



Analysis of Earthquake Damage and Strong Ground Motion Characteristic of Maerkang M6.0 Swarm Type Earthquake in Sichuan

Sen Qiao*, Zongchao Li, Tiefei Li, Changlong Li, Xueliang Chen, Keng Chen,

Zhiwei Ji

Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081

**Corresponding author's email: qiaosen@cea-igp.ac.cn*

Abstract

On June 10, 2022, earthquakes of M5.8, M6.0 and M5.2 occurred successively in Markang City, Aba Prefecture, Sichuan Province, which is a swarm earthquake. This paper mainly analyzes the seismogenic structure, focal mechanism, aftershock distribution, seismic intensity, damage characteristics and strong ground motion characteristics of the earthquake. By analyzing the actual distribution of earthquake damage and the spatial distribution of strong ground motions, the comprehensive characteristics of building damage in this earthquake are analyzed. Finally, some preliminary suggestions on the local earthquake disaster risk prevention in the future are put forward.

Keyword: *Swarm type earthquake, seismogenic structure, seismic intensity, characteristics of earthquake damage, strong ground motion.*

四川马尔康 M6.0 级震群型地震的震害分布及强地面运动特征分析

乔森*, 李宗超, 李铁飞, 李昌珑, 陈学良, 陈鲲, 纪志伟

中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

**通讯作者电子邮箱: qiaosen@cea-igp.ac.cn*

摘要

2022年6月10日,四川阿坝州马尔康市先后发生M5.8、M6.0、M5.2级地震,属震群型地震。本文主要重点分析了此次地震的发震构造、震源机制、余震分布、地震烈度、震害特征以及强地面运动特征等。通过分析实际震害分布情况与强地震动的空间分布,分析此次地震中建筑物震害的综合特性。并对未来当地的地震灾害风险防范提出了初步建议。

关键词: 震群型地震, 发震构造, 地震烈度, 震害特征, 强地面运动

1. 引言

2022年6月10日,四川阿坝州马尔康市先后发生M5.8、M6.0、M5.2级地震,属震群型地震(表1)。其中,2022年6月10日0时03分在四川阿坝州马尔康市(震中:北纬32.27度,东经101.82度)发生5.8级地震,震源深度10千米;1时28分在四川阿坝州马尔康市(震中:北纬32.25度,东经101.82度)发生6.0级地震,震源深度13千米;3时27分在四川阿坝州马尔康市(震中:北纬32.24度,东经101.85度)发生5.2级地震,震源深度15千米。震中距阿坝州马尔康市56公里,震中5公里范围内平均海拔约3511米。地震共造成马尔康市42708人不同程度受灾,因灾受伤6人,道路、农房等基础设施严重受损。

2. 地震活动性与地震构造

2.1 震源机制及余震分布

地震发生后,郭祥云^[1]等用区域波形数据,计算了3次地震的P波初动震源机制解(图1),结果分别为:(1)5.8级地震,断层节面I:走向239°/倾角081°/滑动角168°,节面II:走向331°/倾角078°/滑动角009°;(2)6.0级地震,断层节面I:走向147°/倾角088°/滑动角-002°,节面II:走向237°/倾角088°/滑动角-178°;(3)5.2级地震,断层节面I:走向337°/倾角085°/滑动角002°,节面II:走向247°/倾角088°/滑动角175°。3次地震初步判断为走滑型地震。

节面 II: 走向 247° / 倾角 088° / 滑动角 175°。3 次地震初步判断为走滑型地震。

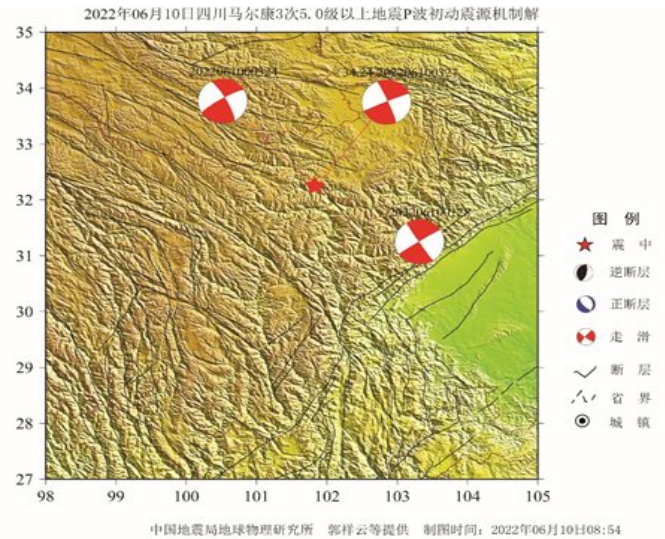


图1 三次主要地震的震源机制解

根据四川省地震局给出的震后调查报告^[2],截至2022年6月10日8时共记录到余震总数为303次,其中最大余震为2022年6月10日0时21分18秒M4.4级和2022年6月10日4时37分27秒M4.4级(图2)。

截至6月10日9时48分,房立华等^[1]采用地震序列精定位自动处理系统,得到了305个余震的精定

表1 地震基本参数

序号	发震时刻	震中位置		震级 <i>M</i>	震源深度 (km)
		北纬	东经		
1	2022年6月10日0时3分	32.27°	101.82°	5.8	10
2	2022年6月10日1时28分	32.25°	101.82°	6.0	13
3	2022年6月10日3时27分	32.24°	101.85°	5.2	15

位结果(图3)。结果表明,余震呈北北西向分布,余震震源深度集中在6千米至18千米。

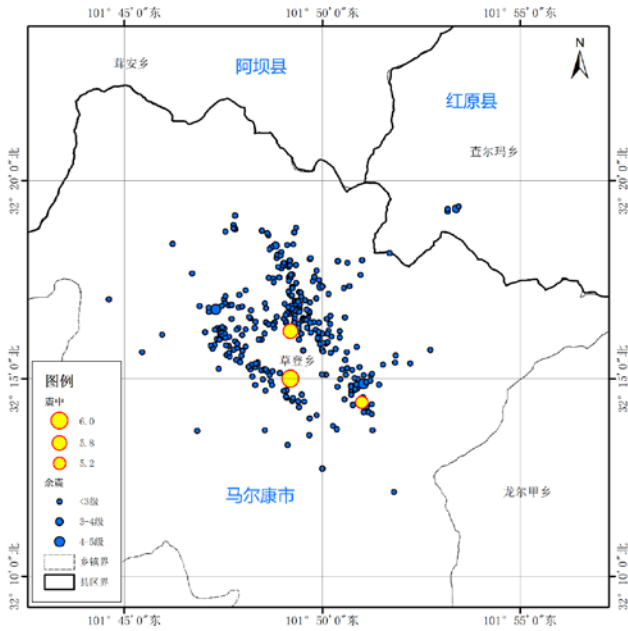


图2 四川马尔康6.0级震群余震序列分布

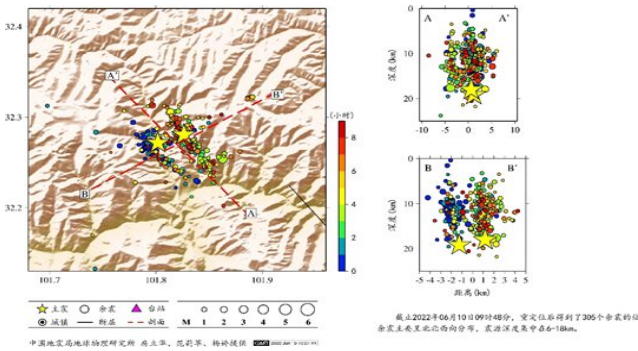


图3 余震精定位结果

2.2 区域地震构造环境及发震构造

2022年6月10日在四川省马尔康市草登乡附近分别发生了5.8级、6.0级和5.2级地震,震中位于松岗断裂附近。从区域地震构造背景分析,印度板块向北推挤造成青藏高原持续隆升并整体向北一东挤出,巴颜喀拉块体为高原内部一个新构造和地震活动极为强烈的次级块体。20世纪以来,其周边就已发生10余次7级以上大地震。松岗断裂为巴颜喀拉块体内的一条断裂。

松岗断裂南起小金县边界,经马尔康市松岗镇、沙市村、白賸村向北西方向延伸,全长约120千米。断裂走向 325° ,总体倾向NE,倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。断面擦痕显示断裂为左旋运动性质,北东盘向南西逆冲。该断裂历史上没有7级以上大地震发生的记载。以往相关工作结果认为该断裂为早中更新世断裂,晚更新世以来没有过活动。

四川省活动断层普查项目(2018~2022年)对该断裂进行了详细的研究。在调查中该断裂的南段发现了该断裂新活动性证据,松岗断裂在丹波村高台地通过,使得台地发生错断,形成了长达700多米的冲沟拐弯。同时使得相邻的III级阶地有约0.5~1米的陡坎,而侧缘陡坎左旋位错了45米左右。根据III级阶地顶面的热释光(TL)年龄值为 $34800\pm 2900\sim 44400\pm 3500$ 年,断层剖面表明松岗断裂自晚更新世以来都有过活动。因此,断层在III级阶地的侧缘陡坎形成的左旋位错应该是阶地形成以来的长期断层活动结果,估算断层的平均水平滑动速率为 $1.01\sim 1.29$ 毫米/年,平均垂直滑动速率为 $0.1\sim 0.13$ 毫米/年。因此,推测该断裂的南段为全新世活动断裂,松岗断裂南段最大发震能力为7.0级(图4)。

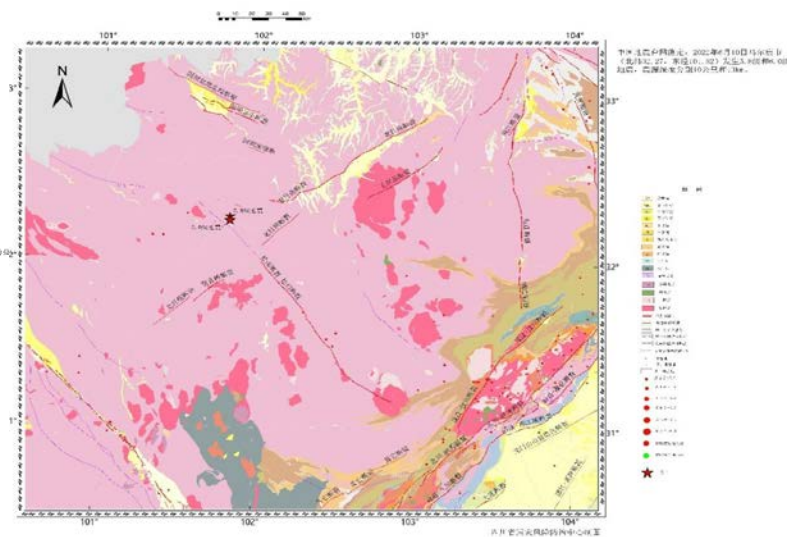


图4 震区地震构造图

此次马尔康市5.8级、6.0级、5.2级地震的震中均位于松岗断裂北段。综合区域及震区主要断裂构造分析、震源机制解、地震序列统计及地震烈度分布图等资料综合研判发震构造为松岗断裂。

3. 震害调查及烈度分布

地震发生后，按照应急管理部和中國地震局部署，四川省地震局组织了 74 人的现场工作队，通过对 5 个市县、21 个乡镇的震害现场调查，历时 4 天、行程 15000 多公里。其中，震害调查组共派出 26 组次、共 98 人次，共调查了 77 个抽样点。根据取得的大量的基础数据资料，结合仪器烈度，参考余震分布、震源机制解、无人机遥感等成果，并根据《中国地震烈度表》^[3]、《地震现场调查工作第三部分：调查规范》^[4]及《地震现场工作第四部分：灾害直接损失评估》^[5]确定了此次地震的烈度分布和地震灾害损失情况，并依照《地震烈度图制图规范》(GB/T 38266-2019)^[6]，编制完成《四川马尔康 6.0 级震群地震烈度图》(图 5)。

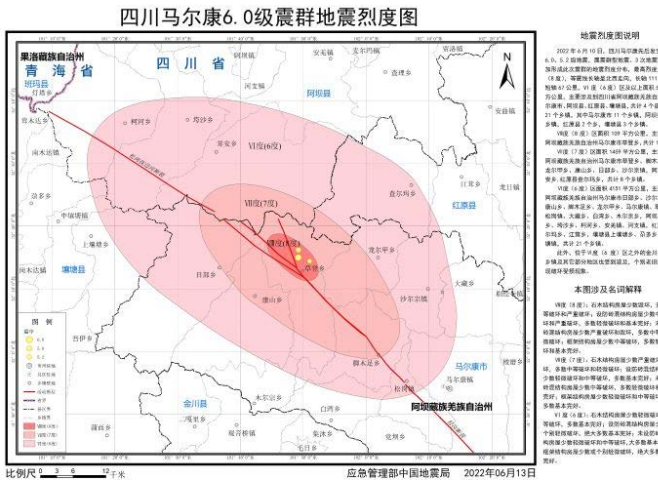


图 5 四川马尔康 6.0 级震群地震烈度图

此次地震的最高烈度为 VIII 度（8 度），等震线长轴呈北西走向，长轴 111 公里，短轴 67 公里，VI 度（6 度）区及以上面积 5719 平方公里，主要涉及到四川省阿坝藏族羌族自治州马尔康市、阿坝县、红原县、壤塘县，共计 4 个县（市），21 个乡镇，其中马尔康市 11 个乡镇、阿坝县 5 个乡镇、红原县 2 个乡镇、壤塘县 3 个乡镇。其中，VIII（8 度）（图 6）区面积 109 平方公里，主要涉及阿坝藏族羌族自治州马尔康市草登乡，共计 1 个乡镇；VII 度（7 度）（图 7）区面积 1459 平方公里，主要涉及阿坝藏族羌族自治州马尔康市草登乡、脚木足乡、龙尔甲乡、康山乡、日部乡、沙尔宗镇，阿坝县茸安乡，红原县查尔玛乡，共计 8 个乡镇；VI 度（6 度）（图 8）区面积 4151 平方公里，主要涉及阿坝藏族羌族自治州马尔康市日部乡、沙尔宗镇、康山乡、脚木足乡、龙尔甲乡、马尔康镇、

草登乡、松岗镇、大藏乡、白湾乡、木尔宗乡，阿坝县茸安乡、垮沙乡、柯河乡、安羌镇、河支镇，红原县查尔玛乡、江茸乡，壤塘县上壤塘乡、尕多乡、中壤塘镇，共计 21 个乡镇。

在地震现场，主要涉及到的房屋类型有石木结构、土木结构、砖混结构及框架结构。在此次地震中，房屋在不同烈度区的震害特征如下：

VIII 度（8 度）（图 6）：石（土）木结构房屋的部分承重石（土）墙有倒塌现象，多数石（土）墙有贯通性斜裂缝，承重石（土）墙与楼板连接处、纵横墙交接处基本上都有开裂现象，裂缝可达 5 厘米及以上，多数片石屋面有梭瓦和错位情况；砖混结构房屋少数严重破坏和毁坏，多数中等破坏和轻微破坏；框架结构房屋少数中等破坏，多数轻微破坏和基本完好。

VII 度（7 度）（图 7）：石（土）木结构房屋中少数承重石（土）墙有细微斜裂缝，多数承重石（土）墙与楼板连接处、纵横墙交接处有开裂现象，裂缝可达 3 厘米；砖混结构房屋少数中等破坏、多数轻微破坏和基本完好；框架结构房屋少数轻微破坏和中等破坏，大多数基本完好。

VI 度（6 度）（图 8）：石（土）木结构房屋的少数承重石（土）墙与楼板连接处、纵横墙交接处有开裂现象；砖混结构房屋少数轻微破坏和中等破坏，大多数基本完好；框架结构房屋少数或个别轻微破坏，绝大多数基本完好。此外，位于 VI 度（6 度）区之外的部分地区也受到波及，个别老旧房屋出现破坏或受损现象。

本次地震造成的震害主要有以下几个特点：一是多次震害叠加。此次地震属震群型地震，短时间内先后发生 5.8 级、6.0 级和 5.2 级中强震，震害叠加现象明显。二是房屋抗震能力较差。本次地震灾区的藏式石木结构民房绝大部分无设防措施，抗震能力较差，地震造成部分房屋倒塌和局部垮塌。三是地质灾害较为发育。本次地震震中位于高山峡谷地区，区域内山高谷深坡陡，岩体较为松散，地震后滑坡、崩塌、滚石等次生地质灾害随处可见。四是生命线工程受到破坏（图 9）。震后震中地区道路、电力、通信等生命线工程破坏较重，省道 220 线马尔康至草登乡的道路受损尤其严重。此外，地震还造成红原县一处河道壅塞体。



(a) 草登乡小学框架结构墙体 X 裂



(a) 康山乡伍都村石木结构墙体旧裂缝加



(b) 草登乡乡政府砖混结构房屋墙体开裂



(b) 草登乡沙佐村石木结构房屋墙体外闪



(c) 草登乡科拉机村石木结构房屋垮



(c) 脚木足乡蒲市口村石木结构墙体局部垮塌



(d) 草登乡代基村石木结构房屋椽瓦严重



(d) 日部乡石木结构墙体垮塌

图 6 草登乡部分Ⅷ度区震害图片

图 7 部分Ⅷ度区震害图片



(a) 茸安乡安坝村框架结构墙体裂缝



(b) 柯河乡政府驻地砖混结构墙体出现裂缝

图 8 部分 VI 度区震害图片



(a) 脚木足乡道路受地震破坏



(b) 脚木足河沿线通信设施破坏

图 9 工程结构震害

4. 强地面运动分析

在综合考虑震区局部的地质构造背景、地震波的衰减特性以及土层对地震动参数的放大效应估计了 3 次地震的震动图。根据地震预测的震动图分布特征, 预计 5.8 级地震极震区震动烈度可能达 VII 度以上, 可能的受灾范围近 1700 平方千米; 6.0 级地震极震区震动烈度 (图 10), 可能达 VIII 度以上, 可能的受灾范围近 13000 平方千米; 5.2 级地震极震区震动烈度, 可能达 VI 度以上, 可能的受灾范围近 100 平方千米。这些分析结果与实际震害调查的分布趋势基本一致。

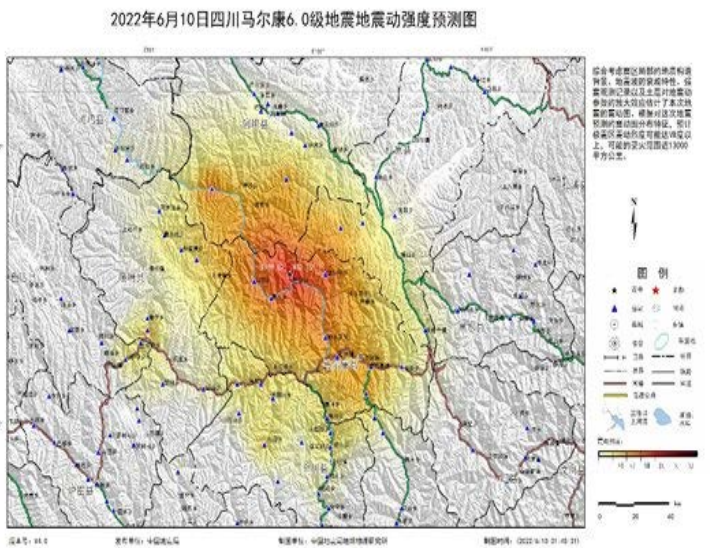


图 10 马尔康 60 级地震地震动强度预测图

5. 结论及建议

通过对马尔康地震的地震活动性、震源机制解、余震分布、发震构造、震害调查情况、地震烈度分布、强地面运动的分析, 可以得到如下初步认识:

- (1) 此次地震为震群型地震。在短时间内发生了 5.8 级、6.0 级与 5.2 级地震, 出现了震害叠加现象, 造成了部分房屋建筑与工程结构不同程度的破坏。
- (2) 对地震发震构造的认识。从对地震构造背景、断层活动性、震源机制解、余震分布等特征的综合分析, 认为该震群地震的发震断层为松岗断裂。
- (3) 对地震破坏情况认识。对地震现场的调查与分析表明, 在地震现场中, 石 (木) 结构的房屋与

无设防的砖混结构房屋破坏较重，房屋的抗震能力较差；具有设防的砖混结构房屋与框架结构房屋只有轻微破坏或没有破坏。这表明采用一定的抗震措施可以有效减轻地震灾害，并降低地震灾害风险。

(4) 对地质灾害的认识。本次地震震中位于高山峡谷地区，区域内山高谷深坡陡，岩体较为松散，地震后滑坡、崩塌、滚石等次生地质灾害随处可见。震后震中地区道路、电力、通信等生命线工程破坏较重。

进一步开展工作的建议：一是进一步加强房屋抗震设防能力。特别要加强当地农民、牧民自建房屋的抗震能力，把乡村振兴战略与四川省地震易发区房屋设施加固工程结合起来。二是持续加强地质灾害监测防治。在建立地质灾害隐患数据库的基础上，对潜在次生地质灾害隐患做好排查工作，建立灾害监测预警网，加大对灾害易发地段的监测防治力度。三是继续加强防震减灾科普宣传力度。继续加强防震减灾科普力度，开展针对性的应震避灾方法科普。四是定期组织开展地震应急演练，增强农、牧民自救互救能力。通过各方面的努力，不断减少地震灾害损失和减轻地震灾害风险。

致谢

本研究受到国家自然科学基金项目（51978633，51678537）、新疆维吾尔自治区重点研发专项（2020B03006-4）的资助，在此表示感谢。在开展研究工作中，得到了四川省地震局现场工作组专家的支持和帮助，在此表示感谢。

参考文献

- [1] 中国地震局地球物理研究所地震应急产品报告。
<https://www.cea-igp.ac.cn/kydt/279041.html>
- [2] 四川省地震局,2022年6月10日四川马尔康6.0级震群灾害调查报告
- [3] 《中国地震烈度表》GB/T17742-2020
- [4] 《地震现场工作第三部分：调查规范》GB/T18208.3-2011
- [5] 《地震现场工作第四部分：灾害直接损失评估》GB/18208.4-2011

[6] 《地震烈度图制图规范》GB/38266-2019

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

