

牟剑英,张清,向巍,等. 广西测震流动观测的发展与应用[J]. 华南地震, 2021, 41(3): 141-147. [MOU Jianying, ZHANG Qing, XIANG Wei, et al. Development and Application of Seismic Mobile Observation in Guangxi[J]. South China journal of seismology, 2021, 41(3): 141-147]

## 广西测震流动观测的发展与应用

牟剑英, 张 清, 向 巍, 符 衡

(广西壮族自治区地震局, 南宁 530022)

**摘要:** 大震或有感地震发生后, 迅速组织开展地震现场流动监测是地震监测应急的一项重要内容。回顾广西测震流动观测的发展历程, 介绍广西数字应急测震流动台网的技术构成、管理和考评、启动和终止, 最后结合实际介绍了测震流动观测在广西中强地震、显著震群、水库加密观测及科研项目中的应用。

**关键词:** 测震; 流动观测; 应急

**中图分类号:** P315.7      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8662(2021)02-0141-07

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2021.03.19

## Development and Application of Seismic Mobile Observation in Guangxi

MOU Jianying, ZHANG Qing, XIANG Wei, FU heng

(Earthquake Agency of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530200, China)

**Abstract:** After a large earthquake or a sensed earthquake occurs, the rapid organization of mobile monitoring of the earthquake site is an important part of earthquake monitoring and emergency response. The paper reviews the development history of Guangxi seismic mobile observation, and introduces the technical composition, management and evaluation, start-up and termination of Guangxi digital emergency seismic mobile station network, and finally, combine the actual situation to introduce the application of seismic mobile observation in Guangxi moderate and strong earthquakes, significant earthquake swarms, reservoir dense observation and scientific research projects.

**Keywords:** Seismic measurement; Mobile monitoring; Emergency

### 0 引言

大地震发生后, 为监测后续余震序列活动, 准确做出地震趋势判定, 迅速出动现场流动观测

是地震监测应急的一项重要内容。流动台的现场架设补充提高了震中区域的地震监测能力, 为后续地震精定位、震源机制分析及震源深度研究等提供强有力数据支撑, 如测震流动观测在广东东

**收稿日期:** 2021-03-05

**基金项目:** 广西局三结合科技课题(GX202106)

**作者简介:** 牟剑英(1986-), 女, 工程师, 主要从事地震监测和地震编目工作。

**E-mail:** 645335110@qq.com

源4.8级地震、广西北流-广东化洲5.2级地震等中强地震中起到提高监测能力、提高定位精度等作用<sup>[1-2]</sup>。大型水库蓄水前后,结合已有固定地震监测台站,流动台加密观测在水库地震监测和地震预测技术的研究中也不可缺少。开展地震机理研究,对震中区进行流动加密监测,也是当前获取区域深部孕震环境的重要数据来源。在一些有特殊影响的地震动事件中,如爆破作业、矿区塌陷或崩塌,现场流动监测对突发事件的研究判断及社会服务具有很好的效益作用,如广东兴宁大兴煤矿塌陷地震的应急组网监测<sup>[3]</sup>,给抢险救灾提供安全保障,减少人民和国家的财产损失。此外地震流动监测还可起到缓解当地民众恐慌的作用。

## 1 广西测震流动观测概况与发展

广西测震流动观测起始于20世纪70年代,主要根据震情需要开展现场流动监测,在地方显著有感地震和中强地震发生后,开展余震监视,如1976年8月广西、广东交界的安铺镇发生3.5级地震,广西壮族自治区地震队在合浦白沙、博白那卜架设了测震流动台用于震情监视;在地方水库蓄水后,开展加密监测,如1982年5月大化电站蓄水后发生小地震,广西壮族自治区地震局在贡川、六也架设测震流动台进行地震活动监测<sup>[4]</sup>。测震流动观测可弥补当时固定地震台站少、监测能力不足缺陷。

广西测震流动观测经历了模拟流动观测和数字化流动观测两个阶段。20世纪70年代至2005年为模拟流动观测阶段,测震流动台采用DSL地震计、滚筒记录仪等设备,采用石英钟对时和人工现场观测方式。2006年开始数字化流动观测,测震流动台主要采用北京港震公司生产的FBS-3、FSS-3M型地震计,采用EDAS-24L、EDAS-24IP数据采集器等设备,采用GPS对时和无线网络传输远程观测

方式。

2013年经实施国家“十一五”重点项目“中国地震背景场探测项目广西分项”,构建了广西数字应急测震流动台网。广西应急测震流动台网包括1个流动台网中心和7个流动子台,实现了现场流动台网中心实时汇集处理、分析和显示数据等功能,为广西测震流动监测发展的一重要里程碑。2014年后,广西各地级市地震部门为增强辖区内突发性地震事件的现场应急监测能力,纷纷投资建设本市测震流动监测系统,协同自治区本级地震流动监测队伍,做好全区地震应急现场流动监测工作。

## 2 广西应急测震流动台网

### 2.1 测震流动台网的组建

广西应急测震流动台网由流动台网中心、测震流动子台及相应供电和传输信道四部分组成。流动台网中心配置了2台加固便携式服务器,采用广东局开发的JOPENS系统进行地震数据的实时汇集、监控、分析处理、共享交换及存储,并具备照明、投影及打印等现场办公条件。围绕全区地震应急一盘棋思路,全区共45台套测震流动观测设备可由广西壮族自治区地震局统一调配,其中自治区本级19台套,地市地震部门26台套。区本级中有9套短周期数字一体化地震计,有10套宽频带数字一体化地震计,均采用英国Guralp生产的一体化CMG型系列设备。地市选用的地震计生产商主要为英国Guralp、北京港震和珠海泰德。部分地市也进行了新旧更换,如南宁、柳州市起初采用的是泰德生产的DS-4A型号地震计,配备TDL-303CS数据采集器,2019年后更换为北京港震公司生产的GL-PS2一体化地震计。广西区域测震流动台专业设备配备情况见表1。

表1 广西区域测震流动台专业设备配备情况

Table 1 professional equipment of the seismic mobile stations in Guangxi

生产厂家	专业设备型号	使用的区域
英国 Guralp	一体化 CMG-40TDE、CMG-3ESPCDE	区本级、梧州、桂林、北海、防城港、钦州、贵港、河池、崇左市
北京港震	一体化 GL-PS2	南宁、柳州、百色、玉林市
	FSS-3M 地震计、EDAS-24GN 数采	玉林市
珠海泰德	DS-4A 地震计、TDL-303CS 数采	南宁、柳州市
	一体化 TVG-33S	来宾市

此外测震流动台配备一定的台址勘选和保护工具,如铁锹、锤子、罗盘、手持GPS、帐篷、保护罩及警示装备。供电系统中流动台网中心主要采用交流电和发电机发电;测震流动子台则采用便携式户外电源和太阳能供电。广西测震流动观测主要采用无线传输方式,采用中国移动或中国电信3G或4G信号VPDN传输。广西测震流动台组建结构见图1。

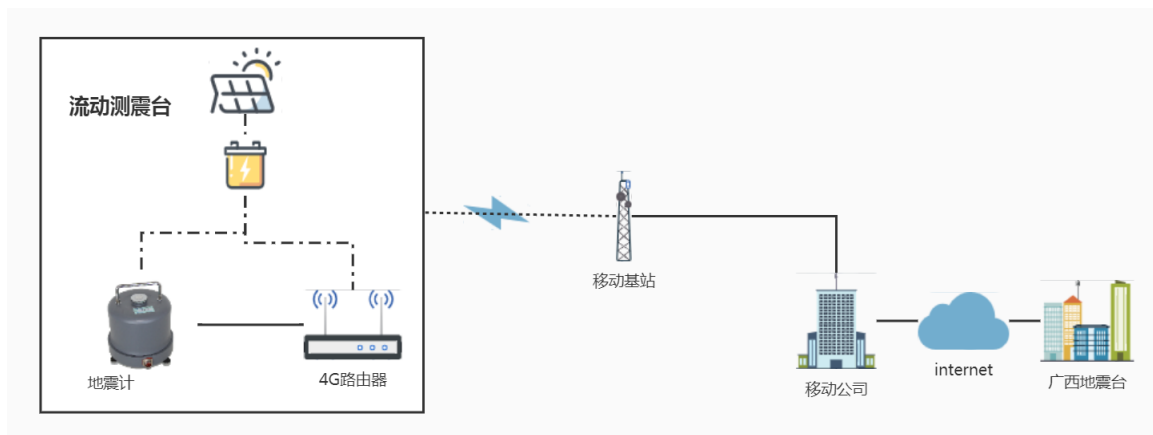


图1 广西测震流动台组建图

Fig.1 The establishment of the seismic mobile station in Guangxi

局地球物理研究所流动服务器、广西测震台网服务器、现场流动台网服务器间进行数据流交换,现场流动台网中心也可以通过S2S交换收集到本区域固定台站、邻省协作区流动台或固定台站。具体台站数据流见图2。两套测震流动台网系统的布设,可快速实现测震流动台数据的实时汇集、交

换共享、分析处理等,保障流动台长时间架设的需求;也满足了地震应急指挥现场流动台网中心显示处理需求。

南宁、柳州、来宾市地震部门的测震流动台在采用珠海泰德DS-4A地震计、TDL-303CS数采时,因JOPENS系统无法兼容直取IP数据流,采用先将流动台数据汇集到泰德系统服务器,再通过LISS服务用S2S方式DOWNLOAD到机房测震流动服务器。

## 2.3 测震流动观测的管理与考评

测震流动观测的管理和考评主要根据中国地震局和广西壮族自治区地震局出台的各种相关文件。2006年,中国地震局下发《关于加强地震应急区域协作联动工作的通知》,将全国划分为6个协作联动区域,其中广西、广东、湖北、湖南、海南五省划分为第Ⅳ(中南)区。2015年,中国地震局下发了《关于加强应急测震流动台网管理的通知》,将应急流动测震台网纳入学科管理,流动管理部负责制定考评细则和组织年度演练评比。广西每年积极参加片区的测震流动观测演练,并取得不错的成绩。参考2016年中国地震局印发的

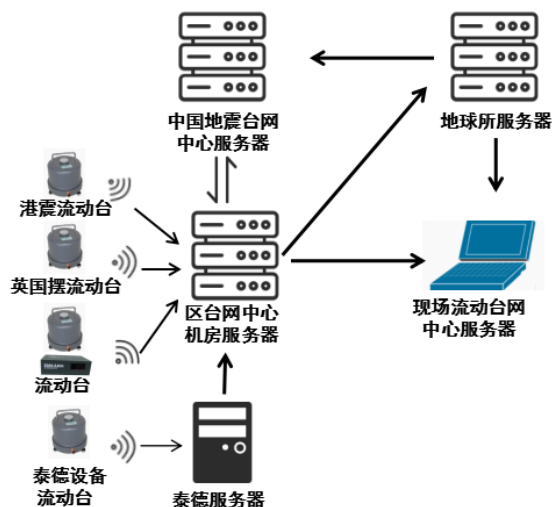


图2 广西测震流动台网系统架构

Fig.2 System Architecture of Guangxi Seismic Mobile Station Network

《流动测震台网观测工作质量考核评比办法(试行)的通知》,2018年广西印发了《广西测震流动观测台运行管理细则》和《广西测震流动观测台运维考核评比办法》,直接作用于测震流动台仪器设备管理和运维、地震现场监测、地震跟踪监测、地震工程服务监测及地震应急演练等工作。

地震应急演练为测震流动观测考评的一项重要内容,旨在加强地震应急工作区域间的协作与联动,扎实流动观测技能和应急组网能力,提高全区地震应急处置能力。测震流动观测演练可通过现场集中式部署、架设、考评演练或分散式远程部署、实地架设、传输关键步骤照片视频等方式开展演练考评。演练呈现常态化,除了全国片区应急测震流动演练外,广西自2015年起每年均组织开展1~2次全区地震应急测震流动演练,广西桂中桂北区、桂西区、桂东南区每年也在片区内开展地震应急演练。广西测震流动观测应急演练中,地市各参赛观测队伍互学互鉴,互促互进,不断壮大成长,这也是全国首创的。

测震流动观测的常规运维也为测震流动观测管理和考评的一项内容,主要为流动观测台站基础参数信息及架设信息的档案整理、设备仪器巡检及每季度的通电检查。其中设备仪器巡检,包括对流动观测地震计、通讯设备、发电机、蓄电池、供电系统、野外组合工具等主要设备进行运维,检查其完好率,全面检查地震计标定参数。测震流动观测的日常运维,保障了流动观测设备处于战备最佳状态。

借助其所在地理位置时间优势和影响力,发挥测震流动观测在辖区突发有感地震、矿震、滑坡等震动事件的应急现场监测效能,服务于地方社会的安稳和经济发展,可作为测震流动观测管理和考评的一项加分项。

## 2.4 测震流动观测的启动和终止

2013年中国地震局监测司印发了《测震台网应急流动观测技术规程》,规程对测震流动观测的震后应急观测、震前应急观测和重大活动应急观测的启动与终止条件等作了条件规范。其中震后应急观测可根据所在区域固定台网监测能力和地震影响程度决定是否启动测震应急流动观测;震前应急观测主要依据省(自治区、直辖市)地震局提出地震短期和临震预测意见后地震预测区,重大活动应急观测根据震情形势需要和固定台网监测

能力情况启动测震流动观测。

广西地震活动具有“震级小、高烈度”特点,广西测震应急流动观测则结合震中区域地震监测能力及广西地震特点和影响程度决定是否启动测震应急流动观测。2018年广西壮族自治区地震局印发的《广西测震流动观测台运行管理细则》中也明确了当广西地区发生 $M \geq 3.0$ 级地震(特殊地震另行通知),应启动测震应急流动观测。特殊地震一般指2级以上有感震群或有影响塌陷、崩塌、爆破等事件。测震应急流动观测的终止主要依据地震应急结束,除此,测震流动观测的也因地震活动情况、监测能力和科学研究等因素综合考虑延长架设观测时间。

## 3 测震流动观测的应用

### 3.1 观测的实际应用

广西测震流动观测广泛应用于震前、震后震情监测、水库地震监测研究、区域深部探测和孕震机理研究、突发特殊震动事件及其他重大工程安全保障等方面,应用呈现多元化。

(1)震情现场监测。震情现场监测,主要是区域显著地震发生后,迅速开展震情跟踪监测,特别是通过架设测震流动台提高震中区监测能力,以全面获取震中区余震信息,为研判地震活动趋势和研究提供关键和有效数据。如2010年广西凌云凤山3级震群,在震中区逻楼镇、江洲乡分别架设了2个测震流动台,见图3(a)。测震流动台的架设,很好记录了震群3071次余震。借助流动台数据,研究发现此次震群的深度非常浅,震源深度不会超过3.3 km<sup>[5]</sup>;震群微小余震的记录,又为地震发生与当地降雨过程存在时间关联提供有效依据。2019年10月12日广西北流-广东化州5.2级地震发生后,广西壮族自治区地震局立即启动应急方案,迅速赶赴震中附近架设3个测震流动台。其中广西局区本级架设2个流动台,玉林市地震监测服务中心架设1个流动台,联合广东省地震局架设的3个流动台并网进行实时监测,见图3(b)。流动台的加入,使震中区域地震监测能力优于 $M_L 0.5$ 级<sup>[2]</sup>。截止2019年11月17日8时,广西测震台网中心共记录到168次余震,其中流动台参与定位分析的余震有143次,且依靠流动台才能清晰记录到的余震就有81次。



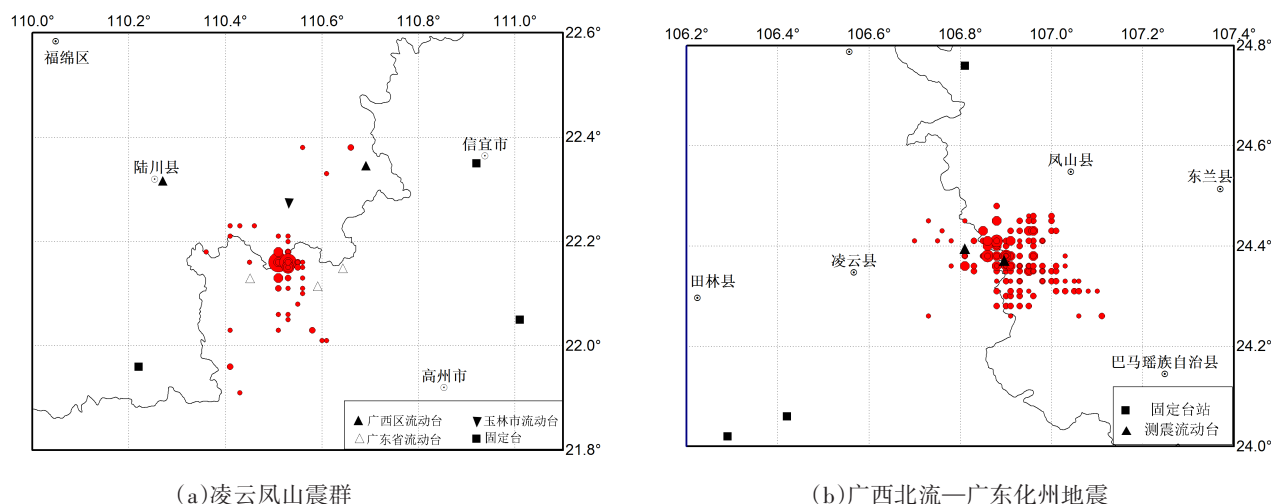


图3 测震流动台应用架设

Fig.3 Application and erection of seismic mobile station

(2)水库地震监测研究。截至2020年底,广西红水河流域上共建设了10座梯级水电站<sup>[6]</sup>。梯级水电站的建设,特别高坝大中型水电站建成后,因水库载荷变化作用有可能诱发中强水库地震。为实施对水库诱发地震的监测及其危险性分析研究,1992年3月岩滩水库准备蓄水前,在库区附近的巴马、凤凰两地架设2个流动台,与岩滩地震台组成三角台网开展长达6年之久的流动观测。1993年2月10日大化贡川发生 $M_L 4.9$ 级水库诱发地震,为监视大化库区地震活动,在已有大化地震台的基础上增设周鹿、榜圩2个测震流动台。龙滩水电站是我国典型高山峡谷河道型高坝大库容水库,2006年10月蓄水后中小水库地震频发。2009—2010年间,在龙滩库区已有10个固定测震子台的基础上,通过国家科技支撑计划“水库地震监测与预测技术研究”项目,在龙滩库区加密布设了15个流动台,观测时间为1~2年,为研究库区场地响应、震源参数和地震精定位等研究提供了丰富的波形数据<sup>[7-8]</sup>。

(3)区域深部探测和孕震机理研究。宽频带地震台阵技术的应用是我国深部地球物理探测的一项重要进展,通过加密地震台阵观测,利用地震层析成像方法可进行地球物理反演壳幔精细结构<sup>[9]</sup>、深部构造及动力边界,构建三维孕震动力模型,探索发震机理。2010—2013年,在科技部公益性行业科研专项“中国地震科学台阵探测项目——南北地震带南段项目”中,广西承担了东经 $107^\circ$ 以西广西境内25个宽频带流动台的架设及2年的野外观测任务;2014年,在广西壮族自治区科

技厅项目“广西重点地区地震台阵观测与深部孕震环境研究”,在桂东南和桂西地区加密布设35套宽频带流动地震台并开展2年的野外观测,以研究区域深部壳幔结构和孕震机理。

(4)特殊震动事件监测。特殊震中事件一般包括地方局部性及其较有社会影响的爆破、矿塌、滑坡及不明振动事件。震动事件的震级一般不大,但却给当地社会公众的影响不小。2013年6月广西平果排泥库泥浆泄露,广西壮族自治区地震局立刻在当地架设3个流动台,共监测到微小震1150次,为后期地震研究工作提供了宝贵数据,为泥浆泄露事故的解决提供了理论依据。特殊震动事件的监测,如2016年7月南宁市某小区楼房的不明振动的监测、2019年10月28日河池南丹矿区发生冒顶事故现场监测,都为解决群众忧患和后期救援决策提供了可靠依据。特殊震动事件的监测,主要依靠当地地震部门地震监测队伍进行现场流动监测。

### 3.2 观测的规模和布局

测震应急流动台架设的规模和布局安排则根据地震大小和余震展布情况作适当部署和调整。广西主要以岩溶地貌为主,近年来发生的几次震群都主要发生在岩溶岩洞发育区,震级大小一般在2~3级之间,在阶段时间内地震的频次高,地震空间分布密度大。为加密观测震群,在流动台架设时采用至少2个台加密观测,呈现一定的张角,并主要架设在震中区,可根据S-P时间差进一步研究震源深度。中强地震的测震流动台监测则

表2 2010年以来广西典型地震事件测震流动台架设情况

Table 2 Erection of mobile stations for measuring typical earthquake events in Guangxi since 2010

序号	地震事件	流动台数量	地震序列
1	2010年凌云凤山3级震群	3	6月28日至8月15日共记录3071次地震
2	2012年柳州长塘3级震群	7	2012年11月2日至2013年3月8日共记录31次地震
3	2013年平果果化2.0级震群	3	6月16日至7月29日共记录到1149次地震。
4	2014年广西隆安2.0级震群	2	10月17日至11月20日共记录5次地震
5	2015年广西合山2.0级震群	3	9月28日至10月7日共记录到22次地震
6	2016年7月31日广西苍梧5.4级地震	7	共记录到10次余震
7	2016年9月17日广西来宾4.1级地震	6	共记录到15次余震
8	2017年7月15日广西南丹4.0级地震	4	共记录到2次余震
9	2017年8月靖西4.0、10月靖西4.1级地震	3	共记录到46次地震
10	2017年8月广西忻城3.7级地震	3	共记录到47次地震
11	2019年10月12日广西北流—广东化州5.2级地震	6	截至2020年12月26日,共记录248次地震
12	2019年11月25日广西靖西5.2级地震	4	截至2020年12月26日,共记录306次地震

根据震级大小和震中周边固定观测台站的密度而布设。如2014年11月20日广西隆安2级震群布设了2个流动台,2016年7月31日广西苍梧5.4级地震根据周边台站稀疏情况布设了7套流动台;2019年10月12日广西北流—广东化州5.2级地震中联合广东省地震局架设了6个流动台。

### 3.3 观测的选址

在测震流动观测台台址的选择上,主要考虑几个因素:

(1)基岩。在测震流动观测台台址的选择上,基岩是首要考虑的要素。高信噪比的台基噪声水平对近震小震的加密观测有着重要的作用。在台站基岩位置的选择上,也需按照相关国家或行业标准,选择无风化、无破碎夹层、完整、大面积出露基岩上。台站台基需做台基测试、分析,台基地动背景噪声水平满足Ⅲ及环境噪声水平,满足地震观测的要求。

(2)布局。台站布局安排需要综合考虑,统筹安排,先谋而后定。首先尽可能接近震中,才能准确分析地震序列的震源深度等地震性质。然后确保流动台间距合适,方位角分布均匀,决不能贪图地理交通方便,随意架设。在广西北流—广东化州5.2级的测震流动中,广西的L4502流动台的位置布设方面不够理想,如能在往南偏移相对

靠近震中位置上,效果会更好。

(3)环境。流动台的点位选择还需考虑通讯和通电、设备安全等条件。台站的通讯直接呈现出台站数据的可实时使用性。目前主流传输的是无线网络传输方式,要考虑好运营商的3G/4G信号,2020年后三大运营商已经陆续启动了2G/3G退网计划,县级地区的3G信号已经薄弱乃至无信号。因为流动观测需要一段时日,这就需要保障设备的安全性。在2017年广西靖西4.1级地震中,就结合附近基本站,把流动台设备架设在台站中。在靖西5.2地震中,靠近越南边境,流动台的3G信号就没有那么好,出现了数据缺记等问题。

## 4 小结和思考

广西地震流动监测开始于20世纪70年代,到目前已发展近40年,经历了模拟现场观测到数字化远程遥测过程,特别是在2013年组建了广西数字应急测震流动台网,实现多个流动台成网监测和现场流动台网中心实时汇集、处理分析地震数据功能,为广西测震流动观测一重要里程碑。2015年以来全国片区、广西及区内三大片区年度测震流动观测演练不断,通过演练,提高了片区内的应急协作能力,也培养大批流动监测队伍,保障了面对大地震应急实战时可发挥出最大的联

动应战效能。

测震流动观测应用呈现多元化,广泛应用于震前、震后震情监测、水库地震监测研究、区域深部探测和孕震机理研究、突发特殊震动事件及其他重大工程安全保障等方面,为监测后续余震序列活动,提高地震监测能力,准确做出地震趋势判定等科学研究服务,也为当地社会企业民众提供服务。

但目前广西应急测震流动观测组网主要应对的是中强地震,对破坏性地震的应急组网还欠考虑,比如在特大地震灾害现场,需要考虑通信、电力等中断造成的困难与挑战,同时也要考虑余震不断选点难、危险多、组网慢等问题。此外广西测震流动观测还缺少强震动方面的现场观测,特别是在大震后缺少震中区加速度数据获取。

测震流动观测是当前地震监测台网观测的有效补充,随着地震预警项目的不断实施,台站布局不断加密,地震监测能力从而得到大幅度提升,测震流动观测在地震应急中的进一步发挥值得我们去思考和探索,特别是对震中区的加密观测、观测系统的模块化集成发展和布局点位的选择。同时也伴随着地震观测技术的不断进步,移动手机端地震监测数据模块化的开发与应用,将更方便快捷。

## 参考文献

- [1] 林伟,李敬,刘少文,等. 东源M4.8级地震现场流动监测的作用[J]. 华南地震,2012,32(S1):29-37.
- [2] 张清,谢夜玉,符衡,等. 流动地震监测台网在广西北流M<sub>s</sub>5.2地震中的应用[J]. 华北地震科学,2019,37(S1):24-29.
- [3] 林伟,杨马陵,郭德顺,等. 广东兴宁大兴煤矿塌陷地震应急组网监测[J]. 华南地震,2006,26(03):96-102.
- [4] 广西壮族自治区地震局. 广西壮族自治区地震监测志[M]. 北京:地震出版社,2004
- [5] 蒋海昆,杨马陵,孙学军,等. 暴雨触发局部地震活动的一个典型例子:2010年6月广西凌云—凤山交界3级震群活动[J]. 地球物理学报,2011,54(10):2606-2619.
- [6] 牟剑英,谢夜玉,龙宗志,等. 红水河梯级水电站水库地震监测台网的建设与发展[J]. 地震地磁观测与研究,2020,41(05):128-140.
- [7] 陈翰林,陈阳. 新丰江及龙滩水库地震活动性研究[J]. 华南地震,2012,32(S1):96-102.
- [8] 华卫,陈章立,郑斯华,等. 水库诱发地震与构造地震震源参数特征差异性研究——以龙滩水库为例[J]. 地球物理学进展,2012,27(03):924-935.
- [9] 徐小明. 南北地震带壳幔结构成像研究[D]. 北京:中国地震局地球物理研究所,2014.