

## 2016年青海门源6.4级地震前地磁异常特征分析\*

李霞, 刘磊, 冯丽丽

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

**摘要:**以青海、甘肃和四川交界处(30~41°N, 90~107°E)为研究区域,对研究区2013~2015年数字地磁资料进行加卸载响应比和逐日比计算,分析2016年青海门源6.4级地震震前异常变化。研究表明:门源地震震前29天沿断裂带及其附近台站地磁加卸载响应比和逐日比均成组出现超限的高值,且异常高值的空间分布都相对集中于震中区附近,震中位于异常高、低值转换带或过渡带附近,表现出一定的时空同步性。与2013年7月22日岷县—漳县6.6级地震前加卸载响应比和逐日比特征变化进行对比分析,发现两者具有一定相似性。因此,地磁垂直分量日变形态及相关计算方法在短期内具有一定预报效能。

**关键词:**门源6.4级地震;地磁垂直分量日变化;加卸载响应比;逐日比

中图分类号:P315.721

文献标识码:A

文章编号:1000-0666(2016)增刊1-0122-06

### 0 引言

2016年1月21日1时13分,青海省海北州门源县(37.68°N, 101.62°E)发生6.4级地震,震源深度约10 km。地震发生后,西宁、海晏等地区均有明显震感,地震对青海门源县、甘肃肃南县造成较大影响。这是甘青地区自2013年7月22日甘肃岷县—漳县地震后发生的最大地震。

门源6.4级地震震中位于祁连山褶皱构造带内的冷龙岭断裂和托莱山断裂交汇处,属于逆冲型

破裂。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,断裂东端与古浪断裂及毛毛山断裂相接,西端与托莱山北缘断裂相连。冷龙岭断裂总体走向约300°,倾向NE,倾角50°~60°,断裂宽度1~3 km。祁连山褶皱构造带是青藏高原的重要活动构造带,长期受印度板块推挤作用,历史上沿该构造带发生过多次7~8级强震,该地区连续多年被划入全国重点危险区,此次门源地震打破了青海省境内6级地震的长时间平静(自2010年4月14日玉树7.1级地震后6级地震平静长达69个月)。

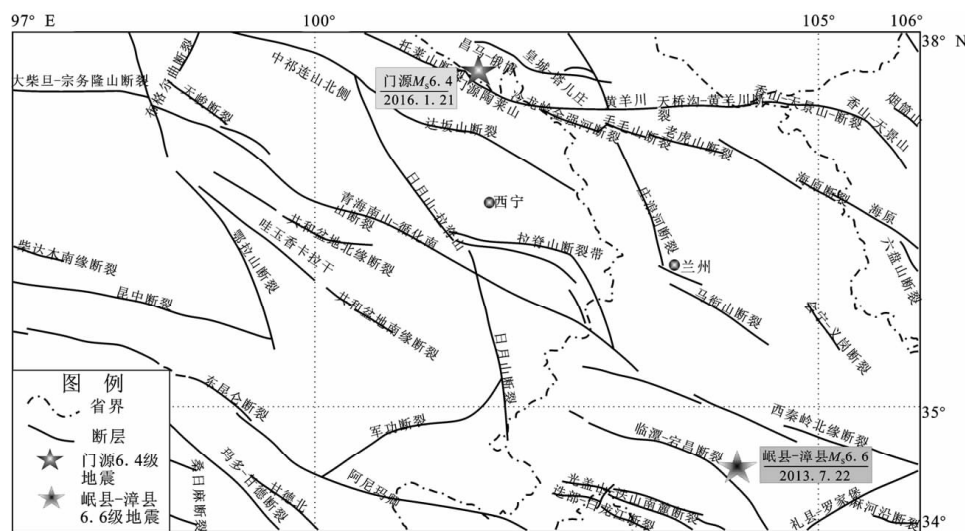


图1 震中和断裂带位置图

Fig. 1 Distribution map of earthquake and faults

门源 6.4 级地震前, 青海及其邻区的部分地磁测项出现明显异常, 表明震前有些台站的地磁场有异常波动, 结合区内典型震例, 发现此次地震前地磁异常存在一定时空演化特征。本文利用地磁  $Z$  分量日变幅加卸载响应比和逐日比方法对研究区 2013 ~ 2015 年部分地磁资料进行计算分析, 并深入总结数字地磁资料的异常变化与门源 6.4 级地震的关系, 分析结果有助于为该地区今后震情跟踪提供参考依据。

## 1 研究区地磁测项简介

经数字化地磁观测以来, 青海、甘肃和四川已经积累了比较丰富的地磁观测资料, 且该地区地磁测点分布相对密集、合理。本文选取甘、青、川交界区域 ( $30^{\circ} \sim 41^{\circ} \text{N}$ ,  $90^{\circ} \sim 107^{\circ} \text{E}$ ) 作为研究范围 (图 2), 选取 2013 ~ 2015 年数据连续且质量较好的 11 个台站的数字地磁资料作为分析研究对象, 其中青海测点 6 个 (格尔木、都兰、德令哈、湟源、贵德、金银滩)、甘肃 4 个 (嘉峪关、山丹、兰州、天水)、四川 1 个 (成都)。

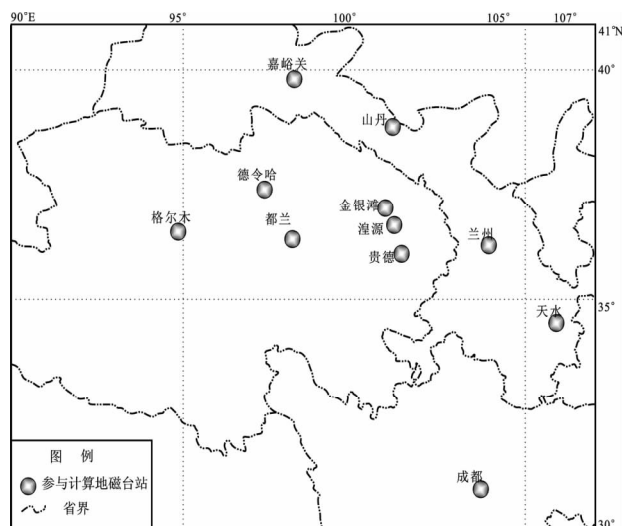


图 2 青海及周边地区地磁台站地理位置图

Fig. 2 Distribution of geomagnetic observation stations in Qinghai and its adjacent area

## 2 地磁加卸载响应比和逐日比计算

### 2.1 理论基础

加卸载响应比理论最早由尹祥础和尹灿 (1991) 提出, 在 20 世纪 90 年代宋治平等 (1996) 将其应用于地震预测中。陈学庭等

(2002), 朱燕等 (2002), 冯志生等 (2000) 将加卸载响应比方法应用于地磁资料, 在该方法基础上又提出逐日比方法, 并与区域内显著地震进行对比分析, 在实际应用中取得一定映震效果 (张建国等, 2007; 张颖等, 2010; 马玉虎等, 2001)。

#### (1) 加卸载响应比

加卸载响应比法是利用地磁扰动场作为探测信号, 应用能反映地震磁效应的  $Z$  分量作为响应函数, 以正常情况下的介质响应作为背景, 提取因地震引起介质电导率变化而产生的响应比异常来预测地震。

太阳风对地球磁场平均每 5 ~ 6 天有一次冲击, 使地球磁场产生扰动, 从而形成对地球磁场的周而复始的加载与卸载过程。因此, 可取太阳风加载时与卸载时的地磁垂直分量日变幅之比值为其加卸载的响应比值, 即:

$$P(Z) = A_{+}/A_{-}. \quad (1)$$

式中, “+”为加载, “-”为卸载,  $A$  为地磁垂直分量日变幅度。由于地磁垂直分量日变幅度与太阳活动相关很好, 因此, 可近似认为当太阳风对地球磁场处于加载时,  $A$  为极大值, 而当太阳风对地球磁场处于卸载时,  $A$  为极小值。

#### (2) 逐日比

在地磁垂直分量日变幅加卸载响应比方法的实际应用中, 发现如下简单比值的高值与周边地震也有很好的对应关系 (冯志生等, 2001)。

地磁垂直分量日变幅逐日比计算如下:

$$Y = A(t_1)/A(t_2). \quad (2)$$

式中,  $A(t)$  为地磁垂直分量日变化幅度,  $t_2 = t_1 + 1$ 。相邻 2 个或 2 个以上台站同时出现逐日比结果大于判据时, 异常成立。

### 2.2 应用分析

笔者将地磁加卸载响应比和逐日比方法应用于研究区的数字地磁资料。在判别地磁加卸载响应比和逐日比异常时, 阈值的选取是关键。通过依次尝试选取不同的阈值进行对比分析, 认为该研究区内加卸载响应比方法选取 3.1 (李霞等, 2016), 逐日比方法选取 2.8 作为异常的判别阈值比较合理。

经过计算对比分析, 发现在门源地震前, 研究区计算结果均出现成组超限的高值异常, 并在时间和空间上具有同步性。地磁加卸载响应比结

果中 (图 3), 2015 年 12 月 23 日, 嘉峪关和贵德台比值分别为 6.5、3.7, 均超限; 同样在逐日比结果中 (图 4), 2015 年 12 月 23 日, 天水、嘉峪关、格尔木、德令哈、都兰和贵德台逐日比值分别为

2.9、3.2、2.8、3.0、2.8 和 3.7, 均超限; 且该时段无磁扰动及人为干扰影响, 异常出现 29 天后门源发生 6.4 级地震。考虑异常台站距震中位置及所处破裂带等因素, 认为该异常属于前兆异常。

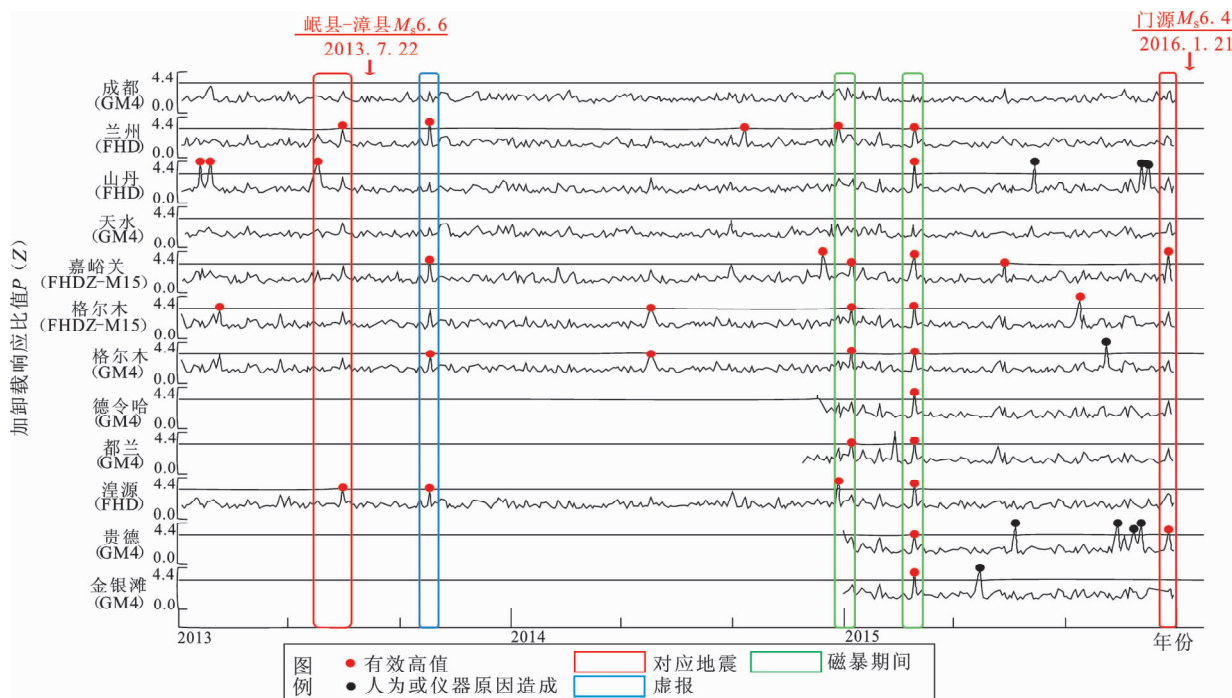


图 3 门源 6.4 级地震前加卸载响应比异常图 (阈值 3.1)

Fig. 3 Load-unloading response ratio before Menyuan  $M_s6.4$  earthquake (the threshold value is 3.1)

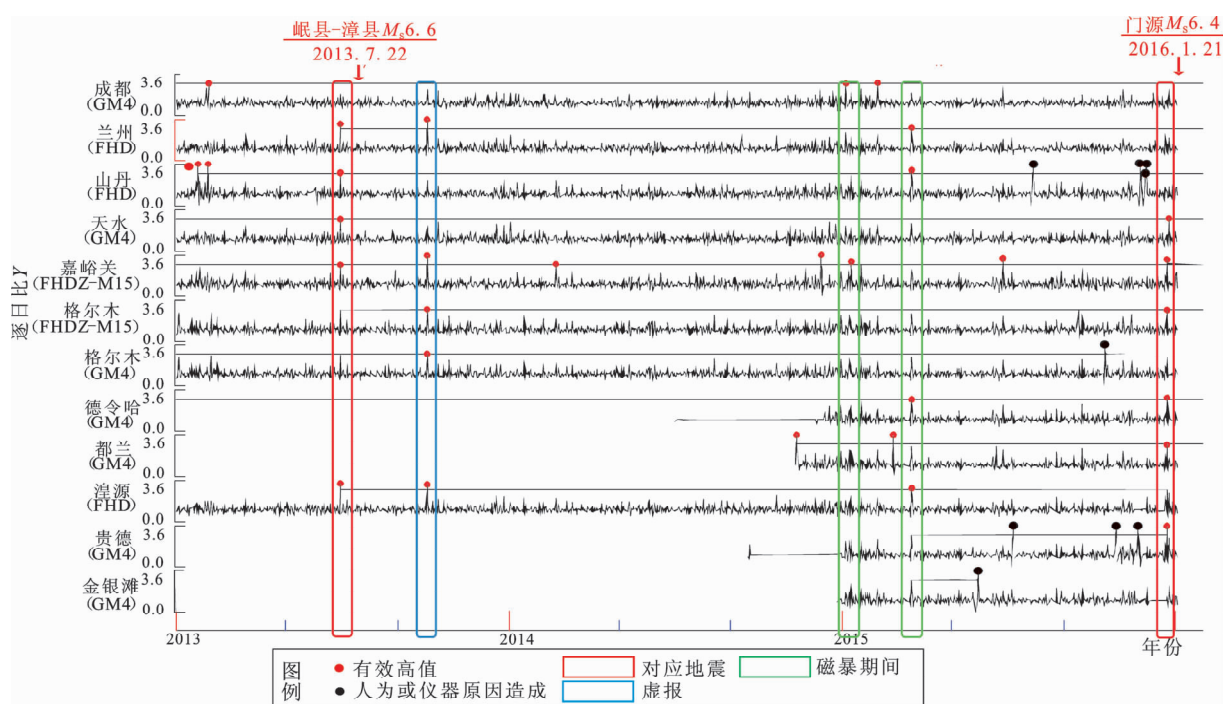


图 4 门源 6.4 级地震前逐日比异常图 (阈值 2.8)

Fig. 4 Daily variation amplitude ratio before Menyuan  $M_s6.4$  earthquake (the threshold value is 2.8)

对比地磁加卸载响应比高值空间分布（图 5a）与震中关系，最大高值区位于震中西北部，即祁连山中北缘，次高值区位于距离震中较近的日月山—拉脊山断裂处；距离震中 370 km 的嘉峪关出现高值异常，距离震中 90 km 的金银滩未出现高值异常。对比地磁逐日比高值空间分布（图 5b）与震中关系，高值区同样位于祁

连山中—北缘和日月山—拉脊山断裂处；距离震中 90 km 的金银滩（仅 90 km）未出现异常，距离较远的格尔木、嘉峪关出现高值超限。基于上述结果分析认为，门源地震前存在地磁短临异常，主要分布在孕震区范围内，且空间展布具有一定规律性，震中位于高、低值转换带或过渡带附近。

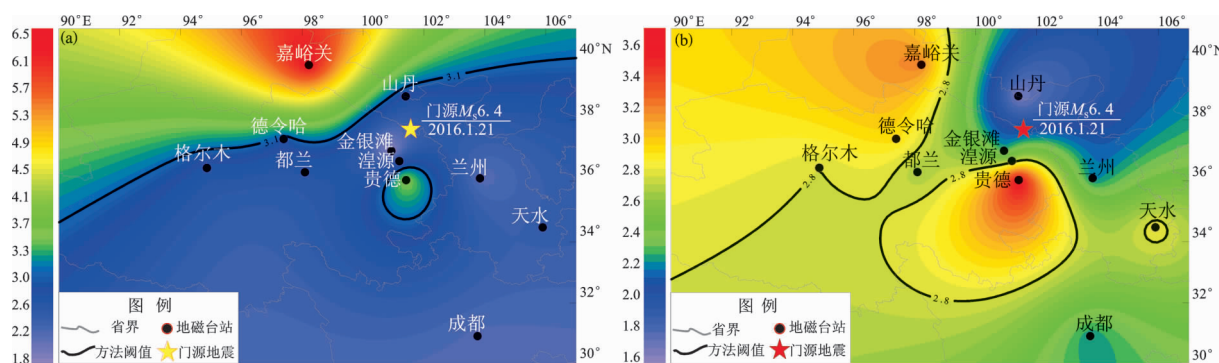


图 5 门源震前地磁垂直分量计算结果平面分布图（2015 年 12 月 23 日）

(a) 加卸载响应比；(b) 逐日比

Fig. 5 The plan distribution map of calculation results of geomagnetic in vertical component before Menyuan  $M_s6.4$  earthquake on Dec. 23, 2015

(a) load – unloading response ratio; (b) daily variation amplitude ratio

### 3 典型震例分析

2013 年 7 月 22 日，甘肃岷县、漳县发生 6.6 级地震（34.5°N，104.2°E），震源深度约 20 km。这次地震发生在南北地震带中段且构造特征较为复杂的甘东南地区，该区位于 2 条区域性大断

裂——东昆仑断裂和西秦岭北缘断裂围限中，受青藏高原向北东挤压作用的影响，甘东南地区新构造运动和地震活动强烈（李伟等，2014），历史上地震频发。

本次门源地震震中与岷县—漳县地震震中距离较近（约 350 km），这 2 次地震前的参数具体见表 1。对比这 2 次地震，发现具有相似的震前地磁

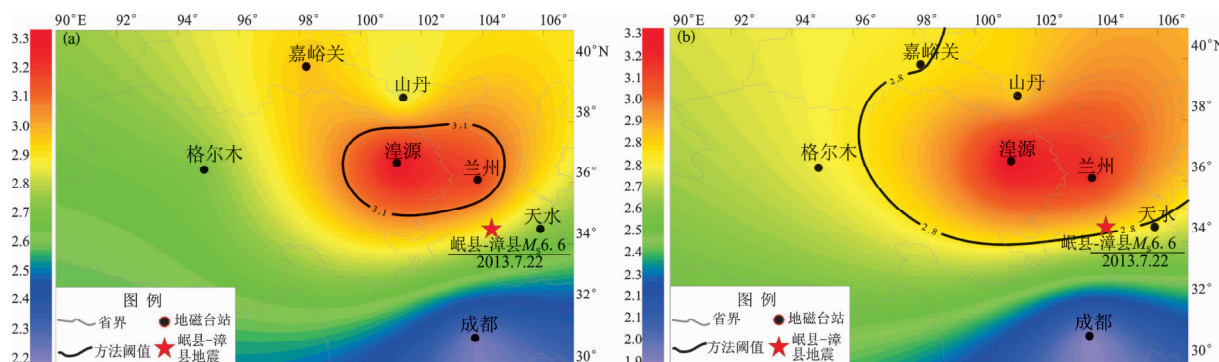


图 6 岷县—漳县震前地磁垂直分量计算结果平面分布图（2013 年 6 月 30 日）

(a) 加卸载响应比；(b) 逐日比

Fig. 6 The plan distribution map of calculation results of geomagnetic in vertical component before Minxian – Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake (Jun. 30, 2013)

(a) load – unloading response ratio; (b) daily variation amplitude ratio

表 1 门源地震前 (2015-12-23) 和岷县—漳县地震前 (2013-06-30) 参数表

Tab. 1 Parameter list before Menyuan  $M_s6.4$  earthquake (Dec. 23, 2015) and Minxian-Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake (Jun. 30, 2013)

台站	测点	测点位置		门源地震前异常值			岷县—漳县地震前异常值		
		$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	加卸载响应比	逐日比	震中距/km	加卸载响应比	逐日比	震中距/km
成都	510016	103.8	30.9	2.3	2.3	770	2.2	1.9	400
兰州	620018	103.8	36.1	2.2	2.2	260	3.2	3.2	170
山丹	620041	101.4	38.8	2.8	1.7	130	2.9	2.9	540
天水	620125	105.9	34.5	2.5	2.9	450	2.8	2.8	60
嘉峪关	620151	98.2	39.8	6.5	3.2	370	3.0	2.8	790
格尔木	630011	94.9	36.4	2.8	2.8	610	2.7	2.7	870
格尔木	63001B	94.9	36.4	2.5	2.5	610	2.7	2.7	870
德令哈	63010a	97.4	37.4	3.0	3.0	360	—	—	—
都兰	630116	98.1	36.3	2.7	2.8	350	—	—	—
湟源	630184	101.2	36.7	2.7	2.7	120	3.4	3.4	350
贵德	630372	101.4	36.0	3.7	3.7	180	—	—	—
金银滩	630413	100.9	37.0	1.8	2.3	90	—	—	—

注: 方框内数字表示阈值超限.

异常形态。岷县—漳县地震发生前 21 d (即从 2013 年 6 月 30 日开始), 研究区内部分地磁台站加卸载响应比和逐日比均出现高值超限的异常 (图 3、4)。对比地磁加卸载响应比高值空间分布 (图 6a) 与震中关系, 异常高值区位于湟源至兰州地区, 异常最大值湟源距震中 350 km, 距震中仅 60 km 的天水台未出现超阈值情况。对比地磁逐日比高值空间分布 (图 6b) 与震中关系, 发现震中同样位于高、低值转换带或过渡带附近。

4 结论与讨论

通过以上分析和统计可以得出, 2016 年 1 月 21 日门源 6.4 级地震前周边地磁场存在异常变化, 主要特征表现为:

(1) 从时空上认为, 震前 29 d 沿断裂带及其附近台站地磁加卸载响应比和逐日比均成组出现超限的高值, 且异常高值的空间分布都相对集中于震中区附近 (最小震中距 90 km, 最大震中距 610 km), 表现出一定的时空同步性。

(2) 门源地震震中位于异常高、低值转换带或过渡带附近 (异常最大值距震中 370 km), 即加卸载响应比和逐日比高值与震中位置有一定关联, 但非线性正相关关系, 表明孕震过程是一个非常复杂的非线性演变过程。

综上所述, 在这次门源 6.4 级地震前, 地磁前兆在短临阶段的确有一定反映, 且时空演化特征明显。本文通过分析门源地震地磁前兆特征, 并对比岷县—漳县地震前特征变化, 认为两者具有一定相似性; 因此, 利用地磁垂直分量日变形态及相关计算方法在短期内具有一定预报效能。通过本文分析处理方法, 期望能为将来该区域内震情判定提供一定的参考依据。

本研究工作得到冯志生研究员、李鸿宇助理研究员的帮助与指导, 特此致谢!

参考文献:

陈学庭, 杨钢宇, 陈修民等. 2000. 地磁加卸载响应比与地震对应关系研究[J]. 地震, 20(2): 53-60.  
冯志生, 林云芳, 王建宇等. 2000. 江苏地磁加卸载响应比的异常指标体系[J]. 地震, 20(2): 61-68.  
冯志生, 王建宇, 蒋延林等. 2001. 地磁垂直分量日变幅逐日比及其与地震关系的探讨[J]. 华南地震, 21(2): 20-26.  
李伟, 龚耀, 赵文舟等. 2014. 地磁加卸载响应比方法在上海及其邻区地震研究中的应用[J]. 地震, 34(1): 125-132.  
李霞, 马玉虎, 马震等. 2016. 地磁 Z 分量日变幅加卸载响应比法在青海地区的应用[J]. 高原地震, 28(1): 14-18.  
马玉虎, 张铁军, 唐艳红. 2001. 兴海 6.6 级地震前电磁异常特性的综合分析[J]. 高原地震, 13(1): 21-25.  
宋治平, 尹祥陈, 陈学忠. 1996. 加卸载响应比的时空演变特征及其对地震三要素的预测意义[J]. 地震学报, 18(2): 179-185.

尹祥础, 尹灿. 1991. 非线性形系统的失稳前兆与地震预测[J]. 中国科学: 地球科学, (5): 512 – 518.

张建国, 乔子云, 曹轶等. 2007. 广平地震台地磁加卸载响应比与地震关系初探[J]. 华北地震科学, 25(1): 57 – 60.

张颖, 查楠, 候万凯. 2010. 数字化地磁加卸载响应比异常特征[J]. 防灾减灾学报, 26(4): 1 – 5.

朱燕, 史勇军, 巴克等. 2002. 新疆地区地磁加卸载响应比方法应用研究[J]. 中国地震, 18(4): 409 – 416.

## Analysis on Geomagnetic Precursory Characteristics before Qinghai Menyuan $M_s6.4$ Earthquake in 2016

LI Xia, LIU Lei, FENG Lili

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

### Abstract

Taking the juncture areas ( $30 \sim 41^\circ\text{N}$ ,  $90 \sim 107^\circ\text{E}$ ) of Qinghai, Gansu and Sichuan as the study area, we analyzed the anomalous changes before Menyuan earthquake from 2013 to 2015 by using the methods of geomagnetic vertical component load – unloading response ratio and daily variation amplitude ratio. The results showed that both load – unloading response ratio and daily variation amplitude ratio of stations appeared high value along the fault zone and its adjacent area in 29 days before the Menyuan  $M_s6.4$  earthquake, and the spatial distribution of abnormal high values are relatively concentrated in the epicenter area. The epicenter is located in the transition zone of abnormal high and low values or the transition zone, showing a certain time and space synchronization. Compared with Minxian – Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake, we found that the variation characteristics of load – unloading response ratio and daily variation amplitude ratio before two earthquakes are similar. So the daily variation of geomagnetic vertical component and the related calculation method have certain prediction efficiency in the short term.

**Key words:** Menyuan  $M_s6.4$  earthquake; diurnal variation of geomagnetic vertical component; load – unloading response ratio; daily variation amplitude ratio