

1:20万重磁综合异常提取及地质意义 —以内蒙东乌旗地区为例

滕菲, 邢怡, 张国利, 张素荣, 高学生, 苏永军, 匡海阳
(中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170)

摘要:以东乌旗地区1:20万重、磁数据为基础, 针对一定深度地质构造的研究需要, 提取了局部重力异常和航磁化极上延异常。对二者进行重磁异常对应分析, 圈定13个重磁正相关异常, 13个负相关异常。统计得出区内矿产重磁相关系数 R 主要在 $-0.4\sim 0.4$ 之间。分析认为区内正相关异常主要由高磁高密度侵入岩体引起, 负相关异常主要对应区内古生界隆起等, 推断结果与已知地质资料吻合。为当地基础性地质找矿工作提供了可靠的深部地球物理信息; 也为重磁综合异常信息提取工作提供了较为有效的、可借鉴的经验方法。

关键词:布格重力异常; 航磁化极异常; 垂向一阶导数; 对应分析

中图分类号: P631.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2014)02-0131-05

近年来, 深部地质构造研究、隐伏矿寻找等工作对重磁异常解释的需求日益增强。随着1:20万区域重力调查工作的迅速推广, 中比例尺重磁资料的数据处理工作在区域地质构造、成矿建造解释推断中所起的作用越来越大。如何更大程度的开发、提取重磁异常的有效地质信息成了一个值得我们深入研究的重要问题。目前, 重力、航磁异常分别提取的方法较多, 理论研究及推断应用较为成熟, 重磁综合异常的研究工作相对开展较少。笔者选择东乌旗地区进行重磁对应分析, 本区此前并未开展过重磁综合异常研究的工作, 笔者尝试对本区重、磁异常求取重磁相关系数, 对重磁同源异常、不同源异常进行分别提取分析, 增加异常的约束条件, 减少多解性, 提高解释的精确程度, 进而发现重磁场共同反映的微弱的特殊地质异常信息。本文可为研究类似的区域地质背景、隐伏矿产预测提供借鉴。

1 研究区地质概况

研究区处于内蒙古中部地区, 构造单元属于天山-兴蒙造山系, 据地质力学观点的构造体系划分, 属北疆-兴蒙弧形构造带的东南翼。区内褶皱构造比较发育, 以华力西早期构造为主; 断裂构造, 大致

可分为北东、北北东和北北西三组, 其中以北东向的最为发育, 多发生在加里东期和华力西期, 而北北东和北北西向的多发生在燕山期^[1]。主要断裂构造由北向南依次为查干敖包-阿荣旗深断裂 F_1 、二连-贺根山断裂 F_2 、二道井-迪彦林场断裂 F_3 ^[2]。

本区中部大面积被新生界覆盖。北部地区下古生代地层发育, 以石炭-二叠系、泥盆系为主, 志留系、奥陶系有零星出露。南部出露地层主要为上古生界二叠系和中生界侏罗-白垩系。全区地层整体呈北东向展布。岩浆岩从超基性到酸性均有产出, 尤以中酸性岩分布最广, 岩浆活动主要受北东向基底构造和不同方向的新老构造交汇控制。主要产出时代为燕山早期和华力西晚期。区内超基性岩主要出露在贺根山蛇绿岩套中。主要岩浆岩带为大兴安岭-太行山重力梯级带分布的侏罗纪-早白垩纪火山-侵入岩。

2 区域重磁场特征

2.1 重力场特征

布格重力异常是从地表到深部所有密度不均匀引起重力效应的总和或叠加, 中大比例尺布格重力异常图能较好反映一定深度结晶基岩内部的密度变化、

收稿日期: 2014-04-18

资助项目: 中国地质调查项目: 区域地球物理调查成果集成与方法技术研究(1212011120915)

作者简介: 滕菲(1982-), 女, 硕士, 工程师, 2007年7月毕业于吉林大学数字地质科学专业, 现主要从事应用地球物理研究, Email: tengbeibei2006@163.com。

结晶基底顶面的起伏、沉积岩的构造和成分变化^[3]。本区布格重力异常整体呈北东走向,局部为北北东向(图1)。全区布格重力异常幅值变化较大,由 $-139 \times 10^{-5}/m^2$ 上升到 $-49 \times 10^{-5}/m^2$ 。根据区域重力场特征,可以进一步划分为3个重力场分区。I区北东向、北北东向重力异常呈条带状相间规律分布,走向延伸长,梯级带明显。根据宋景明^[4]等人对本区重、磁、地震、地质联合反演及解释,重力高异常带为上古生界基底隆起的反映。II区高低重力异常带东西分布,西部为北东向宽缓平静低重力异常区,局部重力低异常在北部集中,东部高重力异常带为区内规模最大、幅值最高的,推断同为上古生界基底隆起的反映。区内局部极高异常值位于霍林郭勒西部。III区重力低异常带紧邻II区高异常带,具有规模大、幅值低的特点,位置与地表大面积出露燕山期岩浆岩相对应。

2.2 磁场特征

区域性磁异常与大的区域构造或火成岩分布等因素有关,局部异常可能与矿床和矿化、小磁性侵入体等因素有关^[5]。为消除斜磁化引起的磁源位置偏移,笔者对选区航磁异常作了化磁极处理(图2)。选区区域磁场整体趋势西北高,东南低,有北东向延伸趋势,幅值范围为 $-688 \text{ nT} \sim 1799 \text{ nT}$ 。分区与重力

场一致, I 分区为高磁异常区,贺根山地区几处极高值圈闭区域与超基性岩体有关。北部国界处高磁异常带与出露中酸性侵入岩吻合较好。II分区为正磁异常区,局部磁异常发育,区内以第四系覆盖为主,不规则分布的局部异常可能为下覆侏罗系火山岩引起。III分区为平缓的低负磁异常区,局部正磁异常零星发育,轴向以北东向为主;低磁异常与低重力异常共同反映了燕山期岩浆岩带低磁性、低密度的物性特征。从区域重磁场特征综合分析,本区新生界覆盖面积较大,但厚度较浅,有利于隐伏矿产的寻找。

3 重磁异常提取

3.1 局部重力异常

目前,重力异常分离方法众多。常用的有平均场法、高次导数法、解析延拓法、趋势分析法、匹配滤波法、维纳滤波法、切割法、优选延拓法、小波分析法^[6]等。从应用效果看,除物理概念不同之外,异常分离结果大有类同之处^[7]。笔者采用布格重力异常垂向一次导数提取本区局部重力异常,并通过解析延拓,达到突显“低频”,即一定深度、一定规模地质构造的最佳效果。选择2 km、3 km、4 km不同高度进行上延实验,通过与区域地质特征比对,认为上延4 km取得

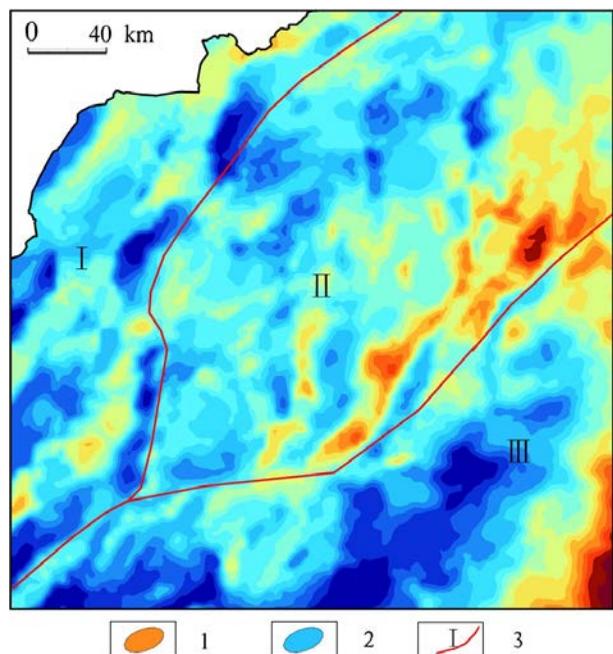


图1 东乌旗地区布格重力异常图

Fig.1 Bouguer gravity anomalies in Dongwuqi area
1.布格重力高异常;2.布格重力低异常;3.重磁场分区界线

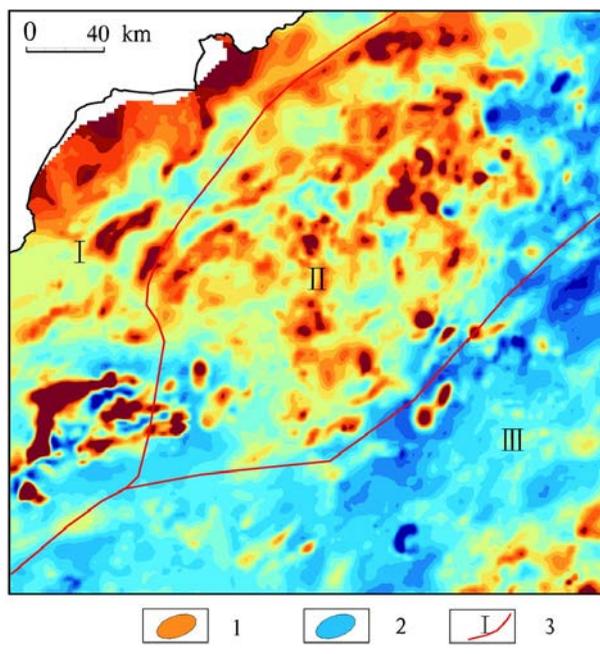


图2 东乌旗地区航磁ΔT化极异常图

Fig.2 Aeromagnetic anomalies reduced to the pole in the Dongwuqi area
1.航磁正异常;2.航磁负异常;3.重磁场分区界线

的局部重力异常(图3)能够清晰反映了本区隆凹相间的构造格局,和北东、北北东向的断裂构造方向。

3.2 航磁化极上延异常

相对不同尺度资料、不同研究目标,局部异常是相对概念。本文中局部异常所指为反映一定深度区域基底隆凹、磁性岩浆岩分布等与成矿环境相关的区域背景异常。因为磁异常不像布格重力异常那样具有强烈的区域背景,直接对航磁化极异常进行一定高度的上延处理,突出相对低频成分,便可得到深部一定规模建造构造引起的异常^[8]。解析延拓方法突出区域异常的原理是利用了向上延拓时,浅而小的地质体引起的异常比深而大的地质体引起的异常衰减得快这一特点。笔者通过对2 km、4 km、6 km等不同上延高度的对比试验,选定与目标地质构造对应效果最佳的航磁化极上延2 km异常等值线图(图4)进行研究。

4 重磁异常对应分析

4.1 方法原理

由泊松公式,可以推导出重力异常和磁力异常在一定宽度的分析窗口内具有如下关系^[9]:

$$\Delta Z_{\perp} = A + \alpha \cdot \frac{\partial \Delta g}{\partial Z} \quad (1)$$

式中 ΔZ_{\perp} 为化极后的磁异常; $\frac{\partial \Delta g}{\partial Z}$ 为重力异常

垂向一次导数;斜率 $\alpha=J/(G \Delta \sigma)$ 为场源物质的泊松比, J 为磁化强度矢量模值, $\Delta \sigma$ 为场源剩余密度, G 为万有引力常数, A 为线性回归的截距。两个离散序列 $x(t)=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 和 $y(t)=\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 的相关函数定义为

$$C_{xy}(K) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - k \quad (2)$$

式中, k 为延迟时间,当 $x(t)=y(t)$ 时称为自相关函数 $C_{xx}(k)$ 或 $C_{yy}(k)$ 。两序列的相关系数可以由下式求得

$$R = \frac{|C_{xx}(0)|}{\sqrt{C_{xx}(0) C_{yy}(0)}} \quad (3)$$

计算时给定分析窗口大小。以当前点为中心,将窗口内各点磁异常和重力异常按(1)至(3)式进行最小二乘线性回归和相关分析,求得这一点的相关系数 R 、斜率 α 和截距 A 。相关系数 R 反映了窗口内重磁异常的线性相关程度。当 $R \approx 1$ 时,重磁异常是正相关;当 $R \approx -1$ 时,重磁异常为负相关。相关系数 R 宏观上反映了重磁异常的“同源性程度”。当 $|R| \approx 1$ 时,表示窗口内重磁异常的“同源性”较好。当 $|R| \ll 1$ 时,表示窗口内重磁异常相关性差,可能不同源。斜率 α 反映所有场源泊松比的加权平均值,它只有在重磁异常同源的前提下才有意义。截距 A 反映重磁异常的背景值。在重磁异常完全同源时, $A=0$ 。

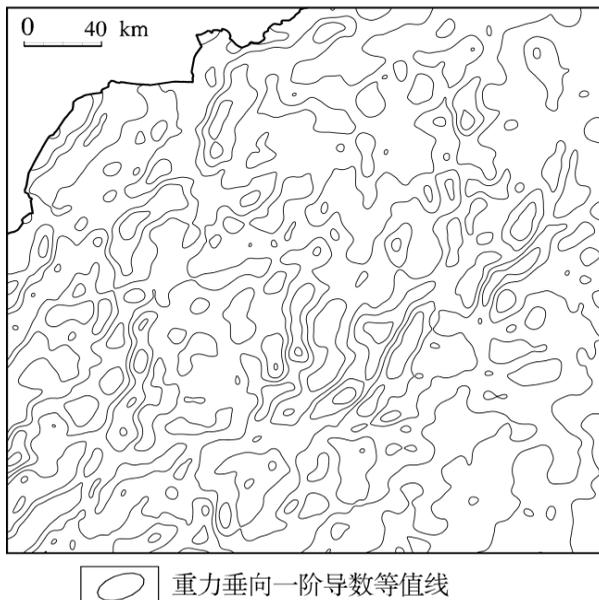


图3 东乌旗地区重力垂向一阶导数上延4 km异常图
Fig.3 Vertical first – order derivative of gravity anomaly by upward continuation for 4 km in Dongwuqi area

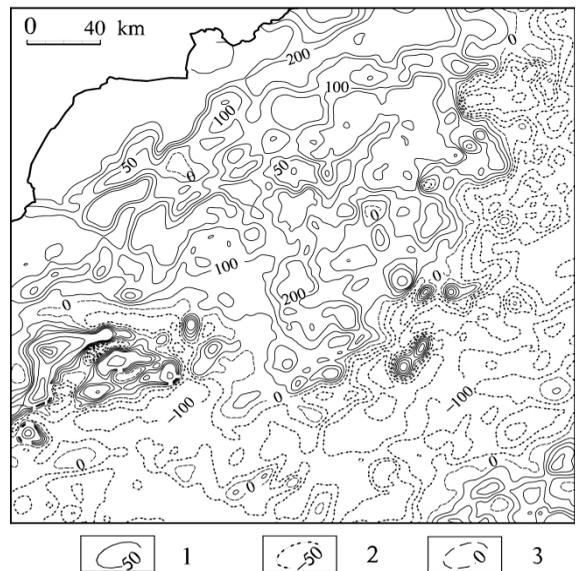


图4 东乌旗地区航磁化极上延2 km异常图
Fig.4 Aeromagnetic anomalies reduced to the pole by upward continuation for 2 km in Dongwuqi area
1.航磁正异常;2.航磁负异常;3.零等值线

4.2 分析结果及地质意义

笔者对本区上延4 km重力垂向一阶导数异常结果及航磁化极上延2 km异常结果,分别采用8 km×8 km、14 km×14 km、20 km×20 km的滑动窗口进行重磁对应分析,得到相关系数R。窗口半径增大可以达到突显低频信息的目地,经过对不同尺度分析结果的对比,认为采用14 km×14 km所求结果更能反映本区深部一定规模地质体特征。提取 $|R| \geq 0.5$,生成等值线图(图5)并筛选出13个正相关异常(A-M),13个负相关异常(a-m)。

正相关异常影响因素相对简单,考虑本区构造背景为天山-兴蒙造山系,太古宙基底存在的可能性较小,推断主要为高磁高密度侵入岩体引起。结合区内物性资料分析,本区部分花岗闪长岩具有高磁高密度的特征,又是区内混合岩浆岩的重要组成部分,很可能是引起区内正相关异常的主要原因。此认识在基岩出露区得到了很好的验证,如A、B、M等正相关异常形态与地表出露中酸性混合岩浆岩范围均有较好对应。部分正相关异常地表为第四系覆盖,应在隐伏地质体推断解释中引起足够重视,尤其E异常等重磁异常幅值均较高的局部异常。负相关异常则主要反映了区内高密度、低磁性的古生界隆起。如d异常反映了地表薄层侏罗系火山岩下的古生界基底隆起。根据赵汝敏等人的经验认识^[10],正负相关异常的陡变带多为区域构造分区的反映。本区

正相关J异常带东侧陡变带正是区内重要的区域重磁场分区界线,与区内地质资料二连-贺根山断裂F₂位置相吻合。

根据重磁对应分析的前提条件是重磁同源,对重磁异常相关程度较差的地质体则无法反映。如贺根山蛇绿岩套,有高密度,磁性不均匀的物性特征,地表出露规模较大,剩余重力异常与出露地质体范围吻合较好,但在相关分析等值线图上,无明显反映。

4.3 重磁异常与区域矿产分布关系

研究区内银、铅锌、铜、铁、铬等各类矿产发育,矿产类型多样,规模大、中、小型不等,满足矿产分布规律研究条件。笔者根据目标地质体相对埋深浅、规模不大的高频特征,未对重磁图件进行低通滤波处理。直接以剩余重力异常图、航磁化极异常图、航磁化极垂向一阶导数异常图、重磁对应分析相关系数图(8 km×8 km)为基础,对本区主要矿种银矿、铜多金属矿、铁矿、铅锌矿、铬铁矿等矿产地的重磁异常特征进行了统计分析。研究发现不同矿种的重磁场特征规律各不相同,而不同成矿类型矿产分布则无明显的重磁场特征标志。

研究区内银矿、铜多金属矿、铁矿、铅锌矿等矿产主要分布在剩余重力高异常、低异常的边部地区,磁异常特征各有不同。从重磁相关系数幅值来看,主要分布在正相关异常带边部及正负相关异常过渡带上,相关系数值R主要在-0.4~0.4之间。铬铁矿重磁相关系数值R主要在0.4~0.6之间,为明显重磁正相关。

从成矿环境来说,大部分矿产均产出在地层与岩体接触带上,而非单一地质体内,具有重磁不同源的普遍性。如白音诺尔砂卡岩型铅锌矿处在以-0.4等值线圈闭的负相关异常内。重磁场特征表现为相对高重力异常一二叠系地层(密度 $2.67 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$)与低重力异常一中酸性侵入岩体(密度 $2.53 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2 \sim 2.58 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$)的接触带上,磁异常也显示出相对无磁性地层向微弱高磁过渡的地带。而部分矿产成矿环境与特定地质体直接对应,则在重磁相关异常上表现出明显的正负相关,如区内铬矿含矿建造为超基性岩,表现为高密度高磁性的重磁正相关关系。

5 结论

(1) 1:20万重磁资料能有效反映区域地质背景

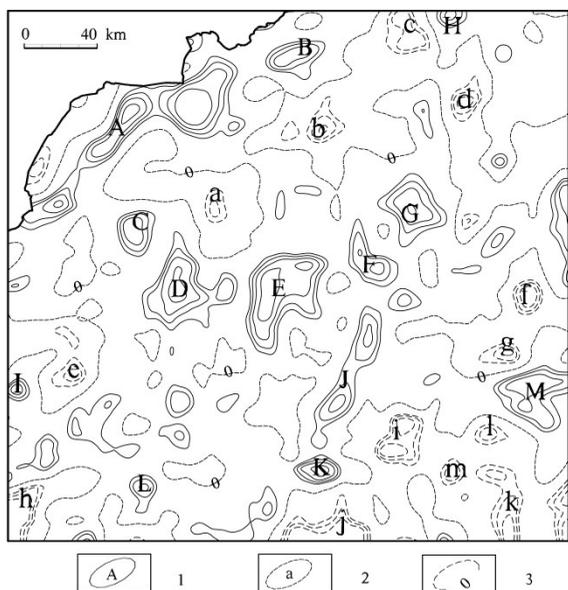


图5 相关系数R等值线图

Fig.5 The contour map of correlation coefficient R
1.正相关异常及编号;2.负相关异常及编号;3.零等值线

及成矿环境,选择不同的方法、参数进行重、磁异常提取能达到突显不同深度、不同规模目标地质体的目的。如东乌旗地区重力垂向一阶导数上延4 km等值线图清晰反映了区内古生界隆起的分布。

(2)重磁异常对应分析是一种定性、半定量解释方法,能对重力、磁法资料单独的地质信息提取起到辅助、补充作用,擅长于同源地质体的识别。特别在东乌旗地区东南部地区,重磁场受地表岩浆岩带干扰明显地区,弱异常—古生界基底的圈定取得了较好效果。

(3)东乌旗地区大部分矿产重磁相关系数值R主要在-0.4~0.4之间,相关性较差。铬铁矿重磁相关系数值R主要在0.4~0.6之间,为明显重磁正相关。从成矿环境来说,大部分矿产均产出在地层与岩体接触带上,具有重磁不同源的普遍性。部分矿产成矿环境与特定地质体直接对应,则在重磁相关异常上表现出明显的正负相关。

总体来说,重力、磁测异常均包含不同方面的地质信息,而重磁场源相关性十分复杂,重磁相关系数R不能脱离重力异常、磁异常孤立研究判断。充分结合地质、矿产、重磁综合异常,增加约束条件,减少多解性,才能取得更加真实可靠的结果。

参考文献:

- [1]苏美霞,阴曼宁,孙会玲,等.内蒙古自治区重力资料应用成果报告[R].内蒙古自治区地质调查院.2013,6.
- [2]李承东,赵利刚,常青松,等.内蒙古索伦山—霍林郭勒地区基础地质综合研究成果报告[R].天津地质调查中心.2013,4.
- [3]曾华霖.重力场与重力勘探[M].北京:地质出版社,2005,235-257.
- [4]宋景明,金凤鸣,王玉青,等.二连盆地重磁异常地质意义及上古生界结构认识[J].石油地球物理勘探.2012,47(增刊1):140-146.
- [5]管志宁.地磁场与磁力勘探[M].北京:地质出版社,2005,257-289.
- [6]郭良辉,孟小红,石磊,等.重力异常分离的相关法[J].地球物理学进展.2008,23(5):1425-1430.
- [7]程东兴,李延清,徐忠平,等.重力资料数据处理及解释概论[J].西部探矿工程.2011(12):144-146.
- [8]刘士毅.重磁资料数据处理中的若干问题[J].物探化探计算技术.1991,13(1):65-68.
- [9]刘心铸.重磁异常对应分析(赴美学习重磁方法介绍之一)[J].国外地质勘探技术.1985(4):1-8.
- [10]赵汝敏,朱光辉,柏冠军.重磁对应分析技术在缅甸X区块的应用研究[J].地球物理学进展.2013,28(2):914-919.

Interpretation of 1:200 000 Comprehensive Anomalies of Gravity and Magnetism and Geological Significance in Dongwuqi Area, Inner Mongolia

TENG Fei, XING Yi, ZHANG Guo-li, ZHANG Su-rong, GAO Xue-sheng,

SU Yong-jun, KUANG Hai-yang

(Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin, 300170, China)

Abstract: Vertical first-order derivative of the local gravity anomalies and upward continuation of aeromagnetic anomalies reduced to the pole are calculated based on 1:200 000 gravimetric and magnetic data in Dongwuqi area, inner Mongolia, for study of the deep structure. The authors have delineated 13 positive anomalies and 13 negative anomalies in the study area. The statistical values R of correlation coefficient in deposit areas mainly fall between -0.4 ~ 0.4. The interpretation shows that the positive and negative anomalies are related to magmatic rocks and Palaeozoic uplift respectively. Some of the inference are proven by the geological data. The study provides reliable information of geophysics for basic geological work and effective method for comprehensive anomaly analysis of gravity and magnetism.

Key words: Bouguer gravity anomaly; aeromagnetic anomaly reduced to the pole; vertical first-order derivative; correspondence analysis technique