

广平地震台地磁加卸载响应比与地震关系初探

张建国^{1,2}, 乔子云^{3,2}, 曹 轶⁴, 吕 坚⁵

- (1. 河北省地震局邯郸中心台, 河北 邯郸 056001;
2. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026;
3. 河北省地震局, 河北 石家庄 050021;
4. 福建省地震局, 福建 福州 350001;
5. 江西省地震局, 江西 南昌 330039)

摘要: 应用曾小苹等人提出的地磁加卸载响应比方法, 研究分析了广平地震台 1982~2006 年地磁资料加卸载响应比与河北省及邻近地区 $M_s \geq 5.0$ 地震之间的关系, 初步提出了适用于广平地震台地磁加卸载响应比异常映震的定量指标, 为广平地震台今后以磁报震提供了依据。

关键词: 地磁; 日变幅; 加卸载响应比; 阈值; 地震预报
中图分类号: P315.72 文献标识码: A

0 引言

尹祥和尹灿^[1]提出了加卸载响应比理论, 宋治平等^[2]将其理论用在地震活动性预测地震中, 取得了较好结果, 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。曾小苹等^[3]提出将磁暴过程作为地磁场对太阳风的加卸载响应, 分析研究了磁暴场的暴时扰日变化 $D_s(Z)$ 的响应比值 $P(Z)$ 的变化, 发现 $P(Z)$ 的高值与北京台 550km 范围内 $M \geq 5.5$ 的中强主震有较好的对应。近些年, 冯志生等^[4]研究了 $P(Z)$ 异常与江苏及周边地区的 $M_s \geq 4.6$ 地震对应关系。朱燕等^[5]也在新疆地区开展了地磁加卸载响应比方法的研究。

本文将该方法应用于广平地震台, 对广平地震台 1982~2006 年(其中 27 个月无资料)的观测资料进行研究, 发现地磁加卸载响应比的高值异常与河北及其邻区 $M_s \geq 5.0$ 地震有较好的对应关系, 并初步给出了映震指标。

1 台站背景

1.1 台站概况

广平地震台是中科院地球物理研究所于 1970

年选址建台, 1972 年正式投入工作。广平地震台地处华北地区中部($115^{\circ}00'E$, $36^{\circ}28'N$), 海拔 47m, 台基为黄土沉淀, 是河北省南部建台最早一个地磁台, 现有绝对观测仪器为 CZM-2 型质子核旋仪, 相对观测仪器为 CR2-69 型刃口式垂直磁力仪。广平地震台自建台以来, 已积累了 30 多年丰富的地磁资料, 而且在河北省地震局观测资料评比验收中已取得连续 8 年(其中 7 年第一, 1 年第二)前两名, 观测资料的内在质量有保证、可信度高, 各级分析预报部门尤为重视, 它对监测整个华北地区的地震活动起着较为重要的作用。

1.2 地质构造

广平地震台地处冀南平原旧漳河古道沉积黄土覆盖层上, 是黄河、漳河携带沉积而成的扇形冲积平原的中下部, 广平县地势自西南向东北带状逐渐倾斜。台站位置第四系覆盖厚度 400m, 表面为盐碱土层, 地质构造上位于太行山断块、冀鲁断块、皖豫断块的交汇部位, 地质结构相当复杂, 是华北平原地震带中仅次于京津唐地区的一个地震多发区, 见图 1。

2 原理与方法

太阳以紫外辐射和粒子流辐射两种形式影响地球磁场, 形成变化磁场, 其中最主要的两种地磁场变

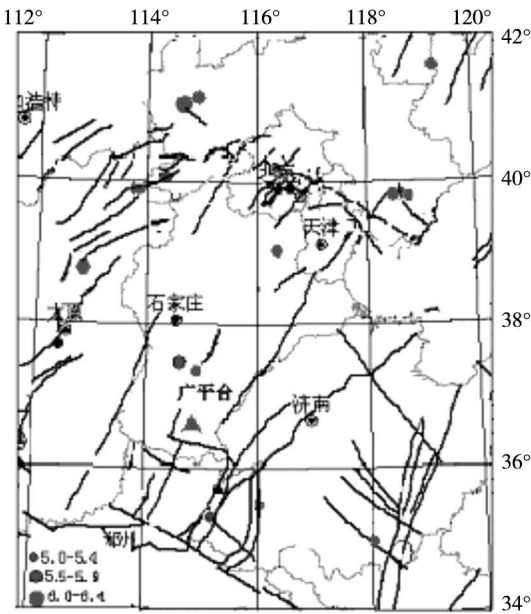


图1 河北省及邻区地震地质构造与主要活断层图

化是太阳静日变化 S_q 和磁暴场 D 。磁暴场可分为几个部分: $D=D_{st}+D_s+D_p(B)$, 其中 D_{st} 为暴时变化, D_s 为暴时扰日变化, $D_p(B)$ 为极区亚暴。

从加卸载的观点看, 地球自转使太阳的紫外线辐射对地球每天加卸载一次。其地磁效应即是 S_q 。而太阳风则是太阳向星际空间辐射的高速等离子体离子流, 其速度为 $200 \sim 400\text{km/s}$ (微风) 至 $800 \sim 1000\text{km/s}$ (暴风) 左右, 太阳暴风的地磁效应就是全

球同时发生的磁暴现象。由统计可知平均大约 $5 \sim 6$ 天地球便会被太阳高速等离子体离子流加卸载一次^[6]。另一方面地震是一种非线性失稳现象。孕震区地下介质系统由稳态变为非稳态的过程中, 介质的物理性质, 其中包括电导率将会发生相应的反应。因而可以认为, 不同的地磁测点, 稳定地区和非稳定地区暴时扰日变化不同; 同一地磁测点非稳定时期暴时扰日变化与正常时期的变化又不同。故可通过计算地磁加卸载响应比 $P(Z)$ 值, 得到其异常信息。

由于地磁垂直分量 Z 与地下介质及其变化较其它地磁分量的关系更密切, 我们取 Z 分量作为计算 $D_s(Z)$ 的加卸载响应参量: $P(Z)=D_s(Z)_+/D_s(Z)_-$ 。其中, $D_s(Z)$ 为 Z 分量地磁扰动场的日变幅, 下角标“+”表示加载, “-”表示卸载。

3 资料收集与震例分析

可靠的观测资料及具有规律性变化的磁场背景是监测和辨别震磁信息的前提。通过对广平地震台 20 多年的地磁资料收集、分析, 认为台站资料是真实可靠的, 符合我们对地磁场变化特征的研究和震磁信息分析的要求。

我们以 1982~2006 年发生在河北省及其邻区 $M_s \geq 5.0$ 的中强地震作为研究震例, 地震的基本参数见表 1。

表 1 地震基本参数统计表

序号	发震时间	地点	纬度	经度	震级 (M_s)	震中距 (km)
1	1982 10 19	河北卢龙	37.5°	119.0°	5.3	524
2	1983 11 07	山东菏泽	35.3°	115.6°	5.9	133
3	1985 11 30	河北任县	37.2°	114.8°	5.0	83
4	1988 07 23	河北阳原	40.1°	114.2°	5.0	407
5	1989 10 18	山西大同	39.9°	113.9°	5.7	398
6	1989 10 19	山西大同	39.9°	113.9°	5.9	398
7	1991 01 29	山西忻州	38.4°	112.6°	5.2	302
8	1991 03 26	山西大同	39.9°	113.9°	5.8	398
9	1991 05 30	河北徒河	39.7°	118.2°	5.1	462
10	1991 05 30	河北唐山	39.7°	118.3°	5.2	441
11	1995 09 20	山东苍山	35.0°	118.0°	5.0	317
12	1995 10 06	河北唐山	39.7°	118.3°	5.0	441
13	1998 01 10	河北张北	41.1°	114.3°	6.2	529
14	1999 03 11	河北张北	41.2°	114.6°	5.6	535
15	1999 11 01	山西大同	39.9°	113.7°	5.6	398
16	2002 04 22	河北隆尧	37.3°	114.4°	5.0	114
17	2006 07 04	河北文安	38.9°	116.3°	5.1	291

(以上地震震例源于中国地震局大华北交换目录)

地磁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,研究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。本文计算了广平台 1982 年 7 月 1 日 ~ 2006 年 7 月 25 日全部地磁 Z 分量日变幅,求出了加卸载响应比比值,见图 2、3、4。

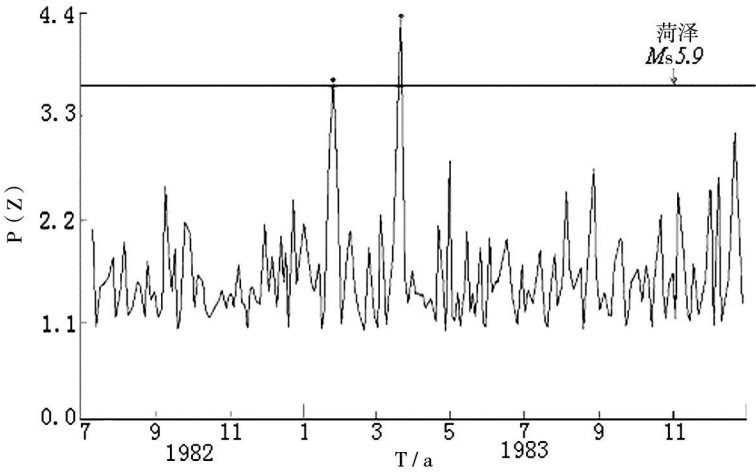


图 2 广平地震台 $P(Z)$ 变化曲线图(横线为阈值 $P_0(Z)=3.6$)

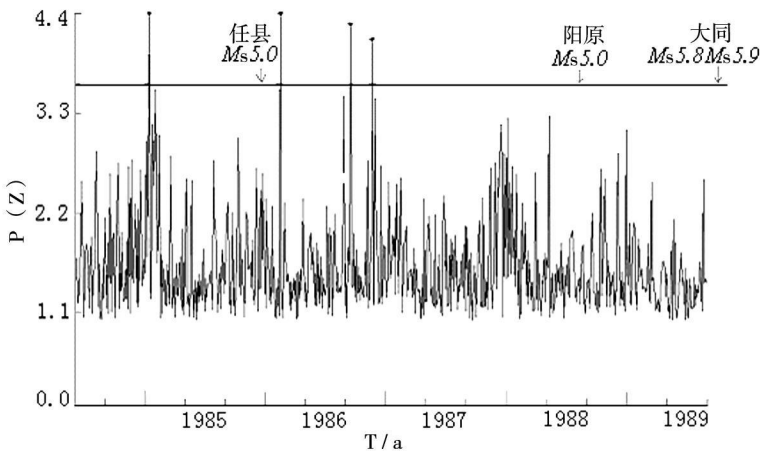


图 3 广平地震台 $P(Z)$ 变化曲线图(横线为阈值 $P_0(Z)=3.6$)

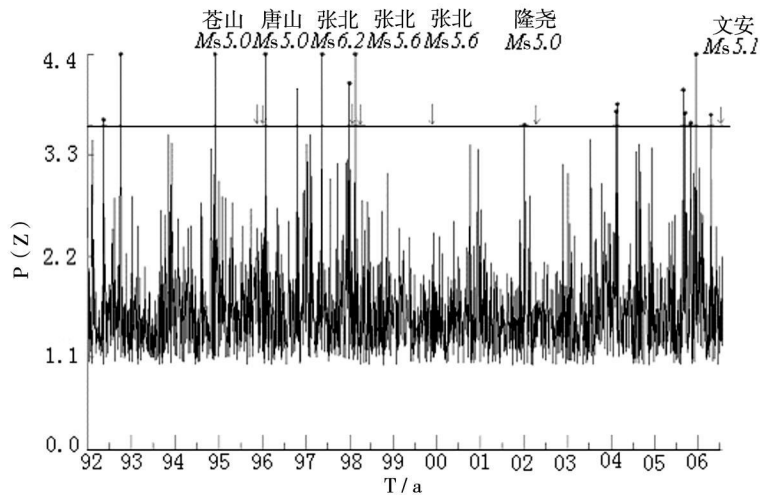


图 4 广平地震台 $P(Z)$ 变化曲线图(横线为阈值 $P_0(Z)=3.6$)

由于广平地震台在上个世纪 80 年代和 90 年代初有间断的基建工作, 造成了部分时段内无资料, 所以我们分段计算。从以上各图的加卸载响应比变化曲线可知, 在异常判别时, 阈值的选取是关键, 对广平地震台 20 多年的资料分析来看, 广平地震台 $P(Z)$ 值大部分在 1.0~2.0 之间波动。作者尝试依次选取不同的阈值进行计算分析(3.2 以下或 4.0 以上的 $P(Z)$ 由于数值太多或太少, 对异常信息识别模糊, 而不作为选取标准), 发现在震前有较好对应关系数值为 P

$(Z) \geq 3.6$, 各种映震指标分别为对应率 57%、虚报率 60%、漏报率 20%, 见表 2。所以我们选取 $P_o(Z)=3.6$ 为阈值, 凡是 $P(Z) \geq 3.6$ 视为异常指标, 来对应河北省及其邻近地区距台 80~530km 发生的 $M_s \geq 5.0$ 地震, 结果发现在选取的时段出现了 14 组异常(注: 1 次异常出现后在 3 个月出现多次异常的为 1 组, 异常时间以第 1 次异常出现的时间为准^[7]), 对应地震 8 次, 虚报 6 次, 漏报 2 次(见表 3), 说明加卸载响应比异常信度是较高的(有资料时段共有 10 个地震)。

表 2 广平地震台地磁加卸载响应比综合效能检验统计表

阈值选取	异常组/次	对应地震数/次	对应率/%	虚报率/%	漏报率/%	地震样本/次
$P(Z) \geq 3.2$	18	9	50	90	10	10
$P(Z) \geq 3.4$	15	8	53	70	22	10
$P(Z) \geq 3.6$	14	8	57	60	20	10
$P(Z) \geq 3.8$	13	7	54	60	30	10
$P(Z) \geq 4.0$	13	7	54	60	30	10

表 3 广平地震台地磁加卸载响应比异常($P_o(Z)=3.6$)与 $M_s \geq 5.0$ 地震的对应情况统计表

组号	异常日期	异常值	对应地震	异常提前时间/月	震中距/km
1	19820401~19820631 无资料		19821019 卢龙 $M_s5.3$		524
2	19830124 19830321	3.67 4.34	19831107 菏泽 $M_s5.9$	9.4	133
3	19840101~19840531 无资料				
4	19850110	5.84	19851130 任县 $M_s5.0$	10.7	83
5	19860213	4.76	虚报		
6	19860914 19861119	4.26 4.09	虚报		
7			19880723 阳原 $M_s5.0$	漏报	407
8	19890901~19911231 无资料		19891018 大同 $M_s5.7$		398
9			19891018 大同 $M_s5.9$		398
10			19910129 沂州 $M_s5.2$		302
11			19910326 大同 $M_s5.8$		398
12			19910530 徒河 $M_s5.1$		462
13	19921002	4.95	虚报		
14	19941128	7.0 7.0	19950920 苍山 $M_s5.0$ 19951006 唐山 $M_s5.0$	8.7 9.3	317 441
15	19960127	6.67	虚报		
16	19961017	4.03	虚报		
17	19970516	4.55	19980110 张北 $M_s6.2$	7.8	529
18	19971231 19980217	4.06 5.11	19980311 张北 $M_s5.6$	2.3	535
19			19991101 大同 $M_s5.6$	漏报	398
20	20020106	3.61	20020422 隆尧 $M_s5.0$	3.5	114
21	20040213 20040222 20040826	3.75 3.84 3.99	虚报		
22	20040913 20041028 20051202	3.74 3.63 4.47	20060704 文安 $M_s5.1$	10.3	291
23	20060416	3.72	20060704 文安 $M_s5.1$	2.6	291

4 结论

(1) 广平地震台处于太行山山前断裂、大名—磁县断裂、聊考断裂的交汇部位, 是构造部位敏感地区。由表 3 可以看出, 对于震中距 $80 \sim 530 \text{ km}$ 范围的中强地震, 大部分震前地磁场有异常波动, 说明是震前广平地震台及周围地区的磁场发生了变化, 从而导致地球介质电导率发生了变化, 反映出这种现象在震前是客观存在的。对应地震的时间是震前 $2 \sim 11$ 月之间。

(2) 由图 2、3、4 可以清楚地看出广平地震台在正常情况下 $P(Z)$ 值在 $1.0 \sim 2.0$ 左右, 初步选取阈值 $P_0(Z) = 3.6$ 是可行的, 虽然有一定的虚报率, 但从异常出现后与地震对应关系来看, 从目前预测水平还很低的角度出发, 仍有较好的应用价值, 这为广平地震台今后用地磁加卸载响应比异常预报地震提供了依据。

(3) 单台使用地磁加卸载响应比方法时, 如果出现 $P(Z)$ 多次较大值, 则应计算大范围或远距离其他台站的 $P(Z)$ 值, 以便判断异常的空间范围, 进而判断异常对应灾害的可能性。如广平地震台出现的 6 次虚报, 是不是与当时的天气(大风暴、强降雨等)状况有关, 有待结合其他手段或台站的资料做进一步的研究。

(4) 文中用此方法只进行了单台研究, 加上经验少, 故暂时还不能得出 $P(Z)$ 异常值与震级、震中距、地震发生的时间之间的定量关系。

总之, 上述震例研究结果表明, 地磁加卸载响应比作为地震预测的中短期预报方法, 对广平地震台今后依磁报震具有一定的意义。本文的研究只是初步性的探讨, 最好对河北省全部台站进行综合研究, 给出响应比的映震指标, 这样才更有实用价值。

本文在撰写过程中得到了江苏省地震局冯志生研究员的热情指导, 在此表示衷心感谢。

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] 冯志生, 林云芳, 蒋延林, 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.
- [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] 曾小苹, 林云芳, 续春荣, 等. 地磁方法预报灾害[M]. 联合国地磁方法研究会专用教材. 纽约: 联合国开发计划署, 1997, 26-35.
- [7] 蒋延林, 赵永红, 赵卫红, 等. 高邮地震台地磁异常与江苏及邻区地震关系的研究[J]. 华北地震科学, 2005, 23(1): 32-36.

Relation of geomagnetic loading and unloading response ratio anomalies in Guangping Seismostation with earthquakes

ZHANG Jian-guo^{1,2}, QIAO Zi-yun^{3,2}, CAO Yi⁴, LV Jian⁵

(1. Central Seismostation of Handan, Handan 056001, Hebei Province, China;

2. College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China;

3. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;

4. Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, China;

5. Earthquake Administration of Jiangxi Province, Nanchang 330039, China)

Abstract: The relation of geomagnetic loading and unloading response ratio anomalies in Guangping Seismostation from 1982 to 2006 with $M_s \geq 5.0$ earthquakes occurred in Hebei and its adjacent area is studied, and the index for geomagnetic loading and unloading response ratio anomalies, which is applicable to Guangping Seismostation, is also presented.

Key words: geomagnetism; daily variation range; loading and unloading response ratio; threshold value; earthquake prediction