

文章编号: 0253-3782(2004)S0-0079-09

# 地磁日变化异常与强震的关系<sup>\*</sup>

丁鉴海 刘杰 余素荣 肖武军

(中国北京 100036 中国地震局地震预测研究所)

**摘要** 强震前地磁垂直分量日变化异常主要表现在幅度与相位上的变化。本文利用中国地磁台网多年观测资料,研究了 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震、2003 年 2 月 24 日巴楚-伽师 6.8 级地震和 1989 年 9 月 22 日小金 6.6 级等 30 多次 6.6 级以上强震前,地磁垂直分量日变极小值出现的时间(低点时间)在空间分布上的异常特征,即低点位移现象。这种少见的异常现象与强震发生有较好的相关性。发震日期为异常日后的第 27 天或 41 天的前后 4 天,强震发生地区在低点位移突变分界线附近。此外,还研究了昆仑山口西 8.1 级地震和巴楚-伽师 6.8 级地震临震前,震中周围出现的地磁日变幅异常现象。

**关键词** 地磁日变化异常 地磁低点位移 日变幅 强震

**中图分类号:** P315.72<sup>+1</sup>

**文献标识码:** A

## 引言

地震的发生不单单是与震源区的孕震过程有关,而且与内(地体环境)、外(日地空间)环境因素密切相关。而变化磁场是把两者联系起来的天然媒介(丁鉴海等, 1988)。

利用变化磁场垂直分量( $Z$ )日变化异常预报地震的基本思路有两类:第一类从各种震磁效应出发,提取地震引起的局部磁异常;第二类寻找日变化中少见的异常现象与地震的对应关系,通过较大样本的统计检验,确定其两者的联系。后者与第一类既有区别,又有密切联系,属于地磁地震相关性的研究。

震前地磁  $Z$  日变化异常主要表现在幅度和相位上的变化。本文利用我国 50 多个地磁台 30 多年资料,研究了 80 次 5.8 级以上,特别是 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震、2003 年 2 月 24 日巴楚—伽师 6.8 级地震和 1989 年 9 月 22 日小金 6.6 级等 30 多次 6.6 级以上强震前地磁  $Z$  日变极小值出现时间(低点时间)在空间分布上的异常特征,即低点位移现象。此外还研究了巴楚—伽师 6.8 级和昆仑山口西 8.1 级地震临震前出现的震中周围局部或区域性的  $Z$  日变幅异常现象。

## 1 地磁低点位移现象与强震关系

### 1.1 低点时间的平均分布状态

地磁日变逐日变化规律较为复杂,但单台低点时间的平均分布状态又是很有规律的,符合正态分布:样本(低点时间)  $x$  落入任意区间( $a, b$ )的概率,记作

\* “十五”国家科技攻关项目(2001BA601B01-05-04)资助。

2003-06-11 收到初稿, 2003-10-27 收到修改稿, 2003-12-24 决定采用。

$$p(a < x < b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_a^b e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

落在 $(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$ 的概率是 68.3%，利用 1980 年全年资料统计的正态分布的均值 $\mu$ 和标准离差 $\sigma$ 见表 1。

表 1 正态分布的均值和标准离差

台站	长春	余山	潍坊	北京	武昌	西安	郫县	兰州	昆明	格尔木	拉萨	乌鲁木齐
均值 $\mu$ /时·分	11:45	12:00	12:05	12:05	12:20	12:45	13:00	13:05	13:10	13:50	13:50	14:10
标准离差 $\sigma$ /分	55	55	50	50	55	45	45	60	60	55	55	50

大量资料的统计只能说明平均状态，逐日变化是相当复杂的，少量资料即使连续的静日低点时间都是很分散的。不能用单台资料识别异常，必须用大范围内多台资料才能判断地磁低点时间异常。

表 1 是按北京时间统计的规律性，即低点时间分布的特征随经度的变化。经度差 15° 低点时间(本研究按北京时间)正好差 1 小时。如果按地方时统计，则各台低点时间均出现在中午 12 时前后。讨论低点时间的平均空间分布状态，并以此作为判定异常的参考。考虑到我国地磁台网的经度跨度较大，以及需要超过 2 倍标准离差，低点时间异常量必须大于 2 小时。

## 1.2 强震前的低点位移异常

“低点位移”指的是一个大区域台站的低点时间，明显地与另一个大区域台站的低点时间不同，而每个大区域内部低点时间又相对一致，两个区域之间突变分界线的低点时间相差两小时以上，这样的异常属地磁学中少见的异常现象。

地震前的低点位移异常分为两类：① 如果某一天(或几天)破坏了低点时间的正常分布规律，全国地磁台低点时间只分为两大区域，在两大区域之间有一条明显的突变分界线(或闭合圈)，低点时间相差两小时以上，而在每个区域内低点时间相差两小时以内，就把这一天(或几天)作为 6.6 级以上强震异常；②如果在约半个中国范围内低点时间分为两大区域，则为 6 级左右地震异常。根据 80 次 5.8 级以上地震统计，85% 以上地震发震时间在异常日后的第 27 天或 41 天的前后 4 天，即

$$T_l(\text{低点位移日期}) + 27(\text{或 } 41) \text{ 天} = T_e(\text{发震日期})$$

地震发生地区在突变分界线附近。经统计检验，此方法预测 6 级以上特别是 6.6 级以上强震效果较好(表 2)。其预测发震时间较准，但地区预测范围较大，并存在少量虚报和漏报。在地磁低点位移分界线附近既有利于发生地震，也有利于发生少见的特大自然灾害，这往往造成虚报的重要原因之一。但分界线附近不发生任何灾害的现象也极少(丁鉴海等，1994)。

## 1.3 2001 年昆仑山口西 8.1 级大震前的地磁低点位移异常

2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级大震前，2001 年 10 月 8 日出现地磁低点位移(图 1)。我国大陆地区地磁垂直分量日变低点时间分为两大区域：东部为北京时 13 时左右，西部为 15 时左右，两大区域之间有一条明显的突变分界线，属于少见的低点位移现象。据此预测：11 月 4 日或 11 月 18 日前后 4 天南北地震带以西地区可能发生 6.6 级以上强震。异

常后 19 天, 即 10 月 27 日在突变分界线上发生永胜 6.0 级地震; 异常后 37 天, 即 11 月 14 日又在突变分界线上发生昆仑山口西 8.1 级大震, 发震日期在低点位移异常后第 41 天±4

表 2 低点位移异常与强震( $M_s \geq 6.6$ )对应表

震例序号	异常日期 年-月-日	K 指数		对 应 地 震			异常与发震 日相隔天数 /d
				发震日期 年-月-日	$M_s$	震中	
1	1972-12-23	5543	1111	1973-02-06	7.6	炉霍	45
2	1973-06-19	3453	4333	1973-07-14	7.5	巴克哈鲁	25
3	1974-03-30	4433	3433	1974-05-11	7.1	昭通	41
4	1974-12-19	2222	2133	1975-02-04	7.3	海城	37
5	1976-05-02	5545	6455	1976-05-29	7.6	龙陵	27
6	1976-06-13	2232	2112	1976-07-21	6.8	龙陵	38
7	1976-07-04	3443	3222	1976-07-28	7.8	唐山	24
8	1976-07-04	3443	3222	1976-08-16	7.2	松潘	43
	1976-07-19	2232	2221				28
	1976-07-21	2223	2211				26
9	1976-07-13	2223	2223	1976-08-22	6.7	松潘	40
	1976-07-13	2223	2223	1976-08-23	7.2	松潘	41
10	1976-10-17	3545	4334	1976-11-15	6.9	宁河	29
11	1976-11-02	2322	4321	1976-12-13	6.8	宁蒗	41
12	1980-12-14	3123	3443	1981-01-24	6.9	道孚	41
13	1981-04-26	4376	6456	1981-06-10	6.8	青海	45
14	1988-09-20	3422	1232	1988-11-05	6.8	唐古拉山	46
15	1988-09-20	3422	1232	1988-11-06	7.6	澜沧-耿马	47
16	1989-03-13	7679	8888	1989-04-06	6.7	巴塘	24
17	1989-03-13	7679	8888	1989-04-25	6.7	巴塘	43
18	1989-08-14	4376	6224	1989-09-22	6.6	小金	39
19	1989-12-15	2222	4220	1990-01-14	6.7	茫崖	30
20	1990-03-14	4334	4332	1990-04-26	6.9	共和	43
	1990-03-24	3211	3232				33
21	1993-02-10	2222	4452	1993-03-20	6.6	拉孜	38
22	1993-09-03	2345	5456	1993-10-02	6.6	若羌	29
	1993-09-06	3233	3222				26
23	1994-08-05	3323	1112	1994-09-16	7.3	台湾海峡	42
	1994-08-07	1111	1212				40
	1994-08-13	3563	4424				34
24	1995-06-14	1211	1232	1995-07-12	7.3	孟连	28
25	1996-01-05	1222	3221	1996-02-03	7.0	丽江	29
26	1996-10-23	5534	2432	1996-11-19	7.1	喀拉昆仑山	27
27	1997-02-28	4543	4544	1997-04-11	6.6	伽师	42
28	1997-10-11	5532	2112	1997-11-08	7.5	玛尼	28
29	2000-08-19	2111	1320	2000-09-12	6.6	兴海	24
30	2001-10-08	3235	4434	2001-11-14	8.1	昆仑山	37
31	2003-01-22	2234	4456	2003-02-24	6.8	巴楚-伽师	33
32	2003-03-18	3434	5224	2003-04-17	6.6	德令哈	30
33	1966-02-21	1122	1101	1966-03-22	7.2	邢台	29
34	1969-06-20	3343	2111	1969-07-18	7.4	渤海	28
35	1969-11-24	1112	2222	1970-01-05	7.7	通海	42

注: 1971 年前震例资料少, 仅供参考。

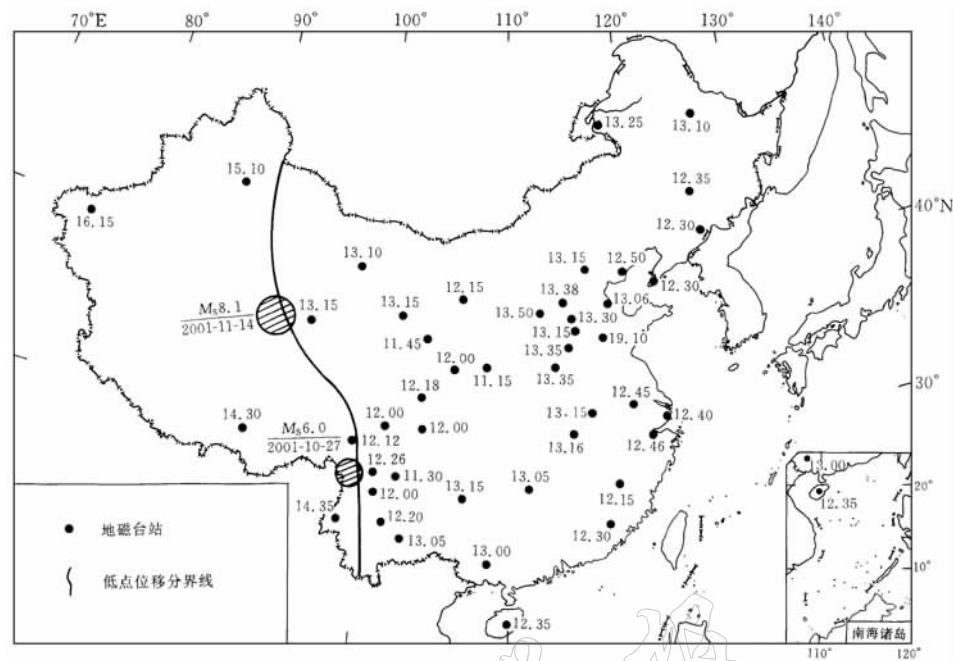


图 1 2001 年 11 月 14 日昆仑山 8.1 级地震前地磁低点位移异常

天时间段内。

#### 1.4 2003 年巴楚-伽师 6.8 级强震前地磁低点位移异常

2003 年 2 月 24 日新疆巴楚-伽师 6.8 级地震前, 2003 年 1 月 22 日中国地磁场出现低点位移异常, 突变分界线大致沿北纬 35°~40° 线分布, 地磁低点时间为两大部分, 北半部低点时间为 14~16 时区, 南半部为 12 左右时区, 突变分界线两侧台站低点时间相差 2 小时以上。异常后 33 天在突变分界线附近发生了巴楚-伽师 6.8 级地震(图 2)。

#### 1.5 1989 年小金 6.6 级强震前地磁低点位移异常

1989 年 9 月 22 日四川小金 6.6 级地震前, 1989 年 8 月 14 日中国地磁场出现低点位移异常, 突变分界线大致沿东经 100° 线附近分布, 低点时间为两大部分, 以东台站低点时间为 11 时左右时区, 以西台站低点时间为 15 时左右时区, 突变分界线两侧相差 2 小时以上。低点位移异常后 39 天, 在突变分界线附近发生小金 6.6 级地震(图 3)。

#### 1.6 地震沿地磁低点位移突变分界线迁移

根据多次中强以上地震统计, 低点位移异常后发生的成组地震有沿地磁低点位移突变分界线迁移的现象。成组地震在短期内存在沿地磁场突变分界线迁移的现象。例如: ① 2001 年 10 月 27 日永胜 6.0 级地震后, 地震不是沿构造带而是沿低点位移突变分界线迁移, 发生昆仑山口西 8.1 级地震(图 1); ② 2001 年另外两次 6 级以上地震也是沿低点位移突变分界线迁移的, 即分别在低点位移异常(2003 年 1 月 29 日)后第 27 天和 41 天前后发生 2001 年 2 月 23 日雅江 6.0 级与 3 月 5 日玛尼 6.4 级地震(丁鉴海等, 2003 a); ③ 1989 年 8~9 月 2 个月内大陆地区仅发生 3 次 5 级以上地震, 即 9 月 20 日云南崇明 5.1 级、9 月 22 日四川小金 6.6 级、9 月 24 日甘肃昌马 5.1 级地震, 地震全部发生在 1989 年 8 月 14 日低点位移异常后 41 天±4 天有利发震时间段内, 且沿低点位移突变分界线内迁移(图 3)。

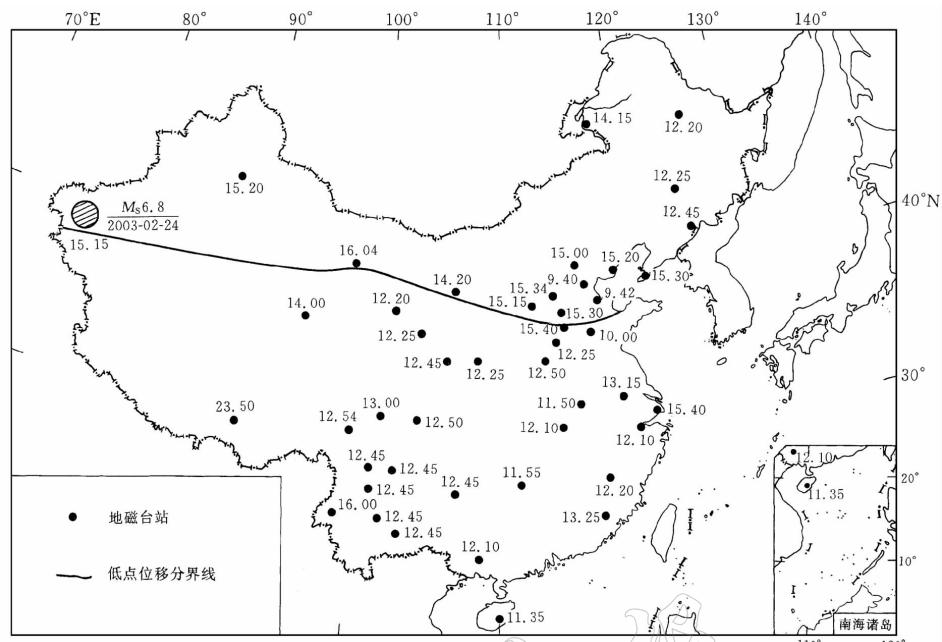


图 2 2003 年 2 月 24 日巴楚-伽师 6.8 级地震前地磁低点位移异常

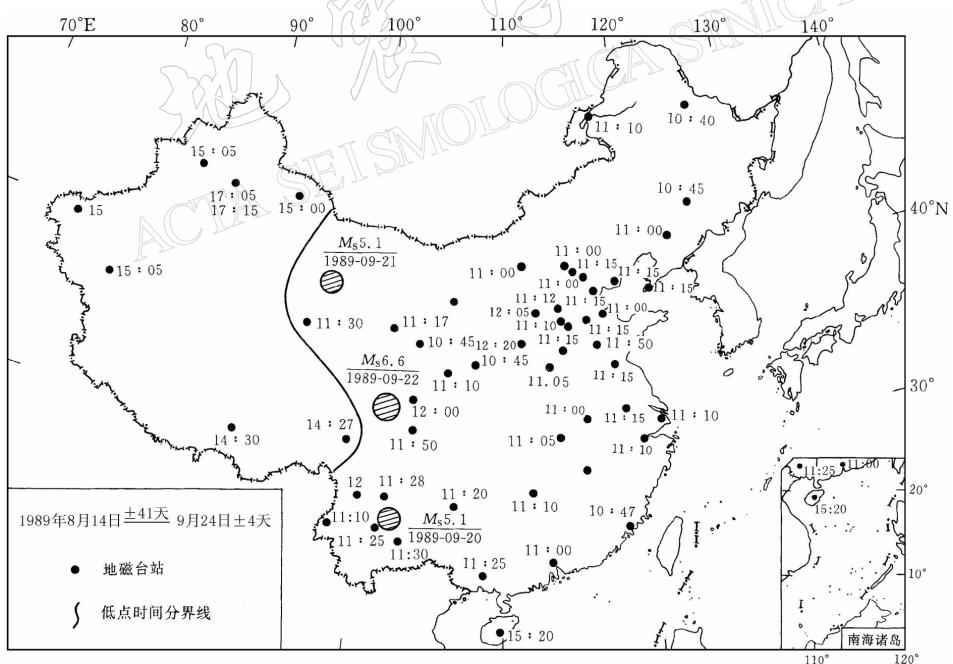


图 3 1989 年 9 月 22 日小金 6.6 级地震前低点位移异常

## 2 强震前的地磁日变幅异常现象

变化磁场内场强弱即与外场有关，又与地下物质电导率的分布、大小有关。强震前孕

震地体环境由于应力增强,引起介质电导率等电磁性质的改变,可观测到与地震有关的局部或区域性磁异常。

地磁正常背景场的分布与变化具有空间上的相关性和时间上的延拓性。单台地磁日变幅逐日变化很复杂,即使变化很大也不能算作地震前的异常。必须消除地磁正常背景场的变化。突出与地震有关的磁异常,最直接、最简单区分正常与异常的方法是与中国同纬度、同经度以及中国所有地磁台相比,出现局部或区域性变化才能作为与强震相关的异常现象。

## 2.1 2003 年巴楚—伽师 6.8 级强震前地磁日变幅异常现象

2003 年 2 月 24 日巴楚—伽师 6.8 级地震临震前喀什、乌鲁木齐地磁台出现日变幅度、相位及形态异常现象,其中喀什地磁台变化最大。从 2 月 21 日开始变化,2 月 22 日~23 日变化幅度最大,量级达 10~20 nT,2 月 24 日发生 6.8 级地震后日变幅异常开始恢复,直到 2 月 26 日完全恢复。图 4 中列出的其它各地区代表性的台站均无异常。在全国 50 多个地磁台中只有喀什、乌鲁木齐台变化显著,其中喀什台出现的地磁日变幅异常是近几年少见的。

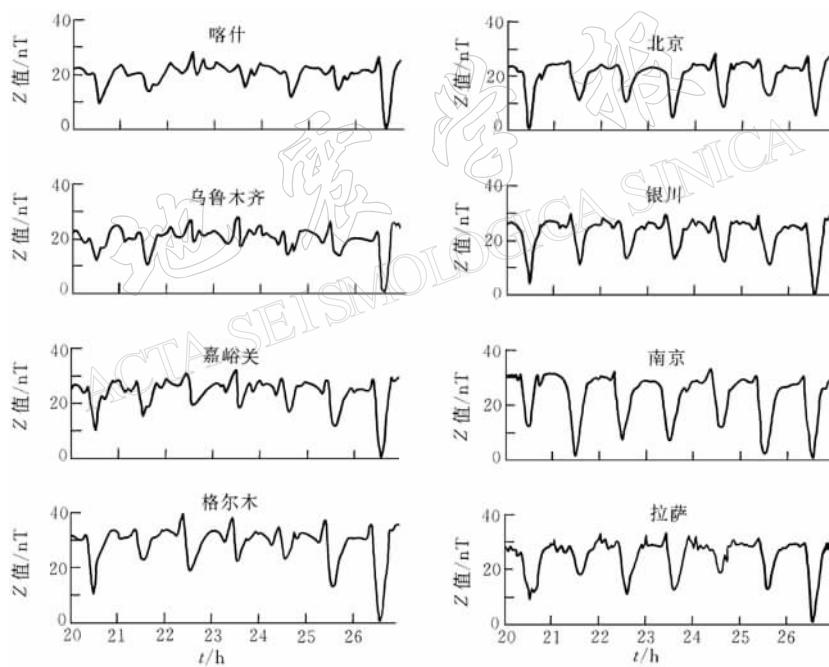


图 4 中国部分台站地磁  $Z$  日变曲线(2003 年 2 月 20~26 日)

## 2.2 2001 年昆仑山口西 8.1 级大震前地磁日变幅异常现象

2001 年 11 月 14 日 8.1 级大震临震前,我国南北地震带以西地区地磁日变幅异常显著,其中 11 月 6 日日变不但幅度、相位变化很大,而且日变畸变异常非常明显。11 月 6 日虽有磁暴活动,但对我国东部、中部地磁日变幅影响不大,而对南北地震带以西的地磁日变却产生显著畸变。距震中最近的格尔木台及其周围嘉峪关、乌鲁木齐、喀什、拉萨等地磁台发生的日变畸变是多年少见的,其中格尔木、拉萨台日变幅度变化超过 20 nT(图 5)。

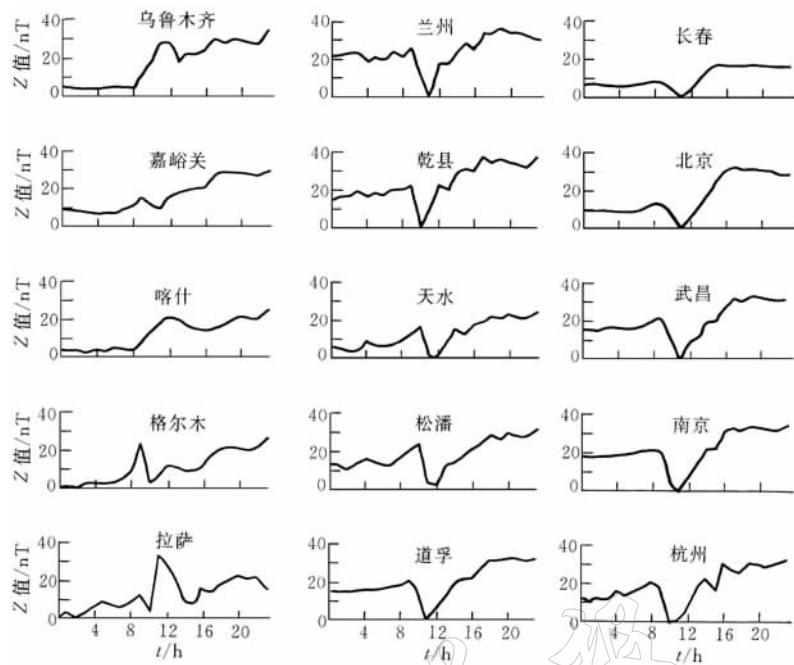


图 5 中国西部、中部、东部地磁 Z 日变曲线(2001 年 11 月 6 日)

### 3 探索与讨论

1) 中国大陆强震往往成组发生、互相影响。即使是单个地震，其孕育、发生也不是震源孤立的由渐变到突变发展过程，而应把震源看成与相当大范围区域应力场乃至孕震的立体环境密切相关。跟踪每日中国地磁场动态变化，监视大尺度地磁低点位移现象，研究强震前近场前兆、远场前兆、大尺度动态前兆及其相互联系，是地震预报不可忽视的重要课题(丁鉴海等, 2003 b).

2) 在地震前兆及其预报地震的物理基础尚不很清楚的情况下，对地震前兆及经验性预报方法必须进行严格的统计检验。为了衡量地震预测水平和检验地震预报效能，目前多使用 R 评分的办法(许绍燮, 1989)，衡量地震预报的实际效能，对地震前兆预报方法和短期预报而言，一般 R 值可用下述公式简述：

$$R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}} - \frac{\text{预报占用时间}}{\text{预报研究的总时间}}$$

R 值表示为扣除了占时率的报准率，即为扣除了随机概率的预报成功率。检验的另一个问题是要对 R 值作出置信度的统计。如预报实效次数少，则必须有较大的 R 值才能保证有足够的信度。地磁低点位移对大陆地区台网监测范围内 6.6 级以上强震统计检验  $R=0.6$ ，说明对强震有较好对应效果。

3) 识别与地震有关的异常现象必须考虑地磁正常背景场的变化，地磁低点位移与日变幅异常均为对正常背景场非随机的偏离。此外，日变化逐日变化复杂，受外空场影响较大，研究“地磁低点位移”与地震对应关系时，应该考虑行星级磁场的状态，以排除与地震无关的磁异常(徐文耀, 1985)。

利用地磁日变化异常现象预测地震机理仍处在探索阶段，初步认为，一方面可能是通过感应磁效应发现、探测地下包括震源区及地体环境在内的短期异常变化；另一方面又可能作为一种特殊的区域磁扰、特殊的突变外因，对孕震到临震阶段的震源区起到调制、触发作用（丁鉴海等，2003a）。

4) 地磁日变化异常与强震的发生有较好的相关性，强震前1, 2个月内出现地磁低点位移；震前数天震中区出现日变幅异常，部分震例还显示地震前后有较明显的变化，但作为预测方法更重视震前异常变化。

地磁低点位移表现出跨越式预报的特点，地震发生在异常过后的第27天或41天前后的时间段内，这可能与地磁场周期性因素密切相关。对地磁场各种谱分析的结果表明，半年以内周期成分中，27天和13.5天（或 $27+13.5 \approx 41$ 天）的周期变化最显著（Bath, 1974）。

利用日变化异常预测地震的机理是一个十分困难的科学问题，需要长期不懈的探索和科学资料的积累。

### 参 考 文 献

- 丁鉴海, 黄雪香, 邢如英, 等. 1988. 地磁“低点位移”现象及其与地震的关系[J]. 地震学报, **10**(4): 406~414  
丁鉴海, 卢振业, 黄雪香. 1994. 地震地磁学[M]. 北京: 地震出版社, 253~267  
丁鉴海, 余素荣, 肖武军. 2003a. 地磁低点位移现象与昆仑山口西8.1级地震[J]. 西北地震学报, **25**(1): 16~21  
丁鉴海, 余素荣, 肖武军. 2003b. 地震前兆与短临预报探索[J]. 地震, **25**(3): 43~50  
许绍燮. 1989. 地震预报能力评分(A). 见: 国家地震局科技监测司编. 地震预报方法实用化研究论文集[C]. 北京: 学术期刊出版社, 586~590  
徐文耀. 1985. 磁层电场引起的 Sq“低点位移”[J]. 地震地磁观测与研究, **6**(1): 8~12  
Bath M. 1974. *Spectral Analysis in Geophysics* [M]. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 285~287

## GEOMAGNETIC DIURNAL-VARIATION ANOMALIES AND THEIR RELATION TO STRONG EARTHQUAKES

Ding Jianhai Liu Jie Yu Surong Xiao Wujun

(Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China)

**Abstract:** The diurnal-variation anomalies of the vertical-component in geomagnetic field are mainly the changes of phase and amplitude before strong earthquakes. On the basis of data recorded by the network of geomagnetic observatories in China for many years, the anomalous features of appearance time of the minima of diurnal variations (*i. e.*, low-point time) of the geomagnetic vertical components and the variation of their spatial distribution (*i. e.*, phenomena of low-point displacement) have been studied before over 30 strong earthquakes with  $M_s 6.6$  such as Kunlunshan  $M_s 8.1$  earthquake on November 14, 2001; Bachu-Jashi  $M_s 6.8$  earthquake on February 24, 2003; Xiaojin  $M_s 6.6$  earthquake on September 22, 1989, etc. There are good relations between such rare phenomena of geomagnetic anomalies and the occurrence of earthquakes. It has been found that most earthquakes occur in the vicinity of the boundary line of sudden change of the low-point displacement and generally within four days before or after the 27th or 41st day counting from the day of appearance of the anomaly. In addition, the anomalies of diurnal-variation amplitude near the epicentral area have been also studied before Kunlunshan  $M_s 8.1$  earthquake and Bachu-Jiashi  $M_s 6.8$  earthquake.

**Key words:** geomagnetic diurnal-variation anomalies, geomagnetic low-point displacement, diurnal-variation amplitude, strong earthquake