

四川地区的地震定点地球物理观测状况研究

邱桂兰, 陈学芬, 赵航, 黄雪影

四川省地震局, 四川 成都

Email: 285108546@qq.com

收稿日期: 2021年2月23日; 录用日期: 2021年4月13日; 发布日期: 2021年4月20日

摘要

地球物理观测是地震预测预报的基础技术支撑, 只有对地球内部的变化情况进行严密的监测, 产出精确的观测资料, 对地震的预测预报才更具有可能性。为进一步加强四川的地震监测, 为地震预测预报提供更加可靠的、更高精度的观测资料, 本文系统梳理了四川地区的地震定点地球物理观测情况, 为四川地区地震观测十四五规划提供参考。结果表明, 四川的地震定点地球物理观测已有一定规模, 存在以下特点: (1) 观测手段全, 测项多; (2) 观测资料质量高, 具有一定的映震能力; (3) 观测仪器类型多, 同类型观测具有一定的可比性; (4) 观测台站分布不均匀; (5) 观测环境复杂, 要进一步加强观测环境保护。

关键词

地球物理, 观测状况, 四川, 定点

Research on the Status of Fixed-Point Geophysical Observation of Earthquakes in Sichuan Area

Guilan Qiu, Xuefen Chen, Hang Zhao, Xueying Huang

Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu Sichuan

Email: 285108546@qq.com

Received: Feb. 23rd, 2021; accepted: Apr. 13th, 2021; published: Apr. 20th, 2021

Abstract

Geophysical observation is the basic technical support for earthquake prediction. Only by closely monitoring the changes in the earth's interior and producing accurate observation data, and it is

more likely to predict earthquakes. In order to further strengthen the earthquake monitoring in Sichuan Province and provide more reliable and more accurate observation data for earthquake prediction, this paper systematically orders the earthquake fixed-point geophysical observation in Sichuan Province, which provides a reference for the 14th five-year plan of earthquake observation in Sichuan Province. The results show that the fixed-point geophysical observation in Sichuan Province has a certain scale and has the following characteristics: (1) complete observation means and many observation items; (2) high quality observation data with certain earthquake reflecting ability; (3) many types of observation instruments and comparable observations of the same type; (4) uneven distribution of observation stations; (5) complex observation environment, which should be further strengthened Strong observation and environmental protection.

Keywords

Geophysics, Observation Status, Sichuan, Fixed Point

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

四川是中强以上地震多发区[1], 根据全国 $M \geq 6$ 级地震频次统计, 四川地震活动仅次于台湾、西藏、新疆和云南, 列全国第五位。四川省的地震活动具有“频度高、强度大、震源浅、灾害重”的特点[1] [2], 作好四川的地震监测预报工作, 最大限度减轻人民群众的生命财产损失, 是四川地震系统的责任使命所在。

2. 基本情况

四川省地震局成立于 1976 年 10 月, 自系统成立以来, 经历各个时期的地震台站建设, 特别是“九五”数字化、“十五”数字化工程、汶川 8.0 级、芦山 7.0 级和九寨沟 7.0 级等地震灾后重建、中国大陆构造环境监测网络、中国地震背景场探测项目、川西能力提升工程以及极低频探地工程地震预测分系统项目等系列工程建设, 使得四川地震观测能力的建设得到较大的提升。

四川的地震定点地球物理观测主要包括: 定点地壳形变观测、地下流体学科观测和定点电磁学科观测。定点地壳形变学科观测主要是通过建立形变观测台站, 利用水平摆倾斜仪、石英伸缩仪、水管倾斜仪等仪器监测地球在内力和外力作用下, 地壳表面产生的升降、倾斜、错动等现象及其相应的变化量[3]。定点形变测量主要包括地倾斜、地应变和重力(固体潮汐)台站观测。这种方法可以有效地监测地壳的连续变动。通过不同时间间隔的采样, 在相当宽的频带范围内对地壳动力学现象进行观测, 再通过对监测到的大量信息, 进行数据与图像的类比、数学处理等分析, 使之作为地震短临预报的一种方法。

地下流体学科观测分水物理观测和水化学观测。主要包括: 水位、水温、流量、离子浓度、电导率、水的酸碱度 PH 值、地温、溶解气、水氡、水汞、逸出气等等。由于地下流体的运动与地球大气圈、水圈的循环有直接联系, 需要观测气温、气压、降水量等气象要素, 以帮助客观分析地下流体的动态特征[4]。

地球电磁学是在现代电磁学的基础上推进和发展的, 它的基础是电磁理论在地球介质条件的应用。主要是利用地球电磁学的理论和技术探索与孕震过程相关的地球介质的电磁性质及电场本身的变化[5]。我国定点电磁学科观测主要有地电观测和地磁观测。地电观测包括视电阻率、自然电位差、大地电场观

测。定点地磁观测包括磁力仪、极低频电磁测量和电磁扰动等观测。

四川的地震定点地球物理观测台站主要分布在人口稠密的龙门山断裂带、三叉口地区、安宁河-则木河断裂带、攀枝花及附近地区，另在甘孜、理塘-巴塘、自贡-宜宾等地也有分布，但相对零星(图 1)。

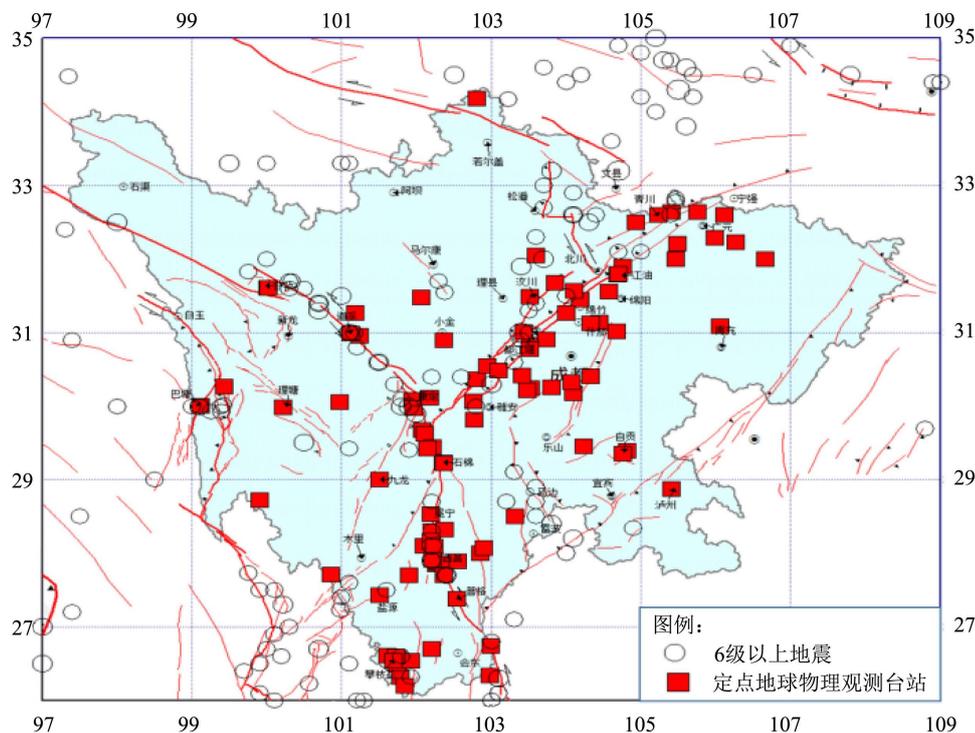


Figure 1. Distribution of seismic fixed-point geophysical observation stations in Sichuan area
图 1. 四川地区地震定点地球物理观测台站分布

3. 观测状况研究

3.1. 台站分布

3.1.1. 定点地壳形变观测

图 2 显示，四川地区的定点地壳形变观测台站主要集中在龙门山断裂带至三叉口及附近地区，在鲜水河断裂北段、安宁河-则木河中段、川东南地区、川西高原及攀枝花虽有分布，但很零散。定点地壳形变观测台站的分布，对龙门山断裂带的地震活动监控比较好，但对鲜水河断裂、安宁河-则木河断裂、岷江-虎牙断裂、盐源-木里及川西地区等 6 级以上地震多发区的控制有欠缺。

3.1.2. 地下流体观测

地下流体观测台站分布显示(图 3)，其主要分布在龙门山断裂中段、三叉口地区及安宁河-则木河中段及攀枝花地区，在 6 级地震频发的利店-玛璃断裂、莲峰断裂、岷江-虎牙断裂、鲜水河断裂中北段的观测台站较少。

3.1.3. 定点电磁学科观测

图 4 是四川地区定点电磁学科观测的台站分布图。该图显示，电磁学科的定点观测台站主要分布在龙门山断裂中北段，除西昌冕宁、西昌小庙、攀枝花及甘孜州甘孜县和道孚县外，其他区域也比较零散。电磁学科定点观测台站对四川 5 级以上地震监控能力均较弱。

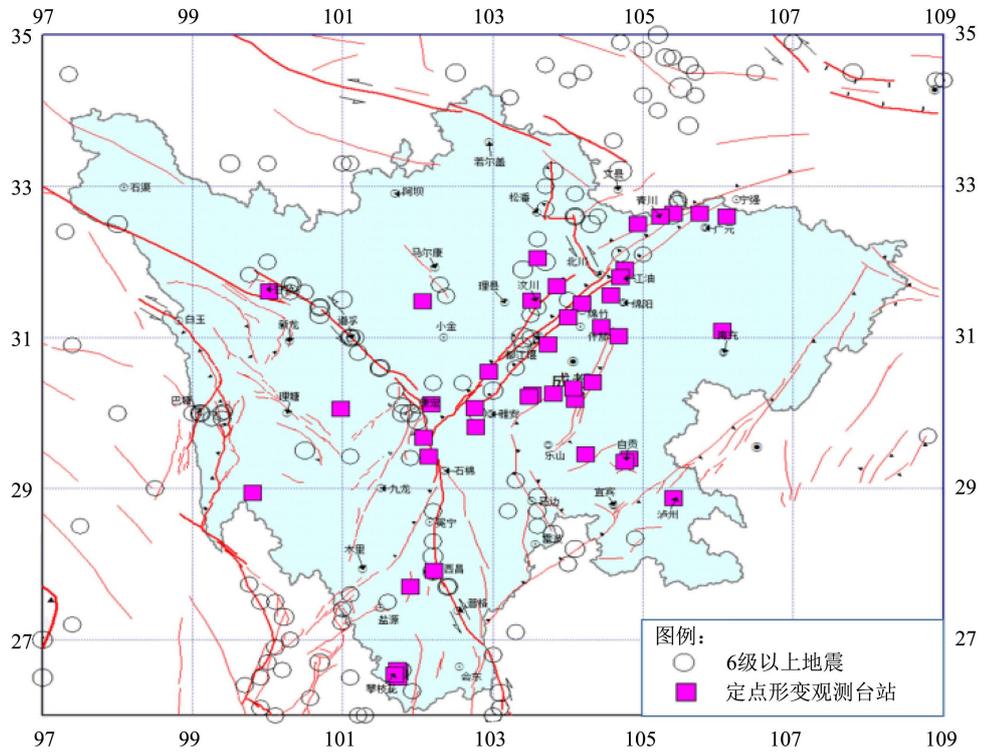


Figure 2. Distribution of epicenters of $M_S \geq 6$ earthquakes and fixed crustal deformation observation stations in Sichuan area
图 2. 四川地区定点地壳形变观测台站与 $M_S \geq 6$ 级地震震中分布图

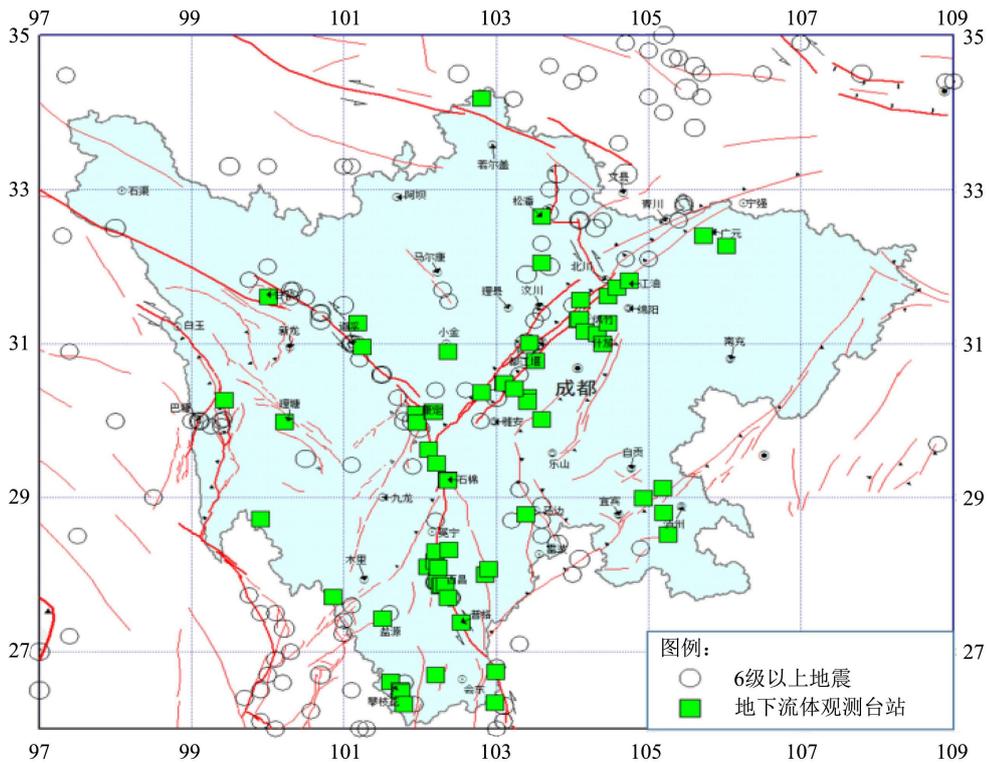


Figure 3. Distribution of underground fluid observation stations and epicenters of $M_S \geq 6$ earthquakes in Sichuan
图 3. 四川地区地下流体观测台站与 6 级地震震中分布图

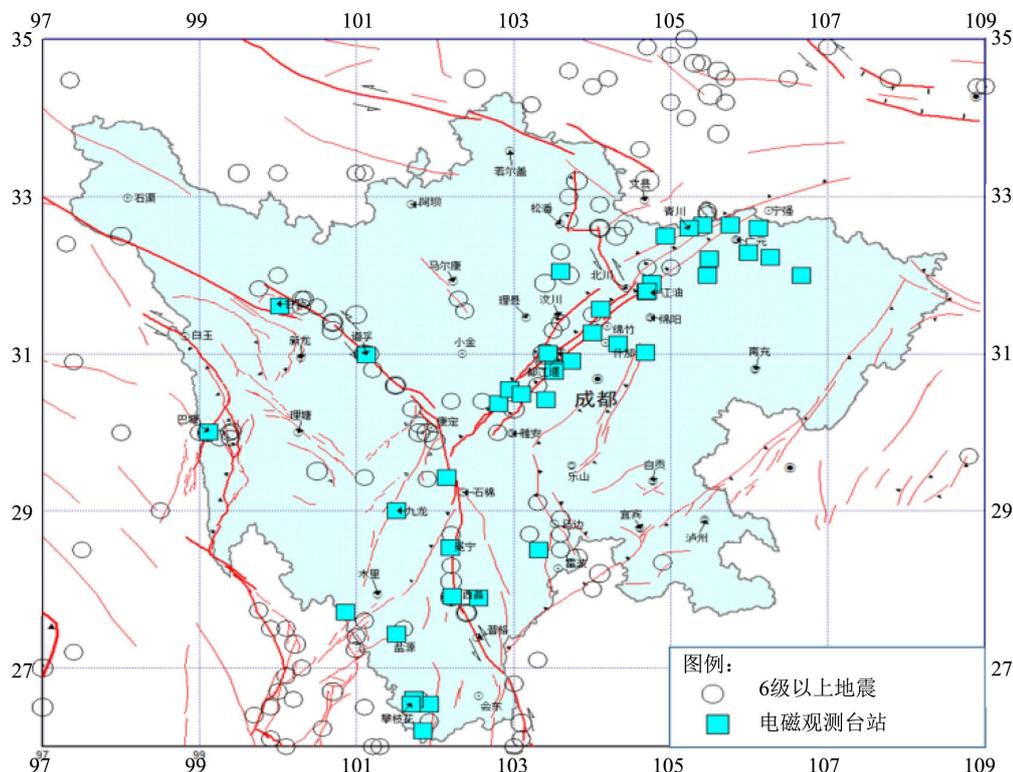


Figure 4. Distribution map of electromagnetic observation stations and epicenters of M_5 earthquakes in Sichuan area
图 4. 四川地区电磁学科观测台站与 5 级地震震中分布图

3.2. 观测仪器

统计显示, 目前四川已有的定点连续地球物理观测台站为 155 个, 观测仪器 330 套。其中电磁台站共有 42 个, 观测仪器 75 套, 13 种型号的观测仪器。定点形变台站共有 43 个, 观测仪器 74 套, 有 14 种型号的观测仪器。地下流体台站共有 70 个, 观测仪器 126 套, 25 种型号观测仪器。另有 33 个台站有辅助观测, 共 55 套辅助观测仪器。

综合四川定点连续地球物理观测仪器, 共有 60 余种(表 1)。

Table 1. Statistics of fixed-point geophysical observation in Sichuan

表 1. 四川地区定点地球物理观测情况统计

学 科	观测台站(个)	测项(个)	仪器型号(个)
电磁学科	42	75	13
定点形变	43	74	14
地下流体	70	126	25
辅助观测		55	8
合计	155	330	60

备注: 辅助观测一般分布在各台站。

3.3. 观测环境

通过对四川定点连续地球物理观测台站直接与间接走访与调查研究, 发现专业台站的 35 个台站中,

干扰小、干扰少,相对观测环境比较好的有 30 个。观测环境严重受干扰的有甘孜地震台的温泉,松潘泉点的气氦、气汞观测,成都地震台的电磁观测等。市州应急管理局共有 92 个观测台站,观测环境总体良好。但攀枝花乌龟井地震台、凉山州的普格温泉等受干扰较为严重。

随着社会经济的不断发展,地震观测环境越来越受建设工程、电磁环境、水资源等的影响,地震观测环境保护越来越成为地震观测的一项重要工作。

3.4. 观测资料

3.4.1. 入库资料情况

对近 3 年的观测资料扫描后发现,专业台站的观测资料连续率均在 96%以上,大部分资料连续率、完整率在 99%以上,市州应急管理局的大部分资料连续率在 90%以上(表 2)。

Table 2. Statistics of continuity rate of fixed-point geophysical observation data in Sichuan area

表 2. 四川地区定点地球物理观测资料连续率情况统计

所属	测项数(个)	连续率
专业台站	177	96%以上
应急管理局	153	90%以上
合计	330	平均 93%

3.4.2. 资料映震情况

地震趋势预测方面,近几年在四川发生的中强以上地震几乎都发生在划定的年度危险区内,各学科的趋势异常较好地反映了震前的异常变化[6] [7]。比如,2008 年 5 月 12 日的汶川地震前,成都地震台地电阻率的趋势异常变化明显,较好地反映了这次地震前,该区域某一固定深度内固定探测体积内的岩层电阻率变化[8] (图 5)。短临预测方面,近年的攀枝花地震、姚安地震、芦山地震前,省内的定点地壳形变、地下流体观测等,10%~20%的观测资料出现了明显的短期异常。比如,2019 年 7 月 9 姚安 6.0 级地震前攀枝花南山地震台石英伸缩仪 NS 分量整点值出现的异常变化[9] [10] (图 6)。四川地区定点地球物理观测资料为四川地区地震的中短期预测提供了良好的支撑。

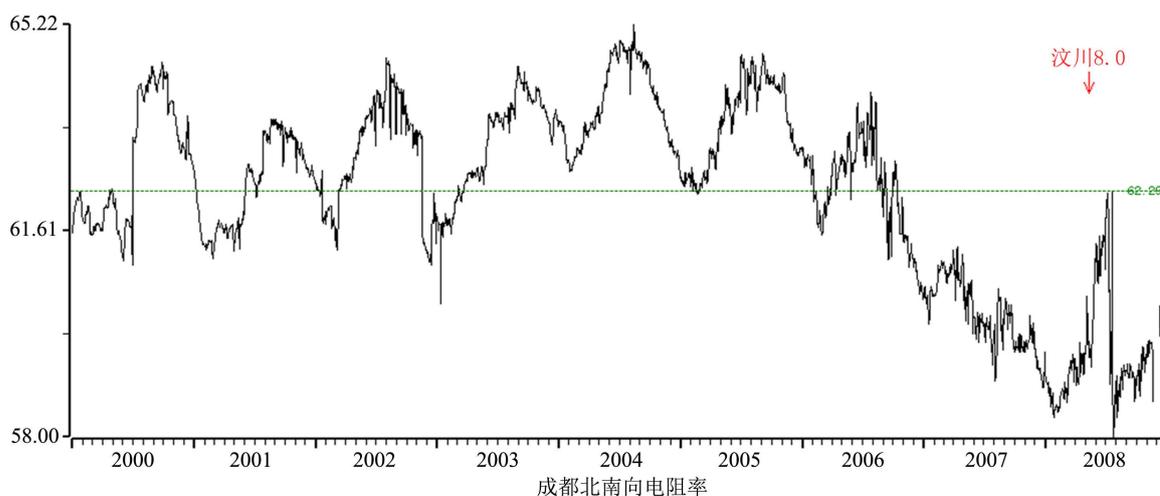


Figure 5. Abnormal trend of earth resistivity at Chengdu seismic station

图 5. 成都地震台地电阻率的趋势异常变化

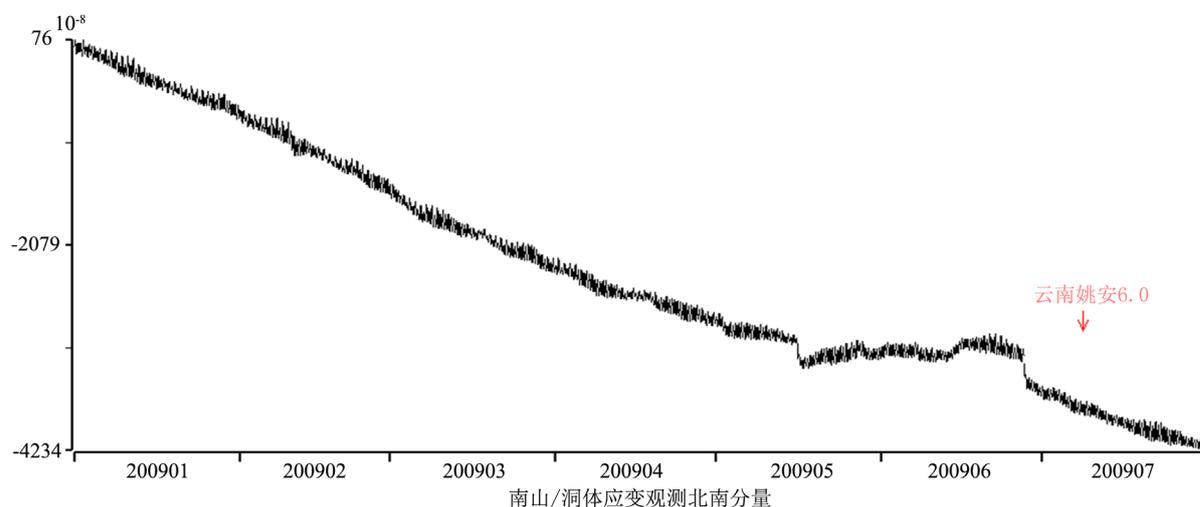


Figure 6. Abnormal change of NS component integral value of quartz extensometer at Nanshan seismic station, Panzhihua
图 6. 攀枝花南山地震台石英伸缩仪 NS 分量整点值异常变化

4. 存在的问题

4.1. 观测台站分布不均匀

图 7 是自有记录以来，四川的中强以上地震震中分布图，该图显示，四川的 5 级以上地震主要发生在鲜水河断裂、龙门山断裂、安宁河 - 则木河断裂、岷江 - 虎牙断裂、木里 - 盐源 - 宁蒗断裂、巴塘 - 金沙江断裂、理塘断裂、利店 - 莲峰断裂及宁南巧家附近区域。6 级以上地震(图 8)虽然也主要发生在以上区域，但在地点上更为集中。图 1 显示，四川的地震地球物理观测台站的分布主要集中于龙门山断裂、三叉口地区、鲜水河断裂南段及安宁河 - 则木河断裂交汇的西昌地区和攀枝花地区，其他比如理塘、巴塘及川东南地区虽然也有观测，但分布都比较零星分散，从地理位置上看，没有明显的规律。与地震活动分布相比，其关联性不强。四川地区地震地球物理观测台站有扎堆分布，存在监测与地震活动分布不配套的现象。

4.2. 观测仪器种类多，来源不统一，存在仪器老化、维修困难等问题

表 1 显示，四川定点连续地球物理观测仪器多达 60 余种，平均每个学科的仪器种类近 30 余种。一方面，观测仪器种类越多，观测原理、观测精度、观测所获得的信息均不一致，仪器来源不同、型号不同、精度不同，导致仪器观测资料的可类比性存在很大差异[11][12]。第二方面，部分台站仪器老化问题突出。四川的地震定点地球物理观测始于 70 年代。到目前，虽然大部分台站已经进行了更新换代，但仍有部分台站因经费等各种原因，还在沿用 70、80 年代的模拟观测仪器。这些观测仪器，因运行时间长、无配件、仪器严重老化，精度低，有的虽然还能维持继续观测，但其观测意义已经不大。第三方面，所有的定点地球物理观测仪器，普遍存在稳定性差的问题。第四方面，存在维修困难问题。因仪器型号多，涉及生产厂家多，产品型号设备的通用性差，导致备机、备件的购置无法满足随时更换的要求。同时，现今仪器生产厂家不再提供仪器构造图纸，返厂维修周期长、维修成本高，部分仪器还因原研制单位不再生产、维修，造成仪器故障后无法恢复。第五方面，个别项目自购仪器或厂家赠送仪器，其观测原理不清楚，要用更这样的仪器来解决科学问题，显然不合适宜。

4.3. 观测环境复杂

近年来，随着经济建设高速发展，特别是高速公路、高铁、地铁、城市扩建、厂矿、水库、公路、

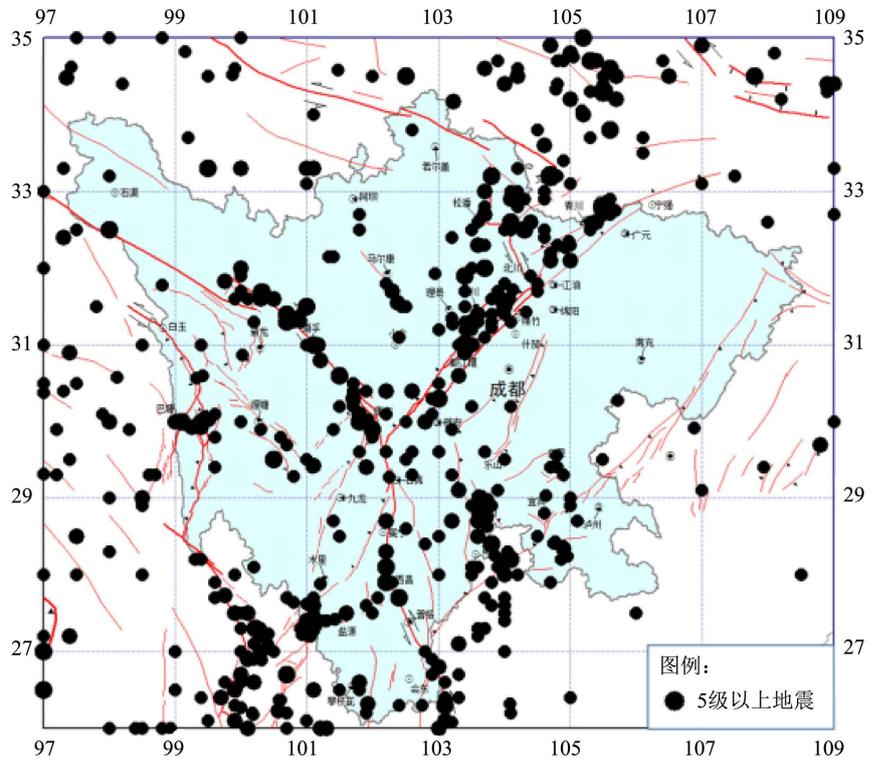


Figure 7. Epicenter distribution of $M_S \geq 5$ earthquakes in Sichuan area
图 7. 四川地区 $M_S \geq 5$ 级地震震中分布图

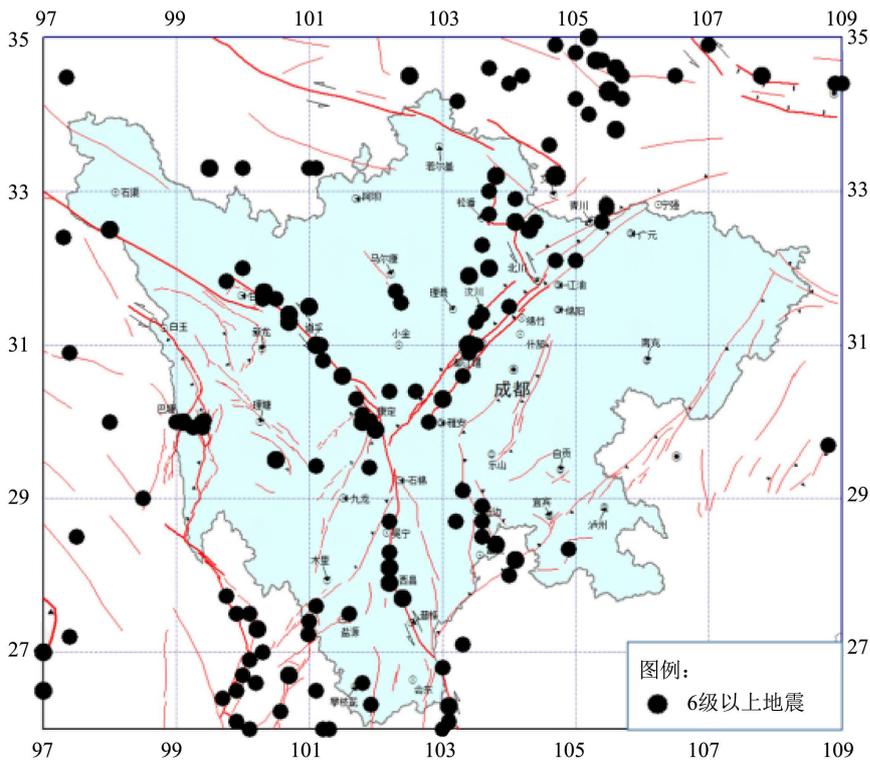


Figure 8. Epicenter distribution of $M_S \geq 6$ earthquakes in Sichuan
图 8. 四川地区 $M_S \geq 6$ 级地震震中分布图

旅游开发以及房地产开发等对地震监测设施和观测环境影响日益增多,地震地球物理观测环境变得越来越复杂。比如甘孜地震台的地下流体、成都地震台的电磁观测、松潘地震台的地下流体、小庙地震台的电磁观测等等,均是直接受温泉开发、高铁、公路建设的严重影响,给该区域的地震监测预报带来了无法取代的损失。其次,部分观测资料还显示,其连续性、完整率均较好,但存在明显、长期的固定干扰源,这其实也是观测环境的潜在干扰造成的。

4.4. 现状与发展趋势不匹配

地震的孕育和发生是一个十分复杂的过程。就目前的观测水平而言,无论是国外还是国内,其观测都方法都存在有震未发现异常和有异常而未发生地震的现象。因此,靠少量的前兆异常信息无法准确预报地震[13]。为攻克地震预报难关,获取到地震前更多更有效的前兆异常变化信息,我国的地震观测已经开始朝着建设高密度、高精度观测台网和建立地震科学实验场的方向发展[14]。但是,要建设高密度、高精度的地震观测台网和实验场,需要花费大量的人力、物力和财力。地震系统的现状,是很难支撑以上的地震事业发展。但相信通过上下齐心协力和科学的顶层设计,逐步、分步实施,我国的地震事业会越来越好的[15]。

5. 结论与建议

通过以上对四川地区的地震定点地球物理观测状况研究,认为四川地区的地震定点联系地球物理观测存在以下特点:

- (1) 观测手段全,测项多。
- (2) 观测资料质量高,具有一定的映震能力。
- (3) 观测仪器类型多,同类型观测具有一定的可比性。
- (4) 观测台站分布不均匀,且观测环境复杂。

鉴于四川地区地震定点地球物理观测存在以上特点,为进一步作好四川地区的地震监测预报工作,本研究建议采取以下措施加强四川地区的定点地球物理观测:

- (1) 全面、科学评估四川地区地震定点地球物理观测情况。
- (2) 结合地震活动、地震断裂带、现有观测,科学规划定点地球物理观测。
- (3) 分步升级改造、优化现有观测,逐步建设规划观测。

(4) 加快地震定点地球物理观测向高密度、高精度和实验场的建设,让地震监测预报尽早尽快跟上时代发展的步伐。

- (5) 加强观测环境保护,为地震观测提供良好的观测条件,为地震预报提供可靠观测资料。

基金项目

中国地震科学实验场(四川)地球物理观测台网建设规划研究(项目编号:LY2012);基于四川省雷电监测的地电场雷电干扰排除方法研究(项目编号:2018JY0428)。

参考文献

- [1] 刘北京. 地震预报现状及相关问题探讨[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(18): 110-154.
- [2] 韩谓宾, 席敦礼. 四川六级以上地震前地震活动断裂条带的特征[J]. 地震学报, 1984, 7(1): 1-16.
- [3] 国家地震局预测预防司. 地壳形变分析预报方法[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [4] 国家地震局预测预防司. 地下流体分析预报方法[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [5] 国家地震局预测预防司. 电磁学分析预报方法[M]. 北京: 地震出版社, 1998.

- [6] 中国地震局监测预报司. 强地震中短期预报方法及其效能研究[M]. 北京: 地震出版社, 2002.
- [7] 郭国祥, 张红秀, 郭林旺, 等. 山西临汾中心地震台数字化定点形变观测异常与地震对应关系分析[J]. 山西地震, 2014(2): 21-24.
- [8] 解滔, 刘杰, 卢军, 等. 2008年汶川MS8.0地震前定点观测电磁异常回溯性分析[J]. 地球物理学报, 2018, 61(5): 1922-1937.
- [9] 邱桂兰, 何跃, 张小东, 等. 攀枝花6.1级地震前南山地震台的形变异常分析[J]. 四川地震, 2010(4): 18-24.
- [10] 邱桂兰, 张永久, 何跃, 等. 2009年7月9日云南姚安6.0级地震预测回顾[J]. 地震地磁观测与研究, 2011, 32(3): 31-38.
- [11] 杨子龙, 雷鸣. 地震仪器的现状及发展趋势[J]. 物探装备, 2017, 27(4): 211-217.
- [12] 甘志强, 刘帅, 朱萍, 段晋华. 地震仪器智能化现状及前景展望[J]. 石油管材与仪器杂志, 2020, 6(2): 53-56.
- [13] 周雍年. 强震观测的发展趋势和任务[J]. 世界地震工程, 2001, 17(4): 19-26.
- [14] 阴朝民. 防震减灾技术系统的建设与发展[J]. 地震地磁观测与研究, 2001, 22(6): 1-12.
- [15] 周挚, 山秀明, 任勇, 李倩, 王征, 郭天乐. 信息化时代地震观测技术的产业化问题[J]. 国际地震动态, 2004(6): 8-14.