四川地震　二〇二二年　第一期　总第一八二期

四川地震　Sichuan Dizhen
（季刊，1977年创刊）
2022年第1期（总第182期）2022年2月

EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN
（Quarterly, Started in 1977）
No.1, (Series No.182) March 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

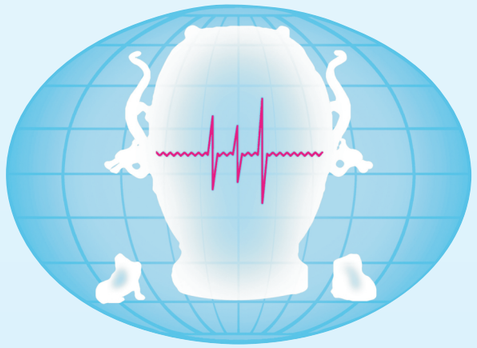
Supervisor: Sichuan Earthquake Agency
Sponsor: Sichuan Earthquake Agency
Editor:《Earthquake Research in Sichuan》Edit Office
Editor-in-chief: LEI Jiancheng
Distributor: Edit Office of ERS
Address:No.29, 3rd Section of South Renmin Road, Sichuan Chengdu 610041, China
Distributor Abroad: China International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

ISSN 1001-8115
CN 51-1163/P

四川地震

Sichuan Dizhen EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN



ISSN 1001-8115
9 771001 811223 03>

2022年2月
第1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　　《中国期刊全文数据库》收录期刊
《中国学术期刊综合评价数据库》源期刊　　《中文科技期刊数据库》入编期刊
《中国学术期刊(光盘版)》入编期刊　　《万方数据数字化期刊群》入编期刊

2022 年第 1 期　四川地震　(季刊)　总第 182 期

目　　次

主　　编　雷建成
责任编辑　周文英
编　　辑　魏娅玲　梁明剑　左　洪　廖　程

期刊基本参数:CN 51 - 1163/P * 1977 * q * A4 * 48 * zh * P * ¥10.00 * 1000 * 8 * 2022 - 3
电子信箱:scdz@scdzj.gov.cn(备用邮箱:scdzbjb@163.com)

EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN
(Quarterly, Started in 1977)

No. 1 2022 **Series** 182

CONTENTS

Managing Editor for this issue : *WEI Yaling*, *LIANG Mingjian*, *ZUO Hong and LIAO Cheng*
Translator for English Abstract: *WU Jiang*
E – mail: scdz@ scdzj. gov. cn, scdzbjb@ 163. com

西藏米林 6.9 级地震孕震机理研究

高锦瑞[1],王晓山[2],益西拉姆[1],王行舟[3]
(1. 西藏自治区地震局,西藏 拉萨　850000;2. 河北省地震局,河北 石家庄　050021;
3. 安徽省地震局,安徽 合肥　230000)

摘　要:利用西藏地震台网记录到的 2017 年 11 月 18 日西藏米林 6.9 级地震及其余震序列资料,研究此次地震的发震机制断层。双差定位结果显示,余震沿着主震的 NW 和 SE 方向往两侧扩展分布,震源深度主要集中在 2 ~ 12 km,同时从短轴剖面上地震分布推断,此次米林地震的发震断层倾角约为 45°。对 M_L3.5 以上的余震采用 CAP 方法进行波形拟合震源机制反演,其结果显示,此次米林地震序列震源错动类型以逆冲和走滑为主,比较符合该区域的构造动力环境。应力场反演结果显示,米林地震序列主压应力轴(S_1 轴)方向为 NNE - NS 向,主张应力轴(S_3 轴)方向为 SEE - SE 向;反映的断层错动方式为逆冲兼走滑类型。地震余震序列展布以及震源机制分布显示断层走向和断层特性与帕隆—旁辛断裂的特征较为吻合,推测米林地震的发震断裂为帕隆—旁辛断裂。

关键词:双差定位;震源机制;应力场反演;发震构造;米林 6.9 级地震
中图分类号:P315.33　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)01 - 0001 - 06
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.01.001

2017 年 11 月 18 日西藏自治区林芝市米林县发生了 6.9 级地震,地震震中位于印度板块向欧亚板块插入的东北犄角,是喜马拉雅造山带地壳缩短和构造旋转变形最为强烈的部位。震中附近历史地震活动较为强烈,数条断裂交汇,构造背景非常复杂。地震发生后,有很多专家对本次地震的余震时空分布特征(尹昕忠等,2018)、b 值时空分布特征(韩佳东等,2019b)、震源区速度结构(王伟平等,2019)和地震震害特征(李宗超等,2018)进行了分析研究。本文通过双差定位方法(Waldhauser et al,2000)对地震进行重新定位,再利用 CAP 方法(Zhao et al,1994;Zhu et al,1996)计算 M_L3.5 以上余震的震源机制解,最后采用定性和定量断层资料的应力张量反演方法(万永革,2015)对研究区的应力场进行解算,进一步认识此次地震的发震断层和发震机制,揭示该区域构造应力场演化特征,了解区域强震的孕震过程,为研究该区域中强地震发震构造条件和未来强震危险性评估提供重要参考资料。

1　区域地质构造

米林 6.9 级地震震中附近强震活动较为频繁,根据中国地震台网全国 M5.0 地震目录,在震中 300 km 范围内,有历史地震记录以来共发生 $M \geqslant 5.0$ 地震 146 次(如图 1),其中 5.0 ~ 5.9 级地震 111 次,6.0 ~ 6.9 级地震 30 次,7.0 ~ 7.9 级地震 4 次,8.0 ~ 8.9 级地震 1 次,最大地震为 1950 年 8 月 15 日西藏察隅 8.6 级地震。在米林 6.9 级地震发生前,中小地震活动的位置比较接近,距米林 6.9 级地震震中 100 km 范围内曾发生过 1845 年西藏林芝附近 6¾级地震、1938 年波密西 6.0 级地震、1950 年波密西 6.0 级地震和 1950 年墨脱附近 6½级等显著地震。

西藏地区地震台站分布稀疏,该区域地震监测能力薄弱,距离本次地震 300 km 范围内只有 6 个固定测震台站,在米林地震发生后,中国地震局地球物理研究所实时地震学课题组在南迦巴瓦峰附近架设了 5 个临时台站,台站数据及时共享到了西藏地震台网,这有效地提高了地震定位精度,确保米林地震余震序列是在同一监测系统连续时段内获得的。米林 6.9 级地震震中及其附近台站分布如图 2,周边断裂的情况如表 1。

收稿日期:2021 - 06 - 10;**修回日期**:2021 - 09 - 03
基金项目:2019 年度震情跟踪定向工作任务(2019010505)和 2021 年度地震科技星火计划攻关项目(XH21031)资助.
作者简介:高锦瑞(1979 -),女,高级工程师,主要从事地震监测预报工作. E - mail:969615031@qq.com.

本文搜集和整理了西藏区域台网 2017 年 11 月 18 日至 2019 年 4 月 30 日米林 6.9 级地震可定位余震序列目录、观测报告及其原始记录波形，开展双差重定位、震源机制和应力场反演，研究米林 6.9 级地震的发震机制。

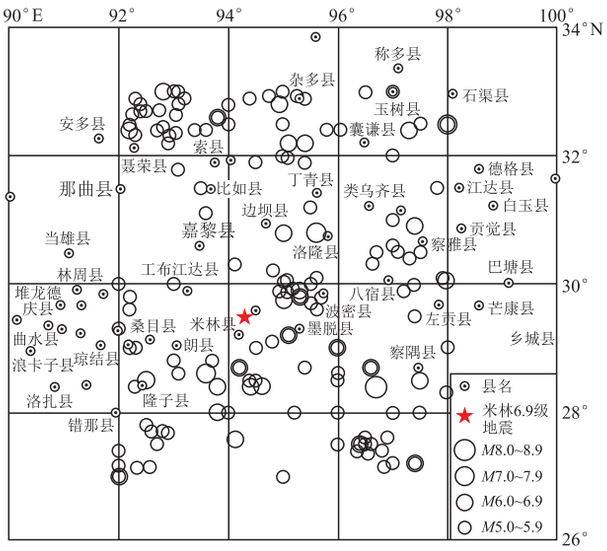
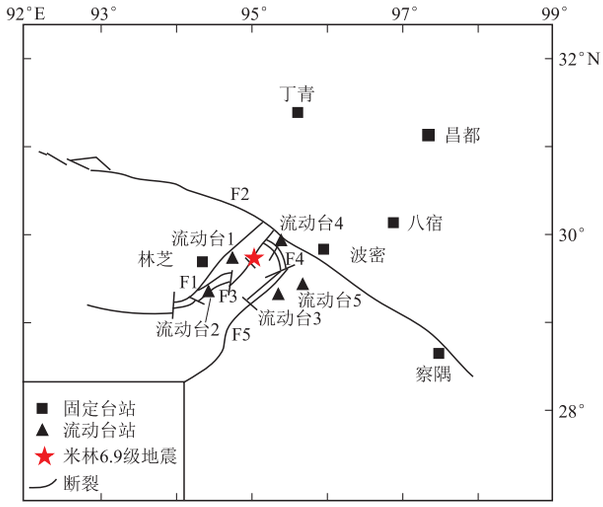


图 1　米林 6.9 级地震震中及邻区历史地震分布



F1.米林断裂；F2.嘉黎断裂；F3.雅鲁藏布江断裂带；F4.帕隆—旁辛断裂；F5.墨脱断裂

图 2　米林 6.9 级地震震中及其附近台站分布

表 1　区域主要断裂及活动性

断裂名称	区内长度/km	走向与倾向	活动性质	最新活动时代	最大破坏性地震
嘉黎断裂带	240	NW/SW	右旋走滑	Q_h	1972 年西藏那曲西 6.0 级
雅鲁藏布江断裂带	450	EW、NE/N、NW	逆冲	$Q_h-Q_p^3$	1915 年西藏桑日附近 7.0 级
墨脱断裂带	180	NE/SE	逆左旋	Q_h	1950 年西藏察隅墨脱 8.6 级
米林断裂	155	NE/SE	左旋走滑	$Q_h-Q_p^3$	1845 年西藏林芝附近 6¾级
帕隆—旁辛断裂	50	NW/SW	逆走滑	Q_h	1938 年西藏波密西 6.0 级、1950 年西藏波密西 6.0 级

2　地震重定位

对整合后的米林地震序列震相观测报告进行筛选，按照每个地震事件的记录台站不少于 3 个、震相数不少于 6 个的原则最终选取 1 329 个地震事件。其中 M_L0.0 ~ 0.9 地震 8 个，M_L1.0 ~ 1.9 地震 459 个，M_L2.0 ~ 2.9 地震 718 个，M_L3.0 ~ 3.9 地震 135 个，M_L4.0 ~ 4.9 地震 6 个，M_L5.0 以上地震 3 个。本文采用双差定位法（Waldhauser 和 Ellsworth，2000）对余震序列进行地震重定位，并对定位前后地震的分布特征进行分析。

2.1　速度模型

为了监测喜马拉雅东构造结核心地区地震活动以及开展该区域构造研究，中国地震局地球物理研究所实时地震学课题组于 2016 年 12 月围绕南迦巴瓦峰地区布设了 5 个宽频带流动地震台站，并将震源区附近的固定台站林芝台与波密台并入台网中，形成了南迦巴瓦测震台网。米林地震时，南迦巴瓦台网的台站距离震中较近，台网正好包围了米林地震的震源区，完整地记录了地震发生的全过程，为研究该地震及邻区的速度结构提供了宝贵的近台连续波形观测资料。文章直接采用韩佳东等（2019b）使用 VELEST 方法反演得到的最小一维速度模型（如表 2）对地震进行重定位。

2.2　重新定位结果分析

重定位前后的震中平面分布如图 3，从图中可以看出在进行重定位前，米林地震的余震序列主要分布在主震的东北侧。经过双差重定位后共得到 980 个震源位置，重定位后的余震沿着主震的 NW 和 SE 方向往两侧扩展分布，余震显著集中在一个 NW 向的长约 40 km，宽约 10 km 的狭窄条带之内，地震序列横穿雅鲁藏

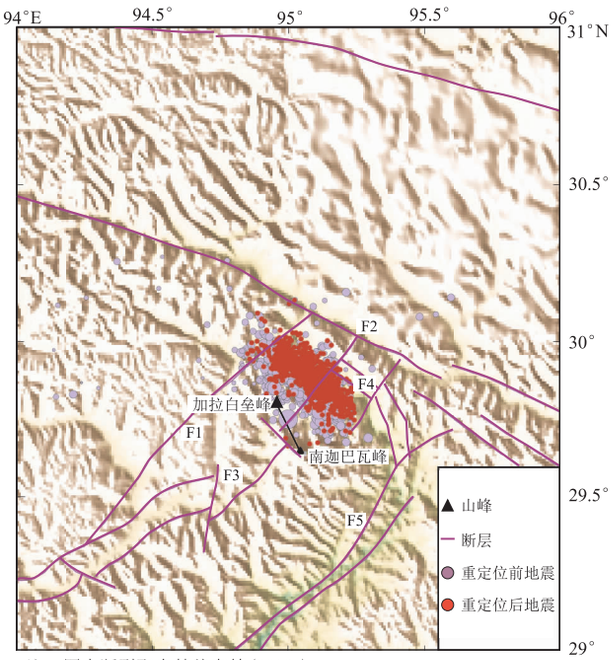
布江断裂的北部断裂,整个余震序列分布在南迦巴瓦峰和加拉白垒峰连线的东北部,靠近帕隆—旁辛断裂,分布趋势几乎与帕隆—旁辛断裂平行。米林地震序列双差重定位后的地震分布见图 4a,沿地震条带优势方向做剖面 AB(图 4b)和垂直方向做剖面 CD(图 4c)进行震源深度剖面分析,重定位后米林地震序列震源深度主要集中在 2 ~ 12 km,从短轴剖面上的地震分布推断此次米林地震的发震断层倾角约为 45°。在重定位前震源深度主要集中在5 ~ 8 km(图5a),重新定位后地震震源深度比重定位前的震源深度的分布更加离散(图 5b)。造成如此分布的原因可能是因为使用了不同的速度模型(或者是编目人员设定了震源初始深度),本文双差定位使用的速度模型如表 2,原始地震定位采用的速度模型如表 3,可能在该区域不同的速度模型对震源深度的定位影响较大。

表 2　林芝地区 P 波速度结构

速度/(km · s^{-1})	深度/km
5.23	0
5.33	5
5.70	10
6.10	15
6.25	25
6.40	44
7.10	55
8.00	–

表 3　原始地震定位采用的速度模型

速度/(km · s^{-1})	深度/km
6.10	20
6.70	45
8.10	–



注：图中断裂取自韩佳东等(2019a)

图 3　双差重定位前后的震中分布

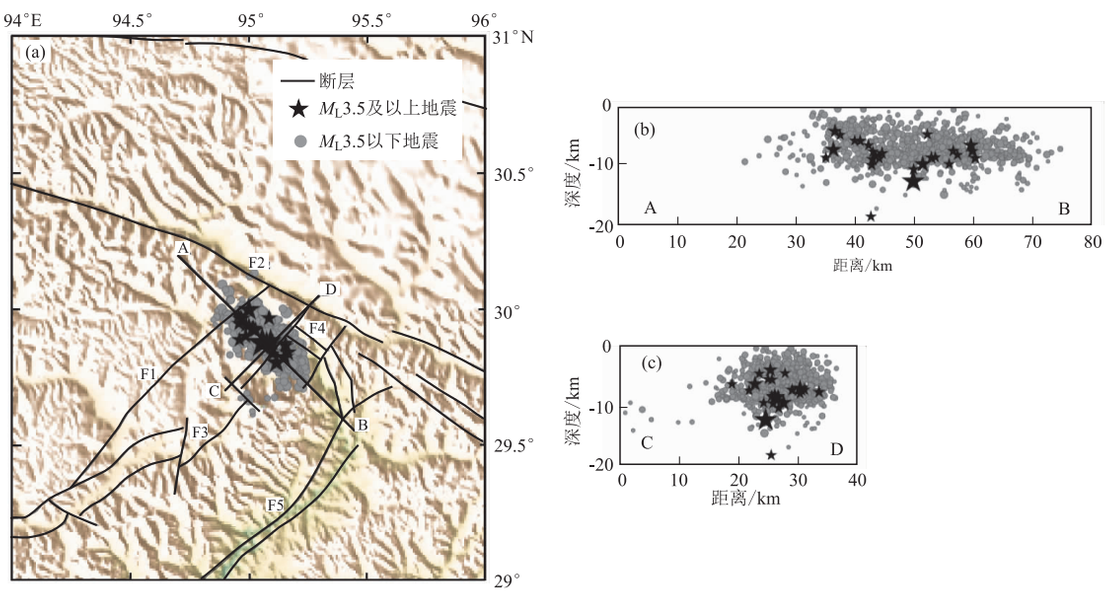


图 4　米林地震序列双差重定位后的震源深度剖面

3　震源机制解反演

由于受到台站数量和分布的限制,本文只对 M_L3.5 以上的余震采用中国地震局预测研究所基于 CAP 方法(Zhao et al,1994;Zhu et al,1996)研制的 CAP 软件(崔仁胜等,2017)进行了波形拟合震源机制反演。米

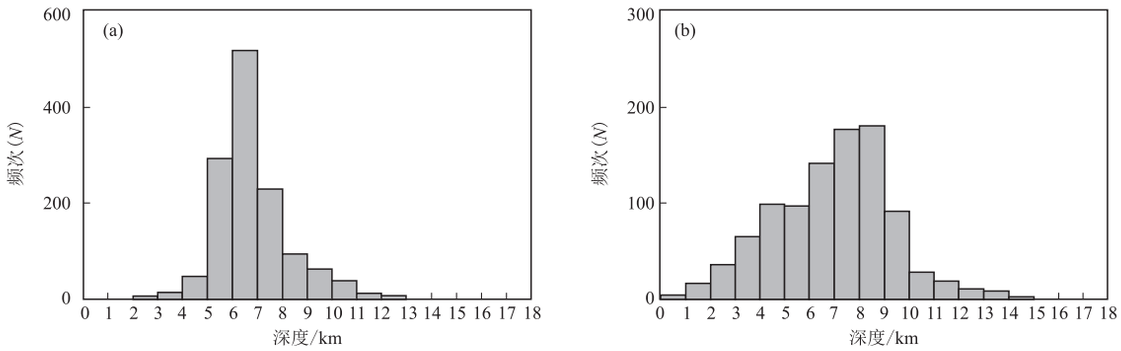


图 5　米林地震序列重定位前(a)、后(b)的震源深度－频次图

林地震的震中与 1950 年察隅 8.6 级大地震的震中相距约 220 km,两次地震均处于喜马拉雅造山带东构造结,均受到来自印度板块北东向推力发生逆冲或走滑运动,所处的构造运动环境较为相似。前人对察隅地震的震源错动类型有走滑型和逆冲型两种解释,之后该区相继发生了两次右旋走滑型地震。米林 6.9 级地震主震的震源机制解采用 Global CMT(http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html)的结果,另外还搜集了中国科学院青藏高原研究所、中国地震台网中心和美国地质调查局(USGS)等机构给出的震源机制解作比较(见表 4),说明本文选用的震源机制解结果是可靠的。对 M_L3.5 以上的余震,本文采用 CAP 方法进行了波形拟合震源机制反演(表 5)。根据 Zoback(1992)判断震源机制应力类型的方法将地震序列震源机制解分类,由图 6 可以看出:震源错动类型以逆冲和走滑为主。此次米林地震序列的震源机制也比较符合该区的构造动力环境。

表 4　米林 6.9 级地震震源机制解

发震时刻	λ_E /(°)	φ_N /(°)	深度 /km	节面 I			震级	数据来源
				走向/(°)	倾向/(°)	滑动角/(°)		
2017/11/18 06:34	95.02	29.75	10	304	51	88	M_S6.9	中国地震台网中心
	95.02	29.87	7	315	70	96.1	M_W6.4	中国科学院青藏高原研究所
	94.91	29.83	10	303	36	83	M_W6.4	USGS
	95.05	29.88	12	328	66	108	M_S6.9	Global CMT

表 5　米林 M_L3.5 以上余震震源机制反演结果

日期	时间	λ_E /(°)	φ_N /(°)	震级 (M_L)	深度 /km	节面走向 /(°)	节面倾角 /(°)	节面滑动角 /(°)
2017/11/23	10:14	95.164	29.841	4.1	7.5	162	67	-92
2017/11/18	08:31	95.001	29.998	5.2	7.2	151	11	129
2017/11/18	13:59	94.987	29.901	3.6	7.6	16	83	-26
2017/11/19	16:52	95.100	29.881	3.6	4.7	32	77	-8
2017/11/19	05:24	95.016	29.928	3.7	9.7	284	78	-25
2017/11/23	10:59	95.155	29.865	3.6	8.1	83	75	9
2017/11/23	15:13	95.150	29.823	4.3	8.6	212	11	-42
2017/11/23	22:12	95.096	29.869	3.9	8.5	126	33	67
2017/11/25	08:08	95.100	29.835	3.5	9.6	179	82	-155
2017/11/25	10:51	94.957	29.975	3.5	8.5	8	70	25
2017/11/27	10:24	95.022	29.926	3.5	8.1	263	73	4
2017/12/11	05:37	95.018	29.928	4.0	8.8	180	21	150
2017/12/20	01:40	95.092	29.885	5.1	9.6	233	8	168
2017/12/20	04:08	95.075	29.889	3.7	10.5	246	63	-7
2017/12/31	13:47	95.155	29.875	3.7	7.4	257	65	6
2018/02/26	01:16	95.093	29.859	3.5	8.5	161	65	109
2018/04/04	00:59	94.961	29.887	3.5	6.5	313	53	1
2018/11/02	18:31	94.959	29.947	3.5	4.7	80	77	22
2018/11/23	02:59	94.988	29.941	3.5	5.7	28	81	24
2019/01/20	10:52	94.967	29.964	4.4	4.1	289	51	91

4　构造应力场反演

随着对应力场研究的不断深入,根据断层滑动资料、震源机制等反演应力场的方法有很多种,Gephart 和 Forsyth(1984)采用非线性的网格搜索法来求取应力场的方向和相对大小,但该方法网格搜索步长选取太大(最细的搜索网格为 5°),不满足精度要求。Michael(1987)进行归一化求解应力场,可能导致结果的不准确,并且无法考虑所用数据的精度。许忠淮(1985)提供的滑动方向拟合法也取得广泛的应用,但是所采用的以投影到每个断层面滑动方向的剪切应力之和最大为准则的方法并不适用于有断层薄弱面存在的情况,并且该方法根据震源机制求解时计算量太大,且没有给出所得结果的置信区间。针对上述问题,万永革(2015)给出一种能够采用不等精度的震源机制数据、采用更细的应力场参数网格(1° ×1° ×1° ×0.01)搜索应力张量最优解的方法,并且给出应力张量估计参数的一定置信度下的置信范围。

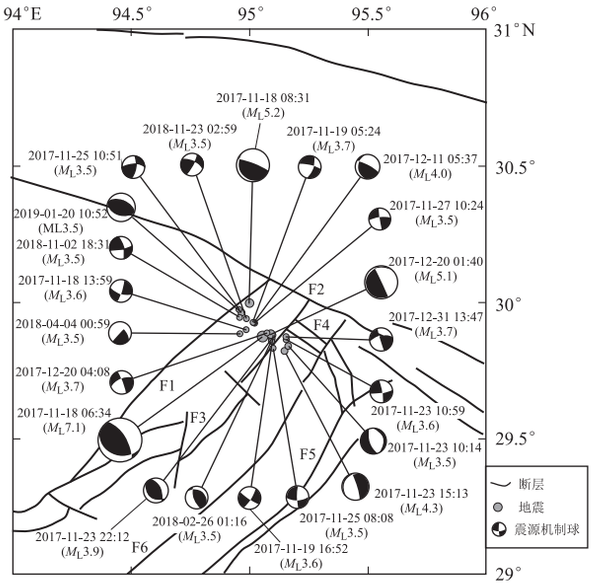


图 6　米林 M_L3.5 以上地震震源机制反演结果

本研究使用收集到的活动断裂资料与研究区域内中小地震的震源机制数据,采用更细的应力场参数网格搜索方法(万永革,2015)来搜索应力场参数的最优解,反演计算得到研究区域的应力结果如表 6,将反演结果图像化表示如图 7。图 7a 为研究区应力场示意图,其中黑弧线为所选节面的等面积投影表示,红色大箭头为 S_1 轴(主压应力轴)的最优方向,红色小箭头为断层理论滑动方向,蓝色大箭头为 S_3 轴(主张应力轴)的最优方向,蓝色小箭头为断层观测滑动方向,绿色弧线为得到的 95% 置信度应力场的最大剪应力节面,黄色小箭头为该节面的最大剪应力方向。S_1、S_2、S_3 周围的封闭曲线代表 95% 置信度下应力场 S_1、S_2、S_3 轴的范围;图 7b 为研究区的应力状态立体表示图,红色表示 S_1 轴,蓝色表示 S_3 轴;U、D 分别代表上、下。由图 7 与表 5 的反演结果可以看出,在置信度 95% 下,米林地震序列主压应力轴(S_1 轴)方向分布置信范围为 −2° ~33°,主张应力轴(S_3 轴)方向分布置信范围为 115° ~150°;R =0.5,对应于应力张量的本征值呈等差排列,也就是说这三个轴在数值上为等间距的,即该区的最大主压应力轴方位 NNE,应力状态为逆冲兼走滑类型。

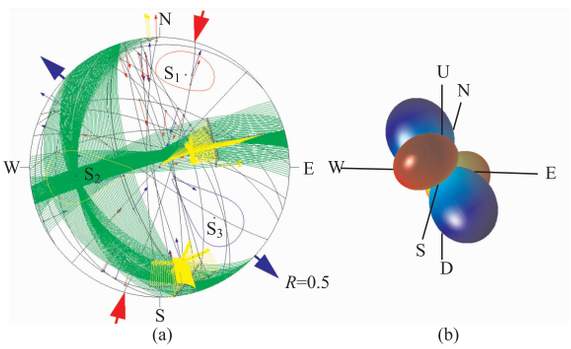


图 7　研究区域应力场反演结果示意图

表 6　应力场反演计算结果

S_1 轴		S_2 轴		S_3 轴		R 值
方位/(°)	倾角/(°)	方位/(°)	倾角/(°)	方位/(°)	倾角/(°)	
16	27	264	36	133	42	0.5
(−2 ~33)	(9 ~37)	(246 ~281)	(14 ~73)	(115 ~150)	(20 ~79)	(0.4 ~0.7)

注:括号中的数值范围为各参数 F 检验下 95% 置信度的不确定范围,其上方数值为最优应力状态参数。

表 6 中 S_2 轴和 S_3 轴倾角不确定度较高的原因主要有两方面:一方面,米林 6.9 级地震周边的活动断裂走向和活动性质复杂,而且前人对该区的活动断裂研究程度不高,限制了我们在使用过程中的精度;另一方面,该区的台网分布在不使用临时台网的情况下对震源机制解的波形反演约束较差。

5 结论和讨论

根据西藏地震台网记录的米林 6.9 级地震及其余震序列目录、观测报告和地震波形等资料,通过双差重定位、震源机制和应力场反演,得到了以下结论:(1)2017 年米林 6.9 级地震为主震余震型,利用双差方法重定位后的余震主要沿着主震的北西和南东方向往两侧扩展分布,并且显著集中在一个 NW 向的长约 40 km,宽度约 10 km 的狭窄条带之内,整个余震序列的空间分布在南迦巴瓦峰和加拉白垒峰连线的东北部,靠近帕隆—旁辛断裂。重定位后的地震震源深度比重定位前的震源深度分布更加离散,这可能是由于定位使用了不同的速度模型,具体原因我们将在以后的工作中进一步研究。(2)对 M_L3.5 以上的地震采用 CAP 方法进行了波形拟合震源机制反演,结果显示米林地震的主震震源错动类型为逆冲型,余震序列以逆冲和走滑类型为主,比较符合该区域的构造动力环境。(3)本次地震的构造应力场反演结果是主压应力轴(S_1 轴)方向为 N-NNE 向,反映的应力状态为 NNE 向逆冲,但 S_2 轴和 S_3 轴倾角的不确定度较高,这可能和该区活动断裂构造复杂、震源机制解的数量较少和质量不高都有一定的关系。(4)帕隆—旁辛断裂位于雅鲁藏布江大峡谷北前锋,总体为 NW 走向,两端与雅鲁藏布江断裂和墨脱断裂连接,具逆冲运动特征。米林地震余震序列与帕隆—旁辛断裂距离最近,且余震的长轴方向也为北西向,余震震源机制显示出震源错动类型以逆冲和走滑为主,也与该断裂特征较为吻合,因此推测米林 6.9 级地震的发震断裂为帕隆—旁辛断裂。米林地震周边断裂非常发育,有多条断裂交汇于该区域附近,断裂交汇地带是应力调整的关键地区,更易触发较大地震,因此未来需加强该区域的地震监测和研究。

致谢:米林 6.9 级地震发生后,中国地震局地球物理研究所立刻把在震中附近架设的 5 个流动地震台并入西藏地震台网,大大提高了该区域的监测能力,为本文提供了宝贵的近台连续波形观测资料和震相到时数据,审稿专家和编辑为本文提供了建设性修改意见,在此一并表示感谢!

参考文献

崔仁胜,陈阳,赵翠萍,等. 2017. 交互式地震震源机制解反演软件(SeisCAP v1.0)[CP]. 软件著作权登记号: 2017SR504916.

韩佳东,杨建思,刘莎,等. 2019a. 2017 米林 M6.9 地震序列监测及南迦巴瓦地震活动性研究[J]. 地球物理学报,62(6):2059-2069.

韩佳东,杨建思,王伟平. 2019b. 2017 年西藏米林 M_S6.9 地震余震序列重定位和 b 值时空分布特征[J]. 地震学报, 41(02): 169-180.

李宗超,吴健,李昌珑. 2018. 西藏米林 M_S6.9 地震震害分析[J]. 国际地震动态, (12):2-9.

万永革. 2015. 联合采用定性和定量断层资料的应力张量反演方法及在乌鲁木齐地区的应用[J]. 地球物理学报,58(9): 3144-3156.

王伟平,杨建思,王彦宾,等. 2019. 2017 年米林 6.9 级地震震源区速度结构与余震重定位[J]. 地球物理学报,62(6):2048-2058.

许忠淮. 1985. 用滑动方向拟合法反演唐山余震区的平均应力场[J]. 地震学报, (4):349-362.

尹昕忠,周本刚,陈九辉,等. 2018. 西藏米林 M6.9 地震早期余震时空分布特征[J]. 地球物理学报,61(6):2322-2331.

Gephart J W, Forsyth D W. 1984. An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando earthquake sequence [J]. Journal of Geophysical Research, 89(B11): 9305-9320.

Michael A J. 1987. Use of focal mechanisms to determine stress: A control study [J]. Journal of Geophysical Research. 92(B1): 357-368.

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 ,90:1353-1368.

Zhao L S, Helmberger D V. 1994. Source estimation from broadband regional seismograms [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(1): 91-104.

Zhu L P, Helmberger D V. 1996. Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 86(5): 1634-1641.

(下转第 47 页)

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
(四川省地震局,四川 成都　610041)

摘　要:2019 年 1 月 1 日至 2020 年 2 月 3 日四川及邻区共发生 29 个 $M \geqslant 4.0$ 地震事件,四川地震预警系统对这些事件均有触发和超快定位结果,事件触发率达 100%,且未发生 $M \geqslant 4.0$ 地震误触发事件。在此基础上,四川地震预警系统 JEEW 超快速报定位模块对这 29 个地震事件共处理出 574 个连续超快定位结果,每个地震事件平均约有 20 个连续超快定位结果。通过对连续超快定位结果和预警终端接收结果与中国地震台网正式目录结果进行对比分析,得出几点结论:(1)JEEW 超快速报定位模块自动地震定位的发震时刻结果较好,可以直接向地震预警终端推送;(2)82.8% 的 $M \geqslant 4.0$ 地震震中位置结果较好,其他 0.9% 的 $M \geqslant 4.0$ 地震震中位置结果偏差较大;(3)超快速报定位模块自动定位的 $M \geqslant 4.0$ 地震震级普遍偏小,在震级计算公式中应考虑设置合理的校正系数;(4)29 个 $M \geqslant 4.0$ 地震的预警时间集中在 5 ~ 15 s,随着后续项目台站密度的增加,地震预警速度还会加快;(5)速报烈度图与现场调查烈度图差别较大,建议结合经验模型与实测值综合绘制仪器烈度图。

关键词:地震预警;强震动仪;预警速度;地震烈度
中图分类号:P315.7　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)01 - 0007 - 08
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.01.002

我国是世界上遭受地震灾害最严重的国家之一,政府对防震减灾工作也极为重视,尤其是四川“汶川地震”之后,更加意识到地震预警工作的重要性和必要性(李纪恩等,2013)。国家发改委于 2018 年 6 月正式批复“国家地震烈度速报与预警工程”,加大了各省地震预警台网软硬件设施的建设投入,以便能有效地减轻地震灾害损失,确保地震预警社会效能的实现。在此背景下,四川省地震局依托“国家地震烈度速报与预警工程四川子项目”“8·8 九寨沟地震灾后恢复重建地震烈度速报与预警项目”“川滇预警示范项目”和“西部能力提升项目”,建立了四川地震烈度速报与预警系统,将多种地震监测手段进行融合,在四川地震台合网组建了四川地震预警系统,实现了地震参数的超快测定和报送、地震预警和烈度速报等。

目前,国家地震烈度速报与预警工程四川子项目正处于实施阶段,按照边建设边服务并在使用中不断完善和改进的原则。四川地震预警系统融合了测震、强震和烈度仪三种观测手段,以此来优化台站布局、提高地震定位结果精度,便于更好地服务于地震预警和地震烈度速报。测震仪为速度记录仪器,其技术成熟、性能稳定、记录数据完整,多服务于日常地震参数的产出,但存在工作环境要求高、设备及维护成本昂贵、强震近场记录容易限幅等缺点;强震动仪为加速度记录仪器,虽然强震近场记录数据不限幅,但仪器设备贵、建设和运维难度也比较大(王光冲等,2017,2019);烈度仪也是加速度记录仪器,具有设备造价低廉、安装方便快捷、维护简便等优势,虽然可以弥补传统测震和强震动台站间距大、获取灾害信息分辨率低的缺点,但也存在自噪声偏大,记录数据不够丰富、仅适用于较大幅值的地震动观测等不足(王光冲等,2019;张红才等,2017)。将三种监测手段融合组网,虽然可以很好地优化台站布局,但是数据产出结果的质量和地震定位精度究竟如何,还需要大量真实地震记录数据加以测试验证。因此,本研究通过梳理四川地震预警系统的观测手段、数据和软硬件设施,利用 2019 年 1 月 1 日至 2020 年 2 月 3 日四川及邻区发生的 29 个 $M \geqslant 4.0$ 地震事件,将其连续超快定位结果和预警终端接收结果与中国地震台网正式目录结果进行对比,对数据产出结果的精度和适用性进行分析,初探四川地震预警工作的实效性,不仅可以查找定位结果出现较大偏差的原因,修

收稿日期:2021 - 06 - 08;**修回日期**:2021 - 09 - 01
基金项目:四川省地震局地震科技专项(编号:LY2115).
作者简介:魏娅玲(1979 -),女,四川南充人,高级工程师,主要从事《四川地震》期刊编辑工作. E - mail:785956210@qq.com.
通讯作者:蔡一川(1979 -),男,四川南充人,管理岗六级,主要从事台网维护管理工作. E - mail:67279224@qq.com.

正地震预警定位中一些未被发现的问题,还可以对烈度计加速度记录参与地震参数超快测定、地震烈度速报和预警等工作提供参考依据。

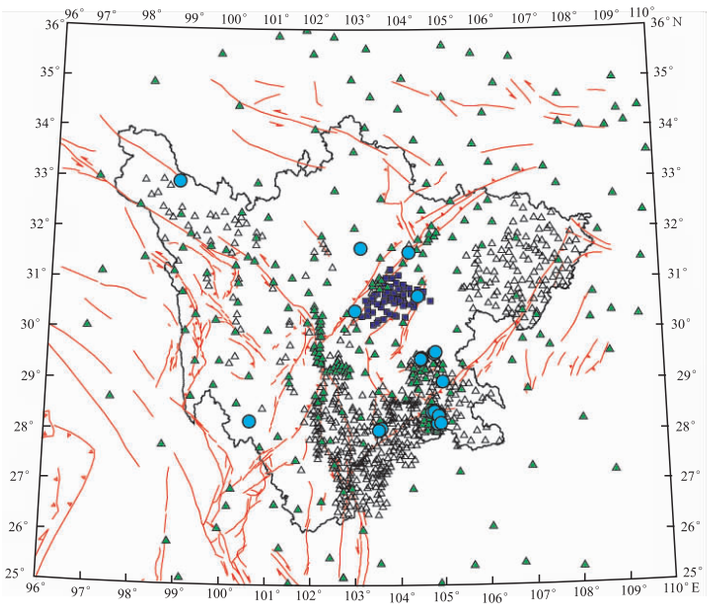
1　台站布局和资料选取

1.1　台站布局

在四川地震预警项目实施阶段,四川地震预警系统接入的台站数随台站基础建设的完成不断增加。截至 2020 年 2 月 3 日,四川地震预警系统共接入台站 920 个,其中测震台站 302 个,强震台站 80 个,烈度计台站 538 个,台站布局如图 1 所示,目前已架设完成的烈度计台站比较集中分布在四川东部地区。各类台站记录数据通过无线(或有线)传输至四川地震台,由数据处理系统 JOPENS(以下简称 JOPENS 系统)中的 SSS 实时数据流服务模块进行实时数据汇集,同时将汇集数据分发至 JOPENS 系统中的 JEEW 超快速报定位模块和福建烈度速报与预警处理软件进行实时处理,最终快速产出地震预警信息和地震烈度图。虽然 JEEW 超快速报定位模块和福建烈度速报与预警处理软件均能产出地震预警信息和地震烈度图,但其结果往往存在一定的偏差,本文仅对全国通用的 JOPENS 预警系统产出结果进行分析。

1.2　资料及方法

根据中国地震台网正式目录结果统计,2019 年 1 月 1 日至 2020 年 2 月 3 日四川及邻区共发生 29 个 $M \geqslant 4.0$ 地震,其中 $M4.0 \sim 4.9$ 地震 21 个,$M5.0 \sim 5.9$ 地震 7 个,$M6.0 \sim 6.9$ 地震 1 个,最大为 2019 年 6 月 17 日四川长宁 $M6.2$ 地震,这些中、强地震主要集中分布于川东南部、龙门山断裂带及附近区域。地震震中分布情况见图 1,由图可知,研究时间段内发生在四川西部的木里 $M4.1$、理县 $M4.5$ 和石渠 $M4.3$ 三次地震附近的台站分布相对稀疏,其他 26 个地震附近的台站分布密集。

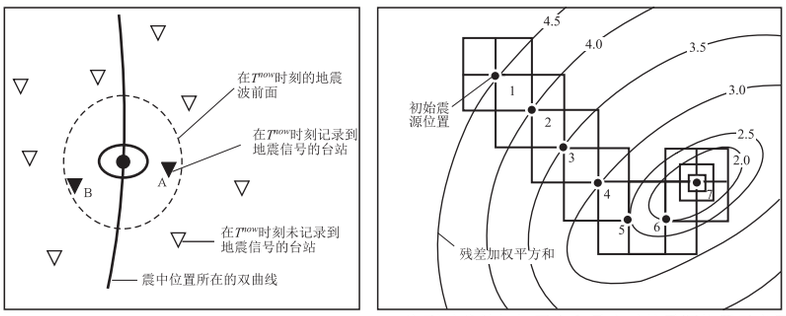


图中:实心三角形表示测震台站,空心三角形表示烈度计台站,实心正方形表示强震台站,实心圆表示地震震中,红色线图表示断层

图 1　四川预警台网台站和地震震中分布

常规地震定位方法需要用到足量的地震信息,而太多的初始信息很难满足地震预警的时效性要求。地震预警定位对时效性要求很高,所能利用的已知信息又很少,且定位结果精度与速度对地震预警成功与否有直接影响。因此,常规地震定位方法并不适用于地震预警(夏季,2013)。四川地震预警系统 JEEW 超快速报定位模块采用 Horiuchi 等(2005)提出的“着未着”定位方法,该方法综合考虑已触发台站的到时信息与未触发台站的约束,通过计算理论到时与观察到时残差加权平方和最小来实现地震预警定位。“着未着”定义 T^{now} 为最先两台站触发后的任意时刻,在 T^{now} 时刻未记录到地震信号的台站需要满足表达式(1),式中 T_i^{delay} 表示数据传输延迟,$T_{hi}(\varphi,\lambda,h,t)$ 表示基于波速结构均匀假定条件下由震源信息(φ,λ,h,t)得到的台站理论到时。如图 2a 所示,假定波速均匀,按照 Rydelek 等(2004)的方法,虚线圆为在 T^{now} 时刻地震波的传播范围,双曲线是根据最先触发的两台站(如图 2a 中的 A,B 台)的震相到时信息确定的震中位置所在的双曲线,闭合椭圆是根据未触发台站信息缩小的震中区域,椭圆内的实心圆即为地震震中位置。根据最先触发的两个台的走时和 T^{now} 确定的可能震中区域,用图 2b 网格搜索算法确定到时残差加权平方和最小的位置为震源位置,并随着检测到的震相数的不断增加,持续地对定位结果进行更新。“着未着”定位方法不仅可以实现连续地震定位,还可以辨认和移除错误震相。

四川地震预警系统 JEEW 超快速报定位模块通过初始地震波最大振幅、台站震中距与震级的经验关系估算地震震级的大小，M 震级经验公式为(2)，Av 为初始波振幅(单位：cm/s)，r 为台站震中距(单位：km)。该公式比较适用于 5 km≤Δ≤200 km 的台站，震中距在 200 ~ 500 km 的台站参加震级计算时，其权重应设为 0.001，震中距大于 500 km 的台站不参加震级计算。震中预测地震烈度计算公式为(3)，其中 I_0 为地震震中烈度。预警目标地区预测地震烈度计算公式为(4)，其中 I_0 为地震震中烈度，d 为震源距(单位：km)，目标地区预测地震烈度值采用四舍五入保留整数。



(a) 为两台站触发后“着未着”定位方法示意图　(b) 为到时残差加权平方和最小时的震源位置示意图

图 2　“着未着”定位方法示意图(Horiuchi et al，2005；Rydelek et al，2004)

$$T^{now} - T_i^{delay} - T_{hi}(\varphi,\lambda,h,t) < 0 \tag{1}$$

$$0.85M = \log_{10}(Av) + 1.73\log_{10}(r) + 2.5 \tag{2}$$

$$I_0 = 1.71M - 2.32 \tag{3}$$

$$I = I_0 - 4\log_{10}\left(\frac{d}{10} + 1\right) \tag{4}$$

2　预警系统超快结果与目录结果对比分析

由于地震预警系统对信息有高度时效性的要求，预警定位过程中可以利用的信息十分有限，必须合理地对已有信息进行组合，或者对定位结果质量进行定量评估，以便获取稳定可靠的地震定位结果(金星等，2012)，因此，进行四川地震预警系统超快结果偏差分析不仅可以查找定位结果出现较大偏差的原因，修正地震预警定位中一些未被发现的问题，还可以对台站建设提出合理化的建议。地震预警定位结果产出的速度和质量直接影响到地震预警的成败，地震预警系统中的“连续超快定位”是指利用单个台站触发信息逐渐过渡到利用多个台站触发信息的完整地震预警定位，该过程中，超快速报定位模块对一次预警事件会产出多个定位结果。研究时间段内共发生 29 个 M≥4.0 地震事件，这些地震属于四川省地震速报范围，中国地震台网正式目录结果见表 1，其中有 2 个地震的震中位于云南地区，其余 27 个地震的震中位于四川地区。四川地震预警系统对这些地震事件均有触发和超快定位结果(快速测定地震三要素)，事件触发率达 100%，未发生 M≥4.0 地震误触发事件。通过对 29 个 M≥4.0 地震事件的连续超快定位结果进行收集整理，JEEW 超快速报定位模块共处理出 574 个定位结果，每个地震事件平均约有 20 个连续定位结果，将这些结果与中国地震台网正式目录结果进行对比，剖析四川地震预警定位结果的速度和精度，打好地震预警工作的基础。

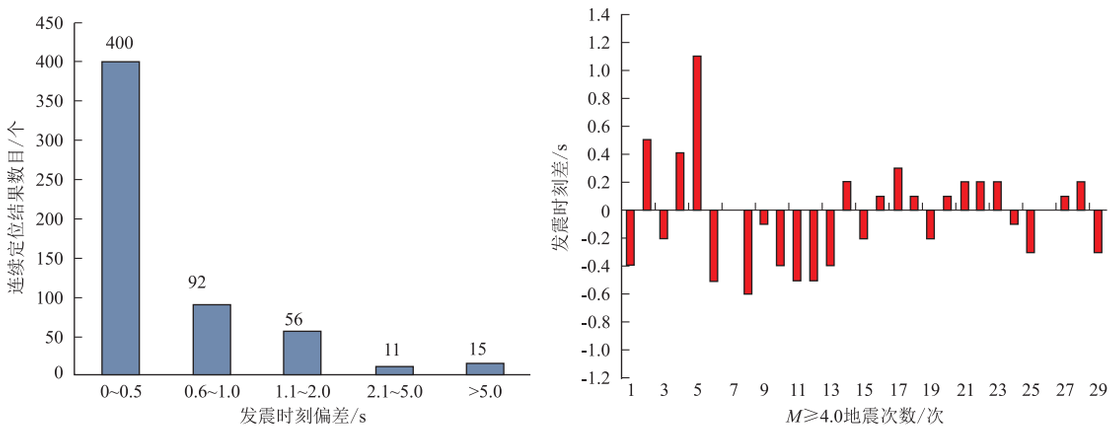
2.1　发震时刻偏差

以中国地震台网正式目录结果为准，求解 574 个连续地震预警定位结果的发震时刻差(预警地震发震时刻减去目录地震发震时刻的差)，并将求得的各发震时刻差的绝对值作为发震时刻偏差。由图 3a 可知，574 个地震预警定位结果的发震时刻偏差为 0 ~ 12 s；发震时刻偏差在工 0 ~ 0.5 s 的有 400 个，占比为 69.7%；发震时刻偏差在 0.6 ~ 1.0 s 的有 92 个，占比约为 16.0%；发震时刻偏差在 1.1 ~ 2.0 s 的有 56 个，占比为 9.8%；发震时刻偏差在 2.1 ~ 5.0 s 的有 11 个，占比为 1.9%；发震时刻偏差大于 5.0 s 的有 15 个，占比为 2.6%。发震时刻偏差在 0 ~ 2.0 s 的有 548 个，占比约为 95.5%，由此可知，地震预警定位结果的发震时刻的准确度还是比较高的，基本能控制在 2 s 以内，计算结果比较稳定，可以作为紧急地震预警信息进行推送(或发布)。通过对 15 个发震时刻偏差大于 5 s 的地震事件进行原因核查，发现引起发震时刻偏差较大的主要原因有：1)台站数据出现钟差问题，近台钟差对地震自动定位结果的影响非常大；2)台站波形数据出现干扰问题(或出现叠加地震，干扰主要来自简易烈度计)，造成软件无法准确识别地震波初至震相到时(或

表 1　$M \geqslant 4.0$ 地震目录结果

编号	年－月－日	发震时刻/(时－分－秒)	纬度/(°E)	经度/(°N)	深度/km	震级(M)	地名
1	2019-01-03	08:48:07.4	28.20	104.86	5	5.3	四川珙县
2	2019-02-24	05:38:09.5	29.47	104.51	4	4.5	四川荣县
3	2019-02-25	08:40:26.7	29.48	104.51	3	4.3	四川荣县
4	2019-02-25	13:15:58.9	29.48	104.49	5	4.8	四川荣县
5	2019-05-02	15:57:57.0	30.43	103.00	25	4.5	四川芦山
6	2019-05-16	04:33:31.8	28.07	103.54	12	4.9	云南永善
7	2019-06-05	15:26:55.5	28.10	103.60	7	4.0	云南永善
8	2019-06-17	22:55:43.8	28.36	104.88	8	6.2	四川长宁
9	2019-06-17	23:36:01.6	28.42	104.80	10	5.5	四川珙县
10	2019-06-18	00:29:07.7	28.41	104.84	8	4.0	四川长宁
11	2019-06-18	00:37:55.2	28.40	104.88	2	4.1	四川长宁
12	2019-06-18	05:03:25.5	28.41	104.86	8	4.2	四川长宁
13	2019-06-18	07:34:33.1	28.38	104.88	9	5.5	四川长宁
14	2019-06-22	22:29:56.0	28.44	104.79	10	5.4	四川长宁
15	2019-06-23	08:28:18.1	28.39	104.83	7	4.6	四川长宁
16	2019-06-24	09:23:15.7	28.45	104.78	8	4.0	四川长宁
17	2019-07-03	12:26:53.8	28.39	104.85	9	4.8	四川长宁
18	2019-07-04	10:17:57.9	28.43	104.74	10	5.3	四川长宁
19	2019-08-13	06:31:53.3	28.38	104.86	9	4.2	四川长宁
20	2019-09-08	06:42:13.8	29.58	104.81	7	5.2	四川资中
21	2019-09-08	10:36:22.5	29.50	104.51	3	4.1	四川荣县
22	2019-11-19	04:14:16.7	28.23	100.62	14	4.1	四川木里
23	2019-12-09	15:20:57.0	31.59	104.24	18	4.5	四川安州
24	2019-12-18	08:14:05.8	29.62	104.83	6	5.1	四川资中
25	2020-01-01	11:01:57.7	29.03	104.98	9	4.3	四川富顺
26	2020-01-08	01:09:37.4	28.21	104.93	13	4.0	四川兴文
27	2020-01-22	15:08:33.4	31.67	103.13	15	4.5	四川理县
28	2020-01-23	22:26:29.9	32.97	98.898	9	4.3	四川石渠
29	2020-02-03	00:05:41.8	30.72	104.44	10	4.9	四川青白江

出现震相到时误差较大);3)震中距大于 250 km 的较远台参加自动定位时,发震时刻偶尔出现不稳定的突跳现象。图 3b 是地震预警终端接收的预警结果发震时刻差图例(图中横坐标中的次数与表 1 中的编号一一对应),由该图可知,$M \geqslant 4.0$ 地震预警结果的发震时刻偏差均位于正常偏差范围(即 −2.0 ~ 2.0 s),也说明 JEEW 超快速报定位模块自动地震定位模块确定的发震时刻结果较好,可以直接向地震预警终端推送。



(a) JEEW超快速报定位模块连续超快定位结果发震时刻偏差统计　　(b) 地震预警终端接收到的预警结果发震时刻差

图 3　$M \geqslant 4.0$ 地震发震时刻偏差

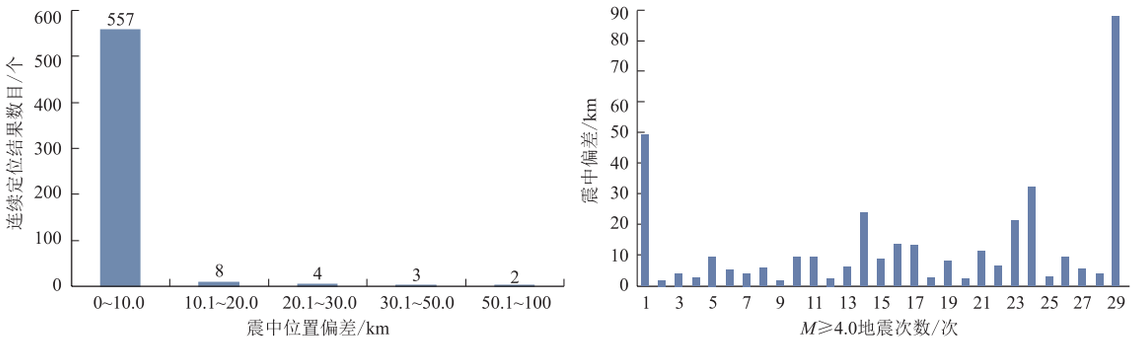
2.2　震中位置偏差

震中位置偏差(ΔE)的计算公式见(5):

$$\Delta E = 111.199\left[(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\lambda_1 - \lambda_2)^2 \times \cos^2\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

上式中,λ_1、φ_1 分别为超快定位结果震中经、纬度,λ_2、φ_2 分别为中国地震台网正式目录结果震中经、纬度。

由图 4a 可知,574 个地震预警定位结果的震中位置偏差为 0 ~ 100 km;震中位置偏差在 0 ~ 10 km 的有 557 个,占比为 97.0%;震中位置偏差在 10 ~ 30 km 的有 12 个,占比为 2.1%;震中位置偏差在 30 ~ 50 km 的有 3 个,占比为 0.5%;震中位置偏差大于 50 km 的有 2 个,占比为 0.4%。震中位置偏差在 10 km 以内的占全部结果的 97.0%,由此可知,地震预警定位结果的震中位置可以作为紧急地震预警信息进行推送(或发布)。通过对连续预警定位结果中 2 个震中位置偏差大于 50 km 的对应地震事件进行原因核查,发现引起震中位置偏差较大的主要原因有:1)参与定位的台站数少于 4 个;2)出现钟差问题,近台钟差对地震自动定位结果的影响非常大;3)台站波形数据出现干扰问题(或出现叠加地震,干扰主要来自简易烈度计),造成软件无法准确识别地震波震相到时(或出现震相到时误差较大);4)台站分布稀疏且孔隙角较大。



(a) JEEW超快速报定位模块连续超快定位结果震中位置偏差统计　　(b) 地震预警终端接收的预警结果震中位置偏差

图 4　$M \geqslant 4.0$ 地震震中位置偏差

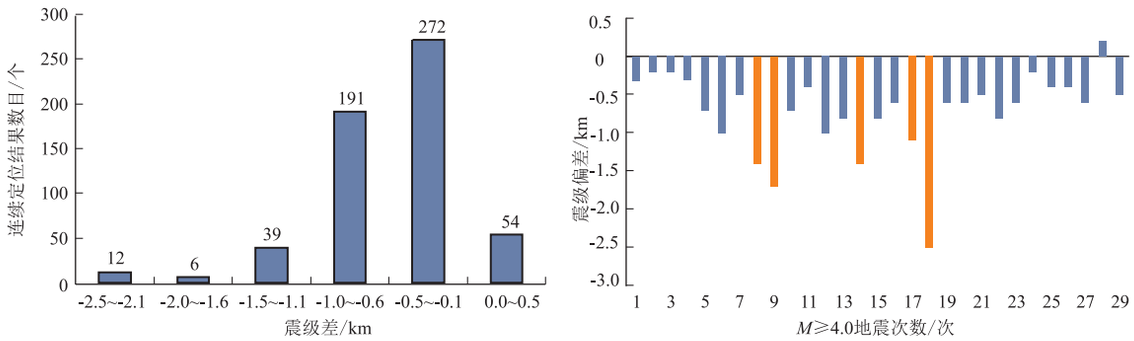
图 4b 是地震预警终端接收的预警结果震中位置偏差图(图中横坐标中的次数与表 1 中的编号一一对应),由该图可知,29 个地震预警结果的震中偏差为 2 ~ 88 km;偏差值小于 15 km 的有 24 个,占比为 82.8%;其它 5 个地震震中偏差值均大于 20 km(会造成部分地区的地震预警时间至少延迟 5 s),占比为 17.2%,其分别为:2019 年 1 月 3 日四川珙县 *M*5.3 地震(编号 1,偏差值为 49.3 km)、2019 年 6 月 22 日四川长宁 *M*5.4 地震(编号 14,偏差值为 23.9 km)、2019 年 12 月 9 日四川安州 *M*4.5 地震(编号 23,偏差值为 21.4 km)、2019 年 12 月 18 日四川资中 *M*5.1 地震(编号 24,偏差值为 32.2 km)和 2020 年 2 月 3 日四川青白江 *M*4.9 地震(编号 29,偏差值为 88.0 km)。由此说明,JEEW 超快速报定位模块自动地震定位的大部分 $M \geqslant 4.0$ 地震震中位置结果较好,少数震中位置结果偏差较大。

2.3　震级偏差

以中国地震台网正式目录结果为准,求解 574 个连续地震预警定位结果的震级差(预警地震震级减去目录地震震级的差)。由图 5a 可知,574 个连续地震预警定位结果的震级差为 −2.5 ~ 0.5;震级差在 0.0 ~ 0.5 的有 54 个,占比为 9.4%;震级差在 −0.5 ~ −0.1 的有 272 个,占比为 47.4%;震级差在 −1.0 ~ −0.6 的有 191 个,占比为 33.2%;震级差在 −1.5 ~ −1.1 的有 39 个,占比为 6.8%;震级差在 −2.0 ~ −1.6 的有 6 个,占比为 1.0%;震级差在 −2.5 ~ −2.1 的有 12 个,占比为 2.1%。根据表 1 和图 5a 中的数据统计得知,连续地震预警定位结果震级差在 −0.5 ~ 0.5 的个数占比为 56.8%,占总数的一半多,还有一半的连续地震预警定位结震级值都偏小;表 1 中 21 个 4.0 ~ 4.9 级地震所对应的多个连续地震预警定位结果震级平均偏小约 0.5 级,表 1 中 7 个 5.0 ~ 5.9 级地震所对应的多个连续地震预警定位结果震级平均偏小 0.8 级,表 1 中 1 个 6.2 级地震所对应的多个连续地震预警定位结果震级平均偏小 1.0 级。由此可知,$M \geqslant 4.0$ 地震预警定位结果震级值通常偏小,且随目录震级的增大,其偏小的趋势越明显。通过对连续预警定位结果中 57 个震级偏小 1.0 级的对应震事件进行原因核查,发现引起震级偏小的主要原因有:1)仅采用了 50 km 内的近台波形数据计算震级;2)近台 S 波限幅;3)仅采用了近台简易烈度计记录波形数据计算震级。

图 5b 是地震预警终端接收的预警结果震级差图(图中横坐标中的次数与表 1 中的编号一一对应),由该图可知,29 个地震预警结果的震级差为 −2.5 ~ 0.2;偏差值在 −1.0 ~ 0.2 的有 24 个,占比为 82.8%;其它 5 个地震震级差均小于 −1.0 级,占比为 17.2%,其分别为:2019 年 6 月 17 日四川长宁 *M*6.2 地震(编号 8,偏差值为 −1.3)、2019 年 6 月 17 日四川珙县 *M*5.5 地震(编号 9,偏差值为 −1.7)、2019 年 6 月 22 日四川长宁 *M*5.4 地震(编号 14,偏差值为 −1.4)、2019 年 7 月 3 日四川长宁 *M*5.3 地震(编号 17,偏差值为 −1.1)和

2019 年 7 月 4 日四川长宁 *M*5.3 地震(编号 18,偏差值为 -2.5)。由此说明,JEEW 超快速报定位模块自动地震定位的大部分 *M*≥4.0 地震震级偏小,故在震级计算公式中应考虑设置合理的校正系数。



(a) JEEW超快速报定位模块连续超快定位结果震级偏差统计　　(b) 地震预警终端接收到的预警结果震级偏差统计

图 5　*M*≥4.0 地震震级偏差

2.4　地震预警速度

通过对 2019 年 1 月 1 日至 2020 年 2 月 3 日四川及邻区发生的 29 个 *M*≥4.0 地震事件预警时间进行统计(见图 6,图中横坐标中的次数与表 1 中的编号一一对应),得知:29 个 *M*≥4.0 地震事件的预警时间为 3.1 ~18.7 s,平均预警时间为 11.1 s;预警时间在秒级以内的有 6 个,占总体的 20.7%,最快的为 2019 年 12 月 18 日四川资中 *M*5.1 地震(编号 25)和 2020 年 1 月 1 日四川富顺 *M*4.3 地震(编号 25),JEEW 超快速报定位模块自动定位仅用时 3.1 s;预警时间在 10 ~15 s 的有 20 个,占总体的 69.0%;预警时间在 15 ~20 s 的有 3 个,占总体的 10.3%,最慢的为 2019 年 2 月 25 日四川荣县 *M*5.1 地震(编号 3),JEEW 超快速报定位模块自动定位用时 18.7 s,通过对四川荣县 *M*5.1 地震预警时间较慢的原因进行核查,发现其主要因素是台站数据传输的延时过大。总体来说,29 个地震的预警时间绝大多少集中在 5 ~15 s,且随着后续项目台站密度的增加,地震预警速度还会加快。

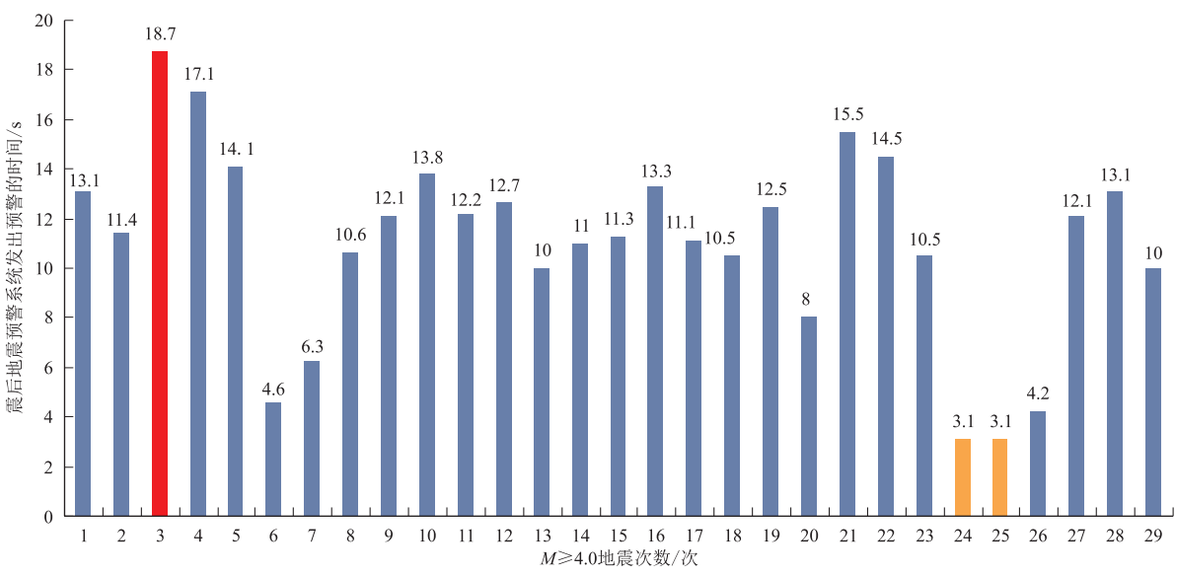


图 6　震后四川地震预警系统发出预警的时间

3　四川长宁 6.2 级地震速报烈度结果分析

JEEW 超快速报定位模块首先在地震发生后通过判断 S 波是否到达以及 P 波幅值是否达到阈值,然后根据条件判断是否启动烈度速报计算模块。烈度速报模块首先对波形数据进行基线校正和加速度积分成速度两个步骤(这两步均未进行数字带通滤波处理),然后采用 ShakeMap 内置衰减关系、GMT 内置插值算法以

及 Vs30 场地效应经验模型，使用三分量合成 PGA（地震动加速度峰值）和 PGV（地震动速度峰值），最后直接产出烈度速报计算结果。

根据中国地震台网正式目录，2019 年 6 月 17 日 22 时 55 分 43 秒四川长宁发生 6.2 级地震，震中位置为 28.36° N，104.88°E，震源深度 8 km，属于浅源地震。此次地震 Ⅵ 度区及以上总面积为 3 058 km^2，等震线长轴呈北西走向，长轴 72 km，短轴 54 km，Ⅷ度区面积为 84 km^2，Ⅶ度区面积为 436 km^2，Ⅵ 度区面积为 2 538 km^2，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受损现象（见图 7；中国地震局，2019）。图 8 是 2019 年 6 月 17 日四川长宁地震的速报烈度、PGA 和 PGV 分布图。比较图 7 和图 8 可知：（1）速报烈度图（图 8a）仅采用点圆模型绘制等值线图，未考虑破裂方向和破裂长度等因素，在中强以上地震应用时效果较差；（2）速报烈度图（图 8a）的极震区有空白颜色区，无相应色标值，含义不明；（3）速报烈度图（图 8a）与现场调查烈度图（图 7）差别较大。另外，预警速报 PGA 和 PGV 等值线点的可读性不高（图 7b、c），利用实测值修正模型预测值的效果不理想。

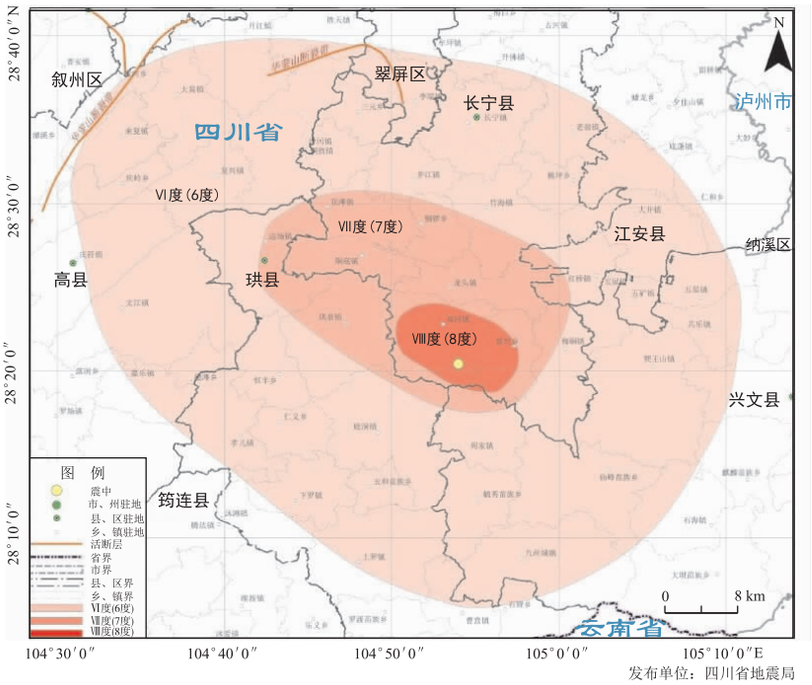
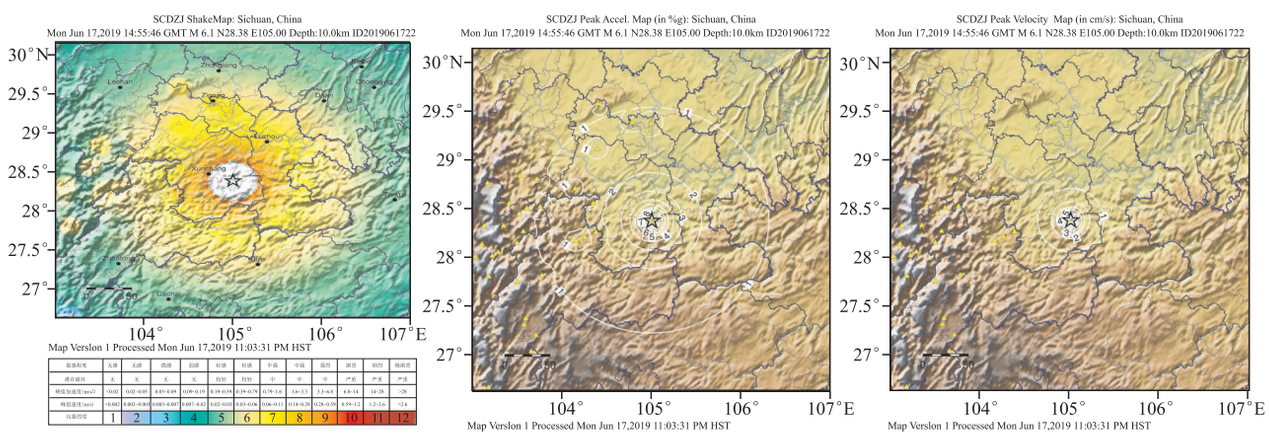


图 7　2019 年 6 月 17 日四川长宁地震现场调查烈度（中国地震局，2019）



(a) PGA值分布图　　(b) 速报烈度分布图　　(c) PGV值分布图

图 8　2019 年 6 月 17 日四川长宁地震的速报烈度、PGA 和 PGV 分布

4　结论与建议

2019 年 1 月 1 日至 2020 年 2 月 3 日四川及邻区共发生 29 个 $M \geqslant 4.0$ 地震事件。在此基础上，四川地震预警系统 JEEW 超快速报定位模块共处理出 574 个连续超快定位结果，每个地震事件平均有 20 个连续定位结果。通过对连续超快定位结果和预警终端接收结果与中国地震台网正式目录结果进行对比分析后得出几点结论：（1）JEEW 超快速报定位模块自动地震定位的发震时刻结果较好，可以直接向地震预警终端推送；

(2)82.8% 的 $M \geqslant 4.0$ 地震震中位置结果较好,其他 0.9% 的 $M \geqslant 4.0$ 地震震中位置结果偏差较大;(3)超快速报定位模块自动定位的 $M \geqslant 4.0$ 地震震级普遍偏小,在震级计算公式中应考虑设置合理的校正系数;(4)29 个 $M \geqslant 4.0$ 地震的预警时间大多集中在 5 ~ 15 s,随着后续项目台站密度的增加,地震预警速度还会加快;(5)速报烈度图与现场调查烈度图差别较大,还有待进一步完善。

针对四川长宁 6.2 级地震预警速报烈度图提出几点建议:(1)在 PGA 和 PGV 等值线图和推测烈度图中增加数值标注;(2)可以适当增加 PGA 和 PGV 值散点图和仪器烈度散点图;(3)结合经验模型与实测值综合绘制仪器烈度图、PGA 等值线图和 PGV 等值线图,并在处理过程中考虑破裂长度、破裂方向和场地效应校正等因素。

参考文献

金星,张红才,李军,等.2012.地震预警连续定位方法研究[J].地球物理学报,55(3):925 - 936.

李纪恩,李一行.2013.地震预警立法问题的探讨[J].国际地震动态,(5):17 - 20.

王光冲,毛国良,李小军,等.2017.基于强震动观测数据的地震定位分析[J].华北地震科学,35(3):8 - 12.

王光冲,吴鹏,李小军,等.2019.基于背景噪声的烈度仪、强震计及地震计性能对比分析[J].地震地磁观测与研究,40(5):109 - 113.

夏季.2013.利用前四台触发信息的地震预警定位误差分析[M].哈尔滨:中国地震局工程力学研究所.

张红才,金星,李军,等.2017.烈度仪用于地震预警的可靠性研究——以高雄 M_S6.8 地震为例[J].地震学报,39(6):955 - 964.

中国地震局.2019.四川长宁 6.0 级地震烈度图[EB/OL].(2019 - 06 - 20)[2021 - 06 - 07].https://www.cea.gov.cn/cea/xwzx/fzjzyw/5477826/index.html.

Horiuchi S,Negishi H,Abe K,et al.2005.An automatic processing system for broadcasting earthquake alarms[J].Bulletin of the Seismological Society of America,95(2):708 - 718.

Rydelek P,Pujol J.2004.Real - time seismic warning with a two-station subarray[J].Bulletin of the Seismological Society of America,94(4):1546 - 1550.

Analysis on the Data Results of the Sichuan Earthquake Early Warning System

WEI Yaling, ZHOU Wenying, CAI Yichuan, WU Peng, LUO Song, PENG Tao

(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: A total of 29 earthquake events with $M \geqslant 4.0$ were occurred in Sichuan and its adjacent areas from January 1, 2019 to February 3, 2020. The Sichuan earthquake early warning system provided ultra-fast positioning results for the events. Triggering rate of the event is 100% without any mistake for $M \geqslant 4.0$ earthquakes. Based on the aforementioned results, a total of 574 continuous location results were processed by JEEW super-fast module of Sichuan earthquake early warning system, with an average of about 20 continuous location results for each earthquake event. Comparing and analyzing the results of continuous seismic location and early warning terminal reception with the results of the Sichuan earthquake catalog, we obtain several conclusions as follows: (1) The JEEW ultra-fast module has a better constraint on timing of earthquakes, which can be transmitted directly to the earthquake early warning terminal. (2) 82.8% of $M \geqslant 4.0$ earthquakes epicenter location are better, whereas the other 17.2% of $M \geqslant 4.0$ earthquakes epicenter location show some deviation. (3) The magnitudes for $M \geqslant 4.0$ earthquakes are underestimated due to automatic location by the ultra-fast module, which requires a reasonable correction coefficient in magnitude calculation formula. (4) The early warning time of 29 $M \geqslant 4.0$ earthquakes is mainly concentrated in 5 ~ 15 s. We can narrow time ranges for earthquake warning after subsequent increase in project stations density. (5) A great difference between the intensity map of quick report and the intensity map of field investigation invites us to draw the instrumental intensity map by combining the empirical model and the measured value.

Keywords: earthquake early warning; strong vibration instrument; warning speed; earthquake intensity

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
(四川省地震局,四川 成都　610041)

摘　要:2021 年 9 月 16 日 04 时 33 分四川省泸州市泸县发生 6.0 级地震,震源深度 10 km,此次地震共造成 3 人死亡,159 人受伤。地震现场工作队采用抽样调查、单项调查和现场核实等方法对震中区房屋及其他工程进行了实地勘察,获取了本次地震的烈度分布及房屋震害情况,并对房屋震害特征进行了总结梳理。在此基础上,从房屋抗震设防、地震科普宣传、应急保障和地震风险防范意识等方面对震区防震减灾工作提出建议,为震区后续恢复重建和当地抗震设防能力提升提供参考依据。

关键词:泸县地震;震害特征;烈度分布
中图分类号:P315.94　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)01 - 0015 - 05
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.01.003

据中国地震台网正式测定,2021 年 9 月 16 日 04 时 33 分,四川省泸州市泸县(29.20°N,105.34°E)发生 6.0 级地震,震源深度 10 km。截至 2021 年 9 月 20 日 16 时共记录到余震 119 次,其中最大余震为 2021 年 9 月 16 日 04 时 55 分 19 秒的 2.8 级。主震震源机制解结果显示该地震为逆冲型地震,具体参数见表 1(易桂喜等,2021)。截至 2021 年 9 月 17 日 12 时,本次地震共造成 3 人死亡,146 人受伤(四川省应急管理厅,2021)。地震发生后,四川省地震局启动Ⅱ级应急响应,重庆市地震局、贵州省地震局、中国地震局地球物理研究所、地质研究所、工程力学研究所、中国地震台网中心以及中国地震震害防御中心共派出 102 名现场应急工作队员赶赴灾区开展地震应急现场处置工作。地震现场工作队开展了地震灾区震害调查与评估、烈度评定等工作。地震灾害烈度评定工作历时 3 天,共计抽样调查 167 个灾害点,其中四川境内 142 个,重庆境内 25 个,获取了此次地震震害相关的基础数据资料。

表 1　四川泸县 6.0 级地震震源机制解(易桂喜等,2021)

震级	节面Ⅰ			节面Ⅱ			P 轴		T 轴		B 轴	
	走向/°	倾角/°	滑动角/°	走向/°	倾角/°	滑动角/°	方位角/°	俯角/°	方位角/°	俯角/°	方位角/°	俯角/°
6.0	286	45	103	88	46	77	187	1	381	81	97	9

1　地震烈度分布

现场工作队依据《地震现场工作:调查规范》(GB/T 18208.3—2011)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2011a)和《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2020)(国家市场监督管理总局等,2020),对四川省、重庆市 8 个区(市县)共 66 个乡镇(街道)167 个调查点展开了实地调查,参考震区断裂构造、余震分布、震源机制、仪器烈度分布图和遥感影像成果,结合强震动观测记录,确定了此次地震的烈度分布,地震烈度结果见图 1。

2　房屋结构类型和破坏等级划分

2.1　房屋结构类型

本次地震造成四川、重庆 2 个省(市)6 个县(市、区)61 个乡镇(街道)房屋不同程度受损。根据政府有

收稿日期:2021 - 12 - 21;**修回日期**:2021 - 12 - 30
基金项目:国家重点研发计划课题(2019YFC1509402)和四川地震科技创新团队专项(201902)共同资助.
作者简介:杨璐遥(1991 -),女,四川西充人,工程师,主要从事地震应急工作. E - mail:303515200@qq.com.

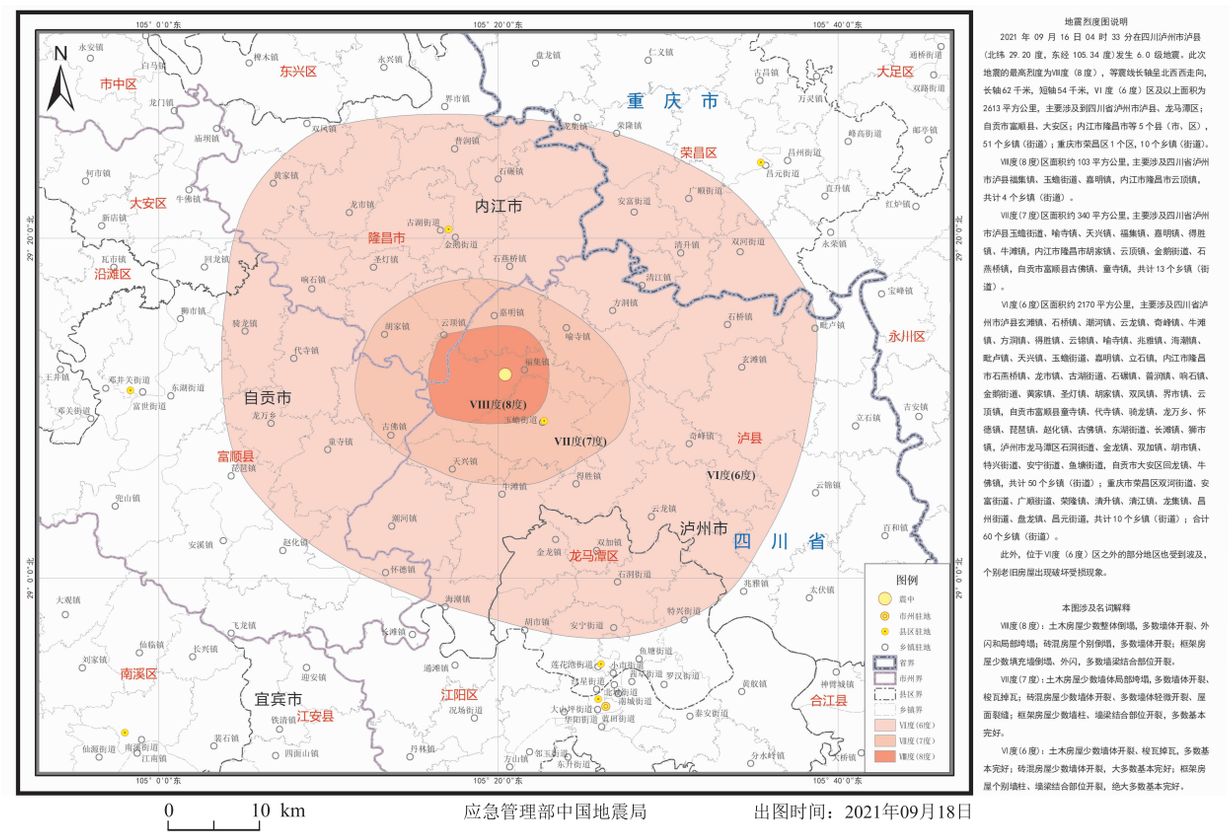


图 1　四川泸县 6.0 级地震烈度图(四川省地震局,2021)

关部门资料及现场调查结果,灾区范围内房屋结构主要为框架结构、砖混结构、砖木结构和土木结构 4 种类型,其中砖混结构为主要建筑结构类型。灾区内框架结构房屋大多为政府、学校和医院等公用房屋,抗震性能较好;大多数砖混结构房屋抗震性能一般;土木结构和砖木结构房屋基本是老旧房屋,抗震性能较差。

(1)框架结构:主要由钢筋混凝土梁柱承重,现浇楼板或屋盖,灾区框架结构房屋主要为政府、学校和医院等公用房屋,抗震性能好。

(2)砖混结构:主要由砖墙承重,预制板或钢筋混凝土浇注楼板及屋顶。灾区内大部分砖混结构房屋采用预制板楼板,无圈梁和构造柱,墙体多以 18 墙和 24 墙为主,整体抗震性能一般。

(3)砖木结构:灾区砖木结构房屋承重墙体为砌体墙,房顶由木梁及瓦片组成,抗震性能较差。

(4)土木结构:灾区土木结构房屋主要为夯土墙和土胚墙墙体,该类型房屋比例极低,且修建年代普遍较久远,抗震性能极差。

2.2　房屋破坏等级划分

参照《地震现场工作第四部分:灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4 - 2011)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2011b)中房屋破坏等级划分标准,确定灾区房屋破坏等级划分。砖混结构和框架结构为非简易房屋,划分为五个破坏等级:①基本完好(含完好):砖混结构房屋非承重构件轻微裂缝,不加修理可继续使用。②轻微破坏:砖混结构房屋个别承重构件轻微裂缝,非承重构件明显裂缝,不需修理或稍加修理可继续使用。③中等破坏:砖混结构房屋承重构件轻微破坏,局部有明显裂缝,个别非承重构件破坏严重,需要一般修理后方可使用。④严重破坏:砖混结构房屋承重构件多数破坏严重,难以修复。⑤毁坏:砖混结构房屋承重构件多数断裂,结构濒于崩溃或已倒毁,无法修复。对于简易房屋,将毁坏、严重破坏合并为毁坏,将中等破坏和轻微破坏合并为破坏,保留基本完好,共划分为三个破坏等级:①基本完好(含完好):土(砖)木结构房屋个别掉瓦或墙体细裂;非承重构件轻微裂缝,不加修理可继续使用。②破坏:承重构件出现位移或倾斜;土(砖)木结构房屋的非承重构件如墙体明显裂缝或严重开裂、甚至局部倒墙,普遍梭瓦或明显掉瓦,可修理,修理后可继续使用。③毁坏:土(砖)木结构房屋二面以上墙体倒塌,屋架明显倾斜或倒塌,屋

盖坍落或完全倒塌;承重构件多数断裂或破坏严重,结构濒于崩溃,修理困难或无法修复。

3　震害特征

本次地震震害特征主要表现为部分房屋建筑和工程结构不同程度的破坏。

3.1　房屋震害特征

在此次地震中,房屋出现少数倒毁和部分严重破坏的情况。Ⅷ度(8 度)区土木结构和砖木结构房屋少数整体倒塌,多数墙体开裂、外闪和局部垮塌(见图 2、3);砖混房屋个别倒塌,多数墙体开裂,窗洞和门洞开裂(见图 4);框架房屋少数填充墙开裂、外闪、倒塌,多数墙梁结合部位开裂(见图 5)。Ⅶ度(7 度)区土木结构和砖木结构房屋少数墙体局部垮塌,多数墙体开裂、梭瓦掉瓦(见图 6、7);砖混房屋少数墙体开裂、多数墙体轻微开裂、屋面裂缝、瓷砖脱落(见图 8);框架房屋少数墙柱、墙梁结合部位开裂,瓷砖脱落,多数基本完好(见图 9)。Ⅵ度(6 度)区土木结构和砖木结构房屋少数墙体开裂、梭瓦掉瓦,多数基本完好(见图 10、11);砖混房屋少数墙体开裂,瓷砖脱落,大多数基本完好(见图 12);框架房屋个别墙柱、墙梁结合部位开裂,绝大多数基本完好(见图 13)。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受损现象。

图2　福集镇草坝村土木结构房屋倒塌

图3　福集镇草坝村砖木结构房屋倒塌

图4　福集镇中心小学幼儿园砖混结构窗洞口裂缝

图5　福集镇龙脑桥中心小学框架结构填充墙破坏

图6　童寺镇黄凤村土木结构房屋局部垮塌

图7　喻寺镇齐心村砖木结构房屋倒塌

图8　玉蟾街道龙华村砖混结构房屋女儿墙倒塌

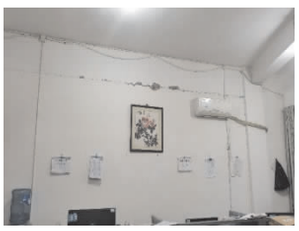


图9　云顶镇金墨湾社区框架结构房屋墙体开裂

图10　得胜镇门斗山村土木结构房屋梭瓦

图11　古佛镇天洋村砖木结构房屋梭瓦

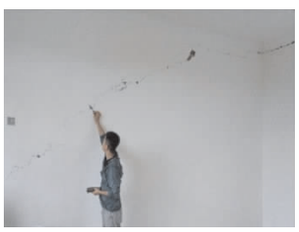


图12　天兴镇曹湾村砖混结构房屋墙体开裂

图13　玉蟾街道龙华村框架结构房屋基本完好

3.2　工程结构震害特征

本次地震对工程结构造成一定程度的破坏。交通设施方面:交通设施破坏较轻,主要表现为部分交通道路设施边坡垮塌和路基沉降。水利设施方面:部分水利工程设施水电站、堤防、涵闸、供水工程、灌溉工程和河道壅塞体等水利设施受到轻微破坏。电力设施方面:部分电力线路受损,变电站停电、停运,线路失电。通讯设施方面:地震造成部分通讯基站退服。另外,部分加油站墙体轻微开裂,部分工业企业厂房受损。

4 结论与建议

4.1 结论

此次地震极震区烈度达到Ⅷ度(8 度),对当地房屋建筑造成大量破坏,特别是对农村早期建设的砖混和砖木房屋造成的破坏更重,主要体现在房屋施工工艺粗糙、建筑年久失修和材料整体性差等方面(肖本夫等, 2017),此外,地震也对电力、通信、桥梁、供水和供气等基础设施造成较大损坏。人员伤亡主要集中在高烈度区域,伤亡原因主要为砖混结构或土木结构房屋在遭受地震力作用后,房屋构件产生垮塌破坏,造成人员被压埋或击打致死;人员防震减灾意识薄弱,防震避震经验不足。其它还体现在多种灾害叠加和近城市直下型地震破坏方面。在地震前泸县地区遭受强降雨天气,泸县、隆昌和富顺普降大到暴雨,对房屋地基等有较大影响,地震更加剧了破坏程度。另外,震中距离县城约 14 km,为近城市直下型地震,出现泸县部分高层居民乘电梯逃生被困、个别电梯脱轨和市政管网损坏等城市特有破坏现象。本次地震地质灾害破坏较轻,未出现大规模滑坡或者泥石流等地质灾害。

4.2 建议

(1)进一步加强房屋建筑整体抗震设防工作。落实“拆旧建新”相关规定和新建房屋抗震设防措施,推进老旧房屋拆除进度。震区内砖混建筑多为不设防的预制板房屋,建造年代久远,抗震能力差;同时,在新建房屋过程中部分老旧土木结构房屋并未拆除,而是改为厨房、杂物间或牲畜间等生产用房。土木和未设防砖混结构房屋震后受损是造成本次地震人员伤亡的主要原因。本次地震中,有相当比例的伤亡人员是由房屋附属构件、维护结构和附属设施等受损造成的,在近年来川东南地区发生的地震中,类似现象较为普遍。建议加强房屋附属构件、维护结构和附属设施等隐患排查工作,对老旧房屋和新建房屋有安全隐患的房屋附属构件、维护结构和附属设施等进行加固或拆除,严格按照建筑设计规范进行房屋附属构件、维护结构和附属设施等的设计和建造。建议加强建设工程抗震设防,严格执行 2021 年 9 月 1 日起实施的《建设工程抗震管理条例》,落实相关规定和要求。同时大力推进地震安居工程,切实提高农村民居抗震能力(叶肇恒等, 2015)。

(2)进一步加强抗震设防管理及监督。相关部门要加强重大建设工程和城乡建设的抗震设防管理,按照最新《中国地震动参数区划图》和相关法律法规的要求,全面落实新建、改建和扩建建筑必须严格执行抗震设防标准,要在规划、设计、施工和监理等环节强化抗震设防监督和管理(毛利等,2019)。

(3)进一步加强该地区防震减灾科普宣传。避险行为不当也是造成本次地震人员伤亡的主要原因,受灾群众自救互救、应急处置、灾害现场及各部门之间地震灾情信息传递是减轻人员伤亡的重要途径(肖本夫等,2020)。因此,当地政府应进一步规范应急避难场所的科学选址和建设,加强应急疏散演练,强化避险人员的避险意识和规范避险动作;加强科学避险的宣传,提升人们的防灾意识和能力,要加强宣传,使人们了解如何避险、怎样避险,并覆盖到各个年龄段,形成全民统一认识。

(4)进一步加强地震风险防治意识。各级政府要进一步提高风险意识,开展该地区风险普查,充分做好各项应急防范。继续加大工作力度,做好地震应急预案管理、地震应急检查、科普宣传教育、抗震设防监管、防灾避险演练、风险普查和房屋加固等工作。

致谢:感谢泸州市、自贡市、内江市、重庆市荣昌区各级人民政府和有关部门对此次地震现场工作给予了大力支持和积极配合。

参考文献

国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 2020. 中国地震烈度表:GB/T 17742—2020[S]. 北京: 中国标准出版社.

毛利, 肖本夫, 格桑扎西. 2019. 2018 年 10 月 31 日四川西昌 5.1 级地震震害特征分析[J]. 四川地震, (1):40 - 43.

四川省地震局. 2021. 四川省地震局发布泸县 6.0 级地震烈度图[EB/OL]. (2021 - 09 - 20)[2021 - 12 - 20]. http://www.scdzj. gov. cn/xwzx/fzjzyw/202109/t20210920_50116. html.

四川省应急管理厅. 2021.【新华社】泸县首轮全面搜救工作完成无新增死亡[EB/OL]. (2021 - 09 - 18) [2021 - 12 - 20]. ht-

tps://yjt. sc. gov. cn/scyjt/meitijujiao/2021/9/18/e238d842704d42a88ac47387c57440d3. shtml.
肖本夫,毛利,罗安元,等. 2017. 四川筠连 M_S4.9 地震震害特征及致灾因素分析[J]. 地震工程学报, 39(增刊):202 - 208.
肖本夫,申源,陈维锋,等. 2020. 基于 MINA 框架的应急救助与地震灾情管理平台设计与实现[J]. 震灾防御技术, 15(4):836 - 845.
叶肇恒, 刘洋, 毛利,等. 2015. 2014 年 8 月 3 日云南鲁甸 M_S6.5 级地震四川灾区震害特征分析[J]. 四川地震, (2):16 - 19.
易桂喜,赵敏,龙锋,等. 2021. 2021 年 9 月 16 日四川泸县 M_S6.0 地震序列特征及孕震构造环境[J]. 地球物理学报,64(12):4449 - 4461.
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 2011a. 地震现场工作:第 3 部分 调查规范:GB/T 18208.3 - 2011[S]. 北京: 中国标准出版社.
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 2011b. 地震现场工作:第 4 部分 灾害直接损失评估:GB/T 18208.4 - 2011[S]. 北京: 中国标准出版社.

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
(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: At 04:33 on September 16, 2021, an earthquake with a magnitude 6.0 and a focal depth of 10 km was occurred in Luxian County, Luzhou City, Sichuan Province. The earthquake caused 3 deaths and 159 injuries. The field investigation groups used methods such as sampling surveys, individual surveys, and direct verifications to analyze characteristics of damaged houses and other buildings in the epicenter area. We obtained distributions of the earthquake intensity and the damaged buildings, and summarized the characteristics of the damage buildings. Based on the aforementioned results, we present suggestions for earthquake prevention and disaster mitigation work in the earthquake area from the aspects of seismic protection of buildings, earthquake science publicity, emergency support, and earthquake risk prevention awareness, which can be helpful for reconstruction in the earthquake area and the improvement in seismic mitigation capabilities.

Keywords: Luxian Earthquake; characteristics of earthquake damage; distribution of earthquake intensity

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
(四川省地震局,四川 成都　610041)

摘　要:2019 年 1 月至 2020 年 12 月,四川地震编目自动处理系统共触发和分析地震 144 844 条。通过将编目自动处理系统产出结果与四川台网人机交互分析正式目录结果进行对比分析,得出几点结论:编目自动处理系统分析地震事件与台网正式目录地震事件匹配率为 32.15%,$M_L \geqslant 3.0$ 地震触发率可达 79.18%。匹配的地震事件中 80.57% 的地震震中位置差不超过 5 km,99.04% 的地震发震时刻差不超过 3 s,89.08% 的地震震级差不大于 0.3 级。编目自动处理系统对地震震相的正确识别率为 85.62%,其中 Pg、Sg 震相识别率较高,能达到 84%;初动方向识别率较低,仅能识别特征非常明显的 P 波初动;Pn、Sn 震相误识别情况严重,且该系统不能自动识别面波振幅震相。

关键词:地震编目自动处理系统;人机交互地震目录
中图分类号:P315.7　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)01 - 0020 - 04
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.01.004

地震目录和地震观测报告是各省地震台网产出的成果之一,也是地震科学研究的基础资料。四川省位于中国南北地震带中段,是中国大陆构造地震非常活跃的区域,也是全国强震监测的重要地区之一。目前,四川台网地震编目工作主要采用 JOPENS 系统的 MSDP 模块和人机交互方式完成。随着四川地震监测台站的不断建设和完善,特别是“8·8”九寨沟地震之后,四川地区的台站建设进一步推进,台站数量越来越多,四川台网地震编目工作量随之变得更加巨大,近两年平均每年完成的地震编目数量达 4 万多条,震相数量达 120 多万个,占全国地震编目工作总量的 40% 以上(苏金蓉,2019)。结合四川地震台网实际工作情况,四川地震台联合深圳防灾减灾技术研究院研制开发了四川地震编目自动处理系统。该系统于 2018 年 12 月部署于四川地震台,2019 年 1 月 1 日开始试运行。本研究通过将 2019 年 1 月至 2020 年 12 月四川地震编目自动处理系统产出结果与四川台网人机交互地震正式目录结果进行对比分析,不仅可以查找出自动定位结果出现较大偏差的原因,修正地震编目自动处理系统中的一些问题,还可以为编目自动处理系统提高地震事件的识别率和地震定位结果的准确度提供依据,为早日实现地震编目自动化提供支持。

1　地震编目自动处理系统简介

为了满足地震数据实时自动化处理的需求,研发人员在现有的地震数据处理系统(JOPENS 系统)功能基础上研发了四川地震编目自动化处理系统,该系统具有地震数据融合、自动定位、震相识别、地震数据查询、地震目录和报告产出等功能,以实现自动地震编目的总体功能,满足四川台网地震编目的实际工作需求。

四川地震编目自动化处理系统中最关键的模块是自动地震编目模块(Auto-catalog),该模块采用了理论震相(赵珠等,1987)和模板匹配(李璐等,2017)两种自动地震编目方式,分两个独立进程进行地震编目,这两种方式也是当前应用最多的自动地震编目方式(蒋策等,2018)。该模块在后台无界面运行,其主要功能为自动截取事件入库、后续震相自动识别和自动测定地震参数。Auto-catalog 根据初始定位结果自动标识和标注震相,或者根据模板自动匹配震相,从而实现地震编目的自动化。台网编目工作人员可直接在系统界面上查看和复核自动地震编目结果,并在 JOPENS 控制台上查询和导出地震编目观测报告。

收稿日期:2021 - 04 - 12;**修回日期**:2021 - 07 - 11
基金项目:四川省地震局地震科技专项(LY2006).
作者简介:颜利君(1988 -),女,四川达州人,工程师,从事预警与测震分析工作. E - mail:823768222@qq.com.

2　地震编目自动处理系统产出结果分析

2019 年 1 月至 2020 年 12 月,四川地震编目自动处理系统共触发和分析地震 144 844 条,四川台网人工交互产出的正式目录 90 067 条,除去部分疑爆事件、超地震编目范围事件、重复提交及误触发事件,自动地震编目结果与人机交互地震目录结果准确匹配的地震事件有 28 956 条,准确匹配率为 32.15%。两系统产出地震震中分布如图 1,图中蓝色和绿色分别代表自动系统分析 $M_L<3.0$ 和 $M_L\geqslant3.0$ 的地震,红色和黄色分别代表人机交互分析 $M_L<3.0$ 和 $M_L\geqslant3.0$ 的地震。从图 1 中可看出编目自动处理系统漏分析地震现象明显,尤其是在台站分布较稀疏地区。

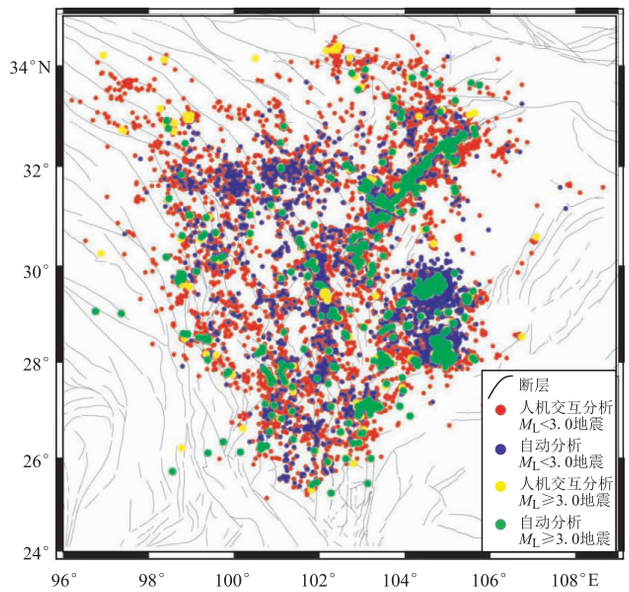


图 1　编目自动处理系统产出地震震中与人机交互分析的地震震中分布

2.1　漏分地震事件

将编目自动处理系统产出的地震目录与人机交互分析地震目录按震级进行对比,结果见表 1。编目自动处理系统漏分 $M_L\geqslant1.0$ 地震 29 395 条,正确识别率为 43.86%,其中,漏分 $M_L\geqslant3.0$ 地震 202 条,占漏分地震总数的 1%;漏分 $2.0\leqslant M_L<3.0$ 地震 3 029 条,占漏分地震总数的 10%,该震级范围的正确识别率为 62.15;漏分 $1.0\leqslant M_L<2.0$ 级地震 26 204 条,占漏分地震总数的 89%。由此可知:四川地震编目自动处理系统能较准确地识别出 $M_L\geqslant3.0$ 地震。

表 1　编目自动处理系统漏分析地震事件数量

类别	$M_L\geqslant3.0$	$2.0\leqslant M_L<3.0$	$1.0\leqslant M_L<2.0$	总数
人机交互目录数量	970	8 003	43 388	52 361
自动地震编目数量	768	4 974	17 184	22 966
编目自动处理系统漏分地震事件数量	202	3 029	26 204	29 395
编目自动处理系统正确识别率	79.18%	62.15%	39.61%	43.86%

2.2　震中位置偏差

将准确匹配出的28 956条地震事件的震中位置进行对比,结果见表 2。震中位置偏差范围为 0 ~ 235.96 km,其中震中位置偏差不超过 5 km 的地震占总数的 80.57%,震中位置偏差在 5 ~ 10 km的地震占总数的 13.08%。作者对震中位置偏差大于 10 km 的地震的自动分析震相数据进行了复核,发现震中位置偏差较大的原因主要有两种:一种是将 Pg 误认为 Pn,另一种是近台 Sg 震相缺失或者 Sg 震相到时拾取错误。

表 2　震中位置差统计表

年 月	0 ~ 5 km	5 ~ 10 km	10 ~ 20 km	20 ~ 50 km	>50 km	年 月	0 ~ 5 km	5 ~ 10 km	10 ~ 20 km	20 ~ 50 km	>50 km
2019 年 1 月	331	40	9	1	3	2020 年 1 月	1 457	205	57	40	11
2019 年 2 月	271	46	11	4	1	2020 年 2 月	864	168	44	30	2
2019 年 3 月	238	50	14	0	0	2020 年 3 月	1 333	180	45	37	7
2019 年 4 月	412	67	21	1	0	2020 年 4 月	1 545	237	66	66	6
2019 年 5 月	321	47	9	2	0	2020 年 5 月	2 382	265	79	85	5
2019 年 6 月	731	244	46	5	1	2020 年 6 月	2 053	163	63	56	5
2019 年 7 月	488	98	20	6	0	2020 年 7 月	1 452	210	73	51	5
2019 年 8 月	337	72	14	4	0	2020 年 8 月	1 208	214	60	52	3
2019 年 9 月	430	114	31	8	0	2020 年 9 月	1 637	285	91	34	7
2019 年 10 月	547	179	72	14	1	2020 年 10 月	1 322	203	65	48	8
2019 年 11 月	1530	240	87	27	5	2020 年 11 月	597	122	38	29	7
2019 年 12 月	1619	251	56	26	9	2020 年 12 月	406	86	29	24	3

2.3　发震时刻偏差

将准确匹配出的 28 956 条地震事件的发震时刻进行对比，结果见表 3。发震时刻偏差分布范围为 0 ~ 9.98 s，其中发震时刻偏差未超过 3 s 的地震占总数的 99.04%。作者对发震时刻偏差大于 3 s 的地震的自动分析震相数据进行了复核，发现导致发震时刻偏差大的原因主要有三种：一种是由于地震震相误判，另一种是台站空隙角较大，第三种是这两种情况同时出现。

2.4　震级偏差

将准确匹配出的 28 956 条地震事件的震级进行对比，结果见表 4。M_L 震级偏差分布范围为 0.0 ~ 1.1，震级偏差不大于 0.3 级的地震占总数的 89.08%。复核自动分析震相发现震级偏差较大的主要原因有两种，一种是振幅类震相读取错误，另一种是背景噪声干扰过大。

表 3　发震时刻差统计表

年 月	0 ~ 3 s	4 ~ 5 s	>5 s	年 月	0 ~ 3 s	4 ~ 5 s	>5 s
2019 年 1 月	379	3	2	2020 年 1 月	1 733	32	5
2019 年 2 月	327	6	0	2020 年 2 月	1 089	15	4
2019 年 3 月	296	6	0	2020 年 3 月	1 590	9	3
2019 年 4 月	501	0	0	2020 年 4 月	1 908	9	3
2019 年 5 月	378	1	0	2020 年 5 月	2 798	12	6
2019 年 6 月	1 022	5	0	2020 年 6 月	2 323	7	10
2019 年 7 月	611	1	0	2020 年 7 月	1 779	7	5
2019 年 8 月	421	5	1	2020 年 8 月	1 343	13	1
2019 年 9 月	579	4	0	2020 年 9 月	2 030	14	10
2019 年 10 月	806	7	0	2020 年 10 月	1 617	24	5
2019 年 11 月	1 874	14	1	2020 年 11 月	785	5	3
2019 年 12 月	1 947	14	0	2020 年 12 月	541	6	1

表 4　M_L 震级差统计表

年 月	M_L0 ~0.3	M_L0.4 ~0.5	M_L >0.5	年 月	M_L0 ~0.3	M_L0.4 ~0.5	M_L >0.5
2019 年 1 月	326	28	30	2020 年 1 月	1 603	126	41
2019 年 2 月	313	15	5	2020 年 2 月	883	139	86
2019 年 3 月	273	27	2	2020 年 3 月	1 417	115	70
2019 年 4 月	463	31	7	2020 年 4 月	1 664	182	74
2019 年 5 月	343	27	9	2020 年 5 月	2 513	224	79
2019 年 6 月	830	126	71	2020 年 6 月	2 130	155	55
2019 年 7 月	542	54	16	2020 年 7 月	1 590	156	45
2019 年 8 月	388	24	15	2020 年 8 月	1 211	114	32
2019 年 9 月	506	57	20	2020 年 9 月	1 877	135	42
2019 年 10 月	689	87	37	2020 年 10 月	1 498	116	32
2019 年 11 月	1 724	123	42	2020 年 11 月	703	53	37
2019 年 12 月	1 808	126	27	2020 年 12 月	500	29	19

2.5　震相对比分析

四川台网地震编目读取的常见震相有 P 波初动方向、Pg、Sg、Pn、Sn、M_L(SME、SMN)、M_S(LE、LN)震相。将准确匹配出的 28 956条地震事件的震相进行对比，结果见表 5。编目自动处理系统对震相的识别率可达 85.62%，其中，P 波初动方向的识别率为 25.01%，Pg 的识别率为 84.75%，Sg 的识别率为 90.15%，M_L(SME、SMN)的识别率为 84.51%，Pn、Sn 震相被过多识别，M_S(LE、LN)震相不能被识别。

表 5　震相分析数量统计表

震相类别	初动方向	Pg	Sg	Pn	Sn	M_L(SME、SMN)	M_S(LE、LN)	总计
人工分析	18 662	312 499	225 172	10 642	513	624 998	214	1 192 700
自动分析	4 668	264 843	202 985	15 968	4521	528 160	0	1 021 145
漏分析	13 994	47 656	22 187	5 326	4 008	96 838	214	171 555
自动分析识别率/%	25.01	84.75	90.15	100	100	84.51	0	85.62

复核震相发现：编目自动处理系统仅能识别初动尖锐、信噪比高和特征极其明显的 P 波初动方向，因此漏分析初动方向的情况较多。编目自动处理系统拾取过多 Pn 的原因主要有两种：一是在还未出现 Pn 的时间段误将 Pg 识别为 Pn(多数情况下，在震中距 130 ~ 140 km 时会将 Pg 误识别为 Pn，而四川地区一般在震中距 150 km 左右才开始出现 Pn)；二是在同一台站需要同时拾取 Pn、Pg 时，又只拾取了 Pn，漏拾取 Pg。另外，Sn 震相在大多数情况下是根据理论震相自动获取，并未根据实际波形记录特征进行拾取，且在同一台站需同时读取 Sn、Sg 时又出现漏拾取 Sg 的情况。M_L(SME、SMN)震相存在少量漏分析、位置拾取错误和量取周期不规范的情况，这些情况主要出现在近几年地震频度较高的四川南部地区地震中。四川地震编目自动处理系统目前还没有实现面波振幅震相的自动拾取。

2.6　其他情况分析

四川地震编目自动处理系统在试运行期间还出现了误触发、重复提交和错误提交等情况。试运行前期系统出现地震事件误触发和漏触发的情况较多，主要是因为事件库中的地震事件模板太少，在增加和更新地震事件模板后，地震事件误触发和漏触发情况有所减少。该系统还出现重复提交两条相同地震目录的情况，分析发现其中一个为正确提交，另一个实为下一个小地震定位失败后直接重复提交了上一次地震的定位结

果,通过更新系统程序、重置提交参数后,这种情况就再没有出现过了。

3　结论

通过对四川地震编目自动处理系统的产出结果进行分析,得出几点结论:1)该系统对 $M_L \geqslant 3.0$ 地震的识别率为 79.18%,对 $1.0 \leqslant M_L < 2.0$ 地震的漏分析率为 89%,容易识别震级较大的地震,漏分震级较小的地震。2)准确匹配出的 28 956 条地震事件中,80.57% 的地震震中位置与人机交互地震目录的震中位置偏差不超过 5 km,仅有 6.35% 的地震出现了震中位置偏差大于 10 km 的情况,震中位置偏差较大的主要原因是 Pg 被误识别为 Pn(或近台 Sg 漏拾取和拾取位置错误)。3)准确匹配出的 28 956 条地震事件中 99.04% 的地震发震时刻与人机交互地震目录发震时刻偏差不超过 3s,导致少数发震时刻偏差超过 3s 的主要原因有两种:一是震相误判和台站空隙角过大的共同影响,二是 Pg 被误识别为 Pn,其中 Pg 被误识别为 Pn 的影响更大。4)准确匹配出的 28 956 条地震事件中 89.08% 的地震震级与人机交互地震目录地震震级偏差不大于 0.3 级,少数震级偏差大于 0.3 级的原因主要是振幅类震相被误读取或地震波背景噪声干扰过大。5)四川地震编目自动处理系统的震相识别率为 85.62%,其中 P 波初动方向的识别率较低,仅能识别初至波特征非常明显的初动方向;Pg、Sg 的识别率较高,能达到 84% 以上;Pn、Sn 多拾取情况严重,主要原因是在还未出现 Pn、Sn 时将 Pg、Sg 误拾取为 Pn、Sn;该系统目前还不能自动识别面波振幅震相。

参考文献

蒋策,吴建平,房立华.2018.地震检测与震相自动拾取研究[J].地震学报,40(1),45-57.
李璐,王宝善,侯金欣.2017.模板匹配滤波技术在地震数据处理中的应用[J].中国地震,33(1),14-22.
苏金蓉.2019.地震编目自动化处理系统应用与展望[J].中国应急管理,(2):50-51.
赵珠,张润生.1987.四川地区地壳上地幔速度结构的初步研究[J].地震学报,9(2):154-163.

Analysis on the Output Results of the Sichuan Automatic Seismic Catalogue System

YAN Lijun, PANG Yao, TANG Lin
(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu　610041, China)

Abstract: From January 2019 to December 2020, 144 844 earthquakes were analyzed by the Sichuan automatic seismic catalogue system. In this paper, we compared the output of the automatic system with the catalogue results that were analyzed by human-computer interactions in Sichuan seismological network. The results show that the matching rate between the two systems is only 32.15%, whereas the recognition rate of $M_L \geqslant 3.0$ earthquakes processed by the automatic system is 79.18%. Among the matched seismic events, 80.57% of the earthquakes show epicenter locations error within 5 km. Moreover, the differences of the earthquake initiating time in less than 3 seconds are up to 99.04%, whereas 89.08% of the earthquake magnitude differences are less than 0.3. The automatic recognition rate of the all phases is 85.62%. The recognition rate of Pg and Sg is higher than 84%. The recognition rate of the first motion direction is very low, only events with the obvious characteristics in P-waves can be recognized. More Pn and Sn seismic phases are misidentified, and the M_S seismic phase can not be recognized automatically.

Keywords: automatic seismic catalogue system; catalogue list of human - computer interactions

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
(四川省地震局,四川 成都　610200)

摘　要:地震应急专题图可以直观地将震情、灾情和应急工作进展等信息表达出来,在地震应急指挥决策中发挥着重要作用。通过对四川应急服务对象需求的分析和专题图产出分区的划分,形成专题图产出精细化规则,研发出 QGIS 自动制图程序,实现震后应急期各类专题图的快速产出和精准化,使四川地震应急专题图的时效性和精准化服务能力得到提升。

关键词:地震应急;专题图;精细化;QGIS
中图分类号:P315 - 391　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)01 - 0024 - 06
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.01.005

破坏性地震发生后,需要在短时间内将震区人口、经济和灾情等信息报送给地震应急指挥决策者,此类信息的传播手段很多,但是最为直观和高效的方式首推地震应急专题图件(郑川等,2016;魏艳旭等,2016;李金香等,2013;郑树平等,2014)。地震应急专题图不仅可以表示地震的现状及其分布,而且能表示出地震的发展动态和发展规律(陈文凯等,2015)。这将有助于决策者对于前方灾情的研判,有利于指挥长对于救援工作的部署,从而最大限度的减轻地震灾害带来的损失(郑川等,2016)。

新形势下的防震减灾工作要求以用户需求为导向,不断丰富服务产品,完善服务方式,增强信息服务的时效性、实用性和精准性。但是四川现有的地震应急专题产品单一、针对性不强,已不能满足信息服务精准化需求,这就要求对应急专题产品进行创新。目前地震应急专题图产出通常是利用 ArcGIS Engine 平台进行二次开发,建立自动成图系统,最后通过调用预先制作好的.mxd 模板,自动产出不同幅面的专题图件。但 ArcGIS Engine 作为一款商业闭源软件,在专业制图需求上,存在开发成本高、版权限制和制图渲染效果不理想等不便。QGIS 是一款开源的桌面 GIS 软件,于 2002 年发布,现版本已更新至 3.20。近年来,QGIS 的关注度不断得到提高,其热度大有逼近 ArcGIS 热度趋势,这得益于 QGIS 的如下优点:①免费开源软件,在底层开发中无需授权;②良好跨平台能力;③支持多种矢量和栅格数据格式的显示;④强大的制图表达和渲染能力;⑤可扩展性强等特点。目前,QGIS 已经具有非常完整的 GIS 功能,完全支持地理空间数据处理及简单空间分析功能。因此在我国高度重视信息安全的大背景下,选择开源的 QGIS 软件绘制地震应急专题图是一个不错的选择(黄昱等,2021)。本文从专题图服务对象需求分析和专题图分区两方面进行四川精细化专题模板研究,并编制 QGIS 自动制图系统,实现地震应急专题图的自动成图,以期为四川地震应急辅助决策和灾后救援提供有效的信息支撑。

1　专题图精细化策略设计

1.1　服务对象需求分析

当前,四川省应急专题图服务对象主要分为政府类和武警消防两类,但由于缺乏针对性的研究支撑和应用,专题信息深度挖掘不够,产品的针对性不强。本文就政府类和武警消防类两类对象需求进行深入研究。通过全程记录 2018 年以来 8 次地震应急事件视频会议中决策者需求,分析近两年 5.0 级及以上地震的近

收稿日期:2021 - 05 - 26;**修回日期**:2021 - 09 - 22
基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2019YFC1509402)、四川省地震局科技创新团队(编号:201902)、地震应急青年重点任务(编号:CEAEDEM202015)和四川省地震局地震科技专项(编号:LY2110)联合资助.
作者简介:许娟(1988 -),女,四川成都人,硕士,工程师,主要从事地震应急工作. E - mail:570332542@qq.com.

500 幅地震应急专题产品,梳理出政府类专题产品需求从常规的专题信息扩展到震中附近历史震例分布、震中附近房屋破坏和全时程灾害调查及人员伤亡分布等,其需求具有全局性和方向性。通过 10 余次座谈分析出行业类(武警、消防)关注重点为 4.0 级及以上地震区域的灾区范围、乡镇人口数量和密度和乡镇距离等信息,涉及震区基本信息、评估信息等,其信息需求细化到乡镇粒度(张翼等,2021),具体专题产品需求见表 1。对于列表中涉及的个性化新需求,考虑重新挖掘专题信息、细化专题信息等方式表达。

表 1　专题产品需求列表

分类	政府类	行业类
基本情况	震中与主要城市距离分布、震区人口分布、震中附近建筑抗震性能分布、震区地震构造、震区地震台站分布、震区交通、震中附近历史震例分布	震区乡镇人口密度、震区乡镇距离震中距离、震中距离市州省会等城市距离、震中附近重要目标(学校、医院)分布
评估信息	影响场分布、人员伤亡预估分布、人员压埋预估分布、重灾区预估分布	影响场分布、人员伤亡预估分布、人员压埋预估分布、救援力量及需求分布
灾情产品	震感分布	震感分布
现场调查信息	现场调查范围分布、现场调查实况、人员伤亡分布	调查点分布、现场调查实况、人员伤亡分布

1.2　专题图产出分区

四川近十年来发生的中强地震区域差异显著,但专题产品未分区设定,出现要素表达不充分、专题内容表达模糊的情况,因此有必要针对四川的区域性差异进行研究,以提高应急工作中的区域针对性和时效性。目前苏桂武等(2005)、范开红等(2017)提出应急处置分区研究,因此在专题图产出分区研究中,参考相关专家应急处置分区经验,考虑了地形地貌、人口经济、地震活动和交通情况等要素的影响。本文将甘孜州、阿坝州、凉山州和攀枝花市 4 个市州划分为西部高山及山地地区,其余市州划分为四川盆地及周边地区(见表 2)。

表 2　分区市县列表

区域	包含地区
西部高山及山地地区	凉山州、甘孜州、阿坝州、攀枝花市,共计 4 个市州 53 个县
四川盆地及周边地区	成都市、宜宾市、内江市、眉山市等 17 个市,130 个县

(1)地形地貌分析

地形地貌从宏观上决定了地震应急的救援环境和背景特点,不同地形地貌的成灾方式往往具有明显的区域差异。四川地势西高东低,由西北向东南倾斜,盆地及丘陵地区占比 30% 左右,县域单元分布密集,居民地分布均衡;西部高山及山地地区占比 70% 左右,县域单元分布面积较大,居民地分布不均(见图 1)。就成灾范围而言,震时西部高山及山地地区人类活动分布不均,在山区成点状,在河谷成带状,在盆地或坝子成面状, 这种“点”“线”“面”的分布特点导致地震成灾范围分布极不均匀,而四川盆地及周边地区,地势相对平坦,成灾范围聚集且分布均衡。在地震造成的次生灾害方面,西部高山及山地地区容易发生崩塌、滑坡甚至泥石流灾害等,而四川盆地及周边地区工业相对聚集,易发生火灾、危化品泄露等灾害。因此发生相同强度地震,指挥决策者针对不同区域关注点有所不同,如高山及山地地区关注地质灾害隐患点、水库和道路等要素的影响,四川盆地及周边地区则关注重点企业、人员聚集地等要素,因此有必要针对地形地貌差异,根据关注重点制作不同的专题产品。

(2)人口密度分析

人口密度的大小直接决定了受到威胁和需要保护的人口的多少,也影响着震后造成人员伤亡的多少,这直接影响了震前地震应急准备规模和震后地震应急响应等级(苏桂武等,2005)。四川人口东密西疏,分布极不平衡(见图 2),西部高山及山地地区中甘孜州、阿坝州各县人口密度大多在 20 人/km^2,属人口稀少区;凉山州、攀枝花除驻地城市外,人口密度大多在 100 人/km^2,属于人口中等区,人口相对集中在河谷平原、中低山和丘状高原。四川盆地及周边地区人口密度大多在 200 ~ 600 人/km^2,甚至不少区县人口密度超过 1000 人/km^2(李雪等,2018),属于人口密集区,人口空间分布的县域单元较小,人口聚集现象极为明显,因此发生相同震级地震时,西部高山及山地区域同四川盆地及周边地区人员伤亡数量差异较大(范开红等,2017)。在专题图制图时,为将人口分布信息清晰地展示出来,有必要进行人口等级分区设计。

(3)地震活动分析

区域内地震活动在一定时间尺度上的活动水平影响着地震应急准备工作的开展, 影响着专题产品震级

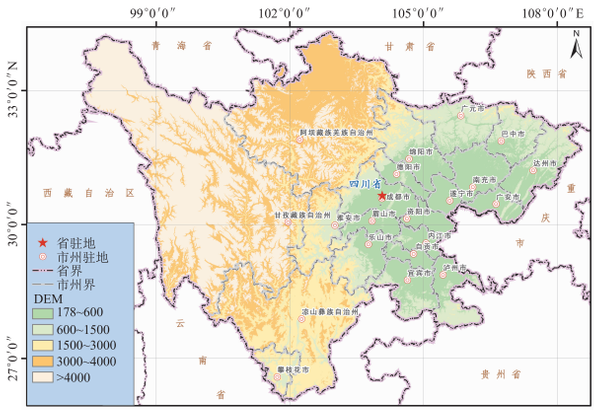


图 1　四川省地形地貌分布

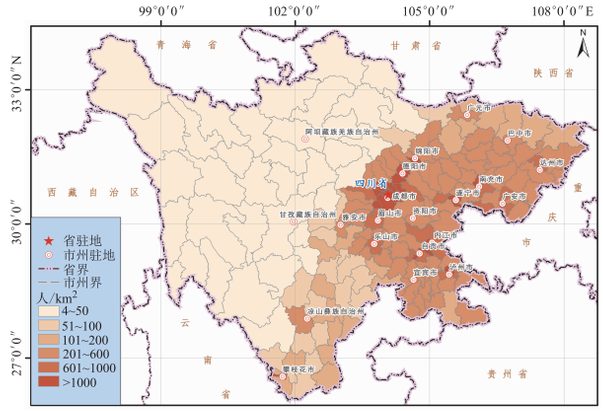


图 2　四川省人口密度分布

尺度的划分。根据第五代《中国地震动参数区划图》,西部高山及山地地区地震动峰值加速度主要为 0.4 g、0.3 g、0.2 g 等,根据基本地震动峰值加速度和基本抗震设防烈度的对应关系,该区Ⅶ度及以上设防(多为Ⅷ度),地震风险高(郭红梅等,2021);四川盆地及周边地区地震动峰值加速度主要为 0.05 g,0.1 g 等,根据基本地震动峰值加速度和基本抗震设防烈度的对应关系,该区Ⅵ度及以上设防,地震风险相对较小。通过收集历史震例数据并进行统计分析,四川发生过 4.0 级及以上地震共计 851 次(见图 3),其中西部高山及山地地区 200 次 5.0 级及以上地震(8.0 级地震 1 次,7.0 ~ 7.9 级地震 17 次,6.0 ~ 6.9 级地震 49 次,5.0 ~ 5.9 级地震 133 次),四川盆地及周边地区 108 次 5.0 级及以上地震(7.0 ~ 7.9 级地震 2 次,6.0 ~ 6.9 级地震 13 次,5.0 ~ 5.9 级地震 93 次),表明西部高山及山地地区地震频度相对较高且强度大。而震级越大,影响场范围越大,专题图内容负载越来越多,因此为清晰全面表达专题内容,有必要根据区域内不同地震的强度设计最佳显示效果的比例尺、符号和标注。

(4)交通分布分析

交通的通达程度决定着地区内部应急人员及物资流动和外援输入的时效性,直接关系着应急救灾的效率和效果(苏桂武等,2010)。四川交通路网区域差异明显(见图 4),西部高山及山地地区,交通道路单一,多为单进单出,且路网大多分布于高山峡谷之间,受地形影响较大(范开红等,2017)。四川盆地地区路网密集,交通发达,且形成闭环。当发生地震后,西部高山及山地地区道路极易中断,容易形成交通与信息孤岛,因此,针对西部高山及山地地区和四川盆地及周边地区的应急处置方案不同。在制作救援类专题图时,需充分考虑各区域交通分布及通达性,制作出区域化的专题产品。

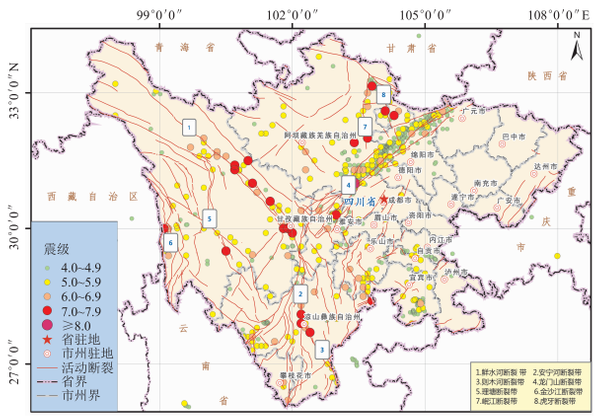


图 3　四川历史地震分布

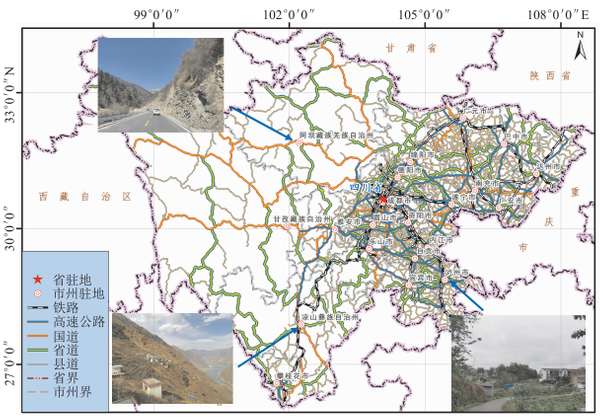


图 4　四川省交通分布

1.3　专题图产出规则

按照《破坏性地震应急专题图产出流程与制作规范(试运行)》《地震应急信息与图件服务技术规范》等

行业标准要求,A3 幅面专题图是最实用和应用最广泛的幅面,具有能够快速打印、携带方便等优点,因此,这次产品主要设计为 A3 幅面(陈文凯等,2015)。为了清晰显示专题要素,对于包含影响场的专题产品分区、分震级(不同震级下,产生的影响场范围不同),按照 1.0 级间隔的震级档设计专题产出规则(孙艳萍等,2019)。对 6.0 级以下地震,根据最佳显示效果,设计固定比例尺;对 6.0 级及以上地震,根据影响场尺寸动态设置比例尺。对于不涉及影响场的专题产品,根据分区设计固定比例尺。与此同时,研究空间要素在不同比例尺下的显示效果,设计相应的符号和标注。最终梳理出部分四川省地震应急专题图精细化产品产出规则(见表 3),形成相应的 QGIS 专题模板。

表 3　部分精细化专题图产出规则

区域		专题产品示例	要素	分级	比例尺
西部高原及山地地区	政府类	震中附近历史案例分布图(A3)	历史震例、市、县、乡行政区划界线和驻地、活动断裂	≥4.0	1:600000
		震中附近建筑抗震性能分布图(A3)	震中、市、县、乡行政区划界线和驻地、乡镇建筑结构占比、房屋抗致死性数据	≥4.0	1:400000
	武警消防	震中与主要乡镇距离分布图(A3)	震中、市、县、乡行政区划界线和驻地、道路数据	4.0~4.9	1:100000
				5.0~5.9	1:150000
				6.0~6.9	6 度圈可见
				7.0~7.9	7 度圈可见
				≥8.0	8 度圈可见
		震中人口密度分布图(A3)	震中、影响场、市、县、乡行政区划界线和驻地、人口、活动断裂	4.0~4.9	1:100000
				5.0~5.9	1:150000
				6.0~6.9	6 度圈可见
				7.0~7.9	7 度圈可见
				≥8.0	8 度圈可见
四川盆地及周边地区	政府类	震中附近历史案例分布图(A3)	历史震例、市、县、行政区划界线和驻地、活动断裂	≥4.0	1:400000
		震中附近建筑抗震性能分布图(A3)	震中、市、县、乡行政区划界线和驻地、乡镇建筑结构占比、房屋抗致死性数据	≥4.0	1:250000
	武警消防	震中与主要乡镇距离分布图(A3)	震中、市、县、乡行政区划界线和驻地	4.0~4.9	1:100000
				5.0~5.9	1:150000
				6.0~6.9	6 度圈可见
				7.0~7.9	7 度圈可见
				≥8.0	8 度圈可见
		震中人口密度分布图(A3)	震中、影响场、市、县行政区划界线和驻地、人口、活动断裂	4.0~4.9	1:100000
				5.0~5.9	1:150000
				6.0~6.9	6 度圈可见
				7.0~7.9	7 度圈可见
				≥8.0	8 度圈可见

2　基于 QGIS 自动成图设计与实现

软件采用 B/S 架构设计,通过 python 调用 QGIS 组件进行自动制图,后端通过部署 PostGIS 数据库组件和 QGIS 软件,为影响场、专题数据等基础数据的存储和处理提供管理工具,其中 QGIS 程序为 3.6 版本。本软件深入用户需求,对应急专题图进行精细化设计,通过简单的人机交互,自动匹配模板快速生成专题图(见图 5),提高了应急数据支撑保障能力。

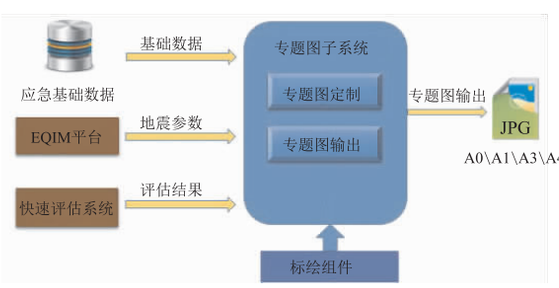


图 5　自动制图流程

软件总体架构分为:基础设施层、数据层、应用支撑层、业务应用层和用户层(见图 6)。基础设施层为程序建设的软硬件设施,包括服务器、网络安全设施和输入输出设备等;数据资源层是本程序数据的管理核心,包括地震应急基础数据库和评估结果数据库;应用支撑层是程序建设所需的软件基础平台的部署与搭建,包括数据库软件、平台开发软件等;业务应用层是基于面向服务架构

(SOA)进行设计,建设专题图模板制作、专题图分类管理、专题图模板管理、专题图手动输出、专题图自动输出和专题图发布等功能模块;用户层为专题产出服务对象,包括政府类、武警消防总队。

以长宁 6.0 级地震为例,地震发生后,系统快速获取地震三要素和评估数据,通过预先设定好的专题图产出顺序,调用专题图模板,自动产出政府类(见图 7、8)和武警消防类专题图件(见图 9、10)。由于专题产品根据不同对象的需求进行设计,更具有针对性,有助于服务对象对地震造成人员伤亡、受灾情况和应急救援作出初步预判,保障了各类专题信息高效、准确的展现于图件上。

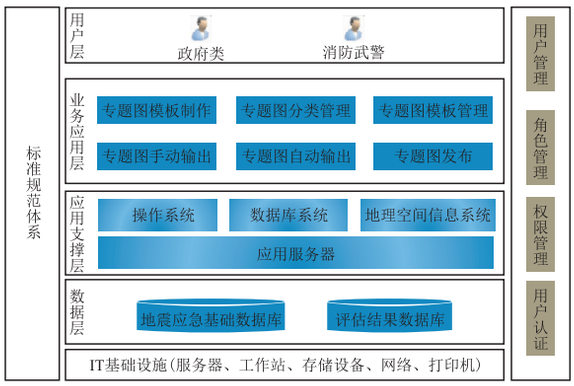
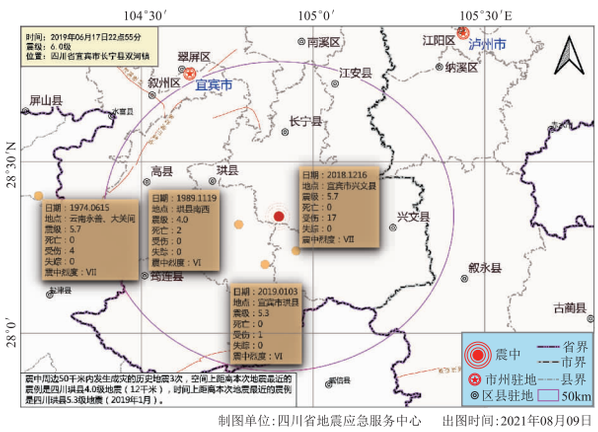
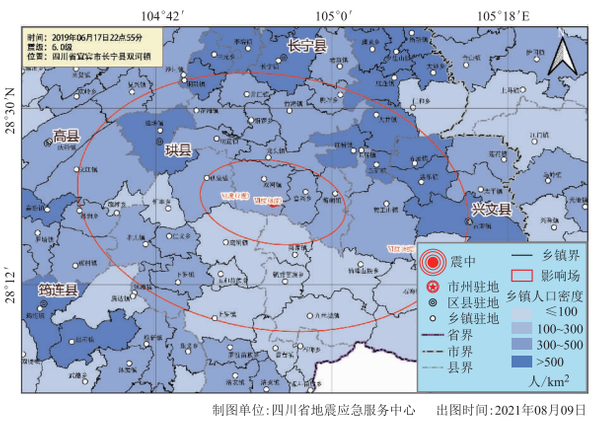


图 6　基于 QGIS 自动制图系统总体架构



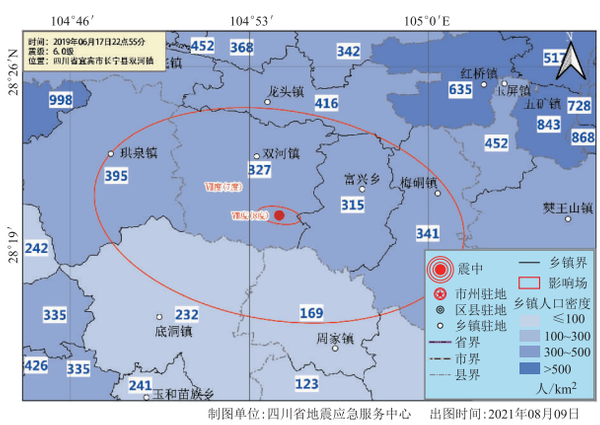
制图单位:四川省地震应急服务中心　出图时间:2021年08月09日

图 7　震中附近历史案例分布



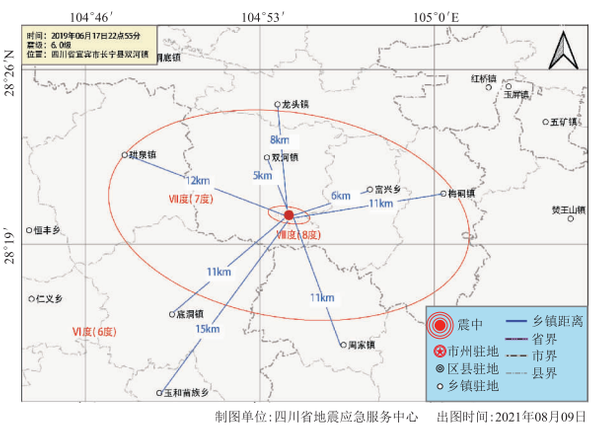
制图单位:四川省地震应急服务中心　出图时间:2021年08月09日

图 8　震区人口密度分布



制图单位:四川省地震应急服务中心　出图时间:2021年08月09日

图 9　震区乡镇人口密度分布



制图单位:四川省地震应急服务中心　出图时间:2021年08月09日

图 10　震中与主要乡镇距离分布

3　结语

本文通过对地震应急专题图精细化策略设计、自动成图设计,有效解决了专题产品单一、针对性不强等问题,提升了四川省专题图的可读性、实效性和指导性,可以在震后第一时间为政府、武警消防自动产出内容突出,标注合理的专题图件。在后续工作中将对其他行业对象和公众对象需求进行研究,进一步完善服务对象,丰富精细化产品。

参考文献

陈文凯,孙艳萍,周中红,等. 2015. 甘肃省地震应急专题图的设计与实现[J]. 地震工程学报, 37(3):884 - 900.
范开红,周志华,陈维锋. 2017. 四川地震应急准备与处置要点分析[J]. 震灾防御技术,12(4):956 - 965.
郭红梅,赵真,张莹,等. 2021. 四川道孚至川滇交界东部地区地震灾害风险特征分析与评估[J]. 自然灾害学报,30(2):208 - 216.
黄昱,胡云锋,王娜,等. 2021. QGIS 软件及其应用教程[M]. 北京:电子工业出版社,20 - 30.
李雪,李少达,杨容浩,等. 2018. 四川县域人口空间分布特征分析[J]. 地理空间信息,16(12):58 - 61.
李金香,温少妍,张琳琳,等. 2013. 新疆地震应急救援快速制图研究[J]. 高原地震,25(2):56 - 62.
苏桂武,邓砚,聂高众. 2005. 中国地震应急宏观分区的初步研究[J]. 地震地质,27(3):382—395.
孙艳萍,马小平,陈文凯,等. 2019. 甘肃地震应急专题图改进设计与研究[J]. 国际地震动态,(10):12 - 18.
魏艳旭,贾军鹏,杨凡,等. 2016. 河北省地震应急专题图模板化及快速出图技术研究[J]. 国际地震动态,(6):20 - 25.
郑川,曹彦波,李敏,等. 2016. 云南地震应急专题图模板设计与本地化软件集成应用[J]. 华南地震,36(4):71 - 77.
郑树平,杨斌,程紫燕. 2014. 地震应急专题地图快速化产出研究[J]. 山西地震,(3):38 - 40,46.
张翼,周妍,许娟,等. 2021. 基于用户需求的地震应急信息服务特征研究[J]. 震灾防御技术,16(1):211 - 219.

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
(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu　610200, China)

Abstract: The thematic map can provide the basic situation and disaster information in the disaster area in a timely and effective manner, and plays an important role in command decision of the earthquake emergency. Firstly, we analyzed the needs of the service object. Secondly, we divided output regions of the thematic map. Thirdly, we refined output rules of thematic map. Lastly, we developed QGIS automatic mapping program to rapidly output earthquake emergency thematic map drawings at local areas. So the precision of thematic map in our province will serve to promote the capacity of timeliness and precision service in earthquake emergency mapping.

Keywords: earthquake emergency; thematic map; refinement; QGIS

《四川地震》2011 ~ 2020 年载文分析

周文英,魏娅玲
(四川省地震局,四川 成都　610041)

摘　要:利用中国知网数据对《四川地震》2011 ~ 2020 年刊载论文的学科结构、基金论文、发文作者、发文机构和关键词等进行文献计量学分析,并以图、表等方式进行展示,为期刊的组稿、约稿,以及如何发展提供参考。结论和建议:期刊载文内容主要集中在地球物理学,符合办刊宗旨;作者群覆盖范围广,核心作者主要来自四川省地震局,大多为初中级职称作者,建议未来在保持现有作者群优势的前提下,争取更多优质稿件;编辑部可采用扩大宣传、约稿等方式拓展稿源。

关键词:可视化分析;《四川地震》;VOSviewer;文献计量学
中图分类号:G353　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)01 - 0030 - 06
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.01.006

《四川地震》创刊于 1977 年,是四川省地震局主办主管的期刊,刊载的论文在一定程度上反应了某段时期内的地震科研成果、地震科技能力和学术水平。VOSviewer(https://www.vosviewer.com/)是一种用于构建和可视化文献计量网络的软件工具,它可通过“网络数据”(如期刊、研究人员或个人出版物)实现科学知识图谱的绘制,展现知识领域的结构、进化和合作等关系,现已在文献主题研究分析方面得到了广泛应用(Chen et al,2021;李杰等,2019)。为进一步坚守办版人的“初心”,立足自身定位,发挥自身优势和特色,寻找突破,本文以中国知网刊载的《四川地震》数据为依据,以 VOSviewer 为主要工具分析期刊 2011 ~ 2020 年刊载论文的学科结构、基金论文、作者、机构、关键词等期刊数据的特点与变化,以此阐述期刊面临的现状,及时发现办刊过程中存在的问题,为今后选题策划、调整期刊定位、提升期刊质量和影响力提供参考。

1　数据来源和方法

1.1　数据来源

2021 年 5 月 12 日在中国知网检索 2011 ~ 2020 年《四川地震》刊载的学术论文,将选定论文的题名、作者、单位、发表时间、文献来源、关键词、第一责任人、基金项目、年、期、中图分类号、被引次数和下载次数等信息导出。

1.2　研究方法

本文采用科学计量法的方法对《四川地震》2011 ~ 2020 年刊载论文进行分析。为了减少统计误差,更加客观地反映期刊数据的变化规律,首先需要对数据进行清洗,包括数据剔除、去重和同义词合并等。对于出现 2 次及以上的同名作者的处理方法为:如果是第一作者,则依据论文首页的作者简介信息进行判别;如果不是第一作者,则结合作者所在机构和合著作者出现的情况进行判别。由于同名发文机构存在不一致的情况,如“四川省地震局成都地震基准台”“成都地震基准台”统一修订为“四川省地震局成都地震基准台”,从而减少发文机构的统计误差。由于关键词存在语义异构的情况,即同一概念的不同表述,通过替换方式对关键词进行人工整合,如“九寨沟地震”“九寨沟 7.0 级地震”“四川九寨沟 7.0 级地震”“四川九寨 2017 年 8 月 8 日 M_S7.0 级地震”均表述的是 2017 年 8 月 8 日发生在四川九寨沟的 7.0 级地震。最后利用 excel 软件对获取的数据进行统计分析,主要包括载文量分析、学科结构分析、基金论文分析和第一作者分析等;利用

收稿日期:2021 - 09 - 12;**修回日期**:2021 - 11 - 23
作者简介:周文英(1988 -),女,四川宜宾人,工程师,编辑,主要从事《四川地震》编辑工作,E - mail:zhouwenying10@163.com.
通讯作者:魏娅玲(1979 -),女,四川南充人,高级工程师,主要从事《四川地震》编辑工作,E - mail:785956210@qq.com.

VOSviewer V1. 6. 16 进行核心作者及署名机构进行合作网络分析,对关键词词频和共词进行聚类分析。VOSviewer 生成的可视化地图主要基于大小、距离和颜色三个特征进行解释。节点表示特定元素,如作者、国家、地区和关键字,节点的大小表示元素的数量或频率。阈值越大,发生次数就越多,阈值越小,发生次数就越少。节点之间的链接表示它们是相连的,两个术语之间的距离表示关系的亲和力和稀疏性。

2　结果与分析

2.1　学科结构分析

表 1 归纳了《四川地震》2011 ~ 2020 年载文内容的学科结构,数据表明期刊载文涵盖 7 个一级学科,18 个二级学科。在一级学科中,天文学、地球科学类论文数量最多,达 379 篇,占总载文量的 88. 97% ,其次为工业技术类,论文数量为 34 篇,占总载文量的 8% ;在二级学科中,地球物理学类的论文数量最多,达 353 篇,占总载文量的 82. 86% ,其次为地质学类和自动化技术、计算机技术类,论文数量均为 12 篇,均占总载文量的 2. 82% 。这说明《四川地震》刊载论文具有明显的地球物理学学科特点,符合期刊的办刊宗旨和发展定位。

表 1　《四川地震》2011 ~ 2020 年载文的学科分布

一级学科	二级学科	论文数量/篇	占比/%	一级学科	二级学科	论文数量/篇	占比/%
天文学、地球科学	测绘学	11	2.58	文化、科学、教育、体育	信息与知识传播	2	0.47
	地球物理学	353	82.86		科学、科学研究	2	0.47
	气象学	2	0.47	历史、地理	考古学	1	0.23
	地质学	12	2.82	环境科学、安全科学	灾害及其防治	2	0.47
	自然地理学	1	0.23	政治、法律	中国政治	1	0.23
工业技术	自动化技术、计算机技术	12	2.82		各国政治	1	0.23
	水利工程	5	1.17		法律	3	0.70
	无线电电子学、电信技术	7	1.64	语言、文字	语言学	1	0.23
	建筑科学	9	2.11				
	机械、仪表工艺	1	0.23				

2.2　基金论文分析

基金论文数在一定程度上反映了期刊各学科稿件的质量,能够为编辑部有效控制文章质量提供一定的参考。2011 ~ 2020 年的基金论文数和基金论文比(见图 1)在稳步提高。资助的基金主要为国家自然基金,中国地震局基本科研业务费,中国地震局地震科技星火计划项目,中国地震局地震监测、预测和科研三结合课题,四川省地震局地震科技专项等。其中四川省地震局科技专项支持的论文数量最多,这与四川省地震局从 2011 年开始实施地震科技专项计划息息相关(张永久等,2017)。

2.3　作者分析

《四川地震》2011 ~ 2020 年共刊载论文 387 篇,单篇论文的作者人数在 1 ~ 9 人,其中 62 篇为独立作者论文,325 篇为合著论文。在合著论文中,3 位作者合著的论文数量最多,有 86 篇,占总载文量的 22. 22% 。这说明随着研究的不断深入,学科间的相互渗透更加明显,协作完成科研工作已成为发展趋势。以下将按第一作者和所有署名作者两种方式进行统计分析,并采用文献计量著名学者普赖斯(罗式胜,1994)提出的计算公式 $N = 0.749 \times n_{max}^{1/2}$(其中 N 为论文篇数,取整数;n_{max} 为所统计年限发文量最多的作者的发文数)计算该刊的核心作者群。

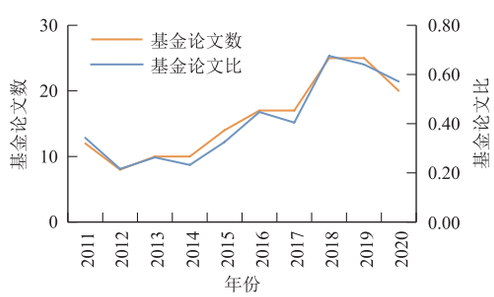


图 1　《四川地震》2011 ~ 2020 年基金论文

(1)署名作者分析

在不区分是否为第一作者的情况下,《四川地震》的署名作者共计 739 位,所有合著论文的每位作者均

记为发文 1 篇，总计发文量为 1337 篇。仅发表 1 篇论文的署名作者为 503 位，占所有署名作者的 68.06%；发表 2 篇论文的署名作者为 95 位，占总署名作者的 12.86%；发表 3 篇论文的署名作者为 57 位，占总署名作者的 7.71%；发表 4 篇论文的署名作者为 36 位，占总署名作者的 4.87%；发表 5 ~ 10 篇的作者为 45 位，占总署名作者的 6.09%；发表 11 ~ 15 篇的作者为 3 位，占总署名作者的 0.41%。《四川地震》的作者最多发文量为 15 篇，从而计算得到的核心作者候选人发文量为 3 篇。经统计《四川地震》署名的核心作者共有 141 位，占总署名作者的 19.08%，核心作者发文 643 篇，占总刊文的 48.09%。

利用 VOSviewer 软件对核心作者进行作者共现分析（见图 2），发现有 5 位核心作者与其他作者没有联系，有 7 个网络是由两位及以上核心作者组成的，最大的网络是由蔡一川、吴朋、黄春梅、张永久、宴金旭、刘仕锦和林洋等为核心的 10 个聚类 110 位作者组成，这些作者主要来自四川省地震局。从作者发文的平均时间来看，宴金旭、蔡一川、魏娅玲和黄春梅（并列）排在各作者的前三位，平均发文时间依次为 2 篇/年、1.7 篇/年和 1.5 篇/年。对作者论文的总被引频次和总下载频次进行统计，赵晶、亢川川、李建亮、何玉林和李福海等作者的论文总被引频次和总下载次数均排在前列，其中总被引频次均超过 100 次，总下载次数均大于 1000 次，属于《四川地震》的高影响力作者。进一步分析发现这 4 位作者同是《结构抗震设计时程分析法的分析研究》（2011 年）的作者，该论文对我国抗震设计规范的演变过程进行了回顾，这可能是 2008 年汶川地震后学术界持续关注抗震设计的原因。

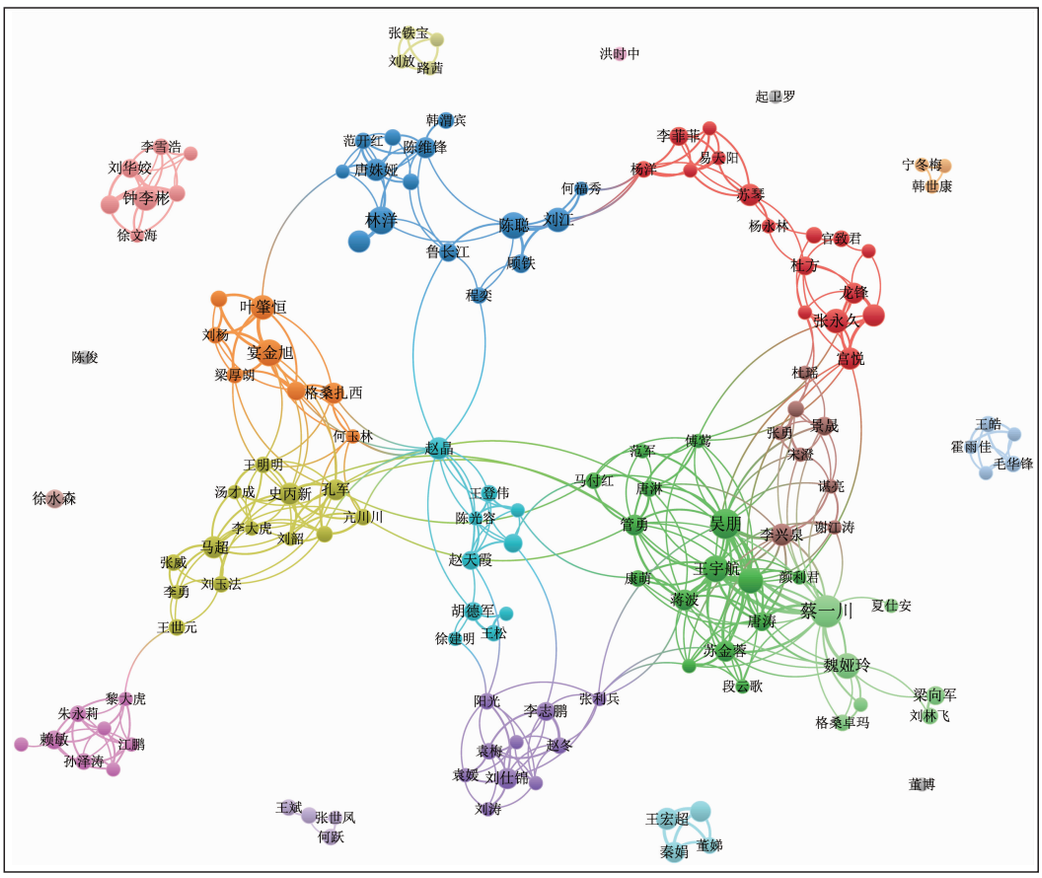


图 2　核心作者（作者发文量≥3 篇）的共现网络

（2）第一作者分析

2011 ~ 2020 年《四川地震》共有 275 位第一作者，仅发表 1 篇论文的作者有 205 位，占第一作者人数的 74.55%；发表 2 篇论文的有 44 位，占第一作者人数的 16.00%；发表 3 篇论文的作者有 15 位，占第一作者人数的 5.45%；发表 4 篇论文的作者有 8 位，占第一作者人数的 2.91%；发表 5 篇论文的作者仅有 1 位，占第一作者人数的 0.36%；发表 6 篇论文的作者有 2 位，占第一作者人数的 0.73%。对发文量排名前三位作者的机构（见表 2）进行分析，发现仅有 1 位作者不是来四川省地震局，其余的 10 位作者均来自四川省地震局。

表 2　《四川地震》第一作者发文量 Top3

序号	姓名	发文量/篇	机构	总被引	总下载量	序号	姓名	发文量/篇	机构	总被引	总下载量
1	张永久	6	四川省地震局	5	293	7	李志鹏	4	四川省地震局	11	162
2	魏娅玲	6	四川省地震局	5	324	8	史丙新	4	四川省地震局	9	482
3	王宇航	5	四川省地震局	4	221	9	王松	4	四川省地震局	3	282
4	陈聪	4	四川省地震局	2	255	10	王赞军	4	重庆市地震局	14	604
5	程万正	4	四川省地震局	14	435	11	张颖	4	四川省地震局	2	229
6	韩渭宾	4	四川省地震局	8	309						

按第一作者计算出《四川地震》的核心作者候选人发文量为 2 篇,经统计核心作者共计 70 位,占第一作者人数的 25.45%;核心作者共发表论文 182 篇,占总发文量的 47.03%。对第一作者的职称情况进行统计(见图 3),作者为初级职称的论文数为 68 篇,占总论文数的 17.57%;作者为中级职称的论文数为 190 篇,占总论文数的 49.10%;作者为高级职称的论文数为 89 篇,占总论文数的 23.00%;作者为在读学生的论文数为 12 篇,占总论文数的 3.10%;作者职称不详的为 28 篇,占总论文数的 7.24%。从图 3 可知期刊 2011 ~ 2020 年中级职称的作者比例在增加,高级职称的作者比例在减少,这说明期刊对高职称作者的吸引力在逐渐减弱。

通过对第一作者和署名作者分析,发现期刊的高产作者全部来自川渝地区,且绝大部分来自四川省地震局,说明期刊得到了主办主管单位内部人员的大力支持。无论是按署名作者统计,还是按第一作者统计,期刊核心作者群的占比均不到 30%,核心作者的发文量占总发文量的比重均不到 50%,这与普赖斯定律"统计年限内核心作者发表论文数达到 50%"(罗式胜,1994)的标准还有差距,为此有必要进一步增加核心作者的人数,提高核心作者的论文产出。

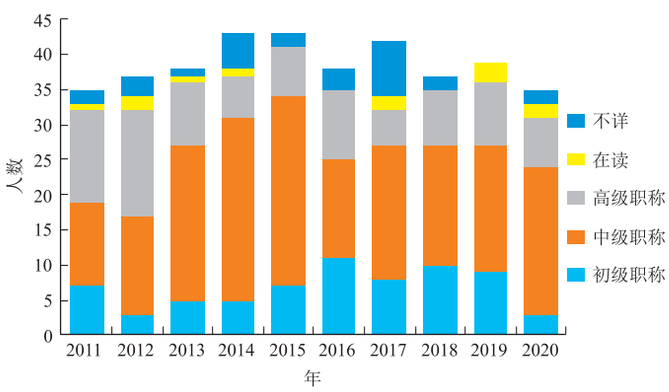


图 3　《四川地震》2011 ~ 2020 年第一作者的职称统计

2.4　机构分析

《四川地震》2011 ~ 2020 年共有 210 个机构发表论文,所有合著论文的每个机构均记为发文 1 篇,总计发文量为 528 篇。这些机构可分为地震系统、防震减灾局、高校、研究所(含国家重点实验室)、公司和其他事业单位,其中地震系统为发文的主力军,占总发文量的 84.42%。

各研究机构之间的共现网络如图 4,在网络中形成了以四川省地震局为核心的主要群落,以河北省地震局、成都市防震减灾局和江苏省溧阳地震台为核心的次要群落。机构之间的联系体现了机构之间的合作关系,四川省地震局与其他 48 个机构构建了广泛的合作关系,主要包括云南省地震局、安徽省地震局和重庆市地震局等。从机构的发文量来看,四川省地震局的发文量最多,发文量为 151 篇,占总发文量的 28.60%,其次为发文量在 10 篇以上的云南省地震局、安徽省地震局和重庆市地震局。

2.5　关键词分析

利用作者提供的关键词对《四川地震》2011 ~ 2020 年的关键词词频和共词进行分析,进而获取期刊的研究主题态势。该刊 2011 ~ 2020 年词频大于 10 次的关键词有干扰分析(22 次)、汶川地震(16 次)、九寨沟地震(12 次)、芦山地震(12 次)、地震应急(11 次)、防震减灾(10 次)和震源深度(10 次)。这说明期刊刊载干扰分析的论文较多(格桑卓玛等,2014),且九寨沟地震和芦山地震两个关键词词频较高的原因可能与期刊编辑部组织的九寨沟地震和芦山"4 · 20"7.0 级强烈地震学术论文专辑有一定关系。根据这些关键词的共现强度,可将其划分到不同的聚类中,共形成 15 个聚类(见图 5)。从图 5 中可以看出,该刊主要围绕四川区域内近年来发生的"汶川地震""芦山地震"和"九寨沟地震"为研究对象,研究内容主要包括地震观测数据及其干扰分析,地震定位及震源机制测定,地震应急相关的技术和方法,围绕防震减灾相关的科普、舆情及技术研究。

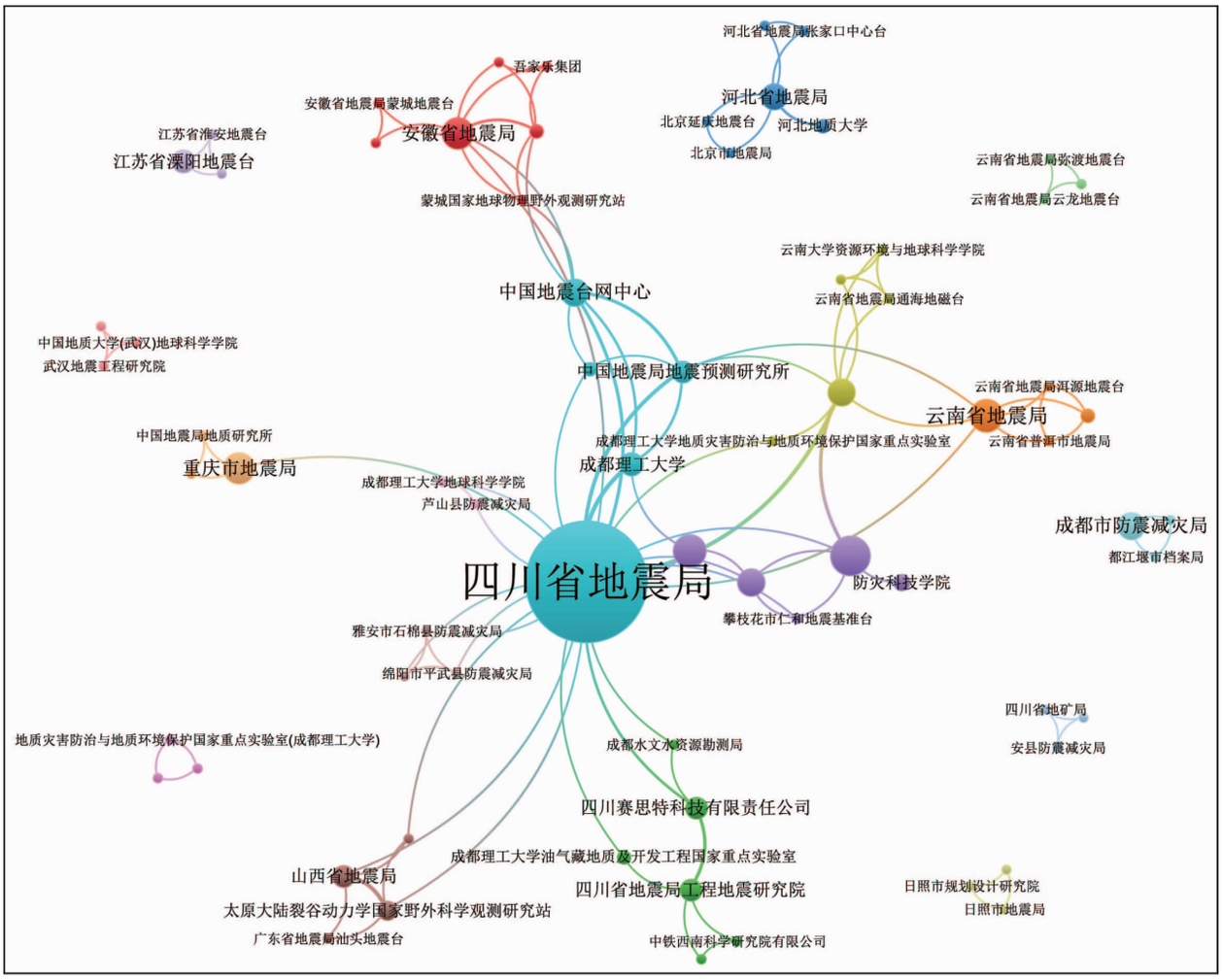


图 4　《四川地震》2011 ~ 2020 年发文机构的共现网络

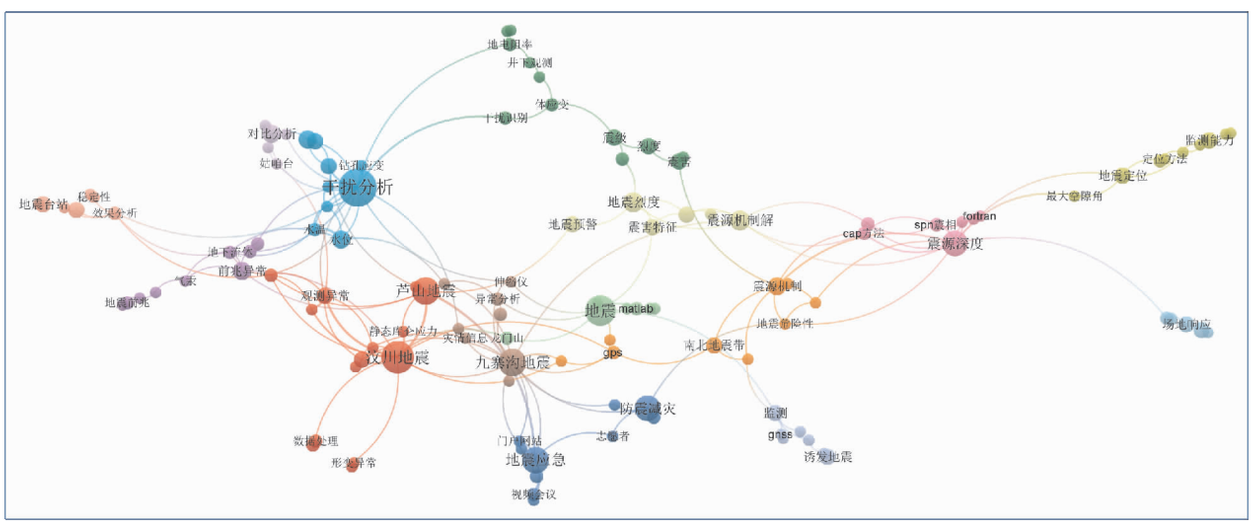


图 5　关键词的共现网络

3　结论和建议

本文通过定性和定量相结合的方法对《四川地震》2011 ~ 2020 年的学科结构、基金论文、论文作者、发文

机构以及关键词进行了分析,并以图、表的方式进行了展示,得出期刊载文内容主要集中在地球物理学,作者群覆盖范围广,核心作者主要来自四川省地震局,大多为初中级职称作者。

办刊是一项长期持续的工作,高水平的专业作者是高质量稿源的基础。任何期刊都应该注重发展自己的作者队伍,同时还要善于从读者中发现潜在的作者,尽可能地为作者提供帮助,有意识、有步骤地培养一批有相当学术水平和研究能力的专业作者队伍,形成自有资源优势,这样才能在"百花齐放、百鸟争鸣"的时代走出一条适合自己的有特色的发展之路。(1)在保持现有优势作者群的基础上,可进一步打破地域限制,采用"走出去"战略,扩大宣传,制定相应的激励机制,吸引其他地区、其他机构的作者投稿。如通过有目的性参加学术会议,充分利用网站、微信、作者 QQ 群等平台,制作宣传册等方式扩大期刊宣传,提高期刊的知名度,争取更多区域和更多单位的作者成为核心作者。(2)多途径争取优质稿源,提高期刊竞争力(吴领叶,2018),如与基金项目负责人进行有针对性的约稿,结合地震科学科研活动的重大事件、突发地震事件、不同研究主题等组织专稿、专栏或专刊,向优秀作者群约其最新学术研究理论成果或热点综述。(3)建设期刊一体化稿件处理系统,打造融合的开放"共享 - 出版 - 传播"平台,提升作者、读者与期刊的"黏性",提高期刊的服务水平。

参考文献

格桑卓玛,吴江,陈秀波. 2014.《四川地震》期刊 2001 年至 2010 年质量分析[J]. 山西地震,(4):43 - 45.

李杰,冯长根,甘强. 2019. 汶川地震十年国际研究的合作与主题态势[J]. 中国安全生产科学技术, 15(3): 114 - 121.

罗式胜. 1994. 文献计量学概论[M]. 广州:中山大学出版社.

吴领叶. 2018. 依靠特约专稿和精品专刊切实提升中文科技期刊学术影响力[J]. 科技与出版, 37(9): 138 - 141.

张永久, 徐志勇. 2017. 四川省地震局地震科技专项计划实施概况浅析[J]. 四川地震, (4):20 - 22.

Chen Y M, Cheng L Y, Lian R N, et al. 2021. COVID - 19 vaccine research focusses on safety, efficacy, immunoinformatics, and vaccine production and delivery: a bibliometric analysis based on VOSviewer[J], BioScience Trends Advance Publication, 1 - 10. DOI: 10.5582/bst.2021.01061.

Bibliometric Analysis of Articles Published in Earthquake Research in Sichuan from 2011 to 2020

ZHOU Wenying, WEI Yaling

(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu　610041, China)

Abstract: This paper used CNKI data to make bibliometric analysis on the papers published in Earthquake Research in Sichuan from 2011 to 2020. The analyzed contents are subject structure, funding papers, authors, institutions and keywords, which are illustrated in graphs and tables. Conclusions and suggestions are listed as: the papers published in the journal were mainly focused on geophysics, which is consistent with the scope of the journal. The authors covered a wide range, whereas the core authors mainly have junior and intermediate titles. We suggest that it is better to attract more excellent manuscripts in future when maintaining submissions of the existing authors. The editorial office can expand the source of manuscripts by expanding publicity and paper-invited contributions.

Keywords: visualized analysis; Earthquake Research in Sichuan; VOSviewer; bibliometric analysis

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
(广东省地质环境监测总站,广东 广州　510510)

摘　要:对原 GNSS 变形监测终端进行改造升级,研发了多星多频 GNSS 高精度变形监测终端,研究了 GNSS 本地解算技术,结合 4G 全网通、短距离通信技术和北斗短报文等多模通信融合技术,解决野外复杂环境下现场监测终端不能稳定解算及北斗 GNSS 原始数据无法完整传输至服务器等问题,并将阵列式位移计应用于清远市阳山县太平镇太平村滑坡隐患,实现对滑坡的地表、地下实时动态形变监测。结果表明:GNSS 地表位移监测相对于原有激光地表位移监测精度更高,数据更稳定可靠,受外在复杂环境的干扰影响更少,能较为准确地捕捉滑坡体的运动状态,并对险情及时发出预警。监测数据显示,太平村滑坡体后缘较为稳定,前缘呈现较大变形,出现局部滑动,在强降雨条件下再次发生局部滑动的可能性较大。

关键词:广东省;复杂环境;滑坡形变;监测预警;北斗 GNSS
中图分类号:P228　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)01 - 0036 - 07
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.01.007

广东省地处大陆东南沿海,热带风暴(台风)频繁发生,地貌类型复杂,丘陵山地多,地势起伏大,地形切割强烈,地质构造和岩浆活动频繁,地质环境脆弱,是我国十二个地质灾害多发省份之一(方朝丰,2018)。随着广东经济高速发展,人类工程活动日趋频繁。粤东西北地形多为中、低山和丘陵区,人多地少,居民建房多依山削坡而建,人为造成崩塌、滑坡隐患引发灾难,地质灾害易发多发,地质灾害防治形势严峻。而地质灾害防治重在“防”,大量实践已经证明,对地质灾害进行实时监测,发现险情及时预警是最为有效地避免或减轻因地质灾害造成人员伤亡或经济损失的手段之一。因此研发敏感度高、精度高和稳定性强的传感器,并根据滑坡体活动特征,科学布设传感器,通过实时的信息传输,最大限度对可能发生的滑坡提前预警预报就显得尤为重要了,为避险决策提供技术支持,最大限度保障人民群众生命财产安全。

北斗卫星导航定位技术在地质灾害监测方面的应用越来越广泛,但也逐渐显现出一些亟待解决问题,例如,在有山体或树木遮挡(遮挡指 GNSS 天线一侧仰角达 85°,另一侧仰角达 45°),雷电及多雨等复杂环境下,解算精度还存在不稳定现象(刘悦等,2013);监测点卫星原始数据要同步传输到后台才能进行高精度解算,这需要依托宽带宽、流量大的数据网络的支持,但对于边远山区网络信号较弱的地方无法适用(曹阳威等,2016)。目前的滑坡监测往往重地表位移监测,而忽视地下深部监测,不能很好地掌握整个滑坡体的运动特征,且地表监测数据常常因遮挡、信号不稳定或台风暴雨等野外复杂环境的影响存在不稳定或缺失的现象,仅靠地表数据不能很好地实现对地质灾害隐患的实时、准确、可靠监测。因此,如何突破桎梏,寻求新的滑坡变形监测技术对于今后的滑坡治理来说至关重要(甘泉宏,2018)。本研究通过多模全频北斗 GNSS 高精度解算算法,解决复杂环境下监测精度差和数据稳定性差的问题,通过高精度变形监测终端采用 4G 全网通、短距离通信技术、北斗短报文等多模通信融合技术,实现多星多频本地解算,解决原有解算需要大流量传输的问题,实现在有高山、树叶遮挡和移动网络信号不稳定等复杂环境下,保障数据的完整性,同时提高终端解算能力,并将阵列式位移计应用在有地质灾害隐患的深部变形监测中。选择清远市阳山县太平镇太平村滑坡隐患点作为研究区域,通过布设一套北斗 GNSS 监测系统和阵列式位移计监测设备,对地表、地下形变

收稿日期:2021 - 07 - 07;**修回日期**:2021 - 08 - 03
基金项目:2020 年度广东省国土科技项目(编号:GDZRZYKJ2020002).
作者简介:李秀娟(1984 -),女,硕士,工程师,研究方向为灾害地质、环境地质. E - mail:277830464@qq.com.

进行连续实时动态监测,并结合三维倾斜摄影数据,构建动态实景三维监测平台,实现监测数据实时获取、云端综合处理、多样化图表展示、灾害预警预报等功能,为防灾减灾工作决策提供更直观、更科学的手段。

1　监测点概况

1.1　监测点选取

经过实地踏勘及综合分析,最终选取粤北的清远市阳山县太平镇太平村滑坡作为研究区域,该区域环境条件复杂且变形迹象明显。研究区无法获取市电、汛期多雨且连续 1 周多阴雨和雷电等极端气候条件,观测点位多被山体或树木遮挡,监测设备供电条件差,系统解算很难获得模糊度固定,从而造成设备异常现象频繁。2014 年研究区北西段因强降雨诱发了滑坡灾害,形成多级阶梯,东段滑坡前缘已触及坡脚房屋,变形迹象明显,目前已做挡土墙、搅拌桩支护和排水沟;另一方面该滑坡为 2016 年第二批省级重大地质灾害隐患点自动化专业监测建设点,监测要素包括雨量、表面位移、含水率,具有一定的工作基础,可与本研究形成对比分析。同时该区域潜在危害性较大,属于威胁 100 人以上的隐患点,潜在经济损失 650 万元。

1.2　监测点地质环境条件

清远市阳山县太平镇太平村滑坡体位于下坝自然村东北面山体斜坡上,年平均降水量为 1 850 mm,2014 年 5 月下旬,当地发生持续数日的持续性强降雨,引发了滑坡地质灾害。滑坡坡脚地面高程 104.34 ~ 106.43 m,坡顶地面高程 149.54 ~ 160.03 m,相对高差 45.20 ~ 53.60 m;地形坡度为 35° ~ 55°。场地地表上覆土层为第四系坡积粉质粘土 Q^{dl} 及第四系残积粘土 Q^{el},下伏为二叠系水足塘组全风化炭质页岩、碳酸盐岩为基岩,全风化炭质页岩与石灰岩呈整合接触。太平村滑坡东北面地势较高,西南面(下坝村)地势较低,地表水主要是雨季形成沿山坡而下并向低凹山涧沟谷地形集中排泄的雨水。由于山坡集雨面积大,暴雨时形成短暂洪流。地下水主要见于山坡脚下,民房后面有泉水,泉水常年流淌不断。在粘土与全风化炭质页岩层之间出现明显漏水现象。

1.3　监测点位分布

监测 1 号点(如图 1)布置在滑坡体后缘裂缝带附近,与已有激光位移自动监测可形成对比监测,其北面为山体,该监测点位的东和南都有着大片的树林。监测 2 号点布置于滑坡体左侧滑壁靠近前缘处,该处变形明显,可实时监测主体结构滑动状况,同时该监测点位的东、南、西南、东北都有着大片的树林。监测基点位于滑坡体范围外靠近后缘的山顶上,地势相对较为平坦,且距离滑坡体 140 m,既不在滑坡体上也不在滑坡影响范围内,地基稳定,符合基站的建设选址要求。在 GNSS 监测 1 号点附近安装阵列式位移计。

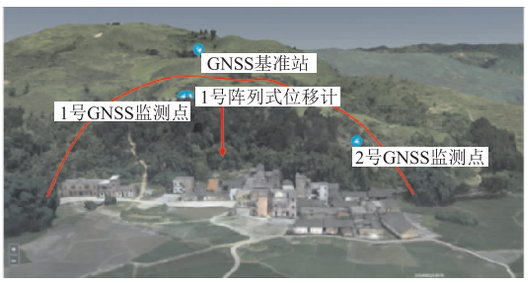


图 1　基准站和监测点位分布图

2　关键技术

2.1　本地解算算法

本地解算是指基准站以及监测站在本地通讯组网,监测数据在本地通讯的小区域内进行数据实时传输,在接收机内部进行实时解算,不需要将数据传输至远程服务器。解算过程中产生的卫星端的卫星钟差、轨道误差、硬件延迟等误差可在监测站接收基准站的差分信息后通过双差组合观测值消除;接收机相位中心误差可通过指定的天线相位中心模型进行改正,相位中心漂移用相同类型的天线以及指向同一方向进一步避免。在随机模型方面,通过方差分量估计确定不同系统的权比,本文通过大量的经验数据确定不同类型卫星的权比。

复杂环境下的大高差数据分析中,双差观测虽然可以削弱大部分对流层延迟,但是不同测站的气象条件不一样,特别是大高差情形下更为差异化,由于对流层短时间内没有太大的变化,因此对于残余的对流层延

迟采取分段估计的方式予以消除。另外在组建双差观测值模型之前,对基准站和监测站的观测数据进行数据预处理。根据监测站以及参考站的位置和模糊度先验信息,对相位周跳进行实时探测以及相应的修复,从而获取干净的载波相位观测值,通过干净的观测值组建双差观测模型。对于不能修复的载波相位观测值或者遗漏的小周跳和粗差,将在抗差估计过程中通过相对检验和绝对检验的方式予以重置和降权。

通过多路径误差改正模块进一步削弱多路径误差,从而组建更为精准的双差误差观测模型,再对观测模型对应的误差方程进行线性化后,通过参数估计模块,可以实时估计当前历元监测站的位置、以及模糊度浮点解信息。通过模糊度浮点解信息以及相应的基线长约束,可建立载波相位模糊度搜索空间,通过 PARLAMBDA 技术筛选最优的模糊度子集信息既可以实现更高效的单历元固定模糊度,又可以减少本地解算接收机的运算资源。根据固定的模糊度进一步约束浮点解从而得到位置固定解,最后在计算每个观测卫星的观测值残差,进一步更新当前本地接收机的多路径误差改正值数据库。

本地解算模块包括原始卫星数据以及差分电文的实时解码模块,周跳探测及其修复技术数据预处理模块,较为稳健的抗差滤波参数估计模块,多路径误差削弱技术模块等,从而保证实时监测中滤波解算的精度、稳定性及其可靠性。将本地解算算法封装为库函数,并提供相应的应用接口,便于嵌入式系统的调用和解算,算法的具体流程如图 2。

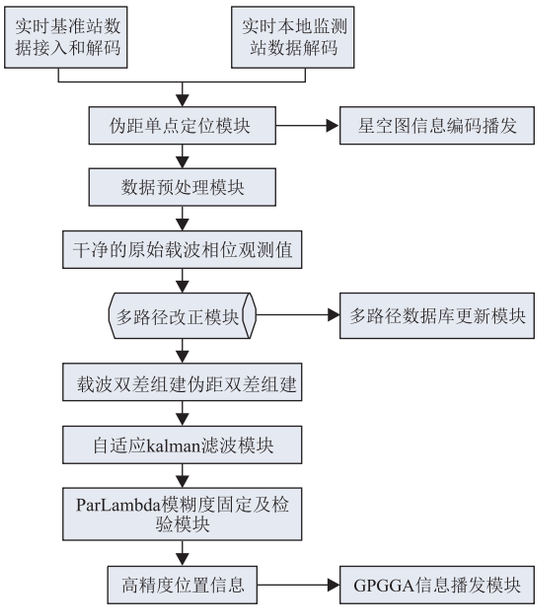


图 2　本地解算主要模块框架流程图

2.2　GNSS 高精度变形监测终端

本研究对原有高精度变形监测终端及其相关配件进行了升级,升级前后的变形监测终端配置见表 1。本研究 GNSS 高精度变形监测终端程序包含有 GNSS 天线、电源无缝切换、本地通信和 4G 全网通通信 4 个关键模块。

表 1　变形监测终端升级前后对比

对比项	升级前变形监测终端(VNet8)	升级后变形监测终端(MS302)
系统	Linux	Linux
硬件平台	ARM926EJ-S 400 MHz	A8 1 000 MHz
交互方式	指示灯 + 按键/WEB 服务器/远程控制	OLED 液晶 + 指示灯 + 按键/WEB 服务器/远程控制
GNSS 卫星追踪	三星七频	四星十频
存储	1GB + 外部移动存储器	64GB + TF 存储卡 + 外部移动存储器
通信模式	3G 模块、WiFi、LAN	4G 全网通模块、WiFi、LAN
解算模式	服务器计算模式	服务器计算模式 + 本地解算模式
本地通信	不支持	支持
外置北斗短报文	不支持	支持
内置电池	无	支持,7.4/12 500 mAh
防护等级	IP65	IP68

(1)GNSS 天线采用自主研发的全频段外挂天线,该天线采用了空气贴片、高低频共面结构设计与容性加载技术,通过研制小型化监测型 GNSS 全频段高精度射频天线,达到拓宽天线工作和轴比带宽以及抗多路径干扰能力,实现对北斗/GNSS 的全频接收,解决复杂环境下信号追踪稳定性问题。

(2)系统电源有外部电源供电、以太网供电和内部电池供电三种,内部电池可与以太网电源、外部电源进行切换,选用的电源通路控制器是 LTC4414EMS8,LTC4414EMS8 控制一个外部 P 通道 MOSFET,造就一种用于电源切换的近理想型二极管功能,实现了多个电源的高效“或”操作(图 3),旨在延长电池的使用寿命和减少自发热。导通时,MOSFET 两端的压降通常为 20 mV。

(3)本地通信采用基于 Lora 和数传电台技术相结合的通信方式,形成适用于地质灾害监测本地解算系统监测点低功耗硬件的本地通信,满足地质灾害监测本地解算系统监测点对硬件通信方案的功耗、速率、通信距离、抗干扰能力和自组网的要求。

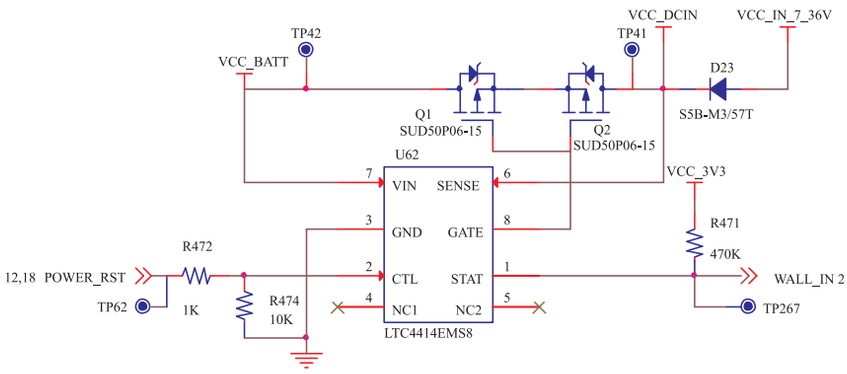


图 3　LTC4414EMS8 电源切换电路

(4)移动网络通信主要用于终端的远程控制和数据传输,网络的稳定性和可靠性尤为重要。本研究终端设备采用 4G 全网通通信模块,该模块是一款新的基于 LTE CAT4 的通信模块,工作温度范围可达 -40 ~ 85 ℃,且在自动切换模式下,可实现 4G/3G/2G 的无缝切换,从而使得终端继承模块该功能达到通信网络无缝切换的目的。

2.3　阵列式位移计监测

本研究采用国内自主研发的 ADM(Array Displacement Meter)阵列位移计(表 2),ADM 阵列位移计使用微机电加速度式传感器,通过加速度计测量重力加速度在不同轴向上的数据来反映出对应轴与重力方向的角度,通过角度的变化计算出对应的长度杆的位移量。采用自适应位移累加算法与智能识别起算点异常变动算法,对传感器数据进行了智能平滑滤波,保证数据的稳定与可靠性。设备采用 4G 全网通的网络传输,完全覆盖了各运营商的 4G/3G/2G 网络,数据传输稳定可靠。充分考虑旋转角校正,解决了设备初安装扭角与后期监测期间因为受力不均发生旋转造成的误差问题,完全不需要其他辅助传感器,通过稳定可靠的算法就能进行前期扭角与后期旋转的误差校正,这是目前市面上其他同类型监测产品无法比拟的,在这方面处于领先水平。

表 2　ADM 阵列位移计性能参数

指标	参数	指标	参数	指标	参数
工作方式	MEMS 微机电加速度式	抗扭转校正精度	优于 ± 1°	工作环境	-40 ~ 60 ℃(湿度≤95%)
量测方向	3 维度(X、Y、Z 三向)	温度测量精度	优于 ± 0.2°	直径规格	25 mm(最大处)
角度量程	0 ~ 360°	温度记录	实时温度记录(每节)	磁场干扰	没有影响
角度分辨率	优于 ± 0.000 3°(±1.08″)(±0.000 005 rad)	采集频率	常规最高 1 秒/次	电场干扰	没有影响
位移分辨率	优于 0.01 mm@500 mm	电气功耗	DC12V、3.2 mA/节点	形变轨迹	形变轨迹实时回放
系统稳定性	优于 ± 0.5 mm(32 m)	抗拉保证	550 kgf	长度规格	单节 0.5 m 或 1 m 可选,总长度定制
角度测量精度	优于(sinθ):0.01% FS	防水保证	水下 200 m(2 MPa)		

2.4　三维倾斜摄影

利用无人机在滑坡航测数据采集的倾斜摄影数据,航测数据处理后,产出各滑坡的实景三维模型 OSGB 格式数据,将倾斜摄影 OSGB 数据转成 Cesium 的 3DTiles 格式,利用开源地图引擎 Cesium 实现模型的加载和可视化。

3　监测结果分析

经历一个完整水文年后,系统整体运行正常、平稳可靠、实时性高,在汛期及高温天气等特殊气候条件下未受干扰,能够实时反馈坡体内部的受力变化,形成对地质灾害隐患的表面、深部一体化监测。

3.1　太平镇太平村滑坡 1 号监测点

阳山县太平镇太平村滑坡 1 号监测点位于滑坡体后缘裂缝带附近,该监测点水平位移在一个水文年内变化量较小,累计变形量在 10 mm 上下波动。1 号监测点阵列式位移计监测成果如图 4 至图 7 所示。1 号监测点深部位移整体变化较小,位移主要变化发生在表层。最大累计变形量 X 方向为(滑动方向)地下 1 m 位

置 3.30 mm，*Y* 方向地下 16 m 位置 3.56 mm，变化时间主要在汛期的 3 ~ 7 月，说明该部位目前较为稳定。1 号监测点处激光位移监测到的表面累计位移为 3 mm 左右，变化趋势不明显。

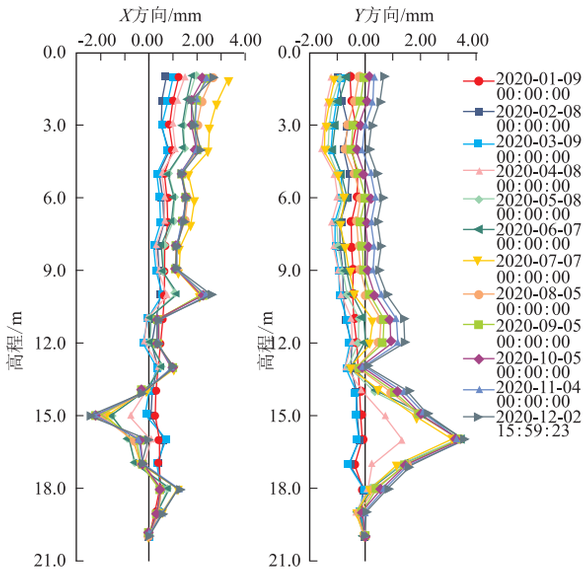


图 4　太平村滑坡 1 号监测点阵列式位移计 *XY* 方向累计位移

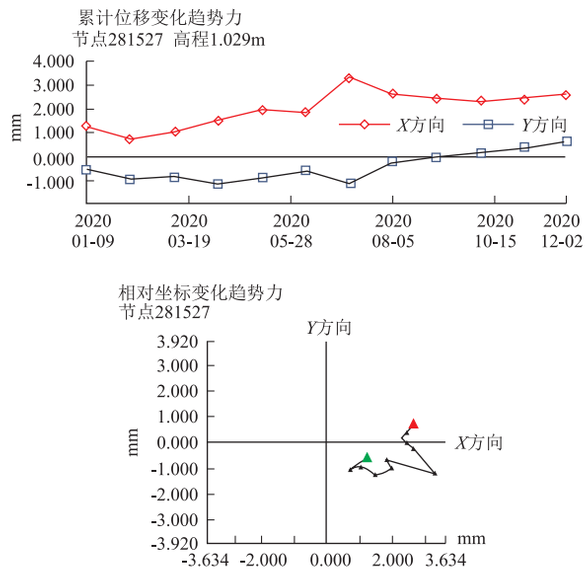


图 5　太平村滑坡 1 号监测点 1 m 深度 *XY* 方向位移变化趋势图

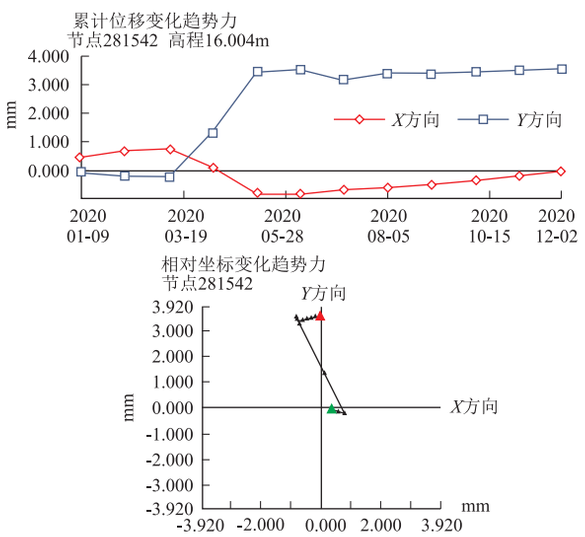


图 6　太平村滑坡 1 号监测点 16 m 深度位移变化趋势图

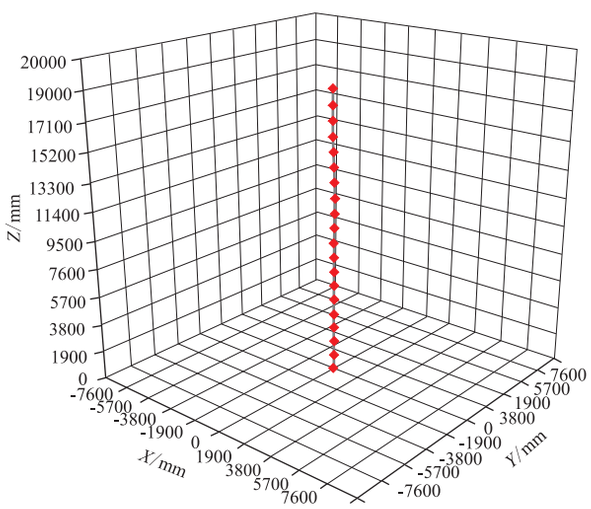


图 7　太平村滑坡 1 号监测点三维变形图

3.2　太平镇太平村滑坡 2 号监测点

阳山县太平镇太平村滑坡 2 号监测点位于滑坡体左侧滑壁靠近前缘处，其表面位移过程如图 8 所示。太平村滑坡 2 号监测点表面位移存在两个明显变形阶段（两个台阶），分别是 3 月 27 ~ 29 日强降雨期间，表面位移累计变化量 46 mm 左右；6 月 6 ~ 10 日强降雨期间，累计变化量达到 320 mm 左右，系统多次向滑坡隐患点相关责任人及群测群防员发出预警信息，当地及时组织撤离了受威胁群众。经现场核实，太平村滑坡前缘出现局部崩落现象。

该点作为中国地质环境监测院普适型监测示范点，自 2019 年以来布设了多套普适型监测设备。该点普适型裂缝监测仪（LF01）及 GNSS 地表位移监测（GP01）同样也捕捉到了坡体的裂缝加大及位移突变，出现几乎一样的变化过程和趋势（如图 9 和图 10），6 月 7 ~ 9 日，累计位移变化量近 300 mm。

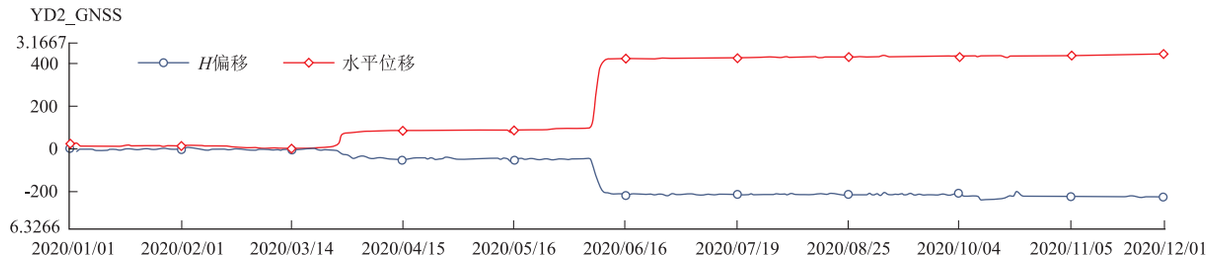


图 8　太平村滑坡 2 号监测点 GNSS 表面位移过程线图

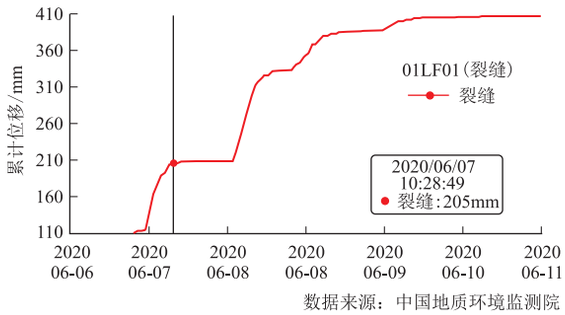


图 9　太平村滑坡裂缝计(LF01)累计位移变化曲线

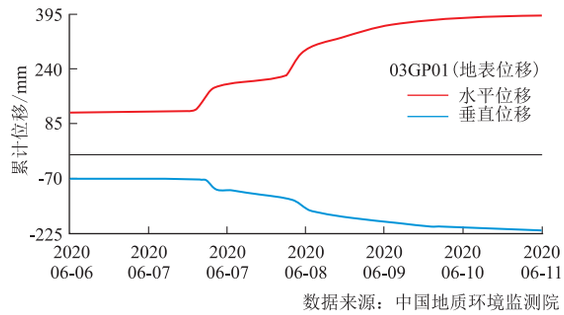


图 10　太平村滑坡地表位移(GP01)变化曲线

2020 年 6 月 7 日上午,普适型监测设备(LF01)发出红色预警信息(如图 11),经与中国地质环境监测院(中心)沟通,综合研判滑坡的变形现状和发展趋势,认为滑坡有变形加剧趋势,确定预警等级为红色。在预警短信发出后,随即对太平下坝村小组受威胁群众组织转移,有效的避免了滑坡灾害造成的人民生命财产损失。根据地方的反馈及对滑坡体开展的应急调查,滑坡体内裂逢发育,周界明显,地表树木多呈马刀树状,边坡体被纵横裂缝分割成大小不一的块体,裂缝可见深度达 1 m 以上,裂缝宽度 20 ~ 30 cm,裂缝延伸长度 20 ~ 30 m,边坡完整性差,降雨易渗入坡体,降低边坡的稳定性。

预警消息

序号	预警时间	预警等级	预警描述
1	2020-06-07 05:28:49	红色预警	2020-06-07 05:28:49 在下坝村小组滑坡的01LF01(裂缝)触发红色预警，当前设备值：110.0mm变形速率:50.88mm/d，预警公式:1日裂缝值变形速率≥35mm/d
2	2020-06-07 04:28:49	黄色预警	2020-06-07 04:28:49 在下坝村小组滑坡的01LF01(裂缝)触发红色预警，当前设备值：115.0mm变形速率:24.0mm/h，预警公式:1日裂缝值变形速率≥15mm/h

图 11　太平村滑坡普适型监测设备(LF01)出现报警短信

4　结论

(1)采用本地解算加 4G 加北斗短报文方式,可很好地解决移动通信不稳定状态下稳定可靠获取监测数据。(2)GNSS 表面位移监测相对于原有激光表面位移监测精度更高,数据更稳定可靠,在复杂环境的干扰的情况下监测数据波动更小,适应复杂环境。(3)本研究采用的全频多模 GNSS 地表位移监测能够较为准确地捕捉滑坡体的运动状态,并对滑坡险情及时发出预警,能有效地避免滑坡灾害造成人民生命财产损失。(4)清远市阳山县太平镇太平村滑坡体后缘目前较为稳定,前缘呈现较大变形,已经出现局部滑动,在强降雨条件下再次发生局部滑动的可能性较大,需对其变形进行持续的自动化监测。(5)由于经费有限,阵列式深部位移监测在滑坡隐患上布设的数量少,未能形成监测网络,且未合理布设在滑坡变形的重点部位,还不能很好地与地表监测互相验证,无法对坡体的深部变形状况和发展趋势以及整个坡体的稳定性作出非常科学、准确的判断。这是后续研究需注意和解决的问题。(6)通过内部阵列式位移计监测和外部 GNSS 监测的多传感器融合多角度监测,结合地质条件进一步分析滑坡体的稳定,是地质灾害变形预警技术的创新方法和

手段,具有推广应用价值。

参考文献

曹阳威,马亚楠. 2016. 滑坡远程实时监测预警技术面临的问题和挑战[J]. 华北科技学院学报,(2):98 – 104.
方朝丰. 2018. 广东省地质灾害防治现状和对策研究[J]. 西部资源,(4):112 – 114.
甘泉宏. 2018. 滑坡变形监测技术现状与发展研究[J]. 科技资讯,(3):52 – 53.
刘悦,李永树. 2013. 浅谈滑坡监测研究现状及发展趋势[J]. 测绘,(5):228 – 231.

Study on Monitoring and Early Warning Technology of Surface and Underground Deformation of a Typical Landslide in a Complex Environment in Guangdong Province ——Taking the Taipingcun Landslide as an Example

LI Xiujuan, ZHOU Zhihua
(Guangdong Institute for Geo – Environment Monitoring, Guangdong Guangzhou 510510, China)

Abstract: In this paper, we upgraded the original GNSS deformation monitoring terminal, developed a multi-satellite multi-frequency GNSS high-precision deformation monitoring terminal, and studied the GNSS local solution technology. Combined with the multi-mode communication fusion technologies such as 4G full Netcom, short-distance communication technology and Beidou short message, we solved the problems such as the unstable solution of the field monitoring terminal, and the incomplete server data caused by the failure of transmitting the Beidou GNSS original data to the server for solution. The array displacement meter was applied to monitor deep deformation of the Taipingcun landslide and its geological hazards. The results show that the GNSS surface displacement monitoring has higher accuracy than the original laser surface displacement monitoring, and the data can be more stable and reliable. The monitoring data show weakly fluctuated due to the interference of external complex environment, which is better adapted to a complex environment. We suggest that the data can accurately prent the motion status of the landslide and present early warning at dangerous situations in time. The monitoring data show that the trailing edge of the landslide is relatively stable at present. However, its leading edge is greatly deformed characterized by local sliding, which indicates that the landslide might be likely to occur again under heavy rainfall.

Keywords: Guangdong province; complex environment; landslide deformation; monitoring and early warning; Beidou GNSS

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
(四川省地震局,四川 成都　610041)

摘　要:针对地震科研人员在科研项目立项预算、经费执行与管理过程中出现的问题,努力减轻地震科研人员负担、激发创新活力、调动科研人员积极性,有针对性地阐述科研财务助理如何在地震科研项目立项、执行过程中推动地震业务与财务部门之间的高效联动,并以实例说明科研财务助理如何在地震业务与财务融合中发挥关键作用,履行科研项目财务预算、经费执行和管理的责任,推进地震科研和财务预算管理的全流程融合,提高科研项目经费预算和执行的科学性、规范性和有效性。

关键词:地震科研项目;科研财务助理;项目预算;经费执行
中图分类号:F253.7　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)01 - 0043 - 05
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.01.008

随着我国经济社会的发展,科技发展日新月异,科研立项数量逐年倍增,优化科研管理、全面深化科研领域“放管服”改革也悄然推进,为了减轻科研人员负担、释放创新活力、调动科研人员积极性,国家全力构建科研财务助理制度。地学领域科技在研和新立科研项目也呈大幅增长态势。以 2020 年地震行业为例,全国的地震科技在研和新立国家自然科学基金项目 320 项,国家级项目 4 项,省部级科技开发项目 435 项,基本科研业务费项目 605 项,地震科技星火计划项目 172 项①。地震科研项目呈现项目类别与经费来源多元化特点,这给科研项目预算、经费执行与管理提出了新的挑战,也给科研人员与财务人员提出了新的考验。科研项目预算是整个项目顺利进行的“先行者”,是科研经费监测的重点,亦是保障国家财政经费高效合理利用的根本(崔吉利,2021)。畅通的科研项目预算管理体系可以降低沟通成本,推动业务与财务的融合,形成监督运行机制,加速科研立项、执行进程以及成果转化。然而,在实际科研项目经费执行过程中,由于科研人员对项目预算等财务管理规定的认知有限,容易造成业务人员与财务人员沟通的脱节,导致项目预算管理执行不畅,大大降低项目经费的执行效率(李加祥,2016)。

2016 年,中共中央办公厅、国务院办公厅联合印发了《关于进一步完善中央财政科研项目资金管理等政策的若干意见》(中办发〔2016〕50 号),首次提出了建立健全科研财务助理制度,为科研人员提供专业化财务服务。2018 年 7 月,国务院下发了《国务院关于优化科研管理提升科研绩效若干措施的通知》(国发〔2018〕25 号),再次明确:加快建立健全科研财务助理制度,把科研人员从报表、报销等具体财务管理事务中解脱出来。本文针对地震科研人员在科研项目预算、执行进程和项目结题过程中出现的问题,阐述科研财务助理如何在科研项目立项预算、执行进程和项目结题全过程中推动科研与财务部门之间的高效联动,完成业务与财务工作的融合,切实减轻地震科研人员的经费管理负担、充分释放地震科研人员的创新活力、调动地震科研人员的积极性、推进地震科研项目全过程监督管理,并提高项目经费执行的科学性、规范性和有效性。

1　项目预算管理内涵

地震科研项目探索性较强,需要资金支持以保证实验操作、数据采集、推理验证等过程的顺利执行。经

收稿日期:2021 - 09 - 01;**修回日期**:2021 - 12 - 25
基金项目:四川省地震局地震科技创新团队专项(201804)与西藏拉萨地球物理国家野外科学观测站研究课题(NORSLS21 - 04)共同资助.
作者简介:黄雪影(1966 -),女,高级经济师,主要从事地震科研项目财务管理工作.
通讯作者:刘江(1982 -),男,四川成都人,工程师,主要从事电离层数据解算分析工作. E - mail:liujiang0103@foxmail.com.
①中国地震局.2021.中国地震局科技工作年报(2020 年度).

费预算是科研立项的重要组成部分,预算管理既要满足国家科研经费管理制度的要求,又要满足项目实施过程中各种不确定的调整需求。同时,在外需应对审计、财务、验收以及税务检查的压力,在内需实现成本控制、风险预警、决策支撑等保护机制。规范、合理地使用科研项目经费是保证科研项目顺利完成的必要条件。

当然,地震科研项目预算对项目立项和执行具有一定的约束性。由于地震行业的公益性事业性质,科研项目的支出以国家拨款为主,不以营利为目的,具备一定的特殊性。相对而言,科研项目预算应以实际需求出发,以发展方向为指导,整个管理过程应建立在合法合规的基础上,既是资源的优化配置、也是管理控制的主要方法。精细化的科研项目预算能够规范各项经费的支出,有效防止资源浪费,杜绝违规操作及徇私舞弊行为,通过财务成本控制发挥科研项目管理的价值。

2 项目预算中科研人员易出现的问题

2.1 项目预算编制不完善

地震科研项目的执行过程中,经费预算贯穿科研项目的立项、实施、结题全过程。当前,科研项目来源多样化,相应的预算编制要求各不相同。预算编制的过程中,科研人员需要根据不同类型的项目要求来编制科研工作所需要的每一项经费支出,预算编制不仅需要满足科研工作的要求,也必须满足财务预算管理的规定。然而,地震科研工作探索性比较强,项目执行存在一定的不确定性,科研人员可能对这种不确定性的预见性不足,导致预算编制不够完善,使得一些科目的经费支出困难或者经费预算额度不足。

2.2 科研人员的财务管理意识匮乏

在地震科研项目的执行过程中,经费的监督、审计、结算尤为重要,经费执行要始终符合项目预算、财务审计的要求。但是,部分科研人员缺乏财务管理意识,对财务管理制度的理解不深,在项目预算执行过程中存在对不确定因素预见不足、经费编制不完善的情况,可能会出现凭项目需要随意调整经费支出,或者索性放弃问题科目的经费支出,导致出现经费执行不符合财务管理规定或经费浪费的现象(龚洁,2021)。

2.3 预算执行不合理,缺乏预见意识

科研项目执行过程中往往存在众多的不确定性,尤其是执行周期较长的项目,整个周期的不可控因素也会增多。例如,项目执行过程可能经历财务和项目管理制度的变化,采购项目的价格增长等问题。这些问题都应该在不确定因素的可控范围内,否则就会出现经费超支或使用不规范等现象,预算体系形同虚设。地震科研项目执行的主体是科研项目组,然而科研项目组人员往往只专注于科学研究,缺乏财务管理经验和不确定性因素的预见意识,对财务管理制度和采购项目价格的变化关注不够,使得项目执行过程中的不确定因素超出可控范围,容易出现经费不足,或者为完成任务经费调整不规范的问题(张雪姣等,2018;高雪等,2021)。

2.4 财务管理沟通不畅,影响经费执行效率

财务管理往往贯穿地震科研项目申报、立项、执行、验收的全过程,严格执行财务管理制度,既是对项目执行的保护,也是对科研人员的监督。然而,对于专业性很强的地震科研项目,科研人员需要将绝大部分精力投入科学研究之中,难免出现与财务部门或财务人员沟通不足或不畅的情况,导致在经费执行过程中容易出现问题。类似的问题如科研经费与日常开销相混合,部分招待、办公费用被划入科研预算,资产归属问题突出;而且,在应对财政检查和结题验收时,需要将项目预算重新归集、整理、分类,无疑增大了工作负担。

3 科研财务助理制度

3.1 科研财务助理制度的优越性

在地震科研项目的管理中,科学性是重要的构成元素,规范性是必须遵守的原则。其中,经费预算管理应该基于科学编制的基本要求,从业务与财务两方面出发,结合科研目标与任务,在充分保证预算合理性与

科学性的基础上进行动态调整,提升预算的准确性。同时,充分挖掘科研单位现有的资产潜力,建立财务管理思想和风险防范意识,提高资产使用率,避免资产浪费。在此要求下,科研人员不仅要熟悉现行的财务管理制度,还要时刻关注财务管理的新规定、新政策,并动态调整项目经费执行,确保预算执行过程的合理性和规范性。无疑,这会给科研人员增加很多负担,难以兼顾科研与财务两方面工作,而且在缺乏财务管理经验的情况下,容易出现问题。根据国务院办公厅印发的《改革完善中央财政科研经费管理的若干意见》(国办发〔2021〕32 号)的精神,要求减轻科研人员事务性负担,全面落实科研财务助理制度。针对科研人员主要专注于科研研究,缺乏财务管理经验的突出问题,通过设置科研财务助理,辅助科研人员在项目申报和执行过程从专业角度制定合理的目标及任务,充分考虑预算的可行性和可操作性,大大减少科研项目执行过程中经费使用的不规范。一方面,科研财务助理可以为科研人员在项目预算编制和调剂、经费支出、财务决算和验收等方面提供专业化服务,从而让科研人员腾出更多时间和精力更好地专注于科研,激发了创新创造活力。另一方面,科研财务助理具有专业性的优势,可以当好科研人员的智囊与参谋,加强财务与科研工作的有效衔接,让科研经费管理更具有科学性。科研财务助理制度实现了科技创新体制机制内各环节的专业化分工协作,让专业的人做专业的事,人尽其才,实现项目预算管理水平的提高。此外,科研财务助理可以随时关注国家预算管理的新规定、新政策,及时与科研人员进行沟通,完善和重新规范相应的预算执行过程,确保项目预算执行的合理性和规范性。

3.2　科研财务助理岗位的设立

地震科研项目负责人根据科研项目实际需要和经费情况设置科研财务助理岗位,而科研财务助理岗位的设立一般有两种形式:1)由项目承担单位的相关人员兼职,此种形式下的科研财务助理是长期的,负责单位科研项目的相关财务工作;2)项目负责提出岗位申请,获批后聘用专业劳务人员承担科研财务助理角色,这种情况下的科研财务助理是针对某一项目而设,随着将来项目的结题,科研财务助理的聘期也相应结束。

3.3　科研财务助理的职责

科研财务助理的职责体现在科研项目的全过程,贯穿项目的申报、经费预算、经费执行、项目财务审计验收等全过程。首先,科研财务助理应根据科研项目目标、管理政策的相符性、财务管理的合理性等原则在项目申报阶段协助项目负责人编制项目的经费预算,提高预算的科学性与合理性;其次负责项目执行过程的资金支付与财务报销的相关事宜,确保经费支出的合法性、规范性,提高项目执行效率;在经费管理出现新规定、新政策时,科研财务助理应协助项目组按规定程序办理预算调整手续,完善项目执行过程的经费支出,以满足新规定;而且,科研财务助理应定期对项目经费使用情况进行汇总、分析,实现项目预算的动态管理,推进项目经费的执行进度,并协助项目组完成项目的检查、财务验收审计等工作。

3.4　科研财务助理的培养

目前,科研财务助理往往是单位相关人员兼职,甚至是学生临时兼职。兼职的科研财务助理自身的财务管理意识和知识并不丰富,他们发挥的作用也很有限,有时候更像是专职报销人员,主要承担与项目管理单位的财务人员沟通和项目经费支出的报销工作,并不是真正意义上的科研财务助理。因此,科研财务助理的培养必不可少,而且应根据科研财务助理的专业背景,进行针对性的强化培训。例如,科研财务助理是业务专业出身,那么应加强其财务管理制度方面的培训,强化财务管理意识,使之熟悉项目预算、执行、审核、核算、验收审计等各环节的财务管理规定和流程。如果财务助理是财务专业出身,那么应该加强其科研项目运作流程和管理制度的培训与学习,使之熟悉科研项目的各个环节,让业务与财务更好的融合。随着信息技术的发展,科研项目均在财务管理信息系统平台下实现信息融通,因此科研财务助理应加强信息化财务软件平台的学习,熟悉利用财务管理系统实现科研项目经费的全流程管理,构建财务部门和项目组之间通畅的沟通渠道,确保预算设定、核算校验、结算验收有理可依,有据可查,切实提高项目经费执行效率。

4　实例分析

2021 年初,中国地震局成都青藏高原地震研究所某科研项目组提出采购 40 套流动测震仪器的需求。

随后,科研财务助理进驻项目组,配合项目组确定经费预算及采购仪器的型号和数量,并根据预算管理制度协调各业务与管理部门,完成设备采购的询价、谈判、合同签订、经费支付、设备验收、财务报销与资产登记等流程。科研财务助理介入整个项目的预算管理流程,发挥财务专业的优势,使得整个采购过程合理、规范,符合项目预算管理制度的要求。9 月 8 日至 13 日,项目组将采购的 40 套流动测震仪器布设于四川泸县地区。9 月 16 日泸县发生 6.0 级地震,40 套流动测震仪作为距离震中最近的观测设备,捕获到震前到震后宝贵的地震监测资料。震后,在科研财务助理的辅助下,项目组高效完成相关财务工作,并利用局所合作项目经费租用第二批 30 套监测设备,进一步获取了泸县地震震区的地震监测数据。这是地震科研项目预算执行管理中实现业务与财务融合,并取得重大科研实效的范例。

综上所述,地震科研项目预算管理从申报立项就有所体现,贯穿于项目的整个执行过程(图 1)。科研财务助理的进驻,大大促进了业务与财务的融合,使得整个项目预算管理过程在预算编制与调剂、经费支出与审核、财务决算与验收等环节更加合理、规范、高效。因此,应进一步健全科研财务助理制度,为科研人员在项目预算管理各个环节提供专业化服务,解决科研经费报销手续繁杂、时间过长等问题,切实提高科研项目的经费执行效率,确保经费使用的合理性、规范性。

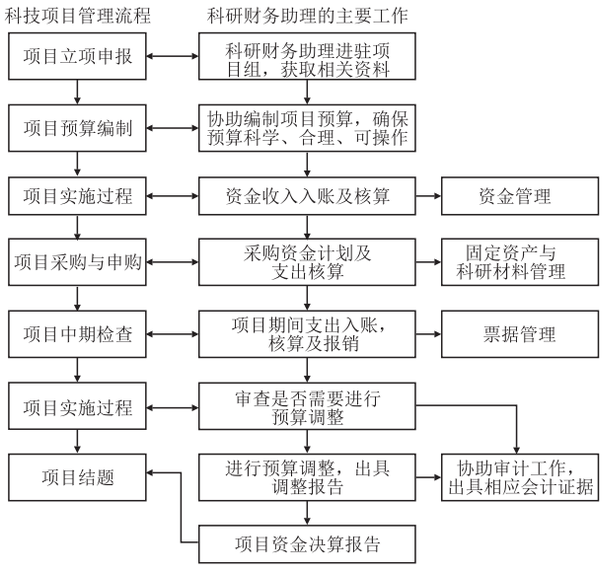


图 1　地震科研项目预算执行管理业财融合配套流程

5　结束语

科研财务助理在科研团队科研项目申请立项预算以及经费管理中都起着举足轻重的作用。地震科研与科研事业单位都应尽快建立完善的科研财务助理制度,加强对科研项目财务专业化业务培训,让国家的科研财务助理制度落到实处,让科研财务助理队伍能够稳定、专业、高效地为地震科研团队和科研人员提供服务,真正为地震科研人员减轻负担。从观念上来看,要系统认识科研财务助理的作用,做到减负和增效“两手发力”。科研财务助理制度既是减轻科研人员事务性负担的重要法宝,也是提升科研立项预算和经费管理水平的关键一招,让科研财务助理为地震科研经费提质增效作出更大贡献。通过设置科研财务助理、辅助地震科研人员等角色。从专业角度看,制定科研项目合理的目标及任务,充分考虑预算的可行性和可操作性,大大减少科研项目执行过程中经费使用的不规范。同时,可持续提升地震科研人员的科研项目立项预算、经费管理和财务风险防范意识,进一步提高地震科研项目的成果产出和经费执行的效率。科研财务助理制度实现了科技创新体制机制内各环节的专业化分工协作,让专业的人做专业的事,人尽其才,这是中国特色科研经费管理改革发展的必由之路。

参考文献

崔吉利. 2021. 全面预算管理在科研项目中的应用[J]. 中国产经, (16):82 – 83.
高雪,张秀红,王杨. 2021. 科研项目预算执行管理的常见问题及对策分析[J]. 经济研究导刊, (21):96 – 98.
龚洁. 2021. 浅谈科研院所项目经费预算管理存在的问题及对策[J]. 经营管理者, (9):80 – 81.
李加祥. 2016. 行政事业单位预算管理面临的困境及改善对策探析[J]. 财经界,(27):51 + 53.
张雪姣,张斌. 2018. 管理会计在高校科研经费管控中的应用[J]. 行政事业资产与财务,(23):63 – 64.

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
(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: This paper focuses on the problems related to financial budgeting, funding implementation and management for earthquake researchers. We work hard to decrease burden, speed up innovation, and improve enthusiasm for researchers. We discuss how to enhance relationship for application and implementation between earthquake funding and financial department for scientific research financial assistant. We use a typical example to illustrate how scientific research financial assistant play a key role in the integration of business and finance. Moreover, we need earnestly perform the responsibility of financial budget management, effectively promote the financial execution and improve the scientific, standardized and effective implementation through the whole scientific research project process.

Keywords: earthquake research project; scientific research financial assistant; project budget; funding implementation

(上接第 6 页)

Zoback M L. 1992. First-and second-order patterns of stress in the lithosphere: the world stress map project [J]. Journal of Geophysical Research, 97(b8): 11703 – 11728.

Nucleation Mechanisms of the Milin *M*6.9 Earthquake

GAO Jinrui[1], WANG Xiaoshan[2], YIXI Lamu[1], WANG Xingzhou[3]
(1. Earthquake Agency of Tibet Autonomous Region, Tibet Lhasa 580000;
2. Hebei Earthquake Agency, Hebei Shijiazhuang 050021; 3. Anhui Earthquake Agency, Anhui Hefei 230000)

Abstract: In this paper, we used the 2017 Millin *M*6.9 earthquake and its aftershock sequence recorded by the Tibet network to study nucleation mechanisms of the earthquake. Processed by the double-difference positioning method, the aftershocks are shown along the north-west and south-east sides of the main earthquake, whereas the focal depth is mainly concentrated at the range of 2 ~ 12 km. Moreover, the aftershock distribution at the short axis shows that the seismogenic fault dips 45°. For the aftershocks above M_L3.5, we used the seiscap software to inverse waveform for studying nucleation mechanism. The results show that the main types of dislocation for the Millin earthquake sequence are thrust and strike-slip deformation, which is consistent with the tectonic background of the region. The inversion results of stress fields show that the direction of main compressive stress axis (S_1 axis) is NNE-NS, whereas the direction of main tensile stress axis (S_3 axis) is SEE-SE, which indicates the seismogenic fault is a thrust fault with a strike – slip component. Based on the distribution of aftershock sequence and focal mechanism of the earthquake, we suggest that the seismogenic fault shows a consistent structure with the Palong-Pangxin fault, which indicates that the fault is associated with the earthquake.

Keywords: double-difference positioning; focal mechanism; stress field inversion; seismogenic-structure; Milin 6.9 earthquake

四川省地震月报目录($M_L \geqslant 3.0$)

(2021.10 ~ 2021.12)

序号	发震时刻		震中位置			位号	震级			深度	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	(km)				
1	20211001	143748.3	2652	10255	四川会东	51	3.3			12	2	20	51	
2	20211001	214005.6	2828	10450	四川长宁	51	3.6			6	1	35	51	
3	20211002	064838.9	2915	10357	四川犍为	51	3.5			10	1	21	51	
4	20211002	212149.7	2939	10441	四川威远	51	3.5			3	1	55	51	
5	20211005	075805.2	2658	10238	四川宁南	51	3.3			9	1	21	51	
6	20211005	212428.4	2917	10530	四川泸县	51	3.5			9	1	31	51	
7	20211006	132336.7	2938	10442	四川威远	51	3.5			5	1	53	51	
8	20211018	083700.4	2916	10358	四川犍为	51	4.4			12	1	69	51	
9	20211018	084113.9	2917	10358	四川犍为	51	3.6			17	1	30	51	
10	20211018	102056.7	2917	10358	四川犍为	51	3.7			13	1	24	51	
11	20211023	181725.8	2818	10339	四川雷波	51	3.2			12	1	34	51	
12	20211110	163951.6	2938	10442	四川威远	51	4.0			4	1	63	51	
13	20211112	171822.4	3021	10230	四川宝兴	51	3.0			23	1	33	51	
14	20211114	130331.5	3308	9736	四川石渠	51	3.3			13	2	7	51	
15	20211117	153910.4	2812	10457	四川兴文	51	3.5			3	2	22	51	
16	20211117	233621.2	2810	10445	四川珙县	51	4.6			10	2	64	51	
17	20211117	234258.3	2811	10444	四川珙县	51	3.4			6	3	32	51	
18	20211120	045612.3	2809	10446	四川珙县	51	3.6			6	2	22	51	
19	20211120	194850.8	3010	10158	四川康定	51	3.6			10	1	34	51	
20	20211121	074053.7	3100	10317	四川汶川	51	3.3			19	1	37	51	
21	20211121	185100.9	2827	10447	四川长宁	51	4.6			11	1	57	51	
22	20211123	031339.5	2813	10457	四川兴文	51	3.4			8	2	25	51	
23	20211123	213607.4	3142	10420	四川安州	51	3.0			4	1	29	51	
24	20211124	012942.2	2809	10445	四川珙县	51	3.5			8	2	35	51	
25	20211126	232400.6	2939	10442	四川威远	51	3.7			4	1	62	51	
26	20211201	053933.5	2820	10458	四川长宁	51	4.5			12	2	53	51	
27	20211204	233505.2	3042	10712	四川大竹	51	3.1			18	2	9	51	
28	20211208	060445.4	3132	10316	四川理县	51	3.6			10	1	51	51	
29	20211210	192540.1	2809	10507	四川兴文	51	4.2			14	2	36	51	
30	20211212	065402.4	2721	10156	四川盐源	51	3.7			13	1	33	51	
31	20211212	140618.1	2916	10527	四川泸县	51	3.9			8	1	38	51	
32	20211212	141121.9	2916	10527	四川泸县	51	3.6			6	1	32	51	
33	20211215	173057.8	2917	10359	四川犍为	51	3.4			15	1	40	51	
34	20211216	045758.8	3010	10158	四川康定	51	3.5			10	1	44	51	
35	20211218	030050.7	3224	10503	四川青川	51	3.6			22	1	30	51	
36	20211219	165954.2	2942	10327	四川峨眉山	51	3.2			17	1	39	51	
37	20211221	015508.4	2706	10250	四川宁南	51	3.8			16	1	28	51	
38	20211221	101833.5	3148	10117	四川壤塘	51	4.0			5	1	24	51	
39	20211224	183822.3	2727	10305	四川金阳	51	3.1			12	2	22	51	
40	20211230	122652.5	2821	10456	四川长宁	51	3.4			8	1	26	51	

四川地震台