

首钢秘鲁马尔科纳铁矿区磁异常的数据处理

李文成

(首钢地质勘查院 地质研究所, 北京 100144)

摘要: 首钢秘鲁马尔科纳铁矿位于南半球低纬度地区, 地磁场对磁性体的磁化以水平磁化为主, 磁性体产生的 ΔT 异常与中国的 ΔT 异常特征差别很大, 国内常用的化极方法在此类地区的应用文献少见, 使用不当很难取得良好效果, 虽然化赤方法在低纬度地区能取得较好的结果, 但针对化赤异常的解释技术却相对较少。通过常规化极与化赤方法对秘鲁马尔科纳胡斯塔铜矿区的地磁数据进行转换处理, 对比了转换结果, 并提出了该地区航磁数据的处理建议。

关键词: 马尔科纳铁矿; 低纬度地区; 地磁异常; 航磁异常; 数据处理; 秘鲁

中图分类号: P631.2; P618.31 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2011)03-0316-06

0 引言

磁法勘测是大地构造研究和矿产资源勘探的主要技术方法之一, 而总强度异常 ΔT (沿地磁场方向观测的 $\Delta T = T - T_0$, 式中 T_0 为正常地磁场的模量, T 为观测点地磁场强度的模量) 又是目前使用最为广泛的基础磁异常数据之一。

通常我们测量的 ΔT 异常是地质体产生的磁异常沿地磁场方向投影的标量异常。受斜磁化的影晌, 磁性体引起的 ΔT 异常中心在空间位置上常偏离磁性体上方, 为方便磁测资料解释, 以及更直观地反映磁性地质体空间位置及形态等信息, 磁异常化极就显得十分必要。

首钢秘鲁马尔科纳铁矿位于南半球低纬度地区, 1999 年由首钢总公司购得。矿权归属美国公司时, 1957 年美国 HYCON 公司曾进行过 199 km^2 的 $1:10\,000$ 航磁测量; 后来矿权被秘鲁政府收为国有。随着美国公司的离去, 技术资料几乎全被带走, 只存有矿区航磁图 1 张。首钢收购该铁矿矿权后, 并未投入大范围的铁矿普查工作, 但随着近年来铁矿石价格的不断上涨, 在矿权区内进行资源地质勘查工作已被提上日程。

利用收集到的矿权区范围的航磁资料指导铁、

铜矿资源的普查工作, 以最少的投入获得效益的最大化是我们需要研究的重要课题。秘鲁的航磁异常图与中、高纬度地区航磁异常图有很大差别, 往往国内的工作经验很难直接借鉴。本文将对首钢秘鲁马尔科纳矿权区磁异常的转换处理方法进行探讨, 使异常的解释趋于简单化, 最大限度地发挥已有资料的利用价值。

1 常规化极

化极, 即将磁异常 ΔT 或 ΔZ 转换为磁性体处于磁极位置的磁异常(此时地磁场方向垂直向下, 当磁性体不存在剩磁和退磁效应时, 磁化方向亦垂直向下)。此时的磁异常与磁性体的空间关系对应, 用磁异常确定矿体的边界非常容易, 是最易于处理、解释的一种转换。但是由于转换方法和磁测数据等方面的原因, 常常会影响化极的效果, 有时甚至会产生严重的畸变, 使得异常更加难于解释。原因有二: 其一, 频率域位场转换中进行傅立叶变换要求被积函数是连续的, 且积分上下限为正负无穷, 而通常我们所获得的磁异常数据总是离散的, 且测区也总是有限的范围, 因此转换中容易产生假频而引起高频振荡, 同时吉布斯效应也引起边部畸变; 其二, 磁异常化极需要知道地磁场方向和磁性体的磁化方向, 一

收稿日期: 2010-05-10

作者简介: 李文成(1962-), 男, 河北唐山人, 高级工程师, 主要从事地质找矿、工程物探方面的勘查与施工。通信地址: 北京市石景山晋元庄路 23 号, 首钢地质勘查院地质研究所; 邮政编码: 100144。

般来说,磁性体磁化方向是很难确定的,化极时通常假定磁化方向与地磁场方向一致,但是由于剩磁的存在和磁性体退磁作用的影响,磁性体的磁化方向与地磁场方向几乎总是不一致,致使化极结果出现畸变。

数据的离散性、有限性和磁化方向不准是影响化极结果的两个主要原因,但在处理过程中,采用一定的技术手段,遵循一定的准则,结果还是可以接受的^[1]。

2 常用的低纬度化极方法

低纬度地区的磁测数据处理、解释是很困难的。在低纬度地区,磁性体处于地球磁场的低值区和以水平磁化为主的斜磁化条件下,磁性体所引起的 ΔT 异常以负异常为主,多数伴有2个较弱的正异常;当磁性体剩磁较大,且磁化方向明显与地磁场方向不一致,或磁性体形态特殊时,还会伴生多个负异常及正异常。为了简化磁异常需进行化极处理,但化极因子属于放大性一类转换因子,纬度越低,其放大作用越强,在磁赤道处,放大作用达到极点。

将常规化极运算应用于低纬度地区,得到的结果会有较大的误差,异常走向也会发生变化。因此在低纬度地区进行化极运算,必须进行特定的处理以压制干扰和畸变,但数据处理时赋值复杂,有时的计算量很大,很难取得满意的效果。

2.1 低纬度区化极的不稳定因素^[2]

设频率域磁化方向转换的算子为:

$$H_0(\mu, \nu) = \frac{g_2 g_3}{g_0 g_1}$$

式中, μ 和 ν 分别为二维频率域的波数变量; $g_k = i\mu l_k + i\nu m_k + n_k \sqrt{\mu^2 + \nu^2}$, 其中: $l_k = \cos I_k \cos D_k$, $m_k = \cos I_k \sin D_k$, $n_k = \sin I_k$, $k = 0, 1, 2, 3$; I_0 为所在地磁场方向的倾角; D_0 为所在地磁场方向的偏角, I_1 为转换前磁化方向倾角; D_1 为转换前磁化方向偏角; I_2 为转换后的磁场分量方向倾角; D_2 为转换后的磁场分量方向偏角; I_3 为转换后的磁化方向倾角; D_3 为转换后的磁化方向偏角。

令 $\mu = r \cos \theta$, $\nu = r \sin \theta$, 将直角坐标化为极坐标。假设剩余磁性可以忽略,即转换前的磁场方向与磁化方向一致,转换后的磁场分量方向也与磁化方向一致,则有

$$H_0(\gamma, \theta) = \frac{[i \cos I_2 \cos (\theta - D_2) + \sin I_2]^2}{[i \cos I_0 \cos (\theta - D_0) + \sin I_0]^2}$$

如地磁场、磁化强度方向一致,则 $g_0 = g_1$; 当进行化极时, $I_2 = I_3 = 90^\circ$, 所以有 $g_2 = g_3 = r$, 在赤道附近时, $I_0 = 0^\circ$, 假设 $D = 0^\circ$; 则有

$$H(\mu, \nu) = -\frac{1}{\cos^2 \theta}$$

当 $\theta = \pm 90^\circ$ 时, $H_0(\gamma, \theta) \rightarrow \infty$, 计算结果很不稳定, 化极因子的放大作用造成化极结果沿磁偏角方向 $D(D=0^\circ)$ 表现为条带状, 为此需要对化极因子进行改造。

2.2 压制因子法^[3]

为了压制 $\theta_0 = D \pm 90^\circ$ 附近的过度放大力效应, 可设计一个压制因子 $F(\gamma, \theta)$, 该因子的特征是在 $D \pm 90^\circ$ 附近趋于 0, 一定范围以外等于 1, 形式如下:

$$|\theta - \theta_0| \geq \alpha_0 \text{ 时, } F(\gamma, \theta) = 1$$

$$|\theta - \theta_0| < \alpha_0 \text{ 时, } F(\gamma, \theta)$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\pi \frac{I_0}{I_a} \right) \right] \cos \left(\pi \frac{\alpha}{\alpha_0} \right) \right\}$$

式中, I_0 为地磁场方向倾角; I_a 为低纬度特征角, 表示 I_0 小于该角度就采取低纬度的措施; $\alpha = \theta - \theta_0$; $\theta_0 = D \pm 90^\circ$; α_0 为一个较小的角度。

2.3 阻尼因子法^[4]

同样, 为改善低纬度地区化极时, 化极因子分母趋于 0 而产生过度放大的情况, 将化极因子的分母加一个很小的值, 则化极因子变为一个有效值, 这个附加值起到了阻尼的作用。阻尼因子形式如下:

$$D(\gamma, \theta) = \frac{1}{2} D \left[1 + \cos \left(\pi \frac{\alpha}{\alpha_0} \right) \right]$$

式中, D 为一个很小的量(如 0.01 等); 化极因子转变为

$$H(\mu, \nu) = \frac{q_0 q_1 q_2 q_3}{|q_0 q_1|^2 + D(\gamma, \theta)}$$

这样, 在纬度较低的时候进行化极就能较为有效地压制沿磁偏角方向 D 条带状拉伸, 取得较为满意的化极结果。

2.4 双曲正(余)弦函数法^[5]

通过给化极因子的分母加上一个校正函数, 使该函数沿经向增强而且与转换后的磁化方向有关。这一函数的加入既可压制高频干扰, 又可改善分母接近 0 时的不稳定性, 根据这一思想, 采用双曲函数构建校正函数。

双曲正弦函数:

$$H_1(\mu, \nu) = \left[\operatorname{sh} \left(\frac{f}{A} \right) + B \right] |q_2 q_3|^2$$

双曲余弦函数：

$$H_1(\mu, \nu) = \left[\operatorname{ch} \left(\frac{f}{A} \right) - 1 + B \right] + |q_2 q_3|^2$$

式中, $f = \sqrt{\mu^2 + \nu^2}$ 。

B 的取值范围为 $0.0001 \leq B \leq 0.1$, A 的取值范围为 $2 \leq A \leq 12$ 。为改善此函数压制干扰过分的问题, 在频率域磁化方向转换算子的表达式分子中减去它与参数 A 的乘积可起到补偿作用, 由此建立的磁化方向转换的稳定性算子为

$$H_i(\mu, \nu) = \frac{q_0 q_1 \cdot q_2 q_3 - H_i(\mu, \nu) \cdot A}{|q_0 q_1|^2 + H_i(\mu, \nu)} \quad (i=1, 2)$$

式中, $q = i(\mu l + \nu m) + n\sqrt{\mu^2 + \nu^2}$, 其中: $l = \cos I \cdot \cos D$, $m = \cos I \cdot \sin D$, $n = \sin I$, I 和 D 分别为磁化方向的倾角和偏角; q_0 和 q_1 分别为转换前地磁场、磁化强度方向一阶导数的频率响应; q_2 和 q_3 则分别为转化后相应的频率响应。

3 化赤

化赤与化极一样, 同样属于磁异常不同磁化方向之间的转换处理, 化赤为化到磁赤道处。也就是将磁性体所在地区磁化方向的异常转换成磁赤道地区的磁化方向异常, 与化极运算一样, 化赤运算也是不稳定的。

由前述可知, 频率域磁化方向转换的算子为

$$H_0(\gamma, \theta) = \frac{[i \cos I_2 \cos(\theta - D_2) + \sin I_2]^2}{[i \cos I_0 \cos(\theta - D_0) + \sin I_0]^2}$$

当进行化赤运算时, $I_2 = 0^\circ$, 所以有

$$H(\mu, \nu) = \frac{\cos^2(\theta - D_2)}{[i \cos I_0 \cos(\theta - D_0) + \sin I_0]^2}$$

由上述 2 式可知:

(1) 由于该算子中含有虚部, 表明它是个不平衡算子, 在化赤运算时, 将使原来的异常形态和位置发生较大的改变。

(2) 在低纬度区, I_0 接近 0° , D_0 也接近 D_2 , 当取 $D_0 = D_2$ 时, 上式是稳定的, 做化赤运算时, 可得到控制并获取较好的效果。

(3) 在高纬度地区, 因 I_0 接近 90° , 化赤运算时 $I_2 = 0^\circ$, 只有 $(\theta - D_2)$ 等于或接近 90° 时, 上式的分子出现 0 的情况才不稳定。

通过上述分析可知, 如果不采取改善措施, 在低纬度地区不宜进行化极运算, 而化赤运算则大多数情况下都是可靠的^[2]。

4 南半球低纬度地区磁异常的处理

鉴于南半球低纬度地区的工作经验几乎没有, 所见航磁资料甚少, 对其异常的认识、异常转换处理方法更是鲜见, 为配合国外矿产资源风险勘查工作, 急需从理论到实践予以解决, 为此进行了多种方法的转换处理尝试。

4.1 磁异常间的关系

已知磁性体产生的总异常 ΔT 与其水平分量 H_a 和垂直分量 Z_a 的关系为

$$\Delta T = Z_a \sin I_0 + H_a \cos I_0 \sin A + H_{ay} \cos I_0 \cos A$$

对于二度磁性体, 当剖面方向与 ox 轴重合, 磁性体走向与 oy 轴重合时

$$\Delta T = Z_a \sin I_0 + H_a \cos I_0 \sin A$$

式中, I_0 为地磁场倾角, A 为 oy 轴的磁方位角, 当 $I_0 = 0^\circ$, $A = 90^\circ$ 时, 可以得到

$$\Delta T_{(0^\circ)} = H_{a(0^\circ)}$$

由此可以看出 ΔT 在靠近磁赤道带的低纬度地区, 以 H_a 分量为主, ΔT 表现为以负异常为主的特征。

对于二度磁性体, 如厚板状体、薄板状体、水平圆柱体、极线体及三度体等, 由磁位 U 可以推导出任意磁化方向 H_a , Z_a 的关系式:

$$\begin{aligned} Z_a &= H_{a(90^\circ)} \cos I_0 \sin A' + Z_{a(90^\circ)} \sin I_0 \\ H_a &= H_{a(90^\circ)} \sin I_0 + Z_{a(90^\circ)} \cos I_0 \cos A' \\ \Delta T &= H_{a(90^\circ)} 2 \cos I_0 \sin I_0 \cos A' + \\ &\quad Z_{a(90^\circ)} (\sin^2 I_0 - \cos^2 I_0 \cos^2 A') \end{aligned}$$

式中, $H_{a(90^\circ)}$, $Z_{a(90^\circ)}$ 分别为垂直磁化时总异常的水平分量和垂直分量; A' 为剖面方向与磁北的夹角。

若 $I_0 = 0^\circ$, $A' = 0^\circ$ 时, 则有

$$Z_{a(0^\circ)} = H_{a(0^\circ)}$$

$$H_{a(0^\circ)} = -Z_{a(0^\circ)}$$

$$\Delta T_{a(0^\circ)} = -Z_{a(0^\circ)}$$

若 $I_0 = 90^\circ$, $A' = 90^\circ$ 时, 则有:

$$Z_{a(0^\circ)} = Z_{a(0^\circ)}$$

$$H_{a(0^\circ)} = H_{a(0^\circ)}$$

$$\Delta T_{a(0^\circ)} = Z_{a(0^\circ)}$$

由此可以得出: $\Delta T_{a(0^\circ)} = -\Delta T_{a(90^\circ)}$

非二度的球体也适用于上式, 对于其他非二度磁性体, 在航空磁测远离磁性体条件下, 宏观上均可

视为球型磁性体异常。由此可得出,若将低纬度地区的 ΔT 异常进行化赤处理后,再倒相 180° ,使其变成垂直磁化的异常,即可采用以往比较熟悉的垂直磁化 ΔT 异常解释方法进行解释。在纬度较低的区域,可以直接对原始异常进行倒相处理,定性地进行分析^[2]。

4.2 秘鲁马尔科纳胡斯塔铜矿区地磁异常处理

从收集到的航磁图来看,其图件呈现的只是未经处理、改正的磁场总强度图(图 1),如进行异常转换处理,尚需对航磁异常图进行数字化,工作量较大。为研究评估各方法异常转换处理的效果,选择了马尔科纳地区收集到的约 10 km^2 (胡斯塔铜矿区)的实测地磁总场 T 数据,利用软件进行了常规化极、化赤等的多重转换处理,并对照胡斯塔铜矿区已有的地质、重力等资料,确认对本区地磁异常数据在经过化赤及 180° 倒相后,可使异常解释简单化,正异常与磁性体空间关系对应,基本上可以采用 ΔT

异常的方法解译该区地磁异常。

胡斯塔铜矿区地磁异常分布表现为上部为低值负异常,中间部位为高值负异常,紧贴高值负异常为正异常,再往下逐渐过渡为负异常。数据处理时,选用磁参数 $T_0 = 25\,420 \text{ nT}$, $I = -4.39^\circ$, $D = 0.08^\circ$, 对比原始观测数据(图 2)及化赤数据(图 3),二者异常形态上一致,说明该地磁性体以水平磁化为主,异常表现为水平异常特征。

而当采用常规化极的方法处理地磁数据时,则使得化极结果非常差,异常条带状明显(图 4),异常产生畸变。

对原始异常直接倒相 180° 与化赤后倒相 180° 结果相近(图 5),简化处理数据时可直接应用此方法。

对于本区大范围航磁异常图的处理,可先期进行数字化,分带采用如上的方法进行转换处理,应能取得很好的转换效果,达到充分、合理利用已有资料的目的。

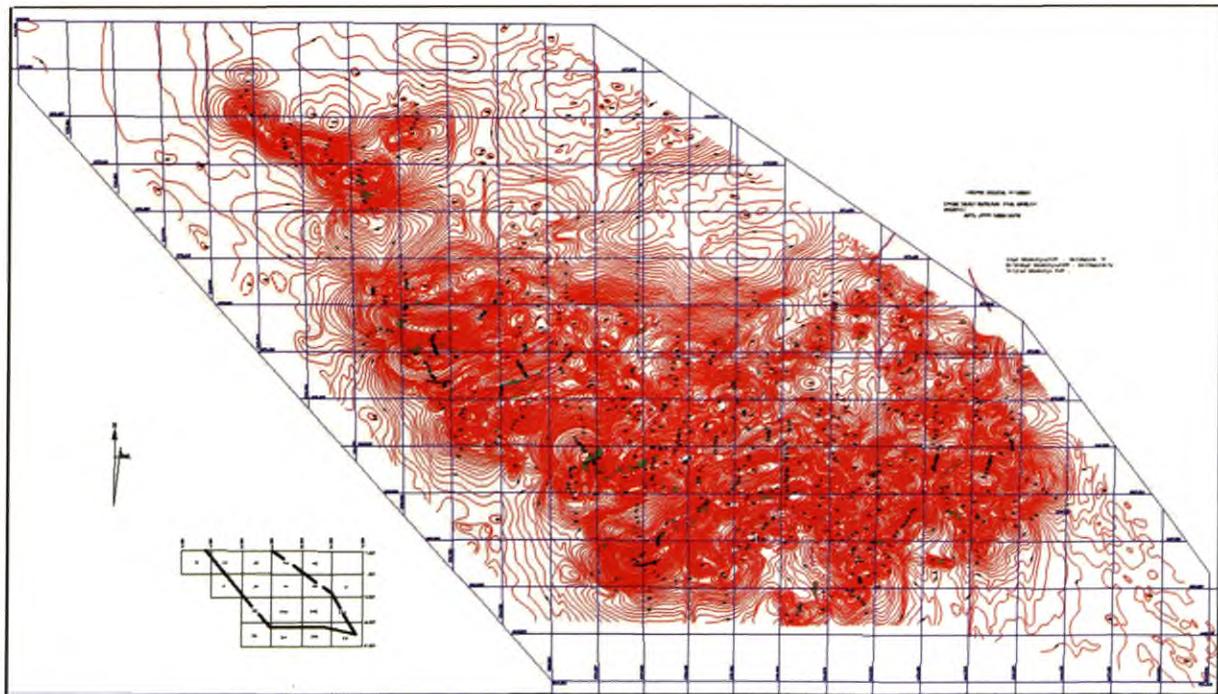


图 1 秘鲁马尔科纳铁矿区航磁异常

Fig. 1 Aeromagnetic anomaly in Shougang Hierro Peru Marcona iron deposit

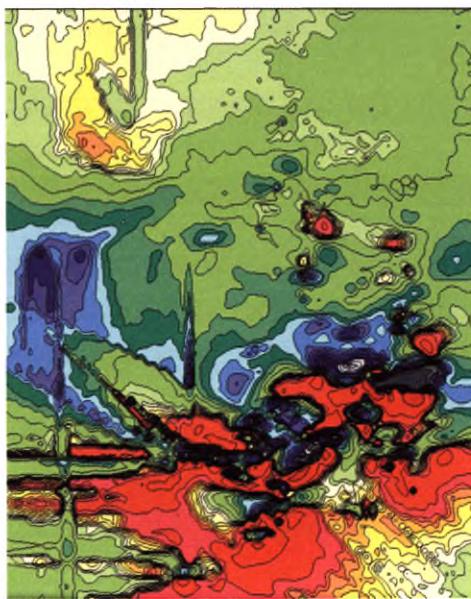


图2 原始地磁异常

Fig. 2 The original geomagnetic anomaly

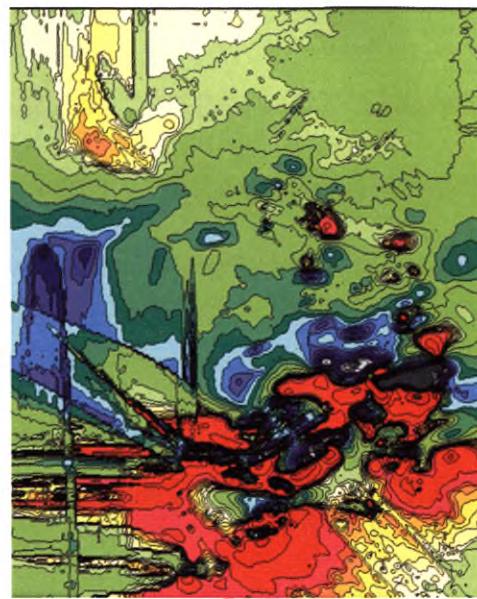


图3 地磁异常化赤

Fig. 3 Procession of geomagnetic anomaly by reducing to equator technique



图4 原始地磁化极

Fig. 4 Procession of the original geomagnetic anomaly by reducing to pole technique

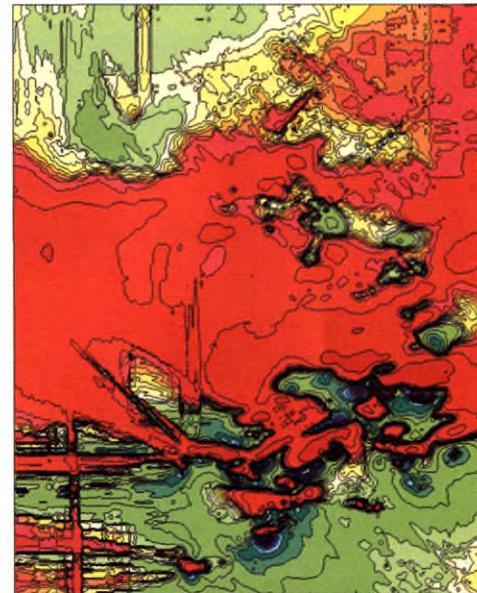


图5 化赤倒相 180°

Fig. 5 180° overturn reducing to equator procession

5 剩磁及退磁问题

以上化极及化赤处理方法,都假设了一个前提

条件,即不考虑剩磁的影响。一般情况下,剩磁通常可以忽略不计,但在一些剩磁很强的地区,即使应用低纬度化极(包括化赤)技术,也很难获得理想的效果。

因矿体磁化及形态特征等数据无法获得,数据

处理过程中同样也没有考虑磁性体的退磁效应。施工。

6 结论

对于本区大范围的航磁异常,通过小范围的地磁数据转换处理试验,得出的结论是:在不考虑剩磁、磁性体形体退磁作用的情况下,可以采用化赤后 180° 倒相的转换处理,使得异常简化,正异常与磁性体空间关系上下基本对应,便于应用原已掌握的北半球中、高纬度区磁异常规律进行解释;待条件成熟时,可适时开展磁参数工作,以更好地对磁异常特征进行分析,也有助于异常的剖面反演,指导钻探

参考文献:

- [1] 赵百民,郝天珧,徐亚.低纬度磁异常的转换与处理[J].地球物理学进展,2009(1):124-130.
- [2] 方迎尧,张培琴,刘浩军.低磁纬度地区 ΔT 异常解释的途径与方法[J].物探与化探,2006,30(1):48-54.
- [3] 姚长利,管志宁,高德章,等.低纬度磁异常化极方法——压制因子法[J].地球物理学报,2003,46(5):690-696.
- [4] 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.
- [5] 张培琴,赵群友.低磁纬度区航磁异常变倾角磁化方向转换方法[J].物探化探计算技术,1996,18(3):206-214.

The processing of geomagnetic and aeromagnetic anomalies of Shougang Hierro Peru Marcona iron deposit

LI Wen-cheng

(Institue of Geology, Shougang Geological Exploration, Beijing 100144, China)

Abstract: Shougang Hierro Peru Marcona Iron Deposit occurs at low latitudes in the southern hemisphere. The magnetization of the earth magnetic field to magnetic objects in this area is dominated by the horizontal magnetization. ΔT magnetic anomalies produced by magnetic objects here are greatly different from those in the mainland of China. At present, application of reducing to pole method commonly used in China is rare in literature and if it is not properly used here the result is poor. Comparatively speaking, the method of reducing to the equator can achieve better results in low latitudes but the interpreting technologies very few. In this article, both the two methods are used to process the geomagnetic data of Shougang Hierro Peru Marcona Justa copper mining area. The results are compared and recommendation of processing aeromagnetic data in this area is given.

Key Words: Marcona iron deposit; low latitude; ground magnetic anomaly; aeromagnetic anomaly; dsta processing; Peru