

# 冷龙岭断裂岩石圈磁场特征与2016年青海门源

## 6.4级地震关系研究\*

冯丽丽, 李霞

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

**摘要:** 在2016年1月21日门源6.4级地震发生以后, 利用DB5小波基对该地震震中所在的冷龙岭断裂及其周边地区岩石圈磁场进行了小波分解, 分析了各阶小波细节及小波逼近结果, 并根据分解结果研究不同深度场源的岩石圈磁场与门源地震的关系。小波分解的结果显示, 浅层与中层的磁异常分布不均匀, 震中位置位于 $\Delta Z$ 正负值转换区域; 而底层磁异常则相对均匀宽缓, 震中附近并无显著分界特征。

**关键词:** 冷龙岭断裂; 磁异常; 门源地震; 小波分解

**中图分类号:** P315.721

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2016)增刊1-0117-05

## 0 引言

冷龙岭断裂地处青藏高原隆起区的东北缘, 属于北祁连山活动断裂带的一部分。该断裂东端与金强河断裂相接, 西端与托来山断裂、肃南—祁连断裂(俄堡段)相连(徐锡伟等, 2016), 略呈向南凸起的弧形, 整体走向 $115^\circ$ , 全长约127 km(陈文彬, 2003), 为全新世左旋走滑兼逆断的断裂, 倾向NE, 倾角 $50^\circ \sim 60^\circ$ (何文贵等, 2000)。在北祁连中东段的冷龙岭海相火山岩带中存在新元古代火山岩, 呈北西—南东向长条状展布(王星等, 2008)。历史上在该断裂上发生过1927年古浪8级地震和1986年门源6.5级地震。1540年5月14日, 甘肃中部强震也有可能是发生在这条断裂上, 并形成了一条断续长达20 km的年轻破裂带(刘百箴等, 1998)。而近期在该断裂上更是因发生了2016年1月21日门源6.4级地震而受到强烈关注。前人对该断裂带的地球物理特征的研究大多基于金矿、石油及其他矿产资源勘查, 其磁场特征及其与地震关系的研究方面基本空白。本文在前人研究的基础上, 对该断裂带的磁场特征作深入细致的研究, 并结合地质背景给出合理解释, 探讨冷龙岭断裂及邻区磁场特征与2016年青海门源6.4级地震的关系。

## 1 数据选取

基于中国地震局强震跟踪工作的需要, 中国地震局地球物理研究所自2014年起在南北地震带流动地磁测量的基础上, 增加了阿尔金地区75个测点的流动地磁测量任务。该任务测量区域覆盖了冷龙岭断裂带及其周边地区, 部分测点分布如图1所示。本文中所采用的数据来源于2015年4~5月中国地震局地球物理研究所流动地磁测量团

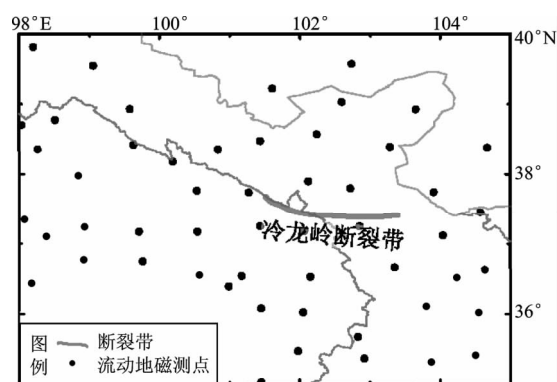


图1 冷龙岭断裂带及周边地区  
部分流动地磁测点分布

Fig. 1 Distribution of part of magnetic survey stations  
in Lenglongling Fault and its adjacent area

\* 收稿日期: 2016-08-23.

基金项目: 青海省地震科学基金——青海地电场资料分析(2016B02)项目资助.

队在阿尔金地区地磁矢量测量任务中所获得的野外地磁测量数据。

## 2 岩石圈磁场特征分析

对原始数据进行日变通化改正及长期变化改正以后,可以认为剩余的成分仅为时间上稳定的内源场成分(冯丽丽,2015)。从中减去 IGRF12 模型 1~13 阶球谐系数计算的主磁场成分,剩余部分即为磁异常场,也称岩石圈磁场。

### 2.1 岩石圈磁场特征

所计算得出的该地区岩石圈磁场北向分量  $\Delta X$ 、东向分量  $\Delta Y$ 、垂直分量  $\Delta Z$  分布如图 2 所示。

冷龙岭断裂自西向东横切  $\Delta X$  等值线。从图 2a 可以看出,在冷龙岭断裂西段的两侧,  $\Delta X$  等值线走向发生显著的转折,转折角度约  $60^\circ$ ,这一特征在断裂的中段及东段均不明显。在冷龙岭断裂西端约 200 km 范围内分布有若干正负相间的团状异常。负异常的强度和分布范围均大于正异常的,其中最靠近冷龙岭西端的负异常焦点位置 ( $101.3^\circ \text{E}$ ,  $37.7^\circ \text{N}$ ) 最大强度超过 120 nT。而继续向东延伸的冷龙岭断裂周边  $\Delta X$  则显示宽缓低弱的磁场特征,异常强度在 20 nT 以下。

$\Delta Y$  分布特征显示(图 2b),冷龙岭断裂整体位于岩石圈磁场东向分量负值区,异常强度低。其西段平稳低弱,东段略有起伏。在冷龙岭断裂北侧自东向西分布有一正一负 2 个异常区,正异常焦点强度约为 20 nT,负异常焦点强度约 80 nT。在冷龙岭断裂南侧,主要为宽缓的负异常区,强度约为 20 nT。

在冷龙岭断裂及其周边区域,  $\Delta Z$  分布呈现明显的东西差异(图 2c)。在  $102^\circ \text{E}$  以西区域,冷龙岭断裂两侧  $\Delta Z$  分布较为一致,未见显著的等值线转折或强度变化;负异常强度从北西端的 70 nT 下降至 40 nT。而  $102^\circ \text{E}$  以东区域,等值线在跨过断层时出现明显转向,零值线与断裂带走向仅存在约  $15^\circ$  的夹角;南北两侧分别为正负团状异常区,北侧负异常最大强度达到 80 nT,南部正异常最大强度在 60 nT 以上。

### 2.2 岩石圈磁场小波分解

尽管磁异常能较好地用来揭示盆地覆盖区下面变质结晶基底的构造特征,但正确的构造解释有赖于对各类磁异常的成因和对基底岩石构造

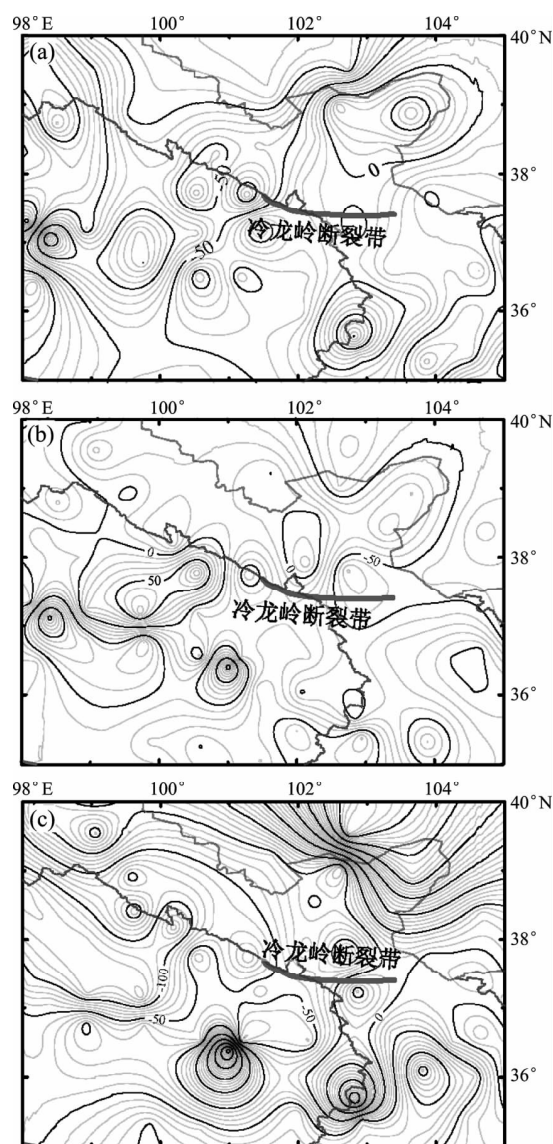


图 2 冷龙岭断裂及其周边区域岩石圈磁场  $\Delta X$  (a)、 $\Delta Y$  (b)、 $\Delta Z$  (c) 分布图 (单位: nT)

Fig. 2 Distribution of  $\Delta X$  (a)、 $\Delta Y$  (b)、 $\Delta Z$  (c) of lithospheric magnetic field in Lenglongling Fault and its adjacent area

联系的理解,以及磁异常原始数据处理方法的选择。近年来小波分解方法在处理地球重力场和地球磁场数据方面得到了广泛的应用(钟锺等,2005;楼海,王椿镛,2005;刘天佑等,2007;侯遵泽,杨文采,1997;郝天珧等,2009;刘少明等,2004;Guyodo *et al*, 2000; Shume *et al*, 2010; Kumar, Foufoula - Georgiou, 1997; Cooper, Liu, 2011; Heslop, 2007)。研究表明二维小波多尺度分解能够将地磁异常场分解为不同尺度的异常,有利于进一步研究磁异常的来源以及磁异常

与地质结构、构造的关系。

对岩石圈磁场变化进行小波分解以后的各阶分量并没有实际的地球物理意义。但研究表明磁异常的各阶分量可能是由在一定深度范围内的磁源体产生的（钟锴等，2005；楼海，王椿镛，2005；刘天佑等，2007）。

根据试算，利用 DB5 小波基对上述岩石圈磁场垂直分量  $\Delta Z$  进行 6 阶小波分解，分别得到 1~6 阶小波细节（高频）和 6 阶小波近似（低频）。对 1~3 阶小波细节和 4~6 阶小波细节分别进行叠加，其目的在于将岩石圈磁场进行分层剥离。1~3

阶小波细节代表岩石圈磁场中高频成分，4~5 阶频率相对较低，而 6 阶逼近为低频成分。根据不同频段波在传播过程中的衰减关系可知，高频信号衰减最快，对应浅源信号；而低频信号衰减慢，对应深源信号。因此认为 1~3 阶为浅层磁场，4~6 阶细节为中层磁场，6 阶近似为深源磁场，不同波段所指示的异常场源平均深度将在今后作进一步深入研究。

冷龙岭断裂带及其周边区域岩石圈磁场  $\Delta Z$  小波分解 1~3 阶细节、4~6 阶细节及 6 阶近似结果如图 3 所示。

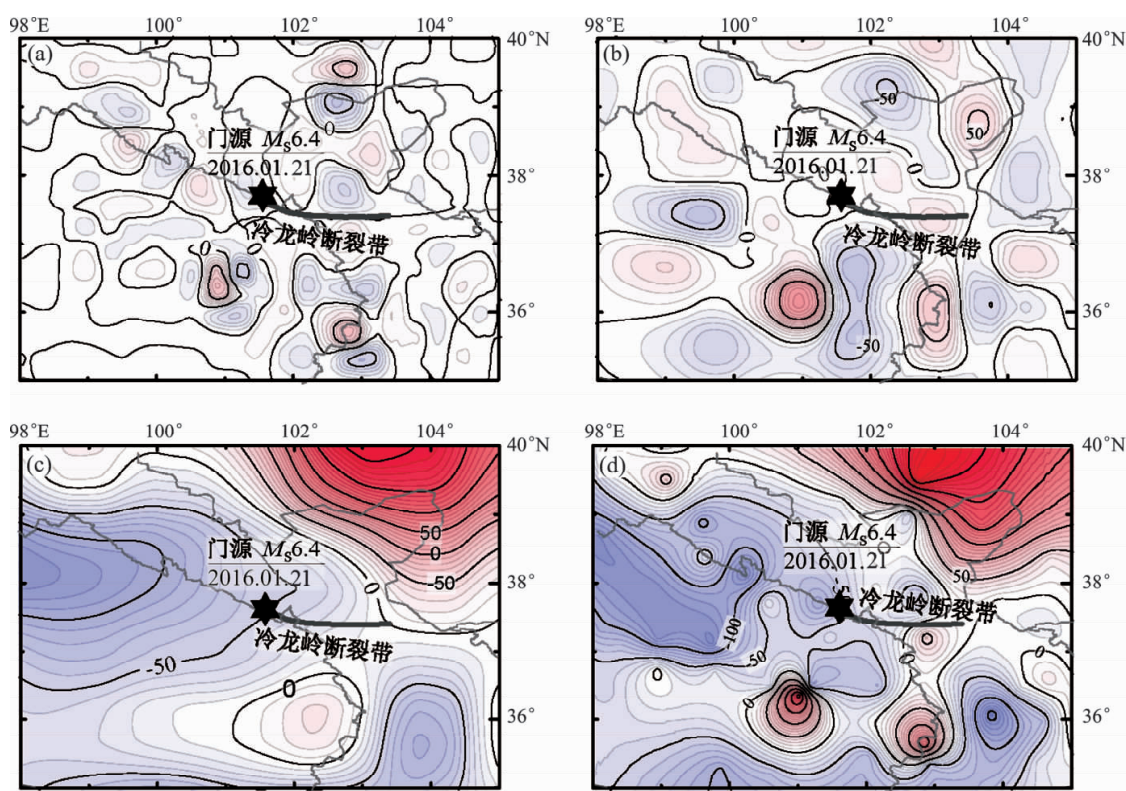


图 3 冷龙岭断裂带及其临近地区岩石圈磁场  $\Delta Z$  小波分解结果与门源地震

(a) 1~3 阶小波细节；(b) 4~6 阶小波细节；(c) 6 阶小波近似；(d) 原始图像

Fig. 3 Wavelet analysis of the  $\Delta Z$  of lithospheric magnetic field in Lenglongling Fault

and its adjacent area and Menyuan Earthquake

(a) wavelet details of degree 1 to 3; (b) wavelet details of degree 4 to 6; (c) wavelet approximation of degree 6; (d) original image

在浅层（图 3a），冷龙岭断裂带除中西段以外主要沿 0 等值线分布，这表明在冷龙岭断裂两侧，浅层的磁性物质分布存在显著差异性。这种差异性在东段尤为明显。

在中层（图 3b），冷龙岭断裂带位于正负异常转换区，但零值线与断裂带仅有小段重合。而且

呈现较为明显的分段特征，其中西段位于岩石圈磁场正负交界区域，表明西段两侧的磁性岩石分布具有一定的差异性。而冷龙岭东段位于较为宽缓的正异常区域，这意味着该区域磁性岩石的分布较为均匀，断裂带两侧差异不明显。

而在深层（图 3c），冷龙岭断裂带整体位于 2

个大型负异常区交汇处,磁场沿冷龙岭自西向东异常强度逐渐减小,直到断裂带东端达到0等值线附近。冷龙岭断裂带两侧磁场特征未见显著差异。

### 3 磁场特征与门源地震关系的研究

2016年1月21日1时13分,在青海门源(37.68°N, 101.62°E)发生6.4级地震,震源深度为10 km。震中距离门源县城约35 km,距离西宁市约110 km,此次地震发生在全新世活动的冷龙岭断裂附近,该断裂由一组近乎平行的次级断裂组成,其西段活动年代为晚更新世晚期(何文贵等,2000;中国地震局地球物理研究所,2016)。

震中位置位于岩石圈磁场 $\Delta Z$ 负异常区,强度约为-56 nT。50 nT等值线走向在震中位置附近由南东向转为北东向,转折角度达到270°。震中位置处在岩石圈磁场高梯度与低梯度的转换带。震中位置东南部岩石圈磁场强度显著减弱,等值线间距宽,磁场水平梯度小(图3d)。

$\Delta Z$ 的1~3阶小波细节结果表明,震中位置位于正负交界地带,强度约-9 nT。浅层磁异常在震中及附近区域分布极不均匀,表明震中位于一浅层磁异常区边界附近。 $\Delta Z$ 的4~6阶小波细节结果表明,震中位置同样位于正负交界地带,强度约4 nT。中层磁异常在震中附近为平缓低弱特征,2条零值线从震中两侧穿过。 $\Delta Z$ 的6阶小波近似结果表明,震中位置位于一大型负异常基底之上,强度约-51 nT。底层磁异常在震中附近未见显著的不均匀特征,负异常强度由西向东逐渐减小。

### 4 结论与讨论

冷龙岭断裂带岩石圈磁场各分量表现特征并不一致,在断裂带两侧磁场等值线或转折、或弯曲,呈现不对称分布。这一现象的根源在于断裂带两侧磁性构造的磁化强度、埋深等并不均匀,从侧面反映出该断裂带两侧的地质及构造差异。

对冷龙岭及周边区域岩石圈磁场进行小波分解,并分别重组了1~3阶小波细节(浅层异常)和4~6阶小波细节(中层异常)。在1~3阶小波细节图中冷龙岭断裂带两侧的差异性表现最为显著;而在4~6阶小波细节中,冷龙岭东段和西段

存在较大差异,东段侧较为均匀而西段两侧差异显著;在6阶小波近似中,断裂带两侧磁场特征未见显著差异。这一结果表明冷龙岭地带的岩石圈磁场不均匀分布主要来源于浅层及中层。

门源地震震中位于冷龙岭断裂带西端,位于岩石圈磁场 $\Delta Z$ 分量高低梯度转换带,说明该地区下部磁性构造存在差异性分布。在1~3阶小波细节图和4~6阶小波细节图中,震中位置均位于异常区交界地带。在6阶小波近似图中,震中周边磁场则较为均匀。然而,要解释上述现象,对小波分解后重组的分量所指征的磁性体分布深度做深入研究是十分必要的。

#### 参考文献:

- 陈文彬. 2003. 河西走廊及邻近地区最新构造变形基本特征及构造成因分析[D]. 北京:中国地震局地质研究所,67-68.
- 冯丽丽. 2015. 区域地磁场谐和样条模型研究[D]. 北京:中国地震局地球物理研究所.
- 郝天珧,徐亚,赵百民等. 2009. 南海磁性基底分布特征的地球物理研究[J]. 地球物理学报,52(11):2763-2774.
- 何文贵,刘百簌,袁道阳等. 2000. 冷龙岭活动断裂的滑动速率研究[J]. 西北地震学报,22(1):91-96.
- 侯遵泽,杨文采. 1997. 中国重力异常的小波变换与多尺度分析[J]. 地球物理学报,40(1):85-95.
- 刘百簌,袁道阳,何文贵等. 1998. 冷龙岭活断裂的古地震特征与1540年甘肃中部强震[C]//中国地震学会第七次学术大会论文摘要集. 北京:中国地震学会.
- 刘少明,申重阳,孙少安等. 2004. 小波多尺度分解特征分析[J]. 大地测量与地球动力学,24(2):34-41.
- 刘天佑,吴招才,詹应林等. 2007. 磁异常小波多尺度分解及危机矿山的深部找矿:以大冶铁矿为例[J]. 中国地质大学学报,32(1):135-140.
- 楼海,王椿镛. 2005. 川滇地区重力异常的小波分解与解释[J]. 地震学报,27(5):515-523.
- 王星,杜占美,管波等. 2008. 北祁连冷龙岭新元古代火山岩的发现及地质地球化学特征和大地构造意义[J]. 陕西地质,26(2):55-63.
- 徐锡伟,于贵华,吴熙彦. 2016. 2016年1月21日青海门源6.4级地震区域地震构造图(VI版)[Z]. 北京:中国地震局地质研究所.
- 中国地震局地球物理研究所. 2016. 2016年1月21日青海海北州门源县 $M_s$ 6.4地震:中国[EB/OL]. (2016-01-21)[2016-08-23]. <http://www.cea-igp.ac.cn/tpxw/273560.shtml>.
- 钟锴,徐鸣洁,王良书等. 2005. 利用航磁、重力资料研究川滇地区大陆变形特征[J]. 地球科学进展,20(10):1089-1094.
- Cooper S M, Liu T. 2011. A magnetic and gravity investigation of the Liberia Basin, West Africa[J]. 59(2):159-167.
- Guyodo Y, Gaillot P, Channell J E T. 2000. Wavelet analysis of relative

- geomagnetic paleointensity at ODP Site 983 [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 184(1):109–123.
- Heslop D. 2007. A wavelet investigation of possible orbital influences on past geomagnetic field intensity [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 8(80):133–157.
- Kumar P, Foufoula – Georgiou E. 1997. Wavelet analysis for geophysical applications [J]. *Reviews of Geophysics*, 35(4):385–412.
- Shume E B, Denardini C M, Paula E R D, *et al*. 2010. Variabilities of the equatorial electrojet in Brazil and Perú [J]. *Journal of Geophysical Research Space Physics*, 115(A16):1–9.

## Research on Lithospheric Magnetic Field Feature of Lenglongling Fault and its Relation with Qinghai Menyuan $M_s6.4$ Earthquake in 2016

FENG Lili, LI Xia

(*Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China*)

### Abstract

After Menyuan  $M_s6.4$  earthquake on Jan. 21, 2016, the lithospheric magnetic field feature of Lenglongling Fault and its adjacent area where the epicenter located has been decomposed by using DB5 wavelet basis, and the wavelet details of each order and wavelet approximation result are also analyzed. Then based on the wavelet decomposition results, we study the relationship of lithospheric magnetic field with earthquake. The wavelet analysis result shows that the distribution of magnetic anomaly in the shallow layer and middle layer is non-uniform. The epicenter located in the transit area of positive and negative value of  $\Delta Z$ . The magnetic anomaly in the bottom layer is relatively uniform and wide, and the area nearby the epicenter has no obvious boundary characteristic.

**Key words:** Lenglongling Fault; magnetic anomaly; Menyuan  $M_s6.4$  earthquake; wavelet decomposition