

文章编号:1673-5005(2007)01-0030-05

济阳坳陷花沟地区火成岩重磁成像解释方法

刘 展¹, 班 丽¹, 魏 巍¹, 王万银², 郭加树¹

(1 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 提出了基于单相关系数搜索的变形的 n 维黄金分割算法的重磁成像方法, 并利用该方法反演了济阳坳陷花沟地区的视密度与视磁化强度的三维空间分布, 据此结合钻井、磁力和重力异常图对该地区火成岩的三维空间分布进行了推断。花沟地区共推断出 42 个酸性火成岩和 33 个基性火成岩, 并按 200 m 的深度间隔分 11 层编制了深度为 900~2900 m 内各层上的火成岩深度切片图, 其结果较好地展示了该区火成岩的空间分布。

关键词: 济阳坳陷; 花沟地区; 火成岩; 重磁成像; 视密度; 视磁化强度; 分布特征

中图分类号: P 631.443 **文献标识码:** A

A method of inversing igneous rock by gravity and magnetic imaging in Huagou area of Jiyang depression

LIU Zhan¹, BAN Li¹, WEI Wei¹, WANG Wan-yin², GUO Jia-shu¹

(1. Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;

2. College of Geology Engineering and Geomatics in Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: A method of gravity and magnetic imaging by a n -dimensional golden section algorithm based on variational single-correlation coefficient search was presented, and the method was applied to inverse virtual density and magnetization in Huagou area of Jiyang depression. From the imaging results, the 3-D distribution of igneous rock was deduced, which are 42 acidic igneous rocks and 33 basic igneous rocks. For showing them, slice maps of igneous rocks were made in 200 m interval from 900 to 2900 m depth. The results reveal the space distribution of igneous rock of the area.

Key words: Jiyang depression; Huagou area; igneous rock; gravity and magnetic imaging; virtual density; virtual magnetization; distribution characteristic

自从发现火成岩油气藏以来,火成岩岩性、岩相的勘探研究备受关注。济阳坳陷位于我国东部的中、新生代活动性断陷盆地中,曾经历了多次构造运动,并伴随构造运动发生了多期岩浆活动,在第三系沉积地层中发育了丰富的火成岩(侵入岩、喷出岩和火山碎屑岩)。阳信—花沟—平南地区是最具资源意义的 CO_2 气藏产出区,研究表明, CO_2 气藏的分布与火山活动或岩浆侵入密切相关, CO_2 气藏均分布在深切基岩的大断裂带附近^[1-3]。在济阳凹陷寻找 CO_2 非烃气田,确定火成岩的分布至关重要^[2]。地震方法虽能够发现火成岩并能圈定其范围,但难以确定火成岩的岩性和岩相。重磁资料能

够识别具有密度和磁性等特征差异的火成岩岩性、岩相,对火成岩体平面分布的确定具有一定精度,但常规重磁反演方法对深度的确定精度不高,难以确定火成岩的三维空间形态。在高精度资料的基础上,应用地震与重磁联合处理解释方法^[4-7]和采用先进的成像技术,能使重磁异常更直接地反映深部火成岩^[8-11]。笔者基于相关搜索黄金分割法的重磁成像方法来确定济阳坳陷花沟地区的视密度和视磁化强度分布,并结合地质、岩石物性等资料圈定火成岩的形态及空间分布,为在该地区寻找 CO_2 非烃气田提供基础资料。

收稿日期:2006-05-22

基金项目:国家“973”项目(2002CB412404)

作者简介:刘展(1957-),男(汉族),四川内江人,教授,博士,博士生导师,从事物探资料处理与解释研究工作。

1 方法原理

一般位场数据 E_k (重力异常或磁力异常) 与模型 $m(\omega)$ (密度或磁化强度) 之间有如下函数关系:

$$E_k = \int_{\Omega} G_k(\omega) m(\omega) d\omega, k = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

式中, $G_k(\omega)$ 称为核函数, 是观测点坐标 (x, y, z) 与场源体坐标 (ξ, η, ζ) 的函数, 且观测数据 E_k 和模型 $m(\omega)$ 存在着线性泛函关系。

将场源可能分布的空间域 Ω 剖分成若干个小单元, 根据各剖分单元的几何形状和空间位置, 利用正演公式可以将每个剖分单元对每个观测点的核函数 $G_k(\omega)$ 计算出来^[8]。通过式(1)的离散方程可求出每个小单元的物性 $m(\omega)$ 值, 就可实现密度或磁化强度成像。

对于问题(1)已有不少解法^[8-11], 本文中提出黄金分割与相关搜索相结合的方法来求解模型 $m(\omega)$ 。该方法的关键是引入多元线性回归分析中的复相关系数 R , 其表达式为

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_y^2}}. \quad (2)$$

式中, σ^2 表示误差方差; σ_y^2 表示观测数据 E_k 的方差。二者可表示为

$$\begin{cases} \sigma^2 = \sum_{k=1}^N (f_k - \bar{f})^2, \\ \sigma_y^2 = \sum_{k=1}^N (E_k - \bar{E})^2. \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} \bar{E} &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N E_k, \bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f_k, \\ f_k &= E_k - \bar{E}, k = 1, 2, \dots, N. \end{aligned}$$

式中, $\bar{E}$ 为观测数据 E_k 的平均值; f_k 为第 k 个点观测数据 E_k 和理论计算值 $\hat{E}_k$ 之间的差; $\bar{f}$ 为 f_k 的平均值。

复相关系数 R 取值 $0 \sim 1$, 其值越大表示观测数据 E_k 和核函数 $G_k(\omega)$ 之间的线性相关性越好; 反之则越差。重磁成像就是寻找模型 $m(\omega)$, 使观测数据 E_k 与核函数 $G_k(\omega)$ 之间的相关性最好, 为此选用目标函数 φ , 其表达式为

$$\varphi = \sqrt{\frac{\sigma^2}{\sigma_y^2}}, \quad (4)$$

使 φ 取最小值的 $m(\omega)$ 就为所求模型。

选择式(4)作为目标函数有3个显著优点:(1) 每次模型的修改是依相关性的好坏而进行的, 使得模型的修改更趋于合理;(2) 模型不受正常重磁场的影响, 即当观测数据 E_k 与理论计算场存在一常差值时, 目标函数也能达到最小值;(3) 不受起伏地形的影响。

根据一维黄金分割法的有关原理和算法^[12], 在一维黄金分割法的基础上, 提出了基于单相关系数搜索的变形的 n 维黄金分割算法。其基本思想就是用黄金分割这种最优化方法与相关搜索法相结合来求解模型 $m(\omega)$, 使其目标函数 φ 达到最小, 而这一 $m(\omega)$ 值就作为所求模型的解。

相关搜索黄金分割法还可用于曲面上的二度体和三度体的物性(密度、磁化强度)成像, 因而适用性强。

2 济阳拗陷花沟地区火成岩反演

2.1 火成岩重磁异常的提取

花沟地区剩余布格重力异常主要由两大异常区组成(图1), 以花沟—高青一线为界, 其南部为走向近东西的重力低值区, 重力值在 $0 \sim -8$ mgal, 由东西向排列的两个局部重力低值区组成, 异常变化平缓, 局部异常不发育, 表明该区火成岩不发育; 北部为重力高值区, 重力值在 $0 \sim 10$ mgal, 在青城及周边局部异常发育, 局部异常范围小, 多呈椭圆形, 指示出该地区火成岩比较发育; 沿花沟—高青一线为一重力梯级带, 指示出断裂构造的发育状况。

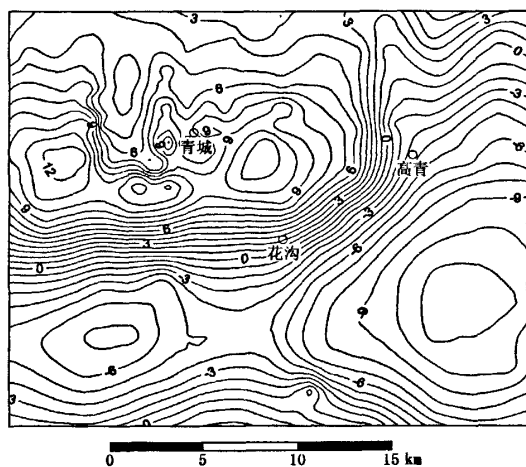


图1 花沟地区剩余布格重力异常图

研究区的磁力异常以负磁异常为主, 可分为3个区域(图2), 中部为平静变化的负磁异常区, 磁力

值在 $0 \sim 65 \text{ nT}$, 局部异常不发育, 沿花沟—高青一线为异常走向变化的转折带; 在北部青城一带为一个似圆状的正磁异常, 幅值为 35 nT ; 在研究区的南部为一条局部磁力异常发育的正磁异常带, 局部异常范围小、变化大, 可能是火成岩带的反映。

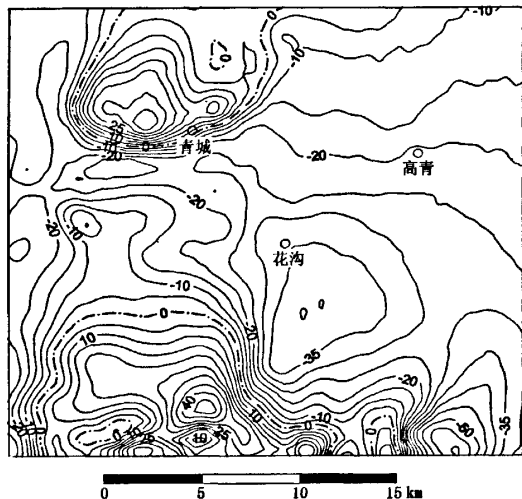


图2 花沟地区化极磁力异常图

根据火成岩及沉积地层的密度及磁性特征, 重磁异常是密度界面、磁性界面及火成岩等综合作用的结果。为了正确地反演得到火成岩的视磁化强度和视密度, 必须消除非火成岩的效应, 提取出火成岩引起的重磁异常, 才能得到正确的反演结果, 为此在反演之前进行了火成岩重磁异常的提取工作。

使用地震和钻井资料确定了东营组(T1)、沙二段(T2)、沙四段(T6)、中生界(Tr)、奥陶系(Tg1)、太古界(Tg2)等地层的顶面深度, 根据各地层的密度, 使用重力“剥皮”技术^[7], 从布格重力异常中消除各密度界面的重力效应, 得到了火成岩和区域地质背景引起的重力异常。根据钻井资料, 花沟地区火成岩的分布在 $0 \sim 3 \text{ km}$, 经试验确定使用 8 km 半径的趋势分析消去区域场, 取其剩余场作为火成岩重力异常。

花沟地区的磁异常源主要由两部分组成, 一是磁性基底, 二是沉积地层中的火成岩体。经试验, 将原平面化极磁异常减去上延 5 km 的磁异常后所获得的剩余磁异常, 作为沉积地层中的火成岩等引起的磁异常。

2.2 剩余视磁化强度和视密度反演

根据钻井资料, 花沟地区的火成岩主要分布深度为 $800 \sim 3000 \text{ m}$, 为减少计算工作量, 将深度计算范围取为 $800 \sim 3000 \text{ m}$ 。将火成岩可能存在的地下

空间剖分按 $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的网格剖分为 N 个矩形六面体, 使用多维黄金分割法反演每个矩形六面体的视磁化强度和视密度, 从而可以得到地下空间的视密度和视磁化强度的分布, 再根据视磁化强度和视密度相对大小圈定火成岩体。

根据计算结果制做了深度为 $900 \sim 2900 \text{ m}$ 、间隔为 200 m 的不同深度上的视磁化强度和视密度切片等值线图(图3, 图4分别给出其中2个深度的结果)。结果表明, 剩余视密度和剩余磁化强度异常在浅部表现为小范围的零星分布, 随着深度的增加其范围逐步增加, 特别是剩余视磁化强度表现为大面积的成片分布, 揭示出火成岩具有在浅部零星分布、在深部大面积发育的特点。

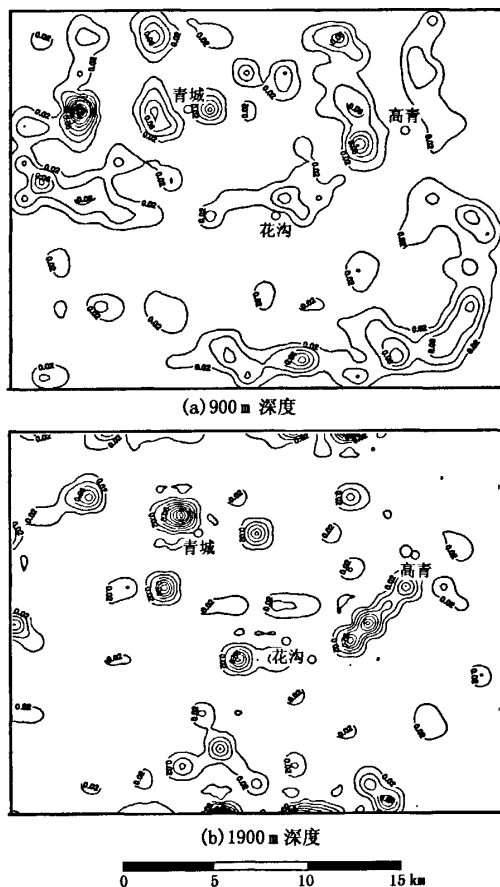


图3 花沟地区各深度视密度切片图

对于计算所得到的视磁化强度和视密度, 使用时必须注意到由于剖分单元比较大, 难免有些单元不是全部由火成岩构成, 因此反演出来的磁化强度和密度并非一定是火成岩的真实值(故将其称作视磁化强度和视密度), 必须结合钻井、磁力和重力异

常图,才能有效地圈定火成岩空间分布。

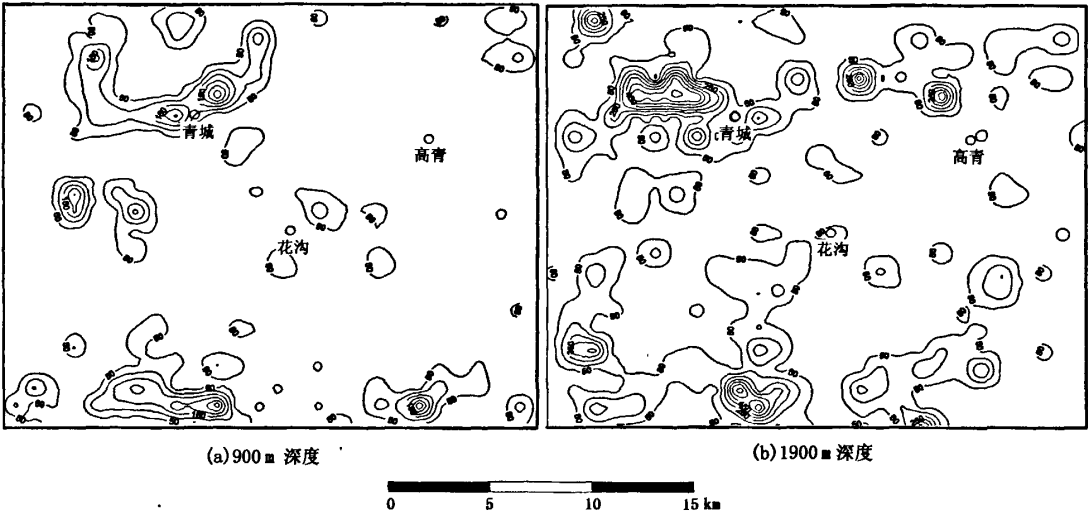


图4 花沟地区各深度视磁化强度切片图

3 火成岩分布的推断解释

根据 900 ~ 2900 m 各深度上的视磁化强度和视密度空间分布的特征,依据基性火成岩(玄武岩等)具有剩余视密度与剩余视磁化强度均高,而酸性火成岩(花岗岩等)具有剩余视密度低、剩余视磁化强度高的规律,结合钻井资料及断裂构造进行了火成岩的推断解释。在研究区,共推断出 42 个酸性火成岩体和 33 个基性火成岩体,按 200 m 间隔分 11 层给出了 900 ~ 2900 m 各深度上的火成岩切片图(图 5 给出其中 2 个深度的切片)。根据推断结果可知,沿 F4 和 F5 断裂带发育着一个基性火成岩带,带

内火成岩规模不大,基本上沿断裂带及两侧发育,且在各深度均有发育,但发育程度有差异。酸性火成岩则主要发育在研究区的南北区,在青城以北沿 F6 断裂带发育着一个规模较大的酸性火成岩(编号为 s1),在 900 ~ 2900 m 深度内均有发育,并且由浅到深,岩体范围逐步扩大,延伸到 2900 m 以下,可能为一个巨大的花岗岩侵入体;在 F1 断裂和 F4 断裂之间发育着一个规模巨大的酸性火成岩体(编号为 s23),该岩体从 1600 m 深度开始发育,随着深度的增加,规模逐渐增大,一直延伸到 2900 m 以下,推测其为一个巨大的花岗岩侵入体。

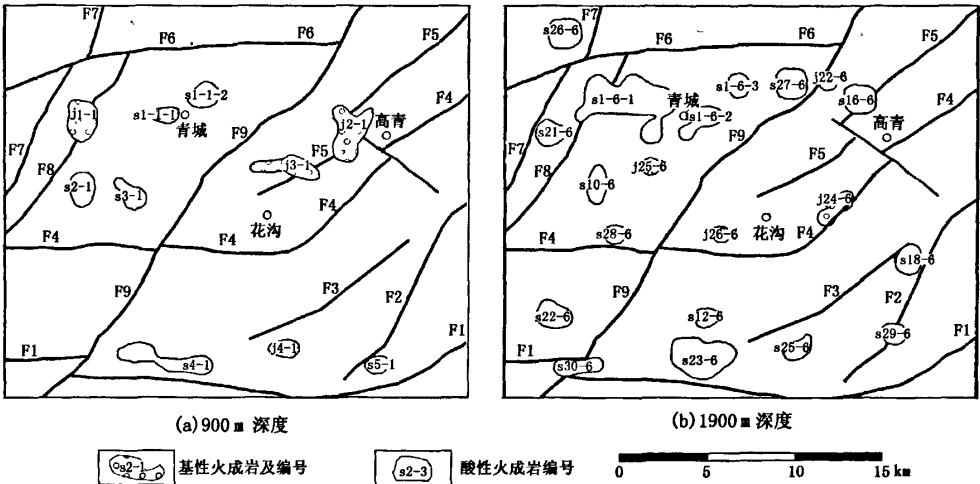


图5 花沟地区各深度火成岩切片图

4 结束语

采用基于单相关系数搜索的变形的 n 维黄金分割算法,可以较好地根据重磁异常反演其视密度与视磁化强度的空间分布。利用该方法进行火成岩的推断解释,关键是要使用重力“剥皮”技术,并根据地震和钻井数据准确分离出火成岩引起的剩余重力异常,以及使用上延或趋势面分析获得沉积地层中的火成岩引起的剩余磁力异常;其次是要根据研究地区内各地层及火成岩的磁性、密度变化规律,确定出视密度与视磁化强度的空间分布,才能有效地推断出火成岩的形态及空间分布。

参考文献:

- [1] 陈有义. 济阳拗陷阳信—花沟—平南地区 CO_2 气[J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 405-409.
CHEN You-yi. Reservoirs and seals of CO_2 pools in Yangxin-Huagou-Pingnan area, Jiyang depression[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(3): 405-409.
- [2] 王兴谋. 济阳拗陷 CO_2 气藏勘探基础[M]. 东营: 石油大学出版社, 2004.
- [3] 操应长, 邱隆伟. 济阳拗陷下第三系火成岩储集层的控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 44-46.
CAO Ying-chang, QIU Long-wei. Study on the type and control factor of the igneous reservoir of lower Tertiary in Jiyang depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(5): 44-46.
- [4] CHARCO M, FERNA NDEZ J, TIAMPO K, et al. Study of volcanic sources at long valley caldera, California, using gravity data and a genetic algorithm inversion technique[J]. Pure and Applied Geophysics, 2004, 161: 1399-1413.
- [5] CHAVEZ R E, BAILEY R C, GARLAND G D. Joint interpretation of gravity and magnetic data over axial symmetric bodies with application to the Darnley Bay anomaly[J]. Nwt Canada, Geophysical Prospecting, 1987, 35: 374-392.
- [6] ROSARIT Tondi, ROBERTO De Franco, GIANCARLO Biella. Deep and shallow solid-earth structures reconstructed with sequential integrated inversion (SII) of seismic and gravity data[J]. Space Science Reviews, 2003, 108: 115-130.
- [7] 刘展, 赵键, 李云平, 等. 东营凹陷岩膏层的重震联合解释技术[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2005, 29(6): 16-19.
LIU Zhan, ZHAO Jian, LI Yun-ping, et al. A method to inversion salt-gypsum strata by jointing gravity-magnetic and seismic data in Dongying sag[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2005, 29(6): 16-19.
- [8] 刘展, 潘作枢. 曲面位场的正则化线性规划直接反演技术[J]. 地质与勘探, 1999, 35(6): 62-66.
LIU Zhan, PAN Zuo-Shu. A method of regularized linear programming applying to directly inversion of potential files on a curved surface[J]. Geology and Prospecting, 1999, 35(6): 62-66.
- [9] 王妙月, 底青云, 许琨, 等. 磁化强度矢量反演方程及二维模型正反演研究[J]. 地球物理学报, 2004, 47(3): 528-534.
WANG Miao-yue, DI Qing-yun, XU Kun, et al. Magnetic sector inversion equation and 2D forward and inversed method study[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2004, 47(3): 528-534.
- [10] 杨辉. 重力、地震联合反演基岩密度及综合解释[J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(4): 496-502.
YANG Hui. Basement density inversion using gravimetric and seismic data the integrative interpretation[J]. Oil Geophysical Prospecting, 1998, 33(4): 496-502.
- [11] 管志宁, 侯俊胜, 黄临平, 等. 重磁反演的拟 BP 神经网络方法及其应用[J]. 地球物理学报, 1998, 41(2): 242-251.
GUAN Zhi-ning, HOU Jun-sheng, HUANG Lin-ping, et al. Inversion of gravity and magnetic anomalies using pseudo-BP neural network method and its application[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1998, 41(2): 242-251.
- [12] 王德人. 非线性方程组解法与最优化方法[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980.

(编辑 刘艳荣)