

# 滨州—青岛地磁剖面地下磁性结构分析\*

李 博, 苏树朋, 云 萌, 张海洋, 赵慧琴

(河北省地震局, 河北 保定 071000)

**摘要:** 通过探测滨州—青岛剖面的地磁总强度, 获取其岩石圈磁场数据, 利用延拓方法对岩石圈磁场数据进行解析延拓, 并对该剖面地下磁化率结构进行分析研究。结合剖面地质构造特征, 发现磁场曲线在断裂分布较复杂地段有较剧烈的起伏波动, 磁化率结构在断裂处多呈高磁化率团块分布。

**关键词:** 滨州—青岛剖面; 岩石圈磁场; 解析延拓; 磁化率

**中图分类号:** P318

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)03-0388-04

## 0 引言

不同的地质体间的磁性差异可以引起磁异常, 磁异常的位置和轮廓与地质体的位置和轮廓有一定对应关系(徐如刚等, 2012; 张毅等, 2013)。当一个磁性层或磁性体被断层错开时, 不论是上下错动还是水平错动, 当断距较大时都会使磁异常发生明显变化。岩层在出现断裂的情况下, 其所反映的磁场强度一般会发生突变, 即断层基岩层面的磁场强度会出现正负异常突变(林珍, 2003; 管志宁等, 2002; 安玉林等, 2003)。本文正是通过观测地磁场的异常来确定地质目标的磁性分布, 主要利用滨州—青岛剖面地磁场总强度数据进行处理反演, 对滨州—青岛剖面局部地下磁化率结构进行分析研究。

## 1 剖面数据采集

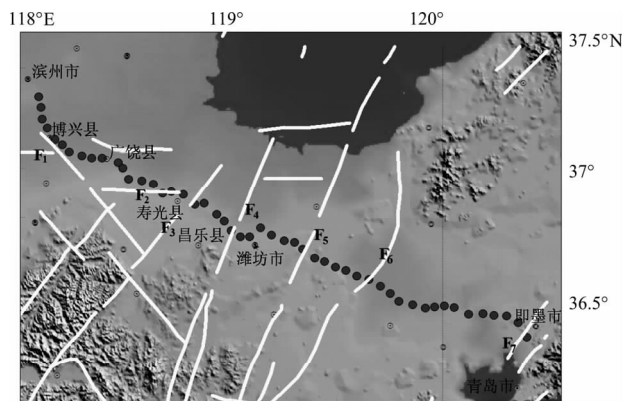
滨州—青岛地磁总强度探测剖面由河北省地震局流动测量队于2015年7月中旬完成布设、测量, 该剖面西起滨州, 主要经过博兴县、广饶县、寿光县、潍坊市等, 东结束于青岛即墨市, 共布设50个测点, 测点间隔为5~6 km, 剖面总长约280 km, 由西至东主要经过跨过7个断层(图1)。

剖面野外地磁总强度观测使用GSM-19T标准质子旋进磁力仪, 观测作业执行《流动地磁测量

基本技术要求(试行)》及其规范性附录<sup>①</sup>。通过对滨州—青岛剖面50个测点的地磁总强度探测, 形成滨州—青岛剖面地磁总强度标准观测数据集。

## 2 数据处理

地磁场是由各种不同起源的磁场叠加而成(熊仲华, 刘运生, 1997), 主要包括外源变化场、地球主磁场及其长期变化、岩石圈磁场等(倪喆等, 2014; 苏树朋等, 2016)。本文对地磁剖面观



F<sub>1</sub>: 齐广断裂; F<sub>2</sub>: 淄河断裂; F<sub>3</sub>: 上武井断裂; F<sub>4</sub>: 鄒部—葛沟断裂; F<sub>5</sub>: 沂沐断裂带; F<sub>6</sub>: 昌邑—大店断裂; F<sub>7</sub>: 唐家庄即墨断裂

图1 滨州—青岛剖面地磁测点的分布

Fig. 1 Distribution of geomagnetic points along Binzhou - Qingdao profile

\* 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 2017年度地震监测预报经常性项目“大华北中北部流动地磁监测及数据处理与异常分析”(17F04JB149)资助。

① 中国地震局监测预报司. 2015. 关于印发《流动地磁测量基本技术要求(试行)》的通知.

测数据中其它地磁场数据进行剥离,以获取滨州—青岛剖面岩石圈磁场的空间分布,进而解析延拓换算场源以外的其他位置的磁异常,求取剖面反演模型,获取地下磁化率结构分布图。

## 2.1 数据通化

(1) 采用泰安地磁台站连续观测分钟值对野外观测数据进行日变通化改正,来消除地磁场日变化等外部源场成分。通化日为观测周期内的磁变化相对最平静日。日变通化改正的通化均方差小于 0.5 nT。

(2) 采用中国地区地磁基本场长期变化非线性模型(自然正交分量模型,简称 NOC 模型)(陈斌,2011)对日变通化改正后的观测数据集进行长期变化改正,来消除地球主磁场长期变化成分。通化时间为 2015 年 1 月 1 日 00:00(北京时间)。

(3) 以第 12 代国际地磁参考场(IGRF-12)为中国大陆地区地球主磁场的参考模型,对 2015.0 年滨州—青岛剖面地磁基本场数据进行主磁场剥离,获取滨州—青岛剖面岩石圈磁场空间分布数值模型。

## 2.2 岩石圈磁场解析延拓

根据观测面上的实测磁异常,换算场源以外其他空间位置的磁异常称为磁异常的解析延拓(管志宁,2005;徐文耀,孙伟,1998;闫辉等,2010)。本次研究采用二维向上延拓的方法对滨州—青岛剖面岩石圈磁场数据进行分解,可以削弱局部干扰异常,反映深部异常。由于磁异常是位函数,具有调和函数的性质,可利用向上延拓一般公式:

$$\Delta T(0, -mh) = C_0 \Delta T(0, 0) + \sum_{n=1}^{\infty} C_n [\Delta T(nh, 0) + \Delta T(-nh, 0)]$$

其中:  $h$  为延拓深度;  $\Delta T(nh, 0)$  为测第  $n$  个测点的岩石圈磁场值;  $C_0, \dots, C_n$  为响应延拓系数(管志宁,2005)。

对滨州—青岛岩石圈场数据进行分解,获取滨州—青岛剖面向上延拓基底数据、向上延拓中间层数据、向上延拓浅表数据。设定基底深度  $h$  为 30 km,中间层深度  $h$  为 10 km。

## 3 岩石圈磁场延拓特征

磁异常反映了地壳中、深部介质与磁性构造

属性的信息,其形态、走向及结构在一定程度上可作为推断基底构造性质、断裂走向及不同构造单元与边界带的依据(管志宁等,2002;段新力等,2011;袁照令等,2000)。由于解析延拓数据结果量级较大,以第一个测点数值为基准,做曲线图(测点数据自西向东依次排列),分别得到 2015.0 年滨州—青岛剖面地磁总强度曲线图(图 2)、岩石圈磁场曲线图(图 3)、岩石圈磁场分层延拓结果曲线图(图 4)。基于各曲线图展现的磁异常特征进行如下分析:

(1) 从图 2 可以看出,滨州—青岛剖面总强度  $F$  数值从西向东整体呈下降趋势,东西差值近 1 000 nT;在断裂处,曲线出现了明显的起伏波动,其中在  $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  断裂间曲线呈一个较强的波动,高值处可达 250 nT,低值处可达 -450 nT,数值跳跃较大; $F_4$ 、 $F_5$ 、 $F_6$  断裂之间,曲线呈现较平缓的波动; $F_6$  断裂以东 30 km 曲线又出现一较强的波动,绝对差值近 500 nT; $F_7$  断裂以西 15 km 处,曲线出现一个小幅度的提升。

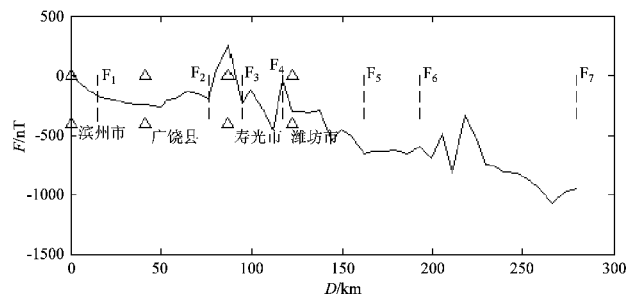


图 2 2015.0 年滨州—青岛剖面地磁总强度曲线  
Fig. 2 The total geomagnetic intensity 2015.0 curve along the Binzhou-Qingdao profile

(2) 从图 3 可以看出,曲线的波动主要在 0 值以上,剖面起始到 50 km 处,曲线处于平缓的滑行,数值约为 -80 nT,  $F_1$  断裂位于其中;从 50 km 处开始,曲线开始大幅度上升,在  $F_2$  断裂以西 10 km 处有一个缓冲之后,于  $F_2$  开始陡然上升,在  $F_2$  和  $F_3$  之间出现一个大的凸起,峰值约 600 nT;过  $F_3$  断裂后有一个约 100 nT 的抬升,于  $F_4$  断裂以西约 10 km 处回归 0 值,后在  $F_4$  断裂处抬升至 420 nT,之后曲线出现连续波动的降低; $F_5$  断裂处出现一个约 -50 nT 的值后又回到 0 值; $F_6$  断裂以东 30 km 的范围内出现连续 2 个较大的起伏,最大值达 460 nT,最低达 -50 nT; $F_7$  断裂以西出现一个范围约 30 km 的负值凹陷,最低值约为 -180 nT。

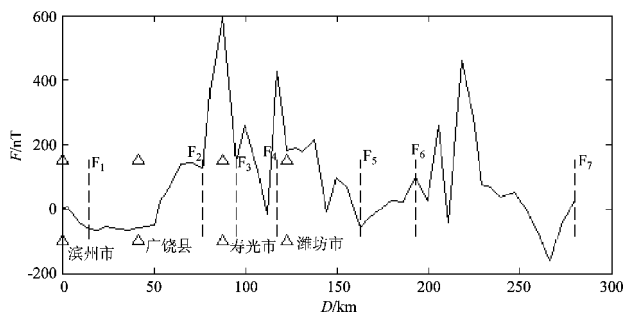


图3 滨州—青岛剖面岩石圈磁场曲线

Fig. 3 Lithospheric magnetic field curve along the Binzhou-Qingdao profile

(3) 从图4可以看出, 浅表磁场曲线变化特征与岩石圈磁场曲线变化特征基本相似, 由西向东浅表磁场总体变化由平缓变为波动复杂后回归平缓波动, 起伏较为剧烈区域为断裂分布较复杂地段; 中间层磁场曲线变化呈较小幅度的波动, 分别在  $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  断裂和  $F_6$  断裂以东 30 km 有一个起伏抬升; 基底磁场则呈现为一条较平滑的连续曲线。

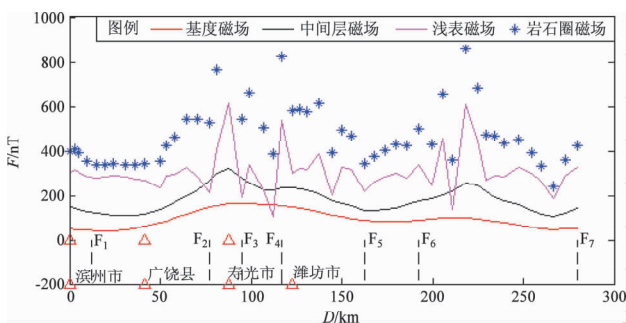


图4 滨州—青岛剖面岩石圈磁场分层延拓结果曲线

Fig. 4 Delamination extension curve of lithosphere magnetic field along the Binzhou-Qingdao profile

## 4 磁化率结构分析

使用 ModelVision Pro11.0 软件对分层延拓数据进行反演, 选用滨州—青岛剖面中间测点经纬度来计算该剖面在 ModelVision 程序中的地磁三要素 ( $F$ 、 $D$ 、 $I$ ), 剖面实测长度约 280 km。将获取的延拓基底磁场数据、中间层磁场数据、浅表磁场数据在 ModelVision 中进行滤波之后, 反演出对应层磁化率数据。然后将各层磁化率合并进行曲面样条拟合 (高金田等, 2006; 陈斌等, 2016), 得出滨州—青岛剖面地下磁化率复合结构 (图5)。图5中的黑色虚线为根据地质资料勾画的断裂带位

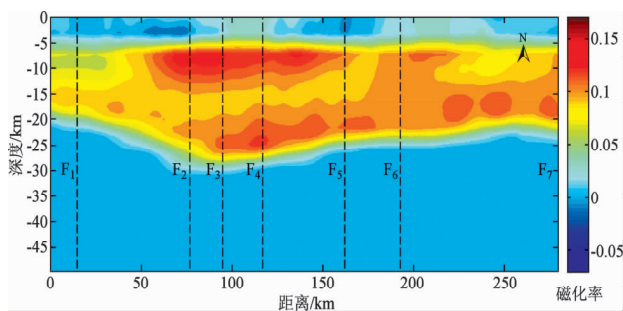


图5 滨州—青岛剖面地下磁化率结构

Fig. 5 Underground magnetic susceptibility structure of Binzhou-Qingdao profile

置, 可对比图1。

滨州—青岛剖面地下磁化率结构可分为3层: 浅表层、中间层和基底层, 其中浅表层为低磁化率层, 厚度约 5 km, 磁化率数值为 0 ~ 0.05, 磁化率结构整体从西往东呈升高趋势, 在  $F_2$  断裂带以西主要呈负磁化率, 在  $F_2$  断裂以西约 20 km 处出现深度约 1 km 的相对高负值团块; 在  $F_3$  和  $F_4$  断裂区域之间出现正值区域, 磁化率数值约为 0.05;  $F_4$  断裂以东磁化率数值又开始降低, 到  $F_5$  断裂处出现一长约 5 km 的稍低磁化率团块后, 磁化率开始渐升; 从  $F_7$  断裂带往西开始, 磁化率呈区域片状渐减。

中间层磁化率较高, 磁化率数值为 0.05 ~ 0.13, 上界面距地表约 5 m, 下界面由西向东呈较浅—加深—变浅特征, 下界面可能反映了居里面的埋深变化, 其最浅处约为 -18 km, 位于最西端, 最深处约为 29 km, 位于构造较复杂地段。该区域断裂构造的控制作用较明显, 从西往东约 40 km, 磁化率结构呈上小下大层状结构, 且分层明显, 高值磁化率区域比例渐大; 进入断裂带区域, 居里面加深, 磁化率升高, 整体磁化率在 0.1 之上, 中间穿插一磁化率值约 0.08 的条带状区域, 范围至  $F_6$  断裂带以西约 10 km 处, 深度为 -13 ~ -20 km, 其中在  $F_2$  ~  $F_5$  断裂之间深度约 -7 ~ -10 km 的区域出现一椭圆状高值块域, 在  $F_4$  断裂带约 -25 km 处出现一小块圆状高值区域,  $F_5$  断裂带东部约 -22 km 处出现一较磁化率较高值区域, 长度约 10 km;  $F_7$  断裂带往东, 居里面变浅, 在 -10 km 区域出现一相对较低团块区域, 数值约为 0.07, 长度约 20 km, 在其下方出现 3 个分散的相对高磁化率的圆形区域, 笔者推断这 4 个地段可能存在磁异常介质。

基底层位于居里面以下, 磁化率呈绝对较小值, 约 -0.01。

## 5 结论

滨州—青岛剖面磁异常的分布在一定程度可以反映出区域构造分布、介质磁性结构差异。主要表现如下:

(1) 滨州—青岛剖面地磁总强度, 从西往东呈下降趋势, 在断裂处磁场强度变化较大, 多数为磁场强度增大, 最大近 400 nT, 且在断裂复杂区域总强度波动较为剧烈。岩石圈磁场的变化亦有相应的特征, 在局部断裂处特征被放大。由此认为可以把磁场总强度的增大作为一个判断地下存在断裂的依据。

(2) 地下磁化率结构反映出了滨州—青岛剖面地下磁性介质的分布, 在断裂带处一般会有高磁化率的团块出现。断裂的出现改变了地下磁性构造, 反之利用地下磁化率结构是否可能得到地下构造单元的信息, 将有待进一步研究。

(3) 结合磁场强度变化曲线及地下磁化率结构分析, 在  $F_0$  断裂以东约 30 km 处存在磁异常介质, 或有断裂存在, 或  $F_0$  断裂控制区域东移。

通过对滨州—青岛剖面磁异常数据反演, 较好地反映出了研究区的深部磁性结构特征, 对剖面地下深部的断裂和构造表现较为清晰。从磁性结构视角认识区域构造, 结合地质、地球物理等研究结果, 对区域构造带深部背景和孕震环境有着研究意义。

## 参考文献:

- 安玉林, 陈玉东, 黄金明. 2003. 重磁勘探正反演理论方法研究的新进展[J]. 地学前缘, 10(1): 141–149.
- 陈斌, 倪喆, 徐如刚, 等. 2016. 2010. 0 年中国及邻近地区地磁场[J]. 地球物理学报, 59(4): 1446–1456.
- 陈斌. 2011. 自然正交分量方法在地震地磁监测中的应用[J]. 地震研究, 34(4): 466–469.
- 段新力, 唐群英, 毕武, 等. 2011. 重磁异常剖面反演实现[J]. 新疆有色金属, 34(增刊1): 17–19.
- 高金田, 安振昌, 顾左文, 等. 2006. 用曲面 Spline 方法表示 1900 ~ 1936 年中国(部分地区)地磁场及其长期变化的分布[J]. 地球物理学报, 49(2): 398–407.
- 管志宁, 郝天珧, 姚天利. 2002. 21 世纪重力与此法勘探的展望[J]. 地球屋里学进展, 17(2): 237–244.
- 管志宁. 2005. 地磁场与磁力勘探[M]. 北京: 地质出版社, 164–168.
- 林珍. 2003. 南沙中部海域北康·曾母盆地重磁异常特征及解释[J]. 物探与化探, 27(4): 263–268.
- 倪喆, 陈双贵, 袁浩浩, 等. 2014. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈地磁变化异常的研究[J]. 地震研究, 37(1): 61–65.
- 苏树朋, 李博, 宋志刚, 等. 2016. 晋冀蒙地磁总强度加密区观测资料分析[J]. 地震地磁观测与研究, 37(2): 82–89.
- 熊仲华, 刘运生. 1997. 地磁观测技术[M]. 北京: 地震出版社, 10.
- 徐如刚, 张毅, 王雷, 等. 2012. 东大别地磁剖面磁异常的匹配滤波分析与地震研究[J]. 西北地震学报, 34(4): 383–387.
- 徐文耀, 孙炜. 1998. 1900–2000 年地球主磁场的本征模分析[J]. 地球物理学报, 41(1): 1–9.
- 闫辉, 肖昌汉, 张朝阳, 等. 2010. 三分量磁场延拓的递推算法[J]. 计算物理, 27(5): 705–710.
- 袁照令, 李大明, 易顺华. 2000. 对保靖—慈利逆冲断裂带的一些认识[J]. 地质与勘探, 36(5): 59–61.
- 张毅, 陈宇卫, 黄显良, 等. 2013. 东大别山构造带六安—英山地磁剖面观测与地震研究[J]. 地球物理学进展, 28(1): 207–213.

## Analysis of Underground Magnetic Structure along the Binzhou-Qingdao Geomagnetic Profile

LI Bo, SU Shupeng, YUN Meng, ZHANG Haiyang, ZHAO Huiqin  
(Hebei Earthquake Agency, Baoding 071000, Hebei, China)

### Abstract

In this paper, through detection of the total geomagnetic intensity along the Binzhou-Qingdao profile, we obtained lithospheric magnetic field data. The lithospheric magnetic field data was extended using continuation method, and then we analyzed the underground structure of magnetic susceptibility along the Binzhou-Qingdao profile. According to the characteristics of the geological structure of the profile, it is found that the magnetic field curve has an intense fluctuation in the complicated fracture distribution area, and the magnetic susceptibility structure shows high magnetic susceptibility fraction at the fault.

**Keywords:** Binzhou-Qingdao geomagnetic profile; lithospheric magnetic field; analytical continuation; magnetic susceptibility