DOI: CNKI:11-1906/P.20111123.1525.007　　网络出版时间: 2011-11-23 15:25
网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1906.P.20111123.1525.007.html

道朗和都格地区重磁场特征与找矿远景区

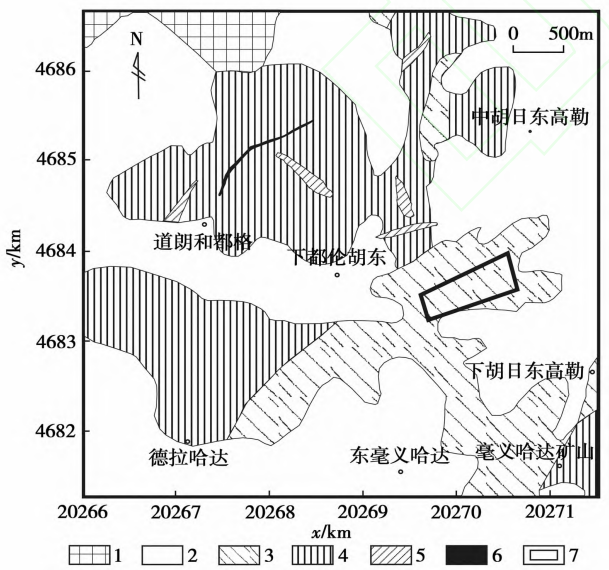
邰振华,张凤旭,吴燕冈
(吉林大学 地球探测科学与技术学院,吉林 长春 130026)

摘 要:道朗和都格地区为华北板块北缘的一个多金属成矿区,为了预测研究区多金属矿产的分布情况,利用位场数据处理中的向上延拓、对垂向一阶导数的小子域滤波和重磁对应分析等方法,对该区 1∶ 5 000 重磁资料进行了处理。综合分析了研究区重力场、磁力场、重力剩余场、重力垂向一阶导数、重磁对应分析中相关系数的基本特征及其与岩矿石密度和磁化率的分布关系。结合研究区地质资料及钻井资料,划分出 5 条断裂,圈定了 11 处金属找矿远景区,并综合分析了断裂划分及找矿远景区圈定的依据。

关键词:向上延拓;垂向一阶导数;小子域滤波;重磁对应分析;重磁场特征;找矿远景区
中图分类号: P631　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-8918(2011)06-0762-06

道朗和都格地区在大地构造上隶属于华北板块北缘增生带,处于西拉木伦河断裂的南侧,总面积 29.7 km^2,是重要的多金属成矿区[1-2]。

华北板块北缘在中元古代时期,一直处于活动状态,发育了不同类型的沉积建造,同时伴随着岩浆侵入和火山喷发;在中元古代末期,发生了一次地壳变形和区域动力变质作用,形成了中元古代大陆边缘造山带[3]。随着地壳演化,在各个地质时期形成了不同的矿床和矿石建造,太古宙主要有鞍山式铁矿床、红透山式铜锌矿床等,元古宙主要有菱镁矿、沉积铁矿等,古生代以岩浆型矿床为主,中生代为热液型矿床[1]。道朗和都格多金属矿区就位于这一重要成矿带上,研究区地表主要分布有较大面积的燕山期中细粒—中粗粒黑云母花岗岩、燕山期细粒—中细粒石英闪长岩、石英二长岩,新近系上新统红色黏土及灰绿色、黄褐色细沙土以及第四系更新统砂砾岩(图 1)。在道朗和都格及下都伦胡东一线北部的燕山期中细粒—中粗粒黑云母花岗岩中发育有 5 条花岗岩脉,1 条石英岩脉。



1—第四系更新统砂砾岩;2—新近系上新统红色黏土及灰绿色、黄褐色细沙土;3—燕山期中细粒—中粗粒黑云母花岗岩;4—燕山期细粒—中细粒石英闪长岩、石英二长岩;5—花岗细晶岩脉;6—石英岩脉;7—已有矿权位置

图 1　道朗和都格地区地质概况

笔者利用道朗和都格地区 1∶ 5 000 地面重力和磁力实测资料,结合区域地质概况及区内岩矿石出露情况,进行综合处理解释,对研究区矿产分布情况进行预测,圈定找矿远景区。

1　基本原理

(1)重力异常的向上延拓。向上延拓是将实测异常换算到上半空间的某任意高度上,可用于位场分离。如果令布格重力异常 $\Delta g(m,n)$ 的 Fourier 变换谱为 $\Delta g(u,v)$,则重力异常的解析延拓谱可写为[4-5]

$$\Delta g_{延}(u,v) = e^{2\pi\Delta hf} \cdot \Delta g(u,v), \qquad (1)$$

式中,$f=\sqrt{u^2+v^2}$,u 为 x 方向波数,v 为 y 方向波数,Δh 为向上延拓高度。

(2)重力垂向一阶导数。重力异常垂向一阶导数属于高通滤波,可突出局部异常,并可用于重磁对

收稿日期:2010-01-04;**修回日期**:2011-03-25
基金项目:国家油气选区重大项目(14B09XQ1201-01)及"十一五"国家科技支撑计划项目(2006BAB01A02)联合资助

应分析。其 Fourier 变换一阶垂向导数谱为[6-7]

$$\frac{\partial \Delta g(u,v)}{\partial z} = \sqrt{u^2+v^2}\,\Delta g(u,v)\ 。\qquad (2)$$

(3)化磁极。化磁极是消除由于磁化场的倾角和偏角引起的磁力异常不对称性的一种滤波技术,以便简化异常形态,使显示的磁力异常与磁源位置对应,以利于推断解释。如果令磁异常 $\Delta T(m,n)$ 的 Fourier 变换谱为 $\Delta T(u,v)$,则其化磁极异常谱为[8-9]

$$Z_{a\perp} = \frac{\sqrt{u^2+v^2}}{\mathrm{i}(lu+mv)+n\sqrt{u^2+v^2}}\cdot \frac{\sqrt{u^2+v^2}}{\mathrm{i}(l_0u+m_0v)+n_0\sqrt{u^2+v^2}}\Delta T(u,v),\qquad (3)$$

其中,l、m、n 为地磁场的方向余弦,l_0、m_0、n_0 磁化方向的方向余弦。

对式(1)~式(3)实施 Fourier 反变换,即可获得重力异常向上延拓、一阶导数及磁异常化磁极结果。

(4)重磁对应分析。同一场源引起的重力异常和磁力异常的关系可以用泊松方程描述,即:

$$U = -\frac{M}{4\pi G\sigma}\mathrm{grad}V,$$

其中,σ 为地质体密度,M 为磁化强度,V 代表引力位。当垂直磁化时可以得到

$$Z_{a\perp} = \frac{\mu_0 M}{4\pi G\sigma}\frac{\partial \Delta g}{\partial z},$$

其中,μ_0 是磁导率。这表明 $Z_{a\perp}$ 与 $\partial\Delta g/\partial z$ 成线性关系。如果采用 $N\times M$ 滑动窗口,对离散数据点的重力垂向一阶导数和化磁极后的异常数据进行最小二乘线性回归计算,便可进行重磁异常对应分析并获得泊松窗口内的相关系数[10]

$$R = \frac{\mathrm{cov}(Z_{a\perp},\partial\Delta g/\partial z)}{\sqrt{DZ_{a\perp}}\cdot\sqrt{D(\partial\Delta g/\partial z)}}\ 。\qquad (4)$$

由式(4)可知,相关系数 R 的值在 +1 和 −1 之间变化。如果 R 接近 +1,为正相关,反映了重力高和磁力高对应,或重力低和磁力低对应;如果 R 接近 −1,则为负相关,反映了重力高和磁力低对应,或重力低和磁力高对应。从地质解释的角度来看,利用相关系数 R 可进行重磁异常的同源性分析[11]。

2　道朗和都格地区重磁场基本特征

2.1　重力异常基本特征

如图 2,研究区内布格重力异常主体走向北东,由西北至东南大致可分为西北部重力梯级带、重力高、中部重力梯级带和东南部重力低 4 个异常区带。道朗和都格西北部重力最高值可达 94×10^{-6} m/s^2。中部重力异常梯度带沿北东走向(即德拉哈达至中胡日东高勒一线)穿过测区,重力异常等值线密集排列。区内东南侧为重力低值带,最大负异常在下胡日东高勒附近,为 -130×10^{-6} m/s^2。另外,值得关注的是:研究区内出现多处重力异常等值线同型扭曲特征,这可能是受浅部矿体的影响所致。

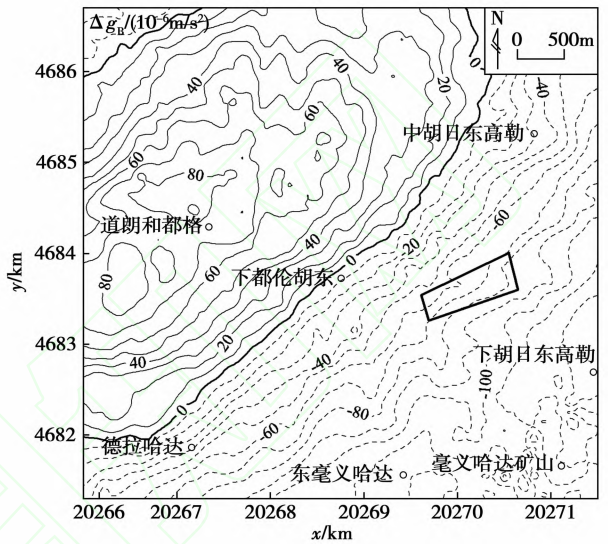


图 2　道朗和都格地区布格重力异常等值线平面

2.2　磁力异常基本特征

与重力异常相对应,道朗和都格地区的磁异常(图 3)主体走向亦为北东向。由西北至东南可将测区划分为西北部磁异常平缓区、中部线性高磁异常区和东南部异常平缓区。其中中部线性高磁力异常区包含 5 个磁力异常高值圈闭,磁异常幅值范围在 1 200~2 570 nT。这 5 个异常区和布格重力异常分

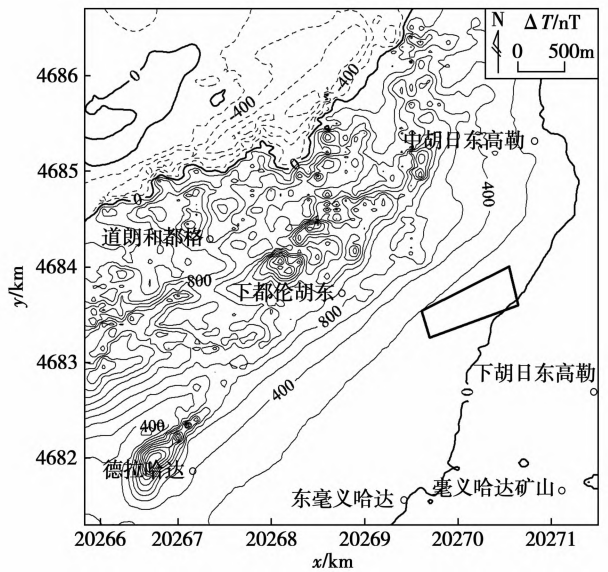


图 3　道朗和都格地区磁力异常等值线平面

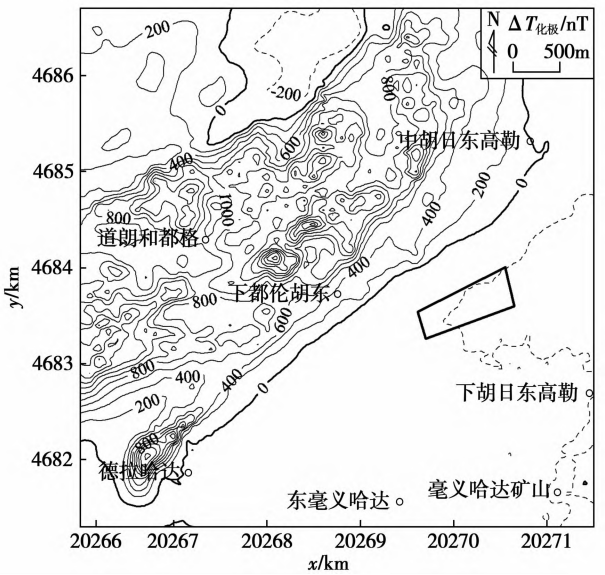


图 4　道朗和都格地区化磁极异常等值线平面

布位置呈现一一对应的关系,说明矿区重磁异常具有一定的同源性,这样的特征为找矿远景区的预测提供了理论保障。

图 4 为利用公式(3)对研究区磁异常(图 3)进行化磁极的结果,与图 3 相比可知,化极后的磁力异常极大值圈闭相对于原异常整体向北部移动。且研究区东北和西南部磁异常圈闭特征更加明显。由于化磁极前进行了相关的滤噪处理,使正异常幅度相对减弱,但并不影响对异常进行合理的地质—地球物理解释。

3　道朗和都格地区重磁资料综合处理

3.1　重力场的分离

利用重力异常向上延拓公式(1)可实现重力场的分离。本次在上延过程中进行了不同高度的上延试验对比分析,发现在上延 250 m 时所获得的区域场(图 5)的重力异常等值线扭曲特征基本消失,这说明上延 250 m 时分离出的区域场可反映研究区背景场的分布形态。

图 6 为利用布格重力异常减去上延 250 m 的区域场(图 5)获得的剩余重力异常。分离的剩余重力异常主要反映全区由浅部地质体所引起的异常分布形态。由图 6 可知,在中部,异常梯度带西北侧分布有 5 处明显的正值异常圈闭,分别位于德拉哈达西北、道朗和都格北部、道朗和都格西南、下都伦胡东北部和中胡日东高勒西北部,异常幅值范围(14 ~ 30) $\times 10^{-6}$ m/s^2。这样的特征与化磁极异常(图 4)中的 5 个磁力异常正值异常圈闭区呈现一一对应的关系。而且,在中部重力异常梯度带东南侧低值背景下,分布 6 个线性剩余重力异常值不大的高值圈

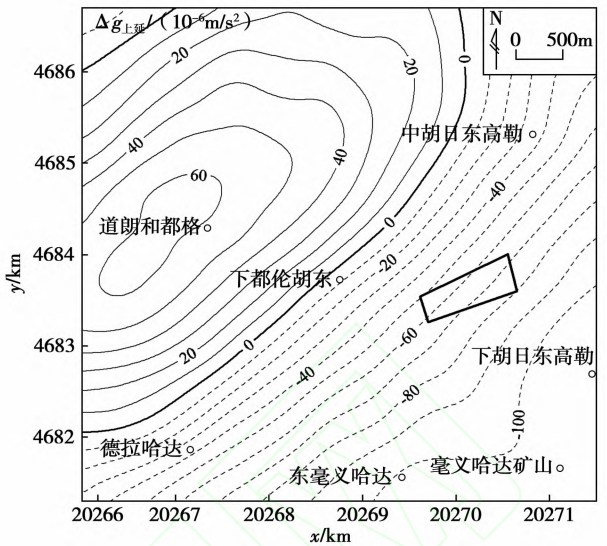
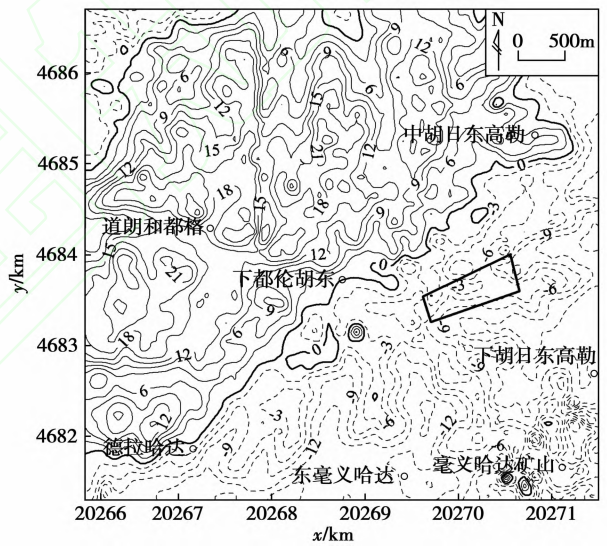


图 5　道朗和都格地区重力异常向上延拓 250 m 区域场等值线平面



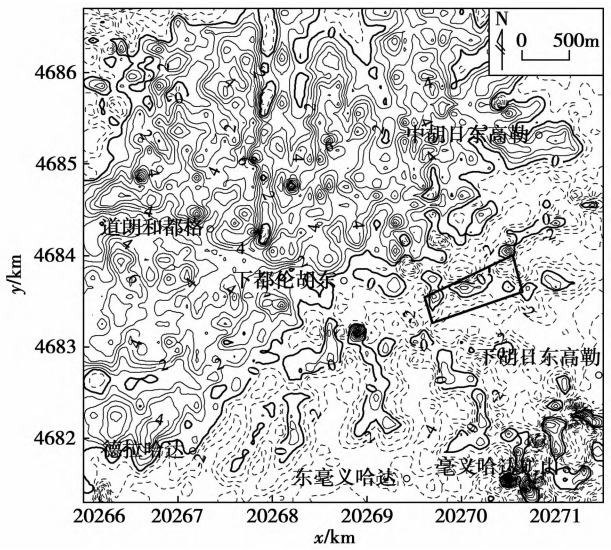
单位:10^{-6} m/s^2,等值线间距 3×10^{-6} m/s^2

图 6　道朗和都格地区重力异常上延 250 m 剩余场等值线平面

闭,大致沿西南至北东依次排列。其中下胡日东高勒北部的高值圈闭区与已知矿权位置(图 6 中黑框位置)大致重合,研究区东南角的高值异常圈闭与毫义哈达钨矿矿山相对应,这些特征为研究区找矿远景区的圈定提供了地球物理场的依据。

3.2　重力垂向一阶导数

为了验证利用上延模式的分离方法获得的剩余重力异常的合理性,进一步对研究区重力异常作了垂向一阶导数处理(图 7)。与图 6 相比较可知,重力异常垂向一阶导数等值线圈闭的分布特征与剩余异常圈闭位置基本一致。尤其是中部梯度带东南侧的 5 个相对于低值背景场的高值异常圈闭更加明显,小的异常梯度带、重力高值和重力低值分界线也较



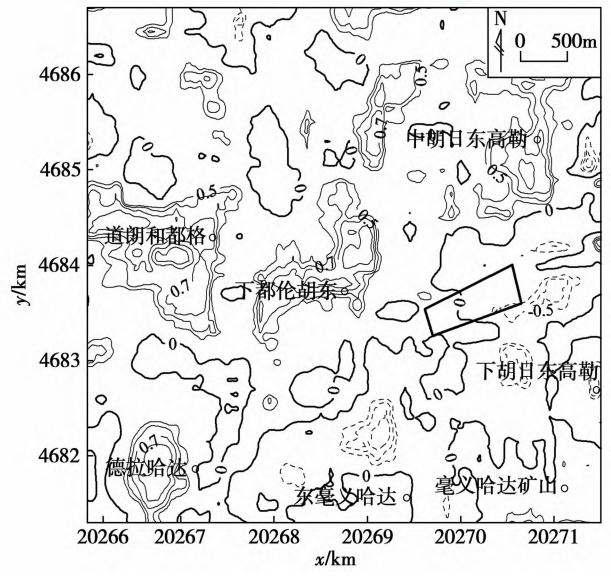
单位:s^{-2},等值线间距 1 s^{-2}

图 7　道朗和都格地区重力异常垂向一阶导数等值线平面

为清晰。这些特征充分证实了剩余场分离的合理性,同时也说明利用分离的剩余场和垂向一阶导数所显示的等值线特征,分析研究区多金属矿产的分布具有一定的可靠性。

3.3　重磁对应分析

将化磁极异常结果、重力垂向一阶导数结果,用公式(4)进行计算,采用 400 m × 400 m 的滑动窗口进行重磁对应分析,得到研究区内重磁异常的相关系数 R(图 8)。从中可以看出,测区内有 5 处圈闭的相关系数 $R \geqslant 0.5$,它们在重力剩余场中处于高值正异常区域(见图 6),且与化磁极异常中的 5 个高值圈闭区位置一一对应,反映了重力高和磁力高相对应。在重力剩余场中,东南部的相对于负值背景



400 m × 400 m 窗口

图 8　道朗和都格地区相关系数 R 等值线平面

场的 6 个局部重力高值圈闭显示相关系数 $R \leqslant 0$,它们在化磁极异常中处于低磁异常平缓区(见图 4),说明这些区域是重力高与磁场低相对应。

4　断裂分布及找矿远景区预测

由于研究区内的钻井资料、岩石物性等资料受保密制度的约束,因此在进行找矿远景区预测时,只能针对高磁异常和低磁异常背景下的多金属矿进行综合分析。依据重、磁异常特征及相关数据的处理结果,共划分出 5 条断裂,在高磁异常区划分了 5 金属找矿远景区,在低磁异常区划分了 6 个金属找矿远景区(图 9)。

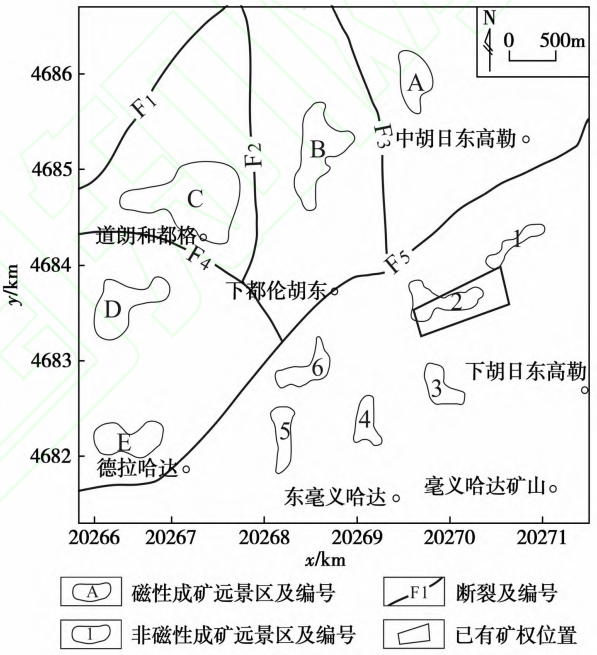


图 9　道朗和都格地区断裂和找矿远景区

4.1　断裂的划分依据

如图 9 所示,断裂 F_1 位于测区西北角,走向近北东。F_1 在重力异常等值线平面图中,反映为等值线梯度带;在剩余重力异常等值线平面图中,表现为重力异常梯级带;在化磁极异常中,呈现在磁平稳区和高磁异常线性变化区分界处。从重、磁异常反映的梯度变化角度分析,认为该断裂为较深的大断裂。

断裂 F_2 位于道朗和都格东侧,走向南北。F_2 在重力异常等值线平面图中,表现为异常等值线同型扭曲;在剩余重力异常等值线平面图中,表现重力异常梯级带;在重力垂向一阶导数图中,反映为两个重力高之间的重力低变化带,且伴有串珠状异常;在化磁极异常图中,反映为两个高磁力异常圈闭分界线。由于该断裂在上延 250 m 时,区域场等值线扭曲特征已经基本消失,说明该断裂向下延伸较浅。

断裂 F_3 位于中胡日东高勒西部,走向近南北。

F_3 在重力异常及其剩余重力异常等值线平面图中，表现为等值线同型扭曲；在重力异常垂向一阶导数图中，反映为串珠状异常；在化磁极异常图中，反映为两个高磁力异常圈闭分界线。该断裂与 F_2 的重磁场特征相似，也为延伸较浅的断裂。

断裂 F_4 位于道朗和都格南部，走向近南东。F_4 在重力异常等值线平面图中，反映为重力异常圈闭扭曲和错断；在剩余重力异常等值线平面图中，反映为两处较大的重力异常高值圈闭的分界线；在重力异常垂向一阶导数图中，反映为串珠状异常；在化磁极异常图中，反映为两侧异常特征明显不同的分界。该断裂重、磁场特征明显，在上延 250 m 后，圈闭异常区依然显示出明显的扭曲和错断，说明断裂较深。

断裂 F_5 位于德拉哈达至中胡日东高勒一线，走向北东。F_5 在重力异常等值线平面图中，反映为重力异常梯级带；在剩余重力异常等值线平面图中，反映为正负异常分界；在重力异常垂向一阶导数图中，反映为两侧异常特征明显不同的分界；在化磁极异常图中，反映为磁平稳区和磁力异常线性变化区分界。根据重力场和磁力场特征，说明该断裂可能为深大断裂。

4.2 找矿远景区预测的依据

4.2.1 高磁异常区内金属矿靶区圈定的依据

高磁异常区内金属矿靶区主要分布在德拉哈达至中胡日东高勒一线以北地区，可划分 5 个成矿靶区（见图 9 中 A、B、C、D、E）。其依据如下。

（1）在重力剩余场中，这 5 个高磁异常区的找矿远景区均表现为重力高值圈闭区，说明其密度大于围岩密度，推测为高密度地质体。

（2）在化磁极异常中，它们与高磁异常圈闭区位置相对应。

（3）由重磁对应分析结果知，$R \geqslant 0.5$，说明重力、磁力异常具有良好的同源性，即它们同时具有高磁化率和高密度，因此推测为高磁化率、高密度地质体。

（4）结合测区地质情况可知，这 5 个靶区的地表主要出露燕山期细粒—中细粒石英闪长岩、石英二长岩；在 A、B、C 区，出露有多条花岗细晶岩脉；B、C 区出露一条石英岩脉。由于石英是抗磁性矿物基本没有磁性，石英闪长岩、石英二长岩、花岗岩都是酸性岩浆岩，磁化率也很低，而且出露的岩浆岩的密度变化较小，因此只能解释为靶区内分布有大量的相对围岩的高密度磁性金属矿物。

4.2.2 低磁异常区内金属矿靶区预测的依据

低磁异常区内金属矿靶区主要分布在德拉哈达至中胡日东高勒一线南侧（见图 9 中 1 ~ 6 区域）。其划分依据如下。

（1）在剩余重力异常图中，这 6 个非磁性金属靶区表现为重力负值背景场上的高值圈闭，结合重力垂向一阶导数等值线分布特征以及已有矿权区、毫义哈达钨矿矿山（图 9）的实际开采情况，说明其密度大于围岩密度，确定为高密度矿体。

（2）在化磁极异常中，均处于磁力异常平缓区，矿体为低磁性。

（3）在重磁对应分析中，数 R 趋近于 0，反映为重力高和磁异常平静区相对应，说明这 5 个靶区基本无磁性，但具有相对围岩的较高密度，推测为非磁性高密度地质体；

（4）结合测区地质情况分析，圈定的靶区地表主要出露的燕山期中粗粒—中细、中粗粒黑云母花岗岩，花岗岩都是酸性岩浆岩，磁化率低，而且出露的花岗岩种类单一，密度变化小。这种局部重力高值异常圈闭现象只能是靶区内岩石中含有较多的相对围岩的高密度低磁性的金属矿物。

5 结论

利用波数域位场数据处理的方法，对道朗和都格地区的重磁资料进行了综合处理和解释，结合研究区地质资料，划分了 5 条主要的断裂带，同时在测区的高磁异常区和低磁异常区内分别预测了 5 个和 6 个金属找矿远景区，并给出了充分的分析依据。这几处圈定的靶区位置将对下一步的探矿和生产起到一定的作用。

参考文献：

[1] 陈毓川，薛春纪，王登红，等. 华北陆块北缘区域矿床成矿谱系探讨[J]. 高校地质学报，2003，9(4)：520 - 535.

[2] 刘伟，刘国兴，韩江涛. 关于西拉木伦河断裂东延走向的研究[J]. 世界地质，2008，27(1)：89 - 94.

[3] 刘正宏，刘雅琴，冯本智. 华北板块北缘中元古代造山带的确立及其构造演化[J]. 长春科技大学学报，2000，30(2)：110 - 114.

[4] 穆石敏，申宁华，孙运生. 区域地球物理数据处理方法及其应用[M]. 长春：吉林科学技术出版社，1990：18 - 58.

[5] 张凤旭，孟令顺，张凤琴，等. 重力位余弦变换谱基本特征[J]. 吉林大学学报：地球科学版，2006，36(2)：274 - 278.

[6] 罗孝宽，郭绍雍. 应用地球物理教程——重力 磁法[M]. 北京地质出版社，1991：279 - 290.

[7] 刘保华，张维冈. 重力异常垂向一阶导数的一种简便算法[J]. 青岛海洋大学学报，1995，25(2)：233 - 238.

[8] Arkani-Hamed J. Differential reduction to the pole of regional magnetic anomalies[J]. Geophysics, 1988, 53 (12): 1592 - 1600.

[9] Swain C J. Reduction to the pole of regional magnetic data with variable field direction, and itsstabilisation at low inclinations[J]. Exploration Geophysics,2000(31):78 - 83.

[10] Chandler V W,Koski J S,Hinze W J,et al. Analysis of multisource gravity and magnetic anomalydatasets by moving-window application of Poisson's theorem[J]. Geophysics,1981,46(1): 30 - 39.

[11] 窦喜英,吴燕冈,王恩利,等. 重磁对应分析方法在东北地区实际资料处理中的应用[J]. 吉林地质,2006,25(2):42 - 47.

GRAVITY AND MAGNETIC FIELD CHARACTERISTICS AND ORE-SEARCH PROSPECT DISTRICTS IN DAOLANG AND DUGE AREA

TAI Zhen-hua, ZHANG Feng-xu, WU Yan-gang

(*College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun* 130026, *China*)

Abstract: Daolang and Duge area is a polymetallic ore-forming belt on the northern margin of the North China Plate. In order to forecast polymetallic distribution in this area, the authors employed such means as upward continuation, small subdomain filtering of the first vertical derivative and corresponding analysis of gravity and magnetic anomalies to process the 1: 5 000 gravity and magnetic data. Characteristics of gravity and magnetic fields, residual gravity field, the first vertical derivative of gravity anomaly, correlation coefficient R of gravity and magnetic corresponding analysis and their relationship with the density and magnetic susceptibility of rocks and minerals were analyzed comprehensively. Combined with the regional geology and drilling data in this area, the authors delineated 5 faults,11 ore - forming prospect areas, and analyzed the basis for delineation of faults and prospect areas comprehensively.

Key words: upward continuation; first vertical derivative; small subdomain filtering; gravity and magnetic corresponding analysis; gravity and magnetic field characteristics; prospect area

作者简介:邰振华(1986 -),男,吉林桦甸人,硕士研究生,主要从事重磁数据处理方法研究。