

磁法 $\theta$ 图方法在圈定磁性体边界中的应用

李土雄,赵法强,于林松,姚敏

(山东省物化探勘查院,山东 济南 250013)

**摘要:**近几年提出的导数处理方法 $\theta$ 图法利用极大值圈定磁性体边界,其算法主要步骤为计算垂向一阶导数与总水平导数的比值。通过分析二维半情况下不同磁性体模型的 $\theta$ 图,总结了 $\theta$ 图极值与直立磁性体边界、倾斜磁性体边界、岩体及砂卡岩带边界的对应性规律。该方法对重力圈定断裂构造及地质界线也有借鉴意义。

**关键词:**磁法 $\theta$ 图;磁性体边界;砂卡岩

**中图分类号:**P631.2

**文献标识码:**B

圈定磁性体顶部范围常用方法有垂向一阶导数(VDR)、垂向二阶导数<sup>[1]</sup>。一般利用垂向一阶导数零值线圈定规模较小的磁性体<sup>[2]</sup>,例如煤层自燃边界<sup>[3]</sup>;垂向二阶导数零值线圈定规模较大的磁性体<sup>[2]</sup>,例如沉积变质型铁矿床<sup>[4]</sup>。除此之外,还有总水平导数法(THDR)、解析信号振幅法(ASM)、倾斜角法(Tilt-angle)等其他方法,在圈定磁异常边界上均有一定的效果,在重力上可以半定量地确定断裂构造或地质界线的位置<sup>[5]</sup>。 $\theta$ 图法(The $\theta$  Map)为近几年提出的新方法,该方法以极大值圈定磁性体边界。该文研究了几种常见二维半模型正演磁场的 $\theta$ 图,总结了其中规律,并举例与实际地质作对比。

## 1 方法原理

$\theta$ 图法(The $\theta$  Map)由 Wijns 等在 2005 年首次提出,由式(1)计算,它利用解析信号振幅(ASM)对总水平导数(THDR)进行归一化,由其极大值位置确定地质体的边缘位置。总水平导数由式(2)计算,其中 $f(x,y,0)$ 为重力异常或磁源重力异常、化极磁力异常。

$$\cos\theta = \frac{THDR}{ASM} = \frac{THDR}{\sqrt{THDR^2 + VDR^2}} \quad (1)$$

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y,0)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y,0)}{\partial y}\right)^2} \quad (2)$$

## 2 二维半模型正演磁场的 $\theta$ 图

利用 GIS 软件 2.5D 正演不同模型引起的磁场,分析其化极磁力异常的 $\theta$ 图的特征。

### 2.1 产状直立板状体模型

如图 1 所示,垂向二阶导数的 2 个零值所夹区段较好的对应模型体宽度,但其内部出现接近于 0 的极小值,在平面上可能造成零值线的破碎效果。 $\theta$ 图曲线在模型处为极小值,其极大值与模型 2 个边界对应很好。

### 2.2 产状倾斜薄板状体模型

图 2 中模型为顶深较大的倾斜薄板状体,6 个模型的顶端相同,模型 1-3 的倾角较小,模型 4-6 的倾角较大。 $\theta$ 图曲线在模型顶端呈较明显的极大值异常;在距模型顶端水平投影位置一定距离处出现另一个极大值异常,模型底端的连线与模型体的夹角近似 $90^\circ$ 。因此可利用 $\theta$ 图的 2 个极大值圈定顶深较大的倾斜磁性体的边界,圈定的底端边界不是模型边界的水平投影位置,需根据顶深和倾角进行换算。

### 2.3 侵入岩及砂卡岩模型

图 3 模型为顶深较大的侵入岩及强磁性砂卡岩时的情况。

$\theta$ 图曲线在侵入岩模型内部为低值,在砂卡岩

\* 收稿日期:2012-05-04;修订日期:2012-06-10;编辑:陶卫卫

作者简介:李土雄(1985—),男,湖南郴州人,主要从事野外物探工作及室内资料研究工作;E-mail:lituxiongltx@sina.com。

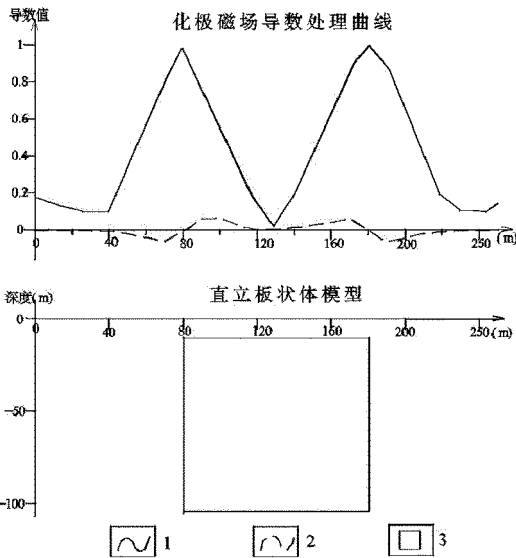


图 1 产状直立板状体模型正演结果

1— $\theta$  图曲线; 2—垂直向二阶导数曲线( $\text{nT/m}^2$ ); 3—产状直立板状体模型(有效磁化强度  $1\,000 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ )

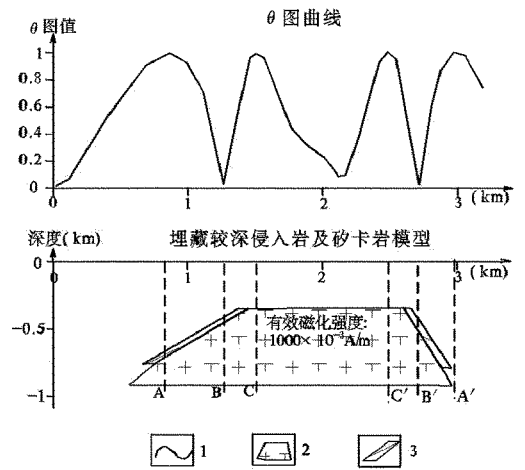


图 3 侵入岩及砂卡岩模型正演结果

1— $\theta$  图曲线; 2—侵入岩模型(有效磁化强度  $1\,000 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ ); 3—砂卡岩模型(有效磁化强度  $30\,000 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ )

界表示出来。

### 3 应用举例

#### 3.1 昌邑市莲花山变质型铁矿

该铁矿床为与碳酸盐岩有关的变质火山沉积型磁铁矿床, 赋存于古元古代粉子山群小宋组地层<sup>[6]</sup>。该地层主要岩性为黑云变粒岩夹石榴黑云变粒岩、斜长角闪岩、浅粒岩、长石石英岩组合<sup>[7]</sup>, 磁性较强, 磁化率约  $1\,200 \times 10^{-5} \text{ SI}$ , 剩余磁化强度约  $760 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ 。

如图 4(A), 地磁  $\Delta Z$  化极等值线显示为似圆形的强磁异常, 峰值高达  $1\,500 \text{ nT}$ , 背景场  $200 \text{ nT}$ 。结合钻孔资料可知, 在含矿岩系段磁异常值明显升高, 高磁异常直接指示了铁矿体的赋存位置。

如图 4(B), 垂直向二阶导数异常的零值线在上述似圆形磁力高异常处较明显, 其他地区较散乱, 而且在铁矿区内幅值平稳, 只起圈定强磁性变质岩边界的作用。

图 4(C) 为  $\theta$  图等值线平面图。由上节可知对于厚板状体, 可由  $\theta$  图的极大值圈定边界。在铁矿区内  $\theta$  图的极大值连线(等值线加密处理后再圈定)和垂直向二阶导数的零值线吻合较好, 且  $\theta$  图在矿区中心为明显的极小值异常。在东侧磁异常处,  $\theta$  图异常也较明显, 因此利用  $\theta$  图不仅能圈定强磁异常, 也能圈定弱磁异常。由图 4 也可以看出,  $\theta$  图和垂直向二阶导数一样, 在背景场区也会出现假异常, 需根据原磁异常进行区分。

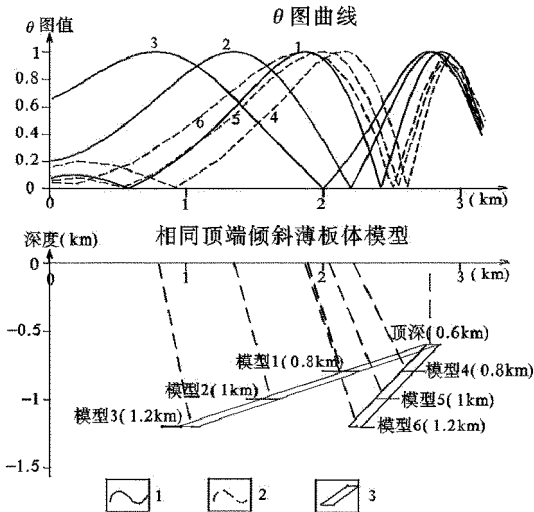


图 2 产状倾斜薄板状体模型正演结果

1—模型(1-3) $\theta$  图曲线; 2—模型(4-6) $\theta$  图曲线; 3—倾斜板状体模型(有效磁化强度  $50\,000 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ )

模型顶端处两侧出现极小值( $B, B'$ )和极大值( $C, C'$ ), 极大值位于岩体一侧, 模型顶端位于极大值和极小值之间的中点位置。在模型向下延伸一侧, 出现极大值( $A, A'$ ), 该极大值与模型底端对应但有一定误差。因该极小值异常处于砂卡岩内部一侧, 在平面上以极小值圈定顶部边界更有操作性和实用性, 因此可利用频率域  $\theta$  图的极小值和位于磁力低一侧的极大值圈定顶深较大的砂卡岩边界。

需要说明的是, 上述为在频率域计算的结果, 当倾斜薄板状体或侵入岩及砂卡岩顶端埋深较小时, 在空间域计算的  $\theta$  图值能更明显的将磁性体底部边

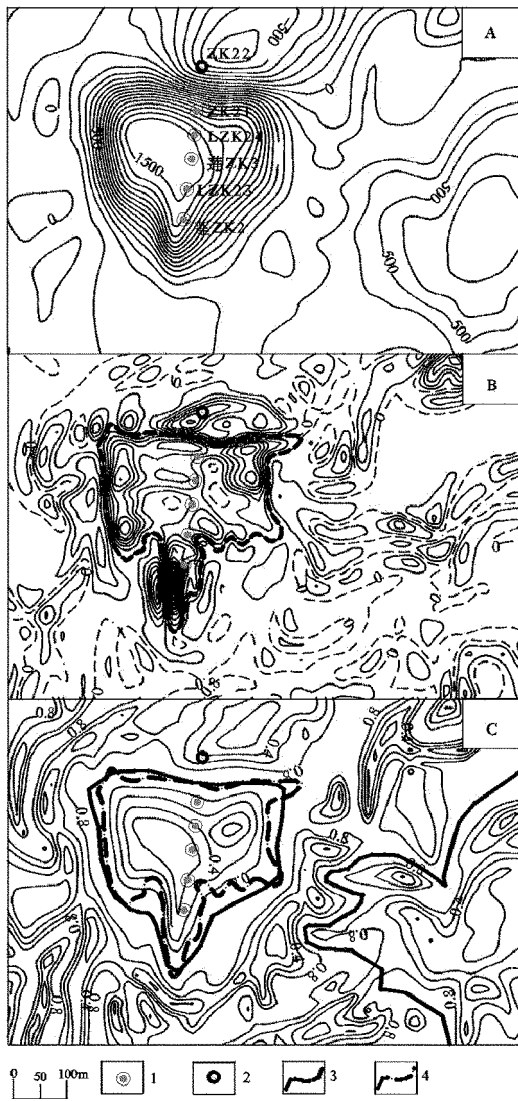


图 4 昌邑市莲花山铁矿床导数处理结果对比图  
1—见铁矿钻孔;2—未见铁矿钻孔;3—磁异常区  $\theta$  图极大值连线;4—铁矿区垂向二阶导数零值线。A—地磁  $\Delta Z$  化极等值线平面图;B—垂向二阶导数等值线平面图;C— $\theta$  图等值线平面图

### 3.2 金岭岩体及其矽卡岩型铁矿

金岭岩体的形态和展布方向严格受 NE 向的短轴背斜控制,其岩性主要为中生代燕山期辉石闪长岩、正长闪长岩<sup>[8]</sup>,磁性较强,磁化率约  $6\ 600 \times 10^{-5}$  SI,剩余磁化强度约  $1\ 700 \times 10^{-3}$  A/m。

岩体围岩为奥陶纪灰岩,当闪长岩侵入到灰岩中,发生强烈的接触交代作用,产生矽卡岩化和磁铁矿化,形成铁矿床<sup>[6]</sup>。铁矿石磁化率约  $50\ 000 \times 10^{-5}$  SI,剩余磁化强度约  $53\ 000 \times 10^{-3}$  A/m,奥陶纪灰岩没有磁性。因此矽卡岩在局部地区因含铁矿而具有较侵入岩更强的磁性。

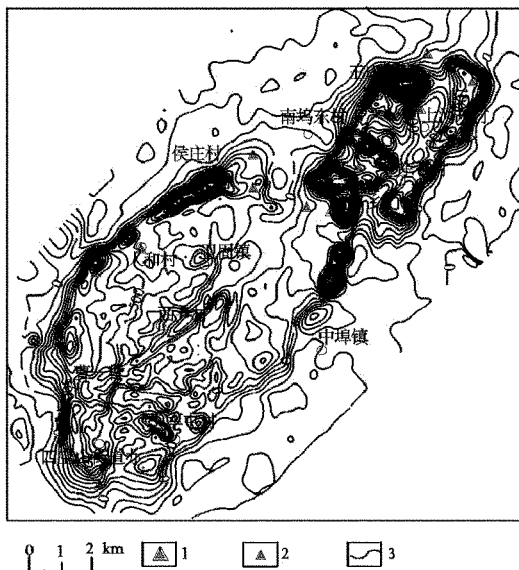


图 5 金岭岩体地磁  $\Delta Z$  化极等值线图

1—中型铁矿;2—小型铁矿;3—地磁  $\Delta Z$  化极等值线

图 5 为山东省金岭镇地区地磁  $\Delta Z$  化极等值线图。区内磁场呈 NE,SW 向展布的“葫芦”型,异常基本形态呈不规则的多峰异常,以局部独立的强磁封闭圈异常反映金岭岩体的分布,金岭铁矿床位于强磁异常端部、拐弯部位,边部强磁异常带最大峰值 2 700 nT,为含矿矽卡岩带的反映;中部磁力高异常 200~800 nT,为金岭辉石闪长岩体的反映;背景场 0 nT。

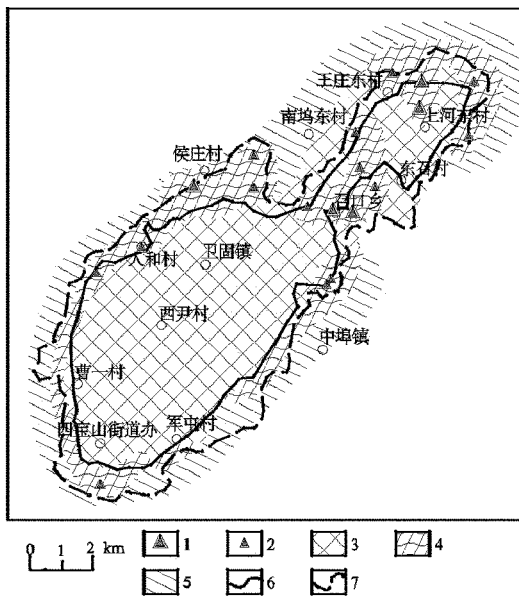


图 6 金岭岩体矽卡岩带对比图

1—中型铁矿;2—小型铁矿;3—中细粒辉石闪长岩;4—透辉石、蛇纹石矽卡岩;5—马家沟群(灰岩建造);6— $\theta$  图等值线极小值;7— $\theta$  图等值线极大值

图 6 为山东省金岭镇地区由  $\theta$  图法极值圈定的矽卡岩带与实测(地质预测)矽卡岩带对比图。矽卡岩顶部边界由  $\theta$  图极小值圈定,底部边界则由  $\theta$  图的极大值圈定。由图 6 可知,理论计算与实测矽卡岩带在南部对应较好,弱磁异常也得到了体现;在北部则由于矽卡岩与岩体交错分布导致磁异常较散乱,而此处圈定为一个整体,并没有圈定叠加在岩体内部的矽卡岩,因此详查时需按磁异常分别圈定。金岭铁矿床 19 处中、小型铁矿有 17 处位于由理论计算圈定的矽卡岩带上,因此这种圈定矽卡岩带的方法是可行的。

## 4 结语

(1)若场源为产状直立的磁性体, $\theta$  图的 2 个极大值分别对应磁性体 2 个边界,在磁性体内部  $\theta$  图为低值。

(2)若场源为倾斜磁性体,可利用  $\theta$  图的 2 个极大值圈定倾斜磁性体的边界,圈定的底端边界不是模型

边界的水平投影位置,需根据顶深和倾角进行换算。

(3)若场源为侵入岩及强磁性矽卡岩,可利用  $\theta$  图的极小值和位于磁力低一侧的极大值圈定矽卡岩边界。

## 参考文献:

- [1] 管志宁. 地磁场与磁力勘探[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [2] 范正国,黄旭钊,熊盛青,等. 磁测资料应用技术要求[M]. 北京:地质出版社,2010.
- [3] 陈敏,邵伟. 应用地面磁法圈定煤田火区边界[J]. 物探与化探,2010,34(1):89-92.
- [4] 赵法强,曹秀华,庞绪贵,等. 高精度磁测在单县龙王庙地区铁矿调查中的应用[J]. 山东国土资源,2011,27(8):23-27.
- [5] 张明华,乔计花,刘宽厚,等. 重力资料应用技术要求[M]. 北京:地质出版社,2010.
- [6] 李锋,孔庆友,张天祯,等. 山东地勘读本[M]. 济南:山东科学技术出版社,2002.
- [7] 孔庆友,张天祯,于学峰,等. 山东矿床[M]. 济南:山东科学技术出版社,2006.
- [8] 王世进,张成基,杨恩秀,等. 鲁西地区中生代侵入岩期次划分[J]. 山东国土资源,2009,25(2):19-24.

## Application of Magnetic $\theta$ Map Method in the Delineation of Magnetic Body Boundary

LI Tuxiong, ZHAO Faqiang, YU Linsong, YAO Min

(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** In recent years, one derivative processing method is Thete Map method. By using maximum to delineate magnetic geological boundaries. The main steps of its algorithm are to calculate the ratio of vertical first derivative and total horizontal derivative. By analyzing the thete maps in different magnetic models, correspondence law of thete map and the boundaries of upright magnetic bodies, tilt magnetic bodies, rock and skarn have been summarized. This method have references to delineate fault structure and geological boundary by using gravity method.

**Key words:** Magnetic method; thete map; magnetic body; boundary; skarn; magnetic method