

# 流动地磁测量中地震异常信息的探索

刘义高, 胡 诚, 张 明, 李立风, 潘海涛

(安徽省地震局, 安徽 合肥 230031)

摘 要:  $S$  方法将同一测期一条流动地磁测线各测点的变化叠加, 可抑制单个测点的干扰, 使可能存在的震磁异常信息凸现。本文研究了安徽省流动地磁测线  $S$  异常与邻近地区小震震群活动频次和中强地震的关系, 探讨了“震情窗”地区  $S$  异常与“震情窗”相关地区中强地震的相关性; 讨论了同一测期流动地磁测线各测点  $\delta f$  同向变化“现象”。

关键词:  $S$  方法; 流动地磁异常; 震情窗; 中强地震

中图分类号: P315.72<sup>+</sup>1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2004)04-0353-04

## 0 引 言

流动地磁测量测点(或环境)有时因农村生产或建设而变化, 因而单个测点的变化很难判断异常。对单个流动地磁测点资料进行分析时, 常以  $\delta f \geq 3 \text{ nT}$  作为判别异常的阈值<sup>[1]</sup>, 而模拟实验、震例总结等研究结果表明中等地震  $M_s < 5$  的震磁效应较小, 其反映的区域地磁场变化可能淹没在正常波动内, 给提取中等或中小地震的前兆异常信息带来困难。

$S$  方法注重流动地磁测线群体映震效应, 将区域地磁场的多个流动地磁测点  $\delta f$  叠加, 在一定程度上消减单个测点(或其环境)受到干扰产生的影响, 使可能出现的震磁前兆异常凸现, 有可能提取中等或中、小地震的前兆异常信息。

本文利用安徽省流动地磁测量资料, 讨论  $S$  方法异常与地震的关系, 探索在  $S$  异常中提取中、小地震前兆信息的方法。

## 1 $S$ 方法简介

研究表明, 受应力场作用, 岩体发生微破裂, 渗入  $H_2O$  等电介质, 岩体的电导率会发生变化<sup>[2]</sup>, 岩体受剪切、挤压、拉伸等应力作用, 电性会发生变化<sup>[3]</sup>。这些导致区域地磁场出现异常, 是以磁报震的物理基础。由于孕震区应力场的空间尺度较大, 为几十至几百公里, 而流动地磁测线(网)内测点分布稠密, 相邻测点距离最小为数公里, 因此流磁测线同期出现两个或两个以上测点异常变化的可信度较高。

$S$  方法资料处理的前期部分相同于流动地磁测量日常处理方法, 即先测量流动地磁测点  $i$  的通化值  $F_i$  和基点(日变台)的通化值  $F_0$  之差值  $\Delta F_i$ :  $\Delta F_i = F_i - F_0$ ; 再求前后两期测量的  $\Delta F_i$  变化量:  $\delta f_i = \Delta F_{i2} - \Delta F_{i1}$ 。式中  $\Delta F_{i1}$  为测点  $i$  前一期通化值差值;  $\Delta F_{i2}$  为后一期差值。 $S$  为所有测点的  $\delta f$  之和:  $S = \sum_{i=1}^n |\delta f_i|$

$$|S| = |\delta f_1| + |\delta f_2| + |\delta f_3| + \dots + |\delta f_n| \quad (1)$$

求得  $S$  后, 作  $S - T$  时序系列分析。当一期的  $S >$  阈值  $F_u$ , 可确定为流动地磁测线的异常。

## 2 $S$ 方法预报地震的探索

### 2.1 $S$ 方法监测小震震群活动

选用安徽霍山“震情窗”流动地磁测线 12 个测点 1986 年第 1 期至 2000 年第 3 期资料, 阈值  $F_u =$

26.0 nT。选用的地震目录为1986年1月1日到2000年10月31日  $M_L > 1.0$  ;范围为  $31.0^\circ - 33.0^\circ N, 115.0^\circ - 118.0^\circ E$ 。共有地震2700多条。采用的地震参数:地震频次  $N$  三个月求和,一个月滑动,阈值  $N_a = 76$  为判别异常指标。由图1可见  $S \geq F_u$  的1992、1995、1997年(1990年第1期,1991年第3期  $S \geq F_u$  的异常见2.3)与地震频次  $N > N_a$  的1993、1995、1998年对应较好,且其异常变化的幅度亦有一定程度对应。 $S$  异常与  $N$  异常的对应时间特征见表1。

设每一测期  $\delta f \geq 3$  nT的测点数为  $N_u$ ,平均值  $N_p$  为阈值,进行  $\delta f \geq 3$  nT测点数时序分析。其结果与  $S-T$  的时序系列分析相似。当  $N_u > N_p$ ,则一年内安徽霍山地区将出现地震活动频次增强的变化  $N > N_a$ ;反之,当  $N_u < N_p$ ,则  $N < N_a$ 。

阈值  $N_p > 2$  论证了流动地磁异常须存在于流动地磁测线的多个测点。

### 2.2 S方法监测中强地震

安徽省利辛县张村镇1999年12月30日发生  $M_S 4.1$  地震。震中与流磁皖东北测线的测点同处淮北平原,震中距离测线的基点(蒙城地磁台)41.7 km,距离测线中心151 km,距离测线各测点约120~180 km。

震前(1999年12月22日至12月26日)进行了1999年第4期流动地磁测量。运用  $S$  方法分析皖东北流磁测线资料,发现  $S = 33.2$  nT,超过了阈值  $F_u$  (26.4 nT),异常较明显(图2)。而同以蒙城地磁台为基点的皖六安流动地磁测线位于淮北平原南侧大别山余脉丘陵地带,其1999年第4期的  $S = 9.9$  nT,  $S < F_u$  (26.1 nT),说明皖东北测线的  $S$  异常并非基点(日变改正参考点)异常。安徽利辛地震2个半月后,2000年3月19日至3月22日皖东北流磁测线进行2000年第1期测量,  $S$  异常已恢复正常( $S = 17.6$  nT)。

1995年9月20日山东苍山( $34^\circ 57' N, 118^\circ 06' E$ )发生  $M_S 5.2$  地震。震中附近有山东省鲁南流动地磁测网,共30个测点。震中距通化台(日变改正参考点)马陵山地磁台42 km,距其他测点11.1~107.2 km。运用鲁南流动地磁测网1983—1999年的17年58期资料(1990年以前其测期有1年2期3期,4期不等,1990年以后均1年4期),作  $S$  方法分析。从图3看出,自1990年起鲁南流动地磁测网的  $S$  趋势性下降(线性拟合  $B < 0$ ),苍山  $M_S 5.2$  地震后,趋势变化回升( $B > 0$ )。地震发生在趋势变化转折处。

### 2.3 S方法监测“震情窗”的相关地区中强地震

地震学的“震情窗”是以小震震群的活动性

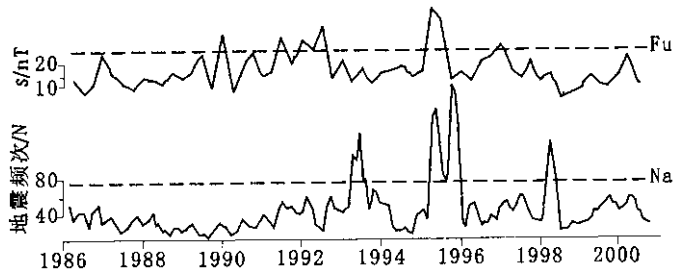


图1 安徽霍山流动地磁测线  $S$  和地震活动频次  $N$   
Fig. 1  $S$  values of mobile geomagnetic survey line and the frequency of seismic activity in Huoshan, Anhui province.

表1 安徽霍山流动地磁  $S$  异常与地震活动频次  $N$  异常对应表  
( $F_u = 26.0$  nT  $N_a = 76$  次)

$S$ 异常出现时间	$N$ 异常出现时间	$S$ 异常提前时间
1992年第1期—	1993年4月—	一年
1992年第3期	1993年7月	
1995年第2期—	1995年4月—	< 3个月
1995年第3期	1995年12月	
1997年第1期	1998年3月—	一年
	1995年5月	

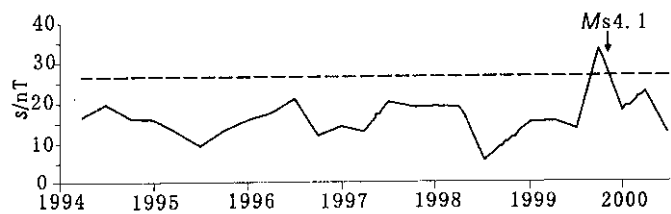


图2 皖东北流动地磁测线  $S - T$  图

Fig. 2  $S$  values of mobile geomagnetic survey line in northeastern Anhui.

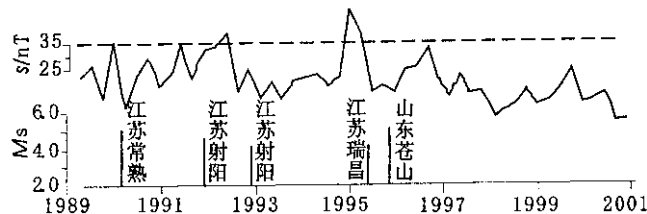


图3 鲁南流动地磁测网  $S - T$  图

Fig. 3  $S$  values of mobile geomagnetic survey line in southern Shandong.

预测相关地区的中等及中等以上地震的方法。据有关研究,安徽霍山的小震震群活动是反映华东地区中强地震的“震情窗”<sup>[5-6]</sup>。选用“震情窗”地区的皖六安流动地磁测线1986年第1期到2001年第3期共63期资料做S方法统计,地震目录选用华东地区(29°—35°N, 113°—124°E)1986年1月1日—2001年9月30日 $M_s \geq 2.3$ 地震共500余条。1989年以来,皖六安流动地磁测线S异常与华东地区(距离“震情窗”霍山500 km以内) $M_s \geq 4.5$ 地震的相关性较好(图4),共有5次 $S \geq F_u$ 的异常,对应华东地区(距离霍山“震情窗”500 km以内)5个 $M_s \geq 4.5$ 地震,震震时间与S异常出现的时间相差两个月左右(表2)。

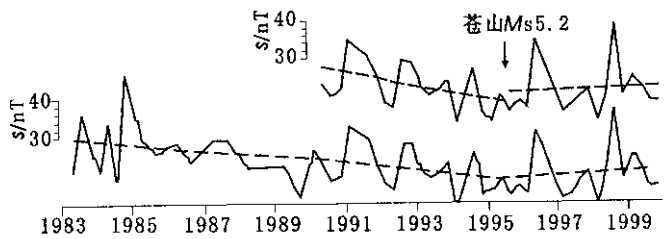


图4 安徽六安流动地磁测线S—T、华东(距离霍山“震情窗” $R < 500$  km) $M_s \geq 4.5$ 地震时序图  
Fig. 4 S values of “seismic condition window” area and the  $M_s \geq 4.5$  earthquakes in eastern China.

表2 华东地区 $M_s \geq 4.5$ 地震与皖六安流磁测线S异常

时间	经纬度	震级 $M_s$	地点	与流磁中心 距离/km	S异常出 现时间	相对地 震时间
1990-02-01	31°41'N 121°00'E	5.1	江苏常熟	429.4	1990年第1期 1990-04-01	震后
1991-11-01	33°41'N 121°01'E	4.7	江苏射阳	407.4	1991年第3期 1991-09-15	震前
1992-10-22	33°47'N 120°19'E	4.5	江苏射阳	436.6	1992年第3期 1992-09-22	震前
1995-04-15	29°36'N 115°36'E	4.5	江西瑞昌	233.9	1995年第2期 1995-06-22	震后
1995-09-20	34°58'N 118°06'E	5.2	山东苍山	407.4	1995年第3期 1995-09-26	震后

### 3 流动地磁测点 $\delta f_i$ “同向”

变化流动地磁测量测点 $\delta f_i$ 表示测点*i*处区域地磁场前后两期在时间域上的变化。在正常状况下,测点的 $\delta f_i$ 变化是随机的,同一测线同一测期 $\delta f > 0$ 、 $\delta f < 0$ 的测点个数分布是随机的。图5表明,在大多数测期中,各测点的 $\delta f$ 是分布在0值两侧的。

将安徽六安、皖东北两条流动地磁测线每一期各测点 $\delta f$ 求代数和:

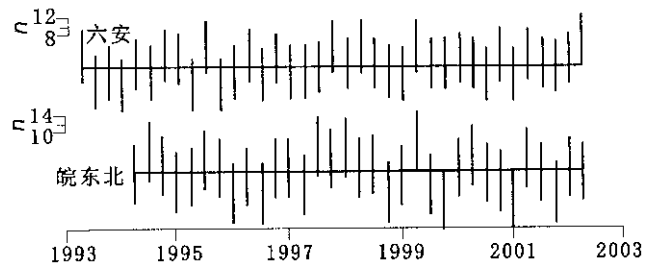


图5 皖东北、六安流磁测线 $\delta f > 0$ 和 $\delta f < 0$ 测点个数分布图

Fig. 5 The numbers of  $\delta f > 0$  and  $\delta f < 0$  for mobile geomagnetic survey lines in Lian and northeastern Anhui.

$S_j = \delta f_{i1,j} + \delta f_{i2,j} + \delta f_{i3,j} + \dots + \delta f_{in,j}$  (2)  
 $S_j$ 为流动地磁测线第*j*期的各测点 $\delta f_{in,j}$ 的代数和, $\delta f_{in,j}$ 为第*j*期第*in*测点 $\delta f$ 值。

皖六安流动地磁测线的 $S_j$ 均值 $S_{mean} = 0.5$  nT,皖东北流动地磁测线的 $S_j$ 均值 $S_{mean} = -0.5$  nT。 $S_{mean} \approx 0$ 的物理意义,其一,安徽省少震地区1993—2002年发生的最大地震为1999年利辛 $M_s 4.1$ 地震。根据模拟实验、震例总结等 $M_s < 5.0$ 的震磁效应 $\delta f < 3.0$  nT。 $S_{mean} \approx 0$ 与安徽省震情相吻合。其二,在同一测线同一测期 $\delta f > 0$ 、 $\delta f < 0$ 的测点个数在统计意义上是几率相等的。

将两条测线上发生所有测点的 $\delta f$ “同向”变化的情况进行统计:六安测线(12个测点)只有1次(2002年第2期),皖东北测线(14个测点)有3次 $\delta f > 0$ 的1次 $\delta f < 0$ 的2次(1999年第4期,2001年第1期)。当发生 $\delta f$ “同向”变化时,可能是流动地磁测线邻近地区中小地震的震磁异常信息,在流动地磁测线邻近地区可能在半年内发生中小地震(表3)。

### 4 讨论和结语

(1) S方法在一定程度上可预测6~12个月内流动地磁测线邻近地区地震活动频次的强弱。

(2) 安徽霍山“震情窗”地区的流动地磁测线  $S$  异常与华东地区(距离霍山“震情窗”500 km 以内)  $M_s \geq 4.5$  地震具有较好的相关性,论证了“震情窗”可以反映局部应力场的变化与震源应力场的变动效应。

(3) 1999 年 12 月 30 日安徽利辛  $M_s 4.1$  中等地震,其可能产生的区域地磁场变化很小。皖东北流动地磁测线 1999 年第 4 期测点的  $\delta f_i$  大多在  $-2.0$  nT 左右。 $S$  使震磁前兆异常信息凸现出来。

(4) 山东苍山地震前后,鲁南流动地磁测网的  $S$  异常表现为趋势下降-转折-趋势回升,地震发生在  $S$  趋势变化转折处。 $S$  趋势性下降可能与流动地磁测点和日变台都距离震中较近有关。流动地磁测点和日变台的地区都受孕震区应力场控制,区域磁场变化趋于一致,显示流动地磁测点与日变台区域磁场差异的  $\Delta F$  变化平缓,使得  $\delta f$  逐渐变小,从而  $S$  趋势性下降。震后震源区应力释放,主控作用减弱,流动地磁测点与日变台的区域磁场差异增大,使得  $\delta f$  变大,从而  $S$  趋势变化回升。

(5) 由于地质构造的复杂性和地震类型的多样性,各地区的流动地磁测线  $S$  方法的异常形态可能有所不同,地震预报方法也许有其各自适用的条件和范围。 $S$  方法的普适性仍需要作更多的研究。

感谢山东省地震局工程院、流动测量队提供山东流动地磁测量资料的支持和帮助。

[ 参考文献 ]

[ 1 ] 国家地震局科技监测司. 中国地震预报方法研究 [ M ]. 北京: 地震出版社, 1991. 321 - 329.  
 [ 2 ] 祁贵仲. “膨胀”磁效应 [ J ]. 地球物理学报, 1978, 21( 1 ): 18 - 33.  
 [ 3 ] 郝锦琦, L M Hastic, F D Stacey, 等. 三维位错模式的地震压缩磁效应 [ J ]. 地震学报, 1984, 6( 增刊 ): 558 - 573.  
 [ 4 ] 傅承义. 地球十讲 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1976. 126.  
 [ 5 ] 国家地震局科技监测司. 地震预报方法实用化文集—地震学专辑 [ M ]. 北京: 地震出版社, 1989. 296 - 311.  
 [ 6 ] 郑兆苾, 等. 霍山窗与华东中强地震关系研究 [ J ]. 地震学刊, 1999, 19( 2 ): 1 - 9.  
 [ 7 ] 刘义高. 六安流动地磁测量异常的映震能力探讨 [ J ]. 地震学刊, 2001, 21( 2 ): 11 - 14.  
 [ 8 ] 赵从利, 詹志佳, 高金田, 等. 北京地磁测网调整与地震预测研究 [ J ]. 西北地震学报, 2003, 25( 3 ): 275 - 280.  
 [ 9 ] 赵从利, 詹志佳, 高金田, 等. G856 质子旋进磁力仪及其在野外震磁测量中的应用 [ J ]. 西北地震学报, 2000, 22( 1 ): 74 - 78.

## EXPLORATION FOR ANOMALOUS INFORMATION IN MOBILE GEOMAGNETIC SURVEY

IIU Yi-gao, HU Cheng, ZHANG Min, LI Li-feng, PAN Hai-tao  
 ( Seismological Bureau of Anhui Province, Hefei 230031, China )

**Abstract :**  $S$  method, which superposes the change values of all survey points in same mobile geomagnetic survey line, can restrain the disturbance to single point and stick out the possible anomalous information of seismic geomagnetic field. In this paper the relationships between  $S$  anomaly and small seismic swarm, moderate - strong earthquakes in near region are researched, as well as the correlativity between the  $S$  anomaly in " seismic window " area and moderate - strong earthquakes in the connected region. At last the " Changes in same direction " phenomenon of  $\delta f$  values for all survey points in same survey line and in same time is discussed.

**Key words :**  $S$  method ; Anomaly of mobile geomagnetic survey ; Seismic window ; Moderate - strong earthquakes

表 3 流动地磁测点  $\delta f$  “同向”变化异常与邻近地区中小地震

测线名	测期( 时间 )	$\delta f$	地震时间	震中	震级 / $M_s$	测线中心与震中距离/km
皖六安	2002 年第 2 期		2002-07-14	安徽霍山	3.4	14. 9
	2002-06-24	$\delta f > 0$				
	1999 年第 2 期		1999-09-19	江苏大丰	3.3	331. 9
皖东北	1999-06-20	$\delta f > 0$				
	1999 年第 4 期		1999-12-30	安徽利辛	4.1	151.0
	1999-12-25	$\delta f < 0$				
	2001 年第 1 期		2001-04-14	江苏赣榆	3.2	229.5
	2001-03-30	$\delta f < 0$				