

利用地磁场总强度预测地震三要素初探

王庆玺, 欧阳小龙

(河南省焦作市地震局, 河南 焦作 454000)

摘要: 计算了河南省 6 个台站的相邻时段的地磁场总强度观测资料的自相关系数, 分析了各台自相关系数的变化与地震的关系. 各台的自相关系数曲线对应地震的效果较好. 发震时间一般在异常低值后 1~8 个月. 统计得出了各台所对应的地震震级与自相关系数异常面积和震中距的经验公式. 利用 3 个以上台站的经验公式和交汇法, 即可以求出震中位置和地震震级. 经震例检验, 该方法基本可行.

关键词: 地磁场总强度; 自相关; 相关系数; 异常特征; 短期预报

中图分类号: P315.72⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)02-0131-06

0 引言

众所周知, 地磁场总强度观测资料往往受外空磁场变化的影响, 个别观测数值偏大或偏小. 另外, 地磁场的变化还存在着日、月、半年、1 年及较长时间的周期性变化. 地震前地磁场总强度变化量级很小, 仅从日均值、月均值变化曲线或其差分曲线上, 很难发现地震前的异常变化. 因此, 对于地磁场总强度观测资料必须进行处理.

作者曾采用了 2 种处理措施: 其一是不直接使用日均值, 而使用月均值或旬均值, 这样可以平滑部分外空磁场变化的影响; 其二是采取一定的时间窗长(一般用 1 年)和步长, 求台间相关系数和多台全相关系数的方法, 可以同时消除外空磁场的影响和周期性变化的影响. 经过处理后的资料对应地震的效果较好, 但是不足之处是不能使用单台资料进行分析. 为此作者采用了单台自相关分析方法来解决这一问题.

1 单台自相关分析方法

地震前的地磁异常变化在相对短的时间内存在. 在有异常变化时, 不同时段观测资料间的相关系数不相同. 相关系数的变化体现了地磁场总强度在震前的异常变化. 根据这一思路将一组月均值(旬均值)观测数据, 对一定的时间长度(年), 以一定的时间步长(月)滑动分段, 得到多段观测数据. 再按时间顺序, 求出每相邻时段观测数据间的相关系数, 分析相关系数的变化与地震的关系. 这种方法称为单台自相关分析方法, 所得出的相关系数称为单台自相关系数. 当无地震或地震很小时, 不存在地磁异常, 相邻时段的 2 组数据间的相关性好, 相关系数接近于 1; 当有地震时, 地磁场发生了异常变化, 后一时段的数据相对于前一时段的数据发生变化, 它们之间的相关性明显降低, 相关系数就偏离 1. 偏离的幅度越大, 说明地磁场异常变化也越

大, 对应的地震震级就越高或地震距台站越近.

单台自相关系数 R 的具体求解方法是:

对某台站取 m 个地磁场总强度月均值(旬均值)数据, 以 k 为数据窗长(1a), L 为滑动步长(1 个月或旬), 滑动求得如下数据段:

$$\begin{aligned}j_1 &= 1, 2, 3, \dots, k \\j_2 &= (1 + L), (2 + L), \dots, (k + L) \\&\vdots \\j_{m-(k+1)} &= m - (k + 1), m - (k + 2), \dots, m\end{aligned}$$

设前一时段观测数据为 x_i , 后一时段观测数据为 $y_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 则相关系数

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

按时间顺序求出所有 R 值, 绘制 $R-t$ 曲线, 分析曲线异常变化与地震的关系.

2 计算结果分析

在河南省内共有 7 个地磁场总强度观测台, 见图 1. 其中 6 个台从 1980 年开始有较可靠的观测资料. 经过计算得出如图 2 所示的 6 条自相关系数曲线. 从图 2 可以看出, 各曲线在多次地震前均出现低相关系数(R)异常. 一般在出现异常最低值后 8 个月内发生地震. 表 1 给出了郑州台的相关系数异常与所对应的地震的参数.

用最小二乘法原理拟合得出震级 (M_S) 与最远异常台站震中距(Δ) 的关系:

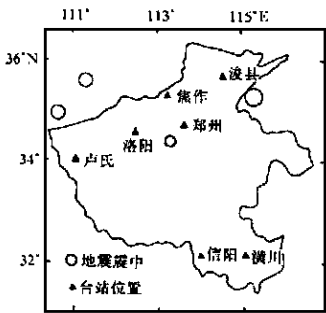


图 1 台站位置与震中分布
Fig. 1 Distribution of stations and epicenters.

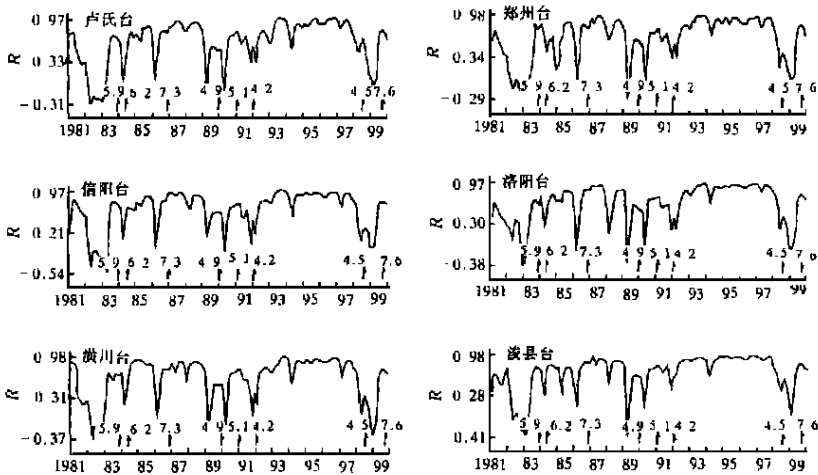


图 2 6 个站的地磁场总强度自相关系数曲线
Fig. 2 Autocorrelation coefficients of geomagnetic total intensity of 6 stations in Henan province.

$$M_S = 3.864 + 0.002348 \Delta$$

表 1 郑州台自相关系数异常与地震参数

时间	震中位置			震级 (M_S)	异常时间	异常最低值		相关系数和
	北纬	东经	地点			时间	异常值 (R)	
1983-11-07	35. 17°	115. 32°	山东菏泽	5. 9	1981-07~ 1983-07	1983-03	— 0. 163	9. 828
1984-05-21	32. 60°	121. 66°	南黄海	6. 2	1984-03~ 1984-07	1984-04	0. 410	0. 258
1985-11-30	37. 23°	114. 82°	河北任县	5. 3	1984-11~ 1985-02	1984-12	0. 391	0. 782
1986-11-15	24. 02°	121. 81°	台湾花莲	7. 3	1986-01~ 1986-06	1986-03	— 0. 011	1. 376
1989-12-25	35. 58°	111. 30°	山西侯马	4. 9	1989-02~ 1989-07	1989-04	— 0. 292	2. 078
1991-01-29	38. 47°	112. 53°	山西定襄	5. 1	1990-03~ 1990-07	1990-05	— 0. 013	1. 105
1992-01-14	34. 38°	113. 28°	河南登封	4. 2	1991-11~ 1992-01	1991-12	0. 325	0. 214
1998-07-11	35. 03°	110. 70°	山西临猗	4. 5	1998-02~ 1998-07	1998-04	0. 185	0. 885
1999-09-21	23. 7°	121. 10°	台湾南投	7. 6	1998-07~ 1999-05	1999-01	0. 013	1. 315

其相关系数为 0.905, 表明相关性很好. 用上述公式可计算出 5 级地震前的地磁场总强度异常半径为 484 km, 6 级地震为 910 km, 7 级地震为 1 336 km.

同样, 用最小二乘法原理求得震级与震中距和异常面积的经验公式:

$$M = a + b\Delta + cA$$

式中: Δ 为震中到台站的距离, A 为震前异常面积. 6 个台站的经验公式和相关系数如下:

郑州台:

$$M_{\text{郑}} = 4.3604 + 0.002480 \Delta_{\text{郑}} + 0.1027 A_{\text{郑}}$$

相关系数为 0.9664.

洛阳台:

$$M_{\text{洛}} = 4.4038 + 0.002069 \Delta_{\text{洛}} + 0.08009 A_{\text{洛}}$$

相关系数为 0.9779.

浚县台:

$$M_{\text{浚}} = 4.3230 + 0.002189 \Delta_{\text{浚}} + 0.1361 A_{\text{浚}}$$

相关系数为 0.9475.

卢氏台:

$$M_{\text{卢}} = 4.2709 + 0.002088 \Delta_{\text{卢}} + 0.05422 A_{\text{卢}}$$

相关系数为 0.9761.

潢川台:

$$M_{\text{潢}} = 3.3807 + 0.003452 \Delta_{\text{潢}} + 0.09461 A_{\text{潢}}$$

相关系数为 0.8919.

信阳台:

$$M_{\text{信}} = 3.4942 + 0.003280 \Delta_{\text{信}} + 0.07608 A_{\text{信}}$$

相关系数为 0.9455.

上述公式中异常面积的确定方法是:先计算出自相关系数的平均值.以自相关系数的平均值为标准,当自相关系数低于平均值时,作为异常开始,高于平均值时为异常结束,这样便可得到异常时间 t . 偏离平均值最多的数值便是异常的最大值 d . 一般情况下,异常形态呈三角形,则异常面积 A 等于 $1/2dt$. 在异常形态不呈三角形时,再另做处理.如 1983 年菏泽地震前的异常图形呈梯形,则按梯形求异常面积.

3 用交汇法求震中位置和震级

3.1 思路

在异常出现之后,异常面积是已知条件.根据 3 个以上台站的资料用交汇方法可求得震级和震中距.

首先,利用异常面积求出各台站在发生不同震级地震时,相对应的台站到震中的距离.然后以各台站为圆心,相应震级的距离为半径划出多个同心圆,再来分析台站间相同震级的圆相交的情况.

先分析 2 个台站相同震级的圆相交的情况.在震中距之和大于 2 个台站间距离时,2 台相同震级对应的圆必然相交于 2 点.所有相同震级对应的圆的交点连线是一条曲线.在这条曲线上的所有点同时满足 2 个台站的经验公式.用第 3 个台站的相同震级所对应的圆分别与前 2 个台站进行交汇,也可以划出 2 条曲线.3 条曲线必有一个交点或交出一个小小三角形,这个交点或小小三角形的中心即是将来发生地震的可能位置.用可能发生地震的位置到 3 个台站的距离,可分别计算出 3 个震级值,其平均值即是将来要发生的地震的震级.也可直接从交汇图上判断出未来地震的震级.

3.2 实际震例

以 1983 年 11 月 7 日山东菏泽 $M_S5.9$ 地震为例,用郑州、浚县和信阳台交汇该次地震的震中位置和震级,如图 3 所示(为了减轻图面负担,每个台站仅划出 2 个同心圆的弧).对于郑州台和浚县台以 $M_S5.7$ 和 5.8 地震计算出的距离所划 4 条圆弧有 4 个交点,这 4 个交点在曲线 AB 上. AB 曲线上的所有点都满足郑州和浚县台所建立的经验公式.同理 CD 和 EF 曲线上的点分别满足于浚县和信阳台,郑州和信阳台的经验公式.3 条曲线所交汇成的小三角形的中心(若为严格的数学方程,则应交汇于一点)就基本同时满足于 3 个台站的经验公式.三角形的中心点即是菏泽地震的震中(35.03°N , 115.25°E),距实际震中(35.17°N , 115.32°E)16 km.震级为 $M_S5.7^+$,与实际震级相差 0.2.

3.3 检验

用上述方法,分别对登封 $M_S4.2$ 、临猗 $M_S4.5$ 、侯马 $M_S4.9$ 和台湾南投 $M_S7.6$ 地震进行检验,其结果见

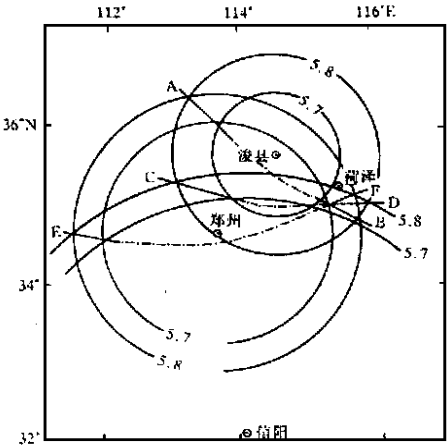


图 3 用郑州、浚县和信阳台交汇菏泽地震的震中位置

Fig. 3 Epicenter of the Heze earthquake intersected by using data of Zhengzhou, Xunxian and Xinyang stations.

表 2.

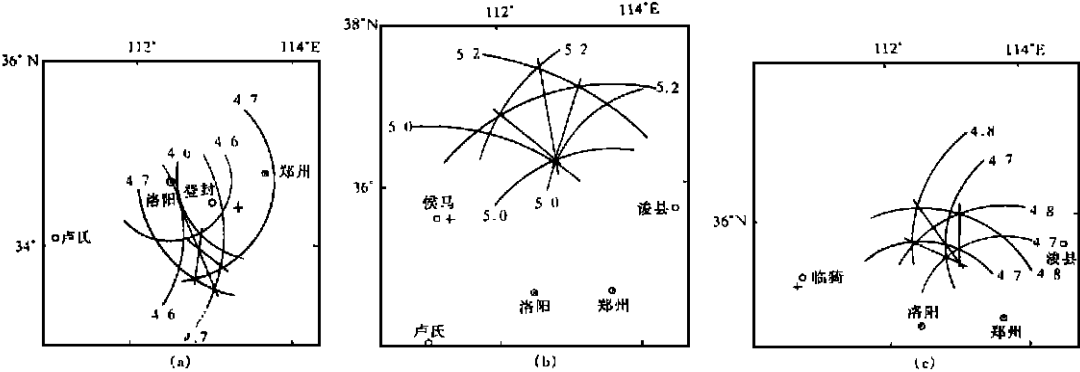
用郑州、洛阳和卢氏台对河南省内发生的 1992 年 1 月 14 日登封 $M_s4.2$ 地震进行交汇检验. 所得震级为 $M_s4.6$, 比实际震级高 0.4. 所交汇的震中位置为 33.98°N , 112.83°E , 与实际震中位置相差 61 km, 见图 4a.

表 2 对部分地震的预测检验结果

时间	实际震中位置			交汇的震中位置		震中误差/km	实际震级 (M_s)	检验震级 (M_s)	震级差
	北纬	东经	地点	北纬	东经				
1983-11-07	35.17°	115.32°	山东菏泽	35.03°	115.25°	16	5.9	5.7	-0.2
1989-12-25	35.58°	111.30°	山西侯马	36.33°	112.8°	159	4.9	5.0	+0.1
1992-01-14	34.38°	113.28°	河南登封	33.98°	112.83°	61	4.2	4.6	+0.4
1998-07-11	35.03°	110.70°	山西临猗	35.5°	113.0°	215	4.5	4.7	+0.2
1999-09-21	23.70°	121.10°	台湾南投	22.2°	118.5°	313	7.6	7.7	+0.1

用郑州、卢氏和浚县台对距离较远的 1989 年 12 月 25 日山西侯马 $M_s4.9$ 地震进行交汇检验. 所得震级为 $M_s5.0$, 比实际震级高 0.1. 所交汇的震中位置与实际震中位置相距 159 km, 见图 4b.

对 1998 年 7 月 11 日山西临猗 $M_s4.5$ 地震, 用浚县、洛阳和郑州台进行交汇检验. 所得震级为 $M_s4.7$, 比实际震级高 0.2. 所交汇的震中位置与实际震中位置相差 215 km, 见图 4c.



(a) 用郑州、洛阳和卢氏台交汇登封地震; (b) 用郑州、卢氏和浚县台
交汇侯马地震; (c) 用浚县、洛阳和郑州台交汇临猗地震

图 4 交汇的 3 次地震的震中位置

Fig. 4 Epicenters of three earthquakes intersected.

对距离较远的 1999 年 9 月 21 日台湾南投 $M_s7.6$ 地震也进行了交汇检验. 所得震级为 $M_s7.7$, 与实际震级相差 0.1. 所交汇的震中位置与实际震中位置相距 313 km.

从以上检验结果可以看出, 预测震级与实际震级最多相差 0.4 级, 而预测的震中位置与实际震中位置相差较大, 这一差距随实际地震与台站距离的增大而增大.

4 讨论

根据本文给出的震级与震中距的统计公式计算出的地磁场总强度异常半径, 显然比前人推算的异常范围要大. 但是由于上述计算结果是根据实际震例总结得出的, 因此应该是可信的. 1999 年 9 月 21 日台湾南投 $M_s7.6$ 地震是所对应的最远地震. 早在 1998 年 10 月编写焦作

市地震局年度地震趋势综合研究报告时, 作者就发现了地磁场总强度异常, 并对这一异常进行了跟踪分析. 1999 年 1~3 月, 各种分析方法的异常先后达到最大值, 尔后开始恢复. 根据各种异常变化, 作者于 1999 年 6 月 15 日和 1999 年 7 月 23 日 2 次向河南省地震局提出预报意见. 当时对发生地震的地点难以确定, 仅根据多种分析方法在各台站出现异常的先后顺序, 确定在河南省的东南方向近期有发生强震的可能. 结果于 1999 年 9 月 21 日在台湾省南投发生了 $M_s 7.6$ 地震. 该次地震距郑州、洛阳、浚县、卢氏、潢川和信阳台分别为 1 417、1 462、1 468、1 503、1 107 和 1 164 km. 在上述异常期间, 距离各台站 1 000 km 范围内没有 $M_s 5 \sim 6$ 地震发生. 因此, 认为前述地磁场总强度异常很可能与南投地震有关. 对于距震中 1 000 多公里地区为什么会出现磁异常的问题, 目前作者还不能作出合理的解释, 有待今后进一步研究.

另外, 由于地质构造的不同, 各台站显示的地磁异常的距离也会有所差异. 在经验公式的统计中, 没有考虑这一因素.

本文的研究结果是使用观测资料的月均值进行统计的. 若使用旬均值或五日均值, 则对发震时间的预测会更准确一些. 统计公式和由统计公式所预测的震级和震中位置也会更符合实际. 由于河南处于弱震区, 虽然使用了 20 年的观测资料, 但震例仍很少, 若用地震比较多的地区的地磁台网资料进行总结分析, 可能效果会更好一些.

本文得到河南省地震局苏莉华和焦作地震局同志们的大力支持, 在此表示感谢.

[参考文献]

- [1] 国家地震局科技监测司. 地震电磁观测技术[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- [2] 国家地震局科技监测司. 地震观测技术[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- [3] 中国科学院数学研究所统计组. 常用数理统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [4] 梅世蓉, 冯德益. 中国地震预报概论[M]. 北京: 地震出版社, 1993.

A PRELIMINARY STUDY ON PREDICTION OF EPICENTER, MAGNITUDE AND ORIGINAL TIME BY USING GEOMAGNETIC TOTAL INTENSITY

WANG Qing-xi, OUYANG Xiao-long

(*Seismological Office of Jiaozuo, Henan Province, Jiaozuo 454000, China*)

Abstract: Autocorrelation coefficients of data of geomagnetic total intensity of neighboring periods from six stations in Henan province are calculated respectively. The relationship between the coefficients and earthquakes is analysed. The results show there is a good correlation between them. The original time is usually within 1~8 months after the lowest value of the coefficients. Empirical formulas between magnitude, anomalous area of the autocorrelation coefficients and epicentral distance for every station are statistically obtained. By using the empirical formulas of three or more stations and intersection method, the magnitude and epicenter of coming earthquake can be forecasted. The test results show the method is basically feasible.

Key words: Geomagnetic total intensity; Autocorrelation; Correlation coefficient; Anomalous character; Short-term earthquake prediction