

中强震前地磁谐波振幅比的趋势性 变化特征初步研究

冯志生, 梅卫萍, 张秀霞, 庄明龙, 张晓勇

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要 应用最大似然谱分析技术, 获得了上海佘山台和崇明台 1982 年至 1999 年的地磁三分量之间的短周期谐波振幅比。经初步分析发现, 在中强地震前后谐波振幅比的趋势性异常表现为下降—转折—恢复的过程, 持续时间为 1~3 年。同时变化还具有由长周期(深部)向短周期(浅部)迁移的特征。

关键词 地磁异常; 谐波; 振幅比

中图分类号: P315.75+1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2004)01-0050-07

0 引言

在地震的孕育过程中, 随着孕震区的应力发生变化, 孕震区介质电导率也会发生变化。通过研究地磁短周期的变化过程, 可以发现一些电导率的变化信息。从上世纪 70 年代开始, 国内外学者开展了大量的地磁垂直场转换函数与地震关系研究^[3~5], 发现转换函数 A 和 B 值的变化及解数据矩阵方程的总方差 σ_z 的超差变化与地震发生有关。近年来有关地磁水平场转换函数与地震的关系也逐渐得到研究, 发现在某些情况下水平场转换函数的地震异常变化比垂直场更明显^[6,7]。

虽然与地磁垂直场转换函数 A 值相对应物理量 $Z(\omega)/H_x(\omega)$ 的变化与地震的关系有了一定程度的研究^[8], 但与 B 值相对应物理量 $Z(\omega)/H_y(\omega)$ 的变化与地震的关系却很少见到报道。有关 $H_x(\omega)/H_x(\omega)$ 的变化与地震的关系几乎不被关注。然而就提取与地震孕育过程有关的异常变化信息这一目标而言, 在目前对地震孕育过程中深部电阻率异常变化的机理并不十分清楚、深部电阻率异常变化所引起的变化磁场异常可能很微弱的情况下, 所采用的计算方法对实际地球介质的假定和约束应越少越好。在地磁短周期变化的地震异常研究中, 相对于电磁感应的各种正反演方法和地磁转换函数来说, 地磁谐波振幅比可能也有一定的意义^[8]。

1 基本理论及资料的处理

1.1 基本理论

1970 年 Schmucker 引入转换函数的概念^[3,9,10], 将磁场分成正常场 $\bar{H}_n(\omega)$ 和异常场 $\bar{H}_a(\omega)$ 两部分, 其中正常场包括外源场和正常分层地球内部的磁场, 异常场则来源于地下横向不均匀的电性结构。正常场和异常场之间有下列关系:

$$\begin{Bmatrix} H_{x_a}(\omega) \\ H_{y_a}(\omega) \\ Z_a(\omega) \end{Bmatrix} = T_s(\omega) \begin{Bmatrix} H_{x_n}(\omega) \\ H_{y_n}(\omega) \\ Z_n(\omega) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

转换函数

$$T_s(\omega) = \begin{Bmatrix} T_{H_x H_x}(\omega) T_{H_x H_y}(\omega) T_{H_x Z_n}(\omega) \\ T_{H_y H_x}(\omega) T_{H_y H_y}(\omega) T_{H_y Z_n}(\omega) \\ T_{Z_n H_x}(\omega) T_{Z_n H_y}(\omega) T_{Z_n Z_n}(\omega) \end{Bmatrix} \quad (2)$$

其中 ω 为角频率。设 $\overline{H}(\omega) = \overline{H}_a(\omega) + \overline{H}_n(\omega)$ $\overline{H}(\omega)$ 为观测值。在 $Z_n(\omega) \approx 0$ 的条件下式 (2) 可简化为垂直场及水平场转换函数关系式：

$$\begin{Bmatrix} H_x(\omega) \\ H_y(\omega) \\ Z(\omega) \end{Bmatrix} = U_s(\omega) \begin{Bmatrix} H_x(\omega) \\ H_y(\omega) \\ Z_a(\omega) \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$U_s(\omega) = T_s^{-1}(\omega) + 1 \quad (4)$$

$$U_s(\omega) = \begin{Bmatrix} U_{H_x H_x}(\omega) U_{H_x H_y}(\omega) U_{H_x Z_a}(\omega) \\ U_{H_y H_x}(\omega) U_{H_y H_y}(\omega) U_{H_y Z_a}(\omega) \\ U_{Z_n H_x}(\omega) U_{Z_n H_y}(\omega) U_{Z_n Z_a}(\omega) \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$U_s(\omega)$ 也是转换函数,它反映了观测磁场值 $\overline{H}(\omega)$ 和异常场 $\overline{H}_a(\omega)$ 之间的关系,其矩阵的各项系数反映了地下介质电性的横向不均匀性。根据式 (3) 和式 (5) 可得：

$$\begin{aligned} \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} &= \frac{U_{Z_n H_x} \cdot H_x(\omega) + U_{Z_n H_y} \cdot H_y(\omega) + U_{Z_n Z_a} \cdot Z_a(\omega)}{U_{H_x H_x} \cdot H_x(\omega) + U_{H_x H_y} \cdot H_y(\omega) + U_{H_x Z_a} \cdot Z_a(\omega)} \\ \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} &= \frac{U_{Z_n H_x} \cdot H_x(\omega) + U_{Z_n H_y} \cdot H_y(\omega) + U_{Z_n Z_a} \cdot Z_a(\omega)}{U_{H_y H_x} \cdot H_x(\omega) + U_{H_y H_y} \cdot H_y(\omega) + U_{H_y Z_a} \cdot Z_a(\omega)} \\ \frac{H_x(\omega)}{H_y(\omega)} &= \frac{U_{H_x H_x} \cdot H_x(\omega) + U_{H_x H_y} \cdot H_y(\omega) + U_{H_x Z_a} \cdot Z_a(\omega)}{U_{H_y H_x} \cdot H_x(\omega) + U_{H_y H_y} \cdot H_y(\omega) + U_{H_y Z_a} \cdot Z_a(\omega)} \end{aligned} \quad (6)$$

式中的 $Z(\omega)$ 、 $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$ 分别是地磁的垂直分量、南北向水平分量和东西向水平分量观测值;所有参量应是复数。如果 $Z(\omega)$ 、 $H_x(\omega)$ 、 $H_y(\omega)$ 均为谱幅度值,则

$$Y_{Z H_x} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \right| \dots Y_{Z H_y} = \left| \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} \right| \dots Y_{H_x H_y} = \left| \frac{H_x(\omega)}{H_y(\omega)} \right| \quad (7)$$

式 (7) 为三种谐波振幅比 $Y_{Z H_x}$ 、 $Y_{Z H_y}$ 及 $Y_{H_x H_y}$ 的表达式。式 (6) 对计算谐波振幅比并无用处,但它反应了谐波振幅比与地下介质电性的横向不均匀性及其异常场 $\overline{H}_a(\omega)$ 之间的关系,对地球介质没有诸如水平分层或各向同性等约束。可以预见的是,如果地下介质的电性参数发生变化,其谐波振幅比也应发生变化。

1.2 资料的处理

本文选取的资料为 1982 年至 1999 年共 18 年的上海佘山台和崇明台每月地磁最扰日地磁三分量相对观测资料(每月 7~10 张磁照图)。首先按每分钟一个点进行数字化采样,采样长度为 20 h,共 1 200 个点,将 D 分量的单位由角秒换算为 nT,谱分析前对采样资料进行 240 阶的低通富氏拟合滤波,以滤除 5 分钟以下的噪声。图 1 为

表 1 地震参数

序号	发震时间	震中位置		震级 / M_s	参考地名
		北纬	东经		
1	1984-05-21	32.5°	121.5°	6.2	南黄海
2	1986-05-23	32.5°	121.5°	4.6	南黄海
3	1987-02-17	33.6°	120.5°	5.0	射阳
4	1990-02-10	31.7°	121.0°	5.1	常熟
5	1991-11-05	33.7°	120.0°	4.7	射阳
6	1992-10-22	33.8°	120.3°	4.6	射阳
7	1996-11-09	31.8°	123.1°	6.1	南黄海
8	1997-07-28	33.7°	122.2°	5.1	南黄海

两个台站(两台站的间距不足 50 km)及震中距在 300 km 以内、震级在 M_s 4.5 以上的地震空间分布。表 1 给出了这些地震的参数。

地球物理学中目前经常采取的三种谱方法是富氏谱、最大商谱和最大似然谱估计法。由于地磁转换函数是频率的缓变函数,对频率的分辨率要求不高,用三种谱估计方法对大量的相同数据进行对比试验后发现,最大似然谱能满足最佳功率谱估计,其计算的转换函数优于其它两种方法^[11]。理论上地磁谐波振幅比也是频率的缓变函数,故以上结论同样也适用于谐波振幅比分析。为此本文采用李胜乐提供的最大似然谱估计法软件^[12]对地磁三分量数据进行了振幅谱估算,计算窗长为 120。在计算出振幅谱的月均值后获得三个谐波振幅比的逐月值,最后按一定的频带宽度计算了周期分别为 12、15、19、26、40、58、81、102 及 113 分钟的振幅比频带均值。图 2 为 1982~1989 年崇明台三种谐波振幅比逐月变化。

由图 2 可以看出,谐波振幅比的年变化较大,尤其是 Y_{ZH_s} 及 $Y_{H_sH_s}$ 。对余山台的计算结果亦是如此。经对比分析发现用窗长为 12 个月的滑动平均法可有效消除这些年变化及一年以内的短周期变化。两台站消除年变化后的逐月变化曲线及地震见图 3。

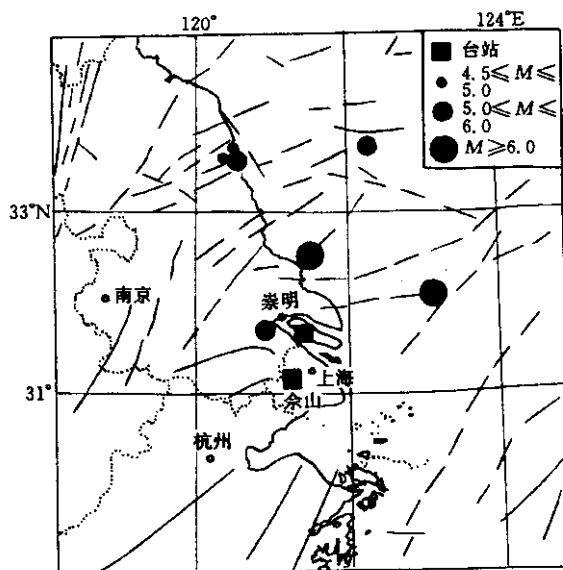


图 1 地磁台站及 $M_s \geq 4.5$ 地震分布

Fig. 1 Distribution of geomagnetic stations and $M_s \geq 4.5$ earthquakes.

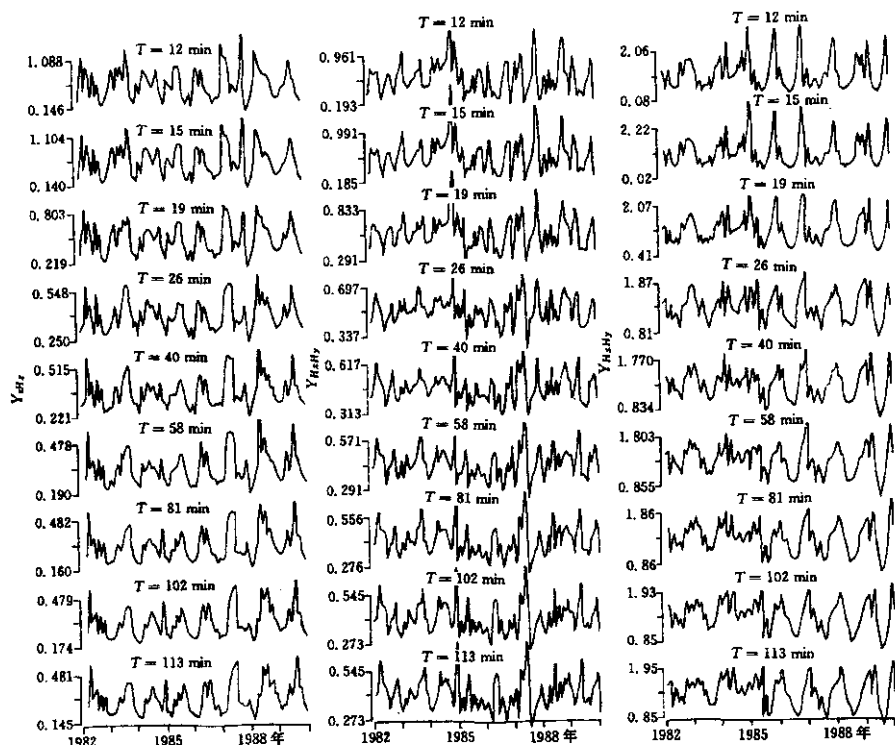


图 2 崇明台地磁谐波振幅比逐月变化曲线

Fig. 2 Monthly variation of the amplitude ratio of geomagnetic harmonic wave in Chongming geomagnetic station.

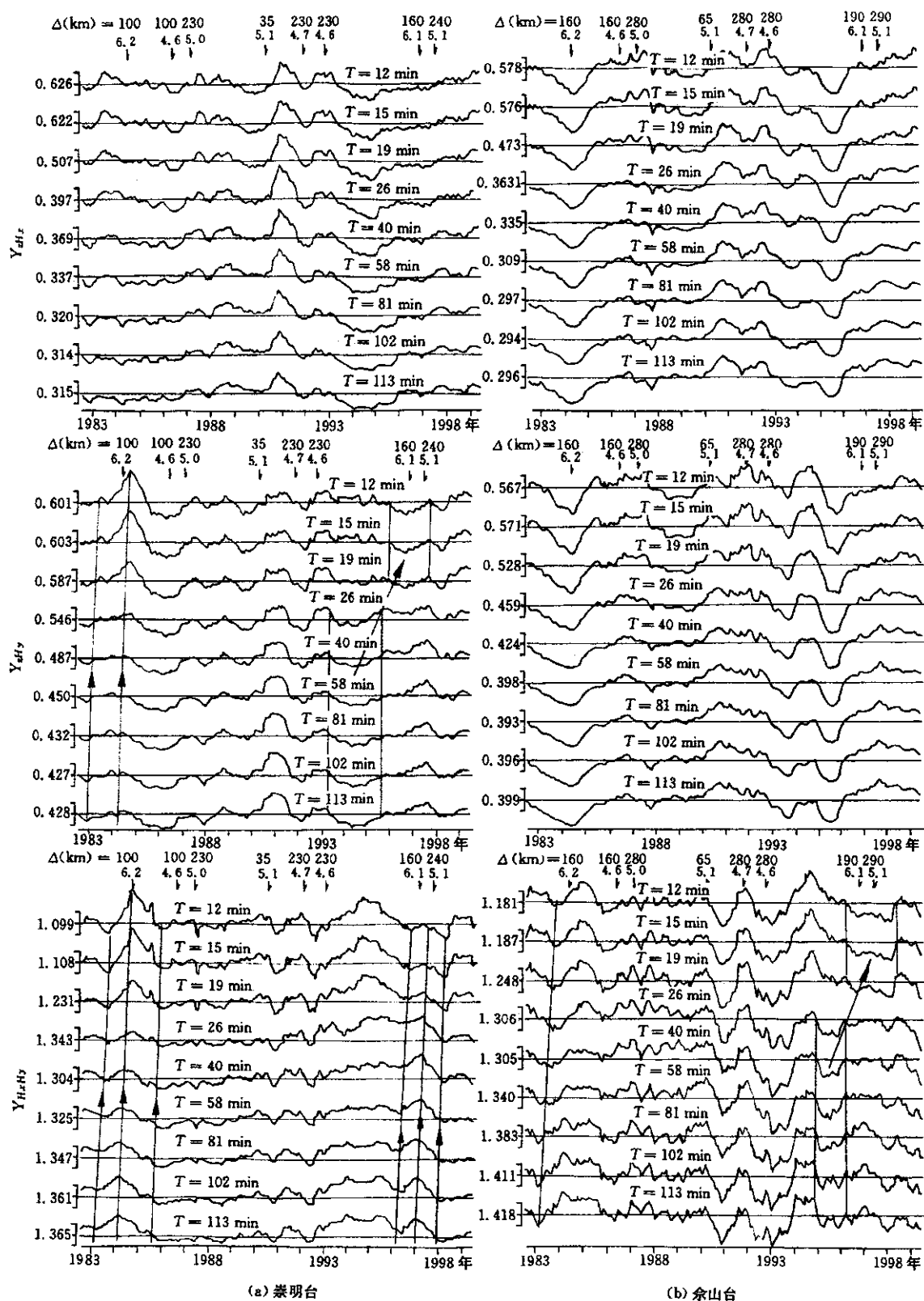


图 3 地磁谐波振幅比逐月变化与地震

Fig. 3 Monthly variation of the amplitude ratio of geomagnetic harmonic wave and the correlative earthquakes.

2 异常特征初步分析

2.1 一般性讨论

由图3可以初步看出,地震发生前后谐波振幅比的趋势性变化特征与地电阻率趋势性异常特征很相似^[13],一般都表现为下降变化,并有转折—恢复的变化过程特征,且有时并不恢复到原有水平;异常持续时间为1~3年,持续时间的长短似乎与震级有关,地震基本发生在趋势性下降变化的转折或恢复过程中;同时这种变化还有由初期的长周期部分(地球深部)向后期的短周期部分(地球浅部)迁移的较为明显的连续变化特征(图3中的箭头所示)。具体叙述如下:

(1) 1996年11月9日南黄海 $M_s 6.1$ 地震及 1997年7月28日南黄海 $M_s 5.1$ 地震

由图3可以看出,从1993年初至1997年末,两个台站的 Y_{ZH_x} 及 Y_{ZH_y} 均有下降—转折—恢复的变化过程,地震发生在恢复过程中。震前异常变化持续时间约3.5年,到1998年初结束时总持续时间约4.5年。其间余山台在1994年下半年有一次恢复变化过程, Y_{ZH_x} 的恢复幅度较小,而 Y_{ZH_y} 恢复幅度较大,崇明台的 Y_{ZH_y} 的长周期部分(26~113分钟)的变化过程开始较早,短周期部分(12~19分钟)的变化过程开始较晚,即异常具有由初期的长周期部分向后期的短周期部分迁移现象。两个台站的 $Y_{H_x H_y}$ 下降变化从1994年底开始,震前异常持续时间约2年,持续总时间约3年。期间1996年中至1997年末崇明台的 $Y_{H_x H_y}$ 有一次恢复—转折—下降变化过程,并具有明显的由长周期向短周期迁移的特征;余山台也有同样特征,但不十分明显。

(2) 1984年5月21日南黄海 $M_s 6.2$ 地震

由于缺1982年6月以前的资料,以下讨论可能不全面,尤其是异常开始时间。该地震的异常下降—转折—恢复的变化特征以余山台的三个谐波振幅比的变化幅度最大、最简洁, $Y_{H_x H_y}$ 具有长周期向短周期迁移的特征,但不十分明显,地震发生在转折及恢复的过程中,震前异常变化持续时间至少约2年。崇明台距该地震仅100 km,除 $Y_{H_x H_y}$ 具有这些变化特征且迁移特征较明显外, Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 的变化特征都不十分明显(可能也与缺资料有关),但可发现地震发生在 Y_{ZH_y} 异常恢复的过程中。

(3) 1990年2月10日常熟 $M_s 5.1$ 地震

该地震的震中距较小(距崇明台35 km,距余山台65 km),除 $Y_{H_x H_y}$ 外,两个台站的 Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 短周期部分均有下降—转折—恢复的变化特征,但长周期部分不明显或基本没有这种变化,地震发生在异常恢复至接近结束时,震前异常在崇明台约1年,余山台约2年。

(4) 1991年11月5日射阳 $M_s 4.7$ 地震及 1992年10月22日射阳 $M_s 4.6$ 地震

这两个地震的震级虽然偏小,但仍有如下特征:在震前约1年时间内,两个台站的 Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 都有下降—转折—恢复的变化特征,以短周期部分最明显,两个台站的 $Y_{H_x H_y}$ 的变化均从1990年上半年开始,崇明台至1992年年底结束,余山台至1993年年底结束,两个台站在1991年至1992年均有一次恢复变化过程,显示两次地震异常之间有一明显的分界,两次异常的持续时间各约1年多。

1986年5月23日黄海 $M_s 4.6$ 地震及 1987年2月17日射阳 $M_s 5.0$ 地震的异常变化不十分明显,仅有崇明台的 Y_{ZH_x} 和 Y_{ZH_y} 有些异常变化,持续时间约2年。

2.2 异常时间与震级关系的进一步讨论

由于图3中涉及到的周期太多,故其异常持续时间与震级的关系不十分清晰,为此图4给出了两个台站周期为15分钟的三个谐波振幅比的变化过程,并按前面讨论的结果给出了各地震的异常变化区(图中阴影区)。同时进行了编号。

由图中的②、③和④号异常区可以看出,5级左右地震震前异常持续一般约为半年至2年,异常总时间一般约为1~2年左右。由于①号区缺资料,只能以⑤号区讨论6级左右地震异常持续时间:考虑到⑤号区内还有一次5级地震,发震间隔约8个月,可初步认为6级左右地震异常持续的总时间应比⑤号区短,估计一般约为2~3年左右,震前异常时间一般约为1~2年。

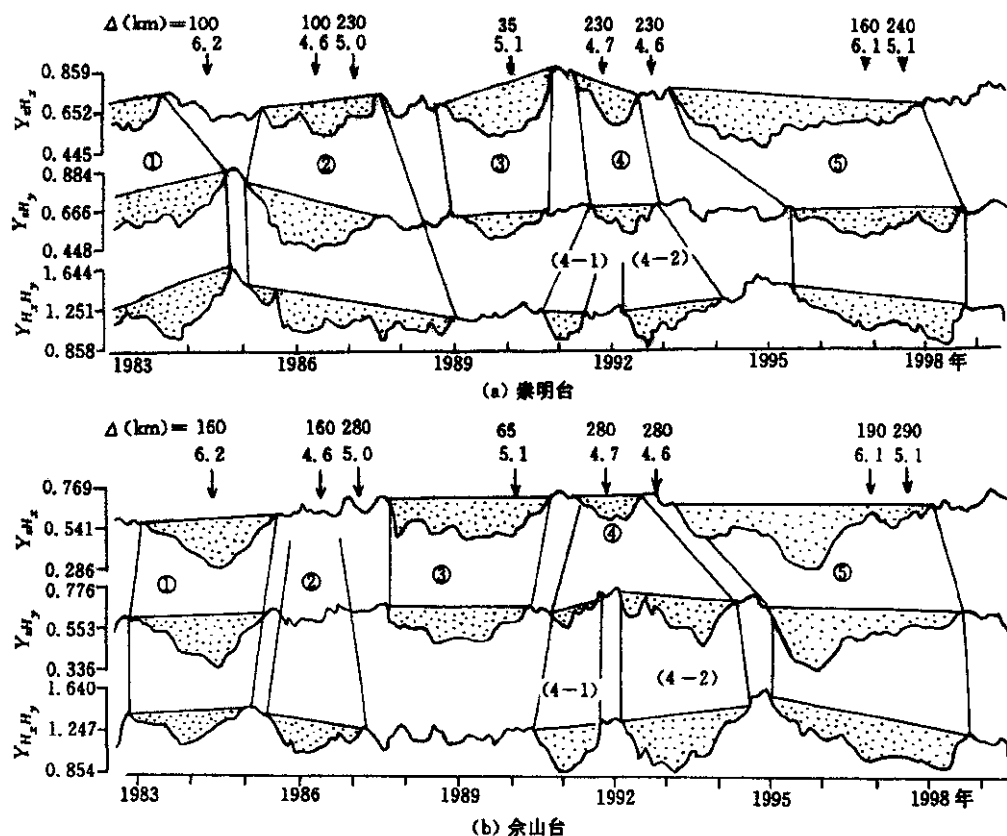


图4 地磁谐波振幅比逐月变化与地震(周期为15min)

Fig. 4 Monthly variation of the amplitude ratio of geomagnetic humorous wave and the correlation earthquakes(period = 15min).

3 结论与讨论

3.1 结论

得出以下3点结论:

(1) 地震发生前后地磁谐波振幅比的趋势性异常变化特征与地电阻率的趋势性地震异常特征相似,表现为下降变化,并有转折—恢复的变化过程特征,而且有时并不恢复到原有水平。

(2) 异常持续时间为1~3年,持续时间的长短似乎与震级呈正相关。5级左右的地震异常持续总时间约1~2年,震前异常约为半年至2年,而6级左右地震的异常持续总时间约2~3年,震前异常约为1~2年,地震基本发生在趋势性下降变化后的转折或恢复过程中。

(3) 变化过程具有由初期的长周期部分(地球深部)向后期的短周期部分(地球浅部)迁移的较为明显的特征。

3.2 讨论

对于随时间周期变化的不均匀场源,在地球介质为均匀各向同性的平面导体的条件下^[14]

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} = \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} = i \frac{\lambda}{\theta} \\ \theta^2 = \sigma \mu \omega \cdot i + \lambda^2 \end{aligned} \right. \quad (8)$$

$$\left(\frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} / \frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \right) = \frac{H_x(\omega)}{H_y(\omega)} = 1 \quad (9)$$

$Z(\omega)/H_x(\omega)$ 与 $Z(\omega)/H_y(\omega)$ 没有差异, $H_x(\omega)/H_y(\omega)$ 也变得没有意义。但实际的地球介质是不均匀的

和各向异性的,此时 $\frac{Z(\omega)}{H_x(\omega)} \neq \frac{Z(\omega)}{H_y(\omega)} \frac{H_x(\omega)}{H_y(\omega)}$ 与地下电性介质的各向异性有一定的关系。研究表明^[15,16],

与地震孕育过程有关的电性异常更有可能来自于介质的各向异性变化,因此研究 $\frac{H_x(\omega)}{H_y(\omega)}$ 在地震孕育过程中的变化有一定的意义。

本文的讨论很初步和肤浅,如图4中变化曲线的大部分似乎全是异常,这虽然可能与研究时间区内地震较多且发震时间分布较均匀有关,但肯定与该方法的异常判据指标很粗糙有关,这有待今后进一步研究完善。

[参考文献]

- [1] 冯志生,范国华.蒙特卡罗反演法的改进及其在大地电磁测深资料解释中的应用[J].地震学报,1990,12(3):292-298.
- [2] 祁贵仲,詹志佳,侯作中,等.渤海地区地磁短周期变化异常、上地幔高导层的分布及其与唐山地震的关系[J].中国科学,1981,7:869-879.
- [3] 龚绍京,吴占峰.唐山地震可能伴随的地电导率变化[J].地震学报,1986,8(1):28-35.
- [4] 曾小苹,林云芳,赵跃晨,等.喀什台地磁短周期转换函数变化异常与附近地震的关系[A].见:国家地震局科技监测司主编.地震预报方法实用化文集——地磁地电专集[C].北京:学术期刊出版社,1990.157-163.
- [5] 曾小苹,林云芳.地磁短周期变化异常对中国中强地震的响应[J].地震,1995,15(1):29-36.
- [6] 范国华,姚同起,韩克礼,等.陕西地磁短周期变化分布特征[J].地震学报,1998,20(6):614-621.
- [7] 龚绍京,田真丽,戚成柱,等.地磁水平场转换函数的短期前兆[J].地震学报,2001,23(3):280-288.
- [8] 丁鉴海,卢振业,黄雪香.地震地磁学[M].北京:地震出版社,1994.237-245,278-289.
- [9] Schmucker U. Anomalies of geomagnetic variations in the southwestern United States[A]. in: Bull. Scripps Inst. Oceanogr. [C]. La Jolla: Univ. of Calif., 1970. 165.
- [10] Tsuneki Rikitake, Yoshimori Honkura. Solid Earth Geomagnetism[M]. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 1985. 295-300.
- [11] 曾小苹,林云芳,赵跃晨,等.最大似然谱估计方法及其在震磁关系中的应用[J].地震学报,1996,18(3):400-403.
- [12] 蒋均,李胜乐,张雁宾,等.地震前兆信息处理与软件系统[M].北京:地震出版社,2000.92-94.
- [13] 国家地震局预测预防司.地震预报系列教材——电磁学分析预报方法[M].北京:地震出版社,1998.88-89.
- [14] 北京大学.中国科学技术大学地球物理教研室.地磁学教程[M].北京:地震出版社,1986.288-297.
- [15] 阮爱国,李清河.地壳介质各向异性电性本构关系讨论[J].华南地震,1999,19(3):35-42.
- [16] 阮爱国,李清河,赵和云. APE理论与地电阻率前兆[J].西北地震学报,2000,22(3):209-216.

PRELIMINARY STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF LONG AND MEDIUM TERM VARIATION FOR THE AMPLITUDE RATIO OF GEOMAGNETIC HUMOROUS WAVE BEFORE MODERATE-STRONG EARTHQUAKES

FENG Zhi-sheng, MEI Wei-ping, ZHANG Xiu-xia,
ZHUANG Ming-long, ZHANG Xiao-yong
(Seismological Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China)

Abstract The amplitude ratios of short-period geomagnetic humorous wave among the three components from Sheshan and Chongming geomagnetic stations, Shanghai city, from 1982 to 1999 are obtained, with the technology of maximum-likelihood method (MLM). By preliminary analysis, the characteristics of long and medium term anomalous variation of the ratio in seismogenic process of moderate-strong earthquakes are declining, turning then resuming, and the duration is about 1~3 years. Meanwhile the migration characteristics of the anomalous variation from long-period to short-period are found.

Key words: Geomagnetic anomaly; Humorous wave; Amplitude ratio