

# 湖北秭归罗圈荒微震群的成因及其类型鉴别<sup>\*</sup>

张丽芬, 姚运生, 吴海波, 王 墩, 申学林

(中国地震局地震研究所, 武汉 430071)

**摘要:** 2007 年 9 月 22 日至 10 月 18 日在湖北秭归罗圈荒地区发生了一次微震群活动, 其中最大为 10 月 7 日的  $M_L 2.9$  地震。震群的宏观震中位于郭家坝镇黄泥滩一带, 极震区较小、地震波衰减较快, 反映出该微震群的浅源特点。对该区及附近的天然地震和水库地震的波形、波谱特征以及拐角频率等进行对比分析, 发现罗圈荒微震群与天然地震及水库地震有较明显差异, 综合判定该微震群为矿震。

**关键词:** 地震成因; 微震群; 地震波谱; 地震类型鉴别; 湖北

**中图分类号:** P315.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)03-0222-06

## 0 前言

三峡工程自 156 m 水位蓄水以来, 水库水位在 145~156 m 运行条件下, 湖北省秭归县、巴东县境内发生了一系列微震、极微震活动。其中秭归县周坪镇西的罗圈荒微震群活动较为密集, 且在部分地区明显有感, 引起了相关部门的高度重视。查明该微震群的成因, 确定其属水库诱发地震、构造地震还是矿震就是本文要解决的问题。

众所周知, 水库地震灾害是现代社会的一种重要自然灾害, 由于其震源比较浅, 不仅比同等级的构造地震所造成的灾害要严重得多, 而且可能引起水患和社会恐慌, 次生灾害甚至比地震本身的直接灾害更为严重。因此, 水库诱发地震问题日益引起人们的关注, 已成为水电工程建设中的重要研究课题之一。

经过 40 余年的探索, 水库地震研究已取得了很大的进展。人们在水库地震的序列活动性特征、成因类型、诱震环境条件、地质构造条件等方面取得了一些成果。对水库诱发地震、天然地震和其它类型地震的鉴别已有一些公认的方法, 但这些方法大都是根据地震活动性特征和地质构造条件得出的。随着全国数字地震观测网络的投入使用, 除了帮助研究人员对丰富的数字化地震波形

资料进行定性分析外, 还为人们开展数字地震波谱研究提供了条件。张萍等 (2005) 根据辽宁数字地震台网的爆破、矿震与地震的数字记录资料, 采用波谱分析的方法, 对比研究波谱特征, 发现爆破、矿震与地震的纵、横波拐角频率及最大谱值等存在差异。姚立珣等 (2005) 则对水库诱发地震的震源谱做过研究, 发现水库诱发地震的拐角频率明显小于构造地震的。对三峡地区典型微震群进行全面、系统的对比分析和研究, 提取更多具有短临预报意义的信息, 对今后本区发生类似震群的性质判定以及后续地震的预报具有一定的意义。

## 1 研究区地质概况

研究区在区域构造上位于上扬子台褶带秭归盆地南缘, 该区表现为以南北向长江支流童庄河强烈切割的中低山、低高山地形地貌。

区内主要出露三叠系、二叠系、石炭系中统、泥盆系上统和中统、志留系等地层。碳酸盐岩广泛分布, 岩性以灰色及深灰色灰岩为主, 部分富含燧石结核, 岩性变化不大; 碎屑岩和粘土岩分布在周坪、五龙等地, 岩性以灰绿色石英砂岩、页岩等为主, 岩层具清晰层理, 部分夹煤层, 主要为马鞍煤系, 通常厚度为 1~3 m。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-01-02.

基金项目: 水库诱发地震震机理及地震预测方法研究 (2006BAC01B04-02-02) 和可视化水库诱发地震震例及基础数据库的建立 (JS200756052) 共同资助

微震群区内及其附近大致分布 NWW— EW、NNW及 NE向 3 组断裂。

NWW— EW向断裂主要分布于微震群的北部，规模均较小，且第四纪以来均无活动。

NNW向断裂中比较典型的有仙女山断裂（北段），它位于微震群的东侧。该断裂北起秭归风吹垭，经荒口、周坪、槐树坪、王家岔，尖灭于庙包一带的寒武—奥陶系地层中，全长约 20 km，距离微震群区约 12 km。

NE向断裂主要有宋家荒断裂，该断裂位于微震群的南西侧，走向 35°，全长约 5 km。该断裂为一解译断裂，线性影像，泥盆系至二叠系被错移，错距 50~100 m，为压扭性断裂反时针扭动。从地形和地貌上看，该断裂被河流截断，因而可推断该断裂未延伸至微震区。

## 2 罗圈荒微震活动特征

### 2.1 地震时空分布

自 2003 年 6 月开始蓄水至 2007 年 9 月 21 日罗圈荒微震群发生之前，在罗圈荒附近记录到的  $M_L \geq 1.0$  地震共 23 次。总体上看，这些地震分布零散，没有成团状或线状排列的现象（图 1 a）。2007 年 9 月 21 日 22 时至 22 日 18 时爆发式地发生了  $M_L \geq 1.0$  地震共 27 次地震，聚集成丛状（图 1 b），且包括 6 次  $M_L \geq 2.0$  地震，其中有 5 次地震发生在丛集区的中心。接下来发生的地震其震中绝大部分仍然呈密集丛状集中在文家岩至庙垭之间的地域，没有明显的迁移或扩散。序列中  $M_L \geq 2.0$  的地震有 25 次，其中  $M_L 2.8$  和 2.9 地震各 1 次， $M_L 2.7 \sim 2.5$  地震共 8 次， $M_L 2.4 \sim 2.0$  共 15 次。 $M_L 2.0$  以上地震所占比例超过 10%，且其震中的空间分布十分密集，这种情况自蓄水以来是少见的。

笔者对地震现场进行了宏观考察，深入调查了周坪乡罗圈荒村、郭家坝镇文化村、黄泥滩、文家岩等地的地震影响，将宏观震中圈定在郭家坝镇黄泥滩。本次调查区域范围内房屋多为砖混结构，有少数土坯房。震中烈度区定为 IV 度，有感区定为 III 度（图 2）。

### 2.2 地震波波形特征

笔者使用三峡库首区已有的水库地震、天然地震与罗圈荒微震群的数字地震记录资料，进行地震波波形的统计对比分析。

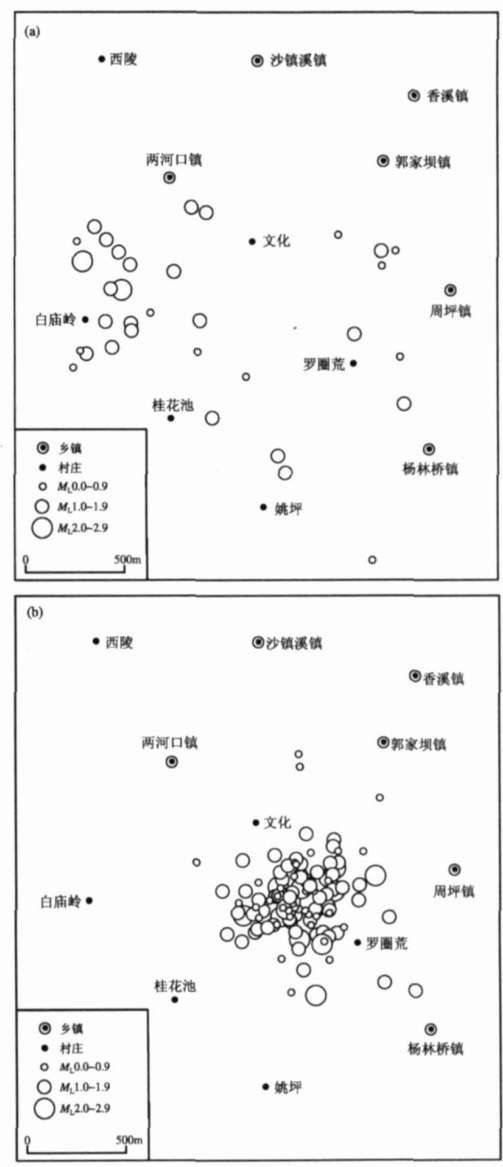


图 1 2003 年 6 月 7 日至 2007 年 9 月 18 日 (a) 及 2007 年 9 月 21 日至 2007 年 10 月 7 日 (b) 秭归罗圈荒地区震中分布图

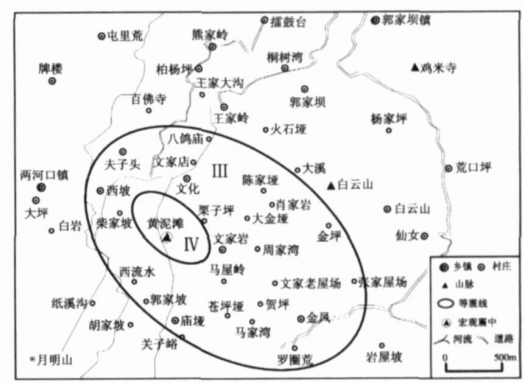


图 2 秭归罗圈荒微震群宏观等震线图

从地震波形看，罗圈荒微震群波形很有规律，最明显的特征是：波形简单、规则，且较疏松光滑，波形振动频率较低，高频成份很少，具有明显的频散特征。尾波周期较大，呈波浪状，且持续时间在 15 s左右。以距离震群最近的台站周坪台为例（图 3 a），该微震群中 90% 的地震事件均呈现出 P波初动向下、持时较长、S波振幅较大的特点。基于波形初动向下、无大 P头，波列震相

不发育的特征，可以排除爆破和滑坡微位移成因的可能（荻莉莎，2004 胡祚春等，1985）。

以 2005年 9月 8日发生在巴东官渡口的天然地震波记录（图 3 c）为参照，其震相清晰，振动周期较小，波形紧凑，波形振动频率较高，高频波十分发育，频率丰富，且有低频波叠加在高频波中，波形显得“毛刺”较多。通过波形对比，可以排除罗圈荒微震群属于天然地震的可能。

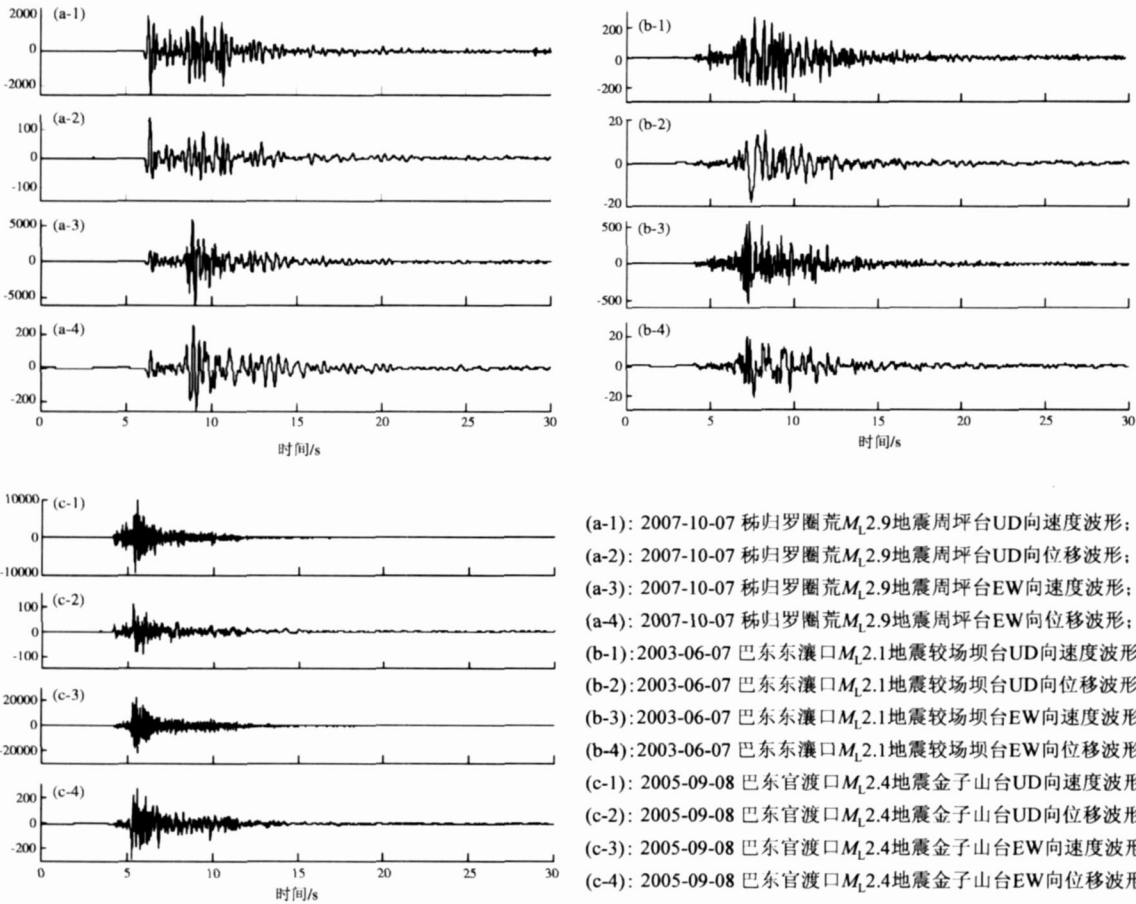


图 3 秭归罗圈荒地震（a）与巴东东壤口地震（b）和巴东官渡口地震（c）的记录波形对比

与 2003年 6月 7日发生在巴东东壤口的水库地震波形（图 3 b）进行对比，不难发现，罗圈荒微震群波形较天然地震稀疏，较水库地震则呈现出频散特征。

2.3 地震波波谱特征

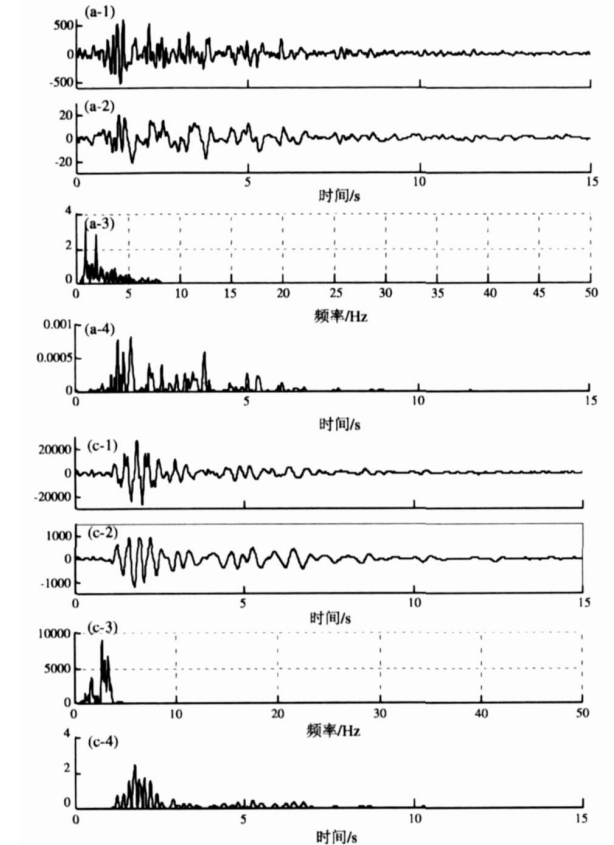
边缘分布是时频分布具有的一种特性，时间边缘定义为信号在时刻 t 处的瞬时功率，频率边缘为信号在频率点 f 处时的能量密度（周昕等，2006）。本文选取较场坝台、金子山台和周坪台计算上文所述的巴东东壤口水库地震、

巴东官渡口天然地震与罗圈荒微震群（ $M \geq 2.0$ ）的 S波能量时频边缘分布，得到水库地震、天然地震和罗圈荒微震群的时频边缘分布（图 4），从图中可以发现三者的瞬时功率随时间变化存在如下差异：

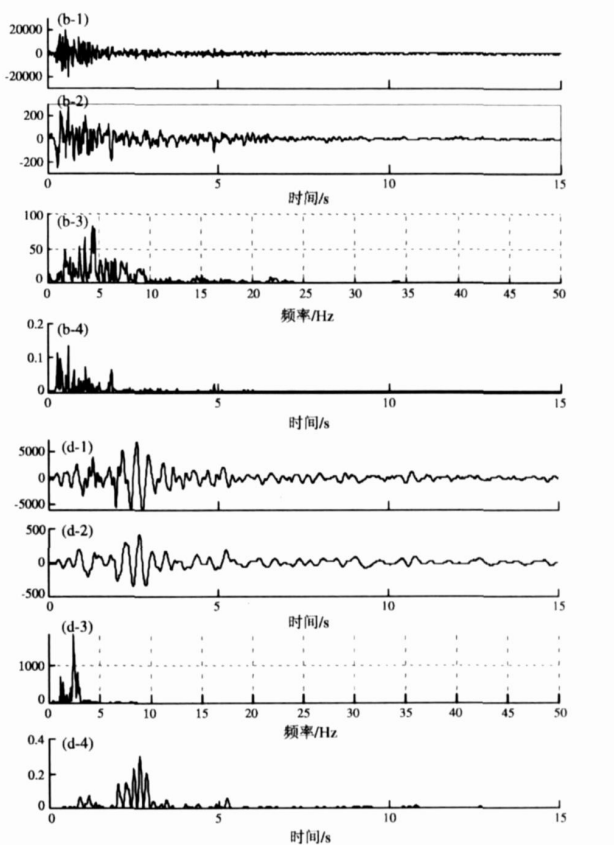
- （1）水库地震 S波能量的最大强度出现在整个 S波列持续时间的 1 s 内，瞬时功率在此期间达到峰值；波列的能量在 3 s 后明显衰减（图 4 a）。
- （2）天然地震 S波能量的最大强度出现时间较水库地震的晚，一般在整个 S波列持续时间的

1.5 s 左右, 瞬时功率在此期间达到峰值; 波列的能量在 5 s 后明显衰减 (图 4 b)。

(3) 罗圈荒地震 S 波能量的最大强度出现时



间与水库地震类似, 也在 1 s 之内, 一般为 0.7 s 左右, 瞬时功率在此期间达到峰值; 波列的能量在 1.5 s 后明显衰减 (图 4 c)。



(a-1): 2003-06-07 巴东东渡口  $M_L2.1$  地震较场坝台记录速度谱; (a-2): 2003-06-07 巴东东渡口  $M_L2.1$  地震较场坝台记录位移谱; (a-3): 2003-06-07 巴东东渡口  $M_L2.1$  地震较场坝台记录频率边缘; (a-4): 2003-06-07 巴东东渡口  $M_L2.1$  地震较场坝台记录时间边缘; (b-1): 2005-09-08 巴东官渡口  $M_L2.4$  地震金子山台记录速度谱; (b-2): 2005-09-08 巴东官渡口  $M_L2.4$  地震金子山台记录位移谱; (b-3): 2005-09-08 巴东官渡口  $M_L2.4$  地震金子山台记录频率边缘; (b-4): 2005-09-08 巴东官渡口  $M_L2.4$  地震金子山台记录时间边缘; (c-1): 2007-09-03 秭归罗圈荒  $M_L2.8$  地震周坪台记录速度谱; (c-2): 2007-09-03 秭归罗圈荒  $M_L2.8$  地震周坪台记录位移谱; (c-3): 2007-09-03 秭归罗圈荒  $M_L2.8$  地震周坪台记录频率边缘; (c-4): 2007-09-03 秭归罗圈荒  $M_L2.8$  地震周坪台记录时间边缘; (d-1): 2007-10-07 秭归罗圈荒  $M_L2.8$  地震周坪台记录速度谱; (d-2): 2007-10-07 秭归罗圈荒  $M_L2.8$  地震周坪台记录位移谱; (d-3): 2007-10-07 秭归罗圈荒  $M_L2.8$  地震周坪台记录频率边缘; (d-4): 2007-10-07 秭归罗圈荒  $M_L2.8$  地震周坪台记录时间边缘;

图 4 巴东东渡口地震 (a) 和巴东官渡口 (b) 与秭归罗圈荒地震 (c) 的地震波谱对比

2.4 拐角频率

在震源参数研究中, 拐角频率是 1 个基本参数。拐角频率与震区应力状态有关, 它反映了地震波高低频能量的分布特征, 同时也与发震过程相联系。按照信噪比大于 2 倍为标准选择可以使用的波形记录, 在此基础上, 按照“一次地震必须有 3 个以上台站记录、一个台站必须记录到 3 次以上地震”的原则 (刘杰等, 2003), 最终选取满足该条件的 12 次  $M_L \geq 2.0$  地震、264 条记录反演计算震源参数 (表 1)。

计算得出, 罗圈荒地震的拐角频率较低, 介

于 2.4 ~ 3.6 Hz 之间, 反映出该微震群的震源深度较小, 不受较大孕震体的支配。与罗圈荒微震群相比, 同等震级的构造地震拐角频率明显较大 (平均约 9.8 Hz), 水库地震的则明显较小。

3 地震成因探讨

综合罗圈荒微震区地质构造环境、宏观考察及地震学等方面的资料, 笔者从不同的角度来分析该微震群的地震成因。

(1) 时空特征: 罗圈荒微震群发生于 9 月份,

表 1 秭归罗圈荒微震群及邻区构造地震、水库地震震源参数对比 ( $M_L \geq 2.0$ )

日 期		纬度	经度	震级	拐角频率	地震矩	$\delta$	地震
年—月—日	时—分—秒	( $^{\circ}$ )	( $^{\circ}$ )	$M_L$	(Hz)	( $\times 10^3 N \cdot m$ )	(MPa)	类型
2007—09—22	04—44—06.0	30.76	110.68	2.1	2.9	1.95	0.061	矿震
2007—09—22	05—28—01.7	30.79	110.69	2.1	2.4	1.95	0.033	
2007—09—22	06—30—43.0	30.85	110.69	2.5	3.6	2.67	0.162	
2007—09—22	09—39—42.3	30.82	110.66	2.2	3.2	2.02	0.086	
2007—09—22	09—41—12.8	30.84	110.72	2.1	2.7	1.95	0.046	
2007—09—23	03—48—18.1	30.82	110.66	2.8	2.5	11.84	0.237	
2007—09—26	07—34—20.6	30.83	110.67	2.1	2.7	1.95	0.047	
2007—10—06	21—50—11.6	30.79	110.67	2.0	3.1	1.95	0.073	
2007—10—06	21—59—12.4	30.80	110.67	2.4	3.1	5.09	0.192	
2007—10—06	22—40—40.1	30.82	110.66	2.3	1.7	1.24	0.011	
2007—10—07	00—16—19.9	30.80	110.65	2.9	2.1	20.25	0.227	
2007—10—07	03—11—34.5	30.82	110.65	2.3	2.5	2.65	0.080	
2005—09—08	19—47—22.5	31.07	110.65	2.4	9.6			构造地震
2005—09—19	23—27—15.6	31.09	110.10	2.5	7.8			
2004—04—24	01—18—22.0	30.93	110.99	2.3	13.1			
2004—03—12	21—45—50.2	30.85	111.15	2.0	8.4			
2003—06—07	15—36—00.6	31.01	110.18	2.1	0.5			水库地震
2003—06—10	19—28—05.9	31.04	110.26	1.5	1.5			
2003—06—15	07—16—01.2	31.03	110.24	1.6	0.8			
2003—06—16	02—58—04.1	31.02	110.24	1.5	1.2			

具有短暂突发特征。发震地点范围一定，震群密集，呈丛状，震源较集中。经过宏观调查，证实该微震群震源较浅，震中范围较小。这与矿震季节性较强，9~11月份为高发期的时间规律以及震源集中且震源浅的特点吻合（童迎世等，2003）。

（2）波形特征：微震群波形具有无大P头、波列震相单一、90%波形初动为“—”、波形稀疏不成丛等特点，且高频成份很少，具有明显的频散特征。尾波周期较大，呈波浪状。这些特征与矿震波形相似（林怀存等，1990；赵永等，1995；张萍等，2005），却明显不同于天然地震高频发育、波列震相丰富、初动分布为四象限等特征。

（3）波谱特征：通过时频分析发现，罗圈荒微震群S波能量的最大强度出现时间，一般在0.7左右；波列的能量在1.5后明显衰减。与水库地震的波谱特征（S波能量的最大强度出现在1内；波列的能量在3后明显衰减）和天然地震的波谱特征（S波能量的最大强度出现时间在1.5左右；波列的能量在5后明显衰减）存在明显差异。

（4）拐角频率：罗圈荒微震群的拐角频率介于2.4~3.6 Hz之间，天然地震明显较大（约9.8

Hz），水库地震明显较小。从拐角频率可以排除罗圈荒微震群属于天然地震和水库地震的可能。

（5）周围环境特征：经实地调查，微震区范围内分布有一些正在开采的煤矿，部分地震与煤矿的分布有较好的对应关系。这些煤矿均开采马鞍山煤系，且开采历史较长，规模中等。有些煤矿面临关闭，目前在加紧开采中（开采强度加大），不排除正在回采的可能。回采就意味着掘进开采过程中起支撑作用的煤柱被拆除，这样就有可能引发矿震。而且还有一些废弃多年的煤矿，在降雨、放炮等外界因素的影响下均有可能发生坍塌。通过宏观调查发现此次微震群活动强烈，震感范围不大，震级较小，但在震中区的震感反应较为强烈。这和矿震震级小、震中范围不大、烈度偏高的特点相吻合。从火焰石、麂子岩、风斗岩等煤矿塌陷地震的经验看，无论是正在开采的还是已经废弃的矿硐，都有可能发生不同规模的矿震。

4 结论

通过对罗圈荒微震群的时空、波形、波谱及周围环境等特征的综合分析，对罗圈荒微震群的

各种可能成因进行了逐一排查，认为该微震群主要是矿震及由矿震引起的局部应力释放所致。

湖北省地震局甘家思研究员对本文提出了宝贵意见和建议，在此表示衷心感谢！

## 参考文献:

- 狄莉莎. 2004. 三峡数字地震台网中心记录典型波形初步分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 24 (2): 52—57.
- 胡祚春, 郑治真, 刘元状. 1985. 滑坡、塌陷与地震的波谱差异 [J]. 地震研究, 8 (2): 179—188.
- 林怀存, 王保平, 刘洪瑞, 等. 1990. 构造地震与塌陷地震对比研究 [J]. 地震学报, 12 (4): 448—455.

- 刘杰, 郑斯华, 黄玉龙. 2003. 利用遗传算法反演非弹性衰减系数、震源参数和场地响应 [J]. 地震学报, 25 (2): 211—218.
- 童迎世, 童敏, 洪迅. 2003. 湖南矿山地震类型及特征分析 [J]. 华南地震, 23 (3): 49—56.
- 姚立珣, 钟羽云, 张震峰, 等. 2005. 根据珊溪水库诱发地震拐角频率变化预测震后趋势 [J]. 大地测量与地球动力学, 25 (专刊): 7—12.
- 张萍, 蒋秀琴, 苗春兰, 等. 2005. 爆破、矿震与地震的波谱差异 [J]. 地震地磁观测与研究, 26 (3): 24—34.
- 赵永, 刘卫红, 高艳玲. 1995. 北京地区地震、爆破和矿震的记录图识别 [J]. 地震地磁观测与研究, 16 (4): 48—54.
- 周昕, 钟羽云, 傅建武, 等. 2006. 珊溪水库地震与构造地震波谱时—频特征的对比研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 26 (4): 86—91.

# Genesis and Type Identification of Luoquanhuang Microquake Swarm in Zigui Hubei

ZHANG Li fen YAO Yun sheng WU Hai bo WANG Dun SHEN Xue lin  
(Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, Hubei, China)

## Abstract

During Sep. 22 to Oct. 18, 2007, a microquake swarm occurred in Luoquanhuang, Zigui Hubei (the maximum magnitude is  $M_L 2.9$  on Oct. 7). The macroscopic epicenters distribute along Huangjitan, the meizoseismal area is small and the seismic wave attenuates fast which reflects the sources are shallow. We compared the seismic waveform, spectrum characteristics and corner frequency of the Luoquanhuang microquake swarm with those of the natural earthquakes and reservoir induced earthquakes around the area, and found that they are different obviously. Synthesizing the macro investigation and seismological analysis, we think the swarm should be in mining earthquake.

Key words: earthquake origin, microquake swarm, seismic wave spectrum, identification of earthquake type, Hubei



张 昱 甘肃省地震局高级工程师。1986年毕业于西安地质学院,获工学学士学位。主要从事地下流体地震分析预报等方面的研究。



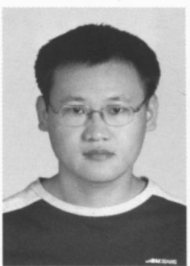
何案华 中国地震局地壳应力研究所助理研究员。2005年毕业于中国地震局地壳应力研究所,获地球物理硕士学位。主要从事地震前兆仪器的研制和网络技术工作。



史红军 长春市地震局榆树地震监测台工程师。1996年毕业于中国地质大学(北京),主要从事地震监测工作。



王 博 中国地震局地壳应力研究所在读硕士研究生。2005年毕业于聊城大学环境与规划学院,获理学学士学位。现主要从事地震流体动力学与地震分析预报研究工作。



王 军 中国地震局地壳应力研究所在读硕士研究生。主要从事地震前兆数据分析和软件设计工作。



张丽芬 中国地震局武汉地震研究所研究实习员。2003年华东地质学院资源勘查工程专业,获学士学位。2006年毕业于东华理工大学地球化学专业,获硕士学位。参与并承担了多项水库地震相关研究项目,包括国家科技支撑项目、国家自然科学基金项目、地震研究所科技发展基金项目等。主要从事水库诱发地震工作。



夏静瑜 云南大学地球物理系在读硕士,主要从事地球物理学方面的研究工作。