

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2018.04.018

内蒙古翁公敖包航磁异常的推断与解释

郭玉峰¹, 张鹏^{1,2}, 万佳宇¹, 黄金辉¹, 田华¹, 田亮¹, 李乐¹

(1. 中国冶金地质总局地球物理勘查院, 河北 保定 071051;

2. 中国矿业大学地球科学与测绘工程学院, 北京 100083)

摘要: 文章对内蒙古四子王旗—土默特右旗中北部近年发现的翁公敖包航磁异常进行推断与解释, 在对找矿有望的航磁异常进行筛选后, 对翁公敖包航磁异常进行了野外地质-地球物理查证, 确定异常为铁矿所致; 采用向上延拓、垂向导数、斜导数及小波变换等方法对航磁异常进行数据转换处理, 以获取铁矿体的横向及纵向分布信息, 取得了较好的效果。

关键词: 翁公敖包航磁异常; 异常数据处理; 向上延拓; 垂向导数; 斜导数; 小波变换; 内蒙古自治区

中图分类号: P631.2; P618.31 **文献标识码:** A

0 引言

受内蒙古自治区国土资源厅的委托, 中国冶金地质总局地球物理勘查院于2009—2014年, 在四子王旗—土默特右旗一带开展了1:5万比例尺航磁测量, 覆盖面积约 $3.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 发现了一系列航磁异常区, 有些航磁异常是进一步找寻铁矿、铜矿及多金属矿的重要线索。经筛选后对其中的部分异常进行野外查证、推断与解释, 对于一些找矿潜力较大的航磁异常开展了地质评价。翁公敖包航磁异常(M1)位于测区的中北部, 是这次航磁测量工作中发现的一处异常, 在对异常区进行野外地质地球物理查证中, 确定异常为矿致异常; 采用向上延拓、垂向导数、斜导数及小波变换等方法对航磁异常进行数据转换处理, 以获取矿体的横向及纵向分布信息, 取得了较好的效果。

1 航磁异常筛选与查证

航磁异常通过航磁测量发现后, 经分析研究圈

定、编号。通过对航磁异常的特征、成矿地质环境以及其他物化探特征进行综合分析, 对具有找矿潜力的航磁异常进行筛选与查证, 并对异常作进一步的分析解释, 以便全面掌握磁性体的空间展布形态信息。

在航磁异常的筛选过程中, 首先挑选出尖峰状、孤立、强度大的局部异常, 尤其是本测区北侧具有负值伴生、规模较小、梯度带密集的局部异常; 其次, 优选产于特征部位(即成矿有利部位)的局部异常, 如位于中酸性岩体与灰岩、大理岩等碳酸盐岩的接触带附近的异常; 第三, 注意选择叠加型异常, 尤其是产出于断裂或岩体边缘的叠加异常。

航磁异常查证的目的是初步了解异常区的地球物理、地质特征, 探究异常的地质起因, 判断异常的直接找矿前景和间接找矿前景, 提出进一步工作的具体意见。异常查证一般根据具体目的, 选择性进行不同级次的查证, 在异常区布设测量剖面, 采用高精度磁法剖面测量、地质剖面测量等方法进行查证。①高精度磁法剖面测量: 磁测测线垂直于航磁异常的走向(长轴)或地质构造的走向进行布设, 以能控制航磁异常为目的; 在异常检查剖面及其附近测定物性参数, 测定岩(矿)石的磁化率值(κ), 每个测点

收稿日期: 2018-04-04; 改回日期: 2018-06-26; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 郭玉峰(1964—), 男, 教授级高级工程师, 应用地球物理专业, 从事航空物探数据处理与解释研究工作。通信地址: 河北省保定市阳光北大街139号, 中国冶金地质总局地球物理勘查院; 邮政编码: 071051

通信作者: 张鹏(1984—)男, 工程师, 地球探测与信息技术专业, 从事航空物探研究工作。通信地址: 河北省保定市阳光北大街139号, 中国冶金地质总局地球物理勘查院; 邮政编码: 071051; E-mail: 13663398614@139.com

采用多点多次读数,必要时采集定向标本,为异常的地质解释提供基础资料;②地质剖面测量:实测地质剖面结合物探剖面位置布设,结合岩性、产状及构造等地质特征为异常定性,并为进一步描述异常体的空间分布特征和形态、规模进行有效控制。

2 航磁数据转换处理

由于场的叠加,使得某些具有一定地质意义的异常变得较为复杂,在原始图件上难以识别,给地质解释工作带来一定难度。为了提高对航磁异常的分辨能力,突出更多的有用信息,提高航磁异常解释地质效果,需要对航磁的原始数据进行不同方法的转换和处理。在翁公敖包航磁异常的推断解释中,对航磁数据进行了向上延拓、垂向导数、斜导数及小波变换等方法的处理。

(1)向上延拓。磁场的向上延拓处理,就是将原观测面上的磁场值向上换算到不同高度平面上的磁场值^[8]。公式表示为

$$\Delta z_p = \sum_{i=0}^{\infty} k_i \Delta \bar{z}(r_i)$$

其中, $i=1, 2, 3, \dots, 9$; Δz_p 为向上延拓后的磁场强度值; $\Delta \bar{z}(r_i)$ 为半径 r_i 上磁场强度的平均值。

向上延拓的主要作用是削弱局部干扰异常,反映深部的异常。通过向上延拓来压制局部异常的干扰,反映出深部磁性地质体。但当浅部存在较大规模的磁性体时,应用向上延拓难以消除其影响。

(2)垂向导数。垂向一阶导数的物理意义相当于地下磁性体向地表移动一小段距离产生的异常与原异常之差^[3]。公式表示为

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial z} = \frac{\Delta T(z + \Delta z) - \Delta T(z)}{\Delta z}$$

垂向一阶导数处理相当于高通滤波,有突出和放大磁场高频成分的作用,它侧重于浅层近地表地质体的磁效应而压制深层区域背景场的影响,从而突出了浅部磁性体引起的局部异常。

(3)斜导数。斜导数(Tilt导数)是位场的垂向导数与水平导数比值的反正切值,即用垂直梯度 V_{dr} 比上水平梯度 Th_{dr} 的绝对值的 $\arctan$ 角度^[1]。公式表示为

$$T_{dr} = \tan^{-1} \frac{\text{垂直梯度}(V_{dr})}{\text{水平梯度}(Th_{dr})}$$

斜导数极大值对应场源中心,零值对应场源边界位置,对于探测深部磁性体有良好的效果。深部

磁性体在垂向一阶导数和水平一阶导数都很小的情况下,其比值仍然会很大,这就在一定程度上能够消除埋深的影响,反映深部磁性体的分布状态。

(4)小波变换。小波变换是将信号分解成各种不同频率成分或尺度成分,利用其数学显微镜的特点进行伸缩、平移聚焦到信号任意细节加以分析,是地球物理数值分析的有效工具^[2]。公式表示为

$$Wf(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{a,b}(t) dt$$

其中, $\psi_{a,b}(t)$ 为小波,是由基小波通过伸缩和平移构成的函数系; a 为尺度参数; b 为平移参数。

小波变换是近年来应用在磁测数据处理的一种新方法,利用小波多尺度分析可对磁异常进行高精度的分离。该方法能够将磁异常精细地分解到多个不同尺度上,来反映不同深度磁性体引起的异常。

3 翁公敖包航磁异常推断解释

选取翁公敖包航磁异常(M1异常)作为实例研究,经过实地查证,确认为矿致异常。通过对航磁数据进行向上延拓、垂向导数、斜导数以及小波多尺度分析,对矿体的赋存状态开展研究。

3.1 M1异常地质、航磁特征

图1中北东向串珠状异常带的末端正异常M1异常作为编号异常,此M1异常包含有M1-a、M1-b和M1-c异常中心,航磁 ΔT 最大值为189.1 nT,异常在6条测线上有反映,异常位于寒武-志留系白云鄂博群都拉哈拉岩组($\in -S_1$)d)灰白色-黄色变质石英砂岩夹薄层板岩、尖山岩组($\in -S_1$)j)深灰-灰白-锈红色变质石英砂岩夹碳质板岩的范围内,异常的北部和东部分布有肉红、黄褐色花岗岩($\gamma_1^{(3)}$),南部出露大面积的上侏罗统腔向胜旦组第一岩段($J_3 q^1$)砂岩、砾岩夹泥灰岩和新近系上新统(N_2)泥岩、砂岩夹玄武岩等。异常北部1.5 km有一处热液交代型铁矿矿化点,铁矿产于白云鄂博群石灰岩的矿化、硅化带中,铁品位 $w(\text{Fe}) = 5\% \sim 15\%$,并在异常附近见有含铁石榴石、赤铁矿。初步认为此异常有利成矿,值得进一步工作。

3.2 航磁异常查证

对异常简单分析后,采用高精度磁测剖面、地质剖面进行检查,并同步测定了岩(矿)石的物性数据。经地面检查,地磁数值最大值为1185.3 nT,与之对应的航磁数值最大值为189.1 nT。实测地质剖面中出露有花岗岩、变质石英砂岩、变质砂岩和粉砂

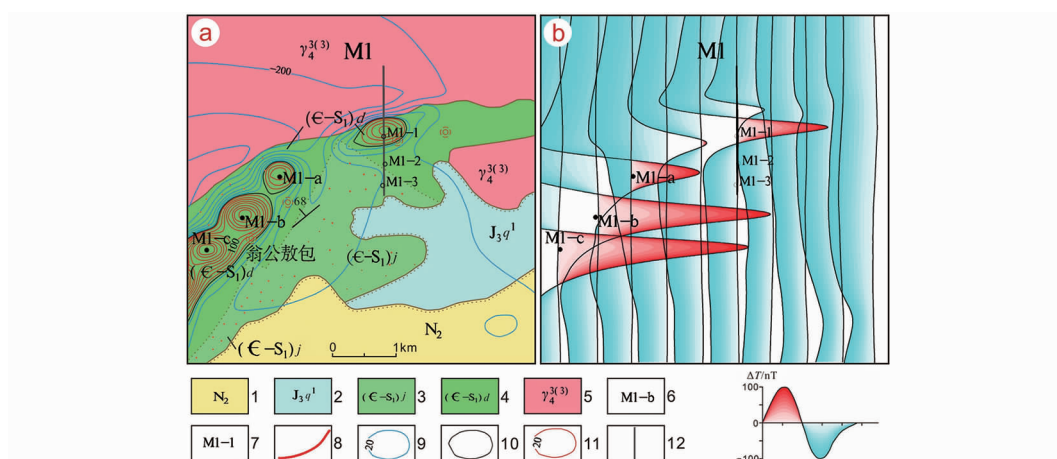


图1 M1异常地质、航磁综合图

Fig. 1 Geological and aeromagnetic comprehensive map of anomaly M1

a. 地质、航磁 ΔT 等值线图; b. 航磁 ΔT 平剖图

1. 新近系上新统: 泥岩、砂岩夹玄武岩; 2. 上侏罗统腔向胜旦组第一岩段: 砂岩、砾岩夹泥灰岩;
3. 寒武-志留系白云鄂博群尖山岩组: 变质石英砂岩夹碳质板岩;
4. 寒武-志留系白云鄂博群都拉哈拉岩组: 变质石英砂岩夹碳质板岩;
5. 华力西晚期花岗岩; 6. 异常位置及编号; 7. 磁参数测点; 8. 断裂; 9. 负等值线;
10. 零等值线; 11. 正等值线; 12. 地磁剖面及位置

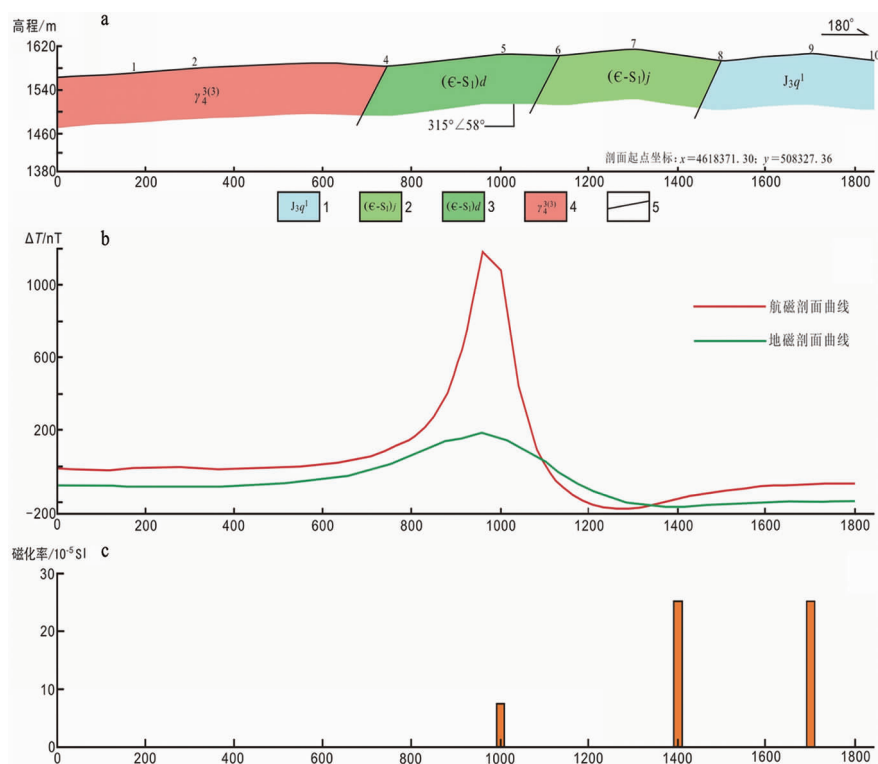


图2 M1异常地质、航磁-地磁、磁化率综合剖面图

Fig. 2 Comprehensive geological and aeromagnetic-ground magnetic
Resistivity profile of anomaly M1

a. 地质剖面图; b. 航磁-地磁曲线图; c. 磁化率强度分布图

1. 粉砂岩; 2. 变质砂岩; 3. 变质石英砂岩; 4. 华力西晚期花岗岩; 5. 地质界线

岩,并测得磁化率范围 $3 \times 10^{-5} \text{ SI} \sim 32 \times 10^{-5} \text{ SI}$ 。异常部位的地表未发现磁性较强的岩性,因处于有利成矿地段,推断可能为隐伏的铁矿体引起。

3.3 M1 异常推断解释

经地面查证,初步推断 M1 是由铁矿引起的异常,随后对铁矿体的赋存状态进行了研究。首先,对航磁 ΔT 数据作了化极、延拓等数据处理,得到航磁影像图 3。从图 3a 可以看出,因为受到地磁场斜磁化的作用,异常北侧通常会伴生有负值异常;图 3b 是经过化极后的磁异常,正异常范围扩大,消除了斜磁化的影响,使异常正峰值能更好地对应于磁性体的正上方;图 3c 是化极后上延 500 m 的影像图,在图中发现异常衰减得很快,M1-a、M1-b 和 M1-c 只剩下 M1-c 强度较高,M1 呈弱异常显示;图 3d 是化极后上延 1 000 m 的影像图,图中仅显示有 M1-c 的微弱异常;根据化极和上延图件可以看出,异常的东部下延深度较小,西部则下延深度较大,但缺点是上延深度和磁性体深度并无恒定关系。

在航磁 ΔT 化极的基础上又作了垂向一阶导数、斜导数的影像图。垂向一阶导数影像图(图 3e)表明了浅部磁性体的范围,从表象上来看和化极图对应性较好,推测异常可能是浅部异常;斜导数影像图(图 3f)则反映了隐伏磁性矿体的整体效应,发现

M1 异常向东有延伸,且南部发现弧形异常,对照化极图,南部异常也有微弱的显示,推测可能深部有磁性体存在,但是无法确定深度范围。

为进一步地验证推断,又对异常数据进行小波多尺度分析(图 4),得到了一阶、二阶、三阶、四阶和五阶的小波细节图像,同时应用功率谱进行了视深度的计算,图中可以清晰地反映出各个深度的异常分布,即对应深部磁性体产生的异常。在图 4 中,M1、M1-a、M1-b 和 M1-c 异常在一阶、二阶细节图中都有反映,三阶细节图 M1-a 消失,四阶细节图 M1 异常的位置北移,M1-b 消失。异常经过五阶小波多尺度分析后,异常除 M1-c 外其余部分最终呈平静场显示,说明在此深度(根据功率谱估算的平均视深度)M1、M1-a 和 M1-b 已无铁矿体的存在。通过小波多尺度分析,证明斜导数影像图推断的 M1 异常向东有所延伸,在此深度范围内南部没有出现弧形异常,推断可能是由埋深更大的磁性体引起。

4 结论

通过对翁公敖包航磁异常的研究,笔者认为首

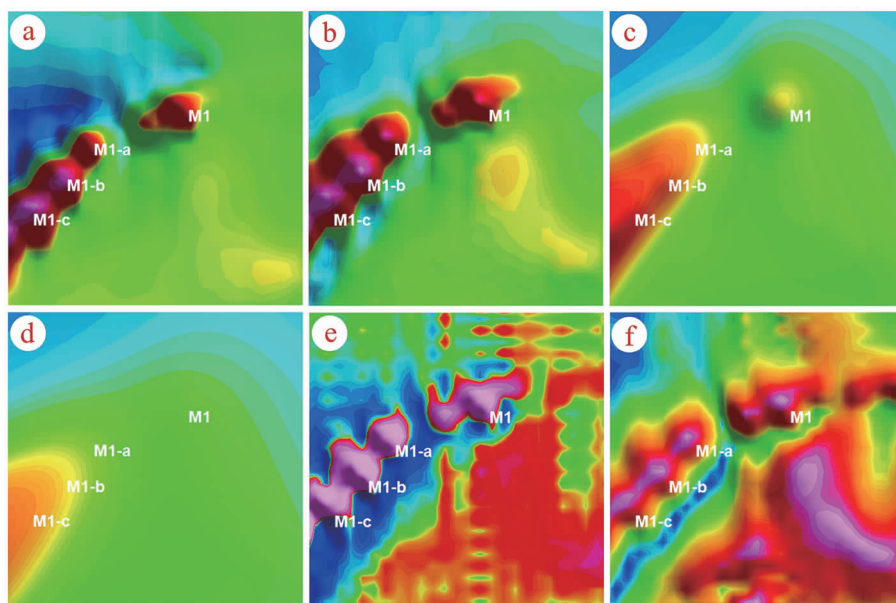


图3 航磁异常影像图

Fig. 3 Aeromagnetic anomaly image

- a. 航磁 ΔT 影像图; b. 航磁 ΔT 化极影像图; c. 航磁 ΔT 化极上延 500 m 影像图;
d. 航磁 ΔT 化极上延 1 000 m 影像图; e. 航磁 ΔT 化极垂向一阶导数影像图;
f. 航磁 ΔT 化极斜导数影像图

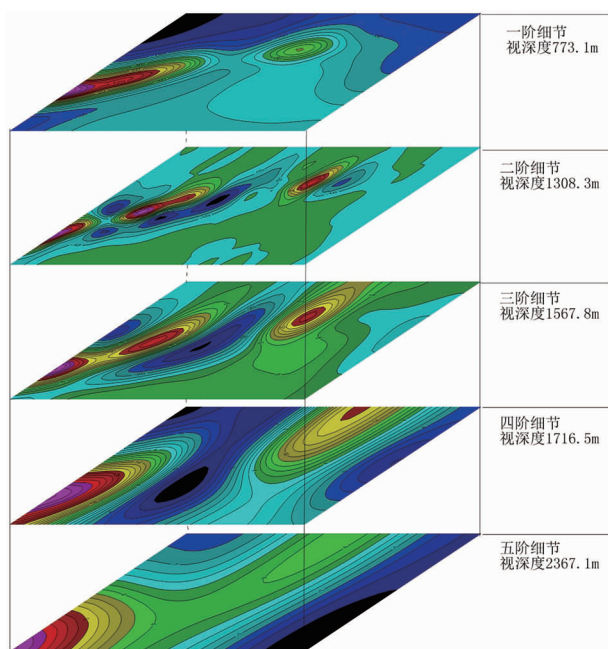


图 4 小波多尺度分析结果

Fig. 4 Multi-scale Wavelet decomposition of magnetic anomalies

- a. 一阶细节图像, 视深度: 773.1 m;
- b. 二阶细节图像, 视深度: 1 308.3 m;
- c. 三阶细节图像, 视深度: 1 567.8 m;
- d. 四阶细节图像, 视深度: 1 716.5 m;
- e. 五阶细节图像, 视深度: 2 367.1 m

先对航磁异常进行筛选与查证, 确定为矿致异常后, 进行数据转换处理, 识别矿体的分布状态。

(1) 研究航磁异常的平面展布、形态以及所处位置的地质特征, 初步筛选后进行野外查证, 查证方法可选择高精度磁剖面测量、地质剖面测量等, 在剖面测量过程中识别出露岩性, 并实地测量岩(矿)石的磁性参数, 初步推断是否可能为矿致异常。

(2) 经查证推断为矿致异常后, 对航磁数据进行转换处理, 即通过化极、延拓、方向导数及斜导数等进一步研究成矿范围, 将能够有效识别磁性体的横向分布特征; 横向分布范围确定后, 在垂向上进行小波多尺度分解, 以期获得磁性体的纵向分布特征。

参考文献:

- [1] 王想, 李桐林. Tilt 梯度及其水平导数提取重磁源边界位置[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(3): 625 - 630.
- [2] 张恒磊, 刘天佑. 基于小波分析的磁测数据处理流程及解释方法[J]. 物探与化探, 2009, 33(6): 686 - 690.
- [3] 张鹏, 王大勇, 支海妮. 航磁调查中追踪隐伏磁性体的方法[J]. 物探与化探, 2014, 38(1): 1 - 9.
- [4] 王守坦. 航空物探技术[J]. 地学前缘, 1998, 5(1/2): 223 - 230.
- [5] 贺日政, 高锐, 郑洪伟, 等. 青藏高原中西部航磁异常的匹配滤波分析与构造意义[J]. 地球物理学报, 2007, 50(4): 1131 - 1131.
- [6] 王万银, 邱之云, 杨永, 等. 位场边缘识别方法研究进展[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(1): 196 - 210.
- [7] 李世雄, 刘家琦. 小波变换与反演数学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [8] 管志宁. 地磁场与磁力勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2009.

Interpretation and deduction of Wonggongaobao aeromagnetic anomaly in Inner Mongolia

GUO Yufeng¹, ZHANG Peng^{1,2}, WAN Jiayu¹, HUANG Jinhui¹, TIAN Hua¹, TIAN Liang¹, LI Le¹

(1. Geophysical Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Baoding 071051, Hebei, China;

2. College of the Earth science and surveying and mapping of China Mining University, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper is made the interpretation and deduction of Siziwang banner-Tumoteyou Banner aeromagnetic anomaly which is discovered in Inner Mongolia in recent years and geological and geophysical field check carried out and it is determined a iron ore-caused anomaly. Data are processed with method of up continuation, vertical derivative and oblique derivative to obtain lateral and vertical information. The result is ok.

Key Words: air-magnetic anomaly in Wonggongaobao; disposition of abnormal indexes; upward continuation; vertical derivative; oblique derivative; wavelet transform; Inner Mongolia