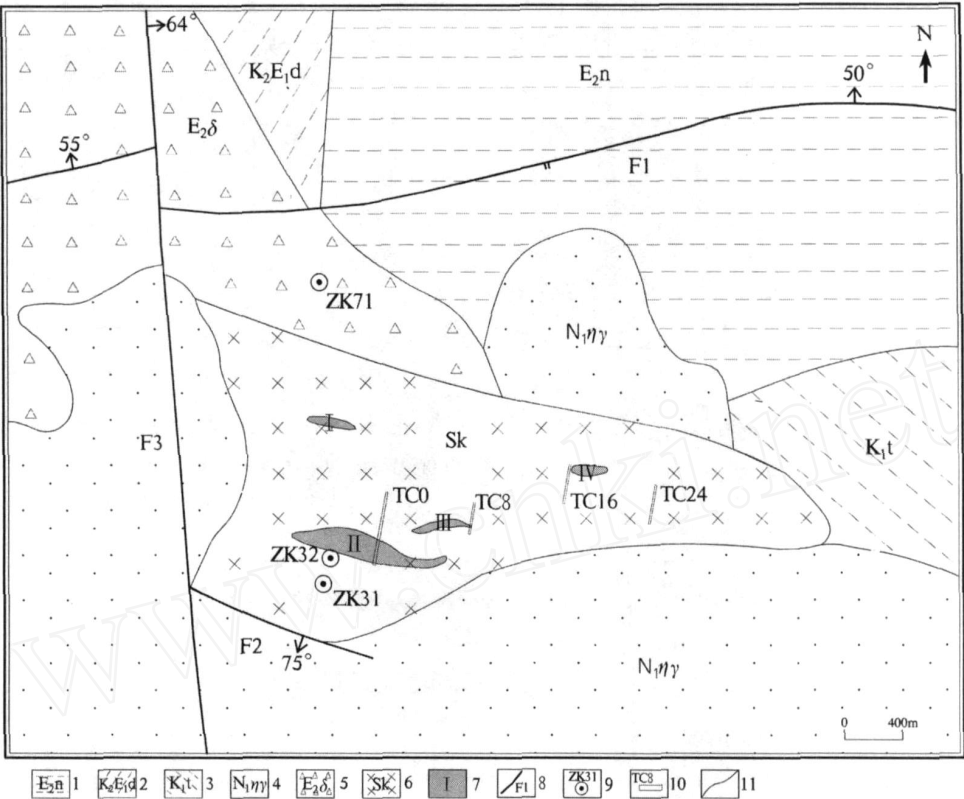


图 1 恰功铁矿地质图

Fig 1 The geological sketch map of Qiagong iron mine

1—古近系 - 始新统年波组; 2—白垩系上统 - 下第三系古新统典中组; 3—白垩系下统 - 塔克那组; 4—中新世中粗粒斑状黑云二长花岗岩; 5—始新世细粒闪长岩; 6—矽卡岩带; 7—铁矿体; 8—断层; 9—钻孔位置及编号; 10—探槽位置及编号; 11—地质界线
1—Nianbo formation of Paleogene-Eocene; 2—Dianzhong formation of upper Cretaceous-lower Tertiary Palaeocene; 3—Takna formation of lower Cretaceous; 4—The medium-coarse grained porphyritic biotite adamellite of Miocene; 5—The fine grained diorite of Eocene; 6—Skarn zone; 7—Ore body; 8—Fault; 9—Drillholes and its numbers; 10—Trenches and its numbers; 11—Geologic boundary

基于以上想法,笔者提出了一种新的基于位场信号小波多尺度分离方法和欧拉反褶积反演方法相结合的深部矿体定位预测方法,并把该方法应用于西藏恰功铁矿实测磁异常资料,初步估计了异常与其场源深度的定量关系。

3 实例应用

3.1 矿区磁异常特征

磁异常是地下所有地质异常体的综合反映,是深、中、浅各层所产生的磁异常的相互叠加。由于受倾斜磁化的影响,对 ΔT 异常直接进行解释往往比较困难;而垂直磁化条件下的垂直磁异常与磁性体之间的对应关系就简单密切得多。因此在解释 ΔT 异常之前我们常常先做化极处理。化极后的磁异常分布与场源的平面分布位置有更直接的对应关系^[11,12]。

该测区地磁倾角 (I) 为 45.7° ;地磁偏角 (D) 为 0.1° ;属于中磁纬度地区,存在明显的斜磁化影响。

在原磁场图上异常存在正负伴生现象,特别是规模较大的岩体磁异常叠加比较严重,使得磁场面貌复杂,较难分辨 (图 2 - a)。

该区化极处理后,斜磁化影响大为减弱,形成了具有一定地质意义的正负异常带或正负异常区块 (图 2 - b)。大部分磁异常经化极处理后异常范围扩大,形态简化,正异常极值减小且向北偏移约 10m,轴向变化约 5 左右,一些叠加在主异常上的微弱局部异常更加明显,特别是正负相伴的局部异常与矽卡岩不同岩相有关,化极为更准确地确定磁性地质体的位置和边界提供了依据。化极后磁异常水平分量 H_x 的负值条带与化极后磁异常垂直导数 D_z 零值线对应,反映了接触带的走向形态。

根据 1:1 万地面磁测初步成果,从 T 等值线图 and T 化极等值线图可以看出,矿区共有 10 处较强的磁异常,具有如下分布规律: (1) 异常形态多为等轴状或近等轴状,异常大小不一,小的异常 300 ~

400m,大的异常超过 1300m; (2)在已知铁矿上方,磁异常值较高,从 T 化极等值线图可以看出,异常体边缘比较清晰,特征也很突出。

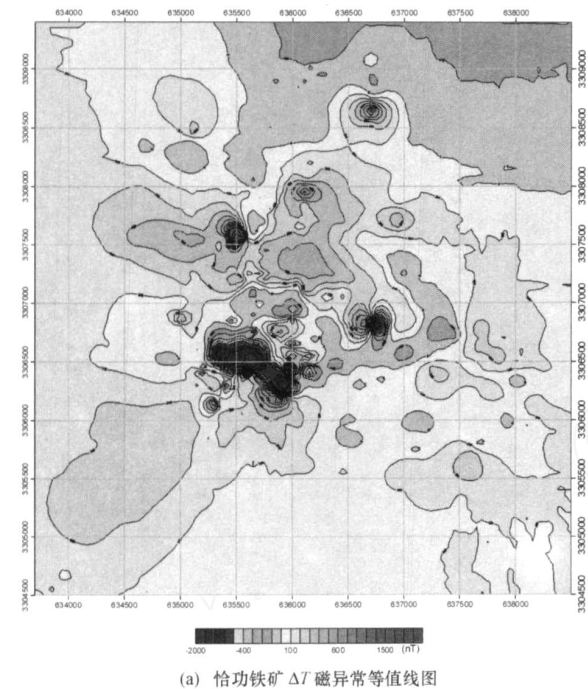
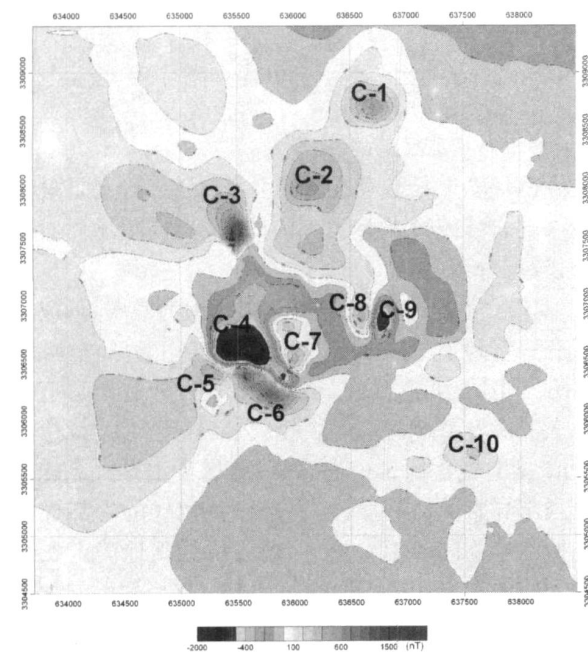


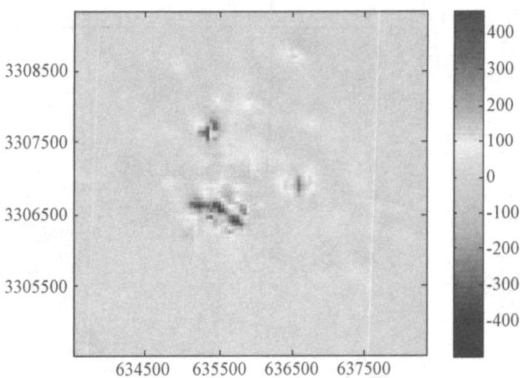
图 2 - a 恰功铁矿 ΔT 磁异常等值线图

Fig. 2 - a The contour map of magnetic anomaly of Qiaogong iron mine



(b) 恰功铁矿区 ΔT 磁异常化极等值线图及异常编号

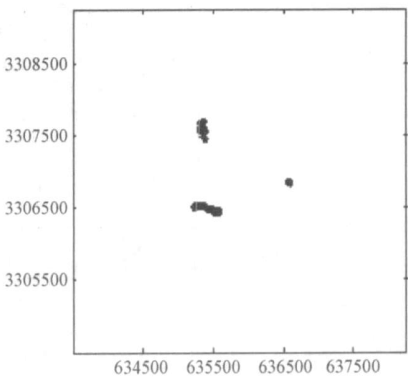
图 2 - b 恰功铁矿区 ΔT 磁异常化极等值线图及异常编号
Fig. 2 - b The contour map of reducing magnetic anomaly to the pole and its anomaly numbers



(a) 小波多尺度分解一阶细节等值线图

图 3 - a 小波多尺度分析一阶细节等值线图

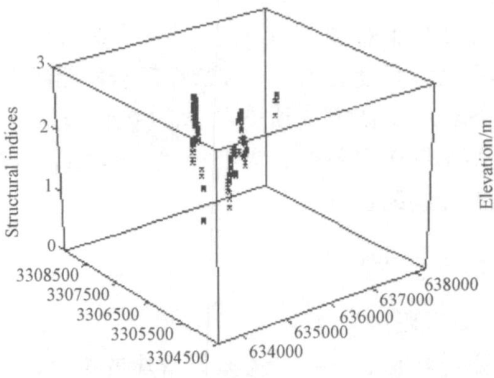
Fig. 3 - a The contour map of magnetic anomaly for one order detail of wavelet multi - scale analysis



(b) 一阶细节场源位置水平投影图

图 3 - b 一阶细节场源位置水平投影图

Fig. 3 - b The horizontal projection map of source for one order detail of wavelet multi - scale analysis



(c) 一阶细节场源构造指数 3D 图

图 3 - c 一阶细节场源构造指数 3D 图

Fig. 3 - c 3D graph of structural indices for one order detail sources of wavelet multi - scale analysis

3 2 磁异常小波多尺度分解结果

为了提高磁场的垂向分辨率,我们通过小波分解做了有益的尝试,把异常按照不同的频段分解开

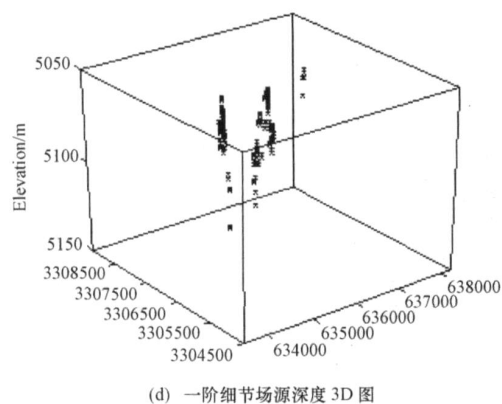


图 3 - d 一阶细节场源深度 3D 图

Fig 3 - d 3D graph of depths for one order detail sources of wavelet multi - scale analysis

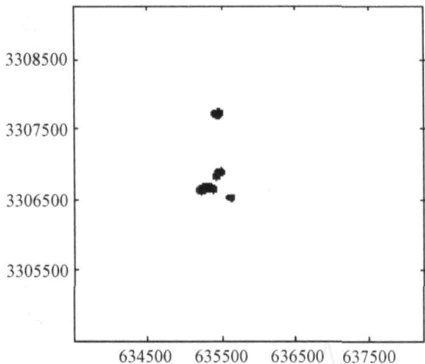


图 4 - b 二阶细节场源位置水平投影图

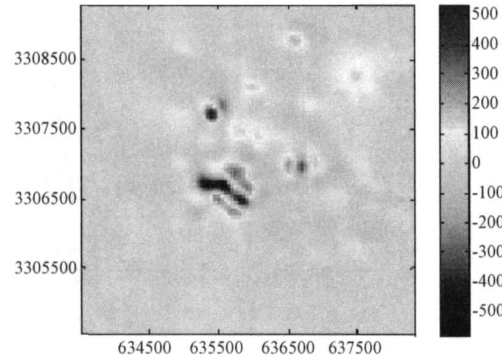
Fig. 4 - b The horizontal projection map of source for two order detail sources of wavelet multi - scale analysis

来,图 3 - a ~ 7 - a 是恰功铁矿磁异常化极后一 ~ 五阶分解细节等值线图:

1)从图 3 - a 可以看出:小波多尺度分解一阶细节异常范围较 T 异常小,异常数量较少,这一特点在理论上解释是由于 T 异常值减去小波多尺度分解一阶逼近值得到,相对于 T 异常它更突出最浅层的磁源体异常和干扰,即对浅部的磁源异常体和各种干扰具有较高的分辨率。与 T 异常比较,在理论上必然是数量少,垂直梯度比较大,圈闭比较小,这一点与实际结果是相一致的。

2)二阶细节 (图 4 - a)异常范围较一阶大,高频干扰异常被压制,有意义的局部异常基本保留;已经初步显示出浅层磁性地质体的平面位置与轮廓。

3)三阶细节 (图 5 - a)包含的信息比较丰富,规模较小的局部异常衰减很快,中等规模的异常明显突出;基本上把浅层磁源体异常和干扰滤掉了,突出了中、深层磁性体的异常特征。



(a) 小波多尺度分解二阶细节等值线图

图 4 - a 小波多尺度分析二阶细节等值线图

g 4 - a The contour map of magnetic anomaly for two order detail of wavelet multi - scale analysis

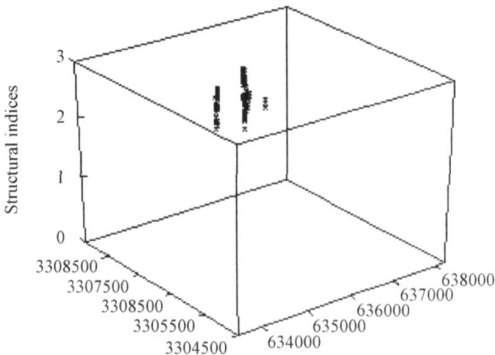


图 4 - c 二阶细节场源构造指数 3D 图

Fig. 4 - c 3D graph of structural indices for two order detail sources of wavelet multi - scale analysis

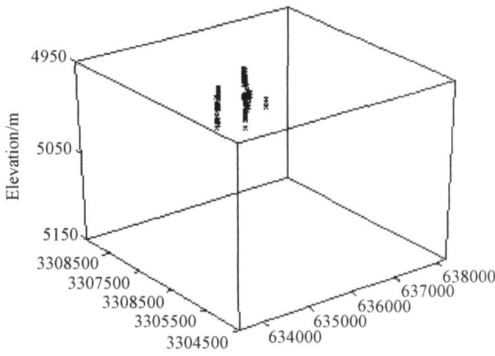


图 4 - d 二阶细节场源深度 3D 图

Fig. 4 - d 3D graph of depths for two order detail sources of wavelet multi - scale analysis

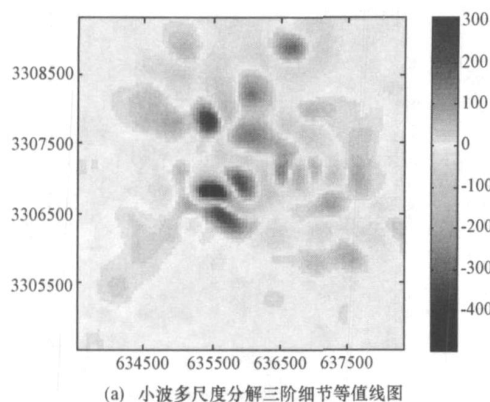


图 5 - a 小波多尺度分解三阶细节等值线图

Fig.5 - a The contour map of magnetic anomaly for three order detail of wavelet multi - scale analysis

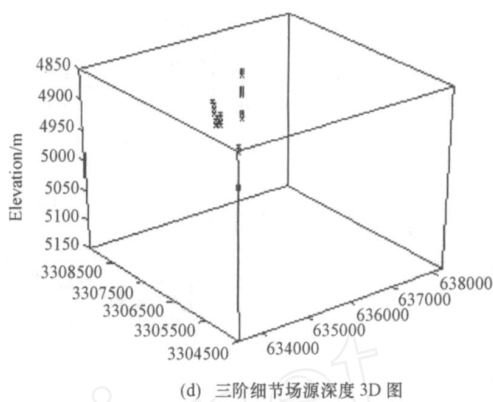


图 5 - d 三阶细节场源深度 3D 图

Fig.5 - d 3D graph of depths for three order detail sources of wavelet multi - scale analysis

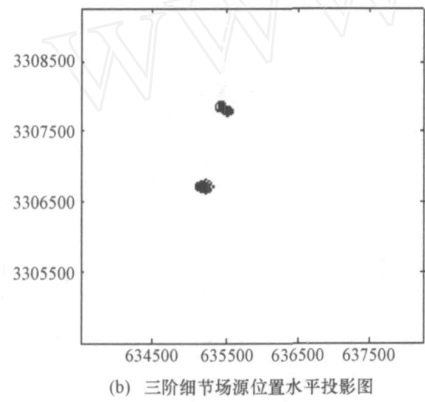


图 5 - b 三阶细节场源位置水平投影图

Fig.5 - b The horizontal projection map of source for three order detail sources of wavelet multi - scale analysis

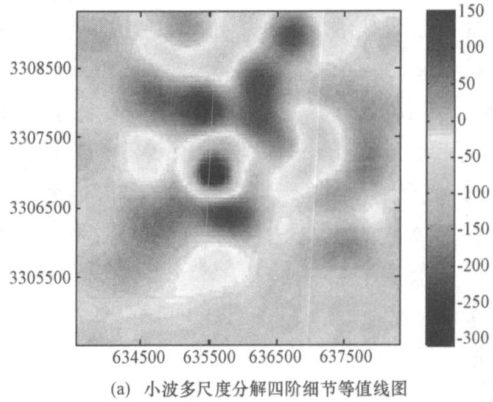


图 6 - a 小波多尺度分解四阶细节等值线图

Fig.6 - a The contour map of magnetic anomaly for four order detail of wavelet multi - scale analysis

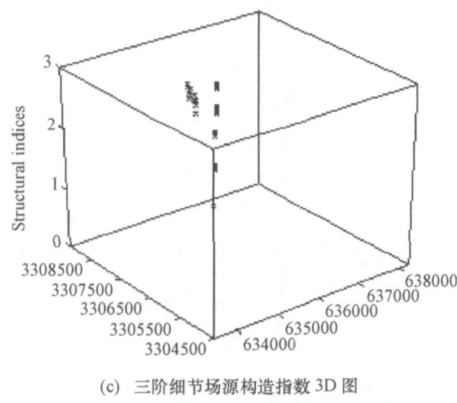


图 5 - c 三阶细节场源构造指数 3D 图

Fig.5 - c 3D graph of structural indices for three order detail sources of wavelet multi - scale analysis

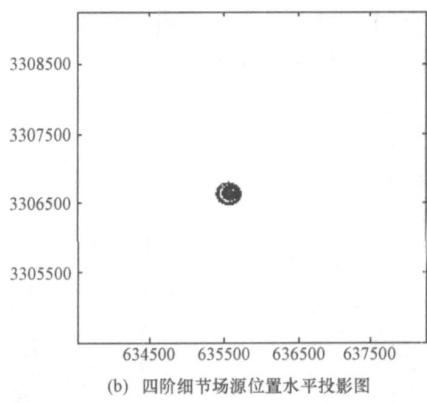
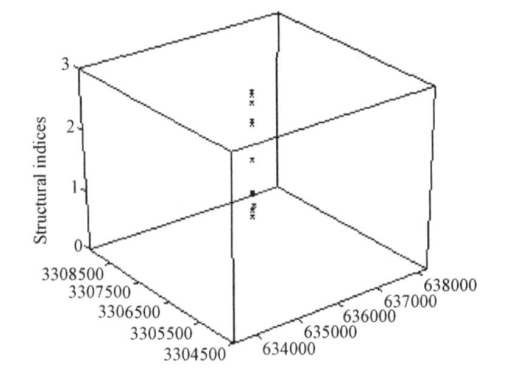


图 6 - b 四阶细节场源位置水平投影图

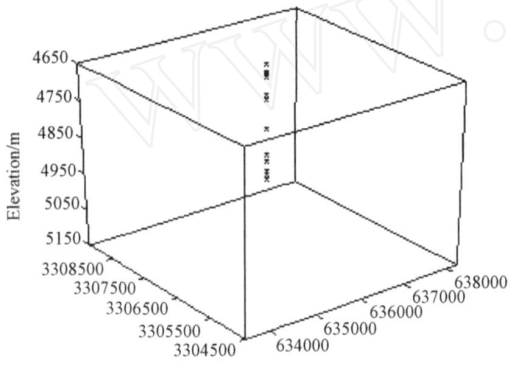
Fig.6 - b The horizontal projection map of source for four order detail sources of wavelet multi - scale analysis



(c) 四阶细节场源构造指数 3D 图

图 6 - c 四阶细节场源构造指数 3D 图

Fig. 6 - c 3D graph of structural indices for four order detail sources of wavelet multi - scale analysis



(d) 四阶细节场源深度 3D 图

图 6 - d 四阶细节场源深度 3D 图

Fig. 6 - d 3D graph of depths for four order detail sources of wavelet multi - scale analysis

(4)四阶细节 (图 6 - a)反映的是较深层磁性体异常信息。

(5)五阶细节 (图 7 - a)反映的是深部磁性体异常特征。

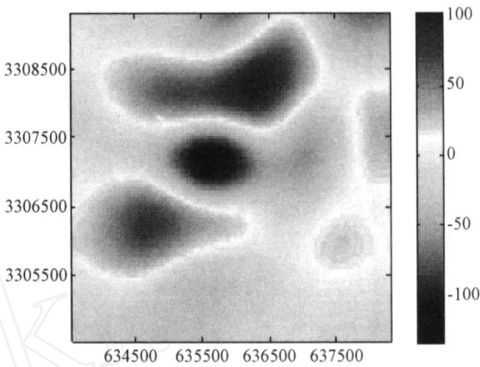
3.3 欧拉反褶积方法反演结果

文章应用欧拉反褶积方法反演了恰功铁矿区小波多尺度分解一~五阶细节结果与其对应场源的水平位置和深度 (图 3~图 7)。

从反演结果看该矿区的异常分布比较集中,主要反映的是 C - 3、C - 4和 C - 6异常。

从场源深度反演结果可知,小波多尺度分解一阶细节反映的是浅部矿体异常信息,反演场源深度大约 0~100m;二阶细节反演的场源深度大约 100~200m;三阶细节反演的场源深度大约 100~300m;四阶细节反演的场源深度大约 200~500m;五阶细节反演的场源深度主要集中在 300~600m。

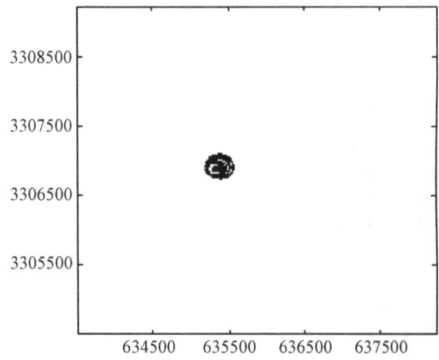
通过小波多尺度分解,就可以把磁异常信号从高频到低频一层一层的分离,也可以把深部弱信号提取出来,并通过欧拉反褶积方法初步估计异常信号与其场源深度的定量关系。把一~五阶场源深



(a) 小波多尺度分解五阶细节等值线图

图 7 - a 小波多尺度分解五阶细节等值线图

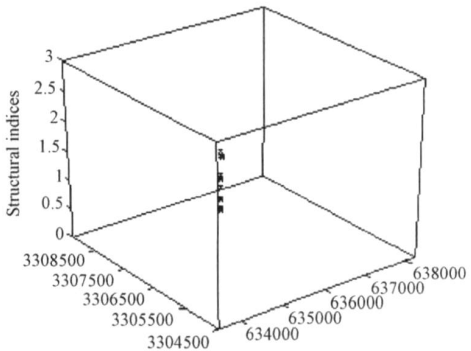
Fig. 7 - a The contour map of magnetic anomaly for five order detail of wavelet multi - scale analysis



(b) 五阶细节场源位置水平投影图

图 7 - b 五阶细节场源位置水平投影图

Fig. 7 - b The horizontal projection map of source for five order detail sources of wavelet multi - scale analysis



(c) 五阶细节场源构造指数 3D 图

图 7 - c 五阶细节场源构造指数 3D 图

Fig. 7 - c 3D graph of structural indices for five order detail sources of wavelet multi - scale analysis

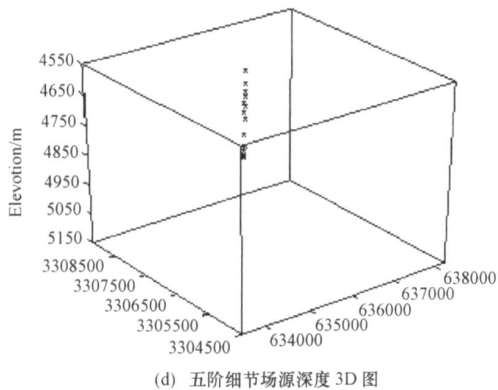


图 7 - d 五阶细节场源深度 3D 图

Fig 7 - d 3D graph of depths for five order detail sources of wavelet multi - scale analysis

度叠加起来可以发现,在 C - 4 和 C - 6 异常处两条岩脉呈倒八字形由地表向下延伸,由统计学原理和成矿构造动力学原理可以预测这两条岩脉在深部可能相交^[13],反映的场源似深度为 0 ~ 600m。在 C - 3 异常布置了 ZK71 钻孔进行验证,从钻探情况来看,7.85 ~ 85.60m 主要是中细粒石英闪长玢岩,85.60 ~ 138.64m 为角砾熔岩、熔结凝灰岩等,在 138.64 ~ 166.37m 岩石中见有阳起石 - 绿帘石 - 钠长石组合青磐岩化现象,节理裂隙发育,沿裂隙面有细脉浸染状黄铁矿化充填,磁铁矿化较少见到,166.37 ~ 177.09m 岩石破碎,见有绿帘石化、透辉石化碎裂岩。在 C - 6 异常布置了 ZK32 钻孔进行验证,钻孔中 55.99 ~ 72.49m 和 106.95 ~ 118.54m 见两层磁铁矿,深部异常还有待于边采边探进一步验证^[14,15]。

4 结论

磁异常是地下所有地质异常体的综合反映,是深、中、浅各层所产生的磁异常的相互叠加,在这种情况下,低频信号被高频信号屏蔽,使得深部磁性体的弱磁信号不能被显现出来。小波多尺度分析方法是数据处理的一种新方法,可以提高磁场的垂向分辨率,把不同深度磁性体的异常特征在垂直梯度上分解开来;而欧拉反褶积方法不需要很多的先验信息,不用考虑磁场的磁化方向,不需假设任何特定的地质模型,通过解欧拉方程就可以快速、较准确地确定场源体的水平位置和深度。这样,把两者有机结合起来,就可以对矿山的深部找矿提供一种全新的思路。

[参考文献]

- [1] 西藏自治区地质矿产厅. 1:20 万谢通门幅区域地质调查报告 [R]. 拉萨:西藏自治区地质矿产厅, 1996.
Department of Geology and Mineral Resources of Tibet Autonomous Region, Report of regional geological survey on the scale 1:200000 in Xietongmen area [R]. Lhasa: Department of Geology and Mineral Resources of Tibet Autonomous Region, 1996.
- [2] 徐长发, 李国宽. 实用小波方法 (第二版) [M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2004.
Xu Chang-fa, Li Guo-kuan, Practical wavelet method (The Second Edition) [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2004.
- [3] 秦葆瑚. 用欧拉方程估算埋深和形状因数 [J]. 物探化探计算技术, 1998, 20: 351 - 356.
Qin Bao-hu. Estimation of buried depth and form coefficient by Euler Formula [J]. Computing Techniques For Geophysical and Geochemical Exploration, 1998, 20: 351 - 356.
- [4] 张季生. 增强解析信号技术的应用条件 [J]. 物探与化探, 1999, 23 (4): 296 - 300.
Zhang Ji-sheng. The application conditions of the technique for the enhancement of analytic signals [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1999, 23 (4): 296 - 300.
- [5] 张季生. 用三维解析信号技术处理华南航磁异常 [J]. 物探与化探, 2000, 24 (3): 190 - 196.
Zhang Ji-sheng. The application of 3D analytical signal technique to the treatment of aeromagnetic anomalies in south China [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2000, 24 (3): 190 - 196.
- [6] 刘沈衡, 吴燕冈, 李永朴. 利用欧拉算法反演磁性界面 [J]. 石油物探, 2000, 39: 101 - 106.
Liu Shen-heng, Wu Yan-gang, Li Yong-pu. Magnetic interface inversion by Euler algorithm [J]. Geophysical Prospecting For Petroleum, 2000, 39: 101 - 106.
- [7] 姚长利, 管志宁, 吴其斌, 等. 欧拉反演方法分析及实用技术改进 [J]. 物探与化探, 2004, 28 (2): 150 - 155.
Yao Chang-li, Guan Zhi-ning, Wu Qi-bin, et al. An analysis of Euler deconvolution and its improvement [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28 (2): 150 - 155.
- [8] Thompson, D. T. A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data: Geophysics, 1982, 47: 32 - 38.
- [9] Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., et al. Magnetic interpretation in three dimension using Euler deconvolution: Geophysics, 1990, 55: 80 - 91.
- [10] Daniela Gerovska, Marcos J. Araizo-Bra. Automatic interpretation of magnetic data based on Euler deconvolution with unspecified structural index, Computers & Geosciences, 2003, 29: 949 - 960.
- [11] 姚长利, 黄卫宁, 张聿文, 等. 直接阻尼法低纬度磁异常化极技术 [J]. 石油地球物理勘探. 2004, 39 (5): 600 - 606.
Yao Chang-li, Huang Wei-ning, Zhang Yu-wen, et al. Reduction-to-the-pole of magnetic anomalies at low latitude with direct damp-

ing method [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39 (5): 600 - 606.

[12] 傅群和,李朗田,匡清国,等. 鄂东地区金山店铁矿重磁异常特征及资源潜力预测 [J]. 地质与勘探, 2008, 44 (3): 60 - 64.

Fu Qun-he, Li Lang-tian, Kuang Qing-guo, et al Gravity and magnetic anomaly characteristics and resource potential prediction in the jinshandian ore mine, eastern hubei province[J]. Geology and Exploration, 2008, 44 (3): 60 - 64.

[13] 姚凤良,孙丰月. 矿床学教程 [M]. 北京:地质出版社, 2006.

Yao Feng-liang, Sun Feng-yue Ore mineralogy [M]. Beijing: Geological Press, 2006.

[14] 刘国平,汪东波,祝新友,等. 生产矿山深部及外围找矿潜力巨大——夹皮沟金矿区勘查历史的启示 [J]. 地质与勘探. 2001, 37 (2): 37 - 40.

Liu Guo-ping, Wang Dong-bo, Zhu Xin-you, et al Study on mineral exploration at the depth and adjacent to mining districts [J]. Geology and Exploration, 2001, 37 (2): 37 - 40.

[15] 刘玉成,杨艺华,王永基. 大冶铁矿控矿构造研究及深部隐伏矿体定位预测 [J]. 地质与勘探, 2006, 42 (6): 10 - 16.

Liu Yu-cheng, Yang Yi-hua, Wang Yong-ji Ore - controlling structures and orientation prognosis of deep concealed ores in the Daye iron mine[J]. Geology and Exploration, 2006, 42 (6): 10 - 16.

A New Defining Method of Deep Concealed Ore Bodies, a Case Study at the Qagong Iron Deposit in Tibet

LI Zhi-hua¹, JIA Wen¹, ZHANG Ling-ling¹, LU Xing-ping², FAN Yun-fei¹, WANG Chao-yong¹
(1. Inner Mongolia Minerals Experiment Research Institute, Huhhot 010031;
2. The Geology Brigade of Northeastern Hubei, Xiaogan 432100)

Abstract: The Qagong Iron deposit is a newly discovered deposit, but geometric characteristics of its ore body such as the shape, size, position, occurrence and boundary have not been fully tested. Based on a wavelet and multi - scale analysis and Euler deconvolution method, the vertical signal of potential field is separated and the sources depth is estimated. The two methods mentioned above are jointly used to detect the magnetic source depths, which could play an important role in locating the deep - buried orebodies.

Key words: orientation prognosis of deep concealed ore body, high - accuracy ground magnetic survey, discrete wavelet transform, euler deconvolution method, Qagong iron deposit