

王武星, 丁鉴海, 余素荣, 张永仙. 2009. 汶川  $M_{\text{S}}8.0$  地震前地磁短临异常与强震预测探索. 地震学报, 31(2): 172-179.

Wang Wuxing, Ding Jianhai, Yu Surong, Zhang Yongxian. 2009. Short-term and imminent geomagnetic anomalies of the Wenchuan  $M_{\text{S}}8.0$  earthquake and exploration of earthquake prediction. *Acta Seismologica Sinica*, 31(2): 172-179.

# 汶川 $M_{\text{S}}8.0$ 地震前地磁短临异常 与强震预测探索<sup>\*</sup>

王武星<sup>1, 2)</sup> 丁鉴海<sup>2), \*†</sup> 余素荣<sup>3)</sup> 张永仙<sup>3)</sup>

1) 中国北京 100049 中国科学院研究生院计算地球动力学重点实验室

2) 中国北京 100036 中国地震局地震预测研究所

3) 中国北京 100045 中国地震台网中心

**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. 利用中国地磁台网多年观测资料, 研究了 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震前, 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; 并用此方法预测了汶川 8.0 级地震 6 级余震平静 2 个月后的一组 6 级强余震, 这种少见的异常现象与强震发生有较好的相关性. 发震日期为异常出现后的第 27 天或第 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, 还研究了汶川 8.0 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** 地磁低点位移 日变幅异常 汶川 8.0 级地震 地磁短临异常 强震预测

文章编号: 0253-3782(2009)02-0172-08 中图分类号: P315.72<sup>+</sup>1 文献标识码: A

## Short-term and imminent geomagnetic anomalies of the Wenchuan $M_{\text{S}}8.0$ earthquake and exploration of earthquake prediction

Wang Wuxing<sup>1, 2)</sup> Ding Jianhai<sup>2), \*†</sup> Yu Surong<sup>3)</sup> Zhang Yongxian<sup>3)</sup>

1) Laboratory of Computational Geodynamics, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

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

3) China Earthquake Network Center, Beijing 100045, China

**Abstract:** Before strong earthquakes the diurnal variation of geomagnetic vertical component manifests itself mainly in phase and amplitude changes. Based on the data recorded by geomagnetic observatories in China for many years, anomalous features of the appearance time of the minima in diurnal variation (*i.e.*, low point time) of the geomagnetic vertical components, and the variation of their spatial distribution (*i.e.*, phenomena of low point displacement), before

\* 基金项目 国家科技支撑计划“天地一体化地震预测示范应用研究”课题(2008BAC35B00)资助.

收稿日期 2008-09-08 收到初稿, 2009-02-12 决定采用修改稿.

† 通讯作者 e-mail: dingjianhai@seis.ac.cn

the 2008 Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake have been studied. The strong aftershocks after two months quiescence of  $M_6$  aftershocks after the  $M_s8.0$  event were predicted based on these studies. There are good correlations between these rare geomagnetic anomalies and the occurrences of earthquakes. It has been found that most earthquakes occurred near the boundary line of sudden changes of the low point time and within four days before or after the 27th or 41st day since the appearance of the anomaly in general. In addition, the imminent anomalies in diurnal variation amplitudes near epicentral areas before the Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake have been studied.

**Key words:** geomagnetic low point displacement; diurnal variation amplitude; Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake; short-term and imminent geomagnetic anomalies; prediction of strong earthquakes

## 引言

地震的发生不仅与震源区的孕震过程有关,而且与震源区所在的区域应力场以及地球内部的地体环境、外部的日地空间环境因素密切相关,而地球变化地磁场是把孕震过程相关的诸多因素包括内、外环境因素联系起来的天然媒介(丁鉴海等,1988)。国内外不少学者研究了地磁日变化异常与地震的关系(丁鉴海等,1994,2008; Duma, Ruzhin, 2003)。自1966年邢台7.2级地震以来,我国地震预报研究与实践证明,地震前存在可靠的地磁短临前兆。利用变化磁场特别是垂直分量( $Z$ )日变异常场预报地震,已成为我国日常地震短临监视预报有效的方法之一(丁鉴海等,2006)。

震前地磁 $Z$ 日变化异常主要表现在幅度和相位上的变化,偏离正常背景场,在空间分布上出现的异常特征称为地磁日变异常场。利用地磁日变异常场预报地震的方法,如地磁低点位移方法,即是日变极小值出现时间(低点时间,为北京时间)在空间分布上的异常特征。这种少见的异常现象与强震发生有较好的相关性。

本文研究了112次6级以上地震,主要是其中的23次7.0级以上地震,尤其是2008年5月12日汶川8.0级地震前地磁 $Z$ 日变化极小值出现时间(低点时间)在空间分布上的异常特征,即地磁低点位移现象。此外还研究了汶川8.0级地震前出现的震中周围局部或区域性的地磁 $Z$ 日变幅异常现象。

## 1 地磁低点位移现象与强震关系

单台低点时间符合正态分布,不能从单台资料识别异常,必须用大范围多台资料才能判断低点时间的异常,研究中所用时间均为北京时间。地磁 $Z$ 日变极小值出现的时间(低点时间)在空间分布的异常特征,即“低点位移”现象。这种少见的地磁异常现象与地震发生有较好的相关性,其发震日期80%为异常日以后的第27天或第41天前后4天,发震地点在突变分界线附近,误差为距分界线一倍台距。

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

“低点位移”指的是一个大区域台站的低点时间,与另一个大区域台站的低点时间明显不同,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。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），低点时间相差两个小时以上，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 6.5 级以上强震异常。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。

经统计检验，此方法预测 6 级以上，特别是 6.5 级以上强震效果较好，对 7 级以上地震的预测效果见表 1。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（丁鉴海等，2004）。

表 1 低点位移异常与强震 ( $M_s \geq 7.0$ ) 对应表

Table 1 Anomalies of LPDs and occurrence of the predicted strong earthquakes ( $M_s \geq 7.0$ )

震例 序号	异常日期 年-月-日	K 指数	对 应 地 震		震中地点	异常与发震 日相隔天数
			发震日期 年-月-日	$M_s$		
1	1966-02-21	1122 1101	1966-03-22	7.2	邢台	29
2	1969-06-20	3343 2111	1969-07-18	7.4	渤海	28
3	1969-11-24	1112 2222	1970-01-05	7.7	通海	42
4	1972-12-23	5543 1111	1973-02-06	7.6	炉霍	45
5	1973-06-19	3453 4333	1973-07-14	7.5	亦基台错	25
6	1974-03-30	4433 3433	1974-05-11	7.1	大关	42
7	1974-12-19	2222 2133	1975-02-04	7.3	海城	47
8	1976-05-02	5545 6455	1976-05-29	7.3, 7.4	龙陵	27
9	1976-07-04	3443 3222	1976-07-28	7.8	唐山	24
10	1976-07-04	3443 3222				43
	1976-07-19	2232 2221	1976-08-16	7.2	松潘	28
	1976-07-21	2223 2211				26
11	1976-07-13	1121 1111	1976-08-23	7.2	松潘	41
12	1985-07-16	2321 1123	1985-08-23	7.1	乌恰	38
	1985-07-25	4333 1332				29
13	1988-09-20	3422 1232		74	澜沧	47
	1988-10-23	3242 2222	1988-11-06	72	耿马	14
14	1990-03-14	4334 4332			共和	43
	1990-03-24	3211 3232	1990-04-26	7.0		33
15	1994-08-05	3323 1112				42
	1994-08-07	1111 1212	1994-09-16	7.3	台湾海峡	40
	1994-08-13	3563 4424				34
16	1995-06-14	1211 1232	1995-07-12	7.3	中缅交界	28
17	1996-01-05	1222 3221	1996-02-03	7.0	丽江	29
18	1996-10-23	5534 2432			喀喇昆仑山	27
	1996-09-29	2232 3220	1996-11-19	7.1		51
19	1997-10-11	5532 2112	1997-11-08	7.5	玛尼	28
20	2001-10-08	3235 4434	2001-11-14	8.1	昆仑山口西	37
21	2002-05-27	3365 3320			汪清(540 km)	33
	2002-06-05	2320 1112	2002-06-29	7.2		24
22	2008-02-16	2130 2310	2008-03-21	7.3	于田	34
23	2008-04-24	3334 3222	2008-05-12	8.0	汶川	18
	2008-05-09	3433 3320				3

例如，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。中国大陆地区地磁垂直分量日变低点时间分为两大区域，突变分界线沿东经 90°—100°南北向分布，分界线东部为北京时 13 时左右，西部为 15—16 时，两大区域之间有一

条明显的突变分界线，两侧相差 2 小时。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 天时间段内。

### 1.1 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震前的地磁低点位移异常

1) 2008 年 4 月 24 日中国大陆地磁场出现低点位移异常，突变分界线位于东经 103°—110° 线之间，大致沿南北地震带走向。低点时间分为两大区域，分界线以东约为 11—12 时，以西约为 14 时左右，分界线两侧相差 2 小时。异常后 18 天在低点位移分界线附近发生了汶川 8.0 级地震(图 1)。

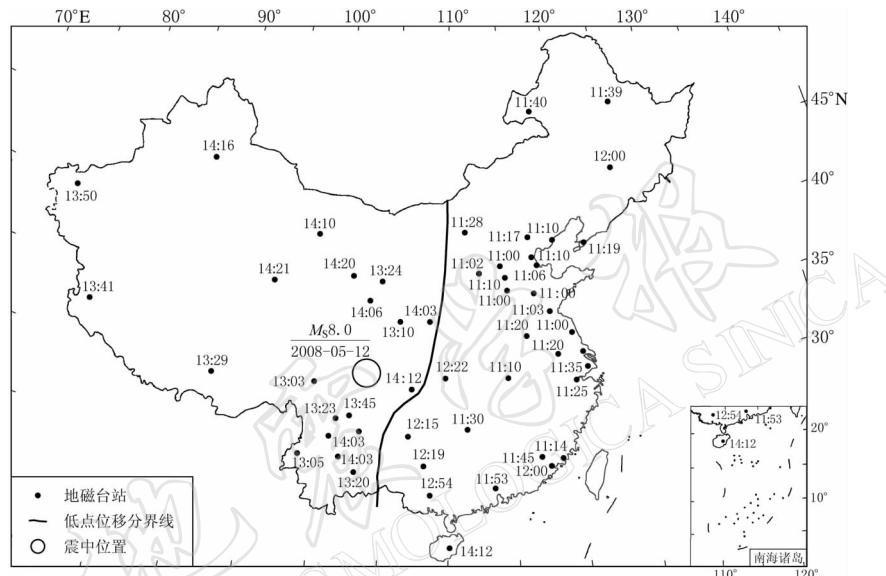


图 1 2008 年 4 月 24 日地磁低点位移异常

Fig. 1 Geomagnetic LPD anomaly on April 24, 2008, before Wenchuan  $M_S 8.0$  earthquake

2) 2008 年 5 月 9 日中国大陆地磁场出现低点位移异常，突变分界线位于我国南北地震带附近，大致为南北走向。低点时间分为两大区域，分界线以东约为 10—12 时，以西约为 15—17 时，分界线两侧相差 3 小时以上，异常后第 3 天在低点位移分界线附近发生了汶川 8.0 级地震(图 2)。

### 1.2 汶川 8.0 级地震后 6 级强余震预测

用此方法还研究预测了汶川 8.0 级地震 6 级强余震平静 2 个月后的一组 6 级强余震，即根据 2008 年 6 月 13 日和 6 月 17 日地磁低点位移异常综合预测：7 月 14 日或 7 月 28 日前后 4 天南北地震带中北部特别是汶川震区可能发生 6 级左右地震。

1) 2008 年 6 月 13 日中国大陆地磁场出现低点位移异常，突变分界线经过西藏、四川、甘肃和内蒙等省。低点时间分为两大区域，分界线以西约为 16 时，以东约为 11—13 时，分界线两侧相差 3 小时以上(图 3)。

2) 2008 年 6 月 17 日中国大陆地磁场出现低点位移异常，突变分界线从西藏南部、四川至内蒙中部大致为北东走向。低点时间分为两大区域，分界线以西约为 14—15 时，以东约为 12—13 时，分界线两侧相差 2 小时以上(图 4)。

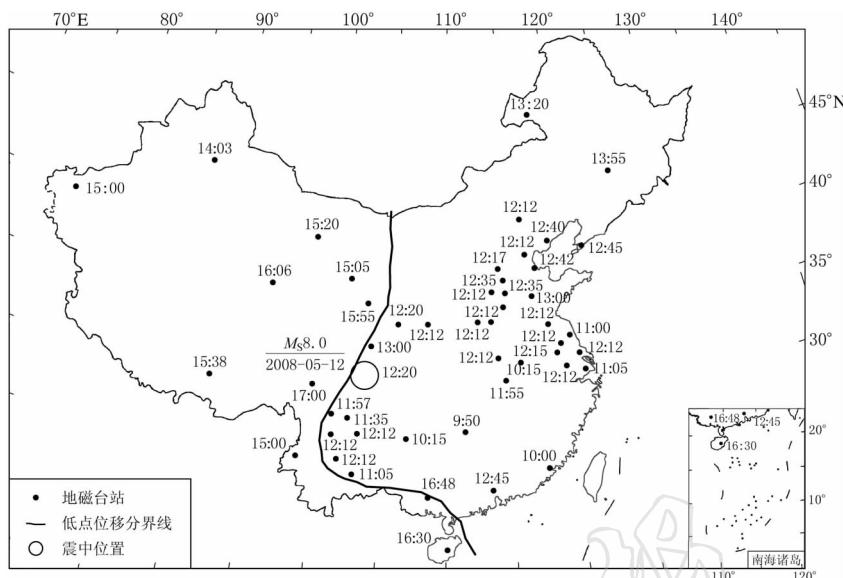


图 2 2008 年 5 月 9 日地磁低点位移异常

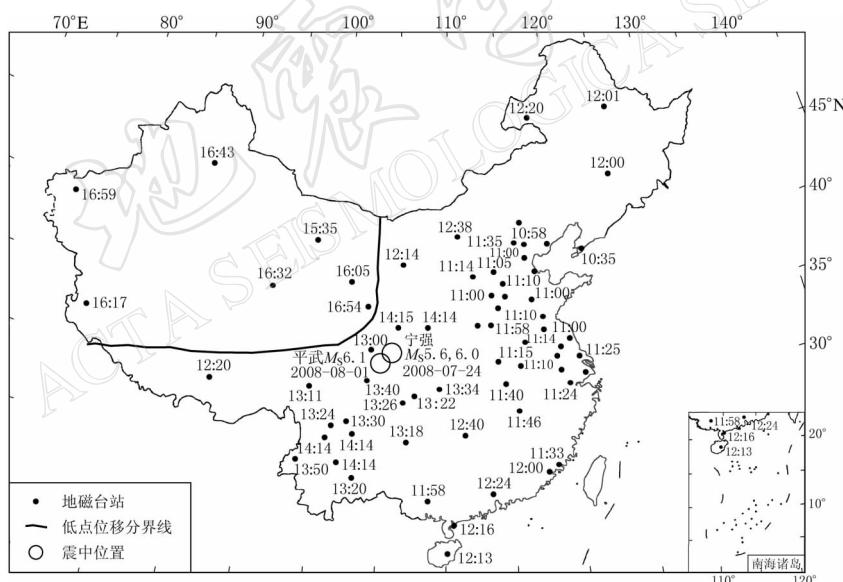
Fig. 2 Geomagnetic LPD anomaly on May 9, 2008, before Wenchuan  $M_8$ .0 earthquake

图 3 2008 年 6 月 13 日地磁低点位移异常

Fig. 3 Geomagnetic LPD anomaly on June 13, 2008

以上两次低点位移突变分界线交汇于四川汶川震区，在 6 月低点位移后第 27 天或第 41 天，即 7 月 14 日或 28 日前后 4 天发生一组 6 级地震，7 月 15 日发生一组 5 级强余震；7 月 28 日前后在震区北部分别发生 7 月 24 日 6.0 级、8 月 1 日 6.1 级及 8 月 5 日 6.1 级一组 6 级强余震。这是 5 月 25 日至 8 月底最强的一组强余震。

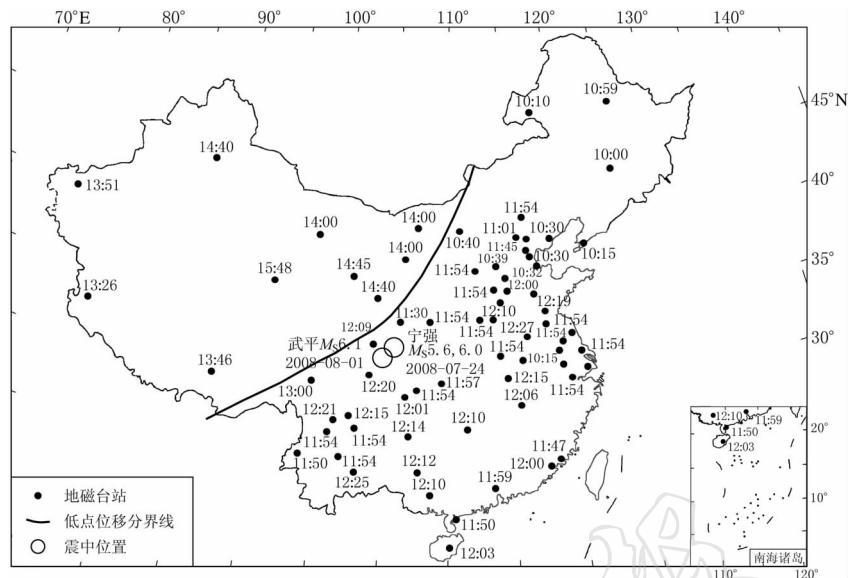


图 4 2008 年 6 月 17 日地磁低点位移异常

Fig. 4 Geomagnetic LPD anomaly on June 17, 2008

## 2 强震前的地磁日变幅异常现象

变化磁场内场的强弱既与外场有关，又与地下介质电导率的分布、大小有关。大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。地磁日变幅异常属几分钟至几小时的短周期变化，异常幅度超过  $10 \text{ nT}$  甚至  $20 \text{ nT}$ 。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对比，出现局部或区域性变化才能作为与强震相关的异常现象。本文只作为低点位移带的地区参考指标。

例如, 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 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, 其中以 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(丁鉴海等, 2004)。

四川汶川 8.0 级大地震前地磁垂直分量( $Z$ )日变化出现大范围异常变化, 我国中西部的台站, 特别是四川省及周围台站幅度、相位、形态变化均较明显。例如, 成都、西昌、会理等台在震前几天, 特别是 2008 年 5 月 9 日前后变化较大(变化幅度约为 10—20 nT), 而大致同纬度的上海等台则属正常变化(图 5)

3 讨论

- 1) 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

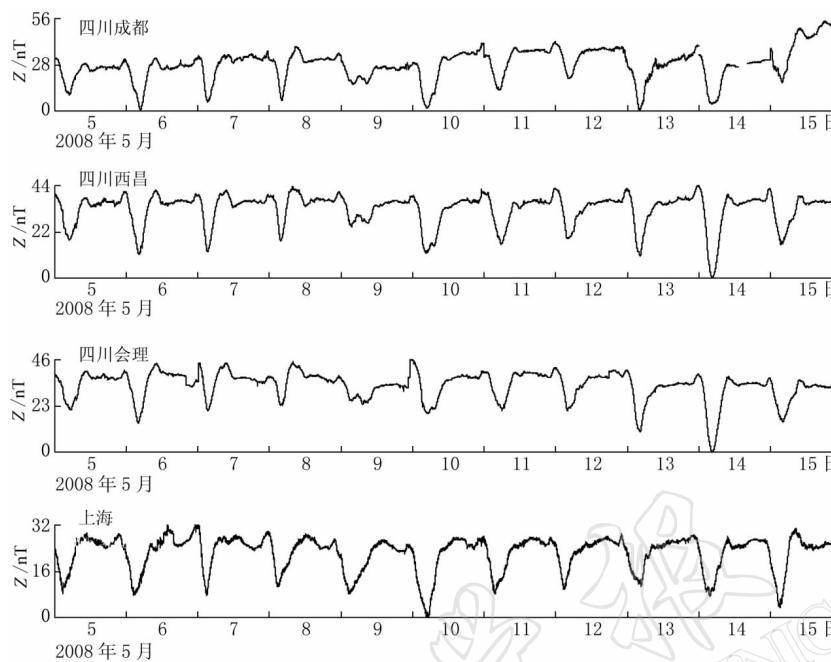


图 5 2008 年 5 月 5—15 日地磁日变化

Fig. 5 Geomagnetic diurnal variations during 5—15 May, 2008

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求对  $R$  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置信度。地磁低点位移对大陆地区台网监测范围内 6.5 级以上强震统计检验  $R = 0.6$ ，说明对强震有较好对应效果。

2) 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、突变外因，对孕震到临震阶段的震源区起到调制、触发作用，简称对地震的“探测—感应—触发”的预测机制(丁鉴海等, 2003)。

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，应该考虑行星际磁场的状态，以排除与地震无关的磁异常(徐文耀, 1985)。

4) 地震地磁前兆异常一般分连续的趋势性异常和突发性异常，根据这两种不同性质的电磁异常把预报方法分为渐进式和跨越式预报方法。例如，地磁低点位移表现出跨越式异常特点。地震发生在异常过后的第 27 天或第 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 $27+13.5$ 天 $\approx$ 41天)的周期变化最显著(Báth, 1974)。在跨越式预报方法确定的发震时段内，跟踪地震各种地磁前兆，特别是震前几小时至几天的异常变化，把渐进式与跨越式预报方法相结合有利于实施临震预报。

也就是说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。但作为预测方法则更重视震前异常变化，有利于预报和追踪发震时间。汶川8.0级地震前，4月24日低点位移明显，日变幅度也有变化；临震前数天日变幅异常突出，但也有低点位移。例如5月9日临震前日变幅度、相位均变化突出。

利用地磁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, 张淑兰. 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. 2003. 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, 刘杰, 余素荣, 肖武军. 2004. 地磁日变化异常与强震的关系[J]. 地震学报, **26**(增刊): 79–87.
- 丁鉴海, 申旭辉, 潘威炎, 张晶, 余素荣, 李钢, 关华平. 2006. 地震电磁前兆研究进展[J]. 电波科学学报, **21**(5): 791–801.
- 丁鉴海, 余素荣, 王亚丽. 2008. 地磁低点位移现象与强震预测研究[J]. 电波科学学报, **23**(6): 1011–1017.
- 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.
- 许绍燮. 1989. 地震预报能力评分[G]// 地震预报方法实用化研究论文集: 地震学专辑[G]. 北京: 学术书刊出版社: 586–590.
- Báth M. 1974. *Spectral Analysis in Geophysics* [M]. New York: Elsevier Scientific Publishing Company: 285–287.
- Duma G, Ruzhin Y. 2003. Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations [J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **3**: 171–177.