

湖南邵阳市郊微震活动特征及成因

肖和平

(湖南省邵阳市地震办公室)

摘要 本文在分析邵阳市郊震区地震地质调查资料的基础上,结合微震活动的特征和震区地质构造背景的研究,认为邵阳市郊的微震系由采矿触发断裂微滑动引起的,应属矿山诱发倾滑型构造地震。

据史载,特别是1971年湖南省建立地震台以来,邵阳市郊震区均无地震活动历史。然而,1984年12月至1986年9月,突然发生了一起微震群体活动,其中三次有感、最大震级为3.4级(ML,下同)。由于地震发生在人口周密的城市,引起了强烈的社会反应和地方政府及有关部门对此的关注。笔者通过对震区地震地质和地震活动资料的分析对邵阳市郊微震活动的形成机理进行了探讨。

一、地震活动特征

1. 地震序列

据湖南省地震目录,1985年1月至1986年9月,震区发生 $ML \geq 0$ 级微震53次(表1)。其中除1985年2月7日3.4级、2.9级和1986年6月30日1.5级地震有感外,其余均为无感小地震。另外,据湖南省地震办公室陈立军对1984年12月至1985年4月震中距约4公里的邵阳地震台65型与DD—1型微震仪记录图纸的判读¹⁾,获得可辨认的地震记录514次,其中377次可测定基本参数。

这些地震至邵阳台的震源距一般为1.7至16.2公里,绝大多数为4至8公里(图1)。

2. 3.4级有感地震特点

3.4级地震震中位于邵阳市石桥乡,东经 $111^{\circ}30'$ 、北纬 $27^{\circ}12'$,震源深约6.6公里。震源机制解:Ⅰ节面北 30° 东 ± 10 度,Ⅱ节面北 60° 西 ± 10 度。震中区烈度达Ⅳ度,有感波及范围达80平方公里,等震线近似浑圆(图2)。极震区人感上下颠簸和听到闷雷般地声,摆在地面的桌椅被震移约1公分,土墙上的陈旧裂缝被震宽,甚有屋顶中间红砖垛子(装饰用)被震跨等现象。

3.4级地震前微震活动主要集中在距邵阳地震台4~5公里(图1),震前的b值高出正常值一倍。

1) 陈立军,一九八五年初邵阳市微震活动时空特征初介,(油印件)1987年

表 1

1985—1986年邵阳市微震群地震序列*

Table 1. Microseismic sequence in Shaoyang City, 1985—1986

序号	发震时间		震级 (ML)	序号	发震时间		震级 (ML)
	年月日时一分一秒				年月日时一分一秒		
1	85年1月1日08—53—20.8		0.4	29	7月20日04—48—45		0.5
2	3日07—39—36.3		0.6	30	13—32—19		0.3
3	11日16—45—29.6		0.6	31	85年2月12日17—06—16.5		0.1
4	19日17—55—19.7		1.1	32	22—17—37		0.4
5	28日07—32—03		0.6	33	13日08—06—47.8		0.5
6	2月5日22—38—31.5		0.7	34	14日06—14—5.8		1.0
7	6日08—00—59.9		0.1	35	07—21—52		0.1
8	7日04—21—4.5		0.7	36	16日15—48—44		0.3
9	12—32—3.7		0.4	37	19日00—45—32		0.8
10	20—28—17.1		0.5	38	26日18—54—12		0.9
11	20—30—14.5		3.4	39	4月7日02—26—03.8		1.0
12	20—34—27		0.4	40	5月5日05—26—58.5		0.7
13	20—42—37		0.8	41	9日05—29—17.2		0.3
14	20—47—45.5		0.3	28	11日04—47—41.2		0.6
15	85年2月7日21—26—33.5		0.1	42	85年7月25日03—58—53		0.5
16	21—52—56		2.9	43	9月9日23—11—31.7		1.0
17	22—55—37.2		0.1	44	11月5日06—26—28		0.4
18	8日00—39—12.7		0.0	45	86年1月12日22—43—41.3		0.4
19	01—37—14.2		0.1	46	28日21—28—16.4		0.4
20	02—11—51.5		0.1	47	5月9日18—03—48.8		0.6
21	06—51—48.5		0.3	48	31日05—54—07.7		0.5
22	12—42—36.5		0.2	49	6月28日11—47		0.6
23	13—0.5—00		0.0	50	15—56		0.3
24	9日10—32—37.7		0.2	51	30日03—03—29		1.5
25	14—01—36.3		0.2	52	7月16日04—38—50		0.4
26	10日11—06—53.7		1.0	53	9月3日22—19—51.7		0.8
27	12日00—11—28.2		0.3				

* 据湖南省地震目录

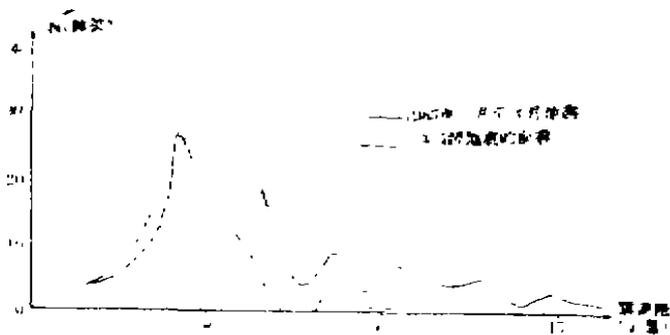


图1 邵阳地震台微震记录不同震源距分布图

Fig. 1 Distribution map of different distance from the focus which was record by Shaoyang Seismologic Station

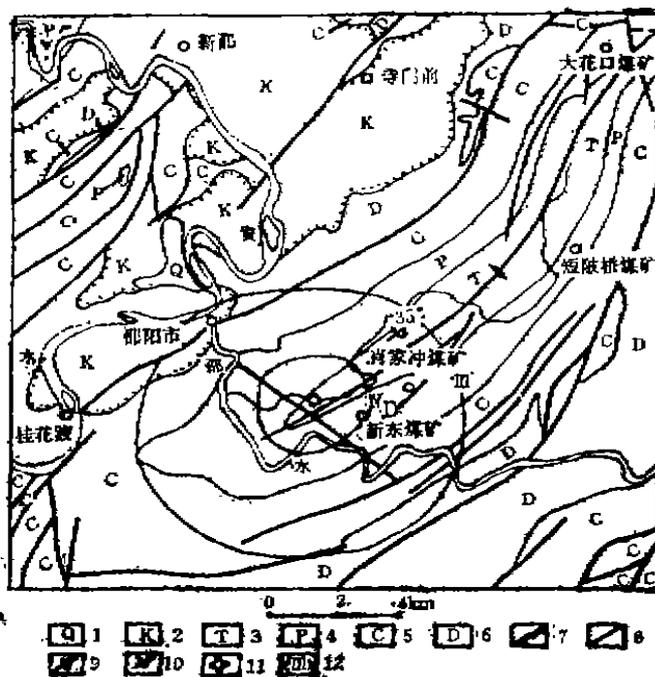


图2, 震区地质构造图

Fig. 2, Map of geological structure at the microseismic region

1. 第四系; 2. 白垩系; 3. 三迭系; 4. 二迭系;
 5. 石炭系; 6. 泥盆系; 7. 地层不整合; 8. 断裂;
 9. 向斜; 10. 倒转地层产状; 11. 3.4级地震震中;
 12. 等烈度线

3. 前兆信息

在微震活动序列中, 仅在3.4级地震前, 于距震中几公里范围内发现一些宏微观前兆异常。如, 地热异常(见下文)、形变和地应力(地土层应力)变异等现象。

(1) 形变异常

位于震中北西方位4公里处湖南省汽制厂水平摆倾斜仪, 自1982年至1984年下半年, 月均值矢量图反映地倾斜方向为北西—南东范围内变化(图3)。1984年11~12月突然从IV、Ⅲ象限转向I象限变为北东(变幅约4角秒), 震前急骤反为向南西, 震后复原为南东。形变前兆异常现象生动地勾划了震区运动状态, 即震区始终处于维持平衡状态的抗衡运动中, 震前发生了向北东倾斜的失调运动, 震后处调整恢复运动状态。

(2) 土层应力异常

由于震源体埋藏较浅, 所以, 埋设在地表土层中的应力仪接收到地震前兆信息。距震中南东1公里的邵阳市液压件厂75--1型地应力

仪, 测 I 于 1984 年 6 月开始缓慢下降, 至 8 月份变幅达 60 微安 (图 4), 恢复回升过程中发生了 3.4 级地震, 应力异常变化反映震区地表受到北 45° 西引张、北 45° 东挤压应力场的作用。与形变观测资料所反映的应力场具一致性。

二、震区地质背景

1. 区域地质构造及新构造活动背景

震区处于新华夏系第二沉降带内宁乡—邵阳相对隆起区, 邵阳—新宁和汨罗—宁乡活动断裂带首尾相接部, 邵阳弧形构造北翼, 短陂桥 S 型向斜构造南西端 (图 5)。作为震区背景构造—短陂桥 S 型向斜所处的地质构造环境为: 北侧为横亘连邵地区的白马山—龙山东西向构造带, 并与龙山穹隆构造北面的恩口—斗笠山 S 型旋扭构造遥相呼应; 南东为白垩纪—第三纪衡阳盆地和呈北东斜列的苗儿山—关帝庙隆起; 西面为桃江—新化—城步活动断裂带。

区域新构造活动方式以隆起为主。震区被邻近活动的白马山—龙山穹隆、四明山—关帝庙隆起、雪峰山隆起带等所围限。在上述构造活动的影响下, 震区附近的“邵阳红盆”发生明显的挠曲, 晚第三纪生成的资水发育五级第四纪河流阶地, 据资水河流 (邵阳段) 阶地的分析, 新构造运动以来, 年平均相对抬升速率为 0.02~0.04mm/年, 资水向东迁移的年平均速率为 0.64~0.96mm/年。区内“红层”底板出露线所反映的垂直运动平均速度梯度 ($1\text{grad} \cdot \text{v} \cdot \text{i}$, 百万年) 为 $0.20 \times 10^{-10}\text{年}^{-1} \sim 2.86 \times 10^{-9}\text{年}^{-1}$ 。

从水系网络与裂隙的相关性 (图 6), 及裂隙玫瑰图 (图 6c) 分析, 得出邵阳市一带裂隙发育的优势方向为北 45° 西左右, 其次为北 15° 西。

2. 震区地质构造

震区处于短陂桥 S 型构造的南西端。该构造为不对称的倒转向斜, 轴长约 24 公里, 轴面产状由南至中部倾向北西, 北部逐步扭转倾面南东 (图 2)。S 型构造内发育大小断

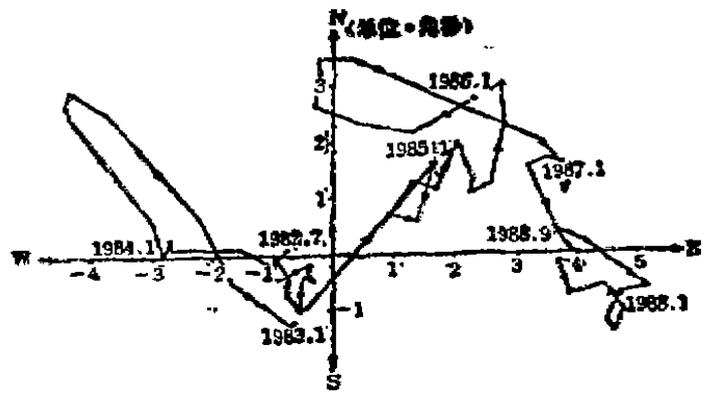


图 3 湖南汽制厂金属水平摆地倾斜仪测值月均值矢量图

Fig. 3 Vector map of monthly mean values of ground tilt with metal horizontal pendulum at the automobile factory, Hunan

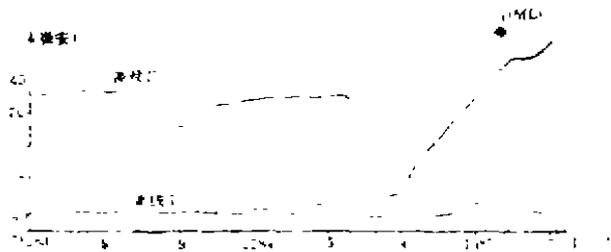


图 4 液压件厂 75-1 型地应力测值月均值图
Fig. 4 Map of monthly mean values of 75-1 type ground stress at the factory of liquid pressure element, Shaoyang

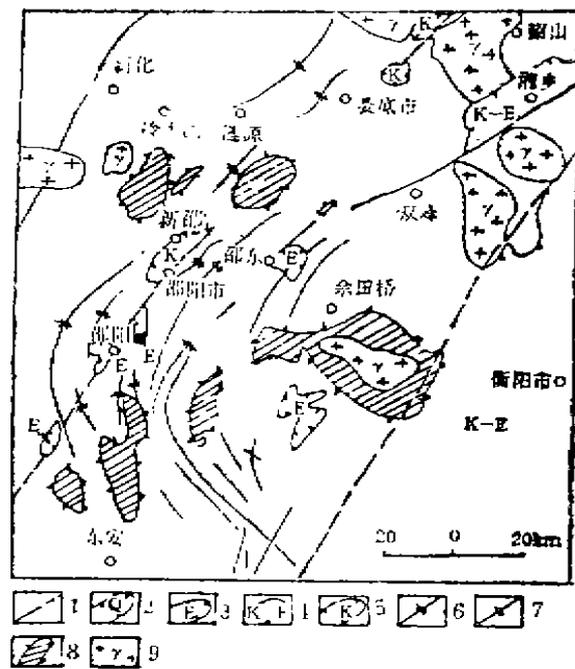


图5 涟源—邵阳区域构造略图

Fig. 5, Sketch map of regional structure in Lianyuan—Shaoyang

1. 断裂；2. 第四纪盆地；3. 早第三纪盆地；4. 白垩纪—早第三纪盆地；
5. 白垩纪盆地；6. 向斜；7. 背斜；8. 隆起构造；9. 花岗岩体

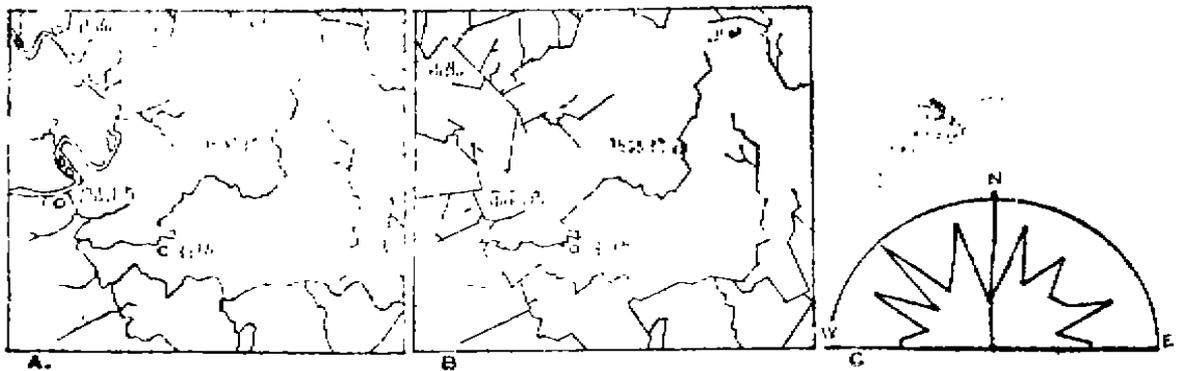


图6 震区附近水系网络与裂隙分析图

Fig. 6, Analysis map of network drainage system and crack at the earthquake area

1. 水系自然形态；2. 水系折线；3. 水系折线方位玫瑰图

裂220余条，主要分布在两端。两端断裂与S型构造呈反接复合关系。震区规模较大的北西断裂为雷坡断裂（F₂），该断裂为一逆时针扭动的压扭性（图7）逆冲断裂，震区可见延伸长度7约公里，断裂地貌清晰（图8）。微震序列中最大的地震（3.4级）的震中正|座

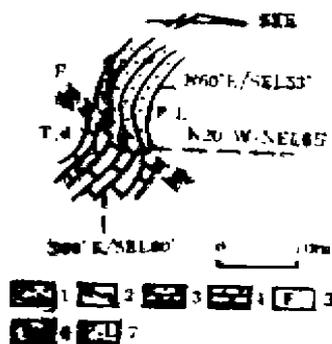


图7 荷叶塘雷坡断裂平面图

Fig. 7 Map of Leipo fault at Heyetang

1. 糜棱岩化破碎岩；2 断裂及扭动方式；3. 砂岩；
4. 灰岩；5. 雷坡断裂；6. 三迭系下统大冶组；
7. 二迭系上统龙潭组；

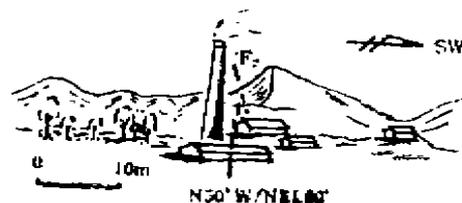


图8 邵阳市一中东面雷坡断裂地貌图

Fig. 8 Geomorphological map of Leipo fault at the east of the First Middle School in Shaoyang

落在该断裂上盘（北东盘）之上，显示断裂与微震活动存在密切的关系，即雷坡断裂为发震构造。

三、地震成因及发震机理讨论

地震震源是一个不断与周围介质进行物质和能量交换的开放系统^[1]。正是震源的这种性质，使震源在蕴震过程中发展并最终导致失稳而引发地震。

邵阳市郊微震的形成与发展可能是此类震源演化的结果。

1. 震源动力因子与地震应力场

震区特殊的先成构造格架为现今蕴育地震应力场奠定了力学边界条件和应力积累释放的力学奇异点创造了有利的地质构造条件。

众所周知，S型构造是在不均衡的应力场作用下的产物。短陂桥S型旋扭构造生成于印支—燕山期，它在地应力不断作用下，扭曲面两端深部积累相当高的弹性能，若岩石不断变过程中，由于某种原因导致松弛、地应力减弱时，局部地段就可能出现弹性恢复现象，发生方向相反的回弹旋扭运动。

就近地质时期以来，在近东西向压应力作用下，发育在短陂桥S型向斜两侧的邵阳市—黄塘、高崇山—黄荆断裂作一致性的右旋水平剪切运动（图9）。这种应力作用正与震前地形变和土层应力的变化相吻合。

此外，地应力的作用引起组成岩石的分子、原子的运动，发生相变。使处于特定物性介质中地应力转化为热能。微震活动之前，1984年6、7月曾于展布在煤系地层中瓦斯较突出

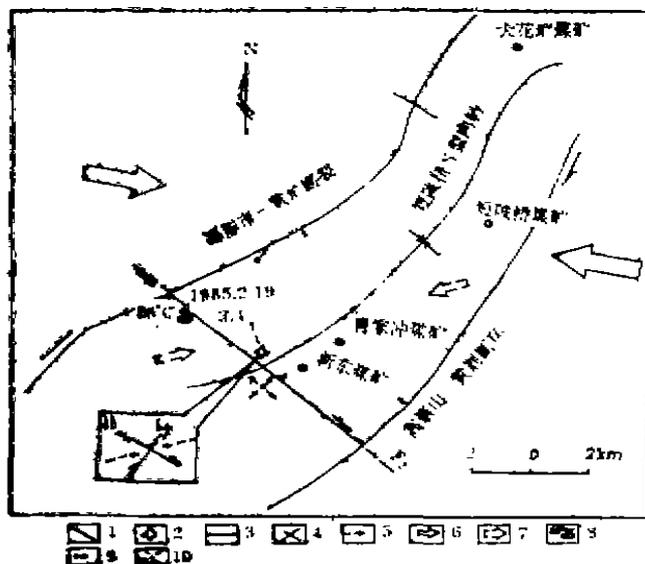


图9 震区应力场分析图

Fig. 9, Analysis map of stress field at the earthquake area

1. 断裂; 2. 震中; 3. 年月日, 震级; 4. 震源机制节面; 5. 推测震源P轴方位; 6. 现今区域应力场; 7. 震区应力场; 8. 地热异常及温度; 9. 震前形变异常点及地倾斜方向; 10. 震前地表应力场

(Host, 1968). 这种动态平衡可客观地考虑为岩体受到巨大的水平力的作用, 还要受到多种机制形成的垂直力的作用^[2]. 从力学观点看, 任何一个系统, 其状态总要保持平衡, 系统由一个平衡状态跃变到新的平衡状态时就发生了突变. 邵阳市郊微震活动正是震区动态平衡遭到破坏跃变为新的动态平衡效应.

3.4级地震宏观考察资料表明, 极震区基本分布在二迭系上统龙潭组煤系地层中. 微震活动始终围绕矿山分布, 短陂桥S型构造上分布大小煤矿五座, 建在向斜南东翼的有新东、肖家冲、短陂桥等三座煤矿(煤矿基本情况见表2). 煤矿不断地开采, 采空区随时间增长经常抽排地下水, 使原有的水文地质条件改变. 上述矿山的影响可视为“失衡因子”. 在地下深处岩体处于动态平衡状态时, 对微小的失衡因子的变化却显示出较高的敏感.

开采区所形成的采空区, 相当于一个自由面或软弱面, 它们为岩体内动态平衡调整提供了场所, 即对断裂产生一个移向自由面或软弱面的附加应力. 当震源处应力值很高时, 即处于运动临界状态, 这种附加应力就成了导致地震发生的诱发因素或触发因素^[3]. 换言之, 这种附加应力直接影响着震源体周围应力分布, 使中等主应力(垂直应力)值减弱, 降低了震源处岩石强度和发震断面上的正应力、摩擦强度、粘滑度等, 促岩块运动加剧或提前, 并决定了断裂的运动方式, 即作倾滑运动, 以致邵阳市郊微震活动出现地表—深部—地表迁移的规律.

(约每吨煤产100立方米瓦斯)的雷坡断裂北西延伸方向上的邵阳市电动工具厂二车间内, 出现高达68℃的地热异常带. 地热带长7米, 宽约1米. 平面组合形态为锯齿状, 呈北西20度, 东西转折追踪延展, 总体走向近东西向. 异常持续约9个月, 震后(3.4级地震后)2~3月消逝. 迹象表明, 激发微震活动的动力因子中有热应力的配合作用.

综上所述, 震区的震源主要动力因子为地壳内部的区域构造应力和局部次生构造应力及构造活动派生的热应力, 外加使震区应力得以松弛, 地应力减弱的“附加应力”. 正是这些动力因子的作用, 促短陂桥S型向斜收敛端部蕴酿着较为复杂的复合型地震应力场.

2. 震区附加应力

在地表下深度很大的地方, 岩石的主应力与上覆岩石垂直载荷之间不是静态稳定而是一种动态平衡

表2 短陂桥S型构造上煤矿基本情况

Table 2 Fundamental circumstances of coal mine onduanpiqiao
S-structure

矿名 项目	新东煤矿	肖家冲煤矿	短陂桥煤矿	大花塘煤矿
煤层平均厚度	1.2m	1.3—1.4m	0.8m	1.2m
开采深度	350m	350m	225m	340m
起始时间	1958年6月	1960年	1969年	1957年
排水量	10m ³ /小时	15m ³ /小时	20m ³ /小时	1.5m ³ /小时
年开采量	2.44万吨	4.96万吨	1.82万吨	2.55万吨
构造部位	南东翼	南东翼	南东翼	北西翼

注：据邵阳市煤炭局

总之，震区矿山开采造成的人为附加应力是震源应力场中不可缺少的外界动力因子。

3. 微震活动机理

虽然震区处在区域新构造活动强度不甚强烈的地区，但震区旋扭构造存在特殊的力学性质，使短陂桥S型旋扭构造扭曲面端部置于较高的弹性应变状态。在现今区域或局部构造应力场不断地作用下，震源区进入动态平衡的调整状态，所以，上覆岩层中垂直载荷（人为附加应力）的削弱变化，必然引起力学奇异点相呼应的“敏感”效应。上覆垂直载荷的变化可通过介质、断裂或裂隙等途径传递于地壳深部。阳市郊震区的人为附加应力主要通过发震断裂——雷坡断裂传递到地壳较深层位，使晚古生代构造层（D—P）与下伏构造层之间的不整合界面与发震断裂（震源机制解Ⅰ节面）复合部位聚集了高度的应力，从而蕴酿成震源区内的地震应力场。当震区动态平衡的自身调整能力小于破坏系统平衡作用力时，就产生了断层粘滑或微破裂，从而发生微震。

从上述机理看，可以将邵阳市郊微震类型归属于矿山诱发性倾滑型构造地震。

结 语

震区的微震活动经22个月的活跃后已平静下来，说明震区已完成从失衡到新的平衡状态跃变过程。据诱发性构造地震活动的特征分析，继地震活动高潮之后，震区的地震应力场应有一个重新调整积累的过程。今后如“时机”成熟，可能还会出现类似的周期性活动，直至震区应力“环境”条件稳定（相对稳定）为止。

本文撰写过程中曾到张玉岫、李玉文、陈立军等同志的热情指导和刘丰常、邓伯力等同志的帮助，在此深表谢忱。

参 考 文 献

- (1), 朱令人, 从耗散结构理论看地震预报的研究, 地震, 5, 1987.
(2), 康仲远、陆松澄, 地震过程的几个突变理论模型, 地震统计预报论文集, 地震出版社, 1982.
(3), 徐世杰等, “矿震”诱发机制的探讨, 地震, 5, 1987.

THE CHARACTERISTICS AND THE CAUSE OF MICROSEISMIC ACTIVITY AT THE OUTSKIRT OF SHAOYANG, HUNAN

Xiao Heping

(Seismological Office of Shaoyang, Hunan Province)

[Abstract] based on the analysis data of seismogeology and combined with the study of the characteristics of microseismic activity and the background of tectonic setting in the earthquake area of Shaoyang, the author thinks that the microearthquakes at the outskirts of Shaoyang are caused by fault microslip which rised in mining.