

王静波, 韩 英, 杨宏静. 地磁加卸载响应比在甘肃及周边地区的应用[J]. 华南地震, 2017, 37(S1): 99–104. [WANG jingbo, HAN ying, YANG hongjing. The Realization of Sand Strain Data Processing System[J]. South China journal of seismology, 2017, 37(S1): 99–104.]

地磁加卸载响应比在甘肃及周边地区的应用

王静波, 韩 英, 杨宏静
(中国地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要: 应用地磁加卸载响应比方法对甘肃及周边地区 2008—2014 年地磁垂直分量 Z 的资料进行处理, 结合实际震例分析, 初步给出了适用于甘肃地区的地震分析预报异常形态特征的磁异常判别指标。

关键词: 甘肃地区; 加卸载响应比; 异常指标; 地震预报

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2017) S1-0099-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.S1.016

The Application of Geomagnetic Load-unloading Response Ratio in Gansu Province and Its Surrounding Areas

WANG jingbo, HAN ying, YANG hongjing
(Lanzhou Institute of Seismology CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: By Using the geomagnetic load-unload response ratio method, the paper processes the data of geomagnetic vertical-component Z on Gansu and its surrounding seismic station from 2008 to 2015. The paper analyzes the applicability of the method combining with earthquake cases, and gives the anomaly index for earthquake prediction in Gansu area.

Keywords: Gansu area; Load-unloading response ratio; Anomaly index; Earthquake prediction

0 引言

尹祥础^[1]提出的加卸载响应比理论, 最初来自于测震学, 后来宋治平等将其应用于重力、水位、形变等参量的地震预报中^[2], 近年来, 曾小平等把其应用在地磁场方面, 都取得了非常不错的结果^[3]。目前, 这一方法被广泛使用在地震预报中, 本文拟利用地磁加卸载响应比的方法分析甘肃省及

周边地区 2008—2013 年地磁垂直分量 Z 的资料, 初步给出甘肃省及周边地区磁异常的定量指标, 为预报该地区地震提供尽可能多的理论依据。

甘肃省兰州、嘉峪关、天水及四川省成都、宁夏银川、陕西乾陵都处于青藏高原北部, 地质构造特征复杂, 是地震活动比较活跃的地区, 历史上曾经在该地区发生多次中强地震。而地磁场是最基本的地球物理场之一, 它能深刻反应地

收稿日期: 2017-07-30

作者简介: 王静波(1970—), 女, 高级工程师, 现主要从事地震台站监测工作。

E-mail: jbow@163.com.

下物质信息的变化,地磁场的资料用于研究地震、预报地震的能力也是经过前人不断验证过,并取得了较好的结果。我们知道,曾小平^[3]、冯志生^[4]等把加卸载响应比运用于地磁资料分析中,在地震预报中都不同程度取得了显著效果。本文将该方法应用于甘肃省及周边地区地磁台网,对该地磁台网 2008—2013 年的地磁垂直分量 Z 的观测资料进行处理分析,发现地磁加卸载响应比的高值异常与甘肃省及其邻区 $M_s \geq 4.5$ 地震有较好的对应关系。

1 地磁台概况

甘肃省兰州地磁台、嘉峪关地磁台、天水地磁台及四川省成都地磁台、宁夏银川地磁台、陕西乾陵地磁台都属于国家基本地磁台,它们都处于青藏高原北部,地质构造特征复杂,是地震活动比较活跃的地区,历史上曾经在该地区发生过多次中强地震,故而有必要去研究该区域的地磁加卸载响应比与地震的关系。台站位置见图 1。

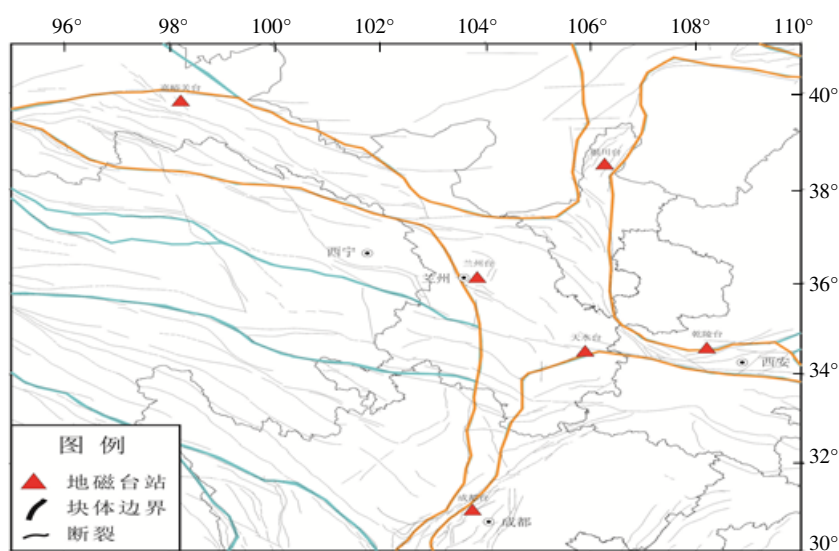


图 1 参与计算的地磁台站地理位置分布图

Fig.1 Distribution map of geomagnetic stations participating in calculation

2 地磁加卸载响应比的原理与方法

变化磁场包括非常复杂的多种类型,其中最主要的两种变化磁场是太阳静日变化 S_q 和磁暴场 D 。磁暴场 D 又可区分为暴时变化 D_{st} 、暴时扰日变化 D_s 和极区亚暴 D_p , 其中 D_p 在中低纬度又称为湾扰(B), 它们的关系是: $D=D_{st}+D_s+D_p(B)$ 。

根据多年地震专家以磁报震的研究经验表明,目前地磁垂直分量 Z 的变化与地下介质变化关系最为密切,以磁报震的效果也最为明显,加上地磁加卸载响应比的理论观点,我们取 Z 分量作为计算 $D_s(Z)$ 的加卸载比值 $P(Z)$ 参量,得到

$$P(Z)=D_s(Z)/D_s(Z)_- \quad (1)$$

式(1)中 $D_s(Z)$ 为 Z 分量地磁扰动场的日变幅,"+" 为加载,"-" 为卸载^[4]。

由于地磁垂直分量 Z 的日变化幅度最能反映测点地下介质的变化情况,它也与太阳活动关系最为密切,因此,在实际应用中,具体计算时,

可以选取地磁垂直分量 Z 的日变化幅度的极大值为加载响应,记为 A_+ ,极小值为卸载响应,记为 A_- ,则加卸载响应比值的计算公式可以简化为:

$$P(Z)=A_+/A_- \quad (2)$$

根据加卸载响应比原理和本文所选各测点地磁垂直分量 Z 的日变幅度值的 $P(Z)$ 值时序曲线,由其附近的震例找出震前 $P(Z)$ 异常的最低值-阈值 $P_0(Z)$ 。当 $P(Z) < P_0(Z)$ 时,属正常比值;当 $P(Z) \geq P_0(Z)$ 时,则比值出现异常,有可能与地震有关。

3 资料收集与震例分析

3.1 收集的资料

我们选取了甘肃省兰州地磁台、嘉峪关地磁台、天水地磁台、山丹地磁台及四川省成都地磁台、宁夏银川地磁台、陕西乾陵地磁台在 2008 年 1 月 1 日至 2013 年 12 月 31 日,6 年的地磁垂直

分量 Z 的日变幅值作为研究对象，所用资料时段如果有运行异常、环境等干扰，都经核实处理，也对缺数造成的日变幅数据进行了处理，资料可信度高，符合我们对地磁场变化特征的研究和地震信息分析的要求。

3.2 震例的分析

根据甘肃省及其周边地区的地理位置以及该区域历史上出现的地震情况，我们选取了 2008 年至 2013 年六年期间在该区域周边 500 km 左右发生的 $M_s \geq 4.5$ 级地震作为研究对象去研究甘肃省及周边区域地磁加卸载响应比与地震的关系，其中所使用的地震目录和参数，如表 1 所示。

应用甘肃省兰州地磁台、嘉峪关地磁台、天水地磁台及四川省成都地磁台、宁夏银川地磁台、陕西乾陵地磁台每日 Z 分量日变幅度值，计算了各台从 2008 年 1 月 1 日至 2013 年 12 月 31 日的加卸载响应比 $P(Z)$ 值，从加卸载响应比理论可知，在异常判别时， $P(Z)$ 阈值选取是关键，作者对本文所选不同测点 $P(Z)$ 值反复分析，认为选取阈值指标 $P_0(Z) = 3.0$ 对各测点都是比较合理的，用该指标能较好对应甘肃省及周边地区发生的 $M_s \geq 4.5$ 地

表 1 甘肃及周边 2008 年至 2013 年 $M_s \geq 4.5$ 地震统计
Table 1 Statistics of earthquakes with $M_s \geq 4.5$ in Gansu province and its surrounding areas from 2008 to 2013

序号	地震时间	地点	经度/ $^{\circ}$	纬度/ $^{\circ}$	震级/ M_s
1	2008-03-30	甘肃肃南	101.9	27.9	5.2
2	2008-05-12	四川汶川	103.4	31.0	8.0
3	2008-06-21	甘肃文县	105.3	32.4	5.0
4	2008-12-09	甘肃文县	105.5	32.5	5.1
5	2009-01-14	四川汶川	103.2	31.3	4.7
6	2009-03-03	四川德阳	104.8	31.9	4.7
7	2009-10-19	四川绵阳	104.5	32.0	4.6
8	2009-11-27	四川德阳	103.8	31.2	5.0
9	2010-04-14	青海玉树	96.6	33.2	7.3
10	2011-04-10	四川甘孜	100.8	33.3	5.4
11	2011-10-31	四川茂县	105.3	31.3	5.2
12	2011-12-25	四川德阳	103.8	31.4	4.7
13	2012-05-11	甘肃肃南	102.0	37.8	4.9
14	2012-11-20	宁夏永宁	106.3	38.4	4.6
15	2013-04-20	四川芦山	103.0	30.3	7.0
16	2013-07-22	甘肃岷县	104.2	34.5	6.7
17	2013-08-08	四川理县	103.5	31.2	4.7

震，据此绘出所选测点的加卸载响应比变化曲线如图 2 所示，图中红色标记点为 $P(Z) \geq P_0(Z)$ 的数值。

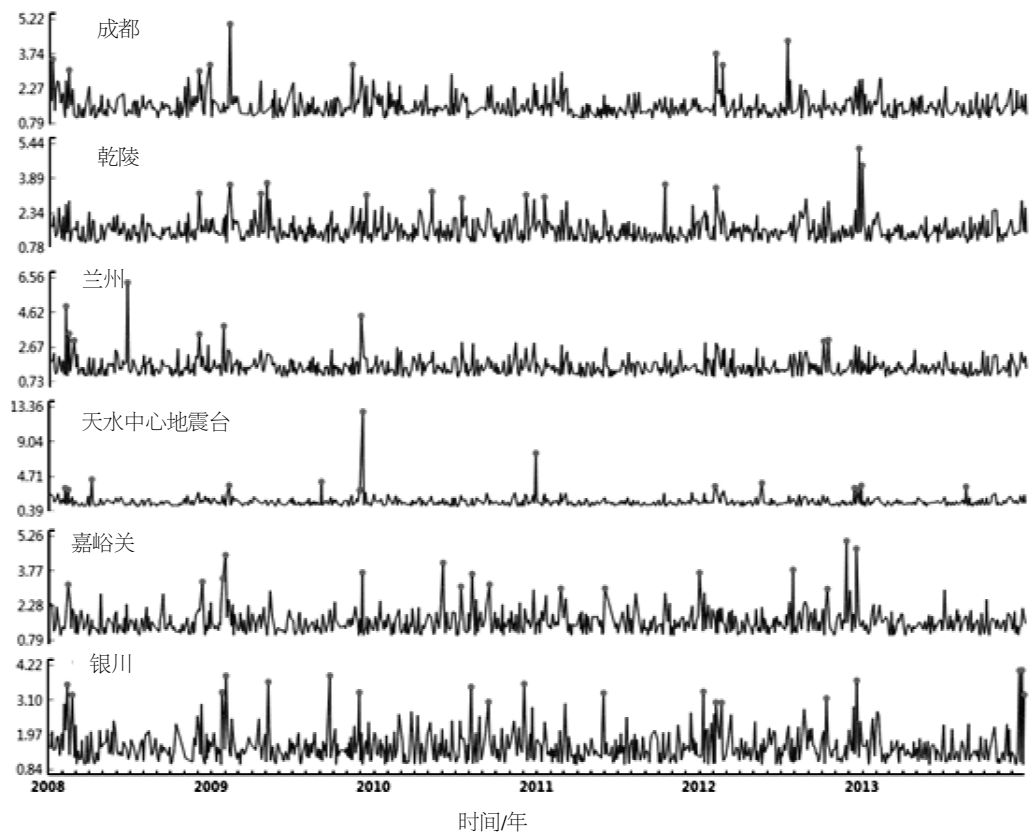


图 2 甘肃及周边地区地磁加卸载响应比曲线($P_0(Z)=3.0$)

Fig.2 Curves of geomagnetic load-unloading response ratio in Gansu province and its surrounding areas($P_0(Z)=3.0$)

对图 2 的各测点加卸载响应比曲线和表 1 的地震统计参数对应分析, 绘出如表 2 甘肃及周边地区地磁加卸载响应比异常与 $M_s>4.5$ 级地震对应关系统计表。

表 2 甘肃及周边地区 Z 分量地磁加卸载响应比异常与 $M_s>4.5$ 级地震对应关系统计表

Table 2 Statistics table of correspondence between geomagnetic response ratio anomalies of Z component and earthquakes with $M_s>4.5$ in Gansu province and its surrounding areas

序号	地震事件	异常信息				虚报或漏报
		测点名	异常开始时间	异常 $P(Z)$ 值	异常提前天数	
1	2008-03-30 甘肃肃南 M_s 5.2	成都	2008-01-06	3.53	72	
		兰州	2008-02-05	4.97	54	
		天水	2008-02-05	3.29	54	
2	2008-05-12 四川汶川 M_s 8.0	成都	2008-02-12	3.06	90	
		兰州	2008-02-12	3.44		
		天水	2008-02-12	3.09		
		嘉峪关	2008-02-12	3.19		
		银川	2008-02-12	3.60		
3	2008-06-21 甘肃文县 M_s 5.0	银川	2008-02-23	3.27	120	
		天水	2008-04-05	4.37	76	
		兰州	2008-06-22	6.29	虚报	
4	2008-12-09 甘肃文县 M_s 5.1	兰州	2008-11-30	3.41	9	
		成都	2008-11-30	3.02		
		乾陵	2008-11-30	3.23		
5	2009-01-14 四川汶川 M_s 4.7	嘉峪关	2008-12-09	3.31	36	
		成都	2008-12-24	3.29	20	
6	2009-03-03 四川德阳 M_s 4.7	兰州	2009-01-24	3.86	38	
		嘉峪关	2009-01-24	3.45	38	
		银川	2009-01-24	3.36	38	
		天水	2009-02-02	3.89	29	
			2009-02-07	3.61	25	
		乾陵	2009-02-07	3.62	25	
		成都	2009-02-07	5.01	25	
7	2009-10-19 四川绵阳 M_s 4.6	银川	2009-05-08	3.69		漏报
		嘉峪关	2009-01-30	4.46		虚报
		乾陵	2009-04-17	3.22		虚报
8	2009-11-27 四川德阳 M_s 5.0	成都	2009-11-09	3.29	18	
		银川	2009-09-23	3.89	64	
		天水	2009-09-02	4.07	85	
		乾陵	2009-05-01	3.69	206	
9	2010-04-10 四川甘孜 M_s 5.4	兰州	2009-11-28	4.44	131	
		银川	2009-11-28	3.35	131	
10	2010-04-14 青海玉树 M_s 7.3	天水	2009-11-27	3.02	137	
			2009-12-04	12.8	130	
		嘉峪关	2009-12-03	3.71	131	
		银川	2010-08-06	3.53		
			2010-09-14	3.74		
			2010-12-03	3.63		
		嘉峪关	2010-06-02	4.13		
			2010-08-06	3.65		
			2010-07-12	3.11		
			2010-09-14	3.20		
		天水	2010-12-27	7.63		

(转下表)

(接表 2)

序号	地震事件	异常信息			虚报或漏报
		测点名	异常开始时间	异常 $P(Z)$ 值	
10	2010-04-14 青海玉树 M_s 7.3	乾陵	2010-05-06	3.30	虚报
			2010-07-12	3.02	虚报
			2010-12-03	3.16	虚报
		嘉峪关	2011-02-21	3.03	虚报
			2011-12-29	3.70	虚报
11	2011-10-31 四川茂县 M_s 5.2	银川	2011-05-30	3.33	151
		嘉峪关	2011-05-31	3.03	150
12	2011-12-25 四川德阳 M_s 4.7	乾陵	2011-10-11	3.63	74
		银川	2012-01-09	3.38	虚报
			2012-02-06	3.03	虚报
			2012-02-19	3.02	虚报
		成都	2012-02-17	3.28	虚报
13	2012-05-11 甘肃肃南 M_s 4.9	成都	2012-02-02	3.76	97
		天水	2012-02-02	3.52	97
		乾陵	2012-02-02	3.48	97
		银川	2012-02-06	3.03	93
		天水	2012-05-17	3.91	虚报
14	2012-11-20 宁夏永宁 M_s 4.6	成都	2012-07-12	4.30	128
		银川	2012-10-11	3.16	40
		嘉峪关	2012-07-26	3.83	115
		兰州	2012-10-01	3.02	50
			2012-10-11	3.09	40
15	2013-04-20 四川芦山 M_s 7.0	天水	2012-12-11	3.29	126
			2012-12-19	3.13	118
			2012-12-26	3.61	111
		乾陵	2012-12-26	3.61	111
			2012-12-19	5.23	118
		嘉峪关	2012-12-26	4.47	111
			2012-11-23	5.06	147
			2012-12-15	4.73	122
16	2013-07-22 甘肃岷县 M_s 6.6				漏报
17	2013-08-08 四川理县 M_s 4.7				漏报
		天水	2013-08-08	3.45	虚报
		银川	2012-12-18	3.74	虚报
			2013-12-18	4.06	虚报
			2013-12-24	4.07	虚报
			2013-12-29	3.27	虚报
		乾陵	2013-12-29	3.27	虚报
			2013-12-19	5.23	虚报
			2013-12-26	4.47	虚报

从图 2 及表 1 可以看出，在所选时段内和地区内，加卸载响应比值 $P(Z)$ 对应地震还是比较明显的。本文选取 17 个地震，有 14 个地震 $P(Z)$ 值都能有效地对应地震，对应地震概率达 82.4%，漏报了 3 个地震，漏报率仅 17.6%。研究几个台站的 $P(Z)$ 值的虚报率，其中银川台、嘉峪关台、乾陵台 $P(Z)$ 值虚报率较高，分别为 58%、44%、47%，这几个台虚报率高的原因，一是因为 2013 年年底的 $P(Z)$ 值超过了 $P_0(Z)$ ，有可能对应地震在 2014

年里，但本文只研究到 2013 年底，从而把该段时间内的 $P(Z)$ 高值假设为虚报值，再有就是选取的地震震中均离这几个台比较远，震中距越大， $P(Z)$ 值的虚报率也就越高，说明地磁台加卸载响应比值异常值与地震的震中距有很大的相关性，且其最后一次异常的高值区一般与震中较近。

从图 2 及表 1 也可以看出，选取各台站的地磁加卸载响应比值 $P(Z)$ 的异常值和地震不一定是一一对应的关系，也会有地震前一个或两个台站

的地磁加卸载响应异常值会出现两次或以上,而另一个或两个台站的 $P(Z)$ 没有异常值出现,例如 2013 年 04 月 20 日四川芦山 M_s 7.0 地震前乾陵台 $P(Z)$ 有两次异常,天水 and 嘉峪关有三次异常,而成都、兰州、银川的 $P(Z)$ 值没异常值出现,这要根据震中和地磁台的地下地质结构综合分析,笔者水平有限,有机会学习研究后再做论述。

另外,从表 1 和图 2 也能看出 $P(Z)$ 异常时间与发震时间也有一定的关系,除个别地震外,加卸载响应比 $P(Z)$ 最大异常时间一般不会超过 5 个月,即 150 天,最短时间为 2008 年 12 月 09 日甘肃文县 M_s 5.1 地震前 9 天兰州、成都、乾陵出现了 $P(Z)$ 异常值。说明如果 $P(Z)$ 值异常出现后,需要和多台对比分析,找出异常原因,非磁扰或磁爆等时,要密切关注是否与地震有关^[9]。

4 结语

由上面论述可看出,地磁加卸载响应比值 $P(Z)$ 对地震的漏报率为 17.6%,可知,大部分地震前甘肃省及周边地区地磁台的地磁加卸载响应比值 $P(Z)$ 有异常波动,说明地震前各台站及周围地区的磁场发生了变化,反映出震前地磁异常现象是客观存在的,研究 $P(Z)$ 值的异常变化对预报地震也是非常有必要的。

设定甘肃省及周边地区地磁加卸载响应比值的 $P_0(Z)=3.0$,用该指标能较好对应甘肃省及周边地区发生的 $M_s \geq 4.5$ 级地震。

分析表明,若二个或二个以上地磁台站的 $P(Z)$ 值在一到两天内同时出现超 $P_0(Z)=3.0$ 的异常值,这种同步变化要引起注意,需对周边台站 $P(Z)$ 值进行密切关注。

总之,上述震例探讨及分析结果表明,地磁加卸载响应比可作为地震预测中的中短期预报方法,对甘肃省及周边地区今后以磁报震具有一定的参考价值。因本人从事地磁工作时间不长,水平有限,本文只是对甘肃省及周边地区地磁台资料进行非常初步性的探讨,如有不妥敬请指正。

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] 曾小平. 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] 冯志生. 江苏省地磁加卸载响应比的异常标志体系[J]. 地震,2000,20(2):61-68.
- [5] 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.