

doi: 10.11720/wyht.2016.5.10

段瑞锋,刘建利,申晨,等.功率谱法在银额盆地居延海拗陷磁测异常解释中的应用[J].物探与化探,2016,40(5):904-909. http://doi.org/10.11720/wyht.2016.5.10

Duan R F, Liu J L, Shen C, et al. The application of power spectrum method in Yin-E basin Juyanhai depression magnetic anomaly interpretation [J]. Geophysical and Geochemical Exploration 2016, 40(5): 904-909. http://doi.org/10.11720/wyht.2016.5.10

功率谱法在银额盆地居延海拗陷磁测异常解释中的应用

段瑞锋¹, 刘建利^{1,2}, 申晨¹, 尹虎¹, 李冰¹

(1. 陕西地矿物化探队, 陕西 西安 710043; 2. 陕西省矿产资源勘查与综合利用重点实验室第一研究室, 陕西 西安 710043)

摘要: 在高精度磁测数据精细处理解释中, 通常需要定量解释磁性体的深度信息, 对于研究区域地质构造、岩浆岩发育和找矿分析研究都具有重要意义。功率谱法是计算磁性体深度的常用方法, 但由于程序采用滑动窗口的方法, 参数选择存在主观性, 会造成计算误差。笔者通过人机交互 2.5D 重、磁联合反演拟合和钻井资料对比分析, 甄选最佳参数组合, 利用功率谱法反演计算了银额盆地居延海拗陷磁性体的埋深信息。

关键词: 功率谱法; 居延海拗陷; 磁性体; 埋深

中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2016)05-0904-06

功率谱法作为计算磁性体深度的常用方法之一, 应用比较广泛, 其前身是 1970 年由 Spect A 和 Grant F S 提出的在频率域求解磁性体的统计平均深度的方法, 国内学者侯重初等做过相关研究应用^[1-3], 该方法通过分析异常数据在频率域的对数功率谱, 来近似计算引起异常的磁性体的顶底深度。笔者利用 RGIS 中磁源深度计算模块, 对银额盆地居延海拗陷高精度磁测异常数据进行了深度信息反演计算。通过人机交互 2.5D 重、磁联合反演拟合和钻井资料约束验证, 合理甄选参数, 循环计算进而推出最优参数, 使计算深度逼近实际深度。从已知推衍未知, 由点到面再到三维层层剖析, 研析了银额盆地居延海拗陷磁性体的分布与埋深信息, 为磁测异常的解释工作提供了客观可靠的深度信息, 取得了良好的效果。

1 区域地质概况

银(根)额(济纳旗)盆地位于中国西北地区内蒙古自治区西部和甘肃省西北部, 是西北地区勘探程度较低的一个大型中生代盆地群^[4-5]。盆地位于

古亚洲洋与特提斯构造域的交汇部位, 其构造位置处于塔里木板块、哈萨克斯坦板块、西伯利亚板块、华北板块 4 大板块基底的交切、复合地带^[6-8]。居延海拗陷位于银额盆地西北部, 属于哈萨克斯坦板块东延部分。拗陷由 6 个凹陷(路井、居东、天草、建国营、伊肯乌苏、吉格达)和 6 个凸起(路北、居西、路南、乌家井、布龙图、保格达)组成(图 1), 整体格局为凹凸相间, 呈长条形沿北东向依次展布。

银额盆地中、新生代岩浆活动频繁, 岩浆侵入与喷发作用多期次交替发生, 侵入岩和火山岩极为发育^[9-10]。石炭—二叠纪火山岩分布广泛, 发育层位分布差异较大, 主要以中酸性火山岩—火山碎屑岩为主, 火山岩与正常沉积岩互层或者呈夹层产出, 基性火山岩相对不发育, 有少量基性火山岩形成于板内裂谷环境^[10]。总体上表现为岩浆活动受各期构造运动的控制, 在空间上受不同构造体系的影响, 北山区(包括敦煌—阿拉善地区)属华力西期构造岩浆区, 以晚古生代岩浆作用为主。

2 岩石地层磁性特征

区内出露地层岩石较为齐全, 主要以沉积岩、岩

收稿日期: 2015-05-07; 修回日期: 2016-03-09

基金项目: 中国地质调查局“西北地区中小盆地群油气资源远景调查”项目(1212010733506)

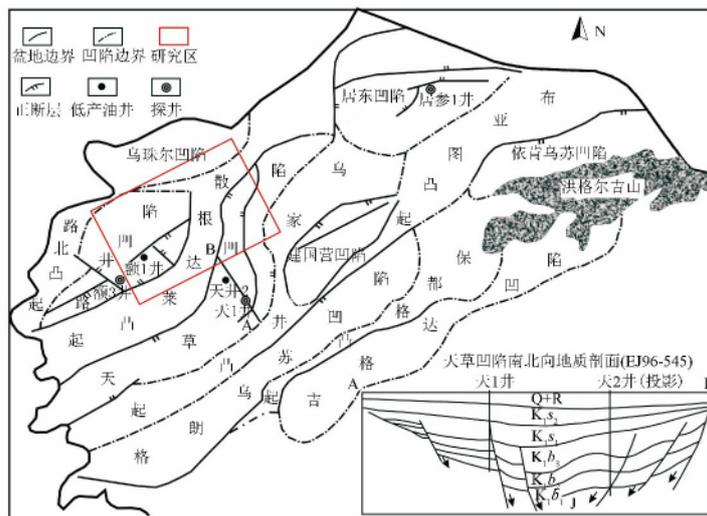


图 1 居延海坳陷构造单元划分

浆岩分布为主。通过统计分析近年来实施的“银额盆地及其邻区石炭—二叠系油气远景调查(综合物化探测量)”项目野外实测标本磁化率数据,分别给出地层及岩浆岩磁化率 κ 特征(表 1)。

区内中生界以沉积岩为主,无磁性或弱磁性层,中基性安山岩、安山玄武岩磁化率常见值为 $604 \times 4\pi \times 10^{-6}$ SI。石炭—二叠系火山岩中的英安岩、流纹岩磁性较弱,磁化率变化范围为 $(11 \sim 1916) \times 4\pi \times 10^{-6}$ SI,安山岩、玄武岩、火山角砾岩等磁性变化较大,变化范围为 $(514 \sim 4108) \times 4\pi \times 10^{-6}$ SI。下古生界以浅变质岩系、中基性火山岩系为主,安山岩、玄武岩、火山熔岩

呈强磁性,最大值为 $4534 \times 4\pi \times 10^{-6}$ SI。元古界—太古界为一套深度变质岩系,具有一定磁性,磁化率常见值为 $349 \times 4\pi \times 10^{-6}$ SI。华力西期是区内最主要的岩浆岩活动期,中酸性侵入岩花岗岩、花岗闪长岩、辉长岩磁性变化范围为 $(10 \sim 1403) \times 4\pi \times 10^{-6}$ SI,岩浆岩与围岩磁性差异比较大。

3 功率谱法应用分析

3.1 方法原理

功率谱法的基本原理及公式推导在文献^[1-3]中有详细论述,这里只对功率谱法求取磁性体顶面平

表 1 银额盆地及其邻区地层岩石磁性统计

时间	岩性	样本数	$\kappa / (4\pi \times 10^{-6} \text{ SI})$			
			最小值	最大值	常见值	
Mz	K	粘土岩、泥岩、粉砂岩、砂岩、砾岩、砂砾岩 安山岩、安山玄武岩	80	4	26	12
	J	泥岩、粉砂岩、砂岩	20	113	1123	604
	T	砂岩、砂砾岩、砾岩	52	6	68	39
Pz	P-C	砂岩、砂砾岩、砾岩	47	8	64	21
		泥岩、粉砂岩、砂岩、砾岩、灰岩	541	2	54	16
		英安岩、流纹岩	230	11	1916	981
	D-ε	安山岩、玄武岩、熔岩、火山角砾岩、凝灰岩	1352	514	4108	2401
灰岩、硅质岩、粉砂岩、砂岩、砾岩		715	2	69	46	
板岩、片岩、片麻岩、角闪岩、石英岩 安山岩、玄武岩、熔岩		114 443	3 341	773 4534	248 3240	
Pt-Ar	灰岩、白云岩	60	3	14	9	
	板岩、片岩、片麻岩、浅粒岩、石英岩	665	2	1553	349	
印支期	花岗岩	35	4	449	220	
	石英闪长岩	47	57	683	364	
华力西期	花岗岩、花岗闪长岩	94	10	1168	478	
	闪长玢岩	42	108	1403	422	
	辉长岩	107	37	1228	699	
加里东期	花岗岩	40	2	1312	322	
	闪长岩	20	878	3843	2289	
	辉长岩	40	85	965	721	

注: 2007 ~ 2014 年陕西省地质矿产勘查开发局物化探队实测资料

均埋深方法原理做一简单介绍。

将窗口内地下磁性体视为有限延伸垂直棱柱体,将磁异常化到地磁极,在较高频区域求角度平均径向功率谱表达式:

$$K^2(s) = \frac{1}{2\pi} \left| \int_{-\pi}^{\pi} F(s, \phi) d\phi \right|^2,$$

$$\ln K(s) = \alpha - 2\pi s z_i,$$

$$z_i s = \left[\ln \frac{K(s)}{K(s + \Delta s)} \right] / (2\pi \Delta s),$$

其中: s 为径向圆频率; ϕ 为 s 的方位角; α 为常数; z_i 为顶面深度。这样就可以通过求取数组 $z_i(s)$ 的平均值得到顶面平均深度。

3.2 处理思路与计算流程

RGIS 中的 3D 磁源深度计算模块是依据功率谱法采取滑动窗口方法开发的计算磁性体顶面平均深度的应用程序。由于现在磁测大多是区域性面积测区,计算区域通常比较大,而当前的计算机速度难以应付较大区域的傅里叶变换计算。因此,大都采取计算机滑动窗口方法(等间隔分块,等距离滑动)来计算。计算过程简便易行,但是需要人工主观选择窗口大小和滑动距离等参数,参数选择不同计算结果差异较大,单纯理论计算会造成结果误差较大。笔者在利用 RGIS 中磁源深度计算模块进行磁性体顶面深度信息反演计算过程中,为了减小人工选择窗口大小和滑动距离参数造成的计算结果误差,对于有钻井资料的区域直接利用钻井资料来对比验证计算深度,对于没有钻井资料的区域采用重力、电法剖面地质解释成果,通过人机交互 2.5D 重、磁联合反演拟合来分析验证。

针对研究区已有的地质、钻井等资料,建立适合本区的计算处理流程(图 2)。首先对 ΔT 异常数据进行化极处理,然后根据 ΔT 异常圈定本区磁性体范围(图 3),依次进行剖面、3D 磁源深度计算,利用钻井等资料约束采用试错法不断反演计算对比验证以选取合理的参数。研究其他区域思路相同,该计算流程同样也适合其他区域。

参数的甄选是该流程的核心,主要参数有窗口宽度、滑动距离、低频数和高频数。

滑动窗口为方形,宽度大小以所要计算的数据的点距为单位进行计算。要求输入的窗口宽度的数值为 2 的整数幂。对窗口大小的选择,取决于数据异常规模大小以及对计算精度的要求。一般来说,窗口越大,通常计算速度也越慢,通常窗口宽度选取为 8 或 16。

滑动距离是滑动窗口逐次移动的距离,也就是

窗口中心点,或称计算点的距离。滑动距离以数据文件的数据点距为单位。一般来说,滑动距离越大,计算速度越快,计算点数越少,深度值点位密度越稀。

低频数是滑动窗口范围的异常功率谱变化平缓段的起始端对应的频率数。高频数是滑动窗口范围的异常功率谱变化平缓段的结束端对应的频率数,一般估算值可取小一些,以反映规模较大,深度较大的磁性层的深度。

其中,影响计算结果明显的是滑动距离和高频数,选取值的大小反映磁性体深度变化比较大。目前这些参数的选择没有定量的选择准则或办法,就是凭经验依据钻井等资料约束试错,但是这些参数的取值变化范围比较小,通过钻井等资料约束可以快速选取合适的参数。将计算得到磁源深度对比已知钻孔和已知重、磁、电联合反演剖面磁源深度,差异大,修正参数循环计算,直至计算深度贴近已知钻孔和剖面反演深度。全区有钻孔和剖面反演已知信息处磁源深度对比吻合,其余无已知信息区磁源深度接近客观可靠。

3.3 结果对比分析

3.3.1 剖面计算结果分析

研究区内有 6 口井钻遇岩浆岩,利用过井剖面段 ΔT 数据计算得到钻遇磁性体剖面深度,与录井资料对比,最大相差 73.5 m,最小相差 3.5 m(表 2)。

通过圈定磁性体异常中心剖面段 ΔT 数据,计

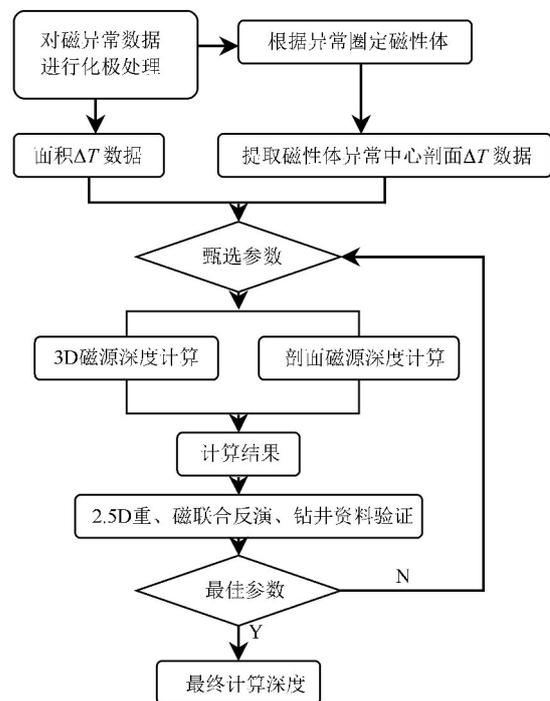


图 2 功率谱法计算处理流程

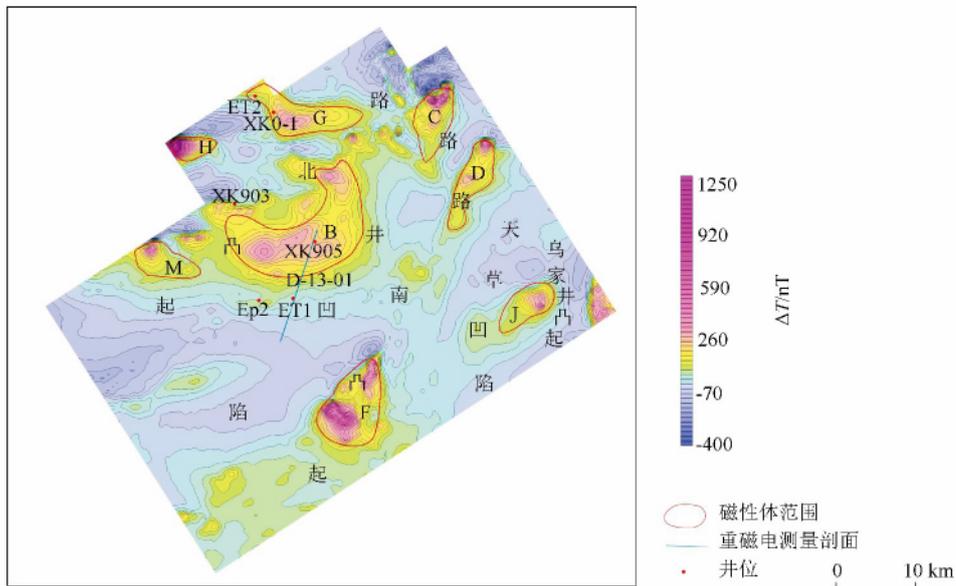


图3 研究区 ΔT 异常平面等值线

算得出本区磁性体剖面深度(表3)。其中 XK905 井钻遇磁性体 B,计算深度 744.2 m,录井深度 740.7 m; XK0-1 钻遇磁性体 G,计算深度 596.8 m,录井深度 523.3 m,深度吻合良好。

表2 剖面计算深度与录井深度对比

井位	计算深度/m	录井深度/m
XK905	744.2	740.7
XK0-1	596.8	523.3
XK903	187.98	170.4
ET1 井	604.29	648.2
ET2 井	952.95	937.13
EP2 井	303.83	275.5

表3 剖面计算深度

编号	磁性体深度/m	编号	磁性体深度/m
B	744.2	G	596.8
C	787.4	H	673.4
D	565.3	J	420.4
F	797.7	M	535.7

于路南凸起南端,剖面计算深度为 0.797 km,3D 计算深度约为 0.8 km;磁性体 G 位于路北凸起,3D 计算深度约为 0.5 km,XK0-1 钻井显示为凝灰岩,埋深 0.523 km;磁性体 H 位于路北凸起,剖面计算深度为 0.673 km,3D 计算深度约为 0.6 km;磁性体 J 位于天草凹陷与乌家井凸起边界区,剖面计算深度为 0.420 km,3D 计算深度约为 0.4 km;磁性体 M 位于路北凸起南端,剖面计算深度为 0.535 km,3D 计算深度约为 0.5 km。

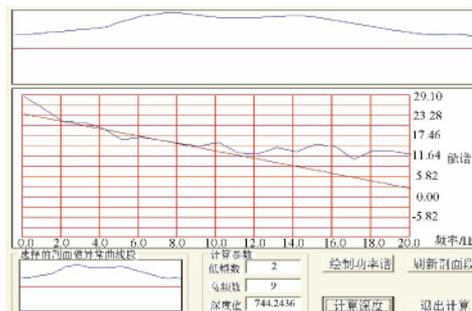


图4 剖面磁源深度计算窗口

3.3.2 3D 计算结果分析

依据研究区面积 ΔT 化极异常数据,参考剖面计算深度及录井深度,选定最优参数为:窗口宽度 8、滑动距离 4、低频数 2、高频数 4(图5)。计算得出研究区三维磁源深度(图6),对比剖面计算结果和录井资料,深度信息吻合良好。磁性体 B 位于路北凸起与路井凹陷之间,3D 计算深度约为 0.7 km,XK905 钻井显示为华力西期花岗闪长岩,埋深 0.74 km;磁性体 C 位于路北凸起和路井凹陷边界北端,剖面计算深度为 0.787 km,3D 计算深度约为 0.8 km;磁性体 D 位于路南凸起北端,剖面计算深度为 0.565 km,3D 计算深度约为 0.6 km;磁性体 F 位

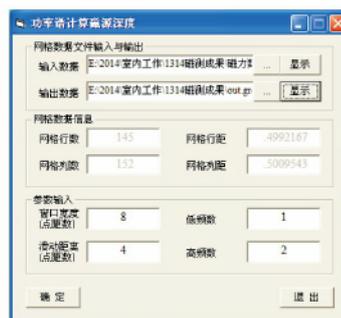


图5 三维磁源深度计算窗口

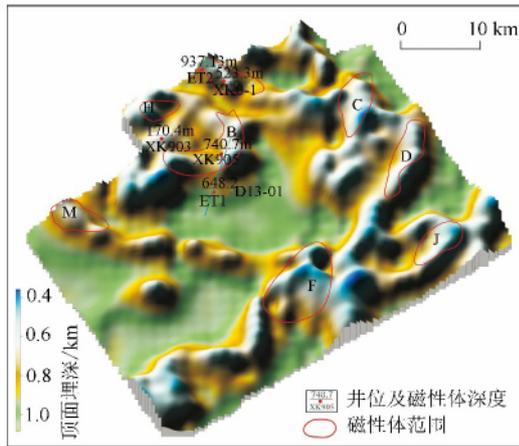
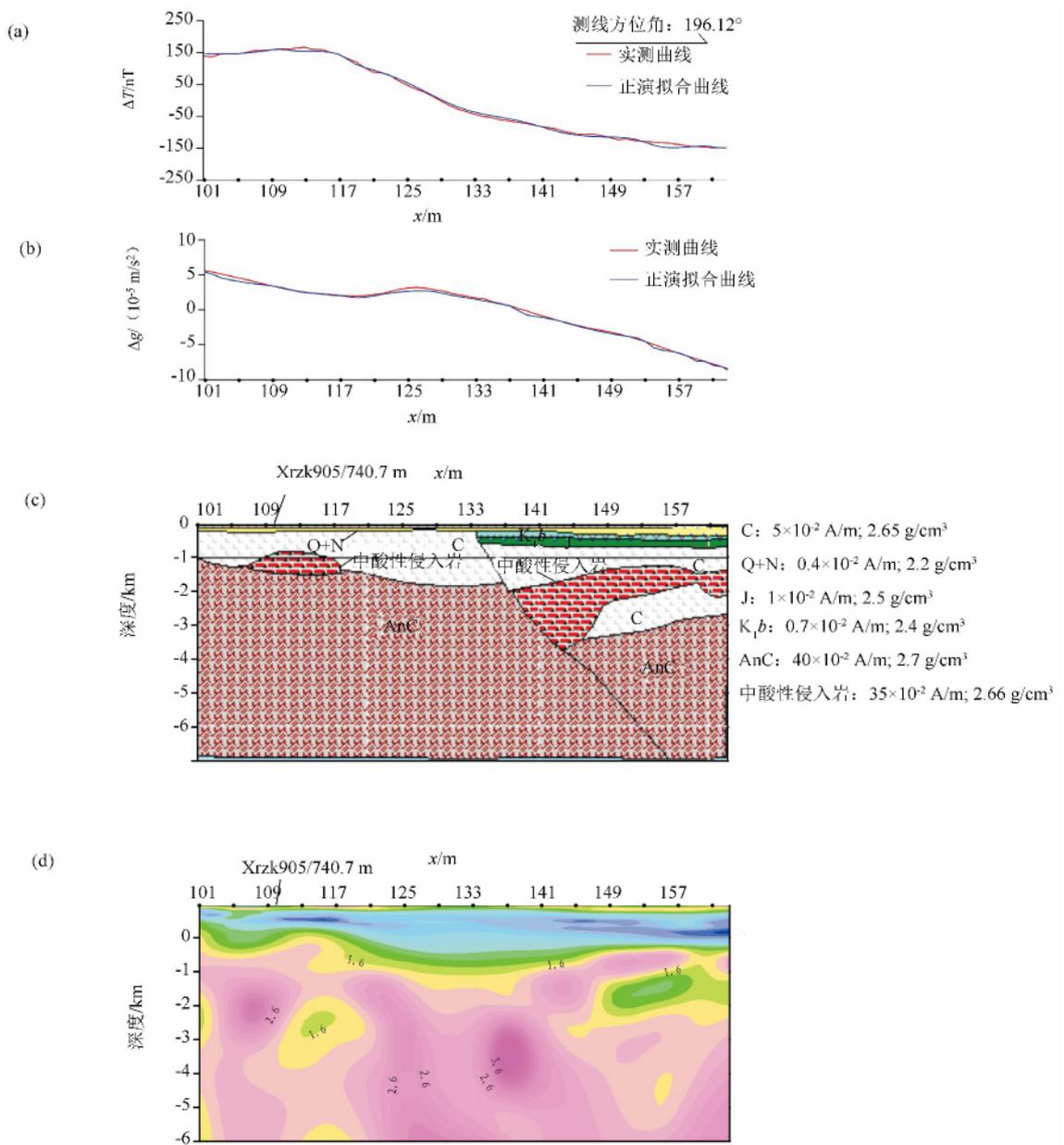


图6 研究区三维磁源埋深

研究区 1:5 万重、磁、电测量剖面 D-13-01 北端穿过 XK905 钻井,处于磁性体 B 中心位置。参考剖面 MT 测量二维反演结果,进行人机交互 2.5D 重、磁联合反演,反演结果如图 7 所示,拟合度良好。剖面北端过 XK905 钻井显示为华力西期花岗闪长岩,埋深 0.74 km,拟合埋深约为 0.7 km,与计算得到磁源深度 0.744 km 吻合。

4 结论

功率谱法计算磁源深度,利用钻井资料及人机交互 2.5D 重、磁联合反演成果反复验证约束计算,



a—剩余磁异常; b—剩余布格重力异常; c—地质模型; d—二维连续介质反演电阻率剖面

图7 D-13-01 剖面 2.5D 重磁联合反演拟合

甄选出最佳计算参数,由点到面再到三维层层剖析,可有效降低计算误差,提高计算精度。经钻井资料验证,研究区磁性体顶面埋深计算结果可靠,为定量解释银额盆地居延海坳陷岩浆岩的空间分布提供了准确的埋深信息。

参考文献:

- [1] Spector A, Grant F S. Statistical models for interpreting aeromagnetic data [J]. *Geophysics*, 1970, 35(2): 293-302.
- [2] 侯重初, 李保国. 计算磁性体上顶与下底深度的功率谱法[J]. *物探化探计算技术*, 1985, 7(4): 271-279.
- [3] 王西文. 对数功率谱法计算磁性体项底深的若干问题[J]. *西安地质学院学报*, 1989, 11(4): 90-100.
- [4] 卫平生, 张虎权, 林卫东, 等. 银根-额济纳旗盆地油气勘探远景[J]. *天然气工业*, 2005, 25(3): 7-10.
- [5] 陈启林, 卫平生, 杨占龙. 银根-额济纳盆地构造演化与油气勘探方向[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(4): 311-315.
- [6] 卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 等. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭二叠系沉积建造与生烃条件[J]. *地质通报*, 2011, 30(6): 811-826.
- [7] 陈高潮, 李玉宏, 史冀中, 等. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭纪一二叠纪盆地重矿物的特征及意义[J]. *地质通报*, 2011, 30(6): 962-970.
- [8] 卢进才, 魏仙样, 魏建设, 等. 内蒙古西部额济纳旗及其邻区石炭系一二叠系油气地质条件初探[J]. *地质通报*, 2010, 29(2): 330-340.
- [9] 张春灌, 袁炳强, 杨高印, 等. 内蒙古西部银根-额济纳旗盆地航磁异常特征及地质意义[J]. *地质通报*, 2012, 31(10): 1724-1730.
- [10] 党彝, 赵虹, 林广春, 等. 内蒙古西部银根-额济纳旗盆地及其邻区二叠纪火山岩的地球化学特征和构造环境[J]. *地质通报*, 2011, 30(6): 932-942.
- [11] 睦素文, 于长春, 熊盛青, 等. 功率谱可视化深度计算方法及在煤火区的应用[J]. *物探与化探*, 2007, 31(6): 560-563.
- [12] 李成立, 谢春临, 吕庆田. 利用位场功率谱计算地质体顶底深度效果[J]. *大庆石油地质与开发*, 1998, 17(5): 45-48.
- [13] 睦素文, 安玉林, 黄金明. 复杂条件下局部重磁场源全方位成像系统在云南某地的应用效果[J]. *物探与化探*, 2002, 26(5): 388-391.
- [14] 申宁华, 李春华, 张贵宾, 等. 用康滇大陆古裂谷带地区航磁异常计算居里深度[J]. *地球物理学报*, 1986, 29(5): 496-502.
- [15] 申宁华. 用航磁数据计算居里点深度的原理及方法[J]. *物探化探计算技术*, 1985, 7(2): 89-98.
- [16] 侯重初, 杨全成. 用谱分析法建立一个位场反演系统[J]. *物探化探计算技术*, 1990, 12(4): 295-303.
- [17] Bhattacharyya B K, Leu L K. Spectral analysis of gravity and magnetic anomalies due to rectangular prismatic bodies [J]. *Geophysics*, 1977, 42(1): 41-50.
- [18] Bhattacharyya B K. Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization [J]. *Geophysics*, 1964, 29(4): 517-531.
- [19] 郭志宏, 熊盛青, 曹建平. 航磁异常总梯度模反演方法的实用化改进及软件研制[J]. *物探与化探*, 2004, 28(6): 518-522.
- [20] 穆石敏, 叶水盛. 功率谱法估算埋深中的若干问题[J]. *长春地质学院学报*, 1982, 2(2): 95-102.

The application of power spectrum method in Yin-E basin Juyanhai depression magnetic anomaly interpretation

DUAN Rui-Feng¹, LIU Jian-Li^{1, 2}, SHEN Chen¹, YIN Hu¹, LI Bing¹

(1. *Geochemical Exploration Team of Shaanxi Xi'an 710043, China*; 2. *The First Laboratory of Mineral Resources Exploration and Comprehensive Utilization Key Laboratory of Mineral Resources in Shaanxi Province Xi'an 710043, China*)

Abstract: In fine precision magnetic survey data processing and interpretation usually requires quantitative interpretation of the magnetic body depth information for the study of regional tectonic, magmatic rocks and ore analysis also has important significance. Power spectrum method is a common method for calculating the depth of the magnetic material but the program uses the sliding window method. And parameter selection subjectivity can cause a calculation error. The author through computer interaction 2.5D gravity and magnetic joint inversion fitting and drilling data comparative analysis, select the optimal parameter combination, uses the power spectrum method to calculate the depth information of magnetic substance in Yin-E basin Juyanhai depression.

Key words: power spectrum method; juyanhai depression; magnetic substance; cover depth

作者简介: 段瑞锋(1986-), 男, 工程师, 从事重磁资料处理解释工作。E-mail: rufengduan@163.com