

# 《四川地震》 第6届编辑委员会

主 编：雷建成

副主编：杜 方 易桂喜 周荣军

编 委：（按姓氏笔画排序）

马胜利 车 时 王 彬 王兰民 王庆良 王志鹏 王绪本  
 王翠芳 龙 锋 刘 杰 孙 玮 孙柏涛 朱 航 乔 森  
 何 强 何玉林 李 勇 李永强 杨永林 杨兴国 苏金蓉  
 吴微微 吴建春 张茂军 张建国 张致伟 陈维锋 周 玮  
 金 星 官致君 赵 永 胡 斌 徐 锐 郭 勇 郭红梅  
 姚运生 顾林生 龚 宇 黄丁发 黄剑涛 韩 进 彭长虹  
 廖 华 熊 峰 戴仕贵

四川地震

二〇二二年 第四期

总第一八五期

# 四川地震

Sichuan Dizhen EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN



四川地震 Sichuan Dizhen  
 （季刊，1977年创刊）  
 2022年第4期（总第185期）2022年12月

EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN  
 （Quarterly, Started in 1977）  
 No.4, (Series No.185) December 2022

主管单位：四川省地震局  
 主办单位：四川省地震局  
 编辑出版：《四川地震》编辑部  
 主 编：雷建成  
 发行订购：《四川地震》编辑部  
 地 址：四川省成都市人民南路三段29号  
 邮政编码：610041 电话号码：028-65270607  
 国外发行：中国国际图书贸易集团有限公司  
 北京海淀区车公庄西路35号 100048  
 国外发行代号：QR733  
 排版印刷：成都金龙印务有限责任公司

Supervisor: Sichuan Earthquake Agency  
 Sponsor: Sichuan Earthquake Agency  
 Editor: 《Earthquake Research in Sichuan》 Edit Office  
 Editor-in-chief: LEI Jiancheng  
 Distributor: Edit Office of ERS  
 Address: No.29, 3rd Section of South Renmin Road,  
 Sichuan Chengdu 610041, China  
 Distributor Abroad: China International Publishing  
 Group Ltd.Co.  
 Printer: Chengdu Golden Dragon Printing Ltd. Co.

公开发行 中国标准连续出版物号：ISSN 1001-8115  
 CN 51-1163/P

国内定价：10.00元/册

2022年12月  
第4期

四川省地震局 主管主办



《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊  
《中国学术期刊综合评价数据库》源期刊  
《中国学术期刊(光盘版)》入编期刊

《中国期刊全文数据库》收录期刊  
《中文科技期刊数据库》入编期刊  
《万方数据数字化期刊群》入编期刊

2022 年第 4 期

# 四川地震

(季刊)

总第 185 期

## 目 次

触发多断层面破裂的 2022 年四川马尔康 $M_s6.0$ 震群特征 ..... 杜 方,龙 锋,梁明剑,祁玉萍,官 悦,吴 江(1)	
2022 年四川芦山 $M_s6.1$ 地震灾害特点分析 ..... 张雪华,陈灿忠,李 静,邓 铎,杜晓霞(11)	
2022 年四川泸定 $M_s6.8$ 地震前后库仑应力变化分析 ..... 冉喜阳,朱 航,龙 锋,李雷豪,王 迪(15)	
河北怀来地震台不同型号气氦仪干扰因素及质量评价 ..... 王志敏,张 帆,宋晓煜,只 楠,程德庆(21)	
江苏溧阳测震台抗干扰措施效能分析 ..... 胡米东,官 杰,毛华锋,陈启林,王 皓,张 杰,霍雨佳,黄 群(27)	
广西德保县地震地质灾害特点及对策分析 ..... 刘 亮,张杰琼,补祥誉,陈红波,周芳静,岑汶汶(32)	
基于 Django 框架的江西地震目录数据可视化系统设计及实现 ..... 曾文敬,徐长文,肖建华,范卫星,赵 璇,曾先进,陈建龙(37)	
川滇预警示范项目四川地区简易烈度计台站数据传输效能提升研究 ..... 颜 欢,陈碧洪,张正伟,杨志鹏,徐明军(41)	
2022 年总目次..... (47)	

主 编 雷建成  
责任编辑 周文英  
编 辑 魏娅玲 梁明剑

期刊基本参数:CN 51 - 1163/P \* 1977 \* q \* A4 \* 48 \* zh \* P \* ¥10.00 \* 1000 \* 8 \* 2022 - 12  
电子信箱:scdz@ scdzj. gov. cn(备用邮箱:scdzbjb@ 163. com)

# EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN

(Quarterly, Started in 1977)

No. 4 2022 Series 185

## CONTENTS

- Characteristics of the Ma'erkang  $M_s$ 6.0 Earthquake-Swarm Triggered along Multiple Fault Planes in 2022  
..... DU Fang, LONG Feng, LIANG Mingjian, QI Yuping, GONG Yue, WU Jiang(1)
- Characteristics of Hazard Analysis of the Sichuan Lushan  $M_s$ 6.1 Earthquake  
..... ZHANG Xuehua, CHEN Canzong, LI Jing, DENG Duo, DU Xiaoxia(11)
- Analysis on Coulomb Stress Changes Pre- and After the 2022 Luding  $M_s$  6.8 Earthquake  
..... RAN Xiyang, ZHU Hang, LONG Feng, LI Leihao, WANG Di(15)
- Interference Factors and Quality Evaluation on Different Types of Radon Measurement Instruments at Hebei Huailai Station  
..... WANG Zhimin, ZHANG Fan, SONG Xiaoyu, ZHI Nan, CHENG Deqing(21)
- Anti-interference Measures and Efficiency Analysis of Jiangsu Liyang Seismic Station  
..... HU Midong, GONG Jie, MAO Huafeng, CHEN Qilin, WANG Hao, ZHANG Jie, HUO Yujia, HUANG Qun(27)
- Characteristics and Countermeasures of Seismic Geological Hazards in Debao County, Guangxi Zhuang Autonomous Region  
..... LIU Liang, ZHANG Jieqiong, BU Xiangyu, CHEN Hongbo, ZHOU Fangjing, CEN Wenwen(32)
- Jiangxi Earthquake Data Visualization System Based on the Django Framework  
..... ZENG Wenjing, XU Changwen, XIAO Jianhua, FAN Weixing, ZHAO Xuan, ZENG Xianjin, CHEN Jianlong(37)
- Study on Improving the Data Transmission Efficiency of Simple Intensity Meter Stations in Sichuan Area of Sichuan-Yunnan  
Early Warning Demonstration Project ..... YAN Huan, CHEN Bihong, ZHANG Zhengwei, YANG Zhipeng, XU Mingjun(41)

*Managing Editor for this issue* : WEI Yaling, LIANG Mingjian

*Translator for English Abstract* : WU Jiang

*E-mail* : scdz@scdzj.gov.cn, scdzbjb@163.com

# 触发多断层面破裂的2022年四川 马尔康 $M_S6.0$ 震群特征

杜方, 龙锋, 梁明剑, 祁玉萍, 宫悦, 吴江

(四川省地震局, 四川成都 610041)

**摘要:**2022年6月10日在四川省阿坝藏族羌族自治州马尔康市接连发生  $M_S5.8$ 、 $M_S6.0$  和  $M_S5.2$  地震。依据2022年四川马尔康  $M_S6.0$  震群序列资料,采用多阶段定位方法对震群序列进行重定位,并结合震源机制解和区域构造开展了震群序列的时空特征研究。结果显示:马尔康  $M_S6.0$  震群属多断层面触发性震群,震源集中在地壳15 km以上浅部,发生在巴颜喀拉Ⅱ级活动地块内,展布于NW走向的松岗断裂及其两分支断层的北东侧; $M_S5.8$  和  $M_S6.0$  地震为松岗断裂北东侧的NNW走向的  $F_A$  断层和  $F_B$  断层的左旋走滑的破裂事件, $M_S5.2$  地震为与龙日坝断裂有“牵连”的NE走向的  $F_C$  断层的右旋走滑的破裂事件。同时,获得震后趋势快速研判的几点启示:多断层面触发性震群的快速趋势研判需重视小区域内断裂的发震能力、序列分布迁移、序列频次和强度衰减的跟踪研判;序列趋势快速研判需将震群“序列”放入“发震构造环境”和“历史破裂事件”中进行综合认识。

**关键词:**四川马尔康  $M_S6.0$  震群;多断层面触发性震群;松岗断裂;龙日坝断裂;左旋走滑;右旋走滑

**中图分类号:**P315.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-8115(2022)04-0001-10

**DOI:**10.13716/j.cnki.1001-8115.2022.04.001

2022年6月10日在四川省阿坝藏族羌族自治州马尔康市发生  $M_S6.0$  震群。2022年6月10日0时3分24秒发生  $M_S5.8$  ( $M_L6.3$ ) 地震( $32.27^\circ\text{N}, 101.82^\circ\text{E}$ ),仅相隔1小时25分10秒,于1时28分34秒发生  $M_S6.0$  ( $M_L6.5$ ) 地震( $32.25^\circ\text{N}, 101.82^\circ\text{E}$ ),又相隔1小时58分26秒,于3时27分0秒发生  $M_S5.2$  ( $M_L5.6$ ) 地震( $32.24^\circ\text{N}, 101.85^\circ\text{E}$ )。马尔康  $M_S6.0$  震群中3次较大震级地震间隔时间相当短,这给震群中每次较强地震发生后的趋势判断增加了难度。

震群中首次较强地震发生后快速(半小时内)给出趋势研判,实际就是在没有余震资料、余震资料尚不完整或余震密集发生但尚难及时处理的情况下,给出余震趋势的研判。常需依据统计的序列类型分布自然概率来作初步估计,例如依据我国143个历史地震序列统计分析,序列类型主余型占59%,多震型14%、孤立型占14%、双震型占13%(焦远碧等,1998)。由此可见,地震序列中主余型序列占绝大多数,也就是说中强地震发生后,在没有余震资料的情况下快速判断为主余型的准确率可以达到60%左右。在马尔康震群序列中,第1个  $M_S5.8$  地震发生后,密集发生的余震很难实时完成地震参数处理,无法依赖计算序列参数来研判序列发展趋势,若按自然概率来作初步估计又很容易错判为“主余型”,那么除了依赖序列参数、前震序列识别和自然概率外,还应重视的哪些序列趋势研判依据?本文通过马尔康  $M_S6.0$  震群序列时空进程回顾总结,研究该震群特征,探寻震群序列趋势研判的可参考依据,有效减少对双震型和多震型序列后续强震的趋势估计偏差,更好地服务震区抗震救灾。

## 1 马尔康震群特征

### 1.1 震群序列总体特征

如图1所示,截至2022年6月30日,四川地震台网共记录到马尔康  $M_S6.0$  震群序列  $M_L \geq 0.0$  地震4 818次,其中  $M_L6.0 \sim 6.9$  地震2次,  $M_L5.0 \sim 5.9$  地震3次,  $M_L4.0 \sim 4.9$  地震5次,  $M_L3.0 \sim 3.9$  地震72

收稿日期:2022-08-15;修回日期:2022-09-21

基金项目:国家重点研究计划(2021YFC3000702-05)、西藏拉萨地球物理国家野外科学观测站研究课题(NORSLS21-04)和地震动力学国家重点实验室开放基金课题(LED2020B02)共同资助。

作者简介:杜方(1959-),女,山西寿阳人,研究员,主要从事大地形变测量与地震预测方面的研究工作。E-mail:1289991429@qq.com。

次,  $M_L 2.0 \sim 2.9$  地震 548 次,  $M_L < 2.0$  地震 4 188 次。

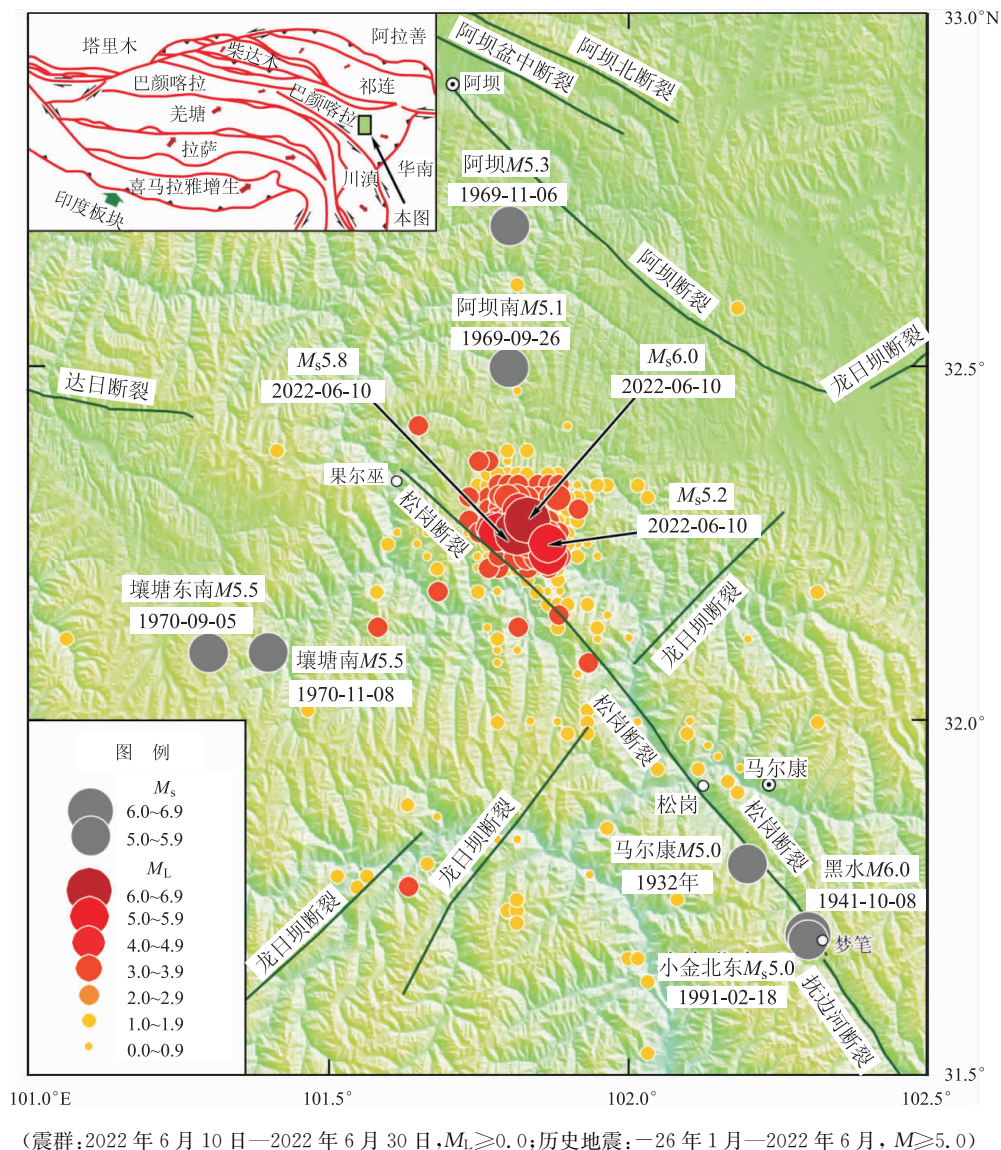


图1 马尔康  $M_S 6.0$  震群和历史  $M \geq 5.0$  地震震中分布

从四川地震台网定位结果看,马尔康  $M_S 6.0$  震群序列空间分布密集(图1),序列总体沿松岗断裂迹线的北东侧集中分布,长轴 23 km、短轴 18 km,呈现密集集中分布特征,仅个别小震散布在松岗断裂迹线的西南侧。序列时间进程(图2)特征表明早期小震频次异常高(尤其是第1、2组序列)。从整个序列看,较大的3次地震间隔时间很短,  $M_L \geq 4.0$  地震集中发生在前5个小时(表1),中等强度的地震频次偏少,  $M_L < 2.0$  小地震频次在整个序列中占比高,占 86.92%。

将震群序列按3次较大地震进行分段分析(图3):第1个较大地震  $M_S 5.8$  ( $M_L 6.3$ )发生后,小震频次高,密集小震波形重叠严重,此段最大震级  $M_L 6.3$  与次大震级  $M_L 5.2$  的级差为 1.1,震级水平出现起伏;第2个较大地震  $M_S 6.0$  ( $M_L 6.5$ )地震发生后,小震依然密集,密集小震波形重叠严重,此段最大震级  $M_L 6.5$  与次大震级  $M_L 3.7$  的级差为 2.8,震级衰减异常;第3个较大地震  $M_L 5.6$  ( $M_S 5.2$ )发生后,小震频次出现衰减,波形重叠缓解,此段最大震级  $M_L 5.6$  与次大震级  $M_L 5.0$  的级差为 0.6,频次衰减趋于正常。

采用 Goodness-of-Fit test 方法(Wiemer, 2000; 龙锋等, 2009)对序列的震级-频度关系进行计算(图4),结果显示序列的最小完整性震级为  $M_L 1.5$ , G-R 关系的回归参数分别为  $a=4.53$ 、 $b=0.86$ ,说明主震发生 20 d 后  $b$  值与区域背景值相当。而最大期望震级( $M_{max}$ )为 5.2,与序列中最大余震相当,表明序列中最大余震已经发生,后续发生更大地震的可能性不大。

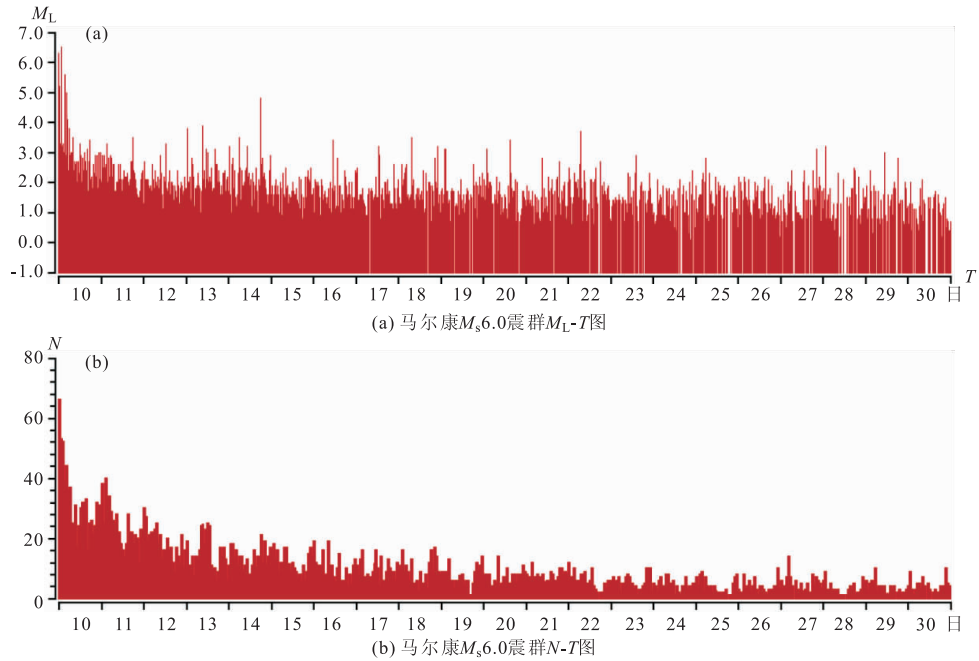


图 2 马尔康  $M_s6.0$  震群序列  $M_L-T$ (a)和  $N-T$ (b)图(2022 年 6 月 10 日—2022 年 6 月 30 日,  $M_L \geq 0.0$ )

表 1 四川地震台网测定马尔康  $M_s6.0$  震群序列( $M_L \geq 4.0$ )目录

序号	发震日期	发震时刻	震中位置		震级		深度 /km	参考地名
			$\varphi_N/^\circ$	$\lambda_E/^\circ$	$M_S$	$M_L$		
1	2022-06-10	00:03:24	32.27	101.82	5.8	6.3	17	四川马尔康
2	2022-06-10	00:04:02	32.27	101.80	4.4	4.8	14	四川马尔康
3	2022-06-10	00:06:44	32.27	101.78		4.6	15	四川马尔康
4	2022-06-10	00:19:44	32.27	101.78		4.0	16	四川马尔康
5	2022-06-10	00:21:17	32.27	101.78	4.4	5.2	21	四川马尔康
6	2022-06-10	01:28:34	32.28	101.83	6.0	6.5	13	四川马尔康
7	2022-06-10	03:27:00	32.25	101.87	5.2	5.6	15	四川马尔康
8	2022-06-10	04:37:26	32.23	101.87	4.4	5.0	15	四川马尔康
9	2022-06-10	04:54:32	32.30	101.82	3.9	4.1	15	四川马尔康
10	2022-06-14	18:11:10	32.27	101.80	4.4	4.8	5	四川马尔康

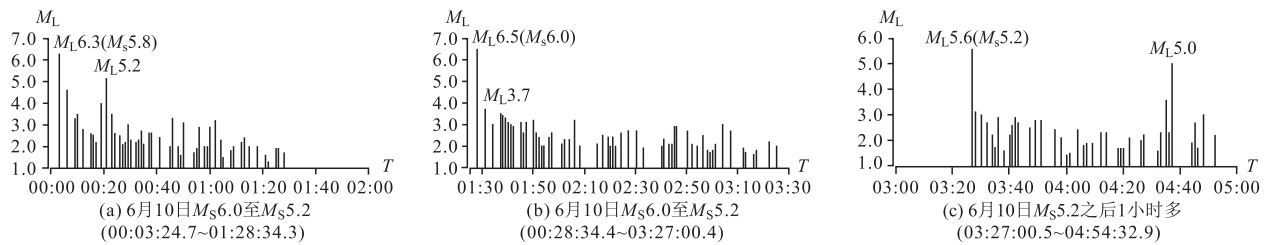


图 3 马尔康  $M_s6.0$  震群序列分时段  $M_L-T$  图( $M_L \geq 1.0$ )

### 1.2 序列重定位结果

依据四川地震台网数据,采用多阶段定位方法(Long *et al*, 2015)进行序列重定位,选用震中距 150 km 以内的台站(图 5)记录到的震相数据,基于 2014 年四川康定  $M_s6.3$ 、 $M_s5.8$  地震序列重定位所用速度模型进行序列重定位,截至 6 月 23 日 23 时 59 分 59 秒,得到马尔康  $M_s6.0$  震群序列 3 644 个地震重定位数据(图 6),83 次从外事件由于失去连接而丢失。中国地震局地球物理研究所(2022)采用地震序列重定位自动处理系统,截至 6 月 10 日 9 时 48 分,得到了 305 个余震的重定位。这两个定位结果均呈现出相同的分布特征。

从震群序列的重定位结果看,震群序列不仅分布于松岗断裂的北东侧,同时也分布于松岗断裂1分支和松岗断裂2分支(孙东等,2010)的北东侧(图6)。序列重定位结果显示震群中3次较大地震并不是松岗断裂的破裂事件组,而是不同断层面的破裂事件(图6)。马尔康  $M_S6.0$  震群序列展布于松岗断裂和松岗1、2分支的北东侧,呈现两支NNW向分布和一支NE向分布。按3次较大地震将震群序列分段进行分析:序列以3次较大地震为代表形成3条带状分布并勾绘出3条断层破裂面,显示松岗断裂北东侧的3条更次一级断层面破裂活动,第1组较大地震后的序列沿松岗断裂迹线的NE侧集中呈NNW向且沿  $F_A$  分布,长轴7 km、短轴3 km,  $M_S5.8$  地震分布于本组序列中部;第2组较大地震后的序列整体再向NE方向偏移也呈NNW向沿  $F_B$  分布,相较第1组序列大约向北东偏转  $15^\circ$ ,长轴12 km、短轴2 km,  $M_S6.0$  地震分布于本组序列中部;第3组较大地震后的序列整体再向SE方向偏移,分布呈现NE向且沿  $F_C$  分布,长轴5 km、短轴1 km,  $M_S5.2$  地震分布于本组序列中部。

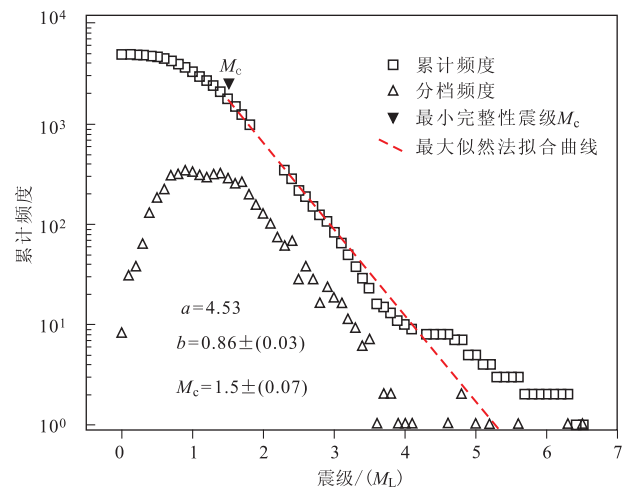


图4 马尔康  $M_S6.0$  震群中  $M_L \geq 0.0$  震级-频度关系曲线

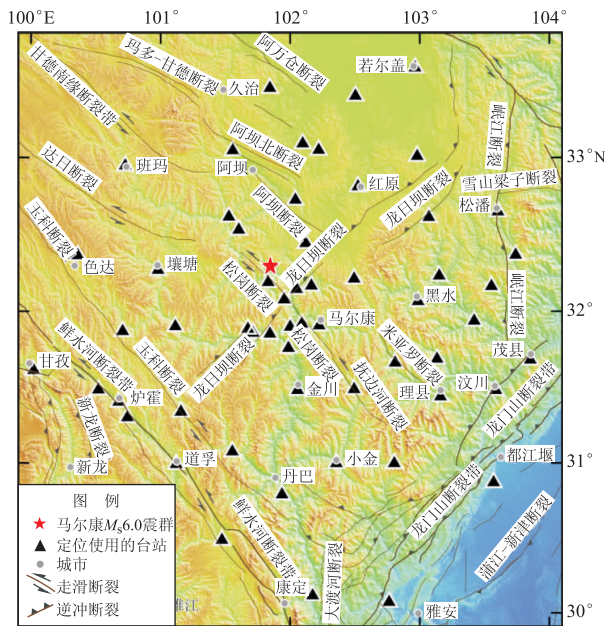


图5 马尔康  $M_S6.0$  震群重定位所用台站分布

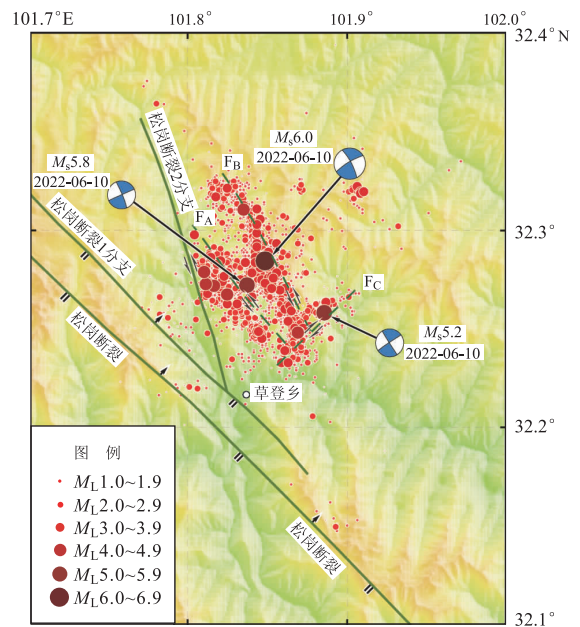


图6 马尔康  $M_S6.0$  震群重定位震中分布

(震源机制解来源于中国地震局地球物理研究所(2022); 2022年6月10日—2022年6月23日,  $M_L \geq 1.0$ )

序列重定位结果显示震群中3次较大地震时空特征:  $M_S5.8$  地震触发  $M_S6.0$  地震,再继续触发  $M_S5.2$  地震的断层破裂事件(图7)。马尔康  $M_S6.0$  震群序列按3次较大地震进行分时间段分析,不仅显示出以3次较大地震为代表形成的3条带状分布,同时显示出松岗断裂北东侧的3条更次一级断层面的触发破裂活动,其表现为:  $M_S5.8$  地震后至  $M_S6.0$  地震发生前为第1组,余震序列沿  $F_A$  迹线NNW向分布(图7a)显示出  $M_S5.8$  地震为  $F_A$  断层破裂事件,期间沿  $F_B$  和  $F_C$  迹线仅有散发的零星小震;触发  $M_S6.0$  地震后至  $M_S5.2$  地震发生前为第2组,余震序列整体再向NE方向偏移且沿  $F_B$  迹线呈NNW向分布(图7b),显示出  $M_S6.0$  地震是  $M_S5.8$  地震触发的  $F_B$  迹线的破裂事件,小震沿  $F_B$  密集分布,而沿  $F_A$  和  $F_C$  迹线仅有散发的零星小震;再次触发的  $M_S5.2$  地震后1个多小时内为第3组,余震序列整体沿  $F_C$  迹线呈NE向分布(图7c),显

示出 $M_S5.2$ 地震是由前面的两次地震触发的 $F_C$ 迹线的破裂事件,沿 $F_A$ 和 $F_B$ 迹线也仅有散发的零星小震;随后进入余震序列持续活动(图7d),此时段沿 $F_A$ 、 $F_B$ 和 $F_C$ 均有较密集余震活动。

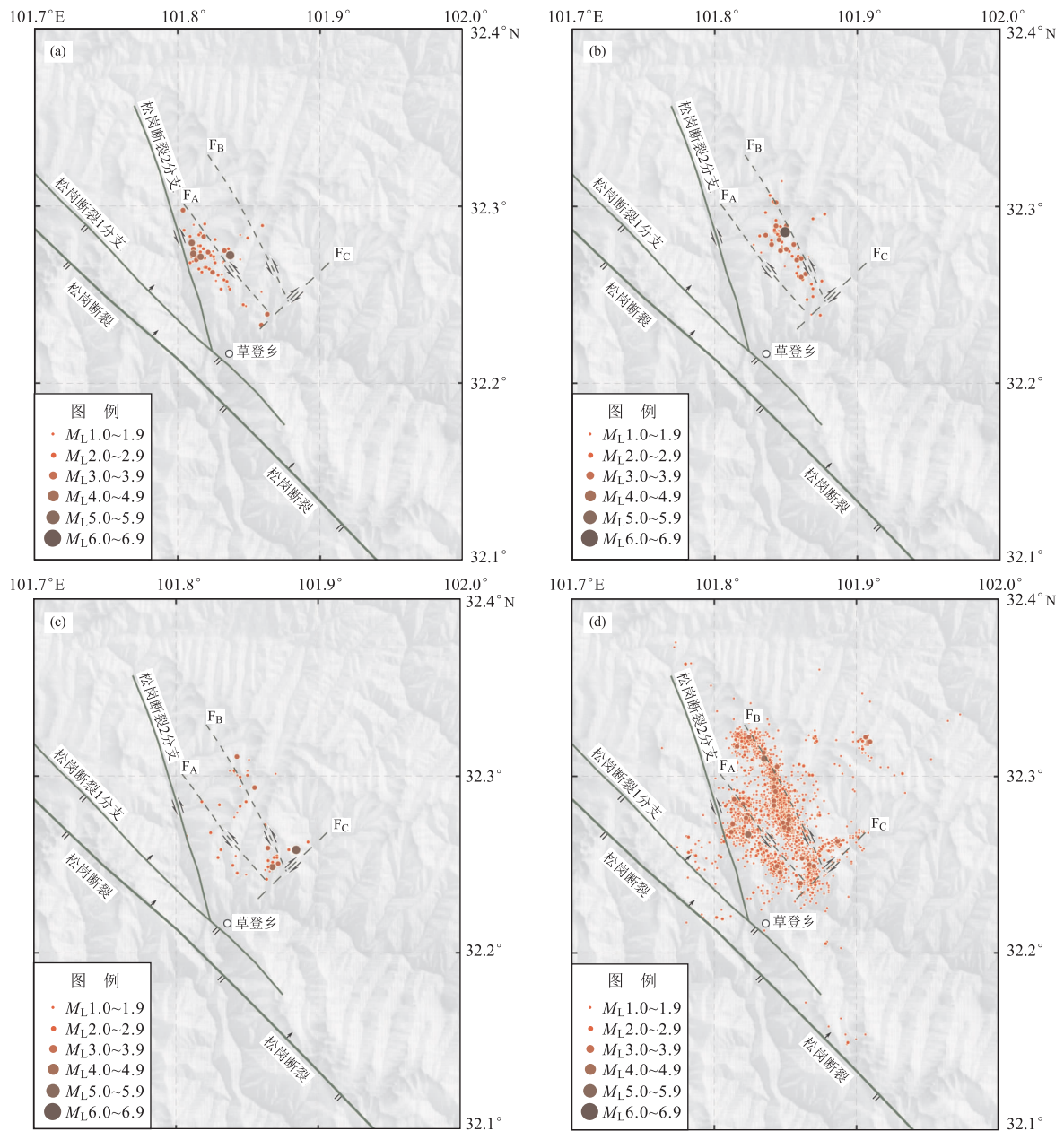


图7 马尔康 $M_S6.0$ 震群 $M_L \geq 1.0$ 序列重定位分时段震中分布

序列重定位结果显示震群中3次较大地震是不同断层深度的破裂事件(图8)。从震源深度看,6月10日序列震源深度集中在 $0 \sim 15$  km,后续序列震源深度集中在 $5 \sim 10$  km。各破裂面上的震源深度特点为:第1组 $M_S5.8$ 地震序列(图8a)沿 $F_A$ 断裂迹线展布,呈NNW向分布,深度为 $0 \sim 15$  km,密集分布在 $5 \sim 10$  km,呈现西北略深、东南略浅的特点, $M_S5.8$ 地震分布于本组序列浅部;第2组 $M_S6.0$ 地震序列(图8b)沿 $F_B$ 断裂迹线展布,呈NNW向分布,深度为 $0 \sim 15$  km,密集分布在 $5 \sim 10$  km,呈现西北深、东南浅的特点, $M_S6.0$ 地震分布于本组序列深部;第3组 $M_S5.2$ 地震序列(图8c)沿 $F_C$ 断裂迹线展布,分布呈现NE向分布,深度为 $0 \sim 15$  km,呈现西南深、东北浅的特点, $M_S5.2$ 地震分布于本组序列深部。

CAP方法反演 $M_S5.8$ 和 $M_S6.0$ 地震的矩心深度分别为 $7.0$  km和 $6.0$  km, $M_S5.2$ 地震由于波形重叠问题,没有得到反演结果; $M_S5.8$ 、 $M_S6.0$ 和 $M_S5.2$ 地震的重定位深度分别为 $4.7$  km、 $12.9$  km和 $11.6$  km。在马尔康 $M_S6.0$ 震群中的3个较大地震中, $M_S5.8$ 地震的震源最浅(图9a),震源位于余震序列的浅部;



$M_S6.0$  地震的震源略深,位于余震序列的深部(图 9b); $M_S5.2$  地震的震源也略深,位于余震序列的深部(图 9c);震群序列重定位显示序列早期深度分布在 0~15 km,深度分布略显分散,震群序列后期集中分布在 5~10 km(图 9d)。

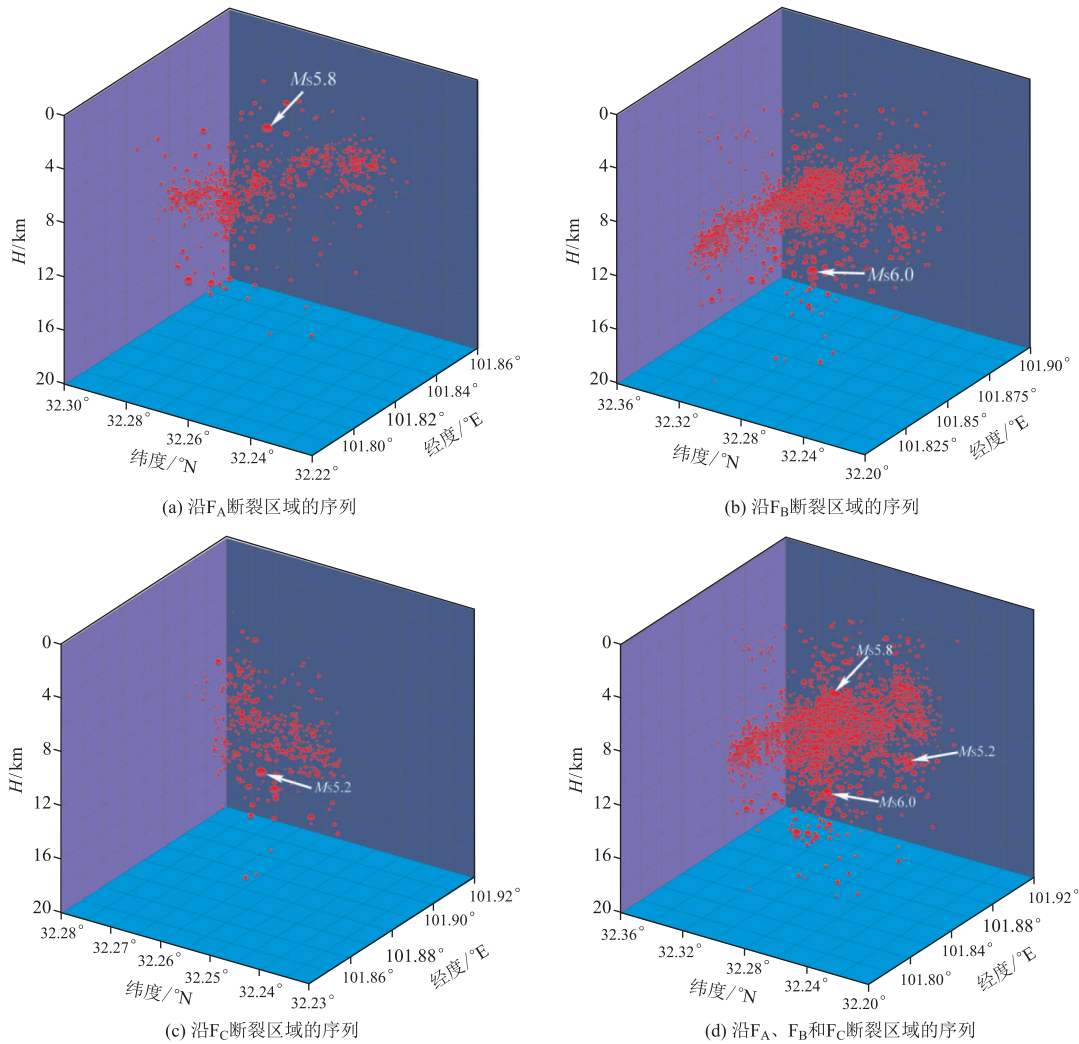


图 8 马尔康  $M_S6.0$  震群中  $M_L \geq 1.0$  序列重定位结果三维图

## 2 震源机制和发震构造探讨

### 2.1 震源机制解结果

本文采用 CAP 方法反演  $M_S5.8$ 、 $M_S6.0$ 、 $M_S4.4$  和  $M_S3.9$  地震的震源机制解和最佳矩心震源深度结果,同时收集整理其他 3 个不同来源的震源机制解结果,见表 2。表 2 中韩立波等(中国地震局地球物理研究所,2022)的结果是利用区域地震台网记录,采用 CAP 方法反演的 3 次地震的震源机制解和最佳矩心震源深度,郭祥云等(中国地震局地球物理研究所,2022)的结果是利用区域波形数据,计算震群中 3 次较大地震的 P 波初动震源机制解(图 5)。依据震源机制解、地震重定位和发震构造分析表明,马尔康  $M_S6.0$  震群不是松岗断裂主断面或松岗断裂 1、2 分支的破裂事件群,是更次级  $F_A$ 、 $F_B$  和  $F_C$  断层的破裂事件群。3 组较大地震序列重定位分布(图 5、图 6)显示,震群序列分布在松岗断裂主断面的北东侧,同时也分布于松岗断裂 1、2 分支的北东侧。震源机制解结果(表 2)显示震群均为走滑型破裂事件群,发震断层均以走滑错动为主要特征,断面近直立。

表 2 2022 年 6 月 10 日马尔康  $M_S6.0$  震群中较大地震的震源机制解

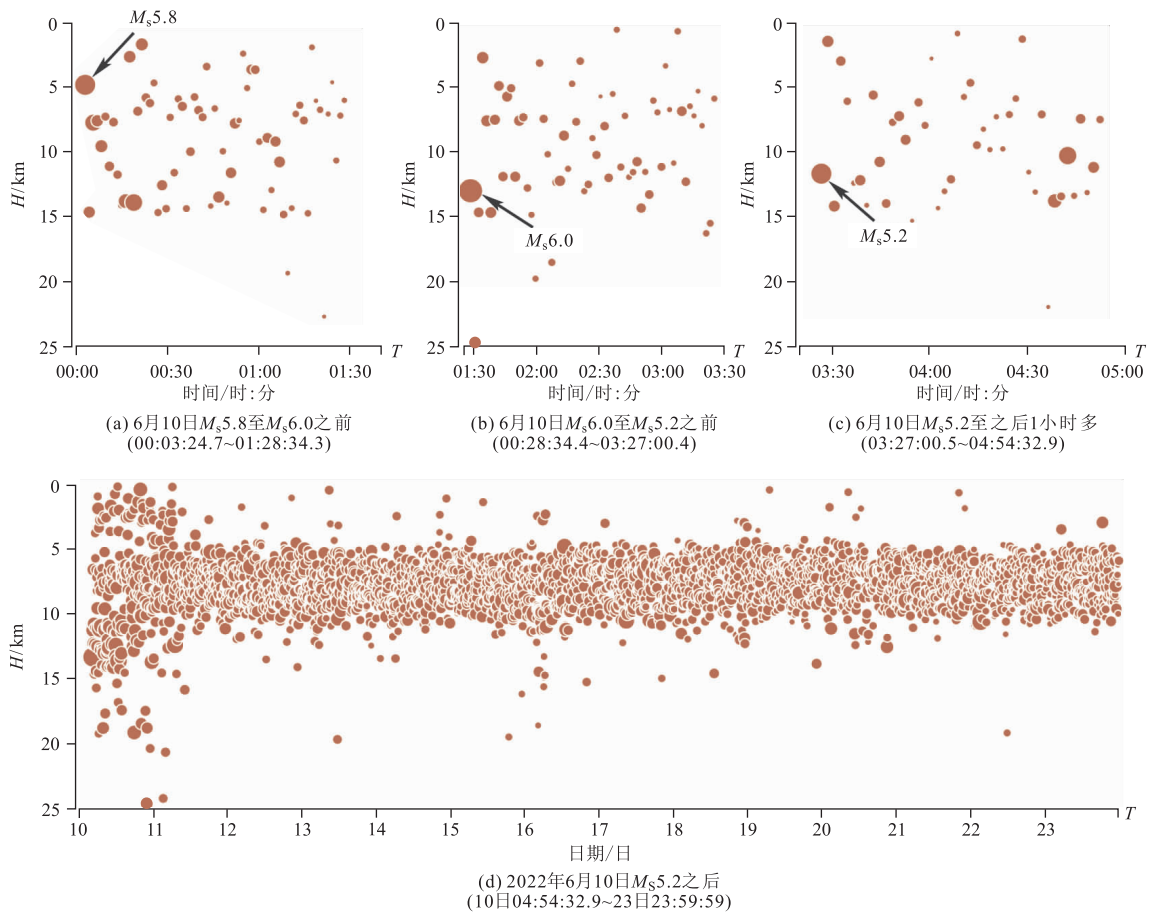


图 9 马尔康  $M_s6.0$  震群中  $M_L \geq 1.0$  序列重定位分时段深度分布

发震时刻	节面 I /°			节面 II /°			$M_w$	$M_s$	深度/km	资料来源
	走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角				
00:03:09	234	90	166	324	76	0	5.3	7	本文结果	
	239	90	157	324	67	0	5.2	5.8	13 韩立波等 <sup>①</sup>	
	239	81	168	331	78	9			郭祥云等 <sup>②</sup>	
	59	81	-148	324	59	-11	5.64	21.5	(USGS,2022) <sup>③</sup>	
01:28:34	329	90	-3	59	87	-180	5.79	6	本文结果	
	57	77	-172	325	82	13	5.7	6.0	12 韩立波等 <sup>①</sup>	
	147	88	-2	237	88	-178			郭祥云等 <sup>②</sup>	
	323	68	-16	59	75	-157	5.89	17.5	(USGS,2022) <sup>③</sup>	
03:27:00	69	80	-171	337	81	-10	4.9	8	韩立波等 <sup>①</sup>	
	337	85	2	247	88	175		5.2	郭祥云等 <sup>②</sup>	
04:37:26	249	90	166	339	76	0	4.46	4.4	6 本文结果	
04:54:32	155	84	9	64	81	174	3.98	3.9	8 本文结果	

注:①②均来源于中国地震局地球物理研究所(2022);③<https://earthquake.usgs.gov/>。

## 2.2 发震构造探讨

马尔康  $M_s6.0$  震群发生在巴颜喀拉地块内(图 1),震群发生区域近场主要分布有松岗断裂、抚边河断裂和龙日坝断裂(唐荣昌等,1993;徐锡伟等,2008;孙东等,2010;刘伟亮,2006;杨振法,2006)。

松岗断裂东南始于梦笔(梦笔山北坡),经松岗(沿木足沟)向 NW 延伸,西北达果尔巫(图 1),是由多条次级断层组成规模不大的较为复杂的断裂带(图 5),长度为 100 km,最宽处达 300 m,内部为简单滑动、小型破碎、劈理化、透镜化以及紧密小褶皱等多种形式组成的断裂带,松岗断裂的北东侧有两条次级断裂——松岗断裂 1、2 分支,地质资料标注松岗断裂的最新活动时间为晚更新世,松岗断裂及其 1 分支的倾向均为 NW 向,具有挤压逆冲性质,其 2 分支地质图标明为左旋走滑性质。松岗断裂主要活动大致呈现右旋斜冲或逆冲、右旋、左旋三类不同的活动方式,野外考察依据断面擦痕,三类不同的活动方式发生相对时间逐次变新

(刘伟亮,2006;孙东等,2010)。松岗断裂存在多期活动性,可能在中更新世有过一次较强的活动,之后在晚更新世晚期断裂南段有过再次活动,而断裂北段在地表浅部晚更新世以来的活动迹象不明显。沿该断裂中段没有  $M \geq 5.0$  地震记载和记录,在西北段的北东侧约 25 km 处记录有 1969 年 9 月 26 日阿坝南  $M_S 5.1$  地震(图 1),该次地震很可能与松岗断裂北西段有关。松岗断裂东南段记载的 1932 年马尔康  $M_S 5.0$  地震(图 1)与松岗断裂有关。

抚边河断裂北接松岗断裂,与松岗断裂呈左行平行排列展布,未直接相连但产状相近(杨振法,2006;图 1)。1941 年 10 月 8 日黑水  $M 6.0$ 、1989 年 9 月 22 日小金  $M_S 6.6$  和 1991 年小金北东  $M_S 5.0$  地震与抚边河断裂有关(程万正,2000)。

徐锡伟等(2008)由 GPS 复测发现存在一条宽阔的 NE 向右旋剪变带,变形速率达 4~6 mm/a。马尔康  $M_S 6.0$  震群中  $M_S 5.2$  地震距离龙日坝断裂中段主断面 23 km,可能与龙日坝断裂有“牵连”,这值得关注。龙日坝断裂带北东段由走向  $N54^\circ \pm 5^\circ E$ 、相距约 30 km 的两条平行分支断层组成,这两条分支断层沿线晚第四纪断错地貌发育,北支龙日曲断层具有较大的逆冲分量,南支毛尔盖断层为纯右旋走滑断层。依据矢量合成原理可知,龙日坝断裂带北东段晚更新世以来平均右旋滑动速率为  $(5.4 \pm 2.0)$  mm/a,垂直滑动速率约 0.7 mm/a,地壳缩短率约 0.55 mm/a(徐锡伟等,2008)。

根据构造性质、震群序列分布与震源机制解结果综合分析认为,马尔康  $M_S 6.0$  震群展布特征不仅与松岗主断裂性质不符,与松岗断裂 1、2 分支的性质和位置也有偏差,推测该震群与松岗断裂的再次一级  $F_A$  断层、 $F_B$  断层和可能与龙日坝断裂有“牵连”的  $F_C$  断层运动方式相符(图 5),均为走滑型地震。对每组较大地震序列的分布特征进行分析,发现  $M_S 5.8$  地震序列(第 1 组)应属 NNW 向的  $F_A$  断层的左旋走滑破裂事件, $M_S 6.0$  地震序列(第 2 组)是 NNW 向的  $F_B$  断层的左旋走滑破裂事件, $M_S 5.2$  地震序列(第 3 组)是 NE 向  $F_C$  断层的右旋走滑破裂事件。因此,马尔康  $M_S 6.0$  震群应是  $F_A$ 、 $F_B$  和  $F_C$  3 分支断层的走滑性破裂事件。

### 3 结论与启示

#### 3.1 马尔康 $M_S 6.0$ 震群研究的主要结论

(1)马尔康  $M_S 6.0$  震群序列属触发多断层面破裂的震群。根据四川地震台网记录资料,截至 2022 年 6 月 30 日,马尔康  $M_S 6.0$  震群序列中较大地震集中发生在 6 月 10 日,较大的 3 次地震间隔时间很短,序列中  $M_L > 4.0$  地震集中在 5 h 内发生;马尔康  $M_S 6.0$  主震与次大  $M_S 5.8$  地震之间的震级差为 0.2;震群序列重定结果显示,序列集中分布在较小范围内,长轴 12 km、短轴 6 km,在松岗断裂北东侧呈现两支 NNW 向和一支 NE 向分布地震带;震群的三支序列显示均分布于松岗断裂 1、2 分支的北东侧, $M_S 5.8$  地震序列集中沿 NNW 向的  $F_A$  断层展布, $M_S 6.0$  地震序列集中沿 NNW 向的  $F_B$  断层展布和  $M_S 5.2$  地震序列集中沿 NE 向的  $F_C$  断层展布,显示触发多断层面破裂的震群活动。

(2)根据区域构造特征、余震重定位空间分布以及震源机制解(表 2)等资料分析认为,马尔康  $M_S 6.0$  地震是发生在巴颜喀拉块体内 NW 走向的松岗断裂北东侧,同时展布于松岗断裂 1、2 分支断裂的北东侧, $M_S 5.8$  和  $M_S 6.0$  地震为与松岗再次级断裂 NNW 走向的  $F_A$  和  $F_B$  断层的左旋破裂事件, $M_S 5.2$  地震为与龙日坝断裂有“牵连”的 NE 走向的  $F_C$  断层的右旋破裂事件。因此,马尔康  $M_S 6.0$  震群为 3 分支断层  $F_A$ 、 $F_B$  和  $F_C$  的走滑性破裂事件,属触发多断层面破裂的震群。

(3)通过 CAP 方法反演的两次较大地震( $M_S 5.8$  和  $M_S 6.0$ )的矩心深度分别为 7 km 和 6 km,重定位 3 次较大  $M_S 5.8$ 、 $M_S 6.0$  和  $M_S 5.2$  地震的深度分别为 4.7 km、12.9 km 和 11.6 km;房立华等(中国地震局地球物理研究所,2022)反演这 3 次地震的最佳矩心震源深度分别为 13.0、12.0 和 8.0 km。震群序列重定位显示序列早期地震的深度主要分布在 0~15 km,震群序列后期集中分布在 5~10 km。

#### 3.2 马尔康 $M_S 6.0$ 震群震后趋势研判的启示

触发多断层面破裂的震群的趋势研判需重视小区域断裂的发震能力判定。作为触发多断层面破裂的震群可简称为“多断层面触发性震群”,马尔康  $M_S 6.0$  震群序列早期的较大地震集中在短时间内发生,间隔时间极短,第 1 个  $M_S 5.8$  地震发生后,余震密集发生难以及时处理观测数据,此时无法依赖计算序列参数来研判序列趋势,应重视这种余震密集型可能产生邻近断层的新破裂事件的发生,注意小区域的断裂分布和发震

能力判定。

多断层面触发性震群的趋势研判需重视序列分布迁移研判以及序列频次和强度的衰减变化。在断裂复杂区域,一次中强地震发生后,序列中余震不仅围绕较大地震展布,要特别注意序列出现的迁移活动,若出现序列小震迁移,则需注意后续触发相邻断层的较大破裂事件发生的可能。在断裂复杂区域,一次中强地震发生后,要重视序列频次和强度是否正常衰减,若出现频次不衰减,或强度出现起伏,则需注意后续较大地震的发生。

序列趋势快速研判需重视将“序列”放入“发震构造环境”和“历史破裂事件”中认识。无论是小、中和强震群,都应重视其震群发生位置的构造大背景和区域构造环境,要将正发生的震群“序列”放入“发震构造环境”中去研究,在构造动力学背景的基础上,能有助于认识区域断裂发震能力,可以较好对区域未来可能遇到的最大强度地震做出判断,较准确研判“序列”的发震趋势。无论是小、中和强震群,都应重视其震群发生位置的地震历史,要将正发生的震群“序列”放入“历史破裂事件”中去研究,区域的历史地震资料越翔实,对区域地震活动规律的把握就越准确,就能充分认识区域的强震和大震的复发周期或离逝时间,较准确研判“序列”的发震趋势。

## 参考文献

- 程万正. 2000. 1989年9月22日四川省小金6.6级地震.《中国震例》(1989—1991)[M]. 北京:地震出版社,59—86.
- 焦远碧,刘杰. 1996. 自然类比法在地震序列分类及震后趋势早期判别中的应用[J]. 地震,16(1):22—32.
- 刘伟亮. 2006. 大渡河金川水电站区域地壳稳定性评价[D]. 成都:成都理工大学.
- 龙锋,闻学泽,倪四道. 2009. 区域最小完整性震级时空分布的确定:以龙门山断裂带为例[J]. 地震,29(3):27—36.
- 孙东,王道永,吴德超,等. 2010. 马尔康巴拉水电站近场区主要断裂活动性及对工程的影响[J]. 工程地质学报,18(6):940—949.
- 唐荣昌,韩渭宾. 1993. 四川活动断裂与地震[M]. 北京:地震出版社,368.
- 徐锡伟,闻学泽,陈桂华,等. 2008. 巴颜喀拉地块东部龙日坝断裂带的发现及其大地构造意义[J]. 中国科学 D辑:地球科学,38(5):529—542.
- 杨振法. 2006. 大渡河金川水电站外围抚边河断层的活动性研究[D]. 成都:成都理工大学.
- 中国地震局地球物理研究所. 2022. 2022年6月10日四川阿坝州马尔康市5.8级、6.0级和5.2级地震科技支撑简报[EB/OL]. (2022-06-13)[2022-09-21]. <https://www.cea-igp.ac.cn/kydt/279041.html>.
- Waldhauser F, Ellsworth W L. 2000. A Double-Difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward Fault, California [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 90(6):1353—1368.
- Wiemer S, Wyss M. 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the Western United States, and Japan [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 90(4):859—869.
- Long F, Wen X Z, Ruan X, *et al.* 2015. A more accurate relocation of the 2013  $M_s7.0$  Lushan, Sichuan, China, earthquake sequence, and the seismogenic structure analysis[J]. Journal of Seismology, 19:653—665.

# Characteristics of the Ma'erkang $M_s6.0$ Earthquake-Swarm Triggered along Multiple Fault Planes in 2022

DU Fang, LONG Feng, LIANG Mingjian, QI Yuping, GONG Yue, WU Jiang

(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

**Abstract:** The  $M_s5.8$ ,  $M_s6.0$  and  $M_s5.2$  Ma'erkang earthquakes occurred in Aba Tibetan and Qiang Prefecture, Sichuan on June 10, 2022. Based on the sequence data of the  $M_s6.0$  earthquake-swarm that occurred in 2022, the temporal and spatial characteristics of the earthquake-swarm sequence were studied in this paper. We used precise positioning of the earthquake-swarm sequence, combined with the results of

the focal mechanism solution and regional tectonic data. The results show: The  $M_S6.0$  Ma'erkang earthquake-swarm belongs to the earthquake-swarm triggered by multiple fault planes. The  $M_S6.0$  Ma'erkang earthquake-swarm occurred in the Bayan Har active Block of level II, and spreads on the northwest side of the NW-trending Songgang fault and the two branches of the Songgang fault-Songgang fault 1 and 2 branches. The  $M_S5.8$  and  $M_S6.0$  earthquakes are the rupture events of the left-lateral strike-slip of the NNW-trending  $F_A$ - and  $F_B$ - faults on the northwest side of the Songgang fault. The  $M_S5.2$  is the rupture event of the right-lateral strike-slip of the NE-trending  $F_C$ -fault, which may be "implicated" with the Longriba fault. The hypocenter of the  $M_S6.0$  Ma'erkang earthquake-swarm are concentrated in the shallow part above 15 km. At the same time, several inspirations for obtaining the rapid research and judgment of post-earthquake trends are included: In the rapid trend study of the earthquake-swarms triggered by multiple fault planes, the tracking and judgment of fault seismogenic capacity, sequence distribution migration, sequence frequency and intensity in small areas all need to be focused. In the rapid study of sequence trends, it is necessary to pay attention to the understanding that the earthquake-swarm "sequence" is placed in the "seismogenic tectonic environment" and "historical rupture events".

**Keywords:** the Ma'erkang  $M_S6.0$  earthquake-swarm; swarms triggered by multiple fault planes; the Songgang fault; the Longriba fault; left-lateral strike-slip; right-lateral strike-slip

# 2022年四川芦山 $M_s6.1$ 地震灾害特点分析

张雪华<sup>1</sup>, 陈灿忠<sup>2,3</sup>, 李静<sup>1</sup>, 邓铎<sup>1</sup>, 杜晓霞<sup>1</sup>

(1. 中国地震应急搜救中心, 北京 100049;

2. 中华人民共和国应急管理部, 北京 100054;

3. 中化地质矿山总局福建地质勘察院, 福建 福州 350013)

**摘要:**2022年6月1日四川芦山发生  $M_s6.1$  地震, 结合震区地质构造背景和现场调查结果, 对此次地震造成的建筑物震害、次生地质灾害和生命线工程破坏等震害特点进行分析。结果表明此次地震发生在2013年芦山  $M_s7.0$  地震恢复重建区, 建筑物震害较轻, 山体崩塌、滚石等次生地质灾害较为严重, 且是造成人员伤亡的主要原因, 并造成了道路、生命线工程破坏和堵塞体等灾害。同时认为, 恢复重建区严格按照国家抗震设计规范进行建筑物的设计和施工, 可以大量减少人员伤亡, 高山峡谷地区地震极易引发山体崩塌落石等, 在生命线工程建设设计及日常排查中要加以考虑。

**关键词:**芦山  $M_s6.1$  地震; 地震灾害; 灾害特点; 恢复重建

**中图分类号:**P352;P315.94 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2022)04-0011-04

**DOI:**10.13716/j.cnki.1001-8115.2022.04.002

2022年6月1日17时四川雅安芦山县发生  $M_s6.1$  地震, 震中位置为(30.37°N, 102.94°E), 震源深度17 km, 造成4人死亡, 1人失联, 42人受伤。中国地震局于6月4日发布了此次地震的烈度图(图1), 显示此次地震的最高烈度为Ⅷ度, 等震线长轴呈北东走向, 长轴76 km, 短轴65 km, VI度区及以上面积3887 km<sup>2</sup>, 主要涉及四川省雅安市芦山县、宝兴县、天全县、名山区、雨城区以及成都市邛崃市、大邑县, 共计7个县(市、区), 40个乡镇(街道), 其中雅安市29个乡镇(街道), 成都市11个乡镇(街道)。

此次地震发生在2013年四川芦山  $M_s7.0$  地震恢复重建区内, 两次震中相距约9.7 km, 与2008年汶川  $M_s8.0$  地震震中相距约83 km。同2013年芦山地震和2008年汶川地震相比, 此次地震灾害具有以下明显特点: ①震级相对较小, 此次地震释放的能量较小; ②人员伤亡较少, 2008年汶川  $M_s8.0$  地震造成69146人遇难, 374131人受伤, 17516人失踪(袁一凡, 2008; 董树文等, 2008), 2013年芦山  $M_s7.0$  地震造成196人死亡, 11470人受伤(沈军等, 2013), 此次地震共造成4人死亡, 42人受伤, 伤亡人数明显减少; ③建筑物震害轻, 由于本次地震震中处于2013年芦山  $M_s7.0$  地震的重灾区, 恢复重建后建筑物抗震性能普遍较好, 仅有145间严重破坏, 7393间一般损坏; ④应对高效, 2018年应急管理部成立后, 应急管理能力和应急响应时间显著提升, 地震灾害应对更加高效有力, 本次地震应急响应时间不足94小时。本文在对此次地震灾区构造背景条件概述的基础上, 对建筑物震害、次生地质灾害、生命线工程破坏和人员伤亡原因进行了分析, 以期对本区域防震减灾和抗震救灾工作提供参考。

## 1 灾区构造背景

此次地震发生在四川雅安芦山县境内, 震中位于宝兴县城正东约12 km处, 是继汶川  $M_s8.0$  地震和芦山  $M_s7.0$  地震以来发生在龙门山断裂带南段的又一次强烈地震。龙门山断裂带是喜山运动以来, 印度洋板块向北俯冲, 引起青藏高原急速抬升, 在北部华北板块和东部扬子板块的阻挡下, 青藏高原上部物质无法向东向北运动, 最终强大的挤压应力施加于龙门山断裂带上(沈军等, 2013)。龙门山断裂带为典型的逆冲推覆

**收稿日期:**2022-08-15; **修回日期:**2022-08-31

**基金项目:**国家重点研发计划(2017YFB0504104)资助。

**作者简介:**张雪华(1990-), 男, 山东聊城人, 工程师, 主要从事无人机及应急救援装备技术在地震应急中的应用研究。E-mail: zhangxhuannerss@163.com.

**通讯作者:**杜晓霞(1982-), 女, 山东临汾人, 高级工程师, 主要从事地震应急救援与装备技术研究。E-mail: duxx\_bj@126.com.

构造,具有前展式发育特征,断裂带南段主要由盐井—五龙断裂、双石—大川断裂、新开店断裂、大邑断裂等组成,其中,盐井—五龙断裂为龙门山断裂带南段的中央断裂,双石—大川断裂为南段的前山断裂,具有明显的晚第四纪新活动性,错断了晚更新世地层(杨晓平等,1999;张岳桥等,2010)

## 2 地震灾害特点

本次地震最高烈度Ⅷ度,极震区面积 131 km<sup>2</sup>,主要涉及四川省雅安市芦山县太平镇、双石镇,宝兴县灵关镇、穆坪镇,共计 4 个镇,其长轴方向为北北东向,与龙门山断裂带的走向基本一致,在Ⅷ度区内发育崩塌、滑坡、滚石等地质灾害,严重破坏建筑物基本全集中在此区域。

### 2.1 建筑物震害特点

本次地震造成四川灾区 40 个乡镇(街道)建筑物不同程度受损,灾区建筑物类型主要包括框架结构、砖混结构和木结构,其中砖混结构房屋占比最多。框架结构主要分布在城镇房屋以及医院、学校等公共场所,砖混结构在城镇和农村均大量分布,木结构主要分布在农村地区。经过“5·12”汶川地震和“4·20”芦山地震灾后重建,灾区整体建筑物建设年代较近,普遍按照抗震设防标准设计和施工,抗震性能较好,地震造成的建筑物严重破坏比例较少,极少老旧房屋出现整体垮塌情况。

框架结构房屋主要是灾区内的机关办公大楼、商场、学校、医院等公用建筑。通过调查宝兴县穆坪镇、蜂桶寨等Ⅷ度区范围内框架结构的破坏现象主要表现为:主体承重结构完好,填充墙出现 X 剪切裂缝(图 2a、b)、门窗洞口出现八字形裂缝、外墙装饰砖出现脱落(图 2c)、内墙出现较长斜裂缝(图 2d)等。

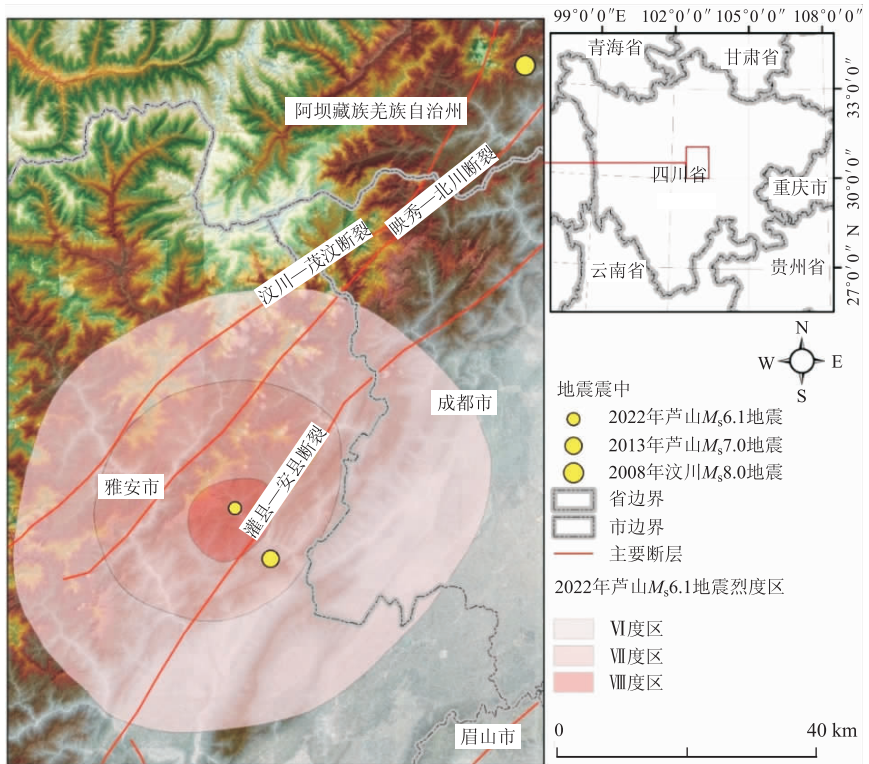


图 1 芦山 Ms 6.1 地震烈度及地震分布图(中国地震局,2022)



图 2 框架结构破坏典型照片

砖混结构房屋在灾区城镇和乡村普遍存在,占灾区建筑 70%左右。通过调查芦山县太平镇、龙门镇等区域,砖混结构的建筑物破坏现象主要表现为:门窗洞口角部八字形裂缝现象普遍(图 3a、b)、圈梁与砖墙之间出现横向通长裂缝,破坏了圈梁与墙体整体性,无构造柱设施的砖混结构,墙体转角处出现部分破坏,竖向承载力严重破坏(图 3d 为图 3c 的局部放大图)。

木结构房屋主要分布在灾区的乡村地区,占灾区建筑 5%左右,建筑年代相对较为久远,为“5·12”汶川

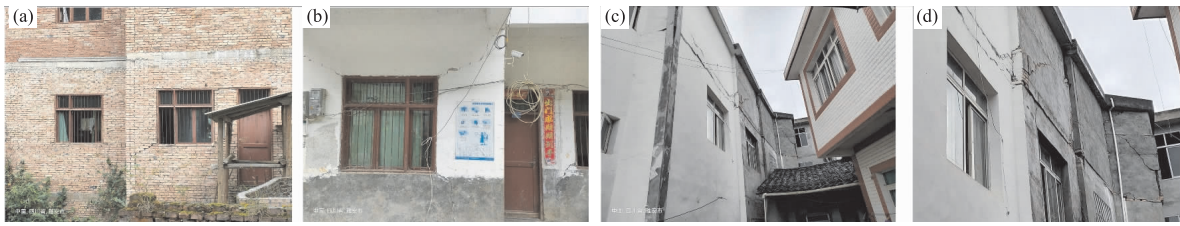


图 3 砖混结构破坏典型照片

地震和“4·20”芦山地震中未倒塌建筑,且普遍为单层结构。通过调查太平镇、蜂桶寨乡等区域,发现部分木结构房屋破坏严重(图 4a),个别房屋出现完全倒塌(图 4b),部分木结构主体木结构完好,维护和分割墙体倒塌严重(图 4c)。



图 4 木结构破坏典型照片

### 2.2 地震地质灾害

从现场调查情况来看,此次震区次生地质灾害的表现主要为:规模相对较小、数量多,滚石、崩塌、飞石等现象较为突出,造成人员伤亡、道路交通阻塞、壅塞体等。

### 2.3 生命线震害

生命线系统主要包括供水、排水系统,电力、燃气及石油管线等能源供给系统;电话和广播电视等情报通信系统,大型医疗系统工程及公路、铁路等交通系统等(李皓等,2017),主要震害特点:(1)交通系统受阻严重,据统计地震共造成国道 351 线、省道 432 线和省道 308 线 3 条道路 25 处阻断,芦山县芦双路、芦太路、大南路等 3 条农村公路 7 处阻断;(2)电力系统部分受损,据统计地震共造成四川省 1 座 110 kV 变电站、11 座 35kV 变电站,1 条 110 kV 线路、11 条 35kV 线路、45 条 10 kV 线路,共计 5 万多用户停电;(3)通信系统部分受损,地震共造成芦山县、宝兴县累计退服基站 152 个,累计光缆受损 112 km。另外,山体滑坡还造成宝兴河民治电站下游堵塞,形成壅塞体,导致民治水电站尾水倒灌。



图 5 次生地质灾害



图 6 生命线工程破坏

## 3 总结与讨论

综合分析本次地震及其造成的建筑物、道路、次生地质灾害等情况,可以看出本次地震具有以下特点:(1)地震背景强。由于此次发生在龙门山断裂带,该区域曾发生多次特重大、重大地震,本次震中距离 2008 年汶川地震震中仅约 83 km,距离 2013 年芦山  $M_s7.0$  地震震中不足 10 km,具有中强地震背景;(2)地震人



人员伤亡少。本次地震共造成4人死亡,1人失联,42人受伤,死亡人数为同区域的芦山 $M_S7.0$ 地震死亡人数的2%,受伤人数为0.36%;与2021年9月16日四川泸县 $M_S6.0$ 地震相比,两次地震震级相近,但死亡人数仅增加1人,受伤人数减少117人;(3)建筑物震害较轻。由于本次灾区位于2008年汶川 $M_S8.0$ 和2013年芦山 $M_S7.0$ 地震恢复重建区,按照第五代地震区划图,震区抗震设防烈度为Ⅷ度,学校、医院等公共场所及部分民房抗震设防等级进一步提高,灾区普遍房屋抗震性能良好,没有因建筑物倒塌而死亡的人员;(4)次生地质灾害重。震区属于龙门山断裂带南段,地形起伏较大,高山峡谷分布,虽没有引发大面积的滑坡等地质灾害,但崩塌、飞石、滚石现象严重,4人遇难全部由于滚石造成,同时部分滑坡阻断了部分道路、河流,造成交通中断和壅塞体。

本次地震造成的人员伤亡少主要得益于灾后重建区建筑物抗震性能较好,可见提升建筑物抗震设防能力是减轻人员伤亡的有效手段,但是由于震中位于西南山区,不可避免地造成次生地质灾害,对交通、水系、生命线工程等造成破坏,甚至成为造成人员伤亡的主要因素。因此,通过分析本次地震特点,可以为具有相似地形地貌特点和建筑物抗震设防能力相当的区域提供应急准备和应急救援建议,进一步减轻地震灾害损失。

## 参考文献

- 董树文,张岳桥,龙长兴,等. 2008. 四川汶川 $M_S8.0$ 地震地表破裂构造初步调查与发震背景分析[J]. 地球学报, 29(3): 392-396.
- 李皓,刘金龙,江小林,等. 2018. 2017年九寨沟7.0级地震灾害特点浅析[J]. 震灾防御技术, 13(3): 679-688.
- 沈军,薄景山,于晓辉,等. 2013. 2013年4月20日芦山7.0级地震发震构造及地震地质灾害特点[J]. 防灾科技学院学报, 15(3): 1-8.
- 杨晓平,蒋溥,宋方敏,等. 1999. 龙门山断裂带南段断错晚更新世以来地层的证据[J]. 地震地质, 21(4): 341-345.
- 袁一凡. 2008. 四川汶川8.0级地震损失评估[J]. 地震工程与工程震动, 28(5): 10-19.
- 张岳桥,李海龙. 2010. 龙门山断裂带西南段晚第四纪活动性调查与分析[J]. 第四纪研究, 30(4): 699-710.
- 中国地震局. 2022. 中国地震局发布四川芦山6.1级地震烈度图[EB/OL]. (2022-06-04)[2022-08-15]. <https://www.cea.gov.cn/cea/xwzx/fzjzyw/5661356/index.html>.

## $M_S6.1$ Earthquake Characteristics of Hazard Analysis of the Sichuan Lushan

ZHANG Xuehua<sup>1</sup>, CHEN Canzong<sup>2,3</sup>, LI Jing<sup>1</sup>, DENG Duo<sup>1</sup>, DU Xiaoxia<sup>1</sup>

(1. National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China;

2. Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China, Beijing 100054, China;

3. Fujian Geological Exploration Institute of Geology and Mine Bureau, Fujian Fuzhou 350013, China)

**Abstract:** At 17:00 on June 1, 2022, an  $M_S6.1$  earthquake occurred in Lushan County, Sichuan Province. This article combined the on-site survey results and the geological structure of the earthquake area to analyze the characteristics of building damages, secondary geological disasters and lifeline engineering destruction. According to the analysis, the earthquake occurred in the 2013 Lushan  $M_S7.0$  earthquake reconstruction zone. The building damage was modest, the mountains collapsed, the rolling stones were serious. These are the main causes of casualties and other disasters. At the same time, the reconstruction zones can be carried out in accordance with the national seismic design specifications, which can reduce casualties in large numbers.

**Keywords:** Sichuan Lushan  $M_S6.1$  Earthquake; earthquake disasters; characteristics of disasters; recovery and reconstruction

# 2022年四川泸定 $M_s6.8$ 地震前后 库仑应力变化分析

冉喜阳<sup>1</sup>, 朱航<sup>1</sup>, 龙锋<sup>1</sup>, 李雷豪<sup>2</sup>, 王迪<sup>1</sup>

(1. 四川省地震局, 四川成都 610041;

2. 四川省地质调查研究院, 四川成都 610031)

**摘要:** 计算和研究了巴颜喀拉块体南、东边界地区发生的10次 $M_s \geq 6.5$ 地震引起的静态库仑应力变化图像, 认为先发生的9次地震对2022年9月5日泸定 $M_s6.8$ 地震具有触发作用。泸定 $M_s6.8$ 地震发生后, 对震中附近主要断裂应力转移的计算结果显示: 在巴颜喀拉块体东、南边界地区10次 $M_s \geq 6.5$ 地震的共同作用下, 鲜水河断裂带道孚—康定段、龙门山断裂带南段及安宁河断裂带北段库仑应力水平升高, 具有触发作用, 应该关注其未来短期内发生强震的可能性。

**关键词:** 巴颜喀拉块体边界; 泸定 $M_s6.8$ 地震; 库仑应力变化; 应力触发

**中图分类号:** P315.7      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1001-8115(2022)04-0015-06

**DOI:** 10.13716/j.cnki.1001-8115.2022.04.003

据中国地震台网正式测定, 2022年9月5日12时52分, 四川省甘孜藏族自治州泸定县发生 $M_s6.8$ 地震, 震源深度16 km, 震中位置(29.59°N, 102.08°E)。截至2022年10月9日8时共记录到 $M_s \geq 3.0$ 余震17次, 其中 $M_s4.0 \sim 4.9$ 地震2次,  $M_s3.0 \sim 3.9$ 地震15次, 最大余震为9月7日2时42分发生在雅安石棉县的 $M_s4.5$ 地震。中国地震局四川泸定 $M_s6.8$ 地震科学考察队给出的这次 $M_s6.8$ 地震的震中位置位于鲜水河断裂带, 破裂总长度达40 km, 破裂方向与鲜水河断裂方向基本一致, 最大滑动量达1.84 m, 根据震源机制解和断层分布推测发震断层面走向、倾角和滑动角分别为343°、79°和9°, 地震破裂以走滑运动为主, 带部分逆冲分量(中国地震局科技与国际合作司, 2022)。

1973年以来, 四川地区一共发生14次 $M_s \geq 6.5$ 地震, 其中在巴颜喀拉块体南边界、东边界上的有10次, 包括1973年2月6日炉霍 $M_s7.6$ 地震, 1973年8月11日松潘 $M_s6.5$ 地震, 1976年8月16、22和23日松潘 $M_s7.2$ 、 $M_s6.7$ 和 $M_s7.2$ 地震, 1981年1月24日道孚 $M_s6.9$ 地震, 2008年5月12日汶川 $M_s8.0$ 地震, 2013年4月20日芦山 $M_s7.0$ 地震, 2017年8月8日九寨沟 $M_s7.0$ 地震, 2022年9月5日泸定 $M_s6.8$ 地震。上述10次地震共同构成了1973—2022年巴颜喀拉块体南、东边界强震序列。

巴颜喀拉块体南、东边界的地震趋势变化一直备受关注。国内外学者对大地震引起的静态库仑应力变化对周边断层的强震起到触发或减震作用已有许多研究(King *et al*, 1994; Stein *et al*, 1997; 沈正康等, 2003; Papadimitriou *et al*, 2004; Toda *et al*, 2005; 吴小平等, 2007; 朱航等, 2009; 闻学泽等, 2011; 解朝娣等, 2014; 屈勇等, 2017; 朱航等, 2017; 刘博研等, 2022)。解朝娣等(2014)研究了2008年汶川 $M_s8.0$ 地震与2013年芦山 $M_s7.0$ 地震之间的触发关系, 其结果显示芦山地震的震源断层位于汶川地震的库仑应力增加区, 且变化峰值超过0.1 MPa, 依此认为汶川地震与芦山地震之间存在触发关系, 芦山地震的震源断层在应力积累逐渐接近临界状态的某一特定时期内, 受到了汶川地震的应力触发作用, 进而芦山地震提前破裂。屈勇等(2017)分析了1973—2014年巴颜喀拉块体东—南边界断裂带上9次显著地震引起的库仑应力变化, 认为鲜水河断裂带、安宁河断裂带和龙门山断裂带交汇的三岔口区域位于应力增加区, 需要重点关注其发生强震的可能。朱航等(2017)研究了1973—2013年巴颜喀拉块体东边界6次 $M_s \geq 6.5$ 地震引起的静态库仑应力变化图像, 认为先发生的6次地震对2017年九寨沟 $M_s7.0$ 地震具有触发作用, 指出九寨沟 $M_s7.0$ 地震及

收稿日期: 2022-10-19; 修回日期: 2022-10-25

作者简介: 冉喜阳(1994—), 男, 四川绵阳人, 助理工程师, 主要从事地震预测研究。E-mail: 398842381@qq.com.

通讯作者: 朱航(1966—), 男, 四川成都人, 正研级高工, 主要从事地震学与地震预测的研究。E-mail: zhuhang1234@163.com.

先前的6次强震使东昆仑断裂带东段及龙日坝断裂带的库仑应力水平升高,具有触发作用,对库仑应力减少区域的岷江断裂带具有减震效应。本文研究1973年以来巴颜喀拉块体南、东边界 $M_s \geq 6.5$ 地震引起的泸定 $M_s 6.8$ 地震发震断层的库仑应力变化,以及泸定地震发生后对周围断层叠加的库仑应力变化影响,为大震后震情趋势发展的快速判断提供参考。

## 1 研究方法

当断层积累应力大小超过断层面的滑动阻抗强度时,断层面将会滑动和破裂。通常认为超过0.01 MPa的微小库仑应力变化就会影响断层的应力分布状态,从而增加或缩短断层发生潜在在破裂所需的时间(King *et al*, 1994)。研究断层趋于破裂的过程可以使用库仑应力变化 $\Delta\sigma_f$ 进行数值描述:

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau_s + \mu' \Delta\sigma_n \quad (1)$$

式中, $\Delta\tau_s$ 为断层面的剪切应力变化(沿滑动方向为正), $\Delta\sigma_n$ 为正应力变化(张应力为正), $\mu'$ 为断层面的摩擦系数。

当地震发生后,发震断层的应力将在一定程度得以释放,同时,地震时的同震位错会引起附近区域的断层静态应力变化,即应力转移。当引起的相邻断层段上的库仑应力变化为正值时,该断层段重新发生粘滑的可能性增大,可能会很快发生另一次地震,这种情况即地震的应力触发作用;当引起的相邻断层段上的库仑应力变化为负值时,该断层段重新发生粘滑的可能性降低。一般称库仑应力变化的正值区域为应力触发区,负值区域为应力影区(King *et al*, 1994)。引起应力变化的地震被称为“源地震”,破裂面被称为“源断层”,区域中的其它先存断层称为“接收断层”。根据Okada(1992)提出的均匀各向同性弹性半空间模型,可由源断层的同震位错计算接收断层的库仑应力变化量。

本文采用King等(1994)推导的库仑应力变化公式以及发展的相关算法,并使用Toda等(2011)开发的Coulomb3.3软件分别计算1973—2022年间巴颜喀拉南、东边界强震序列引起的静态库仑应力变化,分析可能存在的触发作用,并进一步研究该强震序列对周边地区中、强地震活动的影响。用Coulomb3.3软件计算接收断层上的静态库仑应力变化量需要用到源断层产状、同震位错、震级、震源深度等参数,以及接收断层的几何特征及断层摩擦系数(King *et al*, 1994)。

## 2 发震构造与位错模型

印度洋板块与欧亚板块碰撞后继续向北推进形成了青藏高原,同时青藏高原的若干构造块体分别沿大型走滑断裂带向东和南东方向滑移(闻学泽等, 2011)。位于青藏高原中北部的巴颜喀拉块体是这些活动块体之一。巴颜喀拉块体北边界主要由东昆仑断裂带构成,南边界的南东段主要由鲜水河、甘孜—玉树断裂带构成,东边界主要由龙门山断裂带、虎牙断裂带和树正断裂构成(图1)。震源机制解反映巴颜喀拉块体北部与南部的边界断裂表现出左旋走滑为主,而东边界以逆冲断层占优势。东昆仑断裂带、甘孜—玉树断裂带和鲜水河断裂带的滑动速率明显高于龙门山断裂带的滑动速率(陈长云等, 2013)。本文以巴颜喀拉块体南、东边界为主体,选取1973—2022年 $M_s \geq 6.5$ 地震作为研究对象。

图1显示了1973—2022年发生在研究区内主体活动断裂的 $M_s 6.5$ 以上地震的震中位置及邻近断层情况。1973年8月11日的松潘 $M_s 6.5$ 地震发生在NW走向的树正断裂,震源机制为左旋剪切破裂;1976年8月16和23日的松潘 $M_s 7.2$ 地震发生在NNW向的虎牙断裂带,震源机制为左旋走滑兼逆冲型;1976年8月22日的松潘 $M_s 6.7$ 地震发生在NE向叶塘断裂,震源机制为逆冲型;2008年汶川 $M_s 8.0$ 地震和2013年芦山 $M_s 7.0$ 地震发生在龙门山断裂带,震源机制为逆冲型;2017年九寨沟 $M_s 7.0$ 地震发生在NW向树正断裂,震源机制为左旋走滑型(朱航等, 2017);这些地震均发生在巴颜喀拉块体东边界。四川境内的巴颜喀拉块体南边界主要是NW向鲜水河断裂带,1973年2月6日炉霍 $M_s 7.6$ 地震与1981年1月24日道孚 $M_s 6.9$ 地震都发生在鲜水河断裂带,震源机制为左旋走滑型;2022年泸定 $M_s 6.8$ 地震发生在鲜水河断裂带南段,位于鲜水河断裂带、安宁河断裂带和龙门山断裂带交汇的三岔口地区,震源机制为左旋走滑。

为了构建Coulomb3.3软件计算目标区域库仑应力变化所需要的模型,我们收集了巴颜喀拉块体南、东

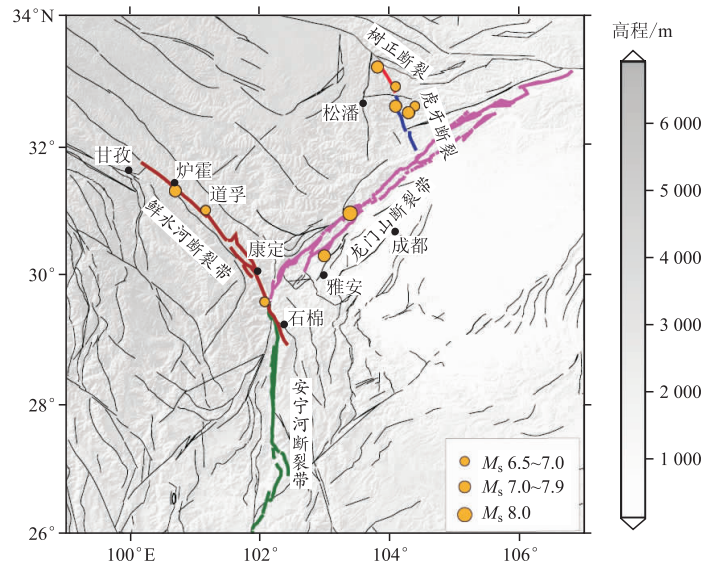


图 1 研究区域主体活动断裂及 1973 年以来  $M_s \geq 6.5$  地震震中分布

边界强震序列 10 次事件震中位置,发震断层产状及同震位错量等资料(见表 1),其中 1973 年 2 月 6 日炉霍  $M_s$ 7.6 地震和 1973 年 8 月 11 日松潘  $M_s$ 6.5 地震的震源资料参考成尔林(1981)的结果;1976—2022 年巴颜喀拉块体东边界强震序列 8 次事件的震中位置和部分震源机制解参考中国地震台网中心的结果。1976 年 8 月 3 次地震事件的平均位错参考 Jones 等(1984)的结果;2008 汶川  $M_s$ 8.0 地震和 2013 芦山  $M_s$ 7.0 地震的同震位错量则分别参考自王卫民等(2008)和刘成利等(2013)的结果;其余地震事件的同震位错量由闻学泽(1995)建立的走滑型地震断层的经验公式为:

$$\ln(u \times l) = 2.33M_s - 5.33 \quad (2)$$

式中,  $M_s$  是面波震级,  $u \times l$  是同震平均位错( $u$ )与破裂长度( $l$ )的乘积。

表 1 巴颜喀拉块体南、东边界 10 次强震事件发震断层产状及同震位错参数

发震时间	震级/ $(M_s)$	震中纬度/ $(^\circ N)$	震中经度/ $(^\circ E)$	断层走向/ $^\circ$	断层倾角/ $^\circ$	断层滑动角/ $^\circ$	断层破裂长度/km	断层走滑分量/m	断层倾滑分量/m
1973-02-06	7.6	31.50	100.40 <sup>⑤</sup>	125	87	0 <sup>⑤</sup>	81 <sup>⑧</sup>	4 <sup>⑧</sup>	0 <sup>⑦</sup>
1973-08-11	6.5	32.93	103.90 <sup>⑤</sup>	153.5	81	5 <sup>⑤</sup>	15 <sup>⑧</sup>	1 <sup>⑧</sup>	0.1 <sup>⑧</sup>
1976-08-16	7.2	32.72	104.08 <sup>①</sup>	165	63	40 <sup>①</sup>	30 <sup>②</sup>	1.1 <sup>②</sup>	0.9 <sup>②</sup>
1976-08-22	6.7	32.62	104.15 <sup>①</sup>	215	60	90 <sup>①</sup>	12 <sup>②</sup>	0 <sup>②</sup>	1.2 <sup>②</sup>
1976-08-23	7.2	32.48	104.08 <sup>①</sup>	165	65	40 <sup>①</sup>	22 <sup>②</sup>	1.1 <sup>②</sup>	0.9 <sup>②</sup>
1981-01-24	6.9	31.00	101.17 <sup>①</sup>	322	85	-13 <sup>①</sup>	29 <sup>⑧</sup>	0.5 <sup>⑧</sup>	0 <sup>⑧</sup>
2008-05-12	8.0	31.00	103.40 <sup>①</sup>	229	33	120 <sup>①</sup>	318 <sup>③</sup>	2.5 <sup>③</sup>	5.5 <sup>③</sup>
2013-04-20	7.0	30.40	103.03 <sup>①</sup>	220	35	95 <sup>①</sup>	28 <sup>④</sup>	0 <sup>④</sup>	1.2 <sup>④</sup>
2017-08-08	7.0	33.20	103.82 <sup>①</sup>	156	79	-9 <sup>⑥</sup>	38 <sup>⑥</sup>	1.3 <sup>⑥</sup>	-0.1 <sup>⑦</sup>
2022-09-05	6.8	29.59	102.08 <sup>①</sup>	343	79	9 <sup>⑦</sup>	40 <sup>⑦</sup>	0.94 <sup>⑧</sup>	0.18 <sup>⑧</sup>

注:①中国地震台网中心, <http://www.cenc.ac.cn/>;②Jones 等(1984);③王为民等(2008);④刘成利等(2013);⑤成尔林(1981);⑥易桂喜等(2017);⑦中国地震局科技与国际合作司(2022);⑧由公式(2)估计得出。

### 3 库仑应力变化分析

本文采用 King 等(1994)根据不同地区计算的库仑应力变化得出的经验值,地壳的剪切模量取  $3.3 \times 10^{10}$  Pa,泊松比取 0.25,断层面摩擦系数取 0.4。在库仑应力变化的计算中,将断层面深度范围取地表至地下 15 km 处,但根据 Coulomb3.3 软件的算法原理,仅计算地表以下 8 km 的水平二维库仑应力变化图像。计算中,将第一次强震即 1973 年 2 月 6 日炉霍  $M_s$ 7.6 地震发生前的库仑应力变化量归为零。如果已发生 2

次破裂,则为2次图像的线性叠加,以此类推。

### 3.1 巴颜喀拉块体南、东段先发生地震对泸定 $M_s$ 6.8 地震的触发作用

图2是巴颜喀拉块体南、东边界1973—2017年发生的9次  $M_s \geq 6.5$  地震共同引起的以鲜水河断裂带南段为接收断层的库仑破裂应力变化图像,由图可知鲜水河断裂带南段和龙门山断裂带南段的库仑应力水平显著升高,而泸定  $M_s$ 6.8地震发生在应力触发区内,因此认为巴颜喀拉块体南、东边界先发生地震对泸定地震具有一定的触发作用。

### 3.2 巴颜喀拉块体南、东边界强震序列对邻近断裂的应力转移

泸定  $M_s$ 6.8地震是巴颜喀拉块体南、东边界断裂带自1973年以来发生的第10次  $M_s \geq 6.5$  地震,巴颜喀拉块体南、东边界强震序列对四川地区的震情形势有着什么样的影响?本文研究了巴颜喀拉南、东边界1973—2022年发生的10次  $M_s \geq 6.5$  地震共同引起的泸定地震震中西北、东北、南面3条断裂带的近场库仑应力变化情况。

鲜水河断裂位于青藏高原东南部,走向NW,以左旋走滑为主。西起甘孜炉霍,西北与五道梁—长沙贡玛断裂东南段相邻,大致沿道孚、康定、泸定到石棉结束,长约400 km(徐锡伟等,2003)。鲜水河断裂带是四川地区地震活跃带,自1725年以来的  $M_s \geq 7.0$  地震共8次,平均每38年一遇,最近的一次为1973年炉霍  $M_s$ 7.6地震,距今已有49年,从频率上看,鲜水河断裂带已具备发生  $M_s \geq 7.0$  地震的应力积累。图3a是巴颜喀拉块体南、东边界1973—2022年发生的10次  $M_s \geq 6.5$  地震共同引起的以鲜水河断裂道孚—康定段为接收断层的库仑破裂应力变化图像,可见鲜水河断裂带道孚—康定段处于应力增强区范围内,即巴颜喀拉南、东边界强震序列对鲜水河断裂带道孚—康定段具有触发作用。

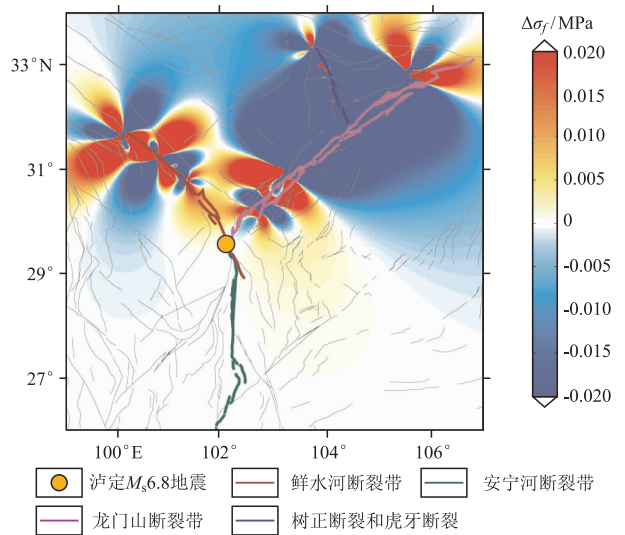
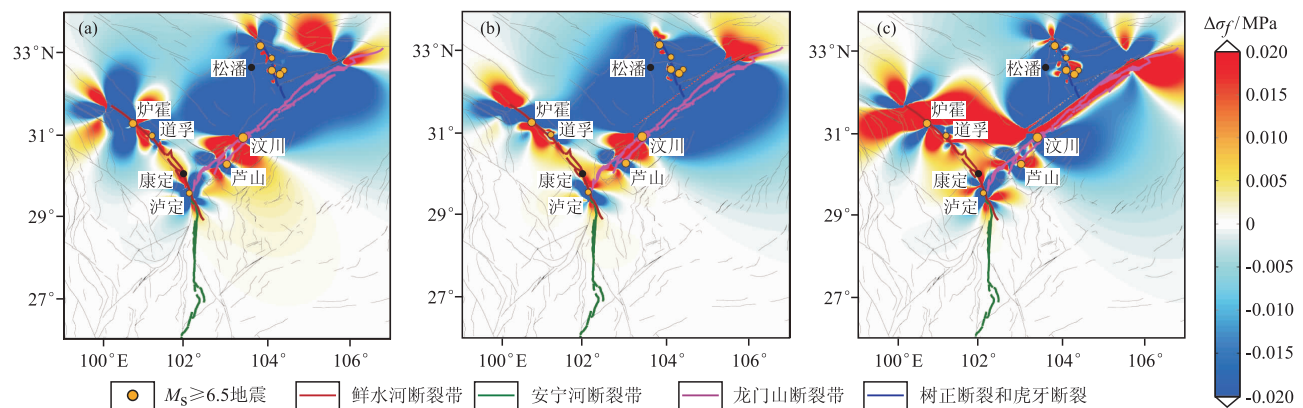


图2 1973—2017年研究区域9次  $M_s \geq 6.5$  地震共同引起的以鲜水河断裂带南段为接收断层的库仑应力变化



(a) 以鲜水河断裂带南段(151°/70°/33°)为接收断层;(b) 以龙门山断裂带南段(229°/33°/120°)为接收断层;  
(c) 以安宁河断裂带(181°/84°/23°)为接收断层

图3 巴颜喀拉南、东边界1973—2022年发生的10次  $M_s \geq 6.5$  地震共同引起的库仑应力变化图像

龙门山断裂带位于巴颜喀拉块体东边界,以右旋走滑与逆冲为主(徐锡伟等,2003),长约500 km。图3b是巴颜喀拉块体南、东边界1973—2022年发生的10次  $M_s \geq 6.5$  地震共同引起的以龙门山断裂带南段为接收断层的库仑应力变化图像,由图可见该断裂带有2段处于应力触发区范围内,即南、东边界强震序列对龙门山断裂带南端以及汶川—芦山段具有强震触发作用。

安宁河断裂带北接巴颜喀拉块体东南部的鲜水河断裂带南段,走向 NS,以左旋倾滑为主(徐锡伟,2003)。图 3c 是巴颜喀拉块体东边界 1973—2022 年发生的 10 次  $M_s \geq 6.5$  地震共同引起的以安宁河断裂带为接收断层的库仑应力变化图像,由图可见该断裂带处于应力触发区范围内,即南、东边界强震序列对安宁河断裂带具有强震触发作用。

## 4 结论

(1)2022 年 9 月 5 日泸定  $M_s 6.8$  地震是四川地区巴颜喀拉块体南、东边界自 1973 年以来发生的第 10 次  $M_s \geq 6.5$  地震。通过对该区域进行库仑应力变化计算分析,结果表明先前发生的 9 次地震对泸定  $M_s 6.8$  地震具有触发作用。(2)在巴颜喀拉块体南、东边界 10 次  $M_s \geq 6.5$  地震的共同作用下,鲜水河断裂带道孚—康定段、龙门山断裂带南端、汶川—芦山段及安宁河断裂带库仑应力水平升高,可能导致这些断裂已积累的应变能提前释放,即具有触发作用。

由于本文主要是了解泸定  $M_s 6.8$  地震发生前后的震源区库仑应力变化情况,并作出快速、大致的震后震情趋势研判,故采用单一模型计算各断层的库仑应力,其计算结果可能会不够精确。

## 参考文献

- 陈长云,任金卫,孟国杰,等. 2013. 巴颜喀拉块体东部活动块体的划分、形变特征及构造意义[J]. 地球物理学报, 56(12):4125—4141.
- 成尔林. 1981. 四川及其邻区现代构造应力场和现代构造运动特征[J]. 地震学报, 3(3):231—241.
- 解朝娣,雷兴林,吴小平,等. 2014.  $M_s 8.0$  汶川地震对  $M_s 7.0$  芦山地震成核失稳的影响[J]. 地球物理学报, 57(6):1825—1835.
- 刘博研,解孟雨,史保平. 2022. 青海玛多  $M_s 7.4$  地震对周边活动断裂的库仑应力加载及发震概率增量的计算[J]. 地球物理学报, 65(2):563—579.
- 刘成利,郑勇,葛黎,等. 2013. 2013 年芦山 7.0 级地震的动态破裂过程[J]. 中国科学:地球科学, 43(6):1020—1026.
- 屈勇,朱航. 2017. 巴颜喀拉块体东—南边界强震序列库仑应力触发过程[J]. 地震研究, 40(2):216—225.
- 沈正康,万永革,甘卫军,等. 2003. 东昆仑活动断裂带大地震之间的黏弹性应力触发研究[J]. 地球物理学报, 46(6):786—795.
- 王卫民,赵连锋,李娟,等. 2008. 四川汶川 8.0 级地震震源过程[J]. 地球物理学报, 51(5):1403—1410.
- 闻学泽. 1995. 活动断裂地震潜势的定量评估[M]. 北京:地震出版社.
- 闻学泽,杜方,张培震,等. 2011. 巴颜喀拉块体北和东边界大地震序列的关联性与 2008 年汶川地震[J]. 地球物理学报, 54(3):706—716.
- 吴小平,虎雄林,Michel B,等. 2007. 云南澜沧—耿马  $M_s 7.6$  地震的完全库仑破裂应力变化与后续地震的动态、静态应力触发[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 37(6):746—752.
- 徐锡伟,闻学泽,郑荣章,等. 2003. 川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 33(增刊):151—162.
- 易桂喜,龙锋,梁明剑,等. 2017. 2017 年 8 月 8 日九寨沟  $M 7.0$  地震及余震震源机制解与发震构造分析[J]. 地球物理学报, 60(10):4083—4097.
- 中国地震局科技与国际合作司. 2022. 四川泸定 6.8 级地震震源破裂过程最新研究结果[EB/OL]. (2022-09-08)[2022-09-19]. <https://www.cea.gov.cn/cea/dzpd/dzdt/5683568/5683917/5684035/index.html>.
- 朱航,屈勇. 2017. 九寨沟  $M_s 7.0$  地震静态库仑应力触发及对附近断层影响分析[J]. 中国地震, 33(4):471—479.
- 朱航,闻学泽. 2009. 1973—1976 年四川松潘强震序列的应力触发过程[J]. 地球物理学报, 52(4):994—1003.
- Jones L M, Han W, Haoksson E, *et al.* 1984. Focal mechanisms and aftershock locations of the Songpan earthquakes of August 1976 in Sichuan, China[J], *Journal of Geophysical Research*, 89, 7697—7707.
- King G C P, Stein R S, Lin J. 1994. Static stress changes and the triggering of earthquakes[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(3): 935—953.
- Okada Y. 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(2): 1018—1040.

- Papadimitriou E, Wen X, Karakostas V, *et al.* 2004. Earthquake triggering along the Xianshuihe fault zone of western Sichuan, China[J]. *Pure and Applied Geophysics*, 161(8): 1683–1707.
- Stein R S, Barka A A, Dieterich J H. 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering[J]. *Geophysical Journal International*, 128(3): 594–604.
- Toda S, Stein R S, Richards—Dinger K, *et al.* 2005. Forecasting the evolution of seismicity in southern California: Animations built on earthquake stress transfer[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110, B05S16.
- Toda S, Stein R S, Volkan S, *et al.* 2011. Coulomb 3. 3 Graphic—Rich Deformation and Stress—Change Software for Earthquake, Tectonic, and Volcano Research and Teaching—User Guide[R/OL]. (2011–10–04)[2022–09–20]. <https://pubs.usgs.gov/of/2011/1060/>.

## Analysis on Coulomb Stress Changes Pre- and After the 2022 Luding $M_s$ 6.8 Earthquake

RAN Xiyang<sup>1</sup>, ZHU Hang<sup>1</sup>, LONG Feng<sup>1</sup>, LI Leihao<sup>2</sup>, WANG Di<sup>1</sup>

(1. Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China;

2. Institute of Geological Resources of Sichuan Province, Sichuan Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In this paper, patterns of static Coulomb stress changes induced by a sequence of 10  $M_s \geq 6.5$  earthquakes occurred along the southern and eastern boundary of the Bayan Hara block from 1973 to 2022 are calculated and studied. The results show that pre-occurred earthquakes played a triggering role on the  $M_s$ 6.8 Luding earthquake of September 5, 2022. After the Luding  $M_s$  6.8 earthquake, the calculation results of stress transfer of main faults near the epicenter show that under the combined influence of 10 earthquakes with  $M_s \geq 6.5$  in the eastern and southern border area of the Bayan Hara block, the Coulomb stress level on the Kangding-Daofu section of the Xianshuihe fault zone, southern section of the Longmenshan fault zone, and the northern section of the Anninghe fault zone has increased, which has triggering effect for future strong earthquakes.

**Keywords:** boundary of the Bayan Har block; Luding  $M_s$ 6.8 earthquake; coulomb stress change; stress triggering

# 河北怀来地震台不同型号气氦仪干扰因素及质量评价

王志敏<sup>1,2</sup>, 张帆<sup>1,2</sup>, 宋晓煜<sup>1,2</sup>, 只楠<sup>1,2</sup>, 程德庆<sup>1,2</sup>

(1. 河北红山巨厚沉积与地震灾害国家野外科学观测研究站, 河北 邢台 054000;

2. 张家口地震监测中心站, 河北 张家口 075000)

**摘要:**以怀4井SD-3A与DDL-1型两套测氦仪串联同步观测资料为研究对象,对两种不同型号仪器的动态稳定性、内在质量及观测曲线进行分析。对于集气装置漏气、人为取样和更换冷凝管等干扰类事件,两台测氦仪产出的同一类干扰曲线具有基本相同的变化形态和变化趋势,呈现出同步变化特征。分析结果显示:DDL-1型测氦仪的分钟值采样记录能够捕捉到更多更完整的地下流体信息,且该仪器记录数据变化较为灵敏,能清晰地记录到明显的日变形态,观测质量优于SD-3A气氦仪。对比结果可以为测氦观测仪器的评价、数据分析、干扰排除和震前异常识别提供参考依据。

**关键词:**DDL-1型测氦仪;SD-3A气氦仪;干扰因素;质量评价;小波分析

**中图分类号:**P315.7

**文献标识码:**B

**文章编号:**1001-8115(2022)04-0021-06

**DOI:**10.13716/j.cnki.1001-8115.2022.04.004

氦作为地下流体的敏感组分,是地壳中放射性元素铀和钍蜕变的产物,存在于土壤和地下水中,是地球深层信息的指示剂,它能从地下深部运移到地表,可反映地下介质状态的信息(张昱等,2010)。利用数字化测氦仪对由井(泉)口通过脱气与集气装置析出的气体进行测量观测。其观测的原理、映震机理等与水氦基本类似,但观测量不完全相同,水氦观测的主要是溶解氦,而气氦观测的主要是游离氦,两者观测技术上的主要区别是“脱气”,气氦正在成为我国地震水文地球化学观测的重要测项之一。地壳运动过程中,地下水中氦的含量会出现不同程度的异常变化(刘菁华等,2007)。观测的目的是为了能及时、准确地在地质构造发生变化时,通过氦的变化来反映其自然变化的动态,在多次中强震前后能够观测到氦的显著变化,所以在地震监测预报方面得到了广泛的重视。

河北怀4井于2010年安装了SD-3A型数字化自动气氦仪,通过多年观测,台站已经积累了丰富的资料,观测数据的稳定性和可靠性均达到地下流体学科要求。但由于仪器的长期使用导致仪器老化现象严重,灵敏度下降,稳定性比较差,从2018—2021年每年夏季都会出现数据突跳且持续时间较长。为了进一步提高气氦观测质量,必须选取灵敏度更高、性能更加稳定的新型气氦观测仪器,以保证气氦观测数据的完整率和观测质量,于2021年3月试运行郑州晶微科技公司研发的DDL-1型测氦仪。本研究主要对上述两种不同型号测氦仪器的动态稳定性、内在质量及观测曲线对比分析,验证DDL-1型测氦仪在怀4井观测的可行性,同时针对运行观测中出现的干扰因素进行分类总结,其研究结果对分析地震前兆异常、剔除干扰因素有积极的意义(张帆等,2021a)。

## 1 怀4井概况

怀4井热水出露于蓟县系雾迷山组燧石白云岩中,自片麻岩和张家口组熔结凝灰岩溢出,并赋存于新生界松散层中。构造上位于祁吕系东翼广灵—狼山大断裂带的北侧,在祁吕系歪头山—万家窑断裂带的交会处(图1),裂隙发育,岩石破碎,热水沿构造破碎带涌出基岩(李泓泉等,2020)。怀4井成井于1972年,地面

**收稿日期:**2021-12-14; **修回日期:**2022-02-10

**基金项目:**中国地震局监测、预报、科研三结合课题(3JH-202201048)项目,河北省地震局科技星火计划项目(DZ2021121600006、DZ2021120500001)联合资助。

**作者简介:**王志敏(1972-),男,河北张家口人,工程师,主要从事地震监测等工作。E-mail:120101184@qq.com.

**通讯作者:**张帆(1991-),男,河北张家口人,工程师,主要从事地震监测工作。E-mail:619843566@qq.com.



高程为 487.0 m, 井深 500.34 m, 观测  
 地层是顶板埋深为 278.5 m 的太古界  
 片麻岩破碎带热水层, 该井为高温热  
 水自流井, 水温达到 78.0 °C, 水化学  
 类型为 SO<sub>4</sub>-Na 型, 矿化度为 0.962  
 g/L, 井水为大气降水渗入地下后经深  
 循环上涌成因的地下热水(张凤秋等,  
 2005; 宋晓冰等, 2018)。由于受周边  
 温泉区生活用水开发的影响, 该井水  
 位严重下降, 为了延长该井的观测年  
 限, 2007 年首都圈“奥运”保障项目对  
 怀 4 井进行了降低取水口的改造, 保  
 证了数字化及模拟观测资料的连续性(张常慧等, 2011), 成为集水氡、水汞、气体、数字水位、数字气氡、数字  
 气汞等观测为一体的多测项观测井。该井水汞测项在 1989 年山西大同阳高 6.1 级、1997 年河北怀安 4.7  
 级、1998 年河北张北 6.2 级、2014 年河北涿鹿 4.3 级等地震前均有短临异常。

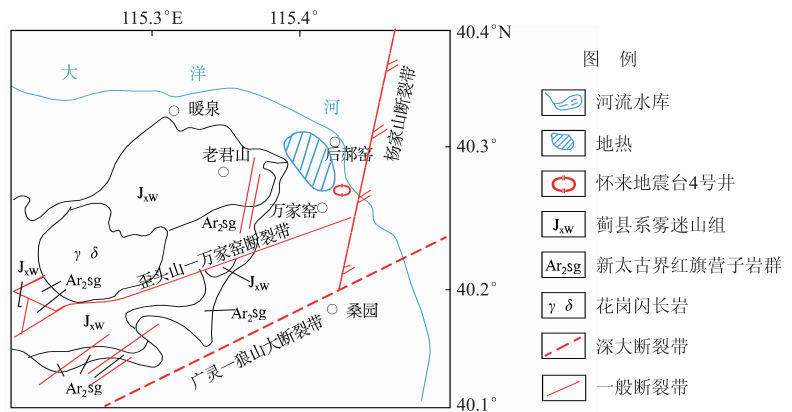


图 1 怀 4 井地质构造简图

## 2 怀 4 井气氡观测影响因素分析

### 2.1 不同型号观测仪器概况及原理

目前, 测氡仪主要有 DDL-1 型和 SD-3A 型两类仪器, 测氡仪性能参数包括仪器灵敏度、固有本底、采样率等见表 1, 电离法仪器的稳定性因电子元器件自然老化而降低, 而闪烁法仪器的稳定性除了受电子元器件的自然老化影响外, 更主要的是受光电倍增管的不稳定老化影响。DDL-1 型测氡仪适用于自流井(泉)中的逸出气、断层土壤氡气的长期观测, 该类型仪器利用电离法对水中溶解气中的氡气含量进行检测, 其性能优于闪烁法的仪器。DDL-1 型测氡仪为分钟值采样, 观测数据曲线光滑, 有一定动态变化规律, 能够记录更多的变化过程, 便于提取更多地下流体信息。SD-3A 型测氡仪工作原理为闪烁法原理, 即氡衰变过程中产生的 α 粒子轰击闪烁室内 ZnS(Ag) 晶体, 引起 ZnS(Ag) 原子激发而放出光子, 光子被光电倍增管接收后, 在光电阴极上产生电子, 完成光电转换(国家地震局监测预报司, 2002)。测量过程中, 闪烁室内 α 粒子的数目与氡气的浓度成正比, 即与闪光的频率成正比, 因此记录光电倍增管输出的脉冲频率就可以得到闪烁室内的氡浓度。随着运行时间的增加, 闪烁室易受到污染, 影响仪器测值及灵敏度。而 DDL-1 测氡仪具有本底污染小的特点, 较好地解决了闪烁法测氡仪的闪烁室容易污染等问题, 其传感器受污染的程度远远小于闪烁法。

表 1 DDL-1 型与 SD-3A 测氡仪仪器性能指标

仪器名称	工作原理	测试对象	灵敏度/(Bq/L)	固有本底/(Bq/L)	采样率/(次/h)	运行环境温度/°C	运行环境湿度/%
DDL-1	电离法	逸出气氡	≥0.5	≤0.05	60	0~50	≤80
SD-3A	闪烁法	逸出气氡	>0.5	<10	1	0~45	≤80

### 2.2 干扰因素分析

通过 DDL-1 与 SD-3A 型测氡仪同步观测对比发现, 对于干扰类事件, 两套仪器观测数据具有同步性变化特征(张朝明等, 2003)。

#### 2.2.1 集气装置漏气干扰

在 2021 年 7 月 1 日 15:29, DDL-1 型和 SD-3A 型测氡仪记录的测值均出现了降低的现象, 其原因是脱气—集气装置连接缓冲器漏气, DDL-1 型测氡仪的变化幅度为 24.0 Bq/L(见图 2a), SD-3A 型测氡仪的变化幅度为 30.8 Bq/L(见图 2b)。经台站人员检查后发现, 当缓冲器存在部分漏气时, 进入仪器中的气体含量减少, 测值降低, 曲线变化形态表现为“急剧”下降; 在故障修复后, 两台气氡仪的测值逐渐恢复正常。通过两台仪器同步观测发现: 采样率以及仪器的灵敏度不同, 记录到的曲线变化范围也不同。由于 DDL-1 型测氡

仪采样率为分钟,对于干扰类事件能够清楚地记录到干扰前后的变化曲线,DDL-1型测氡仪在16:45开始缓慢上升,而SD-3A型测氡仪却在21:00才开始缓慢上升,故DDL-1型测氡仪的动态变化较SD-3A型测氡仪的更为灵敏。

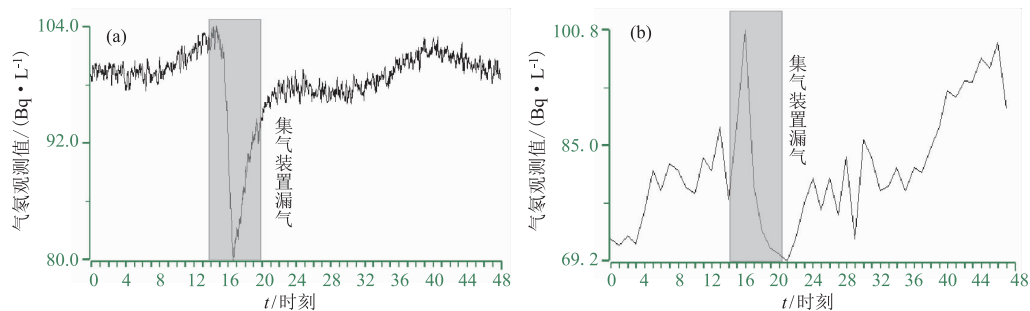


图2 2021年7月1~2日DDL-1(a)与SD-3A(b)测氡仪集气装置漏气干扰曲线

### 2.2.2 人为取气样干扰

2021年8月3日9时至8月4日11时,由于气泵抽取气样造成进入DDL-1和SD-3A测氡仪器的气体含量减少,两种测氡仪器在3日至4日记录的数据明显下降,DDL-1型测氡仪的最大变化幅度为80.0 Bq/L(见图3a),SD-3A型测氡仪的最大变化幅度为75.0 Bq/L(见图3b)。按照学科规范要求,台站人员在8月3日对SD-3A型测氡仪进行季度检查,发现怀4井水温高达77.0℃,高温含氟,闪烁室内部已受到了污染,SD-3A型测氡仪记录数据明显低于DDL-1型测氡仪观测数据;在清洗闪烁室后,SD-3A型仪器灵敏度提高,数据明显上升。

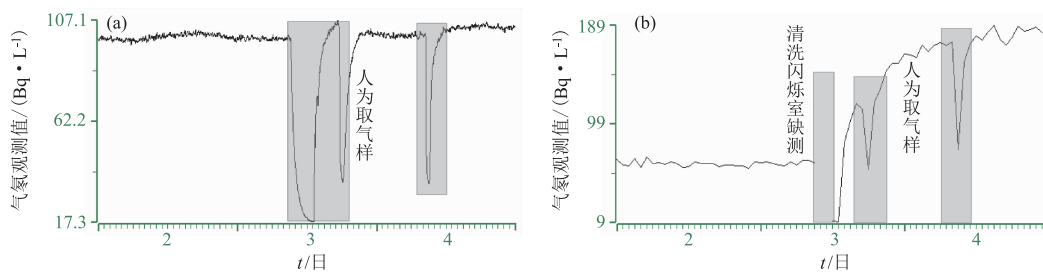


图3 2021年8月3日至4日DDL-1(a)与SD-3A(b)测氡仪人为取气样干扰曲线

### 2.2.3 更换冷凝水管干扰

对于热水井而言,脱气集气装置在高温、潮湿的环境下易锈蚀,所以脱气后的气体干燥是仪器正常观测的重要环节。2021年8月22日07:30~23日07:45接入两台仪器的三通冷凝水管堵塞,影响气体收集,造成观测值逐渐降低,DDL-1型测氡仪变化幅度为51.2 Bq/L(图4a),SD-3A型测氡仪变化幅度57.5 Bq/L(图4b),曲线形态均表现为“缓慢下降”。2021年8月23日8时进行更换冷凝水管,观测值恢复正常。

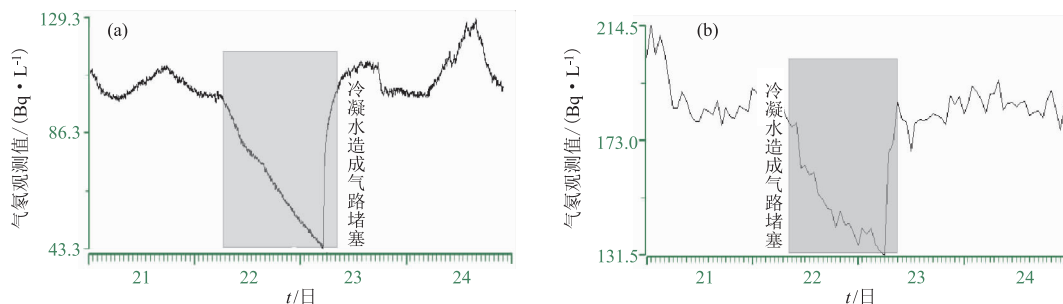


图4 DDL-1(a)与SD-3A(b)测氡仪气路堵塞干扰曲线

### 3 不同型号测氦仪运行质量评价

按照《地下流体专业技术设备评价》分析测氦仪之间的动态稳定性及内在质量,数据选取不少于1个月。动态稳定性要求一阶差分值的相对标准差小于等于0.2;内在质量要求一阶差分序列超过3倍均方差的百分比小于等于2%。

#### 3.1 动态稳定性

以月观测数据整点值为依据,计算其一阶差分值的标准差( $\sigma$ )和平均值( $V$ ),以相对标准差( $\sigma/V$ )作为衡量标准。由表2可看出,DDL-1型仪动态稳定性优于老化的SD-3A型仪动态稳定性。两台仪器8月相对标准差较大的原因是P2000测氦仪人为气泵抽取气样干扰;SD-3A测氦仪记录数据在6月和7月出现了多次突跳,联系厂家进行检查后,发现造成数据不稳定的主要原因是仪器内部电磁阀工作状态不正常(造成进入仪器内的气体量不稳定)、仪器老化严重和电源的输出电压不稳定。在8月3日清洗闪烁室和更换电磁阀后,SD-3A测氦仪记录数据的突跳次数明显减少,9~10月的相对标准差趋于稳定(见表2)。

表2 SD-3A与DDL-1测氦仪动态稳定性对比

仪器	3月相对标准差	4月相对标准差	5月相对标准差	6月相对标准差	7月相对标准差	8月相对标准差	9月相对标准差	10月相对标准差
SD-3A	0.0501	0.0497	0.0486	0.0581	0.1119	0.0499	0.0343	0.0372
DDL-1	0.0183	0.0189	0.0107	0.0099	0.0124	0.0563	0.0211	0.0121

#### 3.2 内在质量

在2021年6~7月,由于SD-3A测氦仪电源的输出电压不稳定,数据出现多次突跳,造成数据完整率降低(进行缺数处理,见表3),从而影响内在质量。选取2021年3月1日至10月31日SD-3A型测氦仪与DDL-1型测氦仪记录数据进行对比分析,以月整点值数据为依据,计算整点值一阶差分序列的标准差( $\sigma$ ),进行逐月超差(超过3倍 $\sigma$ 的值)数统计,从而分析观测数据内在质量。由表3可以看出,DDL-1型测氦仪的3倍均方差值均小于SD-3A型测氦仪的3倍均方差值,说明DDL-1型测氦仪的稳定性更好;厂家在8月3日清洗闪烁室和更换电磁阀后,SD-3A测氦仪的超差次数明显减少,内在质量有所提升。

表3 2021年3月1日至10月31日SD-3A与DDL-1型测氦仪数据内在质量

月份	仪器型号	三倍均方差(Bq/L)	超差个数	超差百分比/%	连续率/%	完整率/%	备注
3	SD-3A	12.888	3	0.40	100	100	
	DDL-1	5.691	3	0.40	100	100	
4	SD-3A	12.066	2	0.28	100	100	
	DDL-1	4.971	3	0.42	100	100	
5	SD-3A	11.34	6	0.81	100	100	
	DDL-1	3.213	2	0.27	100	100	
6	SD-3A	14.892	7	0.97	100	99.87	数据出现多次突跳,进行缺数处理。
	DDL-1	2.967	1	0.14	100	100	
7	SD-3A	35.367	20	2.69	100	99.91	数据出现多次突跳,进行缺数处理。
	DDL-1	3.696	2	0.27	100	100	
8	SD-3A	26.976	6	0.81	99.73	99.73	厂家检查仪器、清洗闪烁室和更换电磁阀,造成缺测。
	DDL-1	17.613	4	0.54	100	100	
9	SD-3A	18.621	2	0.28	100	100	
	DDL-1	18.618	2	0.28	100	100	
10	SD-3A	20.838	1	0.13	100	100	
	DDL-1	3.570	2	0.27	100	100	

### 4 数据分析

#### 4.1 原始观测曲线分析

选取2021年5月1日至8月31日两台同步观测的测氦仪进行对比,DDL-1型测氦仪观测数据曲线光滑,有一定的动态变化规律,呈现规律的日变形态。造成8月3日、8月24日数据下降的原因为集气装置漏

气(见图 5a);SD-3A 型测氡仪由于仪器原因在 6 月至 7 月出现较长时间的数据突跳(见图 5b),动态曲线不太明显,观测质量不高,经厂家清洗闪烁室,灵敏度有所提高,观测值回升。由图 5 看出,两台仪器产出数据具有同步性变化特征,观测数据真实可靠,能客观反映怀 4 井地下流体中气氡的浓度变化(张帆等,2021b)。观测值出现差异的原因:一方面仪器工作原理不同,另一方面 SD-3A 测氡仪元件老化导致观测数据不稳定。

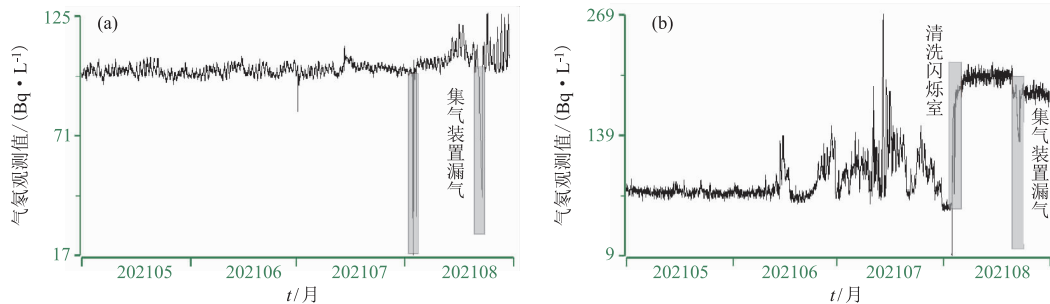


图 5 DDL-1(a)与 SD-3A(b)测氡仪观测值曲线

#### 4.2 一阶差分分析

为了更好地对比两种仪器的稳定性,选取 2021 年 7 月 1 日至 9 月 30 日两台测氡仪整点值数据进行一阶差分分析,由图 6 可知,两种仪器的一阶差分值变化范围存在明显的差别;DDL-1 型测氡仪的数据变化范围较小,位于  $\pm 0.84$  Bq/L 之间(见图 6a);SD-3A 型测氡仪的数据变化范围较大,位于  $\pm 23.2$  Bq/L 之间(见图 6b),观测误差较大,其原因在于仪器元件的老化,造成数据突跳较多,稳定性较差;综上表明 DDL-1 型测氡仪较老化的 SD-3A 型测氡仪数据的稳定性更好。

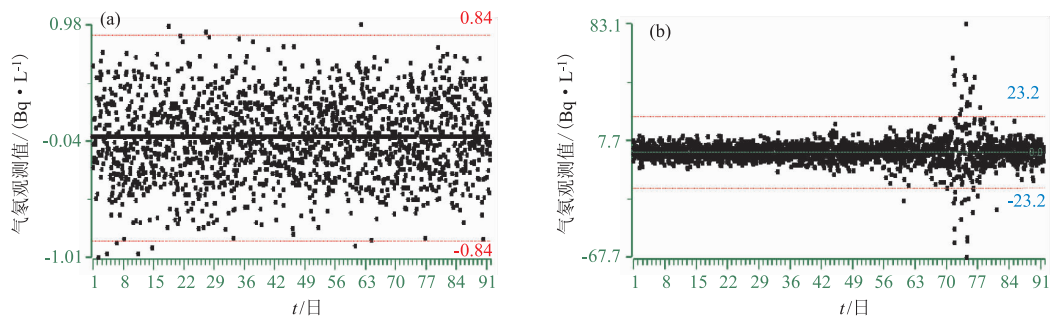


图 6 DDL-1(a)与 SD-3A(b)测氡仪观测数据一阶差分计算结果曲线

#### 4.3 小波分析

小波变换在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率,在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率,被誉为分析信号的“显微镜”(任佳等,2005a,2005b)。使用 Matlab 软件时,应选用正则性较好的 Daubechies 小波进行分析,该小波是离散正交小波,可表示为  $dbN$ ,其中  $N$  是小波的阶(樊春燕等,2012)。故本研究对怀 4 井 DDL-1 和 SD-3A 测氡仪 2021 年 5 月原始数据进行小波分析时,选取  $db4$  小波对怀 4 井气氡资料进行分析。通过对比分析发现:由于 SD-3A 使用年限较长,部分元件老化,电源的输出电压不稳定,日变形态不明显;DDL-1 型测氡仪的性能好,小波分析清晰地记录到明显的日变形态(见图 7)。

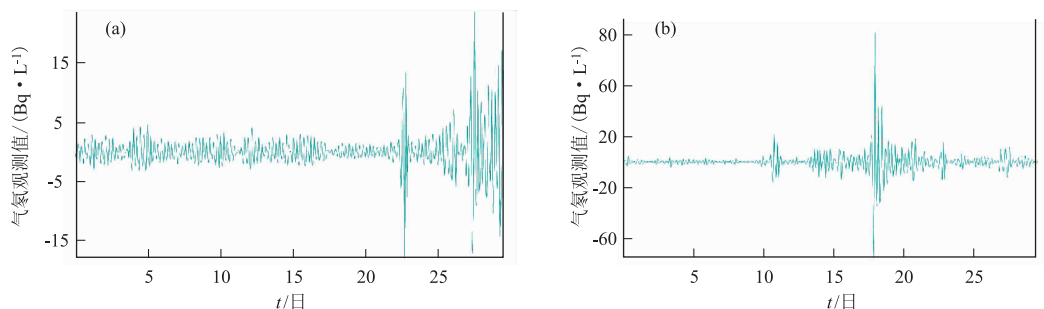


图 7 DDL-1(a)与 SD-3A(b)测氡仪观测数据小波分析结果曲线

## 5 结论与认识

通过对怀4井不同型号测氡仪干扰因素及运行质量分析得出四点结论与认识:(1)集气装置故障干扰的主要原因是由气路连接装置松动造成的,这说明了测氡仪脱气—集气装置的稳定性对获取高质量观测数据具有重要的作用;(2)DDL-1型和SD-3A型测氡仪的观测值都能够客观地反映怀4井地下流体中气氡的浓度变化,对于干扰类事件具有基本相同的变化形态和变化趋势;(3)DDL-1型和SD-3A型测氡仪的观测值存在差异的原因主要有:一是仪器测量原理不同,二是SD-3A型测氡仪元件老化造成电磁阀工作不稳定;(4)DDL-1型测氡仪能够捕捉到更多更完整的地下流体信息,能清晰地记录到明显的日变形态。

## 参考文献

- 樊春燕,金大利,陈华静,等. 2012. 水位动态周期性干扰的小波分析[J]. 地震地磁观测与研究, 33(3):82—87.
- 国家地震局监测预报司. 2002. 地下流体数字观测技术[M]. 北京:地震出版社.
- 李泓泉,张树胜,谢明忠,等. 2020. 张家口地区的构造体系及其对地下热水的控制作用[J]. 中国煤炭地质, 32(5):74—82.
- 刘菁华,王祝文,田钢,等. 2007. 均匀覆盖层中氡迁移的数值模拟[J]. 地球物理学报, 50(3):921—925.
- 任佳,黄辅琼,王长江,等. 2005a. 怀4井数字气汞固体潮响应初步研究[J]. 大地测量与地球动力学, 25(4):69—73.
- 任佳,张凤秋,王长江,等. 2005b. 怀4井气汞观测井口装置设计及其气汞固体潮汐效应分析[J]. 地震研究, 18(02):43—48.
- 宋晓冰,张凤秋,王锐锋,等. 2018. 河北省怀4井氡气观测集气装置改造[J]. 地震地磁观测与研究, 39(2):160—164.
- 张常慧,李海孝,张彦青,等. 2011. 面临断流的高温热水井的技术改造及其观测效果[J]. 地震地质, 33(3):653—659.
- 张朝明,陈华静,朱方保,等. 2003. 数字化气氡观测干扰因素的分析与研究[J]. 地震地质, 25(4):640—646.
- 张帆,王江,池海江,等. 2021a. 怀4井ATG-6138M气汞仪干扰因素及质量评价[J]. 华北地震科学, 39(2):80—86.
- 张帆,杨竹转,王江. 2021b. 怀4井新旧自动测氡仪比测分析[J]. 地震地磁观测与研究, 42(3):225—231.
- 张凤秋,任佳,李海孝,等. 2005. 怀4井地下流体异常与地震的关系[J]. 地震地质, 27(1):123—130.
- 张昱,刘小凤,常千军,等. 2010. 地震前兆水氡同步异常变化及其预测意义探讨[J]. 地震研究, 33(3):253—258.

## Interference Factors and Quality Evaluation on Different Types of Radon Measurement Instruments at Hebei Huailai Station

WANG Zhimin<sup>1,2</sup>, ZHANG Fan<sup>1,2</sup>, SONG Xiaoyu<sup>1,2</sup>, ZHI Nan<sup>1,2</sup>, CHENG Deqing<sup>1,2</sup>

- (1. Hebei Hongshan National Observatory on Thick Sediments and Seismic Hazards, Hebei Xingtai 054000, China;  
2. Zhangjiakou Earthquake Monitoring Center Station, Hebei Zhangjiakou 075000, China)

**Abstract:** Taking the SD-3A and DDL-1 radon measurement instruments in Well No. 4 in Huailai county, we compared and analyzed the two instruments on their dynamic stability, inner-part quality, and observational curves. We found that the data produced by the two radon measurement instruments changed synchronously, which shows an identical change in shapes and trends during gas leakage test, gas sampling, and replacement of the condensing-air tubes. The results showed that the DDL-1 radon measurement instrument can record complete underground fluid information. Moreover, records on the daily variation of observation data and dynamic characteristics of the instrument are obvious. The instrument is more sensitive in data changes with a better observation quality than that of old-version SD-3A radon measurement instrument. The comparing results can provide a basis for assessment of radon measurement instruments, data analysis, excluding interference factors, and correctly identifying the pre-earthquake anomaly information.

**Keywords:** DDL-1 radon measurement instrument; SD-3A radon measurement instrument; interference factors; quality evaluation; wavelet analysis

# 江苏溧阳测震台抗干扰措施效能分析

胡米东, 宫杰, 毛华锋, 陈启林, 王皓, 张杰, 霍雨佳, 黄群

(江苏省溧阳地震台, 江苏溧阳 213332)

**摘要:**2018年长山路通车对江苏溧阳测震台观测环境造成了干扰,相关部门分别在2018年6月和2019年5月采取了设置长山路限速限重标识和运行新井下测震观测系统2项抗干扰措施。本文通过对2项抗干扰措施效能定量计算和分析发现:设置限速限重标识后老测震井的台基背景噪声和功率谱密度曲线数据质量明显好转;新井下测震观测系统的台基背景噪声、功率谱密度曲线和地震监测能力均落后于老测震观测系统,分析原因可能与设备质量和安装工艺有关。

**关键词:**溧阳测震台;抗干扰措施;效能分析

**中图分类号:**P315.7 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2022)04-0027-05

**DOI:**10.13716/j.cnki.1001-8115.2022.04.005

地球科学是以观测为基础的研究科学,观测资料的准确性直接决定科研与应用的成效(徐纪人等,2009)。由于地表各类噪声的影响,地震数据的使用效能往往大大降低,地震计对微小信号的检测能力大大减弱(雷栋等,2006)。如何提高观测数据信噪比成为观测研究中最重要课题之一(徐纪人等,2006)。在地震监测中,降低信号噪声的各种抗干扰措施被广泛研究和应用。夏忠等(2005)对FHD质子磁力仪的探头及信号输入通道、分量线圈、供电系统、通信线路、仪器电路、仪器控制软件进行全方位抗干扰设计。李晓鹏等(2011)开展地电阻率深井观测系统对地面已知干扰源的抗干扰能力测试。王莉森等(2017)在溧县地震台布设地磁场井下观测系统,检验井下观测的抗干扰效果,结果发现,地磁场井下观测可抑制近距离铁磁性物质干扰,但无法抑制直流供电干扰。崔庆谷等(2008)认为通过改进系统的动态特性来提高仪器的“噪声免疫力”是解决当前重力、地倾斜仪器环境干扰问题的重要途径。专家学者为降低地震数据噪声水平,对各类不同噪声进行研究和定量分析,并提出抗干扰措施。

溧阳测震台(简称溧阳台)地处江苏省溧阳市,位于苏、浙、皖三省交界处,受郟庐断裂带、茅山断裂带及其它断裂带影响,在地质构造上处于新华夏系NNE向茅山大断裂与NWW向活动断裂交汇部位。2010年7月溧阳台开始进行井下测震观测,井深83m,地震计采用挂壁方式固定在井下71m处,安装BBVS-60DBH地震计和EDAS-24GN数采仪。溧阳台属于C类地区台站,且台站观测环境达I级环境地噪声水平。2016年6月长山路开工建设,2018年1月通车,道路最近处距溧阳台测震井60m,胡米东等(2022)对长山路通车对溧阳台观测环境的影响进行了定量分析,发现长山路通车后台站背景噪声水平增大,功率谱曲线高频段值增大且形态离散,震中距250km范围内M<sub>1.0</sub>~1.9地震监测能力降低。为保障溧阳台观测数据质量,降低因长山路通车给溧阳测震台造成的干扰,采取了安装新井下测震观测系统和在道路上设置限速限重标识2项抗干扰措施。本文收集了2项抗干扰措施实施前后的测震波形数据和地震目录,通过台基背景噪声、功率谱密度曲线和地震监测能力3个指标,分析以上2项抗干扰措施的效能,同时为其他观测台提供参考。

## 1 抗干扰措施

收稿日期:2021-12-16;修回日期:2022-04-02

基金项目:中国地震局监测、预报、科研三结合项目(3JH-2021019)资助。

作者简介:胡米东(1982-),男,江苏常州人,工程师,主要从事地震监测与地震预报研究工作,E-mail:271835366@qq.com.

### 1.1 设置限速限重标识

茅玉泉(1987)车辆振动实验表明:车辆运行造成的振动频率谱频带较宽,最大振动频率集中在 2.5~5 Hz和 10~15 Hz;车速提高会导致振动频率提高,汽车满载比空载引起的振动幅度大 50%至 100%,因此重型车辆引起振动幅度比小汽车大得多。车速由 10 km/h 提高至 60 km/h,地面振动幅度增加 200%。汽车重量和车速与地面振动幅度成正比。为降低车辆对观测环境影响,交管部门 2018 年 6 月在长山路溧阳台路段两端设置限速 80 km/h 和限制中重型载货汽车通行标识。

### 1.2 安装新井下测震观测系统

为保障溧阳台观测数据质量,专家论证后决定在溧阳台内选新址开钻观测井。新测震井距长山路 160 m,钻井 2018 年 6 月完工,井深 208 m,套管深度 208 m,套管外径为 146 mm、内径为 136 mm。2019 年 5 月完成了仪器安装调试,安装了 BBVS. 60DBH 地震计和 EDAS-24GN 数采仪,地震计采用底座式安装,底座安装深度 203 m,底座位置处斜度 0.791°。

## 2 效能分析

两项抗干扰措施均已实施一段时间,有必要进行效能分析,以便提高观测数据信噪比。

### 2.1 设置限速限重标识效能分析

2018 年 1 月长山路通车,溧阳台路段视野开阔,车速较快,速度 100 km/h 以上车辆较多,少数车辆超过 120 km/h。各类重型货运卡车数量较多,白天一般 20 辆/h 以上。2018 年 6 月交管部门在长山路溧阳台测震台路段设置限速标识和限重标识。

分别选取设置限速限重标识前后老测震观测系统一个月数据为样本,通过对比两个月台站背景噪声值及功率谱密度曲线,定量分析设置限速限重标识措施效能。为使计算结果更客观,在考虑观测设备一致(2019 年 4 月地震计损坏)、样本月份一致和强远震发生少等因素后,选取 2018 年 3 月(设置限速限重标识前)和 2019 年 3 月(设置限速限重标识后)溧阳台测震连续数据为样本。经计算得出设置限速限重标识前后的台站背景噪声(图 1)和背景噪声功率谱密度曲线(图 2)。

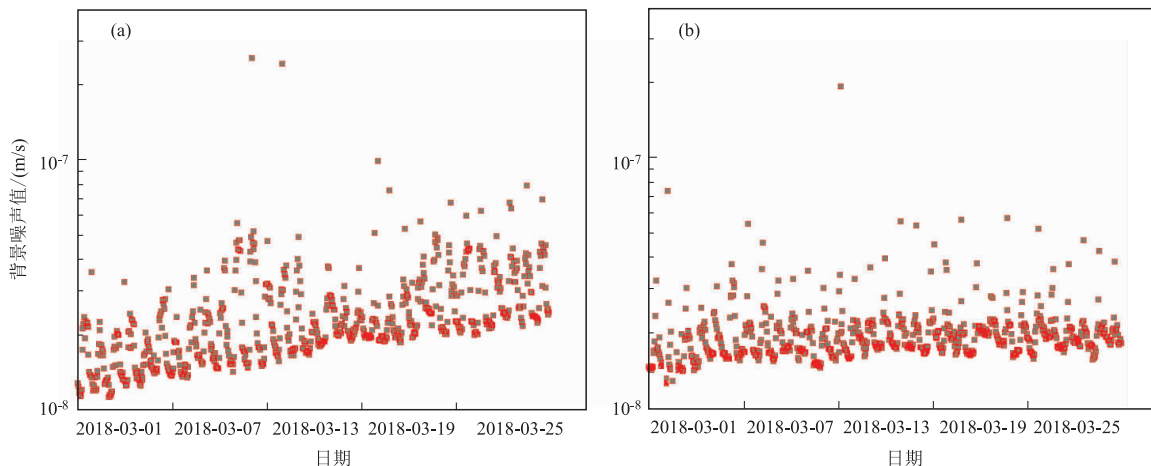


图 1 2018 年 3 月(a)和 2019 年 3 月(b)溧阳台背景噪声 RMS 小时值分布图

从图 1 和图 2 可以发现老测震观测系统 2018 年 3 月的 RMS 值主要集中在  $2.133 \times 10^{-8}$  m/s,2019 年 3 月的 RMS 值主要集中在  $1.573 \times 10^{-8}$  m/s,说明了 2018 年 3 月至 2019 年 3 月观测系统的背景噪声明显下降。2018 年 3 月和 2019 年 3 月各频段噪声功率谱曲线展布在 NLNM 和 NHNM 之间(图 2),表明设置限速限重标识前后溧阳台观测环境符合基本监测要求。2018 年 3 月功率谱密度曲线中低频段整体形态和 2019 年 3 月的较类似,曲线分布形态较窄,功率谱密度曲线值变化范围较小,说明中低频度段干扰源相对固定。2018 年 3 月功率谱密度曲线高频段( $>1.0$  Hz)整体形态和 2019 年 3 月差异较大,2018 年 3 月功率谱密度曲线分布离散,5~20 Hz 频段功率谱离散明显,部分频段功率谱差值达 10 dB;2019 年 3 月功率谱密度曲线高频段分布集中,离散程度低于 2018 年 3 月,同一频段功率谱差值在 3~4 dB 以内。这表明在人为干

扰的高频段,2018年3月溧阳台周边干扰类型较多,干扰强度有差别,分析认为与不同重量和速度重型车辆通行引起不同频段的干扰有关。2019年3月溧阳台周边干扰明显减少。综合以上分析表明设置限速重标识对降低长山路通车对溧阳台观测环境干扰是有效的。

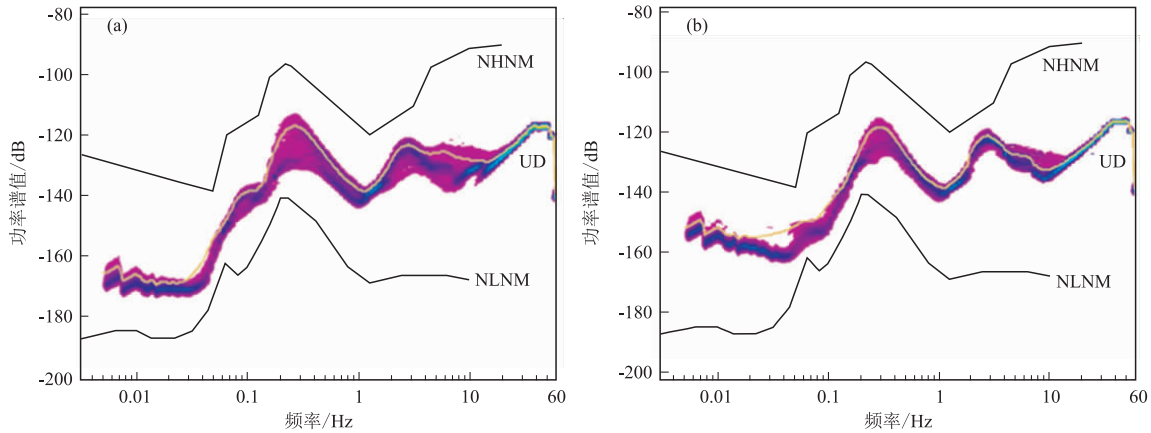


图2 2018年3月(a)与2019年3月(b)溧阳台背景噪声功率谱密度曲线

## 2.2 新井下测震观测系统抗干扰效能分析

溧阳台新井下测震观测系统于2019年5月正式安装运行。通过对比新井与老井台基背景噪声值、功率谱密度曲线和地震监测能力3个指标定量分析新观测系统的抗干扰效能。

(1)台基背景噪声对比分析。新井观测系统输出.dat格式数据,统一使用童汪练噪声功率谱密度测定软件计算新老两套井下观测系统的台基背景噪声值。选取2020年11月1日00时至2020年11月2日23时2天48小时测震连续波形数据为样本。通过计算1~20 Hz的台基背景噪声发现老井观测系统台基噪声水平优于新井观测系统(图3)。老井观测系统垂直向两天平均台基噪声 $1.982 \times 10^{-8}$  m/s,根据《地震台站观测环境技术要求》(GB/T19531.1—2004),台站观测环境达Ⅰ级环境地噪声水平。这两天新井观测系统的平均台基噪声为 $3.286 \times 10^{-8}$  m/s,噪声水平高于老井观测系统,观测环境达Ⅱ级环境地噪声水平。

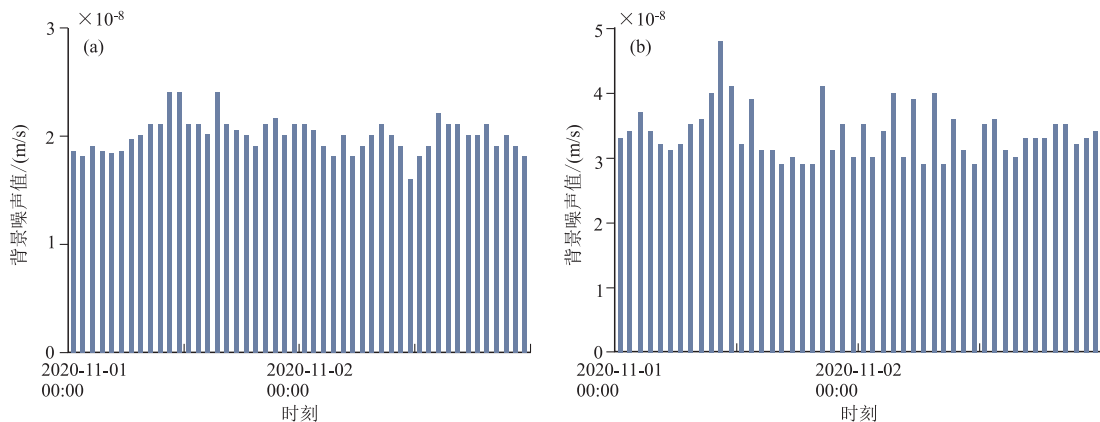


图3 图3 2020年11月1~2日新(a)老(b)两套井下测震系统台基噪声小时值图

(2)功率谱对比分析。选取2020年11月1日00时至2020年11月2日23时2天观测系统的垂直向连续数据为样本,使用童汪练噪声功率谱密度测定软件计算两套井下观测系统功率谱密度曲线(图4)。从图4中可发现:虽然两套观测系统各频段功率谱值均展布在皮特森模型噪声低高值包络线NLM和NHM之间,但高频段( $>1.0$  Hz)有明显差异,同一频段新观测系统功率谱值分布更离散,表明新观测系统在 $>1.0$  Hz频段干扰比老系统大。

(3)地震监测能力对比分析。两套测震观测系统在同一时间段内的地震监测能力是反映观测设备及观测环境优劣的一项重要指标。2019年7月1日至2020年12月31日期间,两套观测系统均使用BBVS-60DBH地震计和EDAS-24GN数采仪,系统标定结果正常,两套设备未出现故障。因此选取2019年7月1



日至2020年12月31日溧阳台两套测震观测系统地震记录数据为样本(数据来源:溧阳测震台2019—2020年地震观测报告),以溧阳台为圆心,250 km为半径,对比两套系统的地震记录情况(表1)。

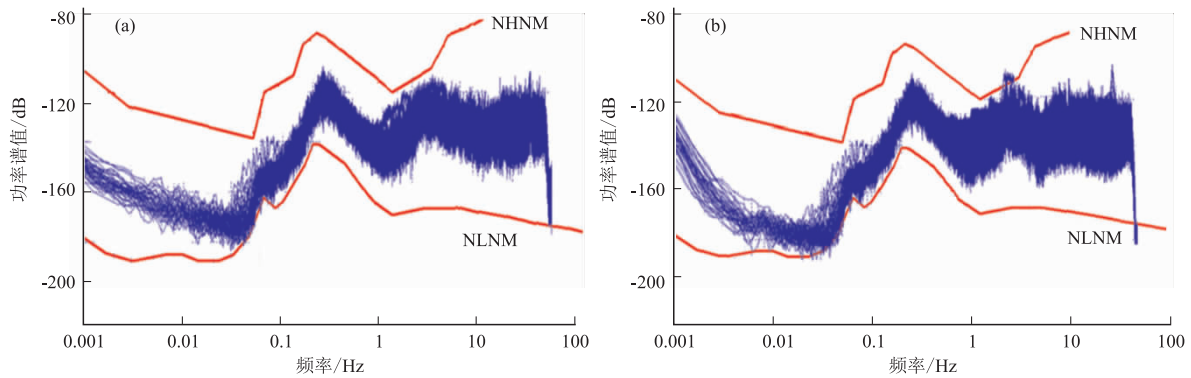


图4 新(a)老(b)两套井下测震系统功率谱密度曲线图

从表1可看出:(1)两套观测系统对震中距250 km内M1.0以下和M3.0及以上地震监测能力相同;震中距0~100 km内M2.0~2.9地震和震中距0~50 km内M1.0~1.9地震记录数量相同。(2)老观测系统在震中距250 km内的监测能力优于或等于新观测系统。(3)两套观测系统监测能力差距主要表现在震中距100~200 km对M1.0~2.9地震的监测。例如震中距100~150 km内,老观测系统记录到M1.0~1.9地震30

表1 2019年7月至2020年12月溧阳台两套井下测震观测系统地震记录对比

震中距/km	地震数量									
	M0.0~0.9		M1.0~1.9		M2.0~2.9		M3.0~3.9		M4.0~4.9	
	N <sub>老</sub>	N <sub>新</sub>	N <sub>老</sub>	N <sub>新</sub>	N <sub>老</sub>	N <sub>新</sub>	N <sub>老</sub>	N <sub>新</sub>	N <sub>老</sub>	N <sub>新</sub>
0~50	3	3	22	22	8	8	1	1	0	0
50~100	2	2	20	15	10	10	1	1	0	0
100~150	0	0	30	20	32	24	1	1	0	0
150~200	0	0	12	4	28	16	1	1	0	0
200~250	0	0	0	0	30	14	9	9	1	1

注:N<sub>老</sub>表示老观测系统记录地震数量;N<sub>新</sub>表示新观测系统记录地震数量。

次,新观测系统记录到M1.0~1.9地震20次;老观测系统记录到M2.0~2.9地震32次,新观测系统记录到M2.0~2.9地震24次。在同一震级段内,随着震中距的增加,新观测系统监测能力较老系统的监测能力下降更快;在同一震中距内,随着震级的降低,新观测系统的监测能力下降也更快。

(4)新观测系统效能较低的原因分析。新测震观测系统的台基噪声、功率谱值和地震监测能力3个指标均低于老观测系统的指标,这表明老观测系统观测质量优于新观测系统。尽管新地震计安装深度(203 m)大于老地震计的安装深度(71 m),新测震井位置与长山路(160 m)较老测震井距长山路(60 m)更远,但新测震井的观测数据质量却更低,分析认为主要原因可能是观测设备质量和安装工艺。井下地震计的安装专业性很强,对安装人员的专业素质要求很高(胡米东等,2009)。对比两套观测系统记录同一地震波形发现,老观测系统Sg波衰减平稳,而新观测系统Sg波衰减中多次出现高振幅干扰波形,该现象垂直向较明显。很多地震波形中均出现该现象。地震波形中包含众多信息,不乏各种干扰,这些干扰对震相识别与分析造成干扰(何思源等,2020)。分析认为,地震计固定和密封故障导致记录受干扰可能性较高。

### 3 结论

通过计算和分析发现,溧阳台新井下测震观测系统台基噪声水平、功率谱值和地震监测能力3个指标质量均低于老观测系统。新井距长山路更远,地震计安装位置更深,但观测数据质量不如老井。根据观测波形对比分析,怀疑观测设备质量和安装工艺是导致监测质量一般的原因。具体原因有待进一步调查和研究。设置限速限重标识后,溧阳台台基噪声和功率谱值均有明显改善,可见该措施对降低长山路对溧阳台观测环境干扰是有效的。

## 参考文献

- 崔庆谷,杨玲英,蔡绍平,等. 2008. 系统动态特性对重力、地倾斜仪器抗干扰性能的影响[J]. 地震地磁观测与研究, 31(4): 394—398.
- 何思源,李贵元,刘华姣,等. 2020. 台站测震资料干扰分析处理软件研究[J]. 四川地震, (4): 36—41.
- 胡米东,毛华锋,陈启林,等. 2018. 江苏地区 CMG—3TB 地震计运行分析[J]. 四川地震, (3): 36—41.
- 胡米东,毛华锋,陈启林,等. 2022. 溧阳测震台观测环境影响因素定量分析及抗干扰措施[J]. 高原地震, 34(1): 33—40.
- 雷栋,胡祥云,张素芳. 2006. 小波理论及其在地震监测中的应用[J]. 地震研究, 29(1): 103—107.
- 李晓鹏,席继楼,关华平,等. 2011. 地电阻率井下观测装置抗干扰能力实验研究[J]. 地震地磁观测与研究, 32(5): 66—71.
- 茅玉泉. 1987. 交通运输车辆引起的地面振动特性和衰减[J]. 建筑结构学报, 36(1): 67—76.
- 王莉森,张云昌,殷金平,等. 2017. 溧县地磁场井下观测系统抗干扰效果[J]. 地震地磁观测与研究, 38(4): 98—104.
- 夏忠,稽才建,冯志生,等. 2005. FHD 分量核旋仪观测系统的抗干扰技术[J]. 地震研究, 28(1): 102—107.
- 徐纪人,赵志新. 2006. 深井地球物理长期观测的最新进展及其前景[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 31(4): 557—562.
- 徐纪人,赵志新. 2009. 深井地球物理观测的最新进展与中国大陆科学钻探长期观测[J]. 地球物理学进展, 24(4): 1176—1182.

## Anti—interference Measures and Efficiency Analysis of Jiangsu Liyang Seismic Station

HU Midong, GONG Jie, MAO Huafeng, CHEN Qilin, WANG Hao, ZHANG Jie,  
HUO Yujia, HUANG Qun

(Jiangsu Liyang Seismic Station, Jiangsu Liyang 213332, China)

**Abstract:** The use of the Changshan road in 2018 has caused interference to the observation environment at the Liyang station. In June 2018 and May 2019, the relevant departments set up the speed limit and weight limit signs at the Changshan road. A new underground seismic observation system was established. Through the quantitative calculation and analysis of the effectiveness of the two anti—interference measures, we found that the data quality of the background noise and power spectral density curve of the old well foundation was improved obviously when the speed limit and weight limit signs were set. The background noise, power spectral density curve, and seismic monitoring capability of the new underground seismic observation system are weaker than those of the old seismic observation system. We suggest that equipment quality and installation technology might be relatively low.

**Keywords:** Liyang seismic station; anti-interference measures; efficiency analysis

# 广西德保县地震地质灾害特点及对策分析

刘亮<sup>1</sup>, 张杰琼<sup>2</sup>, 补祥誉<sup>1</sup>, 陈红波<sup>1</sup>, 周芳静<sup>1</sup>, 岑汶汶<sup>3</sup>

(1. 广西百色市自然资源局, 广西 百色 533000;  
2. 广西百色市右江区自然资源局, 广西 百色 533000;  
3. 广西百色市德保县自然资源局, 广西 百色 533000)

**摘要:**通过对广西德保4.8级地震前后德保县在册地质灾害数据进行分析,得出德保县地质灾害的特点:滑坡、泥石流多分布于三叠系碎屑岩地层中;危岩、崩塌、地面塌陷、不稳定斜坡地质灾害主要分布于泥盆系、石炭系、二叠系碳酸盐岩地层中;地质灾害沿交通线、断裂构造带呈线状分布。最后提出加强地震发生规律研究、开展地震地质灾害隐患排查、强化地震地质灾害分区管理、实施搬迁避让和加强宣传5条建议,以期提高地方政府的防灾减灾能力。

**关键词:**德保县;广西德保4.8级地震;地质灾害;防范措施

**中图分类号:**P315.943 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-8115(2022)04-0032-05

**DOI:**10.13716/j.cnki.1001-8115.2022.04.006

百色市德保县位于广西壮族自治区西南部,地处东经 $106^{\circ}09' \sim 106^{\circ}59'$ ,北纬 $23^{\circ}01' \sim 23^{\circ}39'$ ,全县总面积 $2\,575\text{ km}^2$ 。根据第七次人口普查数据,截至2020年11月1日零时,德保县常住人口为269 758人。据中国地震台网资料,2021年8月4日德保县发生4.8级地震,震源深度10 km;9月11日又发生4.3级和3.3级地震,震源深度分别为10 km和6 km;经中国地震台网中心与广西壮族自治区地震局联合会商认为8月4日4.8级地震和9月11日4.3级地震震源相同,为同一地震序列。9月12日邻近德保县的靖西市发生3.0级余震,震源深度6 km。8月4日广西德保4.8级地震以来,广西地震台网共记录到地震25次,其中4.0~4.9级地震1次,3.0~3.9级地震1次,2.0~2.9级地震1次,1.0~1.9级地震8次,0~0.9级地震14次。广西德保4.8级地震后,德保县及其周边发生地震的频率明显增强,以中小地震为主。由此引发一系列次生地震地质灾害。地震灾害具有突发性强、破坏性大、频度较高、次生灾害多等特点,作为群灾之首,对社会产生很大影响(车用太,2002;赵永旭等,2012)。影响地震灾害大小的因素包括地震震级、震源深度、发震地点、震中距、地震类型、地质条件、建筑物抗震性能、地区人口密度、经济发展程度等(卢海峰,2021;殷翔等,2021)。地震直接灾害造成建筑物破坏以及崩塌、滑坡、泥石流、地裂、地陷、冒水等地表的破坏,由此造成人员的伤亡和直接经济财产损失,如何预防和快速响应地震地质灾害引起了各级政府和社会的极大关注。本文以广西德保4.8级地震前后德保县在册的地质灾害数据为基础,分析地震对地质灾害的影响,结合地质灾害分布规律,探讨地震地质灾害防治应对措施,为地方政府地震地质灾害防治提供参考和技术支撑。

## 1 德保县地质构造

德保县内出露地层有寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系和三叠系,其中三叠系、泥盆系分布最广(图1),三叠系主要分布于德保县东部及西北部,以泥岩、砂岩等软弱碎屑岩为主,局部夹泥灰岩、灰岩及白云岩;泥盆系主要分布于德保县的中部及南部,以碳酸盐岩坚硬岩为主,主要为灰岩、泥晶灰岩、白云岩夹白云质灰岩、燧石灰岩、硅质岩、硅质泥岩等;石炭系及二叠系地层主要分布于德保县的中部地区,两个时代地层呈条带状分布于泥盆系的外围,以坚硬的碳酸盐岩为主,岩性为灰岩、白云质灰岩、白云岩夹少量硅质岩及硅质泥岩;

收稿日期:2021-01-01;修回日期:2022-02-19

作者简介:刘亮(1987-),男,四川资阳人,高级工程师,主要从事区域地质、矿产地质、地震地质调查研究工作,E-mail:liuliang2006ziyang@163.com.

通讯作者:张杰琼(1985-),女,黑龙江齐齐哈尔人,中小学二级教师,主要从事土地规划、利用研究工作,E-mail:zhangjieqiongmy@163.com.

寒武系小面积分布于南部龙光乡及北部红泥坡一带,由较软弱的碎屑岩组成,岩性为页岩、粉砂质页岩夹砂岩、硅质灰岩等,在钦甲花岗岩接触带,为热变质成因的角岩、大理岩、矽卡岩。第四系主要发育残坡积层,河流冲积层不甚发育。岩浆岩小面积分布于南部燕峒乡钦甲村内琴屯一带(即钦甲花岗岩体)。

德保县处于南华活动带的右江再生地槽西—田东隆起构造单元内,大致经历了加里东期、印支—燕山期和喜山期三个较为明显的构造发展阶段,各阶段产生了不同规模、不同性质、不同序次的构造形迹,组成了错综复杂的构造格架。区内构造总体上以北北东向、北西向构造最发育,其次为东西向构造及弧形构造(图1),区内主要构造形迹有8个褶皱、9条断层(或断层组)。与本次地震关系最密切的是尚干—摩天岭断层,该断层长度约30 km,西段向南西弯转。断层舒缓波状,倾向 $340^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ,倾角 $48^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。断距350~600 m,切割P~T地层。沿断层带发生硅化、糜棱岩化。

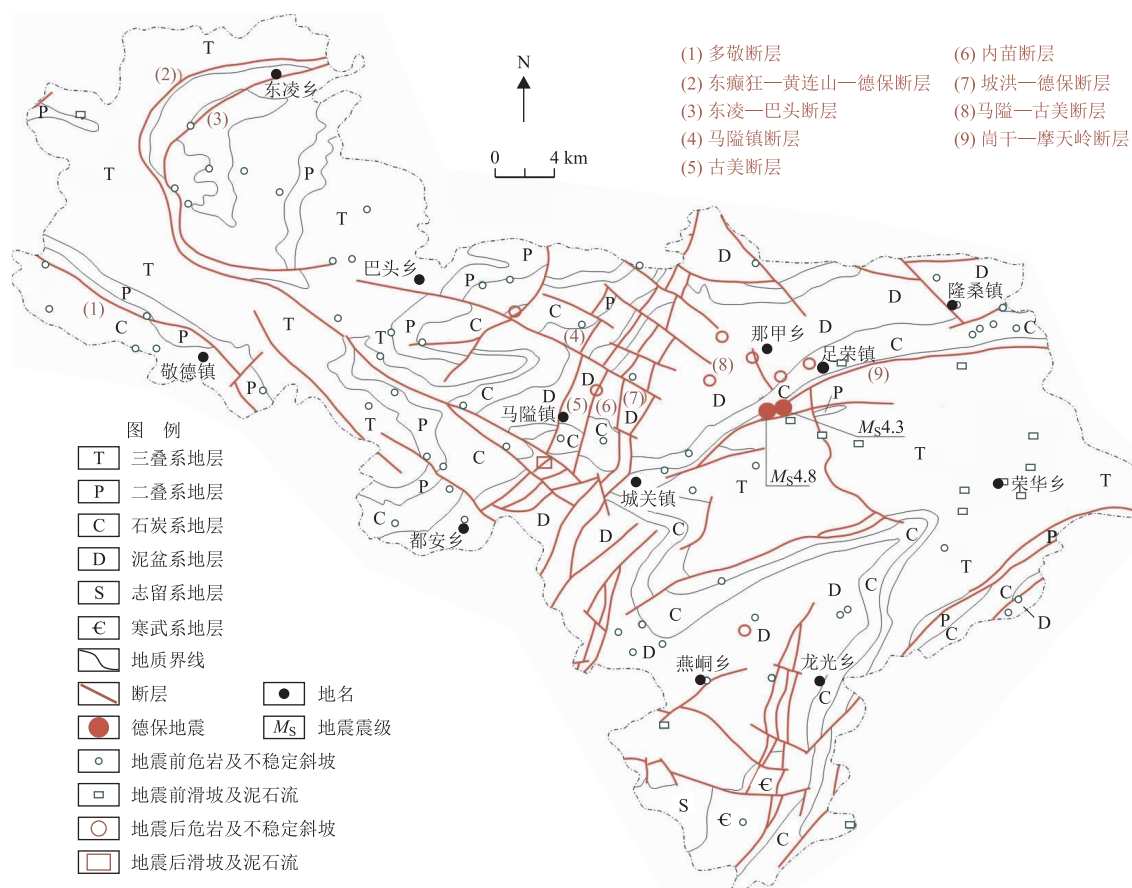


图1 德保县地质构造简图及地质灾害分布图

## 2 德保地震前后地质灾害情况及存在的问题

### 2.1 德保县地震前后地质灾害特点

在德保4.8级地震前,德保县地质灾害共有77处,其中危岩56处,占震前地质灾害数量的72.73%;次为滑坡,共15处,占震前地质灾害数量的19.48%;此外地面塌陷、泥石流、不稳定斜坡地质灾害各2处,各占震前地质灾害数量的2.60%。

德保4.8级地震后,由于区域内以中小地震为主,地震影响范围有限,地质灾害多集中在震中10 km范围内,影响最大的地质灾害为危岩,引发的9起地质灾害,危岩占8起。德保县现有在册地质灾害点86处(表1)。地质灾害类型仍以危岩为主,达到65处,占震后在册地质灾害数量的75.58%;次为滑坡15处,占震后在册地质灾害数量的17.44%;此外地面塌陷、泥石流、不稳定斜坡地质灾害各2处,各占震后在册地质灾害数量的2.32%。就地质灾害规模而言,德保县地质灾害以小型为主,为80处,占现有在册地质灾害数

量的 93.02%；中型 6 处(危岩、滑坡各 2 处，泥石流和不稳定斜坡各 1 处)，占地质灾害数量的 6.98%；无大型和特大型地质灾害。整体而言，德保县连续发生的中小地震对地质灾害的发生有一定影响，直接灾害主要表现为建筑物的开裂、不均匀沉降、倒塌等(图 2)，次生灾害主要表现为山体的破坏、危岩的松动失稳，进而造成建筑物的破坏(图 3、4)。就类型而言，地质灾害的类型与地层岩土体类型关系密切。德保县滑坡、泥石流多分布于三叠系软弱碎屑岩地层中，受断层构造影响不明显；危岩、崩塌、地面塌陷、不稳定斜坡地质灾害主要分布于泥盆系地层中，次分布在石炭、二叠系坚硬碳酸盐岩地层中(图 1)，受断层构造影响明显，多沿断层构造线性分布。在册的地质灾害点与人类工程活动和聚居情况关系密切，研究区地质灾害呈现沿交通线、断裂构造带线状分布的特点。

表 1 德保县地质灾害情况一览表

灾害地点	灾种	灾害类型	灾害地点	灾种	灾害类型	灾害地点	灾种	灾害类型
城关镇云梯村那吞屯	危岩	小型	东凌镇平交村那造屯	滑坡	小型	荣华乡那龙村那瓦屯	滑坡	中型
城关镇第三初级中学	危岩	中型	燕峒乡兴旺村上叫屯	危岩	小型	荣华乡上河村大妙屯	滑坡	小型
城关镇垃圾中转站	危岩	小型	燕峒乡下丈村上丈屯	危岩	小型	荣华乡荣华村坡造屯	滑坡	小型
城关镇进城大道峒奇	不稳定斜坡	小型	燕峒乡城屯村权屯	危岩	小型	荣华村紫巴村六吞屯	滑坡	小型
城关镇西读村陇立屯	危岩	小型	燕峒乡巴龙村巴现屯	危岩	小型	荣华乡初级中学	滑坡	小型
都安乡坡那村汤利屯	危岩	小型	燕峒乡巴龙村足巴屯	危岩	小型	荣华乡荣华村那滚屯	滑坡	小型
都安乡坡那村多命屯	危岩	小型	燕峒乡下钦村岩林屯	滑坡	小型	巴头乡足伸村陇翁屯	危岩	小型
都安乡三合村临桥屯	危岩	小型	燕峒乡那茶村古同屯	危岩	小型	巴头乡足伸村多扎屯	危岩	小型
都安乡凌圩村多良屯	危岩	小型	燕峒乡古桃村巴安屯	危岩	小型	巴头乡多作村上令屯	危岩	小型
都安中心校	危岩	小型	燕峒乡中心校	危岩	小型	巴头乡陇位村登仲屯	危岩	小型
都安乡福记村福记屯	危岩	小型	东凌镇多柏村陇布屯	危岩	小型	巴头乡荣屯村根洞屯	危岩	小型
都安乡凌雷村陇立外屯	危岩	小型	足荣镇老坡村村屯、那腰屯	泥石流	中型	巴头乡雅美村多茂屯	危岩	小型
荣华乡上茂村那庙屯	不稳定斜坡	中型	足荣镇老坡村古考屯	滑坡	小型	东凌镇朴圩村西绍屯	危岩	小型
马隘镇大喜村大喜屯	危岩	中型	足荣镇孟棉村孟屯	滑坡	小型	敬德镇多匠村那其屯	危岩	小型
马隘镇排留村叫美屯	危岩	小型	足荣镇义备村那梅屯	滑坡	小型	敬德镇农安村登龙屯	危岩	小型
马隘镇多宋村多宋屯	危岩	小型	足荣镇泗营村坡那屯那巴居住点	地面塌陷	小型	敬德镇多浪村陇福屯	危岩	小型
马隘镇马牌村	危岩	小型	足荣镇念色村巴意屯	危岩	小型	敬德镇驮信村古赖屯	危岩	小型
马隘镇多意村洪福屯	泥石流	小型	荣华乡上茂村果陋屯	滑坡	中型	敬德镇大红村更荷屯	危岩	小型
隆桑镇果普村陇桃屯	危岩	小型	东凌镇甘必村甘必屯	危岩	小型	敬德镇驮良村驮良屯	地面塌陷	小型
百矿集团有限公司北面山和南面山体	危岩	小型	隆桑镇陇坛村陇香屯	危岩	小型	那甲镇大章村中伏屯*	危岩	小型
龙光乡大邦村陇同屯	滑坡	小型	隆桑镇下布村立巴屯	危岩	小型	足荣镇足荣村扶苏屯*	危岩	小型
龙光乡把酬村下平洋屯	危岩	小型	隆桑镇下布村陇力屯	危岩	小型	足荣镇农豆村扶近屯后山*	危岩	小型
龙光乡把酬村多利屯	危岩	小型	隆桑镇陇色村大力屯	滑坡	小型	巴头乡登贡村多六屯*	危岩	小型
龙光乡那印村陇合屯	危岩	小型	隆桑镇隆桑村坡纳屯	危岩	小型	那甲镇巴深村巴深屯*	危岩	小型
龙光乡果来村下力屯	危岩	小型	隆桑镇示下村老屯	危岩	小型	那甲镇中屯村中屯*	危岩	小型
那甲镇林祥村外力屯	危岩	小型	隆桑镇果普村果普屯	危岩	小型	燕峒乡平安村陇翁屯*	危岩	小型
那甲镇定六村下宁屯	危岩	小型	东凌镇朴圩村德勿屯	危岩	小型	都安乡三合村那排屯*	滑坡	小型
敬德镇雅里村多力屯	危岩	小型	东凌镇大福村大福屯	危岩	小型	马隘镇大年村内年屯*	危岩	小型
敬德镇凌怀村陇满屯	危岩	小型	东凌镇朴圩村多逢二屯	危岩	小型			

注：\* 表示地震后新增地质灾害点

### 2.2 德保县地震地质灾害防治面临的问题

受历史和自然条件等多种因素影响，德保县境内不少泥石流堆积扇、陡崖斜坡等地质灾害高发、易发区内仍有大量群众居住，加上地震后山体开裂、斜坡松动，在强降雨、地震等因素的作用下，地质灾害易发、多发、频发。德保 4.8 级地震后，新增地质灾害隐患点威胁 3 409 户 18 910 人，财产累计 23 542 万元。地震次生地质灾害直接威胁着人民群众生命财产安全，制约经济社会发展，需要重视对地震次生地质灾害防治，提出有针对性的应对措施，以最大限度地减少这类灾害造成的损失。

德保 4.8 级地震也反映出地质灾害防灾减灾能力不足。一是在现有技术、资金等制约下，短时期很难做

到对发现的隐患点完全治理,很多隐患点将长期处于高危状态,进一步加剧了地质灾害治理工作的长期性、艰巨性。根据地震后的地质灾害调查,按照轻重缓急的原则,德保县目前急需治理的地质灾害项目有9个,规模均为中小型,需要治理资金1.1亿元。根据《地质灾害防治条例》规定,特大型、大型地质灾害由中央和自治区资金负责统筹资金治理,中、小型地质灾害防治项目资金纳入地方财政预算。由于德保县地方财政薄弱,纳入地质灾害防治预算的经费有限,同时又很难争取到中央和自治区特大型、大型地质灾害防治资金,地质灾害防治资金缺口很大,大多数防治项目经费一时无法落实或仅部分落实。二是避险搬迁难度大。地质灾害防治最好的方式是避险搬迁,危岩一类地质灾害无法准确预测预报或者预警预报时间太短,来不及撤离,应采取主动避让措施,将周围的居民搬走,一劳永逸。但需要搬迁的村民大多经济比较困难,受搬迁地点、自身经济条件、补助经费等因素制约,避让搬迁工作难度较大。



图2 地震直接破坏墙体



图3 地震引发的危岩次生灾害



图4 次生灾害对房屋的破坏

### 3 地震地质灾害防治应对措施

地震预报一直是地学界的难点问题(车用太,2002),目前的技术手段还难以做到准确预报地震发生的时间、地点、震级等,因而造成地震地质灾害的突发性、次生灾害多和难以防范的特点。但地震沿构造断裂带(地震带)分布的规律是显而易见的(刘亮等,2019,2020),地震地质灾害作为一种由地震引发的地质灾害,其分布规律和地震、地质结构构造、断裂、人口密度等关系密切(杨志华等,2021)。一般来说,土质松软、覆盖土层厚、地下水位高,地形起伏大和地裂缝通过,这些都可能使地震灾害加重,滑坡、崩塌、滚石、液化等也会加重震害。通过分析研究其内在规律,地震地质灾害是可以预防的,做好综合防御工作可以最大程度地减轻自然灾害(余金星等,2021)。地震地质灾害的防治可以从以下几方面入手:

(1)分析研究地震发生的规律,尤其是对发震断裂的基础性研究。综合运用年代学、地质雷达、高分辨率卫星遥感、地壳形变测量、地球物理、地球化学、钻探等多种技术手段,加强该地区活动(断裂)构造发震断裂的展布规律、构造样式、活动方式及发震潜力的研究和预测。

(2)积极开展地震地质灾害隐患排查,准确判断“隐患在哪里”。对人员密集的地震地质灾害易发区或隐患集中区开展1:1万高精度的调查,分析地震地质灾害的分布规律、危害程度、影响范围等,为地震地质灾害防治提供依据。

(3)强化地震地质灾害分区管理。在人口比较集中、社会经济比较发达的县城及乡镇,人类活动比较活跃的区域,防治措施以群测群防为主,结合疏导和避让搬迁措施;在重要交通干线区域内,防治措施以群测群防和支挡、清方相结合的方式;其它灾害较少地区,采取群测群防即可。

(4)实施搬迁避让。德保县属于少数民族县,积极争取中央和地方资金,对确实存在隐患、治理效益不好的地震灾害隐患点居民实施搬迁安置。结合中共中央国务院、广西壮族自治区乡村振兴、百色市乡村风貌提升和异地扶贫搬迁等政策,多部门、多政策、多渠道结合,增强“1+1>2”的治理搬迁效果。

(5)加强宣传,提高群众地震地质灾害防治意识和能力。加强部门间协调配合,多管齐下,宣传和普及防灾减灾知识,深入基层一线进行救灾演练,提高全民防震减灾的素质和能力。历次地震实践表明:自救互救是震后抢救生命最重要和有效的途径。经过训练的居民,开展自救互救会大大提高抢救的成功率。在震后

安置、社会安定等各方面,训练有素的社区组织、志愿者和居民能够起到不可代替的作用。

## 4 结论

德保 4.8 级地震发生以来,德保县先后发生中小地震 25 次,在一定程度上诱发了地质灾害。德保县现有在册地质灾害点 86 处,地质灾害规模以小型为主,为 80 处,占在册地震地质灾害数量的 93.02%;中型 6 处(危岩、滑坡各 2 处,泥石流和不稳定斜坡各 1 处),占在册地质灾害数量的 6.98%;无大型和特大型地质灾害。地震对危岩影响较大,地震后新增 9 处地质灾害,其中危岩占 8 处。地震后德保县地质灾害类型仍以危岩为主,达到 65 处,占在册地震地质灾害数量的 75.58%。滑坡、泥石流多分布于三叠系碎屑岩地层中;危岩、崩塌、地面塌陷、不稳定斜坡地质灾害主要分布于石炭系地层中,次为泥盆系、二叠系、三叠系地层。通过对地震地质灾害的总结分析,研究地震发生的规律,强化地震地质灾害巡查排查及防治监管,实施搬迁避让,加强宣传培训,有助于提高地方政府和群众的防灾减灾能力,为相关决策措施提供依据。

## 参考文献

- 车用太. 2002. 关于地震预测问题的 8 点思考[J]. 国际地震动态, (8):19-23.
- 刘亮,梁斌,燕中林,等. 2019. 龙泉山断裂带隐伏断层氦气特征及其活动性分析[J]. 沉积与特提斯地质, 39(2):45-53.
- 刘亮,梁斌,燕中林,等. 2020. 龙泉山断裂带断层最新活动年代及方式[J]. 中国地质调查, 7(5):77-87.
- 卢海峰. 2021. 元谋断裂带晚第四纪活动性与地震地质灾害的关系[J]. 大地构造与成矿学, 45(3):478-491.
- 杨志华,郭长宝,吴瑞安,等. 2021. 青藏高原巴塘断裂带地震滑坡危险性预测研究[J]. 水文地质工程地质, 48(5):91-101.
- 殷翔,李鑫,马震,等. 2021. 青海玛多  $M_s7.4$  地震震害特点分析[J]. 地震工程学报, 43(4):868-875.
- 余金星,许强,杨武年,等. 2021. 九寨沟地震地质灾害隐患早期识别与分析研究[J/OL]. 工程地质学报, <https://doi.org/10.13544/j.cnki.jeg.2020-515>.
- 赵永旭,陈国辉. 2012. 浅谈地震对地质灾害的影响:以“5·12”汶川特大地震后四川省地震灾区地质灾害情况为例[J]. 四川地质学报, (4):458-460.

# Characteristics and Countermeasures of Seismic Geological Hazards in Debao County, Guangxi Zhuang Autonomous Region

LIU Liang<sup>1</sup>, ZHANG Jieqiong<sup>2</sup>, BU Xiangyu<sup>1</sup>, CHEN Hongbo<sup>1</sup>,  
ZHOU Fangjing<sup>1</sup>, CEN Wenwen<sup>3</sup>

(1. Natural Resources Bureau of Baise, Guangxi Baise 533000, China;

2. Natural Resources Bureau of Youjiang District, Guangxi Baise 533000, China;

3. Natural Resources Bureau of Debao County, Guangxi Baise 533000, China)

**Abstract:** Since the occurrence of the Debao  $M4.8$  earthquake in Debao County, many secondary geological disasters of dangerous rocks have been widely concerned by the society and local governments. Landslides and debris were mostly distributed in Triassic clastic rocks; Dangerous rock, collapse, ground collapse, and unstable slope geological disasters were mainly distributed in Devonian, Carboniferous and Permian carbonate rocks. The geological hazards in the study area show characteristics of a linear distribution along the traffic line and a fault structural belt. Through the analysis of the characteristics of geological disasters investigated in Debao and relevant countermeasures and suggestions, it is helpful to improve the disaster prevention and reduction capacity of local governments. Moreover, these countermeasures provide a basis for relevant departments for a reasonable, efficient and quick realization in disaster reconstruction, which can reasonably allocate human, material and financial resources for disaster prevention and reduction.

**Keywords:** Debao County; the Debao  $M4.8$  earthquake; geological hazards; preventive measures

# 基于 Django 框架的江西地震目录数据 可视化系统设计及实现

曾文敬,徐长文,肖建华,范卫星,赵璇,曾先进,陈建龙

(江西省地震局,江西 南昌 330095)

**摘要:**基于 Django 框架,利用 Echarts 可视化库,自主开发了基于 B/S 架构的江西地震目录数据可视化系统。系统根据江西地震目录数据,实现以多图单页的大屏展示方式全景呈现江西震情信息,帮助用户快速了解江西地震活动、时空、强特征。

**关键词:**Django;Echarts;可视化;地震目录

**中图分类号:**P315-39

**文献标识码:**B

**文章编号:**1001-8115(2022)04-0037-04

**DOI:**10.13716/j.cnki.1001-8115.2022.04.007

自 2012 年以来,全球进入大数据时代,各行各业都将可视化技术作为大数据分析、数据挖掘的重要手段,让数据说话,让数据看得见。可视化技术作为解释大数据最有效的手段而率先被科学与工程计算领域采用,科学可视化把数据转换成多维度、多尺度的时空动态图形图像,给予人们深刻与意想不到的洞察力,帮助公众理解事物间的深度内涵、潜在关联和运行规律,极大地提高了人脑分析解释这些数据的能力,已在很多领域使科学家的研究方式发生了根本性变化。

近年来,地震大数据可视化研究和应用问题引起了地震行业有关专家的极大关注和思考。张晁军等(2015)认为大数据的核心是积累数据、分析数据和应用数据,大数据有助于提高人们的特殊技能和洞察力,大数据分析具有预测事物发展趋势、改变传统观念和发现新事物的功能,并有助于人们从信息中挖掘有价值信息,大数据改变着人类探索世界的传统观念和方法,尤其是通过了解模型的优点和局限性,使数据产生知识。王志秋(2018)认为,就目前地震业务领域来看,地震大数据产出可视化研究和应用至少可以包括:测震学科产出可视化,如震源破裂过程可视化;形变学科产出可视化,包括重力、倾斜、短水准、洞体形变、应力应变、航空观测、GPS 等可视化;电磁学科产出可视化,包括地电阻率、地磁、电磁波等可视化;流体学科产出可视化,包括水位、水温、水氢、水汞、溶解气、土壤气等可视化;以及其他学科和新技术产出可视化,如地震地质构造、构造运动、地球动力学、地震活动性、卫星、遥感、红外观测等可视化。地震行业利用可视化技术逐步开展了一些探索和应用研究,并取得了可喜的结果,如:杨应召(2020)为研究在地震速报等基于测震数据的业务场景中,对于地震事件检测等中间处理结果的可视化问题,设计并实现了一套基于实时测震数据的可视化系统,并得到了实际应用,吴珍云等(2020)基于开源 GIS 技术研发的江苏省地震应急信息可视化平台具有良好的性能体验,并在地震应急工作中起到了较强的辅助决策作用;马士振等(2015)、罗勇等(2020)、李晨曦等(2021)研发的基于地震目录数据的可视化服务系统为地震数据服务提供了一种新模式,提升了地震信息服务的深度和广度。此外,很多专业人员(姚会琴等,2014;潘怀文等,2015;张文蕾等,2018;韩滨等,2021)将地震监测信息、监控信息通过可视化技术进行加工处理后,大大提升了地震信息服务的能力和水平。目前,可视化工具有多种选择,其中国内的可视化库主要以 Echarts 为代表,被很多工程师采用(王子毅等,2016;崔蓬,2019;徐欣威,2019)。Echarts 可视化库是完全开源免费的,是由百度公司开发的开源数据图表可视化技术,是由纯 JavaScript 脚本语言编写的可视化类库,兼容目前多种浏览器,底层采用 ZRender 渲染技术,达到美观、生动的显示效果,提供丰富的、灵活的数据可视化图表集成接口。

地震目录是地震行业产出的最为基础的地震科学研究资料。为了进一步挖掘地震数据信息,让地震目

**收稿日期:**2022-02-10;**修回日期:**2022-03-01

**基金项目:**江西省防震减灾与工程地质灾害探测工程研究中心开放基金(SDGD202014)项目资助。

**作者简介:**曾文敬(1978-),男,浙江平阳人,高级工程师,主要从事地震安评工作。E-mail:13870921145@163.com.



录数据的空间、时间信息更好地被人们特别是非专业人员快速有效的理解,本文根据江西地震台的地震目录数据,自行设计了一套前后端分离,并采用 Django、Echarts 开源框架自主开发的江西地震目录数据可视化系统,旨在帮助非专业人员能够通过对地震目录数据的挖掘及时空动态分析并以可视化的简易图表形式,快速了解江西省地震活动时间和空间分布的基本概况。

## 1 系统构成与响应流程

Django 框架是基于 Python 语言的开源框架。Django 框架的设计模式借鉴了 MVC 框架的思想,也是分成模型(Model)、视图(View)和控制器(Controller)三部分,来降低各个部分之间的耦合性。Django 框架不同于 MVC 之处在于它拆分的三部分(见图 1):Model(模型)、Template(模板)和 View(视图),也就是 MTV 框架。Django 框架通过分层设计,将各层次之间的逻辑结构化,将系统的各个功能模块进行分离,系统内部不同功能模块之间的访问通过相互调用接口实现,用一种业务逻辑、数据、界面显示分离的方法组织代码,从而大大降低了系统内部功能的复杂性,实现简便、快速地开发数据库驱动的网站(吴俊锋,2016)。

江西地震目录数据可视化系统以 Django 框架为基础,在实现过程中用了 Echarts 和百度地图 API 等多种技术组合,实现了一站式的地震目录可视化服务。为了快速完成系统开发,笔者在 Windows10 操作系统环境下,选用 Python3.6 开发语言及其 Web 框架 Django3.0、MySQL5.6 数据库、Echarts 和百度地图 API 等工具进行全栈式开发。系统前端页面模板文件利用 HTML+Div+Css 进行渲染,并使用 Js+Jquery+Ajax 技术动态实现与后台应用接口的交互,后台 Python 应用程序负责业务逻辑处理,并提取 MySQL 数据,返回给模板文件,模板文件加载了第三方库 Echarts 和百度地图 API,并将后台返回的数据转化为可视化图表。系统响应处理流程图见图 2。在测试运行阶段,笔者使用 Windows Server 2016+Apache mod\_wsgi+Django 的方式进行系统部署和运行。

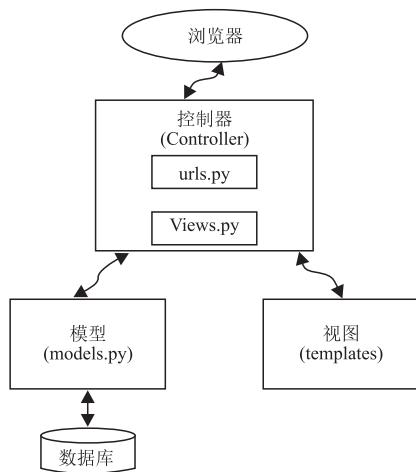


图 1 Django 框架的 MTV 模型

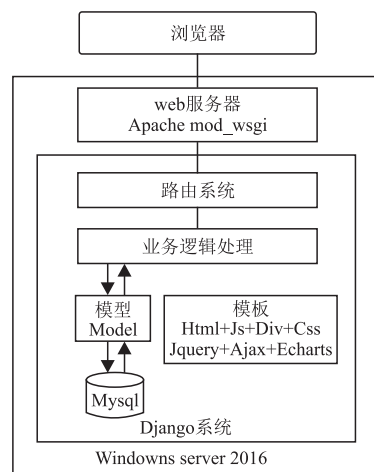


图 2 系统响应处理流程图

## 2 系统主要功能

江西地震目录数据可视化系统的主体功能分为三大模块:实时地震模块、基于缓冲区的历史地震模块和全省历史地震统计模块(见图 3)。其中,实时地震模块包括最新地震参数、全省近期地震目录和震中分布图 3 个子模块;基于缓冲区的历史地震模块包括震中距 100 km 内的震级分组统计、震中距 100 km 内的震级一距离分布图和震中距 100 km 内的地震序列类型分布图 3 个子模块;全省历史地震模块包括全省历史地震的震级分组随时间变化统计图和全省历史地震的震级随时间变化图 2 个子模块。这些模块均通过在模板文件中加载 Echarts 图表库,实现了图表化的可视化效果,系统展示效果见图 4。

### 2.1 实时地震模块

(1) 通过 EQIM 协议实时监听江西地震台 EQIM 服务端的实时速报地震信息,当获取到符合要求的江西省内  $M \geq 2.0$  地震时,即向后台数据库写入该地震目录。同时更新页面最新地震三要素参数,以文本的形式展现在网页上,满足了用户快速获取地震三要素信息的需求。(2) 从数据库中获取最新的目录进行滚动列表播放,满足了用户快速了解近期省内地震目录基本参数信息的需求。(3) 通过在模板文件中加载 GeoJson 地图接口,从数据库中获取最新的地震目录,将地震经纬度数据以地理地图的形式在网页中间位置进行展示,突显了可视化震情地图效果,该模块满足了用户将数字形式的震中位置转换为地图形式的震中位置的需求,帮助用户快速高效了解江西地震空间分布特征。此外,当鼠标滑过震中图标时,系统会给出该地震的有关提示信息。同时借助 Echarts 地理地图库提供的工具,实现了地图缩放和平移功能等。

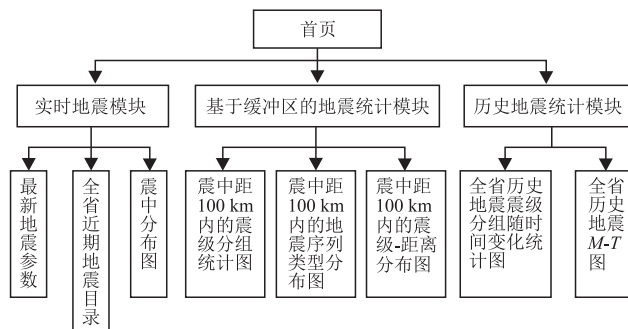


图 3 江西地震目录数据可视化系统功能图

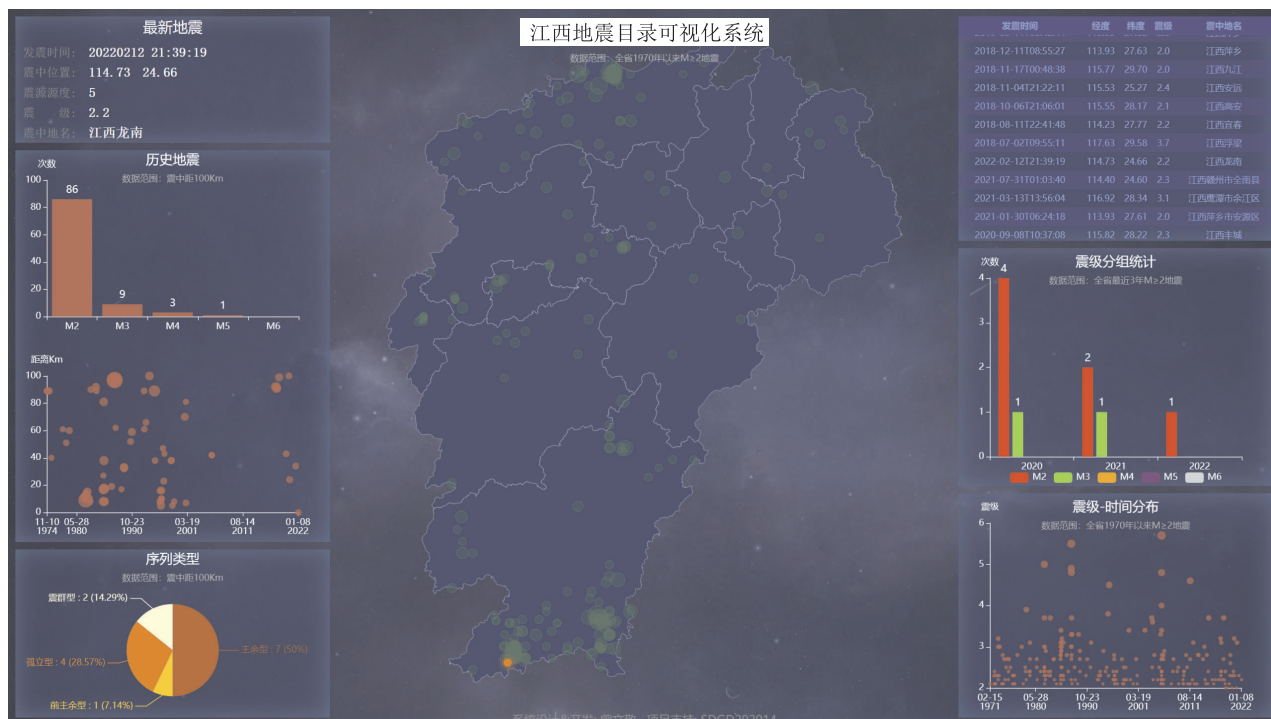


图 4 江西地震目录数据可视化系统界面

### 2.2 基于缓冲区的历史地震模块

(1) 根据距离最新地震 100 km 范围内的历史地震目录,按震级  $M2$ 、 $M3$ 、 $M4$ 、 $M5$  和  $M6$  进行分组统计,并以柱状图的形式显示在页面,满足了用户快速了解最新地震震中距 100 km 范围内的历史地震震级总体分布情况。(2) 根据距离最新地震 100 km 范围内的历史地震目录,计算各地震距离最新地震的距离,并以震级为纵轴、发震时间为横轴作震级随时间变化的散点图显示在页面,满足了用户快速了解最新地震震中距 100 km 内的最大历史地震和最近历史地震的距离和时间分布情况。(3) 根据距离最新地震 100 km 范围内的地震序列类型数据,分别统计“主余型”“震群型”“孤立型”“前主余型”等序列类型分布情况,满足了用户根据震中周围历史序列类型统计结果,快速判别最新地震可能序列类型。

### 2.3 全省历史地震模块

(1) 根据全省范围内最近 3 年  $M \geq 2.0$  的历史地震目录,先按年度作为一级分组统计后,再按震级档

M2、M3、M4、M5 和 M6 进行二次分组统计,并以柱状图形式显示在页面,满足用户了解全省历史地震的震级随时间变化的情况。(2)根据全省范围内 1970 年以来  $M \geq 2.0$  的历史地震目录,以震级为纵轴、发震时间为横轴作震级随时间变化的散点图显示在页面,满足用户快速了解全省历史地震随时间分布情况。

### 3 结语

借助 Django 框架前后端分层分离的机制实现 B/S 架构,笔者在较短周期内完成了江西地震目录数据可视化系统开发。系统的主要特色与优点为:(1)系统通过地理空间数据可视化方法和关系数据可视化方法,利用 Echarts 可视化库和 web 前端技术,将江西地震活动情况以多图单页的方式实时动态展示出来,达到了使用感知代替认知、减少人的记忆负担和增强吸引力的效果,帮助用户快速、高效地了解江西地震活动的主要时、空、强特征;(2)系统能够实时动态展示最新地震震中距 100 km 内的历史地震情况,如最大历史地震的震中距和发震时间,最近显著地震的震中距和发震时间,以及震中距 100 km 内地震序列类型情况等。

系统自 2020 年试运行以来,多次服务于江西地震台向系统外领导来台调研考察活动,帮助非专业人士快速了解江西震情特点。系统另一个可应用的情景为地震应急响应提供震中距 100 km 内的震情信息。在试运行过程中,我们也发现系统还存在一些不足,如:(1)由于页面加载了一些国外较新的开源 js,用户端浏览器局限于使用基于 chrome 内核的浏览器或 Firefox 浏览器;(2)系统功能较为单一,仅仅利用地震目录数据可视化,下一步可增加地震监控、监测信息方面的内容,以扩大应用范围以及服务对象。

### 参考文献

- 崔蓬. 2019. Echarts 在数据可视化中的应用[J]. 软件工程, 22(6): 42—46.
- 韩滨, 郑智江. 2021. 地震监测信息可视化与综合服务技术分析[J]. 科技风, (5): 71—72.
- 李晨曦, 张亚豪, 袁梓梁, 等. 2021. 基于大数据的地震目录可视化分析平台[J]. 现代信息科技, 5(3): 99—104.
- 罗勇, 付红云. 2020. 空间和时间维度地震目录展示系统设计[J]. 测绘通报, (6): 141—144.
- 马士振, 白立新, 张海春, 等. 2015. 基于 Django 框架的可视化地震目录服务系统[J]. 震灾防御技术, 10(3): 695—699.
- 潘怀文, 代光辉, 梁建宏, 等. 2015. 地震监测信息可视化与综合服务技术研究[J]. 中国科技成果, (20): 27—28.
- 王志秋. 2018. 地震大数据可视化研究和应用设想[J]. 国际地震动态, (4): 31—33.
- 王子毅, 张春海. 2016. 基于 Echarts 的数据可视化分析组件设计实现[J]. 微型机与应用, 35(14): 46—48.
- 吴俊锋. 2016. 基于 Django 的高性能地学计算 Web 系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学.
- 吴珍云, 金忠平, 王冬辰, 等. 2020. 基于开源 GIS 的地震应急信息可视化平台构建与应用[J]. 实验室研究与探索, 39(1): 69—73.
- 徐欣威. 2019. 基于 ECharts 的科技统计数据可视化设计与实现[J]. 天津科技, 46(3): 66—70.
- 杨应召. 2020. 基于实时测震数据的可视化系统的设计与实现[J]. 地震科学进展, 50(9): 20—24.
- 姚会琴, 赵颖, 周利霞, 等. 2014. 监控信息可视化技术在天津地震前兆台网的应用研究[J]. 震灾防御技术, 9(3): 550—555.
- 张晁军, 陈会忠, 李卫东, 等. 2015. 大数据时代对地震监测预报问题的思考[J]. 地球物理学进展, 30(4): 1561—1568.
- 张文蕾, 杨奕. 2018. 地震监控信息可视化在天津地区综合服务技术研究[J]. 中国科技投资, (11): 327.

(下转第 45 页)

# 川滇预警示范项目四川地区简易烈度计台站 数据传输效能提升研究

颜欢, 陈碧洪, 张正伟, 杨志鹏, 徐明军  
(四川省地震局西昌地震监测中心站, 四川 西昌 615000)

**摘要:**介绍了川滇预警示范项目(四川地区)概况和系统组成,根据多年运维工作经验,分析和总结几种简易烈度计台站数据传输故障类型及对应的解决方法。台站数据传输故障主要包括供电故障和通讯故障,其对应的解决方法有:安装时控开关、更换太阳能电源控制器、更换工业级4G全网通无线路由器等。针对台站数据传输故障给出的具体解决方法可以为预警台网的实时、高效运行提供技术支撑,同时为运维人员在台站通讯保障工作方面提供一定的参考,为日后新建地震预警站点的维护提供参考。

**关键词:**川滇预警示范项目(四川地区);简易烈度计台站;数据传输

**中图分类号:**P315.7 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2022)04-0041-05

**DOI:**10.13716/j.cnki.1001-8115.2022.04.008

地震预警是指在地震发生后,利用地震波传播速度小于电磁波传播速度的特点,提前对地震波尚未到达的地方进行预警。地震预警的核心技术是利用最接近震源处的少量台站的地震初期震动信息快速判定地震并测定地震参数,进而预测尚未传播开来的地震动大小、烈度分布、影响范围和影响程度,其技术环节包括从地震监测数据的噪声和干扰中准确判别地震信号,实时估计地震发生的位置和大小,实时预测地震波的传播和地震烈度场的分布,实时预测可能的灾害。可以看出,地震预警对各个技术环节的实时性要求非常高,预警台站的数据传输效能至关重要,它直接影响了地震预警系统的及时性和有效性。

为了满足地震预警台站数据链路传输时效性、准确性的需求,我国地震工作者围绕台站数据传输开展了大量研究,如:吴卫远等(2010)利用CDMA无线传输技术实现数字测震台站数据传输和组网;刘春祥(2013)对国内地震台站数据传输通常使用的几种传输方式进行对比,设计了一套适合地震台站实际情况的数据传输系统;谌亮等(2017)利用3G/4G无线通信高带宽、高覆盖和高稳定性的技术特点,构建台站备用通信系统,从而大幅提高台站的数据运行率;叶世山等(2019)利用基于3G/4G网络工业无线路由器充当串口服务器和提供上网服务功能,解决了强震动台站数据传输的问题;付琦等(2021)提出了基于4G网络实现L2TP VPN备份链路的方案,保障数字地震观测网络的链路畅通。以上研究多针对地震台站数据传输系统设计与实现,对于台站数据传输效能提升的研究较少。因此,开展地震预警台站数据传输效能提升研究工作刻不容缓,也具有显著的实用价值。本研究结合实践情况,分析简易烈度计台站数据传输故障,提出各种技术手段,以提升台站数据传输效能。

## 1 川滇预警示范项目(四川地区)概况

为加快推进地震预警体系建设,根据中国地震局统一部署,川滇预警示范项目(四川地区)在川滇交界的四川省凉山彝族自治州(以下简称四川凉山)地区新建150个简易烈度计台站,与原有的测震台站组成综合地震预警示范网,台站布局如图1所示。在四川凉山地区建设地震烈度速报和地震预警系统主要是为了利用该地区地震频发的特点,检验地震预警系统的有效性,积极探索台站运行模式,全面积累运行维护经验,为国家地震烈度速报与预警工程建设提供示范。目前这些简易烈度计台站已经正式纳入地震预警系统中。

**收稿日期:**2022-04-18;**修回日期:**2022-07-26

**作者简介:**颜欢(1990-),男,四川宁南人,助理工程师,主要从事地球物理台网、测震台网、预警台网运维保障工作。E-mail: 331280698@qq.com.

川滇预警示范台网(四川地区)由简易烈度计地震动观测系统、网络通信系统、数据处理系统及信息服务系统构成;简易烈度计台站观测系统由供电系统、烈度仪和通讯系统 3 个部分组成,图 2 为简易烈度计台站观测系统图。简易烈度计台站地震动观测采用北京港震 GL-P2B 型简易烈度计,该简易烈度计内置了高灵敏度 3 分向微机电 Mems 加速度计模组,其数据采集部分为 EDAS-24GN 的小型化版,两者在 ADC、基于 ARM9 芯片和 Linux 的嵌入式系统等方面具有相同的设计,具有地震事件自动检测、烈度计算等功能,能够输出连续波形数据。数据通信系统采用 3G/4G 网络工业级无线路由器实现数据传输,通过 JOPENS 实现数据实时汇集。截至 2021 年底,四川省地震局西昌地震监测中心站承担了川滇预警示范项目(四川地区)100 个简易烈度计台站的运维保障工作,西昌站运维人员通过各个方面的技术改进和经验总结,切实提高了台站数据传输效能。

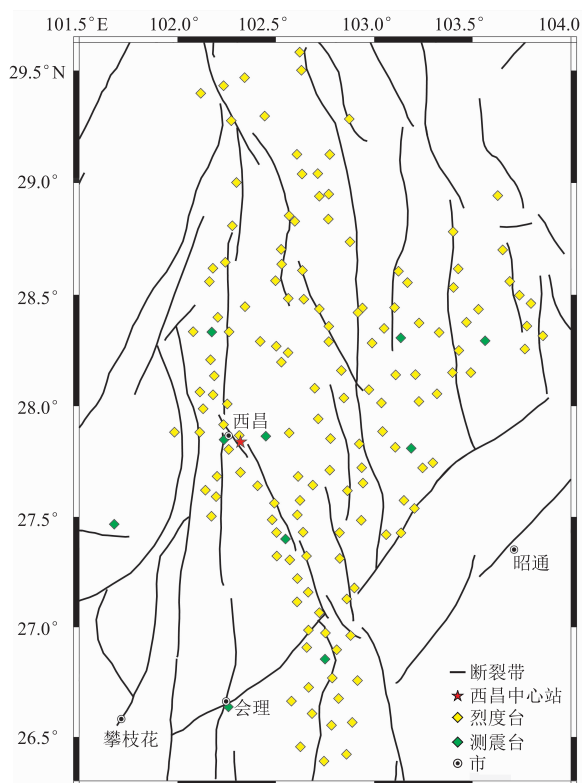


图 1 川滇预警示范台站(四川地区)分布

## 2 台站数据传输故障

常见的影响简易烈度计台站数据传输效能的故障有:太阳能电源控制器损坏、蓄电池亏电、无线路由器死机、3G/4G 网络信号不稳定等。可将这些故障归纳为供电系统故障和通讯系统故障两种类型,下文将针对这两种故障类型进行分析,并提出解决方案。

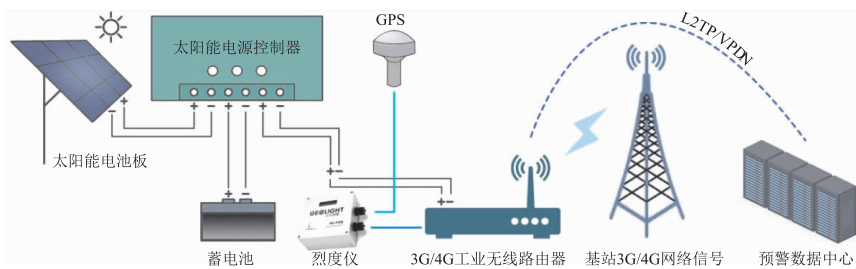


图 2 简易烈度计台站观测系统

### 2.1 供电系统故障

四川凉山地区太阳能资源丰富,年平均日照时间约 2 400 h,川滇预警示范项目(四川地区)充分利用该清洁能源优势,建设了简易烈度计台站供电系统。该供电系统主要由太阳能电池板、蓄电池组、太阳能电源控制器组成。造成供电系统故障的主要原因有:太阳能电池板被建筑物或植被等遮挡,导致蓄电池亏电;观测环境潮湿,导致太阳能电源控制器内部短路故障;蓄电池容量下降等。为提高供电系统运行的可靠性,可采取两种措施。(1)定期开展台站巡检工作,检查太阳能电池板周边环境,保证其日照充足。四川凉山地区简易烈度计台站大部分都建设在乡(镇)政府所在地,均为无人值守台站。从西昌站运维简易烈度计台站的实践经验来看,随着撤乡设镇等新型城镇化建设工作的推进,台站周边环境发生了不同程度的变化,太阳能电池板被遮挡的情况时有发生,所以定期开展台站巡检工作就显得十分重要。(2)选用防潮性能较好,且具有充放电智能管理和蓄电池保护功能的 MPPT 太阳能控制器或 PWM 太阳能控制器。目前市场上主流的太阳能电源控制器主要有 MPPT 和 PWM 太阳能控制器两种,两种控制器的主要参数见表 1。MPPT 太阳

能控制器是目前较高端的,有优秀的蓄电池管理功能,拥有最大功率追踪功能,系统充电转换效率可达 97%,但价格通常是 PWM 太阳能控制器的几倍乃至数十倍,在预算充足的情况下,可以选择。PWM 太阳能控制器同样拥有不错的蓄电池管理功能,系统充电转换效率在 80%左右,且价格相对低廉,是性价比较高的设备。

表 1 MPPT 和 PWM 太阳能电源控制器主要参数

型号	最大开路电压 /V	额定充电电流 /A	额定系统电压 /V	额定放电电流 /A	浮充电压 /V	整机效率 /%	欠压恢复电压 /V	工作温度 /°C
MPPT	170	40	12(24 或 48)	40	自适应电压	≥97	自定义电压	-40~75
PWM	55	20	12	20	13.8	≥80	12.6	-15~50

## 2.2 通讯系统故障

简易烈度计台站的通讯系统,选择的是基于 3G/4G 网络的工业无线路由器解决方案。3G/4G 网络工业无线路由器是一种物联网无线通信路由器,利用公用 CDMA 网络或 LTE 网络为台站提供无线长距离数据传输功能。影响通讯系统运行的主要因素有:工业无线路由器死机;工业无线路由器天线被破坏,接收不到 3G/4G 网络信号;基站信号不稳定等。为提高通讯系统运行效能,可以采取 3 种措施。(1)选用性能较好的工业级 4G 全网通无线路由器。随着 4G 网络的大规模商用和 5G 技术的加速推广,国内各大运营商已逐步开展 3G 退网工作。因此,支持 4G 网络是简易烈度计台站无线路由器的首要指标;其次,应选择功耗低、无线网络信号接收能力强、有在线保持功能,且支持国内三大运营商的全网通无线路由器。(2)优化无线路由器天线性能和安装位置。以西昌站的运维经验来看,无线路由器原则上应使用原装天线,在原装天线不能满足信号传输要求时,可选用高增益天线。在相对偏远的台站,天线在房间内或机柜内与天线在室外接收到的信号强度相差较大,在确保安全的前提下,应将天线安装到室外。(3)与运营商建立一个良好的沟通协调机制。无线路由器实现数据传输,依托的是运营商提供的网络服务,台站人员需要与运营商保持良好的沟通,确保运营商基站无线网络信号正常。

## 3 应用效果

从 2020 年初开始,西昌地震监测中心站逐步开展了提升川滇预警示范项目(四川地区)简易烈度计台站数据传输效能的工作,主要有以下 4 类。

(1)每年开展不少于两次的现场巡检工作。巡检工作主要包含:巡查台站观测环境,对影响太阳能电池板日照时间的植被进行清理;用万用表检查太阳能电源控制器工作状态;用蓄电池检测仪检查蓄电池容量、内阻、寿命等,对状态较差的蓄电池进行更换。

(2)安装时控开关,实现无线路由器定时断电重启功能。运维人员在日常运维工作中发现,无线路由器长时间运行导致死机的情况时有发生,需要运维人员上台断电重启才能恢复,死机严重影响台站运行率。2020 年 1 月台站人员选取了西昌市周边的 10 个台站,开展时控开关安装工作,安装前后台站运行率统计见表 2。从表 2 可以看出,2020 年 1 月以前,10 个台站运行率波动较大,平均运行率在 92%,从 2020 年 1 月开始安装时控开关以来,10 个台站运行率逐步提升,2020 年 3 月平均运行率达到 98%,台站数据传输效能得到明显提升。

(3)使用防潮性能更好,有充放电智能管理功能的 PWM 太阳能电源控制器。运维人员在日常运维工作中发现,个别气候环境较差的台站存在太阳能电源控制器故障率高的现象。针对该问题,运维人员从 2020 年初起,逐步开展了太阳能电源控制器更换工作。通过对 2017—2021 年西昌站简易烈度计台站维修记录的整理,太阳能控制器年故障次数分别为 18、21、16、7 和 6 次。由此可知,2020 年以前太阳能电源控制器的年故障次数在 16 次以上,开展太阳能电源控制器更新工作后,从 2020 年起太阳能电源控制器的年故障次数在 7 次以下,台站供电稳定性得到显著提升。

(4)更换台站无线路由器为厦门四信 F3A36 全网通工业无线路由器,搭建路由器远程管理平台(见图 3)。借助于路由器远程管理平台可以对所有路由设备进行集中监控、配置、升级,进一步提高远程故障诊断

能力,降低运维成本。

表 2 运行率统计

编号	台站名称	台站代码	2019-10	2019-11	2019-12	2020-01	2020-02	2020-03
1	西昌阿七	W0101	90.28	87.37	92.56	96.89	97.89	99.18
2	西昌安哈	W0102	96.25	96.93	93.89	95.42	98.20	97.63
3	西昌巴汝	W0103	82.98	88.78	89.83	94.65	98.19	97.89
4	西昌川兴	W0104	89.89	89.94	95.77	98.81	97.55	95.20
5	西昌海南	W0105	94.01	96.92	96.31	99.52	98.85	98.19
6	西昌黄联	W0106	94.81	88.78	97.37	97.20	98.78	97.55
7	西昌黄水	W0107	96.24	92.97	84.67	98.61	98.87	98.85
8	西昌开元	W0108	93.99	88.97	96.92	96.56	98.35	98.78
9	西昌礼州	W0109	86.85	96.91	95.48	96.89	99.26	98.87
10	西昌琅环	W0110	94.99	95.33	95.47	95.83	96.79	98.35

列表		卡片	地图									
状态	设备编码	设备名称	Imei	网络类型	设备型号	最近心跳时间	在线时长	离线时长	近七天流量	今日流量	信号强度	
☐	✔	W2901	布拖包谷坪	862819044252914	TDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:50	10天16小时23分40秒	—	0.99GB	115.40MB	📶(31)
☐	✔	W2902	布拖补尔	862819044255305	FDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:41	10天12小时41分46秒	—	1.00GB	127.56MB	📶(31)
☐	✔	W2903	布拖地办	862819044285575	FDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:40	9天18小时29分20秒	—	1.05GB	64.62MB	📶(31)
☐	✔	W2904	布拖俄里坪	862819044300762	TDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:32:57	11天1小时36分53秒	—	1.08GB	91.63MB	📶(22)
☐	✔	W2905	布拖合并	862819044295517	FDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:13	26天9小时35分43秒	—	1.01GB	64.48MB	📶(28)
☐	✔	W2906	布拖火烈	862819044276327	TDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:01	9天20小时8分1秒	—	0.96GB	119.97MB	📶(28)
☐	✔	W2908	布拖乐安	862819044254456	TDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:55	9天20小时46分9秒	—	1.04GB	115.24MB	📶(26)
☐	✔	W2909	布拖拖觉	862819044246502	FDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:01	26天12小时19分14秒	—	0.99GB	64.20MB	📶(24)
☐	✔	W2907	布拖乌依	862819044253193	TDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:33	9天21小时35分32秒	—	0.97GB	105.86MB	📶(20)
☐	✔	W2401	德昌阿月	862819044174951	TDD LTE	F3A36	2022-04-19 17:33:55	10天3小时33分18秒	—	0.98GB	90.75MB	📶(30)

图 3 路由器远程管理平台

通过对 2020 年西昌站运维的 100 个简易烈度计台站的运行率统计可知,自 2020 年年初开展提升措施以来,台站总运行率从 1 月的 85% 逐渐稳步提升至 12 月的 98%,从 2020 年 8 月开始,台站运行率已满足中国地震台网中心《国家地震烈度速报与预警工程观测站运行管理要求(暂行)》中一般站运行率达到 95% 以上的要求。川滇预警示范项目(四川地区)简易烈度计台站数据传输效能得到较为显著的提升。

#### 4 结束语

近年来,伴随着地震预警技术的发展,在国家及中国地震局相关重点项目的支持下,建设和改造了一大批地震预警台站。随着地震预警信息服务能力不断提高,对预警台站数据传输的稳定性、时效性等要求也日益增高。文章对影响川滇预警示范项目(四川地区)简易烈度计台站数据传输效能的关键因素进行整理归纳、分析故障原因,并提出解决故障的技术方法。通过西昌地震监测中心站的实践,较好地提升了川滇预警示范项目(四川地区)简易烈度计台站数据传输效能,片区地震预警能力得到保障。

#### 参考文献

湛亮,李兴泉,谢江涛. 2017. 利用 3G/4G 网络构建地震台站在线式通信系统[J]. 四川地震, (2):27-30.  
 付琦,郑国栋,陈卓,等. 2021. L2TP VPN 在无人值守子台无线备份链路中的应用[J]. 防灾减灾学报, 37(2):68-73.  
 刘春祥. 2013. 地震台站数据传输系统设计与实现[D]. 成都:电子科技大学.  
 吴卫远,周银兴. 2010. CDMA 无线传输在乌江数字地震台网的实施[J]. 地震地磁观测与研究, 31(6):82-86.  
 叶世山,吴华灯,黄晖,等. 2019. 基于 3G/4G 网络的工业无线路由器在强震动台站数据传输上的应用[J]. 华南地震, 39(增

刊);33—36.

## Study on Improving the Data Transmission Efficiency of Simple Intensity Meter Stations in Sichuan Area of Sichuan-Yunnan Early Warning Demonstration Project

YAN Huan, CHEN Bihong, ZHANG Zhengwei, YANG Zhipeng, XU Mingjun

(Xichang Seismic Central Station of Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Xichang 615000, China)

**Abstract:** This paper introduces an overview and system composition of the Sichuan-Yunnan early warning demonstration project (Sichuan region). Based on years of operation and maintenance experience, we analyze and summarize several types of data transmission failures of simple intensity meter stations and corresponding solutions. Station data transmission failures mainly include power supply failures and communication failures. The corresponding solutions include: installing time control switches, replacing solar power controllers, replacing industrial 4G all Netcom wireless routers, etc. The specific solutions given for the station data transmission failure can provide technical support for the real-time and efficient operation of the early warning network, which provides a certain reference for the operation and maintenance personnel in the station communication guarantee. The solutions also provide a reference for the maintenance of new earthquake warning stations in the future.

**Keywords:** Sichuan-Yunnan early warning demonstration project (Sichuan region); simple intensity meter station; data transmission

~~~~~  
(上接第 40 页)

## Jiangxi Earthquake Data Visualization System Based on the Django Framework

ZENG Wenjing, XU Changwen, XIAO Jianhua, FAN Weixing,

ZHAO Xuan, ZENG Xianjin, CHEN Jianlong

(Jiangxi Earthquake Agency, Jiangxi Nanchang 330095, China)

**Abstract:** Using the Django framework and the Echarts visualization library, we develop a Jiangxi earthquake data visualization system based on B/S architecture. According to the data of the Jiangxi earthquake catalogue, the system realizes the panoramic presentation of Jiangxi earthquake information in the form of multi-map single-page large screen, which can help users to quickly understand the characteristics of time, space and strength distributions of seismicity in Jiangxi.

**Keywords:** Django; echarts; visualization; earthquake catalogue



### 四川省地震月报目录( $M_L \geq 3.0$ )

(2022.07~2022.09)

| 序号 | 发震时刻     |          | 震中位置 |       |       | 位号 | 震级    |       |       | 深度<br>(km) | 精度 | 台数 | 资料来源 | 备注 |
|----|----------|----------|------|-------|-------|----|-------|-------|-------|------------|----|----|------|----|
|    | 年月日      | 时分秒      | 纬度   | 经度    | 地点    |    | $M_L$ | $M_D$ | $M_S$ |            |    |    |      |    |
| 1  | 20220705 | 121558.9 | 3217 | 10147 | 四川马尔康 | 51 | 3.9   |       | 10    | 1          | 32 | 51 |      |    |
| 2  | 20220705 | 121819.3 | 3217 | 10147 | 四川马尔康 | 51 | 3.8   |       | 9     | 1          | 33 | 51 |      |    |
| 3  | 20220706 | 094836.6 | 3025 | 10255 | 四川芦山  | 51 | 3.0   |       | 15    | 1          | 27 | 51 |      |    |
| 4  | 20220715 | 201935.8 | 3054 | 10300 | 四川汶川  | 51 | 3.5   |       | 20    | 1          | 37 | 51 |      |    |
| 5  | 20220716 | 211723.9 | 2755 | 10038 | 四川木里  | 51 | 3.2   |       | 15    | 1          | 11 | 51 |      |    |
| 6  | 20220721 | 220333.3 | 3121 | 10310 | 四川理县  | 51 | 3.8   |       | 15    | 1          | 39 | 51 |      |    |
| 7  | 20220724 | 021649.9 | 3212 | 10432 | 四川平武  | 51 | 4.0   |       | 19    | 1          | 37 | 51 |      |    |
| 8  | 20220724 | 145731.1 | 2813 | 10456 | 四川兴文  | 51 | 4.0   |       | 9     | 1          | 31 | 51 |      |    |
| 9  | 20220802 | 004532.1 | 3301 | 10422 | 四川九寨沟 | 51 | 3.3   |       | 13    | 1          | 21 | 51 |      |    |
| 10 | 20220802 | 234637.2 | 2910 | 10536 | 四川泸县  | 51 | 3.6   |       | 11    | 1          | 32 | 51 |      |    |
| 11 | 20220804 | 092451.9 | 2755 | 10225 | 四川喜德  | 51 | 3.1   |       | 15    | 1          | 21 | 51 |      |    |
| 12 | 20220807 | 134431.9 | 2803 | 10523 | 四川叙永  | 51 | 3.1   |       | 8     | 2          | 19 | 51 |      |    |
| 13 | 20220807 | 134712.7 | 3300 | 09855 | 四川石渠  | 51 | 3.0   |       | 4     | 3          | 08 | 51 |      |    |
| 14 | 20220813 | 095318.4 | 2814 | 10441 | 四川珙县  | 51 | 3.2   |       | 13    | 2          | 19 | 51 |      |    |
| 15 | 20220813 | 131835.4 | 3113 | 10340 | 四川都江堰 | 51 | 3.8   |       | 16    | 1          | 38 | 51 |      |    |
| 16 | 20220815 | 045450.6 | 2821 | 10455 | 四川长宁  | 51 | 3.6   |       | 4     | 2          | 29 | 51 |      |    |
| 17 | 20220820 | 001535.7 | 3224 | 10505 | 四川青川  | 51 | 3.3   |       | 16    | 1          | 26 | 51 |      |    |
| 18 | 20220822 | 064112.1 | 3201 | 10421 | 四川北川  | 51 | 3.7   |       | 21    | 1          | 33 | 51 |      |    |
| 19 | 20220825 | 080009.7 | 2904 | 10527 | 四川泸县  | 51 | 4.2   |       | 13    | 1          | 41 | 51 |      |    |
| 20 | 20220828 | 154228.1 | 2955 | 09934 | 四川巴塘  | 51 | 3.8   |       | 16    | 1          | 15 | 51 |      |    |
| 21 | 20220905 | 051452.6 | 3026 | 10252 | 四川宝兴  | 51 | 3.4   |       | 13    | 1          | 34 | 51 |      |    |
| 22 | 20220905 | 125218.6 | 2936 | 10205 | 四川泸定  | 51 | 6.3   |       | 15    | 1          | 93 | 51 |      |    |
| 23 | 20220905 | 125634.8 | 2924 | 10211 | 四川石棉  | 51 | 4.5   |       | 15    | 2          | 16 | 51 |      |    |
| 24 | 20220905 | 132847.4 | 2937 | 10201 | 四川泸定  | 51 | 3.8   |       | 6     | 1          | 19 | 51 |      |    |
| 25 | 20220905 | 173920.8 | 2923 | 10210 | 四川石棉  | 51 | 4.0   |       | 18    | 1          | 38 | 51 |      |    |
| 26 | 20220905 | 183119.1 | 2926 | 10209 | 四川石棉  | 51 | 3.7   |       | 14    | 1          | 35 | 51 |      |    |
| 27 | 20220905 | 192620.3 | 2929 | 10211 | 四川泸定  | 51 | 4.2   |       | 17    | 1          | 40 | 51 |      |    |
| 28 | 20220906 | 012436.5 | 2924 | 10210 | 四川石棉  | 51 | 3.7   |       | 14    | 1          | 35 | 51 |      |    |
| 29 | 20220906 | 052841.9 | 2938 | 10205 | 四川泸定  | 51 | 3.7   |       | 11    | 1          | 41 | 51 |      |    |
| 30 | 20220906 | 175447.0 | 2937 | 10201 | 四川泸定  | 51 | 3.8   |       | 16    | 1          | 35 | 51 |      |    |
| 31 | 20220907 | 024214.9 | 2925 | 10209 | 四川石棉  | 51 | 4.6   |       | 17    | 1          | 83 | 51 |      |    |
| 32 | 20220907 | 053956.7 | 2949 | 10159 | 四川泸定  | 51 | 3.9   |       | 5     | 1          | 38 | 51 |      |    |
| 33 | 20220907 | 094621.6 | 2925 | 10210 | 四川石棉  | 51 | 3.7   |       | 13    | 1          | 48 | 51 |      |    |
| 34 | 20220908 | 151202.1 | 2947 | 10201 | 四川泸定  | 51 | 3.8   |       | 8     | 1          | 48 | 51 |      |    |
| 35 | 20220911 | 143329.2 | 2957 | 10157 | 四川康定  | 51 | 3.2   |       | 8     | 1          | 41 | 51 |      |    |
| 36 | 20220916 | 135101.6 | 2726 | 10111 | 四川盐源  | 51 | 3.2   |       | 16    | 2          | 09 | 51 |      |    |
| 37 | 20220920 | 182313.7 | 2956 | 09934 | 四川巴塘  | 51 | 3.7   |       | 17    | 1          | 15 | 51 |      |    |
| 38 | 20220924 | 154411.5 | 2824 | 10324 | 四川雷波  | 51 | 3.3   |       | 10    | 1          | 24 | 51 |      |    |
| 39 | 20220927 | 111609.8 | 3153 | 10412 | 四川北川  | 51 | 3.7   |       | 20    | 1          | 31 | 51 |      |    |
| 40 | 20220929 | 040938.7 | 2954 | 09935 | 四川理塘  | 51 | 3.5   |       | 14    | 2          | 13 | 51 |      |    |

# 《四川地震》2022 年总目次

## 2022 年第 1 期

|                                             |                            |
|---------------------------------------------|----------------------------|
| 西藏米林 6.9 级地震孕震机理研究 .....                    | 高锦瑞,王晓山,益西拉姆,王行舟(1)        |
| 四川地震预警系统数据产出结果分析 .....                      | 魏娅玲,周文英,蔡一川,吴朋,罗松,彭涛(7)    |
| 2021 年 9 月 16 日四川泸县 6.0 级地震震害特征分析 .....     | 杨璐遥,代友林,毛利,刘洋,梁远玲(15)      |
| 四川地震编目自动处理系统产出结果分析 .....                    | 颜利君,庞瑶,唐淋(20)              |
| 基于 QGIS 的四川地震应急专题图精细化设计与实现 .....            | 许娟,张翼,周琪,周妍,何雅枫,陈维锋(24)    |
| 《四川地震》2011~2020 年载文分析 .....                 | 周文英,魏娅玲(30)                |
| 广东省复杂环境下典型滑坡地表—地下形变监测预警技术研究——以太平村滑坡为例 ..... | 李秀娟,周志华(36)                |
| 浅析科研财务助理在地震科研项目预算执行过程中的作用 .....             | 黄雪影,刘江,张贤,杨力,李珂,黄志勇,赵航(43) |

## 2022 年第 2 期

|                                                 |                                  |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|
| 2022 年地震活动综述 .....                              | 杜方(1)                            |
| 四川区域 GNSS 网络观测到玛多 7.4 级地震引起的远场同震位移 .....        | 何福秀,杨洋,饶太国,陈聪,刘江,张澜,罗凌,姚贤良,张翼(9) |
| 2020 年 3 月西藏改则 $M_s \geq 5.0$ 地震震前电离层异常特征 ..... | 刘江,黄雪影,杨力,何福秀,姚贤良(14)            |
| 江苏地区地震台站地网设计施工关键技术研究 .....                      | 立凯,瞿旻,秦磊(21)                     |
| 盐源县龙洞河水位异常的分析 and 判定 .....                      | 蒋川,陈碧洪,马付红(25)                   |
| 怀来台体应变干扰因素分析及质量评价 .....                         | 宋晓煜,马广庆,王志敏,张帆,池海江(30)           |
| *****                                           |                                  |
| <b>地震科普</b>                                     |                                  |
| 浅谈新形势下县(旗)级防震减灾科普宣传工作现状及相应对策研究——以呼伦贝尔市为例 .....  | 金志辉(35)                          |
| 基于消费者意愿的地震科普产品分析 .....                          | 王萍(39)                           |
| 云南省地震局防震减灾科普宣传进社区实践探索 .....                     | 李霞,张方浩,杜浩国,杨芳(44)                |

## 2022 年第 3 期

|                                                     |                               |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------|
| 2022 年四川马尔康 $M_6.0$ 震群前区域 $b$ 值时空特征 .....           | 郭璞霞,张丽峰,黄浩,胡维云(1)             |
| 基于贝叶斯概率的强震综合概率预测指标建立及其在四川地区的应用 .....                | 何畅,路茜,龙锋,宫悦,李丽(6)             |
| 郟庐断裂带五河段几何展布和结构特征 .....                             | 李鹏飞,疏鹏,路硕,杨源源,方良好(14)         |
| 基于 CAP 方法的 2019 年湖北应城 $M_s 4.9$ 地震震源机制与发震构造研究 ..... | 赵凌云,丁文秀,周舟,周本伟,何凯,中学林,魏贵春(20) |
| 邵武—河源断裂带地震活动特征分析 .....                              | 赖智华(24)                       |
| 地震应急值班信息即时编发系统设计与实现 .....                           | 曾维祖,杨力,晋云霞,黄新茹,潘勇杰,张力文(28)    |
| 盐城台地磁观测干扰特征分析 .....                                 | 郭灏明(33)                       |
| 罗汉桥水电站对超宽频带地震计记录资料的影响分析 .....                       | 何思源,赵乃千,李贵元,刘华姣,龚康(37)        |
| 地震台站运维信息化管理系统设计与应用 .....                            | 孔令爱,胡子超,王银龙(42)               |

## 2022 年第 4 期

|                                            |                                 |
|--------------------------------------------|---------------------------------|
| 触发多断层面破裂的 2022 年四川马尔康 $M_s 6.0$ 震群特征 ..... | 杜方,龙锋,梁明剑,祁玉萍,宫悦,吴江(1)          |
| 2022 年四川芦山 $M_s 6.1$ 地震灾害特点分析 .....        | 张雪华,陈灿忠,李静,邓锋,杜晓霞(11)           |
| 2022 年四川泸定 $M_s 6.8$ 地震前后库仑应力变化分析 .....    | 冉喜阳,朱航,龙锋,李雷豪,王迪(15)            |
| 河北怀来地震台不同型号气氦干扰因素及质量评价 .....               | 王志敏,张帆,宋晓煜,只楠,程德庆(21)           |
| 江苏溧阳测震台抗干扰措施效能分析 .....                     | 胡米东,宫杰,毛华锋,陈启林,王皓,张杰,霍雨佳,黄群(27) |
| 广西德保县地震地质灾害特点及对策分析 .....                   | 刘亮,张杰琼,补祥誉,陈红波,周芳静,岑汶汶(32)      |
| 基于 Django 框架的江西地震目录数据可视化系统设计及实现 .....      | 曾文敬,徐长文,肖建华,范卫星,赵璇,曾先进,陈建龙(37)  |
| 川滇预警示范项目四川地区简易烈度计台站数据传输效能提升研究 .....        | 颜欢,陈碧洪,张正伟,杨志鹏,徐明军(41)          |

# EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN

## 2022 CONTENTS

### No. 1

- Nucleation Mechanisms of the Milin  $M_{6.9}$  Earthquake ..... GAO Jinrui, WANG Xiaoshan, YIXI Lamu, WANG Xingzhou(1)  
Analysis on the Results from the Sichuan Earthquake Early-Warning System ..... WEI Yaling, ZHOU Wenyig, CAI Yichuan, WU Peng, LUO Song, PENG Tao(7)  
Analysis on Seismic Damage Characteristics of the  $M_{6.0}$  Earthquake in Luxian County, Sichuan Province, on September 16, 2021 ..... YANG Luyao, DAI Youlin, MAO Li, LIU Yang, LIANG Yuanling(15)  
Analysis on the Output Results of the Sichuan Automatic Seismic Catalogue System ..... YAN Lijun, PANG Yao, TANG Lin(20)  
Refined Design and Implementation of the Thematic Map of Earthquake Emergency in Sichuan Based on QGIS ..... XU Juan, ZHANG Yi, ZHOU Qi, ZHOU Yan, HE Yafeng, CHEN Weifeng(24)  
Bibliometric Analysis of Articles Published in Earthquake Research in Sichuan from 2011 to 2020 ..... ZHOU Wenyig, WEI Yaling(30)  
Study on Monitoring and Early Warning Technology of Surface and Underground Deformation of Typical Landslides in Complex Environment of Guangdong Province—Taking Taipingcun Landslide as an Example ..... LI Xiujuan, ZHOU Zhihua(36)  
Preliminary Analysis on the Role of Financial Assistant in Budget Management for Earthquake Scientific Research Project ..... HUANG Xueying, LIU Jiang, ZHANG Xian, YANG Li, LI Ke, HUANG Zhiyong, ZHAO Hang(43)

### No. 2

- Summary of Earthquake Activities in 2021 ..... DU Fang(1)  
Far-field Co-seismic Displacement Related to the  $M_{7.4}$  Maduo Earthquake Observed by the GNSS Network in the Sichuan Region ..... HE Fuxiu, YANG Yang, RAO Taiguo, CHEN Cong, LIU Jiang, ZHANG Lan, LUO Ling, YAO Xianliang, ZHANG Yi(9)  
Characteristics of Ionospheric Anomalies before the Gaize  $M_{5.0}$  Earthquakes in March 2020 in Tibet ..... LIU Jiang, HUANG Xueying, YANG Li, HE Fuxiu, YAO Xianliang(14)  
Research on the Key Technology of Ground Network Design and Construction at Seismic Station in Jiangsu Province ..... LI Kai, QU Min, QIN Lei(21)  
Analysis and Determination of Abnormal Water Level of the Longdong River in Yanyuan County ..... JIANG Chuan, CHEN Bihong, MA Fuhong(25)  
Interference Factors and Quality Evaluation of Volumetric Strain Gauge at Huailai Seismic Station ..... SONG Xiaoyu, MA Guangqing, WANG Zhimin, ZHANG Fan, CHI Haijiang(30)

### The Earthquake Science Popularization

- A Brief Discussion on the Current Situation and Corresponding Countermeasures of Popularization of Science for Earthquake Protection and Disaster Reduction at County (flag) Level under the New Situation: Take Hulunbuir City as an Example ..... JIN Zhihui(35)  
Analysis of Earthquake Science Popularization Products Study Based on Consumer Willingness ..... WANG Ping(39)  
The Popularization of Earthquake Prevention and Disaster Reduction into Community Practice by Yunnan Earthquake Agency ..... LI Xia, ZHANG Fanghao, DU Haoguo, YANG Fang(44)

### No. 3

- Research on the Spatiotemporal Characteristics of the  $b$ -value in the Area Before the  $M_{6.0}$  Malkang Earthquake Swarm in Sichuan in 2022 ..... GUO Yingxia, ZHANG Lifeng, HUANG Hao, HU Weiyun(1)  
The Establishment of a Comprehensive Probability Prediction Index for Strong Earthquakes Based on the Bayesian Probability and Its Application in Sichuan ..... HE Chang, LU Qian, LONG Feng, GONG Yue, LI Li(6)  
Geometric Distribution and Structural Characteristics of the Wuhe Segment along the Tanlu Fault ..... LI Pengfei, SHU Peng, LU Shuo, YANG Yuanyuan, FANG Lianghao(14)  
Focal Mechanism Solution and Seismogenic Structure of the  $M_{5.9}$  Yingcheng Earthquake in 2019 from the CAP Method ..... ZHAO Lingyun, DING Wenxiu, ZHOU Zhou, ZHOU Benwei, HE Kai, SHEN Xuelin, WEI Guichun(20)  
Analysis on the Characteristics of Seismicity in the Shaowu-Heyuan Fault Zone ..... LAI Zhihua(24)  
Design and Implementation of Earthquake Emergent Information Instant Generating System ..... ZENG Weizu, YANG Li, JIN Yunxia, HUANG Xinru, PAN Yongjie, ZHANG Liwen(28)  
Analysis of the Disturbance Factors of Geomagnetic Observation at Yancheng Seismic Station ..... GUO Haoming(33)  
Research on the Influence of Hydropower Station on Seismic Data of Ultra-wideband Seismometer ..... HE Siyuan, ZHAO Naiqian, LI Guiyuan, LIU Huajiao, GONG Kang(37)  
Design and Implementation of Operation and Maintenance Information Management System for Seismic Stations ..... KONG Ling'ai, HU Zichao, WANG Yinlong(42)

### No. 4

- Characteristics of the Ma'erkang  $M_{6.0}$  Earthquake-Swarm Triggered along Multiple Fault Planes in 2022 ..... DU Fang, LONG Feng, LIANG Mingjian, QI Yuping, GONG Yue, WU Jiang(1)  
Characteristics of Hazard Analysis of the Sichuan Lushan  $M_{6.1}$  Earthquake ..... ZHANG Xuehua, CHEN Canzong, LI Jing, DENG Duo, DU Xiaoxia(11)  
Analysis on Coulomb Stress Changes Pre- and After the 2022 Luding  $M_{6.8}$  Earthquake ..... RAN Xiyang, ZHU Hang, LONG Feng, LI Leihao, WANG Di(15)  
Interference factors and quality evaluation on different types of Radon measurement instruments at Hebei Huailai Seismic Station ..... WANG Zhimin, ZHANG Fan, SONG Xiaoyu, ZHI Nan, CHENG Deqing(21)  
Anti-interference Measures and Efficiency Analysis of Jiangsu Liyang Seismic Station ..... HU Midong, GONG Jie, MAO Huafeng, CHEN Qilin, WANG Hao, ZHANG Jie, HUO Yujia, HUANG Qun(27)  
Characteristics and Countermeasures of Seismic Geological Hazards in Debao County, Guangxi Zhuang Autonomous Region ..... LIU Liang, ZHANG Jieqiong, BU Xiangyu, CHEN Hongbo, ZHOU Fangjing, CEN Wenwen(32)  
Jiangxi Earthquake Data Visualization System Based On the Django Framework ..... ZENG Wenjing, XU Changwen, XIAO Jianhua, FAN Weixing, ZHAO Xuan, ZENG Xianjin, CHEN Jianlong(37)  
Study on Improving the Data Transmission Efficiency of Simple Intensity Meter Stations in Sichuan Area of Sichuan-Yunnan Early Warning Demonstration Project ..... YAN Huan, CHEN Bihong, ZHANG Zhengwei, YANG Zhipeng, XU Mingjun(41)