

# 大华北地区岩石圈磁场空间分布与地震地质特征<sup>\*</sup>

苏树朋, 赵慧琴, 李 博, 云 萌, 张海洋, 张纳莉

(河北省地震局, 河北 保定 071000)

**摘要:**应用大华北地区最新流动地磁观测资料, 对该地区 2015.0 年代岩石圈磁场空间分布及地震地质特征进行了分析与讨论。结果表明: 大华北地区岩石圈磁场具备较强的局部异常特征, 其空间分布形态与测区内主要板块具有一定程度的对应关系, 而历史地震多发生于一些特殊的岩石圈磁场部位。

**关键词:**大华北地区; IGRF; 岩石圈磁场; 地震地质

**中图分类号:** P318

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2017)03-0345-07

## 0 引言

岩石圈磁场是地磁场的一个重要组成部分, 由地下介质的磁化强度(感应磁化强度和剩余磁化强度)所产生的磁场构成, 它的变化受地质结构、构造环境、构造活动、温度与应力状态等多种因素影响(Thebault *et al.*, 2010)。地震发生于地球岩石圈层内, 岩石圈磁场自然就成为震磁信息研究的重要对象, 相关学者已进行过大量的研究工作, 并取得了相应的研究成果(安振昌等, 1996, 1998; 张吕达, 2003; 顾左文等, 2006; 徐文耀等, 2008; 王慧琳等, 2008; 陈斌, 2011; 顾春雷等, 2012; 倪喆等, 2014)。

自 2009 年初开始, 在中国地震局监测预报司的支持与中国地震局地球物理研究所第五研究室的牵头组织与领导下, 多家测量单位联合在大华北、南北地震带、南北天山等地区持续开展了大规模的流动地磁矢量测量工作, 积累了丰富的观测资料, 为开展相关研究工作提供了良好的基础观测数据支撑。笔者将应用 2016 年度大华北地区的流动地磁观测资料, 对监测区岩石圈磁场空间分布与地震地质特征进行分析和探讨。

## 1 观测资料及数据处理

### 1.1 观测工作概况

截至 2016 年底, 大华北地区 ( $109.5^{\circ} \sim$

$130.4^{\circ}\text{E}$ ,  $31.0^{\circ} \sim 48.7^{\circ}\text{N}$ ) 流动地磁矢量测网野外测点数量为 260 个, 地跨吉、蒙、辽、京、津、冀、晋、陕、豫、鲁、皖、苏等省(市), 平均点距约为 70 km, 测区面积约 200 万  $\text{km}^2$ 。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>, 基本观测周期为 1 期/年。通过测量获取监测区的观测数据集, 进而建立该区域不同时间断面的岩石圈磁异常场模型及其变化模型, 用于描述时间尺度为 1 年的岩石圈磁场局部异常变化, 为大华北地区的震情会商工作提供地磁学基础依据和判定意见。

为了更好地获取监测区岩石圈磁场的空间分布信息, 在资料处理过程中, 除测区 260 个地磁矢量测点外, 笔者还选用了测区范围内的 9 个基本地磁台站的相关观测数据, 与野外地磁测点观测数据等共同使用, 最终采用的测点数量为 269 个(图 1)。

### 1.2 资料处理过程

通过对外源变化场、主磁场长期变化、主磁场等地磁场成分逐层剥离, 可获得监测区岩石圈磁场数值模型。主要处理过程如下:

(1) 日变通化改正。为消除流动地磁观测数据中所包含的地磁场日变化等外源场成分, 采用单台参照法, 利用观测区内及周边地磁台站连续观测分钟值对野外观测数据进行日变化通化改正。通化零日为观测周期内的磁情变化相对最平静日(本期测量选用 2 个通化零日: 2016-03-13、2016-04-19), 通化零时为北京时间 00:00—03:00。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 地震行业科研专项“中国综合地球物理场观测-大华北地区”(201508009)项目资助。

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。

(2) 长期变改正。为消除观测数据中所包含的地球主磁场长期变化成分,采用“1995.0—2016.6 中国地区地磁基本场长期变化 6 阶 NOC 非线性模型”对日变化通化改正后的观测数据集进行长期变化改正通化。通化的标准地磁年代为 2015.0 年代。

(3) 以 IGRF (International Geomagnetic Reference Field) -12 (2015.0) 为观测区域地球主磁场参考模型,将监测区 2015.0 年代长期变改正数据集与之进行差值计算,即获得 2015.0 年代监测区岩石圈磁场数据集。

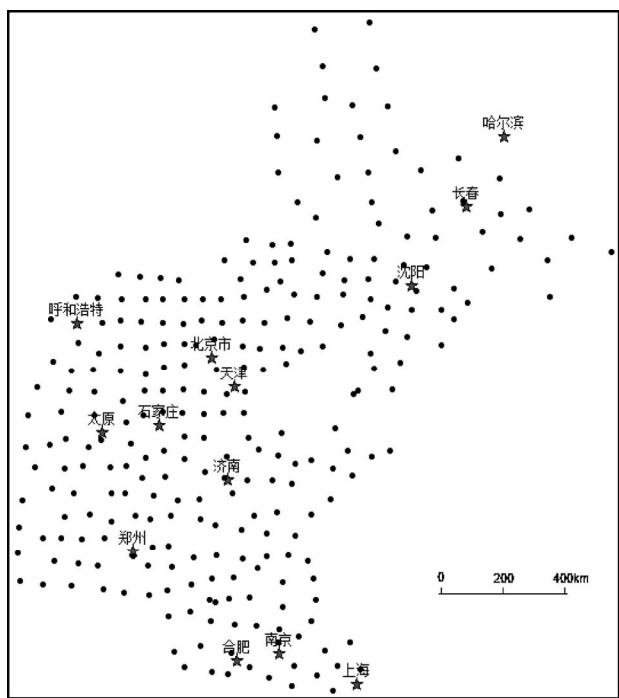


图 1 大华北地区流动地磁测点分布图

Fig.1 Distribution of the measured points of the mobile geomagnetic survey network in North China

## 2 大华北地区岩石圈磁场空间分布特征

地磁场是一个矢量场,可用地磁场强度矢量的 7 个要素来表示。目前大华北地区流动地磁矢量观测的对象为  $D$ 、 $I$ 、 $F$  这 3 个要素,其它 4 个地磁要素可由其计算获得,它们显然与 3 个测量要素具有明确的相关性,其空间分布形态亦具有相当程度的类似性和重复性。因此,为节省文章篇幅,本文针对监测区岩石圈磁场进行的讨论,将围绕  $D$ 、 $I$ 、 $F$  这 3 个要素进行。

### 2.1 $D$ 要素

#### (1) 岩石圈磁场空间分布总体特征

岩石圈磁场最大值为  $59.7'$  ( $113.20^{\circ}\text{E}$ ,  $40.86^{\circ}\text{N}$ ),最小值为  $-39.0'$  ( $120.99^{\circ}\text{E}$ ,  $41.55^{\circ}\text{N}$ ),主体量值范围基本在  $-30' \sim +30'$  之间,平均绝对量值  $9.3'$ ,约占当地地磁场总能量的 2.3%。正、负异常区能量总体均衡,不存在显著的大面积、高值核心异常区,测区中部地区有能量聚集现象。各异常区控制范围较小,正、负异常区相间分布,形状不规则,方向性及区域性不强,局部异常表现显著。监测区西南部(豫、皖、晋地区)、北部(吉中、西部,蒙东北地区)以负异常分布为主,测区中部(冀、鲁地区)则正异常能量占优(图 2a)。

#### (2) 次级块体构造与岩石圈磁场的关系

监测区各地块岩石圈磁场均呈现正、负异常相伴分布形态,能量分布较为平衡。燕山地块所处东西向条带状地带岩石圈磁场正、负异常区量值均较高,磁场能量明显汇集,且正、负异常区频繁交替,高梯级带密集出现,岩石圈磁场空间分布差异性显著;其它地块岩石圈磁场等值线分布则较为平缓舒展,局部异常特征不突出。

燕山地块与华北平原地块的交界地带东段为岩石圈磁场正、负异常交汇区,张渤地震带位于该区域;鄂尔多斯地块与华北平原地块交界带则位于岩石圈磁场等值线低值平缓区;测区东北部燕山地块与东北地块交界部位(即郯庐断裂带北段)与局部正异常条带对应;华北平原地块与鲁东-黄海地块交界部位(即郯庐断裂带中段)与局部负异常条带走向基本吻合。总体来看,地块交界地带基本避开了岩石圈磁场高值局部异常区,多沿“0”值线附近的低值区分布(图 2a)。

### 2.2 $I$ 要素

#### (1) 岩石圈磁场空间分布总体特征

岩石圈磁场最大值为  $48.6'$  ( $118.30^{\circ}\text{E}$ ,  $34.60^{\circ}\text{N}$ ),最小值为  $-52.1'$  ( $117.10^{\circ}\text{E}$ ,  $36.30^{\circ}\text{N}$ ),主体量值范围基本在  $-20' \sim 30'$  之间,平均绝对量值  $6.6'$ ,约占当地地磁场总能量的 0.2%。正、负异常区能量总体均衡,分布较分散,不存在显著的大面积、高值核心异常区。各异常区控制范围较小,形状不规则,方向性及区域性不强,局部异常表现显著。测区西南部以晋中南、冀南、

豫中北为中心，出现大范围岩石圈磁场低量值（包含正负异常）区，具备良好的区域连续性；在测区中部，高值局部异常区则较为密集（图2b）。

(2) 次级块体构造与岩石圈磁场的关系

监测区各地块岩石圈磁场均呈现正、负异常相伴分布形态，能量分布较为平衡。燕山地块及其南侧相邻部分地带，岩石圈磁场局部异常区密集分布，且量值较高，磁场能量明显集中。正、负异常区频繁交替，高梯级带密集出现，岩石圈磁场空间分布差异性显著；鄂尔多斯地块东部与华北平原地块中、西部同处岩石圈磁场低量值区，空间连续性良好；华北平原地块东部零星出现几处局部异常区，其中以鲁西部位成对出现的正、负高值异常区最为显著。其它地区岩石圈磁场等值线分布相对较为平缓，局部异常区聚集现象相对较弱（图2b）。

华北平原地块、燕山地块及鄂尔多斯地块交界地带岩石圈磁场位置特征主要表现为正、负异常交界区或低量值区，其中华北平原地块北缘与“0”值线分布多处出现较好的吻合现象。其它地块间交界地带的位置特征则不明确（图2b）。

2.3 F要素

(1) 岩石圈磁场空间分布总体特征

岩石圈磁场最大值为 711.4 nT (120.26° E, 47.60° N)，最小值为 - 530.3 nT (118.86° E, 40.16° N)，主体量值范围基本在 -300 ~ 300 nT 之间，平均绝对量值 122 nT，约占当地地磁场总能量的 0.2%。正、负异常区能量总体均衡，无过于显著的大面积、高值核心异常区存在，测区中部地区有能量聚集现象。测区存在基本连续分布的背景性负异常区，分散嵌入若干正异常区，其中以测区中部（以河北省中北部为中心）正异常区最为显著（图2c）。

(2) 次级块体构造与岩石圈磁场的关系

监测区各地块岩石圈磁场均呈现正、负异常相间分布形态，能量分布较为平衡。鄂尔多斯地块东部与燕山地块中、东部及其交界地区岩石圈磁场局部异常分布形态基本连续，同属高值正、负异常区交替、伴生地区，高梯级带大规模出现，同时是测区内磁场能量最集中的地带；华北平原地块岩石圈磁场空间分布整体较为均衡，边缘处局部异常量值略高于地块内部（图2c）。

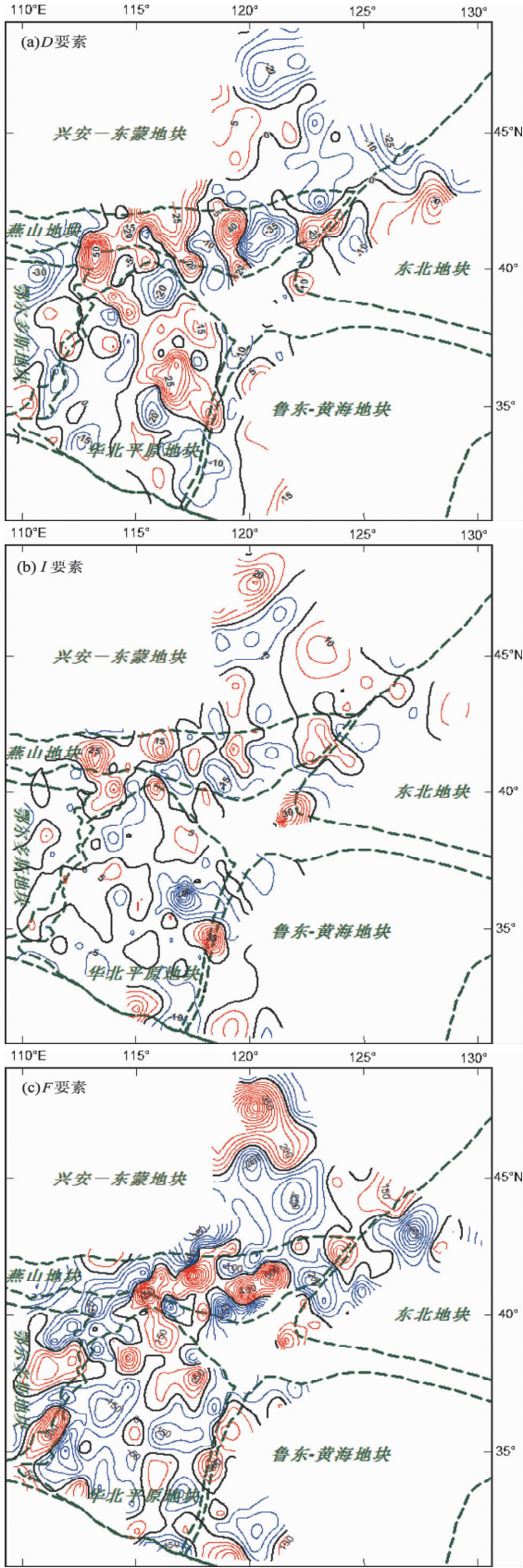


图2 大华北地区岩石圈磁场空间分布图  
Fig.2 Spatial distribution of the magnetic field in the North China region

各地块间交界地带均为有正、负异常相间分布，分界特征不明显，但局部与相关异常条带走向相符，如在鄂尔多斯地块与华北平原地块交界线南段、华北平原地块与鲁东—黄海地块交界部位北段（即郯庐断裂带中段），出现与走向之吻合的正异常条带，且交界线穿过其中线核心区（图 2c）。

通过上述分析可知，监测区岩石圈磁场 3 要素的空间分布总体特征具有较大程度的共同性，如正、负异常能量总体均衡、局部异常显著等；次级地质块体的岩石圈磁场各要素总体特征也基本相同，如燕山地块中、东部条状地带局部异常形态最为显著，正、负异常区密集交替出现，为岩石圈磁场能量集中区。华北平原地块、兴安—东

蒙地块（测区内部分）岩石圈磁场 3 要素能量分布则较为舒缓，空间连续性也较好。部分板块边界线与岩石圈磁场局部形态与较好的对应关系。

### 3 测区岩石圈磁场与历史地震

岩石圈磁场非常稳定，随时间的变化缓慢（徐文耀等，2008），这为我们考察中强以上历史地震震中在岩石圈磁场中的位置提供了便利。1980 年 1 月 1 日以来，测区内共发生 5.0 级以上地震 26 次，将其投影到监测区岩石圈磁场空间分布图中（图 3），可以获取每次地震的震中位置特征（表 1）。

表 1 1980 年初以来 5.0 级以上地震在大华北地区岩石圈磁场中的位置  
Tab. 1 Position of  $M \geq 5.0$  earthquakes in the lithosphere magnetic field in the North China region since 1980

序号	地震三要素			$\lambda_{\text{E}}/$ ( $^{\circ}$ )	$\varphi_{\text{N}}/$ ( $^{\circ}$ )	震中在岩石圈磁场中所处特征位置			出现特征位置的要素数量
	时间	地点	震级			<i>D</i> 要素	<i>I</i> 要素	<i>F</i> 要素	
1	1981-08-13	内蒙古丰镇	$M_{\text{S}}5.6$	113.4	40.6	①局部正异常核心区； ②高梯级带	①局部正异常核心区； ②高梯级带	局部负异常核心区	3
2	1981-11-09	河北隆尧	$M_{\text{S}}5.8$	115.0	37.4	“0” 值线附近	“0” 值线附近	“0” 值线附近	3
3	1983-11-07	山东菏泽吕陵	$M_{\text{S}}6$	115.3	35.2	“0” 值线附近	“0” 值线附近	“0” 值线附近	3
4	1985-11-30	河北任县	$M_{\text{S}}5.3$	114.1	37.2	“0” 值线附近	“0” 值线附近	无	2
5	1989-10-18	山西大同一阳高	$M_{\text{S}}5.7$	113.9	39.9				
6	1989-10-19	山西大同一阳高	$M_{\text{S}}5.9$	113.9	39.9	① “0” 值线附近； ②高梯级带	①局部正异常核心区； ②高梯级带	① “0” 值线附近； ②高梯级带	3
7	1989-10-19	山西大同一阳高	$M_{\text{S}}5.5$	113.9	39.9				
8	1991-01-29	山西忻州	$M_{\text{S}}5.1$	112.6	38.4	“0” 值线附近	无	① “0” 值线附近； ②高梯级带	2
9	1991-03-26	山西大同	$M_{\text{S}}5.8$	113.8	40.0	① “0” 值线附近； ②高梯级带	①局部正异常核心区； ②高梯级带	① “0” 值线附近； ②高梯级带	3
10	1991-05-30	河北唐山丰南	$M_{\text{S}}5.1$	118.2	39.5	① “0” 值线附近； ②高梯级带	“0” 值线附近	① “0” 值线附近； ②高梯级带	3
11	1995-09-20	山东苍山—费县	$M_{\text{S}}5.2$	118.0	35.0	①局部正异常核心区附近； ②高梯级带	① “0” 值线附近； ②高梯级带	① “0” 值线附近； ②高梯级带	3
12	1995-10-06	河北唐山市古冶	$M_{\text{S}}5.0$	118.5	39.8	①局部负异常核心区； ②高梯级带	① “0” 值线附近； ②高梯级带	① “0” 值线附近； ②高梯级带	3
13	1998-01-10	河北尚义	$M_{\text{S}}6.2$	114.3	41.1	无	无	高梯级带	1

续表 1								
序号	地震		$\lambda_{\text{E}}/$ ( $^{\circ}$ )	$\varphi_{\text{N}}/$ ( $^{\circ}$ )	震中在岩石圈磁场中所处特征位置			出现特征位置的要素数量
	时间	地点 震级 ( $M_{\text{S}}$ )			$D$ 要素	$I$ 要素	$F$ 要素	
14	1999-03-11	河北张北 $M_{\text{S}}5.6$	114.6	41.2	①局部正异常核心区附近; ②高梯级带	无	高梯级带	2
15	1999-11-01	山西浑源—河北阳原 $M_{\text{S}}5.6$	113.9	39.8	①“0”值线附近; ②高梯级带	①局部正异常核心区; ②高梯级带	①“0”值线附近; ②高梯级带	3
16	1999-11-29	辽宁岫岩—海城 $M_{\text{S}}5.4$	123.2	40.4			①“0”值线附近;	
17	2000-01-12	辽宁岫岩—海城 $M_{\text{S}}5.1$	123.1	40.5	“0”值线附近;	无	②高梯级带	2
18	2003-08-16	内蒙巴林左旗—阿鲁科尔沁旗 $M_{\text{S}}5.9$	119.7	43.9	“0”值线附近;	①“0”值线附近; ②高梯级带	无	2
19	2006-03-31	吉林乾安 $M_{\text{S}}5.0$	124.1	44.7	“0”值线附近;	无	“0”值线附近;	2
20	2006-07-04	河北文安 $M_{\text{S}}5.1$	116.3	38.9	①“0”值线附近; ②高梯级带	“0”值线附近;	①局部正异常核心区; ②高梯级带	3
21	2013-01-23	辽宁灯塔 $M_{\text{S}}5.1$	123.2	41.5	①局部正异常核心区; ②高梯级带	①局部正异常核心区; ②高梯级带	①“0”值线附近; ②高梯级带	3
22	2013-04-22	内蒙古科尔沁左翼后旗 $M_{\text{S}}5.3$	122.4	42.9	高梯级带	“0”值线附近	①“0”值线附近; ②高梯级带	3
23	2013-10-31	吉林前郭 $M_{\text{S}}5.7$	124.1	44.7				
24	2013-10-31	吉林前郭 $M_{\text{S}}5.1$	124.2	44.7				
25	2013-11-22	吉林前郭 $M_{\text{S}}5.3$	124.1	44.7	“0”值线附近;	无	“0”值线附近;	2
26	2013-11-23	吉林前郭 $M_{\text{S}}5.8$	124.1	44.6				

由表 1 可见，在大华北地区岩石圈磁场中，5 级以上的地震震中所处的几个常见的特殊位置主要包括：局部异常核心区、“0”值线附近（“0”值线两侧约 40 km 范围内）、高梯级带。

就单一要素的岩石圈磁场来看，大部分地震在其中均具备位置特征，无上述位置特征的地震数量极少（ $D$  要素 1 个， $I$  要素 9 个， $F$  要素 2 个）。且绝大部分地震均具有多要素位置特征，仅具备单一要素位置特征的地震数量为 1，3 要素中均无位置特征的地震数量为 0，在全部 3 个要素中均具备位置特征的地震数量为 14，占比超过了 50%。

为进一步判定各特征位置的出现概率，对各特殊位置的发震数量进行分类统计，如表 2 所示。

表 2 大华北地区岩石圈磁场中各特殊位置的发震数量统计  
Tab. 2 Statistics of the number of earthquakes occurring in the special locations of the lithosphere magnetic field in the North China region

地磁要素	局部异常核心区		“0”值线附近		高梯级带	
	地震数量/ 个	占比	地震数量/ 个	占比	地震数量/ 个	占比
D	5	19%	18	69%	13	50%
I	7	27%	9	35%	10	38%
F	2	8%	19	73%	18	69%

在大华北地区  $D$ 、 $I$ 、 $F$  3 要素的岩石圈磁场中， $I$  要素 3 个特征位置的地震数量较为平均； $D$ 、 $F$  要素“0”值线附近和高梯级带位置处的地震数

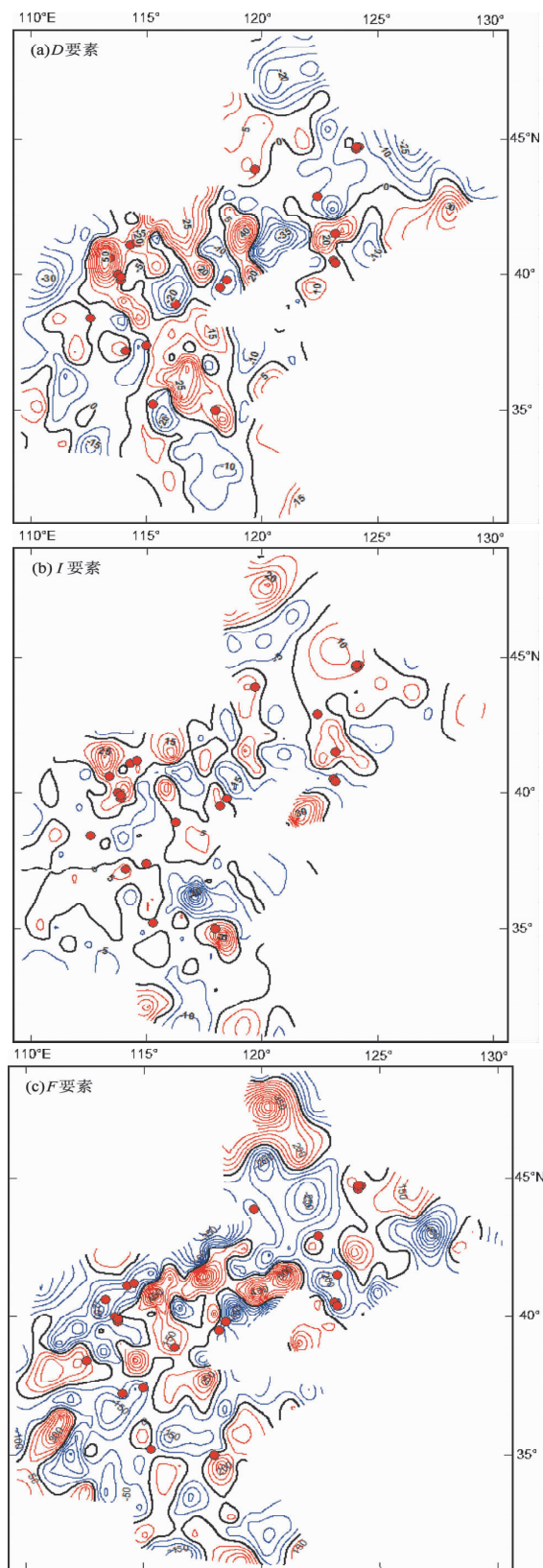


图3 大华北地区岩石圈磁场空间分布与历史地震分布图

Fig. 3 Spatial distribution of lithospheric magnetic field and historical earthquake distribution in North China

量明显多于局部异常核心区,表现出明显的分化性。总体来看,“0”值线附近和高梯级带2个特征位置发生的地震数量明显多于局部异常核心区,是我们需要格外关注的两个位置,这一现象在日后的地震危险区研判工作中具有一定的应用价值。

## 4 结论与讨论

通过对大华北地区岩石圈磁场空间分布和地震地质特征的讨论,获得如下结论:

(1) 大华北地区各地磁要素的岩石圈磁场具有相似的空间分布基本特征:占当地地磁场总能量的比值很低;正、负能量基本均衡;空间分布方向性及区域性不强,局部异常表现显著;正、负异常区呈相间分布形态。

(2) 部分次级块体或边界线在岩石圈磁场中具有较好的空间分布特征。

(3) 大部分5级上地震在岩石圈磁场中表现出较明确的位置特征,尤其是“0”值线附近和高梯级带2个位置,是中强以上地震的易发部位。

由于地震发生于岩石圈层,相较于其它场源埋深的地磁场成分,岩石圈磁场与地震显然具有更加明确的相关性。出于测点密度(平均约70 km)的限制,大华北地区岩石圈磁场的空间分辨率相对较低,不足以进一步分析该地区断裂构造在岩石圈磁场中的形态特征,历史地震震中在岩石圈磁场中特征位置的统计工作也相对粗略,更为精细的区域岩石圈磁场特征研究有待于相关测量工作的进一步推进。

## 参考文献:

- 安振昌,谭东海,王月华,等.1996.亚洲MAGSAT卫星磁异常图[J].地球物理学报,39(4):461-469.
- 安振昌,谭海东,ROTANIVA N M,等.1998.亚洲MAGSAT卫星磁异常球谐分析[J].地球物理学报,41(2):168-173.
- 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.
- 顾春雷,张毅,顾左文,等.2012.华北地震区岩石圈磁异常场零值线与中强震震中分布关系[J].地震工程学报,34(2):174-179.
- 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.
- 倪喆,陈双贵,袁浩浩,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.
- 王慧琳,陈超,张昌达.2008.最新的岩石圈磁场模型及中国磁异常特征的几点认识[J].地学前缘,15(3):64-71.
- 徐文耀,白春华,康国发.2008.地壳磁异常的全球模型[J].地球物

理学进展,23(3):641–651.

张吕达. 2003. 卫星的磁测和过去、现在、未来[J]. 物探与化探,27(5):229–332.

THEBAULT E.,PURUCKER M.,WHALER A.,*et al.* 2010. The mag-

netic field of the Earth’s lithosphere[J]. Space Science Reviews,155

(1–4):95–127.

# Spatial Distribution and Seismic Geological Characteristics of the Lithospheric Magnetic Field in the North China Region

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

## Abstract

Based on the latest mobile geomagnetic observation data of North China region, the spatial distribution and seismic geological features of the region’s 2015. 0 lithospheric magnetic field are analyzed and discussed. The results show that the lithospheric magnetic field in North China has the characteristics of strong local anomalies. Its spatial distribution pattern and the main plate in the area have a certain degree of correspondence, and previous earthquakes mostly occurred in some special parts of the magnetic field of the lithosphere.

**Keywords:** North China region; IGRF; lithospheric magnetic field; plate; seismic geological