

甘肃平凉地区地震活动特征及其发震机理研究

赵凌云, 张 辉, 刘小凤

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:针对 2001 年以来甘肃省平凉地区中小地震活动增强现象比较突出问题,通过遗传算法重新定位地震深度,利用矩张量反演方法反演震源机制解,并根据平凉地区地震时空分布特征、震相特征以及区域地质构造环境,认为平凉地区地震主要为煤矿诱发地震,可能发震机理为煤体压缩、顶底板拉伸、断层矿震等。

关键词:平凉地区; 遗传算法定位; 矩张量反演; 震源机制解; 矿震

中图分类号: P315.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)02-0186-05

Study on Seismicity Characteristics and Mechanism in Pingliang Area, Gansu Province

ZHAO Ling-yun, ZHANG Hui, LIU Xiao-feng

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Since 2001, small -moderate seismicity has been increasing obviously in Pingliang area, Gansu province. In this paper, the focal depths are defined by the locating method based on genetic algorithm, the focal mechanism is calculated by the moment tensor inversion. According to seismic spatio-temporal distribution, seismic phase and regional geological structural environment, it is considered that the earthquakes in Pingliang area are mainly mining-induced earthquakes, and the kinds of initial mechanism are coal body compression, work face stretching and fault rockburst.

Key words: Pinglinag area; Locating method based on genetic algorithm; Moment tensor inversion; Focal mechanism; Mining-induced earthquake

0 引言

甘肃省平凉地区的西部位于青藏高原东北缘祁连山地震带东端,属于六盘山挤压逆冲构造带。区域地质构造复杂,地震频度相对较高;平凉东部地区位于鄂尔多斯块体,区域构造不发育,中强以上地震活动水平十分低,是相对稳定的地区。青藏高原北部地区现今块体运动的基本特征主要表现为刚性块体的运动和变形,整个地区以北东向运动为主^[1]。自 2001 年以来,该区中小地震活动性显著增强,不少人认为是矿震。

我国记录最早的矿震于 1933 年发生在辽宁抚顺胜利煤矿。随着时间的推移,全国范围矿震灾害

报道不断增多,到目前为止已有 80 多例煤矿或矿山的矿井发生矿震的详略不同的报道,呈现了矿震灾害与开采深和资源采出量的同步发展。目前关于矿震的研究主要有:任振起等^[2]对京西门头沟煤矿的近 10 万条矿震记录,进行了矿震序列的时序、频度、能量释放、 η 值征、 b 值等的研究;兰从欣、邢成起等也从地震波形、煤矿分布、采矿深度、斋堂水库的地质构造条件、蓄水使用时间、水位变化等方面进行过研究。李铁等^[3]对辽宁老虎台煤矿用区域强震震源机制解、现场地应力测量、三维有限差分数值模拟方法分析了强矿震的孕震环境;过定量观察采矿与矿

收稿日期:2008-12-05

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划子专题(2006BAC01B03-04-02);地震科学联合基金青年基金 C08071

作者简介:赵凌云(1981-),女(汉族),山西五寨人,硕士研究生,研究方向为地震活动性预报与研究。

震活动的相关性,分析强矿震的诱发原因;用地震学方法和小波工具分析强矿震孕震过程采集到的数据,提取短临阶段的异常信息;过强矿震的震源机制解判断震源处的应力释放状态。

本文依据地震时空分布特征、震相特征、利用遗传算法定位重新确定地震深度特征,利用矩张量反演地震震源机制特征和区域构造环境特征等方面对平凉地区进行研究。

1 数据处理与结果分析

1.1 研究区域及数据处理

本文选取 $N35^{\circ}-37^{\circ}$, $E106.5^{\circ}-107.2^{\circ}$ 为研究区域(图1),选取 $M_L \geq 2.0$,震相观测数据选用2005年1月-2007年9月期间数字化台网资料。区内分布有平凉、码峡、砚峡、磨坪4个台站。

应用张元生的遗传算法定位程序^[4],对P波震相非常清晰的53个地震事件进行了重新定位,绝大多数地震均落在4个台站所包围的范围之内。定位使用初始参考地壳速度模型如表1所示。

表1 本文采用的地壳速度模型

层序	厚度/km	P波速度/ $[km \cdot s^{-1}]$	
		顶部速度	底部速度
1	1	2	4
2	5	5.2	5.5
3	50	6.2	6.2

在地震重新定位的基础上,应用许力生等人的矩张量反演程序^[6]求解了 $M_L \geq 2.0$ 地震的震源机制解。

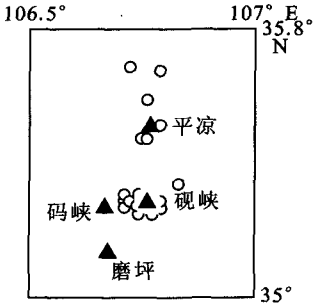


图1 研究区域台站和震中分布图

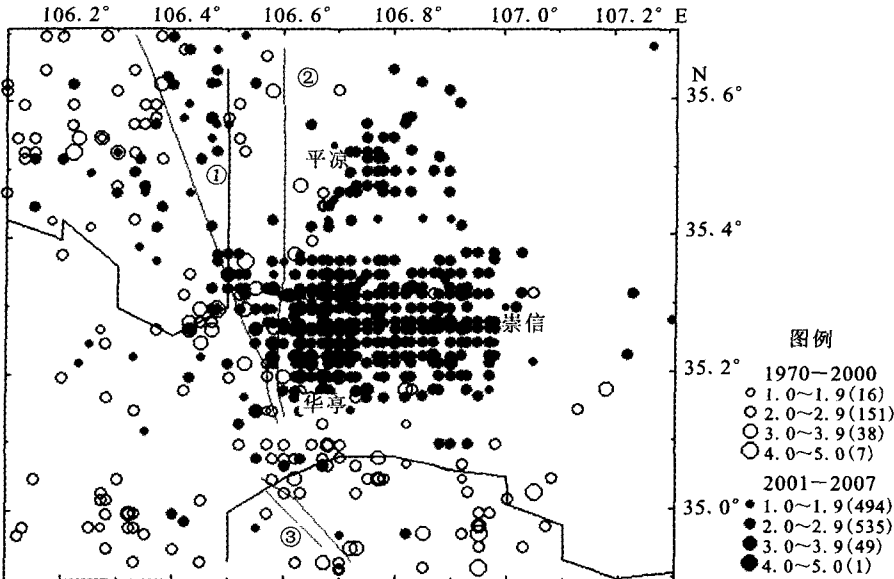
Fig.1 Distribution of the epicenters and the seismic stations in the research area.

1.2 计算结果分析

1.2.1 地震时空分布特征

自2001年12月开始平凉华亭地区弱震活动出现了较明显的增强和丛集现象(图2)。弱震活动空间分布特征主要表现为:地震活动在空间上十分集中,在 $30 km \times 40 km$ 的范围内,而该地区也恰好是煤矿相对集中开挖的区域;3级以上地震主要集中在西部的华亭及附近地区,最大地震为 $M_L 3.4$,这一地区是年产量大于400万吨的三个最大煤矿开挖区;而1~2级地震丛集在东部的崇信及附近地区,这里主要散布着一些年产50万吨的中等煤矿。2006年地震活动水平低于2005年,空间上主要向矿山开采区的北部迁移。

2002年开始平凉华亭地区小震活动逐渐增强,至2005年3-8月明显增强,这是继2001年12月以来第二次大幅度的增强活动,小震月频度由原来



①六盘山东麓断裂; ②固原断裂; ③陇县-岐山断裂

图2 2001年以来平凉地区地震空间分布图

Fig.2 Distribution of earthquakes in Pingliang area from 2001 to 2007.

的7~20次增加到28次,而且以 $M_L 1.0 \sim 2.9$ 地震为主, $M_L 3$ 地震活动水平基本正常。但从2005年9月—2006年3月呈现逐渐减弱的趋势,月频度为2~7次,均未超过平均值。2006年4—8月又恢复到

2002—2004年的活动水平(图3)。从地震月频度可以看出,每年的1、4季度地震频度较低,而2、3季度是地震频度较高和集中活动的时段。

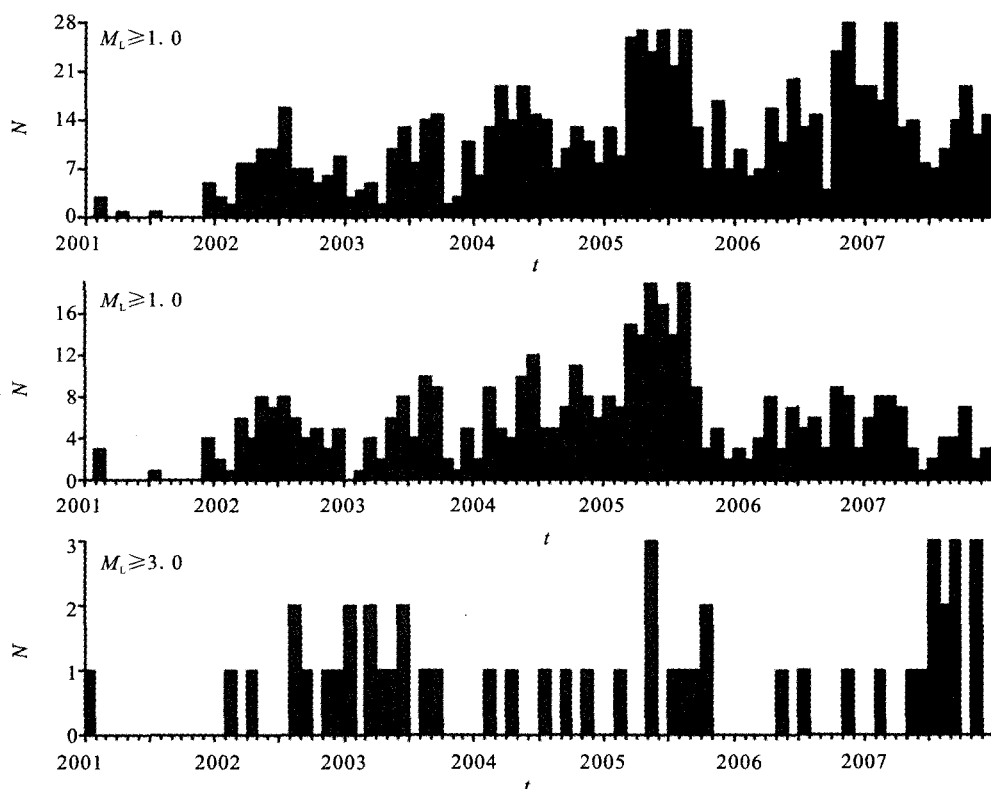


图3 2001年以来平凉华亭小震月频度图

Fig. 3 Monthly frequencies of small earthquakes in Huating of Pingliang area since 2001.

1.2.2 地震波形特征

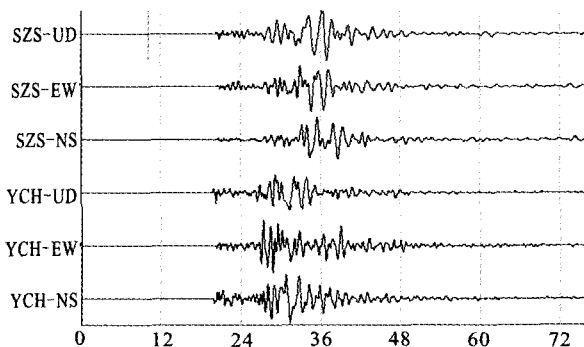


图4 羊齿岭 $M_L 4.3$ 爆破地震记录(石嘴山、泾原台)

Fig. 4 The records of $M_L 4.3$ blast in Yangchiling from Shizuishan and Jingyuan stations.

选择两次地震波形进行分析。事件1为2007年2月20日人工爆破引起的 $M_L 4.3$ 地震,震中在羊齿岭($N39^{\circ}03'$, $E106^{\circ}06'$),图4为石嘴山和泾原台的记录,震中距分别为54.3 km和49.5 km。事件2为2005年10月2日 $M_L 4.2$ 地震,震中

$N35^{\circ}14'$, $E106^{\circ}42'$,图5为平凉和静宁台的记录,震中距分别为24.3 km和89.6 km。

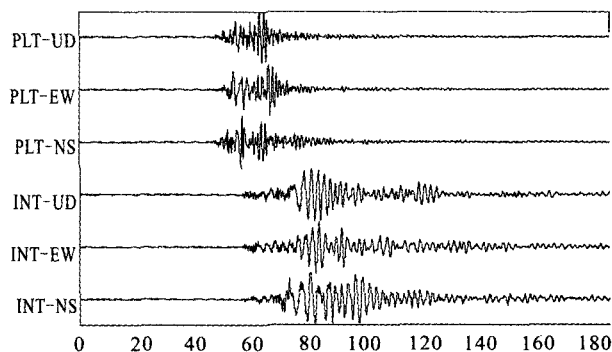


图5 平凉 $M_L 4.2$ 地震波形记录(平凉、静宁台)

Fig. 5 The records of $M_L 4.2$ earthquake in Pingliang from Pingliang and Jingning stations.

事件1震相特征:高频成分较发育,周期变化小,整个波列光滑,毛刺少,波往往出现类似正弦型的稳定周期振动的现象^[6];事件2震相特征:主要震相有 $\bar{P}$ 波、 $\bar{S}$ 波,周期较大,波形较光滑,且比较单

一、规则,衰减较快。P波初动时间与峰值时间很接近,S波较发育。

平凉地区地震较天然地震周期大,震源较浅,发震范围集中,波型规则、圆滑,极突出的特点是短周期面波发育。可初步认为平凉地区地震波形与附近地区的地震不一致,波形记录更符合煤矿诱发地震的震相特征。

1.2.3 震源深度特征

利用4个台提供的波形数据,在2005年1月—2007年9月数字地震资料中挑选出可用于精确定位的53个事件共181条记录,采用遗传算法定位方法对其进行了精确定位。获得了震中位置和深度。定位前后深度变化分布见表2。看出平凉地区地震震源深度很浅,小于5 km占绝大多数,符合矿震震源深度范围。

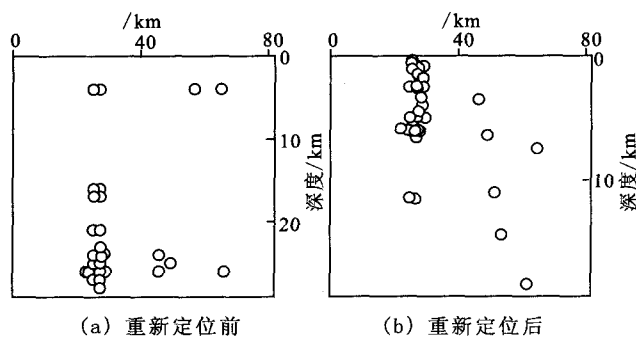


图6 地震重新定位前后震源深度剖面

Fig. 6 Cross-sections of seismicity along longitude before and after relocation.

表2 研究区域定位前后深度个数变化表

震源深度/km	0~1	1~5	5~10	>10	0~5km 占总数的比例
个数分布(兰州台网所定)	8	5	6	34	24.5%
个数分布(小台定位后)	19	22	19	3	77%

1.2.4 震源机制解及应力场特征

平凉一带地震震相特征和震源深度都与矿震吻合,其震源机制解和主压应力分布见图7、8。

震源机制类型混合,逆冲居多,走滑正断次之,各种类型都有。与矿震震源机制类型偏于混合机制结论类似;震源应力释放的主压应力轴(P)轴优势方向为NW向,优势倾角为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。P轴优势方向与本区域构造应力场优势分布不一致。

2 力学机制分析

平凉地区矿震机制方式可能有三种,煤体(压缩)矿震、断层(剪切)矿震和顶板(拉伸)矿震,各占一定比例。

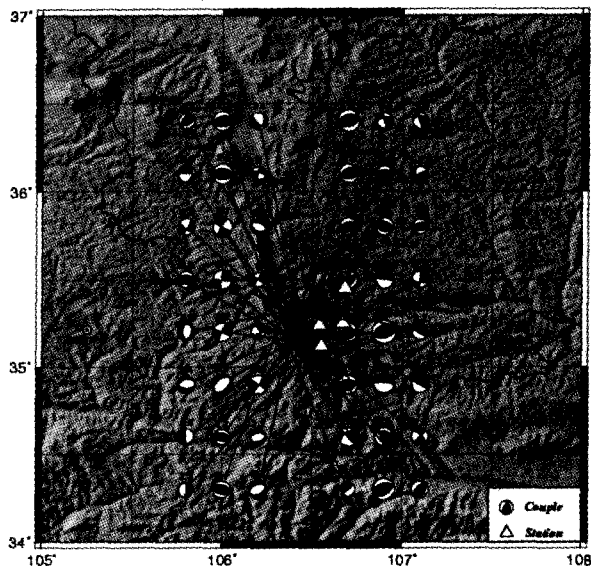


图7 研究区震源机制的“海滩球”表示
(下半球投影)

Fig. 7 The "Tropic Ball" show of the focal mechanism in the research area (in lower hemisphere projection).

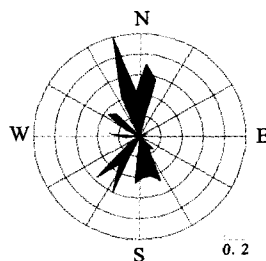


图8 研究区地震主压应力玫瑰图

Fig. 8 Principal stress axis rose diagram of earthquakes in the research area.

煤体矿震原理:煤岩结构一般可分成两个区域,深部区域是稳定材料,靠近边界的区域是非稳定材料,而这两部分区域的大小是随着煤岩结构所受载荷大小或随着采掘进行而变化的。随着开采范围扩大,煤岩体进入峰值强度后变形的区域加大,应变软化程度加深,使得煤岩结构由稳定的平衡向非稳定平衡过渡。当成为非稳定平衡时,在外部扰动下系统的原有平衡状态失稳而发生矿震。

顶底板拉伸矿震机理:也就是极值点失稳理论。当一个初始稳定的平衡路径随着载荷的增长,载荷达到一个局部最大值,在这载荷作用下结构将丧失稳定性。

断层矿震发生的机理:断层矿震是构造型矿震,指井田范围内的断层由于采矿活动而引起的突然相对错动并释放能量的现象。断层矿震可看成是断层

带介质和围岩组成的系统在采矿活动诱发扰动下的变形失稳问题^[7]。

断层矿震的直接原因是煤层的开采。在未开采之前,断层与煤岩组成了一个平衡(动态平衡)系统,开采对这一系统的扰动导致了断层应力的重新分布。其中481次1.0~1.9级更可能为煤体(压缩)矿震,是煤岩结构在压性载荷作用下而失稳破坏的动力现象;493次2.0~2.9级更可能为顶板拉伸型矿震,其震级一般不超过3级;48次3.0~3.9级和1次4.0~4.9级(最大为2005年10月2日 M_L 4.2级地震),倾向为断层矿震。

3 结论与讨论

平凉地区地震波形与附近地区波形不一致,震源机制类型也与附近其它地区不一致,深度较浅且空间分布和深度都与当地矿井分布有一定对应关系。综上认为:平凉地区地震活动显著增强是煤矿开采诱发造成的,该区绝大部分为矿震。可能发震机理为煤体压缩、顶底板拉伸、断层矿震等机制。这一研究结果对该区的地震活动趋势判定有重要意

义。

对平凉地区各种类型力学机制所对应的震源机制的进行更深入分析将是下一步研究的重点^[8]。

[参考文献]

- [1] 李清河,郭守年,吕德徽.鄂尔多斯西缘与南西缘深部结构与构造[M].北京:地震出版社,1999:21-23.
- [2] 任振起.北京门头沟矿震与大同一阳高地震的关系[J].山西地震,1999,(3-4):35-38.
- [3] 张萍,高艳玲,等.辽宁台网记录爆破、矿震与地震的识别[J].地震地磁观测与研究,2001,22(5):29-34.
- [4] 周民都,张元生,张树勋.遗传算法在地震定位中的应用[J].西北地震学报,1999,21(2):167-171.
- [5] 许力生,蒋长胜,陈运泰,等.2007.2004年首都圈地区中小地震矩张量反演[J].地震学报,2007,29(3):229-239.
- [6] 赵永,刘卫红,高艳玲.1995.8.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,1995,16(4):48-54.
- [7] 杨小彬.矿震与天然地震的相关性研究[D].辽宁技术大学,2002:5-30.
- [8] B R Julian, A D Miller, G R Foulger.非双力偶地震:理论(二)[J].世界地震译丛,2000,(1):1-11.