

戴 勇, 高立新, 杨彦明, 等. 甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比、逐日比分析[J]. 华南地震, 2015, 35(3): 1-6. [DAI Yong, GAO Lixin, YANG Yanming, et al. Analysis on Load-unloading Response Ratio and Ratio of Daily Variation Amplitude of Geomagnetic Vertical Component in Gansu and Qinghai Region [J]. South china journal of seismology, 2015, 35(3): 1-6.]

甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比、逐日比分析

戴 勇¹, 高立新¹, 杨彦明¹, 尹战军¹, 郝美仙¹, 梁 莹¹, 陆颖哲²

(1. 内蒙古自治区地震局, 呼和浩特 010010; 2. 满洲里地震台, 内蒙古 满洲里 021400)

摘要: 以甘肃、青海及周边地区(30.5°~41.0°N, 94.0°~108.0°E)作为研究区域, 采用地磁垂直分量加卸载响应比方法, 以及由此演化出的地磁垂直分量逐日比方法, 对位于甘-青地区的都兰、山丹、古丰、固原和中卫五个台站地磁数据进行处理。结果显示: ① 自2008年以来, 甘-青地区累计发生5次显著地震, 其中4次地震前10个月内, 出现过加卸载比成组高值异常, 3次地震之前10个月内出现过逐日比成组高值异常; ② 甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比、逐日比异常判据阈值分别为3.0、2.8。

关键词: 地磁垂直分量; 加卸载响应比; 逐日比; 异常

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2015) 03-0001-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.03.001

Analysis on Load-unloading Response Ratio and Ratio of Daily Variation Amplitude of Geomagnetic Vertical Component in Gansu and Qinghai Region

DAI Yong¹, GAO Lixin¹, YANG Yanming¹, YIN Zhanjun¹, HAO Meixian¹
LIANG Ying¹, LU Yingzhe²

(1. *Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China;*

2. Manchuria seismic station, Manchuria 021400, China)

Abstract: In this paper, Gansu, Qinghai and the surrounding areas (30.5°~41.0°N, 94.0°~108.0°E) was identified as the study area. The paper processes the geomagnetic vertical component data of Dulan, Shandan, Gufeng, Guyuan and Zhongwei stations located in the study area by using the load-unloading response ratio method and ratio of daily variation amplitude method. The results show that five significant earthquakes have occurred in the Gansu-Qinghai region since 2008, of which, there existed high value anomaly of load-

收稿日期: 2014-11-10

基金项目: 2014年度震情跟踪青年课题(2014020401)、中国地震局地震监测、预测、科研三结合课题(150501)、测震台网青年骨干培养专项(20150405)联合资助。

作者简介: 戴 勇(1981-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事地震预测研究工作。

E-mail: daiyong06@mails.ucas.ac.cn.

unloading response ratio in 10 months before the 4 earthquakes occurred, and there existed high value anomaly of ratio of daily variation amplitude in 10 months before the 3 earthquakes occurred; anomaly threshold of load-unloading response ratio and ratio of daily variation amplitude of geomagnetic vertical component in Gansu and Qinghai region are 3.0 and 2.8 respectively.

Keywords: Geomagnetic vertical component; Load-unloading response ratio; Ratio of daily variation amplitude; Abnomaly

0 引言

尹祥础提出加卸载响应比理论^[1],宋治平将其应用于地震预测中,取得了较好的结果,该方法在地形变、地下水位、重力等参量方面的应用中也取得了较好的内验效果^[2-3]。陈学庭、朱燕、李树华、冯志生等^[4-7]采用加卸载响应比方法相继对华东、新疆、云南和河北等地区的地磁资料进行处理,并与区域内显著地震进行对应分析,发现在大部分地震之前加卸载响应比都有超限的高值异常现象存在。冯志生等在加卸载响应比方法基础之上提出了逐日比方法,并将该方法运用于江苏地磁数据处理和异常分析中,取得较好的映震效果^[8]。本文将上述两种方法应用于甘肃、青海及周边地区(简称“甘-青地区”),取得了较好的效果。

1 方法原理及数据处理

1.1 方法原理

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^[7]:

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

式(1)中, A 为地磁垂直分量日变幅,“+”表示加载,“-”表示卸载。由于地磁垂直分量日变幅与太阳活动相关很好,因此在具体计算时选取地磁垂直分量日变幅的极大值为加载响应,极小值为卸载响应。

曾小平等分析了地磁垂直分量日变幅极大值及其后极小值之比值与地震的关系,发现高比值与台站周边地震有良好的对应关系^[9],在应用该方法的过程中,冯志生等发现下面这个简单比值的高值与其台站周边地震也有很好的对应效果^[8]:

$$Y = \frac{A(t_1)}{A(t_2)} \quad (2)$$

式(2)中, $A(t)$ 为地磁垂直分量日变幅, t_1 为观测日期, $t_2=t_1+1$ 。 Y 被命名为地磁垂直分量日变幅逐

日比。

1.2 数据选取及处理

甘-青地区主要位于青藏块体东北部,区域内地质构造复杂,新构造运动强烈,北祁连山地震构造带、南祁连山地震构造带、阿尔金地震构造带、东昆仑地震构造带和玉树地震构造带均位于该区域^[9],近年来甘-青地区一直被划为全国重点危险区。甘肃、青海、陕西和宁夏经过“十五”项目建设之后地磁台网分布较为密集、合理,其中甘肃有四个地磁台站和一个地磁台阵,青海有八个地磁台站。

自2008年以来,甘肃、青海、陕西和宁夏已经累积了较为丰富的地磁数字化观测数据。本文以甘-青地区($30.5^\circ \sim 41.0^\circ \text{N}$, $94.0^\circ \sim 108.0^\circ \text{E}$)作为研究区域(图1),选取研究区内资料连续且质量较好的都兰、山丹、古丰、固原和中卫五个台站地磁垂直分量分钟值数据作为分析对象,首先计算出五个台站2008年1月1日至2014年8月31日地磁垂直分量日变化幅度,在此基础上,采用地磁加卸载响应比和逐日比方法计算获得甘-青地区数字化地磁垂直分量加卸载响应比和逐日比结果。

自2008年以来,甘-青地区相继发生了2008年5月12日汶川8.0级地震、2008年11月10日海西6.3级地震、2009年8月28日海西6.6级地震、2010年4月14日玉树7.3级地震和2013年7月22日岷县漳县6.6级地震等主震,以及一系列余震。

本文主要选取上述5次主震,对甘-青地区都兰等台站地磁加卸载响应比和逐日比结果进行映震分析。加卸载响应比和逐日比异常分析和判定前,阈值的选取是关键,研究发现不同地区的阈值并不完全一样^[4-8],阈值设定不合理可导致虚报或者漏报,本文在确定甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比、逐日比异常阈值时主要是结合该地区震例进行的。

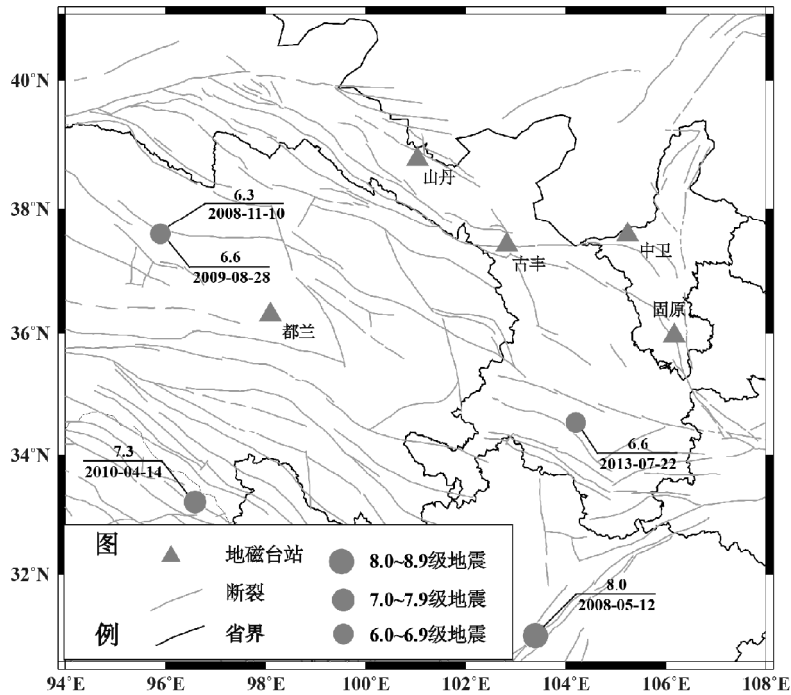


图 1 参与计算甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比、逐日比的台站分布及主要地震分布

Fig.1 Distribution of stations participated in calculation of load-unloading response ratio and ratio of daily variation amplitude of geomagnetic vertical component, and the main earthquakes in Gansu and Qinghai region

2 计算结果及分析

2.1 甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比分析

都兰、山丹、古丰、固原和中卫地磁垂直分量加卸载响应比结果如图 2 所示。

甘-青地区加卸载响应比 $P(Z)$ 值大部分在 1.0~2.0 之间波动。在加卸载方法中, 主要通过设置阈值来判定是否出现超限, 在此基础之上, 若三个或者三个以上台站在 14 d 之内出现了超限高值, 可将上述变化视为准同步异常变化, 列为一组异常。

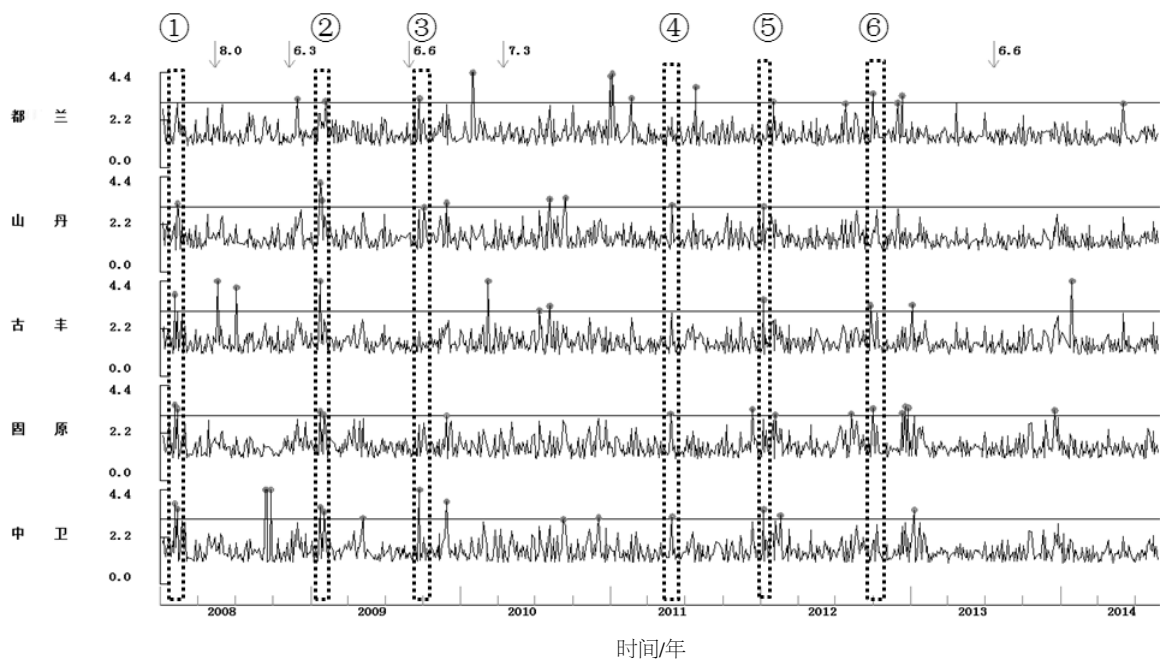


图 2 甘-青地区地磁垂直分量加卸载相应比曲线

Fig.2 Curves of geomagnetic load-unloading response ratio in Gansu and Qinghai region

为辨别多台出现的加卸载响应比和逐日比高值异常是由孕震区地下电导率增加或者改变引起的,还是由磁暴等引起的^[10-13],研究人员从中国国家地磁台网中心网站和国际公布地磁指数网站上查询了2008年1月1日至2014年08月31日 K 、 K_p 和 D_{st} 等地磁指数,对于存在磁暴等强磁扰现象的时段内出现的加卸载响应比和逐日比高值异常,异常信度将降低。

结合典型震例,并经过反复调试与对比,最后选取3.0作为甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比异常判定阈值(表1)。

(1) 2008年2月5日古丰、固原和中卫三个台站 $P(Z)$ 值分别为3.76、3.47、3.73,均超限;2008年2月12日都兰、山丹、古丰、固原和中卫 $P(Z)$ 值分别为2.94、3.14、2.94、3.30、3.48,均为高值,其中山丹、固原和中卫 $P(Z)$ 值超限。2008年2月5日不存在强磁扰现象,但2月12日

存在强磁扰现象,这一天大范围加些载响应比高值异常信度较低,在震例分析时可不予考虑。在2008年2月5日加卸载响应比高值异常出现3个月之后发生汶川8.0级地震。

(2) 2008年11月10日海西6.3级地震前,古丰、中卫两个台站在不同时间出现超限异常,但其他台站未出现,信度很低,故不予考虑,该地震属于漏报。

(3) 2009年1月24日都兰、山丹、古丰、固原和中卫 $P(Z)$ 值分别为2.51、4.11、4.60、3.16、3.57,都为高值,其中山丹、古丰、固原和中卫 $P(Z)$ 超限。2009年2月2日固原、中卫 $P(Z)$ 值分别为3.00、3.34,2009年2月6日都兰 $P(Z)$ 值为3.06,超限。将2009年1月24日、2月2日及2月6日出现的高值异常列为一组异常,异常期间未出现强磁扰现象,该组异常出现7个月之后发生海西6.6级地震。

表1 甘-青地区加卸载相应比异常结果一览表

Table 1 Abnormal results list of geomagnetic load-unloading response ratio in Gansu and Qinghai region

异常组数	异常时段/ 年-月-日	参与计算台站加卸载响应比值					映震情况
		都兰	山丹	古丰	固原	中卫	
1	2008-02-05	-	-	3.76	3.47	3.73	异常出现3个月之后发生汶川8.0级地震
	2008-02-12	2.94	3.14	2.94	3.30	3.48	
2	-	-	-	-	-	-	海西6.3级地震之前无显著异常
3	2009-01-24	2.51	4.11	4.60	3.16	3.57	异常出现7个月之后发生海西6.6级地震
	2009-02-02	-	-	-	3.00	3.34	
	2009-02-06	3.06	-	-	-	-	
4	2009-09-23	3.19	2.86	-	2.55	4.40	异常出现7个月之后发生玉树7.3级地震
5	2011-05-27	3.06	-	-	-	2.44	异常之后10个月内甘-青地区未发生地震
	2011-05-31	3.09	2.96	-	2.48	3.12	
6	2012-01-09	-	3.01	3.52	2.81	3.45	异常之后10个月内甘-青地区未发生地震
7	2012-09-25	-	-	3.26	-	-	异常出现9个月之后甘-青地区发生岷县漳县6.6级地震
	2012-10-01	3.42	-	-	3.31	-	
	2012-10-11	-	2.85	2.97	2.51	2.77	

注:参与计算台站加卸载响应比值,超限值加粗表示

(4) 2009年9月23日都兰、山丹、固原和中卫 $P(Z)$ 值分别为3.19、2.86、2.55、4.40,都为高值,其中都兰、中卫 $P(Z)$ 值超限,异常期间未出现强磁扰现象。该异常出现7个月之后发生玉树7.3级地震。

(5) 2011年5月27日,固原和中卫 $P(Z)$ 值分别为3.06、2.44,都为高值。2011年5月31日山丹、古丰、固原和中卫 $P(Z)$ 值分别为3.09、2.96、2.48、3.12,都为高值,其中山丹和中卫 $P(Z)$ 值超限,异常期间未出现强磁扰现象。该组异常出现之后,10个月内甘-青地区未发生地震。

(6) 2012年1月9日,山丹、古丰、固原和中卫 $P(Z)$ 值分别为3.01、3.52、2.81、3.45,都为高值,其中山丹、古丰和中卫 $P(Z)$ 值超限,异常期间未出现强磁扰现象。该异常出现之后,10个月内甘-青地区未发生地震。

(7) 2012年9月25日,古丰台 $P(Z)$ 值为3.26,超限;10月1日都兰和固原两个台站 $P(Z)$ 值分别为3.42、3.31,超限;10月11日山丹、古丰、固原和中卫四个台站 $P(Z)$ 值分别为2.85、2.97、2.51、2.77,虽未超限,但都属于高值。将这一期间高值异常作为一组异常,由于10月1日存

在强磁扰现象,该组异常信度有所降低。异常出现9个月之后甘-青地区发生岷县漳县6.6级地震。

2.2 甘-青地区地磁垂直分量逐日比分析

都兰、山丹、古丰、固原和中卫地磁垂直分量逐日比结果如图3所示。在逐日比方法中,主要通过设置阈值来判定是否出现超限,在此基础之上,若三个或者三个以上台站在14 d之内出现了超限高值,可将上述变化视准同步异常变化,列为一组异常。甘-青地区逐日比 Y 值大部分在0.0~2.0之间波动,本文结合典型震例,并尝试选取不同的阈值进行计算分析,最后选取2.8作为甘-青地区地磁垂直分量逐日比异常判定阈值(表2)。

(1) 2008年2月5日古丰、固原和中卫 Y 值分别为3.76、3.47和3.73,均超限;2008年2月12日都兰、山丹、古丰、固原和中卫 Y 值分别为2.94、2.80、2.94、2.70和0.62,5个台中有三个台 Y 值出现超限异常,在此说明的是,固原 Y 值虽未出现超限异常,但也属于高值,中卫在2月11日出现 Y 值为2.81的超限异常。2008年2月5日不存在强磁扰现象,但2月11日、12日存在强磁扰现象,这两天存在的大范围逐日比高值异常

信度较低,在震例分析时可不予考虑。2月5日地磁逐日比高值异常出现3个月之后发生汶川8.0级地震。

(2) 2008年11月10日海西6.3级地震前,古丰、中卫两个台站在不同时间出现 Y 值超限异常,但其他台站 Y 值未出现,信度很低,故不予考虑,该地震属于漏报。

(3) 2009年1月24日都兰、山丹、古丰、固原和中卫 Y 值分别为2.51、4.11、4.60、3.16、3.57,上述台站 Y 值都属于高值,且山丹等4个台站 Y 值出现超限异常,异常期间未出现强磁扰现象。该组异常出现7个月之后发生海西6.6级地震。

(4) 在玉树7.3级地震之前,都兰、山丹、古丰和中卫 Y 值都出现过高值,但三个或者三个以上台站 Y 值在10 d之内未出现准同步的异常现象,因此玉树7.3级地震属于漏报。

(5) 2010年7月12日,都兰、山丹、古丰、固原和中卫 Y 值分别为2.86、3.12、3.10、1.93、2.33,其中,都兰、山丹、古丰 Y 值出现超限异常,异常期间未出现强磁扰现象。该组异常出现之后,10个月内甘-青地区未发生地震。

(6) 2012年12月11日,都兰、山丹、古丰、

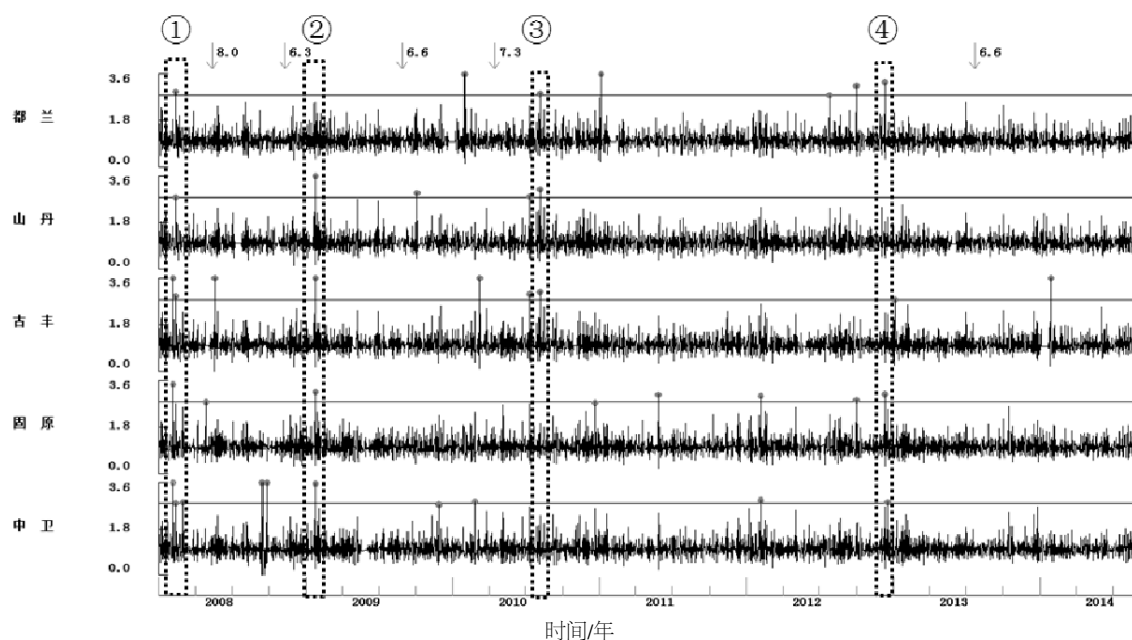


图3 甘-青地区地磁垂直分量逐日比曲线

Fig.3 Curves of ratio of daily variation amplitude of geomagnetic vertical component in Gansu and Qinghai region

固原和中卫 Y 值分别为3.31、1.86、2.26、3.08、2.67,其中,都兰、固原 Y 值出现超限异常;2012年12月18日,中卫 Y 值为2.84,超限异常,将这两天异常列为一组异常,异常期间未出现强磁扰现象。在该异常出现7个月之后甘-青地区发生

岷县漳县6.6级地震。

3 结语

(1) 对于甘-青地区来说,若三个或三个以上

表 2 甘-青地区地磁垂直分量逐日比异常结果列表

Table 2 Abnormal results list of ratio of daily variation amplitude of geomagnetic vertical component in Gansu and Qinghai region

异常组数	异常时段/ 年-月-日	参与计算台站逐日比值					映震情况
		都兰	山丹	古丰	固原	中卫	
1	2008-02-05	-	-	3.76	3.47	3.73	异常出现 3 个月之后发生汶川 8.0 级地震
	2008-02-11	-	-	-	-	2.81	
	2008-02-12	2.94	2.80	2.94	2.70	-	
2	-	-	-	-	-	-	海西 6.3 级地震之前无显著异常
3	2009-01-24	2.51	4.11	4.60	3.16	3.57	异常出现 7 个月之后发生海西 6.6 级地震
4	-	-	-	-	-	-	玉树 7.3 级地震之前无显著异常
5	2010-07-12	2.86	3.12	3.10	-	-	异常之后 10 个月内甘-青地区未发生地震
6	2012-12-11	3.31	-	-	3.08	2.67	异常之后 7 个月后甘-青地区发生岷县漳县 6.6 地震
	2012-12-18	-	-	-	-	2.84	

注：参与计算台站加卸载响应比值，超限值加粗表示

地磁台站垂直分量加卸载响应比。在几天之内出现高值异常，则这一异常信度较高，因此可将在 14 d 之内出现的异常作为一组异常。甘-青地区地磁垂直分量逐日比同样遵循这一规律。自 2008 年以来，甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比出现过 6 组高值异常，其中有 4 组异常出现之后 10 个月内发生过显著地震，甘-青地区地磁垂直分量逐日比出现过 4 组高值异常，其中 3 组高值异常出现之后 10 个月内发生过显著地震。

(2) 对于甘-青地区来说，采用地磁垂直分量加卸载响应比、逐日比结果进行异常分析和震情跟踪，阈值的选取是格外重要的，本文结合震例分析，将甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比、逐日比阈值确定为 3.0、2.8。

(3) 在 2008 年汶川 8.0、2009 年海西 6.6 和 2013 年岷县漳县 6.6 级地震前，甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比和逐日比均存在成组高值异常现象；在 2008 年海西 6.3 级地震前，甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比和逐日比均没有出现成组高值异常；在 2010 年玉树 7.3 级地震之前，仅甘-青地区地磁垂直分量加卸载响应比存在成组高值异常，这是值得我们思考的。

(4) 地磁垂直分量加卸载响应比和逐日比两种方法虽有异曲同工之妙，但对于甘-青地区来说，加卸载响应比结果比逐日比结果虚报率高，但逐日比结果比加卸载响应比结果漏报率高，由此可见两种方法各有千秋。

致谢：冯志生研究员为本研究提供了计算程序，并在研究过程中，冯志生研究员、李鸿宇助理研究员给予了宝贵指导，在此一并表示感谢！

参考文献：

- [1] 尹祥础, 尹灿. 非线性系统的失稳前兆与地震预测[J]. 中国科学(B 辑), 1991 (5): 512-518.
- [2] 宋治平, 尹祥础, 陈学中. 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, 1996, 18 (2): 179-186.
- [3] 曾小苹, 续春荣, 赵明, 等. 地球磁场对太阳风的加卸载响应与地震[J]. 地震地磁观测与研究, 1996, 17 (1): 49-53.
- [4] 陈学庭, 杨钢宇, 陈修民, 等. 地磁加卸载响应比与地震对应关系研究[J]. 地震, 2000, 20 (2): 53-60.
- [5] 朱燕, 史勇军, 巴克, 等. 新疆地区地磁加卸载响应比方法应用研究[J]. 中国地震, 2002, 18 (4): 409-416.
- [6] 李树华, 陈燕. 云南地区地磁加卸载响应比短临异常特征[J]. 地震研究, 2003, 26 (增刊): 133-139.
- [7] 冯志生, 林云芳, 王建宇, 等. 江苏地磁加卸载响应比的异常标志体系[J]. 地震, 2000, 20 (2): 61-68.
- [8] 冯志生, 王建宇, 蒋延林, 等. 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, 2001, 21 (2): 20-27.
- [9] M7 专项工作组. 中国大陆地震中-长期危险性研究[M]. 北京: 地震出版社, 2012.
- [10] 丁鉴海, 卢振业, 黄雪香, 等. 地震地磁学[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
- [11] 中国地震局监测预报司. 地震电磁学理论基础与观测技术(试用本)[M]. 北京: 地震出版社, 2010.
- [12] 李伟, 龚耀. 上海地磁加卸载响应比资料分析与地震研究[J]. 华南地震, 2013, 33 (4): 31-38.
- [13] 张清秀, 倪小寅, 袁丽文, 等. 台湾地区强震前加卸载响应比特征[J]. 华南地震, 2014, 34 (3): 18-23.