

2010.0 年代蒙古地区岩石磁异常*

陈斌¹, 袁浩浩¹, 王雷², 徐如刚², 倪喆³, 顾左文¹, 冯丽丽¹

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230000;
3. 云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 采用 2011~2012 年期间在蒙古国境内地磁测量得到的 119 点地磁数据, 利用以球冠谐和和曲面样条方法得到的蒙古地区地磁场数值为基础数据, 获得了 2010.0 年代蒙古地区岩石磁异常的空间分布, 对蒙古地区岩石磁异常的空间分布进行了研究。结果表明, 蒙古地区的岩石磁异常表现出东西差异, 异常幅度在西部较大东部较小。蒙古西部南边界处表现为类弧形结构和贝加尔—乌兰巴托条带结构为蒙古地区较为显著的磁异常结构。

关键词: 岩石圈磁场; 磁异常; 蒙古地区; 球冠谐和; 曲面样条

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)01-0114-05

0 前言

在地表观测到的地磁场数值包括内源场和外源场。内源场可细分为源于地球液体外核磁流体动力学过程的主磁场和源于地壳及上地幔物质磁性的岩石圈磁场。外源场可细分为源于固体地球之外的各种电流体系产生的磁场和固体地球内部产生的感应磁场(付承义等, 1985; 徐文耀, 2003)。地下介质所处的环境, 如温度、应力等状态影响岩石圈介质的磁化率与磁化强度(黄平等, 1990; 郝锦琦等, 1992, 1993; 侯登录等, 2003; 赵翔宇, 刘青松, 2010), 并反映到地面观测到的磁场异常分布中。

由于岩石圈磁场包含了固体地球内部物质状态和结构的丰富信息, 因此通过对岩石磁异常的研究可以推进对地球的发展演变、地质构造的发展演变、地震活动性及成矿研究等诸多领域的研究并应用于航空航天和定向导航等相关领域。而高精度地磁场测量以及建模为上述研究提供了必不可少的基本科学数据。国内外学者通过重访地震活动邻区的地磁场变化, 发现地震之前存在地

磁异常现象(Bernardi *et al.*, 1991; 顾春雷等, 2010; 顾左文等, 2006; 倪喆等, 2014)。

蒙古人民共和国位于亚洲东部蒙古高原上, 北临贝加尔湖, 东南西三面与我国的新疆、甘肃和内蒙古接壤, 与我国共有极长的国境线, 为我国北方边界的重要邻国。受印度—欧亚大陆碰撞、挤压与太平洋板块俯冲、出消减等过程的共同作用, 蒙古地区是当今地球上构造运动最活跃的地区之一(熊熊等, 2010; Cunningham, 2005)。区域内分布由两条巨大的 E-W 走向的中蒙弧构造带和贝加尔弧构造带, 蒙古地区的构造格局分为西部地区与东部地区, 西部地区地震活动强烈, 东部地震活动很少^①(Ulziibat Munkhuu, 2006)。蒙古东部至内蒙中东部、辽宁和黑龙江西部构成的东蒙—兴安块体为我国华北克拉通地块的北部重要构造。蒙古西部、内蒙西部, 阿尔泰造山带以东和戈壁阿尔泰造山带以北构成的西蒙古地块为我国南北地震带和塔里木地块的本部重要构造块体。其中西蒙古地块又被 Bolnai 断裂和 Bogd 断裂自北向南分隔成萨彦地块、阿尔泰地块和阿拉善地块。研究蒙古地区的地质构造对研究华北克拉通、南北地震带和塔里木地块等主要块体的与

* 收稿日期: 2014-06-13.

基金项目: 2011 年度国家科技计划项目“远东地区地磁场、重力场及深部构造观测与模型研究”(2011DFB20120)和 2012 年度地震行业科研专项经费项目“中国综合地球物理场观测—鄂尔多斯地块周缘地区”(201208009)联合资助。

① Baasanbat Tsagaan. 2011. Deep structure study in Mongolia.

北方重要块体及更北部的西伯利亚克拉通块体之间的动力学关系有着重要的地球物理学意义。

为了实现蒙古地区区域地磁场的建立, 研究中国北方边界地区地磁分布特征和中国地磁分布的联系, 探索蒙古高原块体与华北克拉通、南北地震带北端及塔里木块体相互作用。在 2011 ~ 2012 年期间, 中国地震局地球物理研究所 (IGP-CEA) 与蒙古科学院天文与地球物理研究中心 (简称 RCAG, MAS) 在蒙古境内合作测量了 119 个点的地磁三分量数据 (D 、 I 、 F)。笔者根据这些地磁场实测数据, 分别用球冠谐和方法和曲面样条方法建立了 2010.0 年代蒙古及周边地区地磁场区域模型, 用两者的差表示岩石磁异常, 并计算了该岩石磁异常与 NGDC-720 (National Geophysical Data Center, 国家地球物理数据中心, 简称 NGDC) 模型计算的岩石磁异常的差异。

1 数据来源及处理

笔者以 2011 ~ 2012 年中国地震局地球物理研究所与 RCAG 合作测量得到的蒙古境内 119 个测点的 D 、 I 、 F 三分量数据为最初研究数据, 其中 75 点为 2011 年由中、蒙两国科研人员共同测量完成, 44 点由蒙方人员于 2012 年独立测量完成。本文根据这些地磁场实测数据, 经过数据处理与分析, 最后选用 118 个实测点数据, 其中由于 2012 年 RCAG 独立测量的 096 号测点与 2011 年共同测量的 008 号点位置重复, 故舍去了 096 号点。蒙古地区 118 个地磁测点及边界约束点如图 1 所示。

选用乌兰巴托地磁台分钟值记录数据消除观测数据中外源地磁场的成分, 用第 11 代国际地磁参考场 IGRF-11 (IAGA, 2010) 将全部数据长期变化改正至当地时 2010 年 1 月 1 日午夜零时。并分别用球冠谐和与曲面样条两种方法对观测数据进行空间拟合和插值, 球冠谐和和曲面样条的拟合插值方法和结果已由另文阐述^{①②}, 此文不再重复表述。然后以球冠谐和描述的地磁场数值作为正常场, 从曲面样条描述的地磁场数值中消去正常场数值, 即为岩石磁异常数值。以总强度为例,

空间某点的岩石磁异常可由 $FANO = FSP - FSCH$ 计算。其中 $FANO$ 为该点的岩石磁异常数值, FSP 为曲面样条给出的地磁场数值, $FSCH$ 为球冠谐和给出的地磁场数值。

由于野外测点主要分布的区域位于 $42^{\circ} \sim 52^{\circ}N$, $89^{\circ} \sim 116^{\circ}E$ 之间, 选择覆盖蒙古地区的模型计算区域为 $42^{\circ} \sim 52^{\circ}N$, $89^{\circ} \sim 116^{\circ}E$ 。为弥补地区外测点缺失, 同时为降低边界畸变, 我们在计算区域边缘处均匀选取 16 个补充点, 根据增强磁场模型 (Enhance Magnetic Model, 简称 EMM) 计算出这 16 个补充点的地磁场值作为强化约束条件。

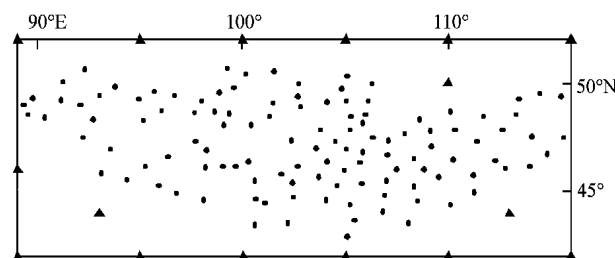


图 1 蒙古地区地磁野外测点分布
(●测点; ▲边界点)

Fig. 1 Distribution of geomagnetic field survey points in Mongolia

2 岩石磁异常空间分布

图 2 为得到的蒙古地区岩石磁异常空间分布等值线图。各要素的空间分布和量值区间如下:

磁偏角 D 和东向分量 Y 在蒙古地区东部和西部呈现不同的特征。东部大部分地区为正值区域, 最大值为 $+75'$ (D) 和 $+460$ nT (Y), 负值区域为乌兰巴托西南至区域东南的条带状地区, 最小值为 $-60'$ (D) 和 -420 nT (Y)。西部大部分区域为负值区域, 最小值为 $-80'$ (D) 和 -520 nT (Y); 在 $100^{\circ}E$ 附近北部和 $46^{\circ}N$, $98^{\circ}E$ 附近存在正值区域, 最大值为 $+10'$ (D) 和 280 nT (Y)。

磁倾角 I 、水平分量 H 和北向分量 X 的空间分布特征较为类似。主要空间特征为 4 对共 8 条正负相间的南北向条带。沿 $94^{\circ}E$ 、 $101^{\circ}E$ 、 $107^{\circ}E$ 和

① 陈斌, 袁洁浩, 王雷, 等. 2014a. 2010.0 年代蒙古地区地磁场曲面样条分析. 地球学报 (待刊).

② 陈斌, 袁洁浩, 王雷, 等. 2014b. 2010.0 年代蒙古地区地磁场球冠谐和分析. 测绘学报 (待刊).

111°E 4 条经线分布的条带 I 为负, H 和 X 为正; 沿 97°E、104°E、109°E 和 114°E 4 条经线分布的条带 I 为正, H 和 X 为负。I 的最大值为 +22', 位于 49°N, 104°E 和 47°N, 97°E 两处; 最小值为 -36', 位于 (50°N, 104°E)。 H 和 X 的最大值为 740 nT, 位于 (50°N, 104°E); 最小值为 -440 nT, 位于 (49°N, 97°E)。

总强度 F 和垂直分量 Z 的空间分布特征较为类似。蒙古西部的岩石磁异常场表现为大范围的负值区域中镶着一块较小的正值区域, 蒙古中东

部的岩石磁异常较为复杂, 为正负互相交错的形态。最大值为 +400 nT (F) 和 +460 nT (Z), 位于 (47°N, 95°E) 附近; 最小值为 -360 nT, 位于 (49°N, 97°E) 附近 (F) 和 -400 nT, 位于 (48°N, 100°E) 附近 (Z)。

此外, 在蒙古西部南边界处, F 、 H 、 X 和 Z 的空间分布存在类弧形分布, 这一类弧形分布可认为被北自贝加尔湖—乌兰巴托并南偏东延伸的磁结构所截断, 而未延伸至蒙古东部, 即蒙古东部南边界未发现类似的弧形分布。

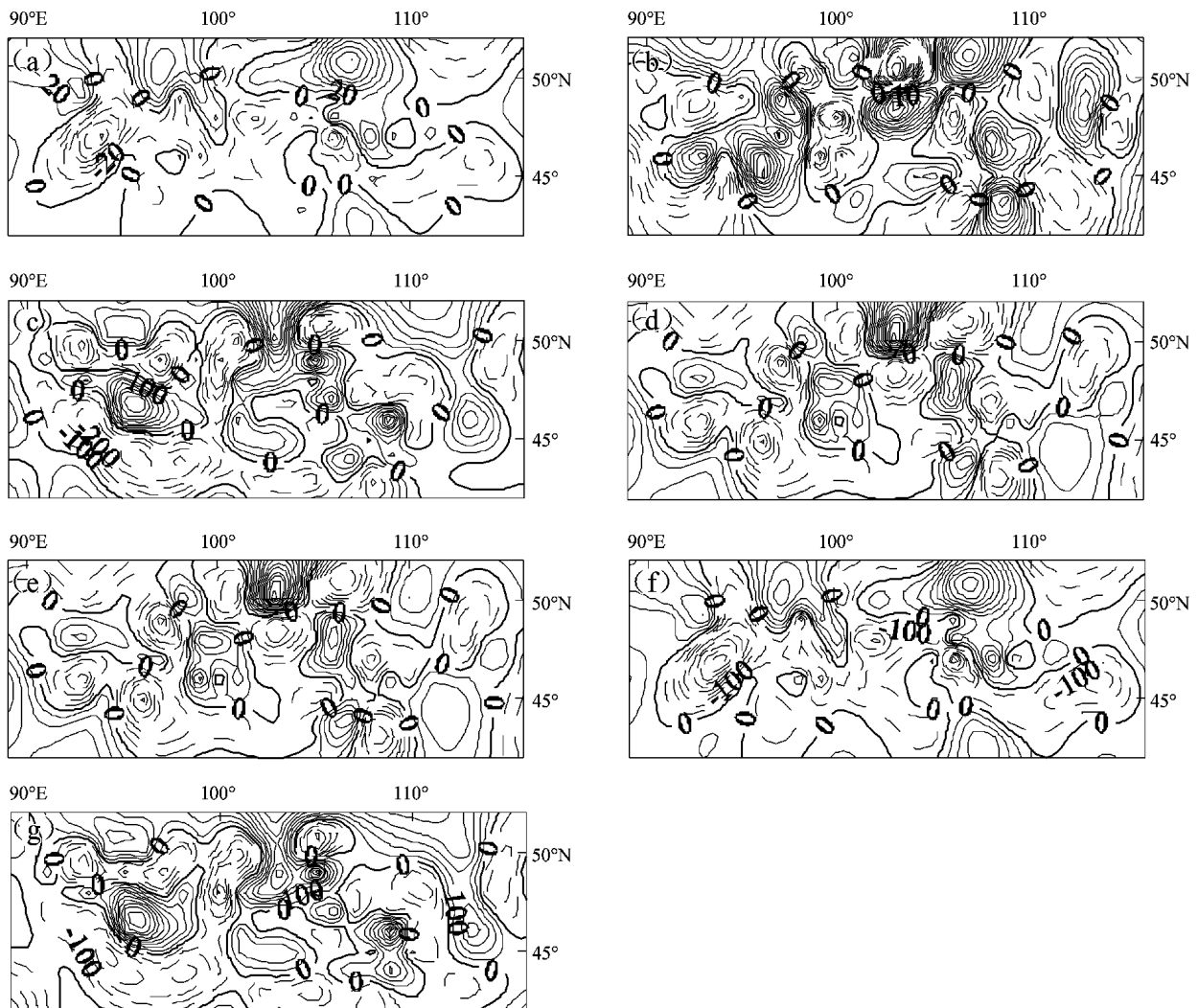


图 2 2010.0 蒙古地区岩石磁异常空间分布 (实线表示正值, 虚线表示负值)

(a) ΔD ; (b) ΔI ; (c) ΔF ; (d) ΔH ; (e) ΔX ; (f) ΔY ; (g) ΔZ
(ΔF , ΔH , ΔX , ΔY 和 ΔZ 单位: nT, ΔD 和 ΔI 的单位: 弧分 ('))

Fig. 2 The spatial distribution of lithosphere magnetic anomaly in Mongolia on 2010.0 (solid Line denotes positive value, dashed line denotes negative value)

(a) ΔD ; (b) ΔI ; (c) ΔF ; (d) ΔH ; (e) ΔX ; (f) ΔY ; (g) ΔZ
(the unit of ΔF , ΔH , ΔX , ΔY and ΔZ is nT, the unit of ΔD and ΔI is arc minute ('))

3 岩石磁异常幅度指标

由于磁场各要素的空间分布特征存在一定的差异性,从若干图像上提取磁异常的总体特征较为困难。仿照矢量长度值的计算方法,我们制定了一个岩石磁异常幅度指标。该指标由磁异常的 X 、 Y 、 Z 这3个独立要素计算,计算公式为: $F_{\text{IND}} = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$,式中 F_{IND} 为计算得到的岩石磁异常幅度指标, X 、 Y 、 Z 分别为岩石磁异常的北向、东向和北向分量。

计算得到的 F_{IND} 的取值范围为0~1 000 nT,为了较容易获取岩石磁异常幅度指标 F_{IND} 的空间分布特征,我们按照数值的大小将 F_{IND} 的空间等值线分为3类,并用不同线性的等值线标示。0~250 nT的值用实线表示,250~500 nT的值用虚线表示,500~1 000 nT的值用点线表示。图3为计算的 F_{IND} 的空间等值线图,蒙古东西部呈现为明显不同的特征。东部基本为低值区域,西部基本为高值区域,最高值位于贝加尔湖附近和蒙古西南边界两处。另外,从贝加尔湖至乌兰巴托并向南延伸存在一个条状的高值条带。

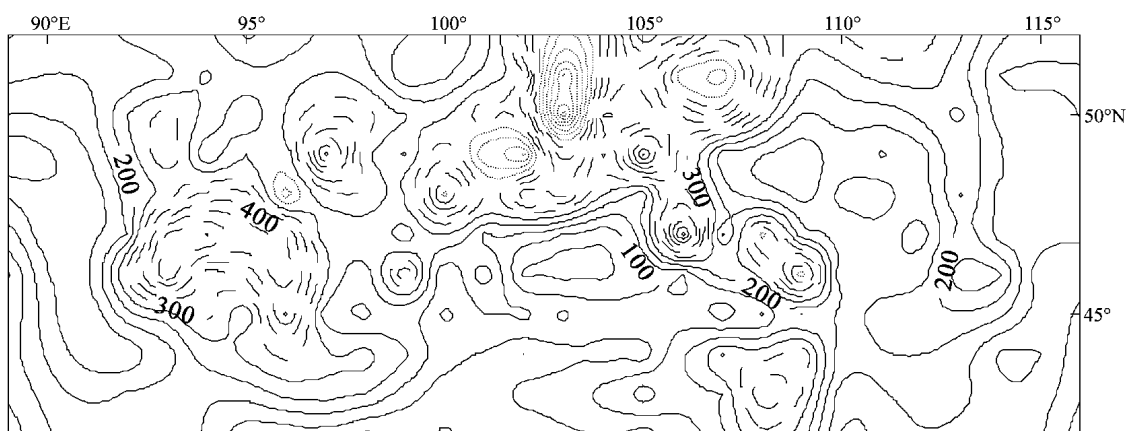


图3 F_{IND} 空间分布(实线表示0~250 nT的值,虚线表示250~500 nT的值,点线表示大于500 nT的值(单位:nT))

Fig. 3 The spatial distribution of F_{IND} (the solid line denotes 0~250 nT, the dashed line denotes 250~500 nT, the dotted line denotes 500~1 000 nT (Unit: nT))

4 结果与讨论

本文结合在蒙古地区开展的地磁观测资料,绘制了区域的岩石磁异常图,得出以下结论:

(1) 蒙古东西部地区的岩石磁异常特征不同。 D 和 Y 在东部地区大多为正,西部为负; F 和 Z 在西部地区表现较为规整,东部地区则较为凌乱。 I 、 H 和 Z 并未发现明显的东西部差异。

(2) 蒙古西部南边界存在类弧形磁性结构而西部南边界未发现类似弧形结构。

(3) 提出了反映岩石磁异常的幅度指标 F_{IND} , F_{IND} 的空间分布特征较为明显地表现出东西差异性。

(4) 贝加尔湖至乌兰巴托并南延的南北走向地区存在不同周边磁性物质的异常磁条带结构。

由于蒙古西部地区地震活动强烈,东部地震活动很少。这种岩石磁异常的东西部差异与地震活动的相关性与因果关系需要更为深入的研究与思考。

蒙古科学院天文与地球物理研究中心 U. Sukhbaatar 教授、S. TSERENDUG、T. NASAN - OCHIR、S. GANTSOGT、M. NGUNSHAGAI 等共同参与野外工作的制定和执行;安徽省地震局、云南省地震局、甘肃省地震局、新疆维吾尔自治区地震局部分人员为本论文的撰写提供了野外工作和台站数据支持;在此一并表示感谢。

参考文献:

- 付承义,陈运泰,祁贵仲. 1985. 地球物理学基础[M]. 北京:科学出版社.
顾春雷,张毅,徐如刚,等. 2010. 地震前后岩石圈磁场变化特征分析

- [J]. 地球物理学进展, 25(2): 472–477.
- 顾左文, 张毅, 姚同起, 等. 2006. 九江—瑞昌 $M_s 5.7$ 地震地磁异常的观测与分析[J]. 地震学报, 28(6): 611–621.
- 郝锦琦, 黄平章, 周建国. 1992. 岩石流变磁效应—震磁效应的一种可能机理[J]. 中国地震, 8(2): 53–60.
- 郝锦琦, 黄平章, 周建国. 1993. 微破裂对岩石剩磁的影响—对地震预报的意义[J]. 地球物理学报, 36(2): 203–211.
- 侯登录, 徐静, 唐贵德, 等. 2003. SrRuO_3 的磁化率随温度的变化关系[J]. 稀有金属, 27(5): 652–654.
- 黄平章, 郝锦琦, 周建国, 等. 1990. 溧阳震区岩石磁性的温度和应力效应[J]. 中国地震, 6(1): 56–64.
- 倪喆, 陈双贵, 袁洁浩, 等. 2014. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈磁场异常变化研究[J]. 地震研究, 37(1): 61–65.
- 熊熊, 单斌, 王继业, 等. 2010. 蒙古—贝加尔地区上地幔小尺度对流及地球动力学意义[J]. 地球物理学报, 53(7): 1594–1604.
- 徐文耀. 2003. 地磁学[M]. 北京: 地震出版社.
- 赵翔宇, 刘青松. 2010. 粒径分布对磁铁矿磁化率变温曲线的影响[J]. 中国科学, 40(7): 873–880.
- Bernardi A., Fraser-Smith A. C., McGill P. R., *et al.*. 1991. ULF magnetic field measurements near epicenter of the $M_s 7.1$ Loma Prieta earthquake[J]. Physics of the Earth and Planetary Int., 68: 45–63.
- Cunningham D. 2005. Active intracontinental transpressional mountain building in the Mongolian Altai: defining a new class of orogen. Earth Planet. Sci. Lett. [J], 240: 436–444.
- IAGA. 2010. International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation. Geophys. J. Int. [J], 183: 1216–1230.
- Ulziibat Munkhuu. 2006. The 2003 Chuya sequence (North Altay range): tectonic context and seismological study[D]. Antibes: Université de Nice – Sophia Antipolis.

Lithosphere Geomagnetic Anomaly in Mongolia Area in 2010.0

CHEN Bin¹, YUAN Jie-hao¹, WANG Lei², XU Ru-gang², NI Zhe³, GU Zuo-wen¹, FENG Li-li¹

(1. Institute of Geophysics, China Seismological Administration, Beijing 100081, China)

(2. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230000, Anhui, China)

(3. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Using geomagnetic data of 119 measuring points in Mongolia from 2011 to 2012 obtained by geomagnetic measuring, basing on the geomagnetic data calculated by Spherical Cap Harmonic and Surfaces Spline methods, we obtained and studied the spatial distribution of the lithosphere geomagnetic anomaly in Mongolia in 2010.0. The results show that the lithosphere magnetic anomaly in east Mongolia were different with that in West Mongolia, and the amplitude of anomaly was larger in western and less in eastern. There were 2 obvious structure of anomaly magnetic in Mongolia, one was an arc structure at Southern boundary of western Mongolia and the other one was a belt structure belong Baikal-Ulaanbaatar.

Key words: lithosphere magnetic field; magnetic anomaly; Mongolia area; Spherical Cap Harmonic; Surfaces Spline