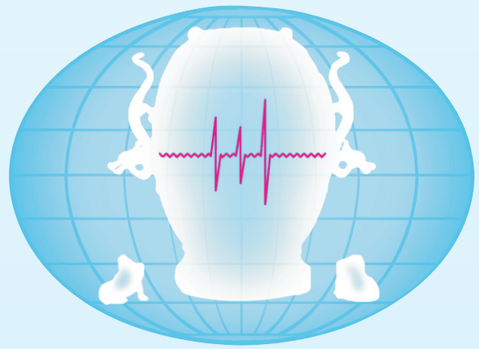
ISSN 1001-8115
CN 51-1163/P

四川地震

Sichuan Dizhen EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN



2022年6月
第2期

四川省地震局 主管主办

四川地震 二〇二二年 第二期 总第一八三期

《四川地震》
第6届编辑委员会

主　编：雷建成

副主编：杜　方　易桂喜　周荣军

编　委：（按姓氏笔画排序）

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

四川地震　Sichuan Dizhen
（季刊，1977年创刊）
2022年第2期（总第183期）2022年6月

EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN
（Quarterly，Started in 1977）
No.2，(Series No.183) June 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
9 771001 811223 06>

《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 2 期　四川地震　(季刊)　总第 183 期

目　　次

2021 年地震活动综述 …… 杜　方(1)

四川区域 GNSS 网络观测到玛多 7.4 级地震引起的远场同震位移

…… 何福秀,杨　洋,饶太国,陈　聪,刘　江,张　澜,罗　凌,姚贤良,张　翼(9)

2020 年 3 月西藏改则 $M_S \geqslant 5.0$ 地震震前电离层异常特征 … 刘　江,黄雪影,杨　力,何福秀,姚贤良(14)

江苏地区地震台站地网设计施工关键技术研究 …… 立　凯,瞿　旻,秦　磊(21)

盐源县龙洞河水位异常的分析和判定 …… 蒋　川,陈碧洪,马付红(25)

怀来台体应变干扰因素分析及质量评价 …… 宋晓煜,马广庆,王志敏,张　帆,池海江(30)

＊＊

地震科普

浅谈新形势下县(旗)级防震减灾科普宣传工作现状及相应对策研究——以呼伦贝尔市为例

…… 金志辉(35)

基于消费者意愿的地震科普产品分析 …… 王　萍(39)

云南省地震局防震减灾科普宣传进社区实践探索 …… 李　霞,张方浩,杜浩国,杨　芳(44)

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 ＊ 9 ＊ 2022 - 6
电子信箱:scdz@ scdzj. gov. cn(备用邮箱:scdzbjb@ 163. com)

EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN
(Quarterly, Started in 1977)

No. 2 2022 **Series** 183

CONTENTS

Summary of Earthquake Activities in 2021 ..... DU Fang(1)

Far-field Co-seismic Displacement Related to the M_S7.4 Maduo Earthquake Observed by the GNSS Network in the Sichuan Region
..... HE Fuxiu, YANG Yang, RAO Taiguo, CHEN Cong, LIU Jiang, ZHANG Lan, LUO Ling, YAO Xianliang, ZHANG Yi(9)

Characteristics of Ionospheric Anomalies before the Gaize $M_S \geqslant 5.0$ Earthquakes in March 2020 in Tibet
..... LIU Jiang, HUANG Xueying, YANG Li, HE Fuxiu, YAO Xianliang(14)

Research on the Key Technology of Ground Network Design and Construction at Seismic Station in Jiangsu Province
..... LI Kai, QU Min, QIN Lei(21)

Analysis and Determination of Abnormal Water Level of the Longdong River in Yanyuan County
..... JIANG Chuan, CHEN Bihong, MA Fuhong(25)

Interference Factors and Quality Evaluation of Volumetric Strain Gauge at Huailai Seismic Station
..... SONG Xiaoyu, MA Guangqing, WANG Zhimin, ZHANG Fan, CHI Haijiang(30)

* *

The Earthquake Science Popularization

A Brief Discussion on the Current Situation and Corresponding Countermeasures of Popularization of Science for Earthquake Protection and Disaster Reduction at County (flag) Level under the New Situation: Take Hulunbuir City as an Example
..... JIN Zhihui(35)

Analysis of Earthquake Science Popularization Products Study Based on Consumer Willingness ..... WAGN Ping(39)

The Popularization of Earthquake Prevention and Disaster Reduction into Community Practice by Yunnan Earthquake Agency
..... LI Xia, ZHANG Fanghao, DU Haoguo, YANG Fang(44)

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

2021 年地震活动综述

杜　方
(四川省地震局,四川 成都　610041)

摘　要:本文归纳性综述了 2021 年的地震活动,从全球到局部尺度,呈现了全球、中国和四川的地震活动概况;讨论了全球、中国和四川地震活动的特征;记叙了四川区域内发生的突出地震事件;追踪了近年四川区域已发生强震的余震活动情况。结果显示:全球 $M_S \geqslant 7.0$ 地震呈现年频次大致为一百多年以来的平均水平,震级强度略高,主体活动区为环太平洋地震带,表现出环太平洋地震带活跃而欧亚地震带相对平静,同时全球地震活动显示北半球弱、南半球强的活动特征;中国大陆 $M_S \geqslant 5.0$ 地震活动年频次略偏高于一百多年来的平均水平,震级强度略高,主体活动区域集中在青藏和滇缅两个地块;台湾及其附近海域年频次略高于一百年以来的平均值,震级水平高于 2020 年实际水平;四川区域 $M_L \geqslant 2.0$ 地震活动频次低于 2008 年以来的平均水平,震级强度呈现东强西弱特征,四川境内 $M_L 4.0$ 以上地震相对集中在华南地块的川东南区域、巴颜喀拉地块的龙门山断裂带和川北区域,华南地块的川东南区域发生泸县 6.0 级地震;近年四川区域的强震余震区持续活跃,汶川 8.0 级地震的整个余震区的余震持续活动,芦山 7.0 级地震余震区的余震强度和频次明显减弱,九寨沟 7.0 级地震余震区的余震的强度和频次均衰减明显,长宁 6.0 级震群区域余震强度减弱而频次依然较高。

关键词:地震活动;地震事件;余震
中图分类号:P315　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0001 - 08
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.02.001

基于地球动力学背景,分析认识中国大陆与周边板块边界带强震活动之间的相互关系,中国大陆地震构造环境与强震活动状况,更清晰认识周边板块边界的大震活动对中国大陆及周缘地震活动的影响;回述 2021 年全球 $M_S \geqslant 7.0$、中国大陆 $M_S \geqslant 5.0$ 以及四川区域的地震活动,以利于从整体到局部研究认识中国大陆地震活动格局和特征;综述四川区域 2021 年发生的突出地震事件;追踪 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级、2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级和 2017 年 8 月 8 日九寨沟 7.0 级地震余震的持续活动情况,进而分析认识四川区域的地震活动特征。

1　2021 年地震活动概况

1.1　全球 $M_S \geqslant 7.0$ 地震活动

据中国地震台网测定,2021 年全球共发生 $M_S \geqslant 7.0$ 地震 19 次,最大地震为 2021 年 7 月 29 日美国阿拉斯加州以南海域 8.1 级地震。从时间进程看,全年 $M_S \geqslant 7.0$ 地震呈现强 - 弱相间特征,相对集中发生在 1 ~ 3 月、7 ~ 9 月和 11 ~ 12 月。从活动水平看,2021 年震级水平略高于 2020 年最大地震(2020 年 7 月 22 日美国阿拉斯加州以南海域 7.8 级地震)。从空间分布看,全球 $M_S \geqslant 7.0$ 地震活动主体地区为环太平洋地震带,发生 $M_S \geqslant 7.0$ 地震 12 次,占全球 $M_S \geqslant 7.0$ 地震次数的 63%;南半球 $M_S \geqslant 7.0$ 地震次数略高于北半球,南半球 $M_S \geqslant 7.0$ 地震 12 次,北半球地震仅发生 7 次;全球大陆性 $M_S \geqslant 7.0$ 地震活动水平明显偏弱,仅有 1 次大陆性 $M_S \geqslant 7.0$ 地震发生在中国,即 5 月 22 日青海玛多 7.4 级地震;欧亚地震带未发生 $M_S \geqslant 7.0$ 地震,我国大陆周边未发生 $M_S \geqslant 7.0$ 地震(图 1)。

1900 年以来全球 $M_S \geqslant 7.0$ 地震震级和频次显示(图 2):2021 年全球 $M_S \geqslant 7.0$ 地震活动频次(19 次)与 1900 年以来的年频次均值(18.3 次)是基本一致的(刘自凤等,2019),且明显高于 2020 年 10 次的频次(杜

收稿日期:2022 - 01 - 24;**修回日期**:2022 - 02 - 10
作者简介:杜方(1959 -)女,山西寿阳人,研究员,主要从事地壳形变与地震预测研究. E - mail:1289991429@qq.com.

方,2021)。总体来看,2021 年度全球 $M_S \geq 7.0$ 地震呈现年频次大致为平均水平、震级水平略高,空间分布北(北半球)弱南(南半球)强的活动特征。

1.2　中国大陆及邻区地震活动

据中国地震台网测定,2021 年中国大陆及邻区(18°~55°N,70°~135°E)共发生 $M_S \geq 5.0$ 地震 37 次(包括台湾及其附近海域 17 次)(图 3),其中:5.0~5.9 级地震 31 次(含台湾及其附近海域 15 次);6.0~6.9 级地震 5 次(含台湾及其附近海域 2 次);7.0~7.9 级地震 1 次。2021 年中国大陆 $M_S \geq 6.0$ 地震 4 次,分别为:3 月 19 日西藏比如 6.1 级、5 月 21 日云南漾濞 6.4 级、5 月 22 日青海玛多 7.4 级和 9 月 16 日四川泸县 6.0 级地震。

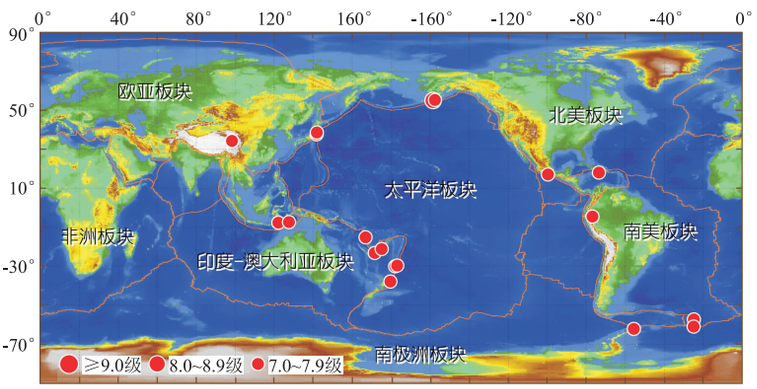


图 1　2021 年全球 $M_S \geq 7.0$ 地震分布

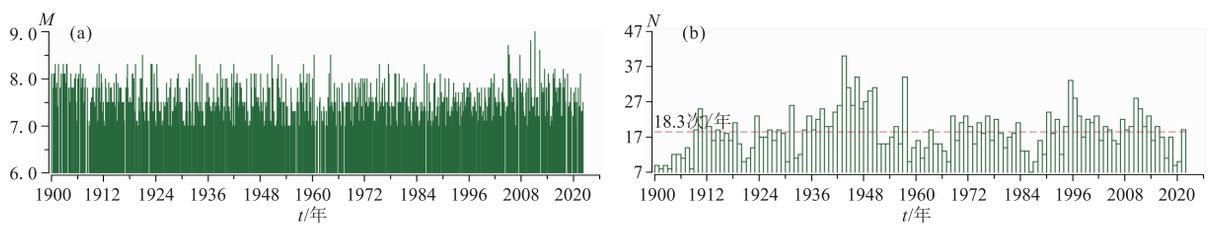


图 2　1900~2021 年全球 $M_S \geq 7.0$ 地震 $M-t$(a)和 $N-t$(b)(年频次)图

从空间分布看,2021 年中国大陆 $M_S \geq 5.0$ 地震主体活动区域与 2020 年相比有较大改变,呈现出由西域地块转向青藏和滇缅两个地块,即 2021 年 $M_S \geq 5.0$ 地震活动主要集中分布在青藏和滇缅两个地块(图 3)。青藏地块集中发生 10 次 5 级以上地震(含 2 次 6 级以上,即 3 月 19 日西藏比如 6.1 级和 5 月 22 日青海玛多 7.4 级地震);滇缅地块集中发生 5 次 5 级以上地震(含 1 次 6 级以上,即 5 月 21 日云南漾濞 6.4 级地震);华南地块发生 1 次 6.0 级地震,即 9 月 16 日四川泸县 6.0 级地震;西域地块发生 3 次 5 级以上地震,最大为 3 月 24 日新疆阿克苏地区拜城县 5.4 级地震;华北地块发生 1 次 5 级及以上地震,即 11 月 17 日江苏盐城市大丰区海域 5.0 级地震。台湾及其附近海域年频次 17 次 5 级以上地震(其中:2 次 6 级以上地震),略高于 1900 年以来的平均值(14 次/年);该区域震级水平高于 2020 年实际水平(2020 年 12 月 10 日台湾宜兰海域 M_S5.8),2021 年最大为 10 月 24 日台湾宜兰县 6.3 级地震。

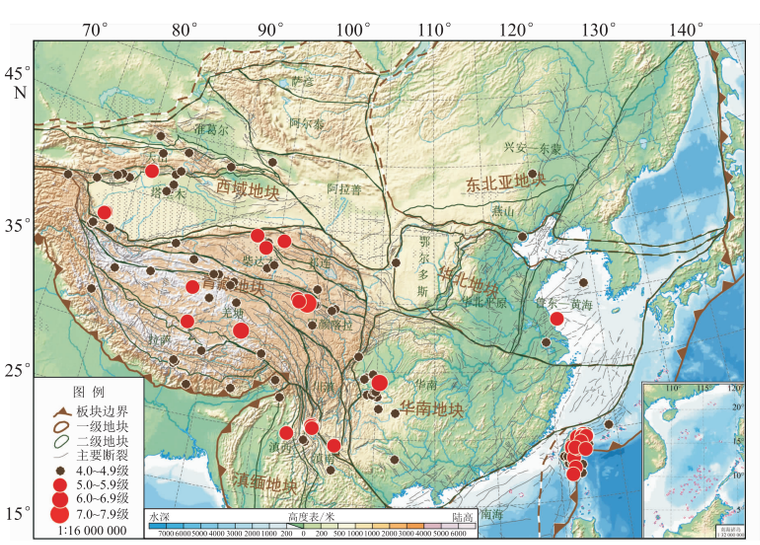


图 3　2021 年中国大陆及邻区 $M_S \geq 4.0$ 地震分布图

(地形底图来源:自然资源部监制,审图号:GS(2016)1609 号)

从地震强度看,无论是中国大陆还是台湾及其附近海域 2021 年的地震强度均高于 2020 年。中国大陆最大地震为 5 月 22 日青海玛多 7.4 级地震,台湾及其附近海域最大地震为 10 月 24 日台湾宜兰县 6.3 级地

震。从地震频次看,中国大陆及邻区 37 次 $M_S \geqslant 5.0$ 地震活动频次(图 4)较 1970 年以来的年频次均值 34.6 次(陈学忠等,2013)略高,高于 2020 年的 21 次(杜方,2021)。

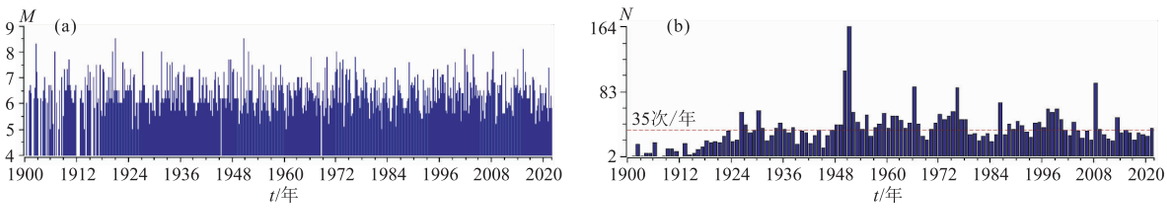


图 4　中国大陆 $M_S \geqslant 5.0$ 地震 $M-t$(a)和 $N-t$(b)图

1.3　四川区域地震活动

据四川地震台网测定,2021 年四川及邻区(25°~35°N,96°~110°E)共记录 $M_L \geqslant 2.0$ 地震 3 082 次,其中:M_L2.0~2.9 地震 2 789 次(含邻省 406 次);M_L3.0~3.9 地震 254 次(含邻省 35 次);M_L4.0~4.9 地震 27 次(含邻省 4 次);M_L 5.0~5.9 地震 9 次(含邻省 6 次);M_S6.0~6.9 地震 2 次(含邻省 1 次);M_S7.0~7.9 地震 1 次(含邻省 1 次)。

四川及邻区 $M_L \geqslant 4.0$ 地震主要集中分布于华南块体的川渝滇黔交界区域、巴颜喀拉块体的川青交界、川滇块体西南以及龙门山断裂带(图 5)。邻省突出地震为:1 月 23 日云南盐津 M_L5.0(M_S4.7),5 月 21 日云南漾濞 M_S5.6、6.4、5.0、5.2,5 月 22 日青海玛多 M_S7.4、5.1 和 8 月 13 日青海玛多 M_S5.8 地震。四川省内突出的地震为:7 月 14 日汶川 M_L5.3(M_S4.8),9 月 3 日珙县 M_L5.0(M_S4.8),9 月 16 日泸县 M_S6.0 和 11 月 17 日珙县 M_L5.0(M_S4.7)地震。

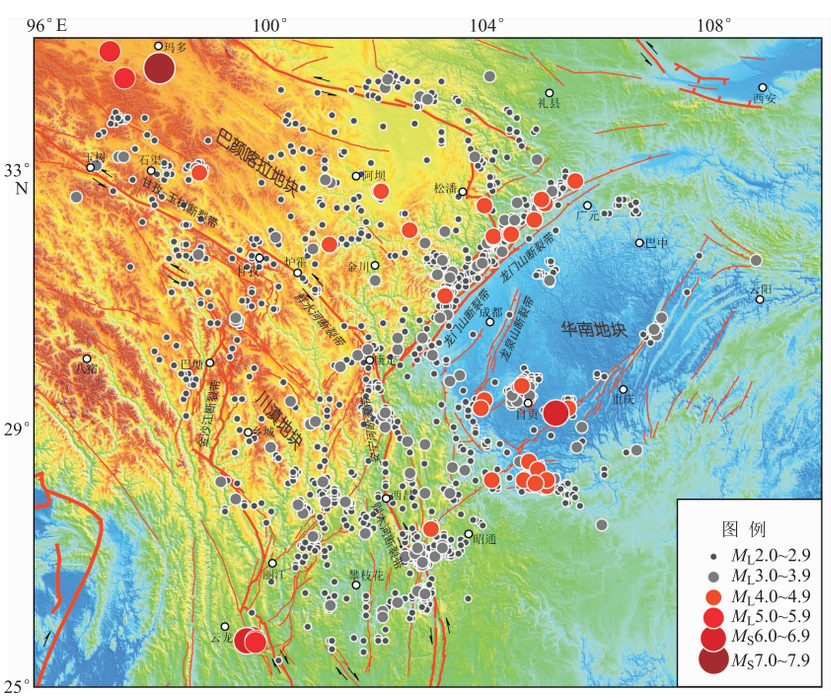


图 5　2021 年四川及邻区 $M_L \geqslant 2.0$ 地震分布

四川及邻区地震活动特点:四川及邻区 2021 年地震频次和强度均高于 2020 年。地震空间分布图像(图 5)显示,与四川南北相邻的云南和青海均发生强震,5 月 21 日云南漾濞发生 6.4 级地震,5 月 22 日青海玛多发生 7.4 级地震,四川省内 9 月 16 日发生泸县 6.0 级地震,强度明显高于 2020 年。四川区域的地震活动主要集中在三个区域(带)。(1)川东南地震集中活跃区。地震主要发生在泸县、长宁—兴文—珙县和荣县—威远—资中三个集中区,例如:泸县区发生 M_L3.0 及以上地震 16 次,其中 M_L4.0 以上地震 2 次,即 7 月 23 日泸县 M_S4.1(M_L4.6)和 9 月 16 日泸县 M_S6.0(M_L6.2)地震;长宁—兴文—珙县区发生 M_L3.0 及以上地震 67 次,其中 M_L4.0 以上地震 11 次,最大震级 M_S4.8(M_L5.0);荣县—威远—资中区 M_L3.0 及以上地震 39 次,其中 M_L4.0 及以上地震 1 次,最大震级 M_L4.4,即 11 月 10 日威远 M_S4.0(M_L4.4)。(2)龙门山断裂带沿带地震活跃。地震主要分布在汶川 8.0 级地震的余震区,发生 M_L3.0 及以上余震 36 次,其中 M_L4.0 及以上地震 8 次,最大为 7 月 14 日四川汶川 M_S4.8(M_L5.3);芦山余震区较弱,仅发生 M_L3.0 及以上余震 1 次,即 4 月 18 日芦山 M_L3.3 余震。(3)川北区域(巴颜喀拉块体内)地震相对活跃。发生 M_L3.0 及以上地震 26 次,其中 M_L4.0 及

以上地震 6 次，即 5 月 5 日平武 M_L4.1、5 月 10 日黑水 M_L4.0、7 月 5 日石渠 M_S4.0(M_L4.5)、7 月 23 日阿坝 M_L4.1、7 月 25 日阿坝 M_L4.2 以及 12 月 21 日壤塘 M_L4.0 地震，最大震级为 7 月 5 日石渠 M_S4.0(M_L4.5)。

2　四川区域突出地震

四川区域 2021 年突出地震——川东南区域的泸县 6.0 级地震。2021 年 9 月 16 日 04 时 33 分 31.9 秒，四川省泸州市泸县发生 M_S6.0 地震，微观震中为(29.20°N，105.34°E)，震源深度 10 km，属于浅源地震。

2.1　泸县地震序列及震源机制解

根据四川地震台网记录，截至 2021 年 12 月 31 日 24 时，泸县 6.0 级地震序列共记录 $M_L \geqslant 0.0$ 地震 255 次(含主震)，其中，M_L0.0～0.9 余震 152 次，M_L1.0～1.9 余震 75 次，M_L2.0～2.9 余震 23 次，M_L3.0～3.9 余震 4 次，M_S6.0 主震 1 次，最大余震为 9 月 16 日泸县 M_L3.4(M_S2.8)余震。整个序列 M_L3.0 以上余震稀少，以 $M_L < 3.0$ 地震为主，$M_L \geqslant 3.0$ 余震仅 4 次(表 1)。

表 1　泸县 6.0 级地震序列($M_L \geqslant 3.0$)目录

序号	发震日期	发震时刻	震中位置		震级		深度/km	参考地名
			φ_N/°	λ_E/°	M_S	M_L		
1	2021－09－16	04:30:48	29.22	105.33		3.1	12	四川泸县
2	2021－09－16	04:33:31	29.20	105.34	6.0	6.2	10	四川泸县
3	2021－09－16	04:52:07	29.20	105.40		3.0	9	四川泸县
4	2021－09－16	04:55:19	29.16	105.34	2.8	3.4	10	四川泸县
5	2021－09－16	07:23:48	29.22	105.32		3.2	9	四川泸县

泸县 6.0 级地震的余震序列分布(图 6a)显示：余震密集区呈 NWW 向长轴展布，长轴约 14 km，短轴约 8 km，与区域的 NE 走向的华蓥山断裂近于垂直。泸县 6.0 级主震前发生 1 次 $M_L \geqslant 3.0$ 前震，$M_L \geqslant 3.0$ 余震集中在主震发生当日，之后余震的强度没有出现大的起伏(图 6b)，余震主要集中发生在主震后 10 天，9 月 27 日略有频次增加(图 6c)，但随后迅速衰减。

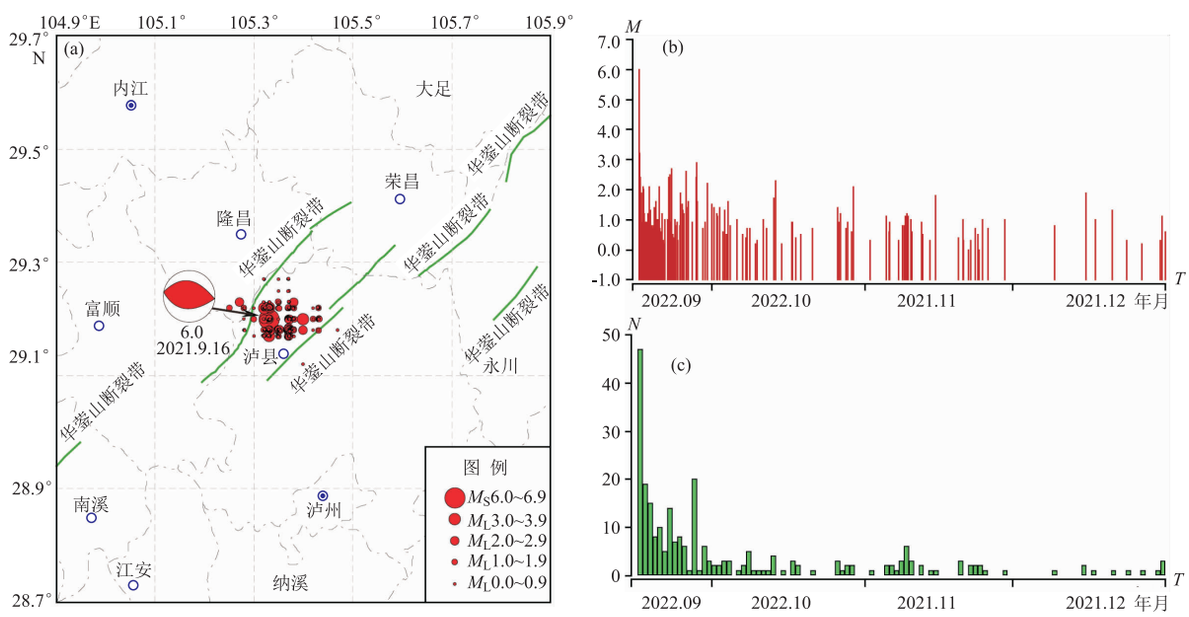


图 6　泸县 6.0 级地震序列分布、$M-t$ 和 $N-t$ 图

四川地震台基于川东南地区一维速度模型及 300 km 范围内台站记录的波形资料，利用 CAP 波形反演方法计算获得的震源机制结果(表 2)为：节面Ⅰ走向 90°，倾角 48°，滑动角 82°；节面Ⅱ走向 282°，倾角 42°，滑动角 99°；P 轴方位角为 186°，倾角 3°，错动类型为逆冲型(图 6a)。最佳拟合深度为 6 km，该深度处各台站波形拟合相关系数大于 70%，显示理论波形与实际波形具有较好的拟合关系，说明给出的震源机制较为

可靠。

表 2　泸县 6.0 级地震震源机制解

震中位置		深度/km	节面Ⅰ/°			节面Ⅱ/°			P 轴/°		T 轴/°		B 轴/°		震级		资料来源
φ_N/°	λ_E/°		Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake	Az	Pl	Az	Pl	Az	Pl	M_W	M_S	
29.2180	105.3639	6	90	48	82	282	42	99	186	3	300	83	95	6	5.3	6.0	四川地震台
29.1820	105.3910	10	125	61	104	279	32	67	205	15	65	71	299	12	5.4	6.0	USGS

截至 2021 年 12 月 31 日,泸县序列最大地震 M_S6.0 与次大地震 M_S2.8 的震级差达 3.2 级,且主震泸县 6.0 级地震所释放的能量占整个序列的 99.99%,显示该序列类型为孤立型(蒋海昆等,2006)。

2.2　泸县震中区域构造

泸县 6.0 级地震在构造上位于华南地块(扬子准地台)西偏北的边缘地带,与青藏地块相接触部位,显示为青藏高原“侧向挤出”影响的区域之一,具备发生中强地震的构造及应力背景(图 7)。印度板块对欧亚板块向北推挤的作用是青藏高原隆升的主要动力源,这一动力源不仅造成青藏高原的隆升以及地壳南北向的水平缩短和垂向增厚,同时引起青藏高原物质向周边“侧向挤出”;青藏地块由多个二级块体组成,例如:青藏地块的东南缘有巴颜喀拉和川滇等块体,青藏地块的高原物质“侧向挤出”对川东南泸县及附近区域(华南地块西偏北的边缘地带)产生影响。

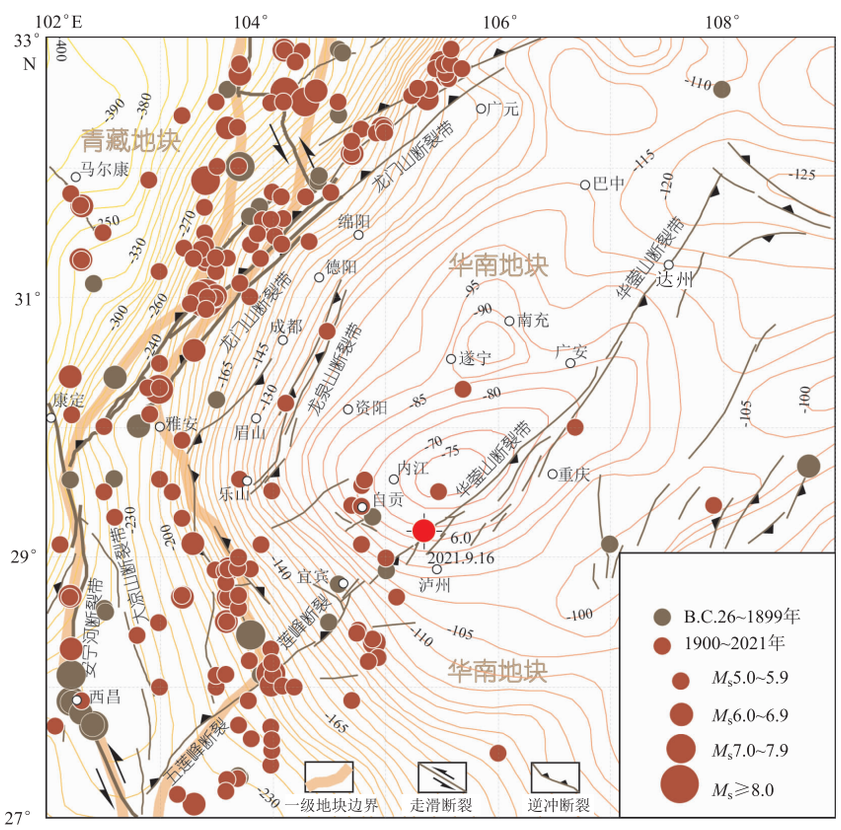


图 7　泸县 6.0 级与川东南及附近区域历史地震分布

(M_S≥5.0,B. C. 26 ~ 2021 年,等值线为布格重力异常)

泸县 6.0 级地震震中位于布格重力异常等值线形态平缓区的边缘(图 7)。深部地球物理场资料表明,总体上,布格重力异常等值线由龙门山断裂区域的 NE 走向转为 NW 走向,在泸县 6.0 级震中区域北西附近等值线发生明显转折,显示出附近区域的布格负异常值由东向西逐渐变大的趋势。四川盆地莫霍面深度为 38 ~ 42 km,从南东向北西川滇地块莫霍面深度为 42 ~ 62 km(徐志萍等,2018),四川盆地区域布格异常等值线变化比较平缓,表明四川盆地地壳厚度变化较小。泸县 6.0 级地震震中西北侧的布格重力异常等值线呈现由震中向外陡降的高梯度,震中北东侧呈现出布格重力由震中向外的由低向高缓升的布格重力梯度带。

泸县 6.0 级震中虽位于四川盆地东南缘的华蓥山断裂带南段区域,但发震构造与北东走向的华蓥山断裂带近于垂直。华蓥山构造带包括华蓥山断裂带、莲峰断裂、五莲峰断裂和宁会断裂,总体呈 NE 走向,长达 860 km。华蓥山断裂带北起华蓥山北,向南西经重庆荣昌至四川宜宾西南,长约 600 km,为四川盆地东南缘规模较大的断裂带,在地表呈现由规模不等的若干条断层组成,断裂带走向 N45°E,断层面倾向 SE,倾角 30 ~70°不等,具右行逆冲性质(唐荣昌等,1993)。五莲峰断裂、莲峰断裂为川滇地块(青藏地块内的二级地块)与华南地块的边界带一部分。泸县 6.0 级地震的震源机制解的两节面均为近东西走向,且余震密集区呈 NWW 向长轴展布。因此,泸县 6.0 级地震发震构造与北东走向的华蓥山断裂带近于垂直,应为 NWW 或近 EW 次级断层逆冲错动。

泸县 6.0 级地震的震中 100 km 内，四川公元前 26 年以来，历史记载和台网记录（四川地震资料汇编编辑组，1980，1981）5 级及以上地震 11 次（表 3）。其中：最早记载为 1892 年 2 月 10 日四川南溪 5.0 级地震，最大地震为 1896 年 2 月 14 日四川富顺 5¾级地震，距离最近为 1997 年 8 月 13 日重庆荣昌 5.2 级地震。1970 年有台网记录以来 5 级以上地震 5 次，分别为 1996 年 2 月 28 日四川宜宾 5.4 级、1997 年 8 月 13 日重庆荣昌 5.2 级、2019 年 9 月 8 日四川威远 5.4 级、12 月 18 日资中 5.2 级和 2021 年 9 月 16 日泸县 6.0 级地震。

表 3　泸县 6.0 级震中 100 km 范围内历史地震

No.	时间	纬度（φ_N°）	经度（λ_E°）	震级（M_S）	烈度	参考地名	与泸县 6.0 级地震震中距离/km
1	1892－02－10	28.9	105.0	5	Ⅵ	四川南溪	47.6
2	1896－02－14	29.3	104.9	5¾	Ⅶ	四川富顺	44.2
3	1905－11－08	29.4	104.7	5.0	Ⅵ	四川自贡	66.5
4	1936－09－25	28.7	105.1	5.0	Ⅵ	四川江安	60.5
5	1954－10－24	29.4	104.8	5.0	Ⅶ	四川自贡市	56.9
6	1959－11－13	29.0	105.0	5.0	Ⅵ	四川富顺附近	40.4
7	1996－02－28	29.1	104.8	5.4	Ⅶ	四川宜宾一带	54.3
8	1997－08－13	29.5	105.5	5.2	Ⅶ	重庆荣昌	36.4
9	2019－09－08	29.55	104.79	5.4	Ⅵ	四川威远	66.3
10	2019－12－18	29.59	104.82	5.2	Ⅵ	四川资中	66.7
11	2021－09－16	29.20	105.33	6.0	Ⅷ	四川泸县	0.0

2.3　泸县地震影响场和震害

四川省地震局组织对泸县 6.0 级地震灾区 167 个调查点的震害调查，参照震区地震构造背景、余震分布、震源机制、仪器烈度、遥感影像等科技支撑成果，结合地表强震动观测记录，确定了此次地震的烈度分布（详见四川省地震局官方网站 http://www.scdzj.gov.cn/）。泸县 6.0 级地震的最高烈度为Ⅷ度，等震线长轴呈北西西走向，长轴 62 km，短轴 54 km。Ⅵ度区及以上面积为 2 613 km^2，主要涉及到四川省泸州市泸县、龙马潭区；自贡市富顺县、大安区；内江市隆昌市等 5 个县（市、区），51 个乡镇（街道）；重庆市荣昌区 1 个区，10 个乡镇（街道）。Ⅷ度区面积约 103 km^2，主要涉及四川省泸州市和内江市共计 4 个乡镇（街道）；Ⅶ度区面积约 340 km^2，主要涉及四川省泸州市和自贡市共计 13 个乡镇（街道）；Ⅵ度区面积约 2 170 km^2，主要涉及四川省泸州市和自贡市共计 50 个乡镇（街道）；重庆市共计 10 个乡镇（街道）；合计 60 个乡镇（街道）；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。

3　四川区域的主要余震活动

3.1　汶川 8.0 级地震的余震活动

汶川 8.0 级地震的余震仍持续活跃，继续呈现起伏性平稳衰减态势。从 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震至 2021 年 12 月 31 日，四川台网共记录到 $M_L \geqslant 0.0$ 汶川余震 148 635 次，其中：M_S5.0～5.9 余震 43 次；M_S6.0～6.9 余震 8 次；2021 年新增 M_L4.0 以上余震 8 次，7 月 14 日发生汶川 M_S4.8（M_L5.3）较强余震；序列最大余震仍为 2008 年 5 月 25 日青川 M_S6.4 地震（杜方等，2018）。汶川余震继续沿整个余震区分布，表明仍处于余震调整期。2021 年记录 $M_L \geqslant 0.0$ 余震 2 674 次，其中：M_L2.0～2.9 余震 309 次；M_L3.0～3.9 余震 29 次；M_L4.0～4.9 余震 7 次；M_L5.3（M_S4.8）余震 1 次。余震仍然沿整个余震区南段、中段和北段较均衡展布，表明汶川余震区仍处于余震调整期。

3.2　芦山 7.0 级地震的余震活动

芦山 7.0 级地震的余震丰富。2013 年 4 月 20 日芦山 M_S7.0 地震，截至 2021 年 12 月 31 日共记录到 $M_L \geqslant 0.0$ 余震 17 426 次，其中：M_L3.0～3.9 余震 335 次；M_L4.0～4.9 余震 56 次；M_L5.0～5.9 余震 7 次（M_S5.0 以上余震 4 次）。M_S5.0 以上余震均发生在主震后的 2 天内，余震序列强度衰减明显。最大余震为 2013 年 21 日 17 时 05 分芦山、邛崃交界 M_S5.4 地震（杜方等，2019）。芦山 7.0 级地震的余震继续活动，强度和频次明显减弱。2021 年记录 $M_L \geqslant 0.0$ 余震 110 次，其中：M_L1.0～1.9 余震 65 次，M_L2.0～2.9 余震 10 次，M_L3.0

~3.9 余震 1 次。4 月 18 日芦山发生 M_L3.3 余震。

3.3　九寨沟 7.0 级地震的余震活动

2017 年 8 月 8 日九寨沟 7.0 级主震至 2021 年 12 月 31 日,四川地震台网共记录到九寨沟 M_L0.0 以上余震 11 207 次,其中 M_L3.0 ~ 3.9 余震 104 次,M_L4.0 ~ 4.9 余震 15 次,M_L5.0 ~ 5.9 余震 1 次,最大余震仍为 2017 年 8 月 9 日 10 时 17 分九寨沟 M_S4.8(M_L5.2)(杜方等,2021)。2021 年仅发生的 1 次 $M_L \geqslant$3.7 余震,即 9 月 5 日九寨沟 M_L3.1。九寨沟余震显示:余震已持续 4 年多,强度和频次均衰减明显,发震时间间隔逐渐变长。

3.4　长宁 6.0 级地震的余震活动

2019 年 6 月 17 日至 7 月 4 日在四川宜宾市长宁和珙县交界发生 6.0 级震群。主要包括 5 次 5 级以上地震(表 4;宫悦等,2020)。

表 4　长宁 6.0 级震群

序号	发震时间		发震位置		震级(M_S)	震源深度/km	参考地名
	日期	时刻	φ_N/°	λ_E/°			
1	2019-06-17	22:55:43	28.34	104.90	6.0	16	长宁
2	2019-06-17	23:36:01	28.43	104.77	5.1	16	珙县
3	2019-06-18	07:34:33	28.37	104.89	5.3	17	长宁
4	2019-06-22	22:29:56	28.43	104.77	5.4	10	珙县
5	2019-07-04	10:17:57	28.41	104.74	5.6	8	珙县

2019 年 6 月 17 日至 2021 年 12 月 31 日 24 时,长宁地震序列共记录到 $M_L \geqslant$0.0 地震 14 536 次,其中,M_L0.0 ~ 0.9 余震 7 106 次,M_L1.0 ~ 1.9 余震 6 274 次,M_L2.0 ~ 2.9 余震 939 次,M_L3.0 ~ 3.9 余震 177 次,M_L4.0 ~ 4.9 余震 33 次,M_L5.0 ~ 5.9 余震 6 次,M_S6.0 ~ 6.9 地震 1 次,序列最大地震为 2019 年 6 月 17 日长宁 M_S6.0 地震,次大地震为 7 月 4 日珙县 M_S5.6 地震。2021 年,长宁 6.0 级震群继续活动,强度明显减弱,小震频次依然密集。记录 $M_L \geqslant$0.0 余震 2 216次,其中:M_L1.0 ~ 1.9 余震 976 次,M_L2.0 ~ 2.9 余震 104 次,M_L3.0 ~ 3.9 余震 16 次,M_L4.0 ~ 4.9 余震 2 次,2021 年最大余震为 11 月 21 日长宁 M_L4.9(M_S4.6)地震。

由此可见,2021 年上述四个主要强震的余震区仍持续活动:汶川 8.0 级地震的整个余震区的余震持续活动,余震区南段发生 M_L4.0 地震以上 1 次,即 7 月 14 日汶川 M_S4.8(M_L5.3)地震,余震区北段发生 M_L4.0 地震以上 7 次,最大一次为 6 月 14 日北川 M_L4.4 地震;芦山 7.0 级地震余震区的余震强度和频次明显减弱,M_L2.0 以上余震 11 次,最大一次为 4 月 18 日芦山 M_L3.3 地震;九寨沟 7.0 级地震余震区的余震的强度和频次均衰减明显,M_L2.0 以上余震 12 次,最大一次为 9 月 5 日九寨沟 M_L3.7 地震;长宁 6.0 级震群区域余震强度减弱而频次依然较高,M_L2.0 以上余震 122 次,最大一次为 11 月 21 日长宁 M_L4.9 地震。

4　总结

综上所述,2021 年地震活动:全球 $M_S \geqslant$7.0 地震呈现年频次(19 次)大致为 1900 年以来的平均水平(18.3 次/年);震级水平略高,最高震级达 8.1 级;空间分布显示地震主体区为环太平洋地震带,环太平洋地震带活跃而欧亚地震带相对平静,同时全球地震活动显示北半球弱、南半球强的活动特征。中国大陆 $M_S \geqslant$5.0 地震活动年频次(37 次)略偏高于 1900 年以来的平均水平(35 次/年),地震强度略高;主体活动区域主要集中分布在青藏和滇缅两个地块。台湾及其附近海域年频次略高于 1900 年以来的平均值;震级水平高于 2020 年(2020 年 12 月 10 日台湾宜兰海域 M_S5.8,2021 年最大为 10 月 24 日台湾宜兰县 6.3 级地震)。四川区域 $M_L \geqslant$2.0 地震活动频次(2 629 次)低于 2008 年以来的平均水平(3 994 次/年);震级强度呈现东强西弱特征,川东南区域 9 月 16 日泸县发生 6.0 级地震,西部区最高震级为 7 月 14 日汶川 M_L5.3(M_S4.8),西部区的邻省青海和云南强度相对较高;四川境内 M_L4.0 以上地震相对集中在华南地块的川东南区域、巴颜喀拉地块的龙门山断裂带和川北区域,2021 年 9 月 16 日泸县发生 M_S6.0 地震。

汶川 8.0 级地震的整个余震区的余震持续活动;芦山 7.0 级地震余震区的余震强度和频次明显减弱;九寨沟 7.0 级地震余震区的余震的强度和频次均衰减明显;长宁 6.0 级震群区域余震强度减弱而频次依然较高。

参考文献

陈学忠,李艳娥. 2013. 中国大陆 $M_S \geqslant 5.0$ 地震年频次与 $M_S \geqslant 7.0$ 地震发生之间的关系及显著性检验[J]. 地震,33(1):40 –46.
杜方,蒋海昆,杨马陵,等. 2018. 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震[M]. 北京:地震出版社,104 –134.
杜方,龙锋,梁明剑,等. 2021. 2017 年 8 月 8 日四川省九寨沟 7.0 级地震[M]. //周志泉. 中国震例(2017). 北京:地震出版社,114 –253.
杜方,龙锋,赵敏,等. 2019. 2013 年 4 月 20 日四川省芦山 7.0 级地震[M]. //蒋海昆. 中国震例(2013). 北京:地震出版社,177 –318.
杜方. 2021. 2020 年地震活动综述[J]. 四川地震,(2):1 –6.
宫悦,王宇玺,梁明剑,等. 2020. 2019 年四川长宁 6.0 级地震序列时空演化特征及其地震构造环境研究[J]. 地震,40(4):90 –102.
蒋海昆,李永莉,曲延军,等. 2006. 中国大陆中强地震序列类型空间分布特征[J]. 地震学报,28(4):389 –398.
刘自凤,苏有锦,付虹,等. 2019. 2017 年全球 $M \geqslant 7.0$ 地震低频活动特征初步分析[J]. 国际地震动态,(8):19.
四川地震资料汇编编辑组. 1980. 四川地震资料汇编(第一卷)[M]. 成都:四川人民出版社,1 –576.
四川地震资料汇编编辑组. 1981. 四川地震资料汇编(第二卷)[M]. 成都:四川人民出版社,1 –224.
唐荣昌,韩渭宾. 1993. 四川活动断裂与地震[M]. 北京:地震出版社,368.
徐志萍,王夫运,姜磊,等. 2018. 川滇地区莫霍面深度和地壳厚度[J]. 地震地质,40(6):1318 –1331.

Summary of Earthquake Activities in 2021

DU Fang
(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: Seismic activity in 2021, from global to local scales, is summarized in this paper. Seismic activity profiles of Global, China and Sichuan are presented. The seismicity characteristics of global, China and Sichuan are discussed. The prominent earthquake occurred in Sichuan are described. The aftershock activity of strong earthquakes that were occurred in Sichuan in recent years. The aforementioned results show that: The global $M_S \geqslant 7.0$ earthquakes show an annual frequency that is roughly the average level for more than 100 years, and the magnitude level is slightly higher. The main active area is located at the circum-Pacific region. Globally, seismic activity along the circum-Pacific seismic belt is more active than that along the Eurasian seismic belt. Meanwhile, the global seismic activity also shows that the seismic activity in the northern hemisphere is weaker than that in the southern hemisphere. The annual frequency of $M_S \geqslant 5.0$ seismic activity in the mainland of China is slightly higher than the average level of more than 100 years. The earthquake intensity is slightly higher, and the main active areas are concentrated in the Qinghai-Tibet and Yunnan-Burma blocks. The annual frequency of Taiwan and offshore area is slightly higher than that of the 100-year average, and the magnitude level is higher than the actual level in 2020. The frequency of $M_L \geqslant 2.0$ seismic activity in Sichuan is lower than the average level since 2008, and the magnitude of the earthquake in the east is stronger than that in the west. The $M_L \geqslant 4.0$ earthquakes in Sichuan are relatively concentrated in the southeastern Sichuan region of the South China block, the Longmenshan fault zone and the northern Sichuan region of the Bayan Har block. The M_S6.0 Luxian earthquake occurred in the southeastern Sichuan area of the South China Block. In recent years, the aftershock area of strong earthquakes in Sichuan has continued to be active. The aftershocks of the M_S8.0 Wenchuan earthquake continued to be active in the entire aftershock area. The intensity and frequency of aftershocks in the aftershock area of the M_S7.0 Lushan earthquake are significantly weakened. The intensity and frequency of aftershocks in the aftershock area of the M_S7.0 Jiuzhaigou earthquake are significantly attenuated. The intensity of aftershocks in the M_S6.0 Changning earthquake swarm region is weakened but the frequency of aftershocks remains.

Keywords: seismicity; earthquake event; aftershock

四川区域 GNSS 网络观测到玛多 7.4 级地震引起的远场同震位移

何福秀,杨　洋,饶太国,陈　聪,刘　江,张　澜,罗　凌,姚贤良,张　翼
(四川省地震局,四川 成都　610041)

摘　要:2021 年 5 月 22 日青海玛多发生了 7.4 级地震,四川地区多个 GNSS 连续站均记录到了此次地震的远场同震位移。结果显示:受玛多 7.4 级地震影响,巴颜喀拉块体南缘—沿鲜水河断裂带产生了明显的远场同震位移,距震中约 180 km 的 SHIQ 台站东西向的远场同震位移达到 8.8 ± 2.4 mm,南北向的远场同震位移达到 2.5 ± 2.3 mm;通过对远场同震位移场特征分析,玛多 7.4 级地震在该块体南缘产生的水平同震位移沿鲜水河断裂自西向东逐渐衰减 。

关键词:GNSS 连续站;玛多 7.4 级地震;远场同震位移;巴颜喀拉块体
中图分类号:P315.7　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0009 - 05
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.02.002

晚新生代以来,巴颜喀拉块体是青藏高原向东“逃逸”的强活动板块之一(邓起东等,2014)。近 20 年来,在巴颜喀拉块体周缘边界发生了一系列强震:在该块体的北缘与柴达木块体交界的东昆仑构造带发生了 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震(Xu et al,2002;任金卫等,2005);在块体的南缘甘孜—玉树断裂上 2010 年发生了青海玉树 7.0 级地震(孙鑫喆等,2012;张军龙等,2010);在块体东向逃逸东端与华南地块挤压碰撞带龙门山断裂带上先后发生了 2008 年四川汶川 8.0 级和 2013 年四川芦山 7.0 级地震(徐锡伟等,2008,2013;国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络”项目组,2008;杨国华等,2015);2017 年在该块体东北边角挤压与走滑变形带上发生了四川九寨沟 7.0 级地震(徐锡伟等,2017;王东振等,2018)。

2021 年 5 月 22 日 2 时 4 分 29 秒,在巴颜喀拉块体内部发生了青海玛多(34.59°N, 98.34°E)7.4 级地震,这是继 2017 年 8 月 8 日四川九寨沟 7.0 级地震之后,发生在巴颜喀拉块体上又一次震级超过 7 级的地震。该次 7.4 级地震的发生印证了巴颜喀拉块体的大地震强活动主体区域特性,未来大震或强震风险仍值得关注。该次 7.4 级地震是近年来又一次发生在巴颜喀拉块体内部的地震,通过余震精确定位和震源机制反演结果分析其发震构造为位于巴颜喀拉地块内部一条 NWW 向的高倾角左旋走滑断裂,主破裂触发了东西两端分支断层活动,断层面的非均匀性控制了余震序列时空分布的差异性(徐志国等,2021);经野外调查,地震地表破裂发育特征显示,分析其发震断层为昆仑山口—江错断裂,断面整体南倾,其性质为左行走滑(周保等,2021),位于青海省中南部的高平原区与巴颜喀拉褶皱带的交汇地带,是巴颜喀拉块体边界持续活动的结果(马玉虎等,2017;王维欢等,2021)。根据中国地震台网中心测定的快报目录,截至 2021 年 5 月 27 日,共记录到玛多 7.4 级地震余震 2 700 多次,余震空间分布长度达 170 km(王维欢等,2021);根据地震现场考察的结果,王龙等(2021)发现在玛多—甘德断裂带西段出现了长约 130 km 大型地表破裂带,最大的水平错动为 2 ~ 3 m,最大竖向位移为 1 ~ 2 m;由此可见,玛多 7.4 级地震的影响范围较广。

由于玛多 7.4 级地震震级大、震源浅,引起的地表震动十分强烈,地震的发生对四川部分地区也产生了永久形变,在距玛多 7.4 级地震震中约 250 km 的鲜水河断裂带上布设的 GNSS 连续观测站也记录到了此次地震的远场同震位移。文章借鉴相关学者(王敏等,2006;王东振等 2018;王阅兵等,2018)利用 GNSS 资料

收稿日期:2021 - 09 - 30;**修回日期**:2021 - 12 - 20
基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:42074023)、四川省地震局科技专项(编号:LY2114)、四川省地震局科技创新团队(编号:201803)和西藏拉萨地球物理国家野外科学观测研究站研究课题(编号:NORSLS21 - 04)联合资助.
作者简介:何福秀(1991 -),女,四川内江人,助理工程师,主要从事 GNSS 数据解算与分析工作. E - mail:1182702736@qq.com.

获取同震位移的方法,收集了四川地区 12 个 GNSS 基准站震前、震后约 1 个月的观测资料,基于 GAMIT/GLOBK 软件进行解算,获得此次地震的同震位移,分析玛多 7.4 级地震在四川区域的远场同震形变,为进一步认识玛多 7.4 级地震发生机理和地震动力学特征提供基础实测资料。

1 GNSS 在地震监测中的应用

GNSS 是目前最炙热的大地测量技术,能精确地监测出地表形变,尤其在水平方向监测精度非常高,已广泛应用于地壳形变、地质构造、地球动力学等相关研究中(杨君妍等,2021)。同震形变是震源区地震断层破裂在其周围残留的地壳形变,同震位移则是同震形变最基本的形式,是大地震特有的地壳运动现象(顾国华等,2020a,2020b),并能被传统大地测量观测到。地震发生时,尤其是强震发生时,通常会引起地壳的剧烈变动,连续运行的 GNSS 基准站可以实时、大范围、可靠地监测到这一信号,并通过通讯网络实时传输,通过解算快速获取地震的形变信息。密集的 GNSS 基准站除了能有效地获取同震形变场,还可以利用高频 GNSS 数据(1 Hz 等)快速确定地震发震位置、滑动大小等(李志才等,2013)。

2008 年汶川 8.0 级地震发生后,国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络”项目组利用 GNSS 获取了大区域、远场同震位移场,揭示了龙门山断裂带两侧产生相向运动和水平地壳缩短的同震特征(张培震等,2008)。2013 年芦山 7.0 级地震震中附近约 12 km 的 LS05 台监测到垂向永久位移约 7 cm,水平向逆冲位移约 4 cm(杨国华等,2015)。2017 年九寨沟 7.0 级地震发生后,四川松潘 GNSS 台(距震中约 69 km)观测到 N 方向约 7.3 mm 的同震形变(王东振等,2018)。2021 年玛多 7.4 级地震,距震中约 30 km 的玛多台 GNSS 监测到约 25 cm 的东西向永久位移(中国大陆构造环境监测网资料)。大量研究结果表明 GNSS 能提供同震、震后以及震间地壳形变信息,为地震破裂研究和认识发震断层运动学性质提供基础观测资料(杨君妍等,2021)。

2 数据处理与分析

文章的 GNSS 数据包括中国大陆构造环境监测网络、四川 GNSS 监测网络、测绘地理信息局 GNSS 观测站点的连续观测资料;监测台站主要分布于川青藏交界的四川境内,离震中最近的台站(SHIQ)约 180 km、最远的台站(TAGO)约 600 km。时间跨度为震前 30 天、震后 30 天,采样间隔为 30 s,24 h 为一个时段,除个别站点数据缺失,其余的8个站点都完整的记录到了此次地震的震动过程。文章基于美国麻省理工学院开发的 GAMIT/GLOBK 软件,选取了中国境内均匀分布的 6 个 IGS 连续观测站点(见表 1),对上述 GNSS 观测数据进行联合解算,先获得测站的单日松弛解,然后与麻省理工学院发布的全球站点联合观测结果进行融合,最终获取欧亚框架(ITRF14_EURA)下的位置信息。

表 1 IGS 测站信息表

测站名	纬度/(°N)	经度/(°E)
BJFS	39.61	115.9
CHAN	43.80	125.44
LHAZ	29.66	91.10
SHAO	31.10	121.20
URUM	43.81	87.60
TWTF	24.95	121.16

在利用 GAMIT 对原始观测数据进行处理时,使用了 IGS 精密轨道产品,并采用松约束的 BASELINE 处理模式。相关模型和参数设置为:卫星截止高度角为 15°;对流层天顶延迟参数估计间隔设置为 2 小时;电离层延迟模型选用消除电离层的 LC_AUTCLN 观测量,其约束为 0.0 mm + 8.0 ppm;海潮模型使用 otl_FES2004.grid,参考框架为 ITRF2014_EURA;IGS 跟踪站坐标约束(NEU)分别为 0.05 m、0.05 m 和 0.10 m,文章测站坐标约束为 100 m、100 m 和 100 m。根据单日松弛解 Q 文件的 NRMS 值(见图 1),单天解 Postfit NRMS 均小于 0.25,说明 GAMIT 基线解算合理;同

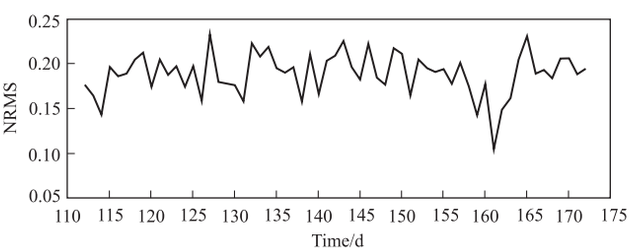


图 1 单日松弛解的 NRMS

时，文章基于 GLOBK 网平差获得坐标时间序列 WRMS 统计直方图（见图 2）具有正态分布特性，水平向（N、E）均值均小于 2，说明时间序列具有较好的稳定性，获取的测站位置信息可靠。

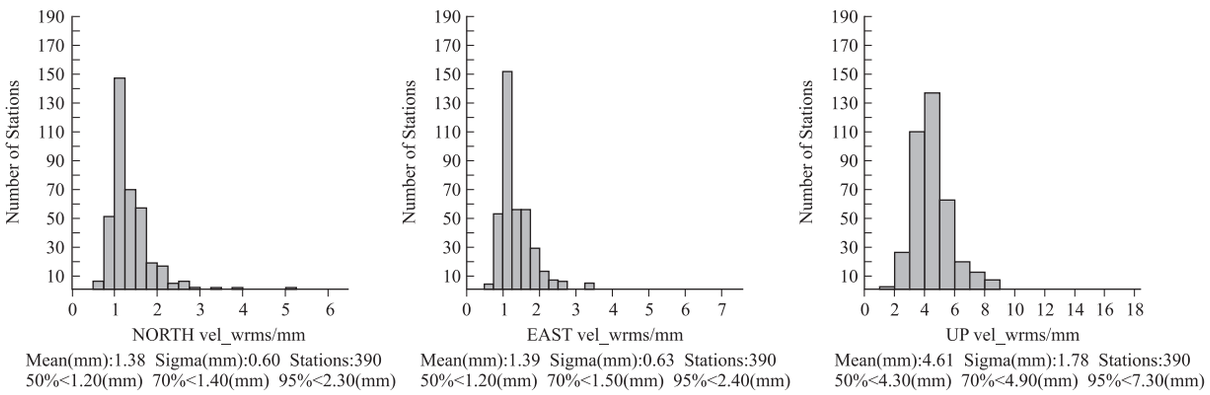


图 2　坐标时间序列三分量（N、E、U）WRMS 统计直方图

因为在较短时间内可以忽略 GNSS 站点线性运动（长期构造运动）和非线性运动（周期性运动），即认为 GNSS 站点在震前短时间和震后短时间内水平运动速率为 0（王东振等，2018），因此我们直接对地震前后 30 天的单日解 3 个坐标分量分别取平均值，再用震后平均值减去震前平均值（李志才等，2021），即得玛多 7.4 级地震的远场同震形变（表 2）。

表 2　基于 GNSS 观测的玛多 7.4 级地震的远场同震形变

测站代码	纬度 /°N	经度 /°E	北南向位移 /mm	东西向位移 /mm	北南向误差 /±mm	东西向误差 /±mm	距玛多 7.4 级地震震中的距离/km
SHIQ	32.98	98.11	−2.5	8.8	2.3	2.4	180
ABAZ	32.90	101.71	−3.7	2.9	3.2	3.9	360
SCGZ	31.61	100.02	−4.4	4.7	2.1	2.1	370
BAIY	31.21	98.83	−3.1	3.7	2.8	2.9	380
SCLH	31.38	100.67	−5.2	3.3	2.6	2.6	410
HONY	32.79	102.55	−3.5	−0.2	4.3	3.9	433
MAEK	31.90	102.23	−2.7	2.6	2.4	2.3	468
SCDA	30.97	101.12	−2.8	4.5	2.2	2.4	476
QIME	31.02	101.18	−1.3	3.9	2.5	2.5	481
WARI	30.88	101.13	−4.1	4.7	3.2	3.4	485
MNIU	30.60	101.74	−2.1	1.8	2.3	2.3	544
TAGO	30.33	101.53	−2.2	2.3	2.4	2.5	562

注：南北分量向北为正，东西分量向东为正。

图 3 给出了沿鲜水河断裂带记录到明显同震形变的 GNSS 连续观测站坐标时间序列，从整体上看，GNSS 台站东方向同震位移为优势方向，这与巴颜喀拉块体东向挤出（逃逸）的运动背景相一致。同时，靠近震中与远离震中的 GNSS 站点位置时间序列也直观地反映了玛多 7.4 级地震对不同区域影响的差异，SHIQ 台距震中最近约 180 km，受地震影响，向东的位移分量为 8.8 ± 2.4 mm，向南的位移分量 2.5 ± 2.3 mm（见图 3a）；SCGZ 台（距震中约 370 km）向东位移分量为 4.7 ± 2.1 mm，向南位移分量 4.4 ± 2.1 mm（见图 3b）；SCLH 台（距震中约 410 km）向南的同震位移为 5.2 ± 2.6 mm，向东的同震位移仅 3.3 ± 2.6 mm（见图 3c）；WARI 台（距震中约 485 km）东向同震位移为 4.7 ± 3.4 mm，向南的同震位移为 4.1 ± 3.2 mm（见图 3e）。虽然 QIME 和 MNIU 台（见图 3d、f）的同震位移较小，在误差范围内，但在地震发生时刻仍能看到明显的跳变，这个跳变只能是玛多 7.4 级地震造成的，表明地震破裂对地壳形变的影响有限，离震中越近影响越大，反之越小。

图 4 为玛多 7.4 级地震引起的鲜水河断裂带及附近区域的同震水平位移场，图中不同 GNSS 站点观测到的水平位移显示了鲜水河断裂带周边地壳形变状态。由图4可知，玛多7.4级地震发生在巴颜喀拉块体

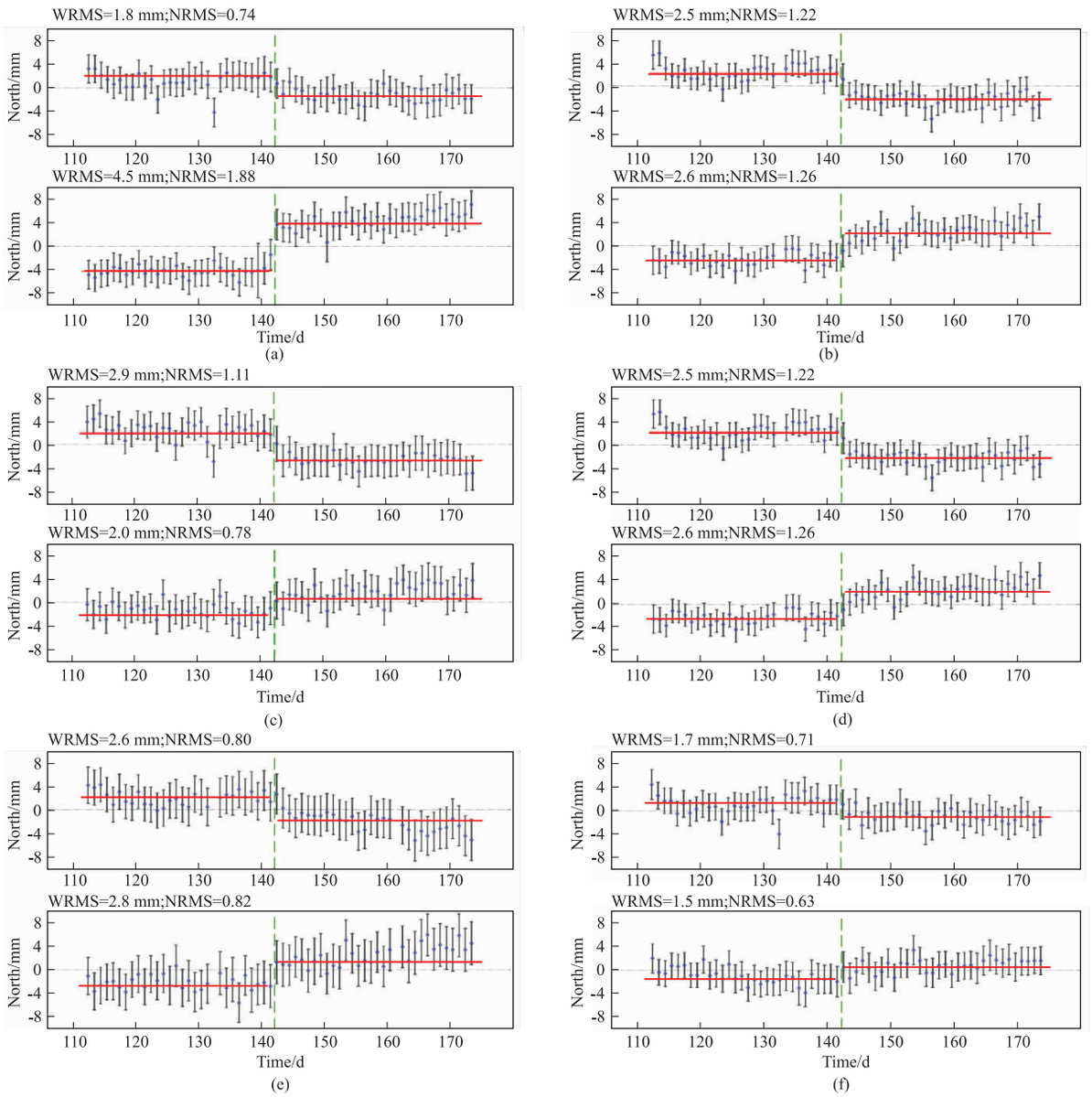


图 3　玛多 7.4 级地震前后远场 GNSS 水平静态时间序列

（a－f 分别为 SHIQ 台、SCGZ 台、SCLH 台、QIME 台、WARI 台、MNIU 台南北向和东西向的时间序列，绿色虚线为第 142 天，即玛多 7.4 级地震发生时间）。

内且邻近北缘，块体的南缘也产生了比较明显的水平位移，水平位移大幅度偏向东南，且沿鲜水河断裂自西向东逐渐衰减。根据弹性位错理论，同震水平位移是震前积累位移的（弹性）回跳（即震前积累水平位移相同量级的反向变化）。从玛多 7.4 级地震同震位移方向可以推断震前积累的水平位移方向为西或西北，这与青藏高原向东逃逸受到华南地块阻挡的构造背景相一致。

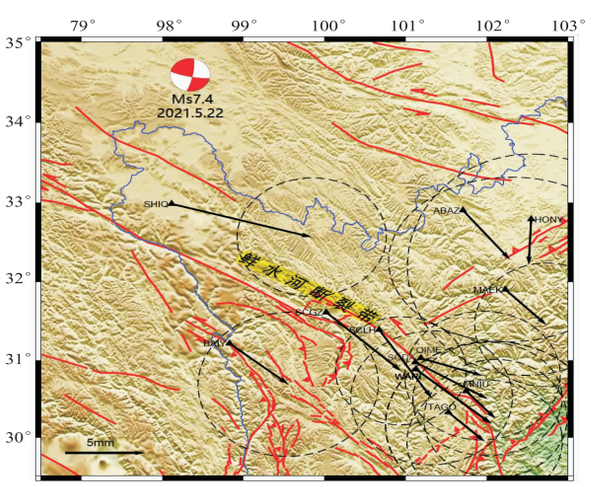


图 4　GNSS 资料获取的玛多 7.4 级地震远场同震位移

3　结论与讨论

文章基于 GNSS 数据开展了青海玛多 7.4 级

地震可能引起的远场同震形变研究,收集了沿鲜水河断裂带 12 个 GNSS 基准站的数据并进行解算,获取高精度玛多 7.4 级地震引起的远场同震形变。玛多 7.4 级地震对近场产生了明显的同震位移(李志才等,2021),通过对玛多 7.4 级地震产生的远场 GNSS 观测到的同震位移分析,玛多 7.4 级地震对巴颜喀拉块体的南边界的活动断裂(鲜水河断裂带)也具有明显的影响。在本研究区域内,GNSS 监测到的最大水平位移站点为鲜水河北段的 SHIQ 台,其东向分量为 8.8 ±2.4 mm,南向分量 2.5 ±2.3 mm;玛多 7.4 级地震的影响沿鲜水河断裂自北西向东南逐渐衰减。

致谢:感谢中国大陆构造环境监测网络、测绘地理信息局提供的 GNSS 连续站数据。

参考文献

邓起东,程绍平,马骥,等. 2014. 青藏高原地震活动特征及当前地震活动形势[J]. 地球物理学报,57(7):2025 – 2042.

顾国华,王武星. 2020a. 2016 年日本本州东岸近海 M_S7.2 地震前后的地壳运动[J]. 地震学报,42(2): 196 – 204.

顾国华,王武星. 2020b. GPS 观测得到的大地震前兆地壳形变震例[J]. 地震科学进展,50(10): 30 – 39.

国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络”项目组. 2008. GPS 测定的 2008 年汶川 M_S8.0 级地震的同震位移场[J]. 中国科学,38(10):1195 – 1206.

李志才,丁开华,张鹏,等. 2021. GNSS 观测的 2021 年青海玛多地震(M_W 7.4)同震形变及其滑动分布[J]. 武汉大学学报·信息科学版,46(10):1489 – 1497.

李志才,张鹏,温扬茂,等. 2013. 基于 GPS 和海底基准点观测形变反演日本大地震(M_W9.0)同震断层滑动分布[J]. 武汉大学学报·信息科学版,38(1):40 – 43.

马玉虎,黄浩,王培玲,等. 2017. 2015 年青海玛多 5.2 级地震发震构造及其预测意义[J]. 高原地震,29(1):1 – 6.

任金卫,王敏. 2005. GPS 观测的 2001 年昆仑山口西 M_S8.1 级地震地壳变形[J]. 第四纪研究,25(1):34 – 44.

孙鑫喆,徐锡伟,陈立春,等. 2012. 2010 年玉树地震地表破裂带典型破裂样式及其构造意义[J]. 地球物理学报,55(1):155 – 170.

王东振,赵斌,李琦,等. 2018. GPS 测定的四川九寨沟 M_W 6.6 地震同震形变[J]. 地震工程学报,40(4):778 – 784.

王龙,李小军,杨理臣,等. 2021. 青海玛多 7.4 级地震发震断裂特性及工程震害成因分析研究[J/OL]. 应用基础与工程科学学报. (2021 – 06 – 16)[2021 – 09 – 20]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3242.tb.20210615.1759.002.html.

王敏,张培震,沈正康,等. 2006. 全球定位系统(GPS)测定的印尼苏门答腊巨震的远场同震地表位移[J]. 科学通报,51(3):365 – 368.

王维欢,王文才,尹欣欣,等. 2021. 2021 年青海玛多 7.4 级地震强震动记录及特征分析[J]. 地震工程学报,43(4):883 – 889.

王阅兵,甘卫军,陈为涛,等. 2018. GNSS 观测的九寨沟 7.0 级地震同震位移初步结果[J]. 地球物理学报,61(1):161 – 170.

徐锡伟,闻学泽,叶建青,等. 2008. 汶川 M_S8.0 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质,30(3):597 – 629.

徐锡伟,闻学泽,韩竹军,等. 2013. 四川芦山 7.0 级强震:一次典型的盲逆断层型地震[J]. 科学通报,58(20):1887 – 1893.

徐锡伟,陈桂华,王启欣,等. 2017. 九寨沟地震发震断层属性及青藏高原东南缘现今应变状态讨论[J]. 地球物理学报,60(10):332 – 340.

徐志国,梁姗姗,张广伟,等. 2021. 2021 年 5 月 22 日青海玛多 M_S7.4 地震发震构造分析[J]. 地球物理学报,64(8):2657 – 2670.

杨国华,朱爽,梁洪宝,等. 2015. 芦山 M_S7.0 级地震震前及同震地表形变[J]. 武汉大学学报·信息科学版,40(1):121 – 127.

杨君妍,孙文科,洪顺英,等. 2021. 2021 年青海玛多 7.4 级地震的同震变形分析[J]. 地球物理学报,64(8):2671 – 2683.

张军龙,陈长云,胡朝忠,等. 2010. 玉树 M_S7.1 地震地表破裂带及其同震位移分布[J]. 地震,30(3):1 – 12.

Xu X W, Chen W B, Ma W T, et al. 2002. Surface rupture of the Kunlunshan earthquake(M_S8.1), northern Tibetan plateau, China[J]. Seismological Research Letters, 73(6):884 – 892.

(下转第 20 页)

2020 年 3 月西藏改则 M_S ≥5.0 地震震前电离层异常特征

刘　江,黄雪影,杨　力,何福秀,姚贤良
(四川省地震局,四川 成都　610041)

摘　要:基于 2020 年 3 月 10 日、12 日西藏改则 M_S5.0、M_S5.1 地震前后 GNSS 基准站及电离层垂测站观测数据,对比分析了地震前后电离层 VTEC 异常分布、站点 VTEC 及站点 f_0F_2 时间序列变化。结果显示:3 月 9 日、3 月 11 日震中附近区域电离层多参量同步异常变化显著,异常时空演化特征与地震 - 电离层耦合特征一致,满足地震 - 电离层异常扰动判识标准。本文认为该异常扰动可能与西藏改则 M_S5.0、M_S5.1 地震孕育过程有关,进一步佐证了地震 - 电离层效应的短临性和局地性特征。

关键词:西藏改则地震;VTEC;f_0F_2

中图分类号:P352;P315.7　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0014 - 07

DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.02.003

震前电离层异常扰动是近年来地震监测预报的研究热点。大量研究结果表明,由地震引起的电离层异常变化确实存在,强震(M_S≥5.0)发生前数天到数小时内可能会发生电离层异常扰动,其异常变化具有明显的短临特性(Liu *et al*,2000;Pulinets,2009)。由于地震短临预报的困难性,地震 - 电离层预报模式逐渐成为地震监测预报新的研究方向。国内外研究人员对此进行了深入的研究,地震 - 电离层效应基础理论及电离层异常观测手段等方面均取得了重大进展。在地震 - 电离层耦合机理方面,目前还处于定性分析阶段,其理论解释主要分为声重波机制和异常电场机制。其中,声重波机制主要以同震和震后效应为主,异常电场机制主要以震前效应为主。后者能较好地解释震前电离层异常扰动现象,认为地震孕育过程中,由地表岩石破裂引起的一系列复杂的物理化学反应,产生大气电场异常,进而叠加作用于电离层,引起电离层电子浓度、电子温度等参量的显著变化(Pulinets *et al*,2000;Sorokin *et al*,2001;Kuo *et al*,2011)。在电离层异常观测手段方面,地基电离层探测技术已被广泛应用于地震前兆研究。电离层垂直电子浓度总含量(VTEC)和电离层 F2 层临界频率(f_0F_2)作为电离层特性的重要参量得到研究人员的广泛关注(何宇飞等,2020)。其中,VTEC 可通过 GNSS 台站观测数据反演获取,f_0F_2 可通过电离层测高站观测获取。随着科技水平的提高,地基电离层探测技术为地震 - 电离层异常扰动观测提供了大量可靠的、高精度的观测证据。研究结果表明,强震(M_S≥5.0)发生前,上述参量可能会出现不同程度的异常变化(张学民等,2014;刘静等,2014),多参量同步分析可为地震 - 电离层异常扰动判识提供佐证,对于强震频发地区的震情判定具有重要意义。

青藏高原地区地形复杂,新生代以来(~50 Ma)区域构造活动剧烈,强震活动频繁,一直以来都是研究人员关注的焦点。2020 年 3 月西藏改则县连续发生了 2 次 M_S5.0 及以上地震(见表 1),时间间隔两天,震中位置相距约 5 km,构成震群型序列,余震活动丰富(王月等,2020)。本文从时间和空间尺度对两次地震发生前后电离层多个参量的演化特征进行分析,验证电离层异常变化与地震孕育发生的相关性,以期为震前电离层异常效应、地震 - 电离层监测预报提供震例参考。

表 1　2020 年 3 月西藏改则 M_S≥5.0 地震目录(北京时间 LT)

年 - 月 - 日	时:分	纬度/(°N)	经度/(°E)	深度/km	M_S	地点
2020 - 03 - 10	02:12	32.84	85.52	10	5.0	西藏阿里地区改则县
2020 - 03 - 12	23:44	32.88	85.55	10	5.1	西藏阿里地区改则县

收稿日期:2021 - 05 - 27;**修回日期**:2021 - 12 - 24
基金项目:中国地震局震情跟踪定向工作任务(编号:2022010410)、四川省地震局科技专项(编号:LY2114)和西藏拉萨地球物理国家野外观测研究站研究课题(编号:NORSLS21 - 04)共同资助.
作者简介: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:22388116@qq.com.

1　数据处理及异常检验

1.1　数据处理

本文选取中国地壳运动观测网络(简称“中国陆态网络”)GNSS 观测数据、四川乐山垂测站 f_oF_2 观测数据,分析 2020 年 3 月 10 日、12 日西藏改则 M_S5.0、M_S5.1 地震震前电离层异常扰动特征。

(1)采用中国陆态网络 70 个均匀分布的 GNSS 基准站 2020 年 2 月 5 日至 3 月 20 日西藏改则地震前后观测数据,选择球谐函数作为电离层 VTEC 的拟合模型,建立大规模高精度格网电离层模型(林剑等,2009;蔡华等,2014),利用 Bernese 软件解算处理(Dach *et al*,2015),获取中国区域电离层 VTEC 格网数据(经纬度分辨率 1°×1°,时间分辨率 2 h),分析地震前后震中及附近区域电离层 VTEC 变化。

(2)采用震中附近区域 GNSS 基准站(图 1)相同时间段观测数据,通过单站点 VTEC 解算(王泽民等,2016;熊波,2012)获取地震前后站点上空 VTEC 数据(时间分辨率 15 min),分析地震前后震中附近区域站点上空 VTEC 时间序列变化。

(3)选取四川乐山垂测站 f_oF_2 相同时间段观测数据(时间分辨率 15 min),分析地震前后四川乐山垂测站上空 f_oF_2 时间序列变化(刘江等,2020)。

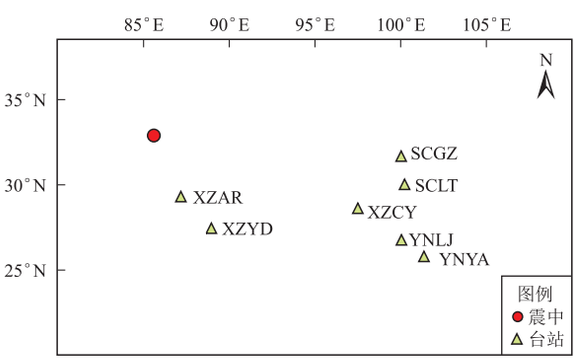


图 1　震中区域 GNSS 站点分布

1.2　异常检验

选用滑动四分位距法提取电离层 VTEC、f_oF_2 异常信息,选取前 15 天相同时刻的观测值求取相应四分位距(IQR)及中位数(M),确定异常检验倍数(N),建立上/下边界阈值 $M \pm N \times IQR$,观测值超出上或下边界即视为异常,高于上边界为正异常,低于下边界为负异常。

此外,从二维空间分布上获取西藏改则地震前后区域电离层 VTEC 异常分布,计算方法如下:

$$\Delta\mathrm{TEC} = \begin{cases} K - L_1 & (K > L_1) \\ K - L_2 & (K < L_2) \\ 0 & (L_2 \leqslant K \leqslant L_1) \end{cases} \tag{1}$$

其中 ΔTEC 为 VTEC 异常扰动变化量,L_1 和 L_2 分别为 VTEC 背景上、下边界阈值,K 为待分析时刻 VTEC 数据。站点 VTEC、f_oF_2 时间序列变化计算方法同上。

2　资料分析

2.1　空间活动性分析

电离层变化受太阳活动、地磁等空间环境影响,表现出显著的季节性和周日性变化规律。因此,剔除空间环境变化对电离层的影响对于分析震前电离层异常与地震发生的相关性显得尤为重要。其中,赤道环电流地磁指数(D_{st})、全球地磁活动指数(K_P)和极光带电急流强度指数(A_E)用于反映地磁变化,太阳射电通量($F_{10.7}$)用于反映太阳活动。本文选取 2020 年 2 月 20 日至 3 月 20 日西藏改则地震前后共 30 天内 D_{st}、K_P、A_E、$F_{10.7}$指数变化(图 2),其中红色直线为指数阈值($F_{10.7}$ = 120 sfu、K_P = 4、D_{st} = −30 nT、A_E = 500 nT)。从图 2 可以看出,$F_{10.7}$指数在整个时段内稳定在 70 ~ 80 sfu 之间,表明太阳活动对电离层影响相对较小;D_{st}、K_P 和 A_E 指数 3 月 19 日异常较为明显,可能伴随磁暴及亚暴事件发生,其余时段地磁活动对电离层影响相对较小。

2.2　VTEC 数值分析

根据中国区域 VTEC 格网数据(经纬度分辨率 1°×1°),选用滑动四分位距法提取电离层 VTEC 异常信息,异常检验倍数 N = 3,获取西藏改则地震前后区域 ΔTEC 数值空间分布(图 3、图 4)。结果发现 2020 年 3

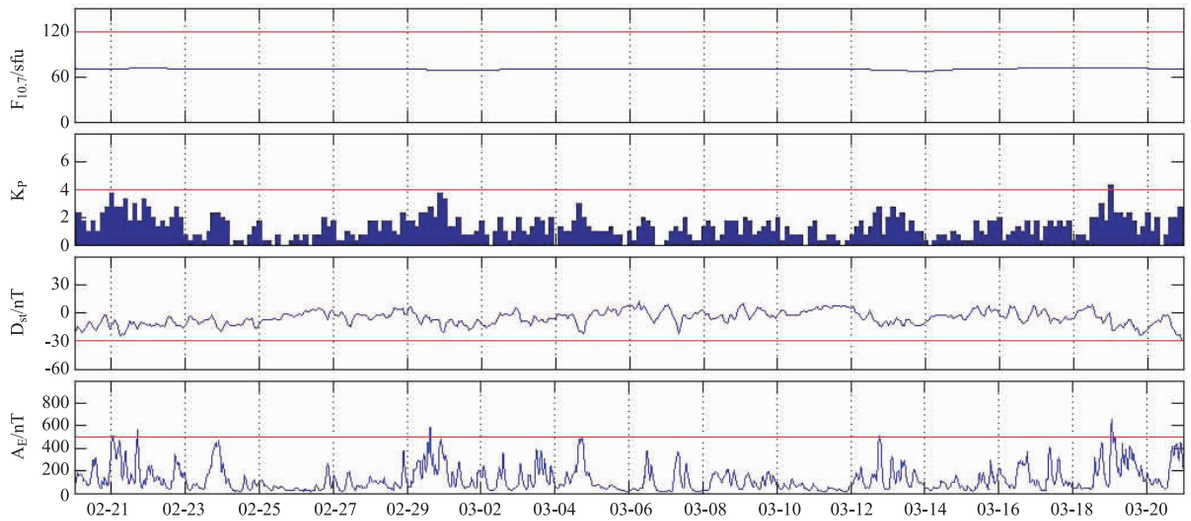
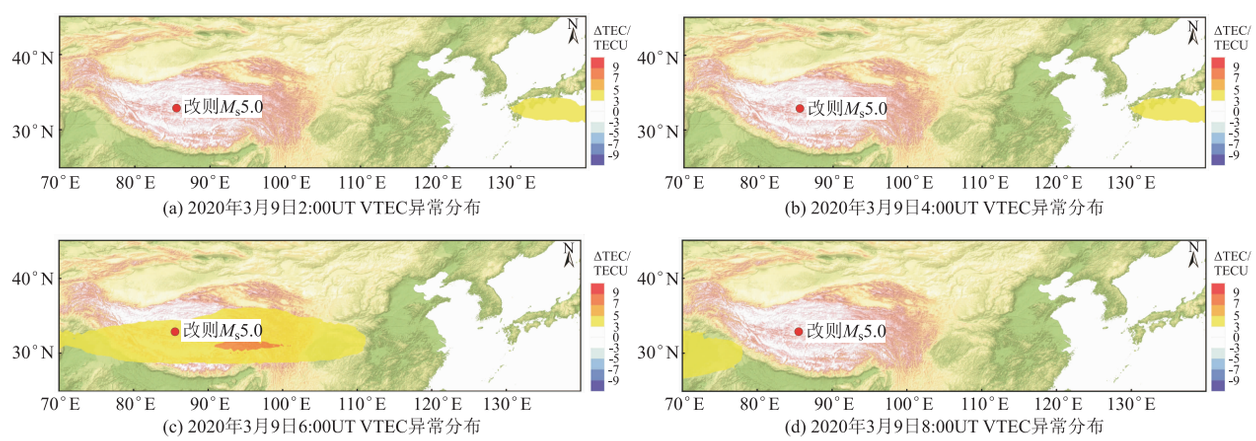


图 2　2020 年 2 月 20 日至 3 月 20 日空间参数时序曲线变化

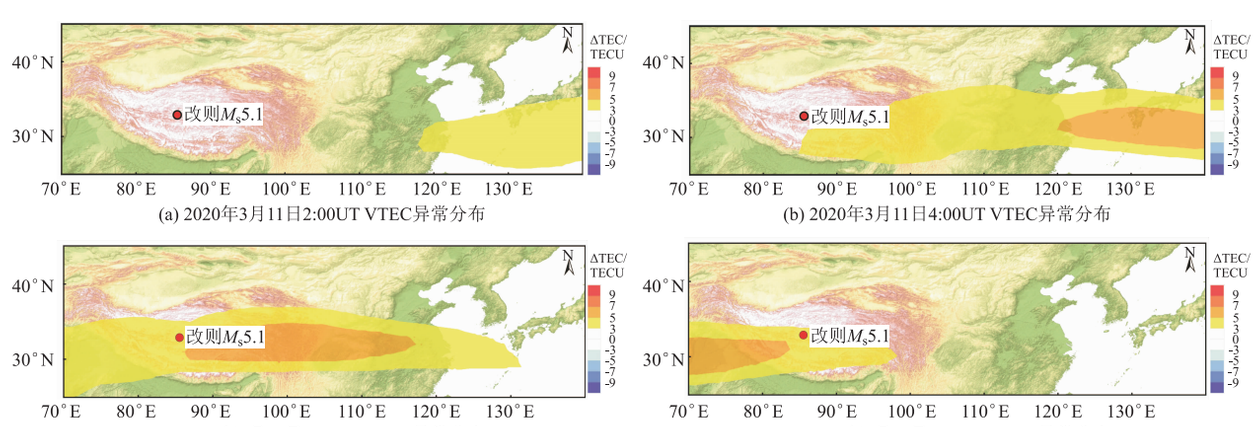
月 9 日和 3 月 11 日西藏改则震中附近区域 ΔTEC 数值空间分布均出现显著正异常。从图 3 和图 4 中可以看出，3 月 9 日和 3 月 11 日震中上空附近区域电离层 ΔTEC 显著增强，其变化趋势基本一致，06∶00 UT(14∶00 LT)达到最大，震中均位于异常区域的上边缘，异常持续时间约为 4 h。结合空间活动指数变化(图 2)发现，3 月 9 日空间活动指数 $F_{10.7}$ 为 71 sfu，K_P 最大值为 2，D_{st} 最小值为 −7 nT，A_E 最大值为 195 nT；3 月 11 日空间活动指数 $F_{10.7}$ 为 71 sfu，K_P 最大值为 1.7，D_{st} 最小值为 4 nT，A_E 最大值为 78 nT。所有指数结果均正



(a) 2020年3月9日2:00UT VTEC异常分布　(b) 2020年3月9日4:00UT VTEC异常分布

(c) 2020年3月9日6:00UT VTEC异常分布　(d) 2020年3月9日8:00UT VTEC异常分布

图 3　2020 年 3 月 9 日 02∶00 ~ 08∶00 UT 区域 ΔTEC 值分布



(a) 2020年3月11日2:00UT VTEC异常分布　(b) 2020年3月11日4:00UT VTEC异常分布

(c) 2020年3月11日6:00UT VTEC异常分布　(d) 2020年3月11日8:00UT VTEC异常分布

图 4　2020 年 3 月 11 日 02∶00 ~ 08∶00 UT 区域 ΔTEC 值分布

常,未超过阈值,因此空间环境变化对这两天的电离层数值影响均不明显。

由于太阳活动和地磁变化引起的电离层扰动具有行星特征,而地震引起的电离层异常具有局部性特征,且扰动幅度较小。因此,结合区域 ΔTEC 值空间分布,3 月 9 日和 3 月 11 日出现的电离层异常扰动可能与地震有关。

2.3　站点 VTEC 时间序列分析

VTEC 异常分布可以反映区域电离层异常变化趋势,但其异常分布范围较大,时间分辨率较低,无法准确展示震中区域电离层异常扰动变化。为了获取高时间分辨率 VTEC 数据,并从时间尺度分析电离层异常扰动与西藏改则地震发生的相关性,本文通过单站点 GNSS 数据解算获取震中附近区域站点 VTEC 数据(时间分辨率为 15 min),选用滑动四分位距法提取电离层 VTEC 异常信息,异常检验倍数为 $N=3$,连续异常检验时长为 2 h,分析西藏改则地震前后震中附近区域站点 VTEC 时间序列变化。图 5 ~6 分别给出了 2020 年 2 月 20 日至 3 月 20 日西藏区域、川滇区域 GNSS 站点 VTEC 时间序列变化。从图 5 可以看出,西藏昂仁(xzar)、亚东(xzyd)和察隅(xzcy)3 个站 3 月 9 日和 3 月 11 日 VTEC 正异常显著。其中,3 月 9 日 05:45UT(13:45 LT)西藏亚东 VTEC 扰动幅度最大,ΔTEC 最大值为 11.3 TECU,超出四分位上阈值的 58%,3 月 11 日 06:15UT(14:15LT)西藏察隅VTEC扰动幅度最大,ΔTEC最大值为14.4TECU,超出四分位上阈值的

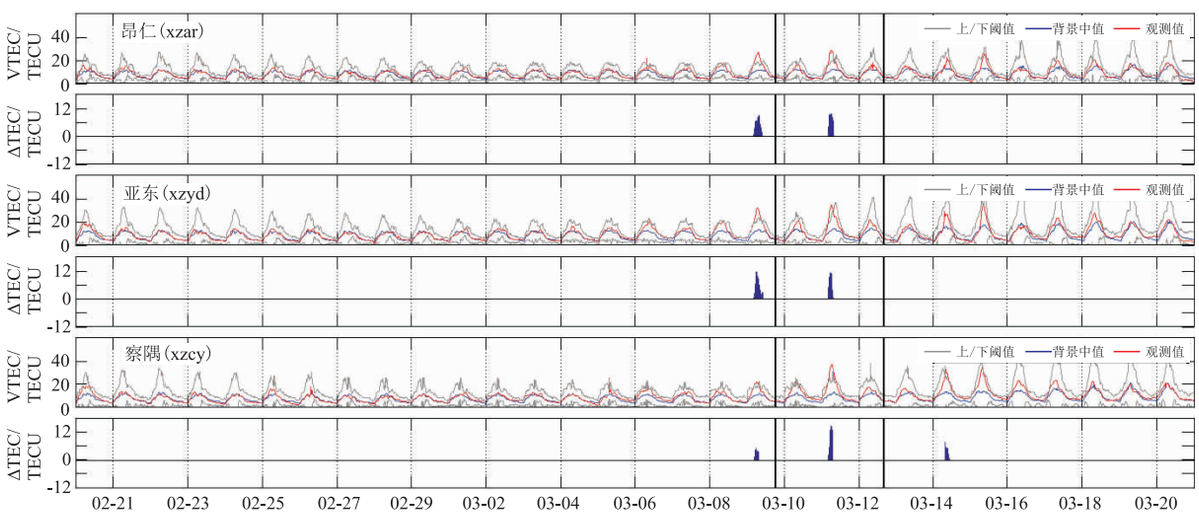


图 5　2020 年 2 月 20 日至 3 月 20 日西藏区域站点 VTEC 时间序列

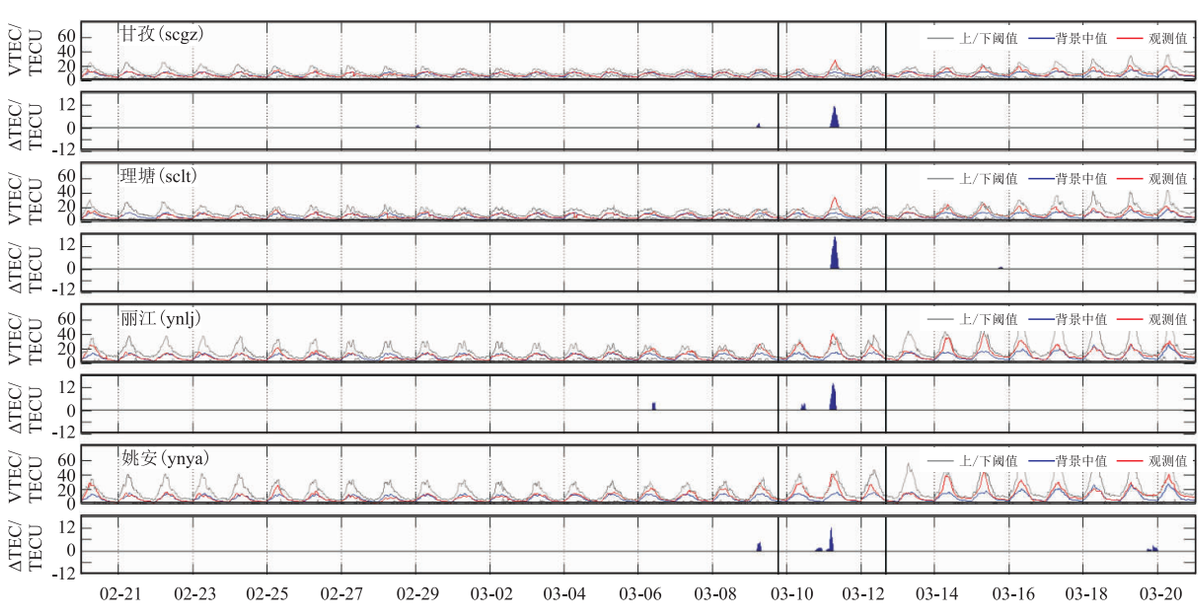


图 6　2020 年 2 月 20 日至 3 月 20 日川滇区域站点 VTEC 时间序列

65%，其余时段均未出现明显异常。从图 6 可以看出，四川甘孜（scgz）、理塘（sclt），云南丽江（ynlj）、姚安（ynya）4 个站 3 月 11 日 VTEC 正异常显著。其中，3 月 11 日 06:45UT（14:45 LT）四川理塘 VTEC 扰动幅度最大，ΔTEC 最大值为 17.0 TECU，超出四分位上阈值 103%，其余时段均未出现明显异常。结合震中区域 GNSS 站点分布（图 1），西藏昂仁、亚东站点距离震中位置最近，3 月 9 日站点 VTEC 异常扰动显著，其余站点由于距离较远，异常扰动相对不明显。3 月 9 日和 3 月 11 日异常扰动出现后，随即分别发生了西藏改则 M_S5.0、M_S5.1 地震，其短临特征明显。

2.4 站点 f_0F_2 时间序列分析

为验证震前电离层异常与西藏改则地震发生的相关性，并与 VTEC 异常分布和站点 VTEC 时间序列进行对比。本文选取四川乐山垂测站点 f_0F_2 观测数据，选用滑动四分位距法提取电离层 f_0F_2 异常信息，异常检验倍数 $N=1.5$，连续异常检验时长为 2 h，获取四川乐山站点 f_0F_2 时间序列，其中黑色垂线表示西藏改则地震发生时刻。从图 7 可以看出，地震发生前 3 月 9 ~ 11 日乐山站点 f_0F_2 时间序列均有异常扰动发生。其中，3 月 9 日 14:00LT f_0F_2 扰动幅度最大，Δf_0F_2 最大值为 1.9 MHz，超出四分位上阈值的 29%，3 月 11 日 15:00LT f_0F_2 扰动幅度最大，Δf_0F_2 最大值为 2.4 MHz，超出四分位上阈值的 33%，其它时段异常变化均不明显。该分析结果与 VTEC 异常分布和站点 VTEC 时间序列基本吻合。

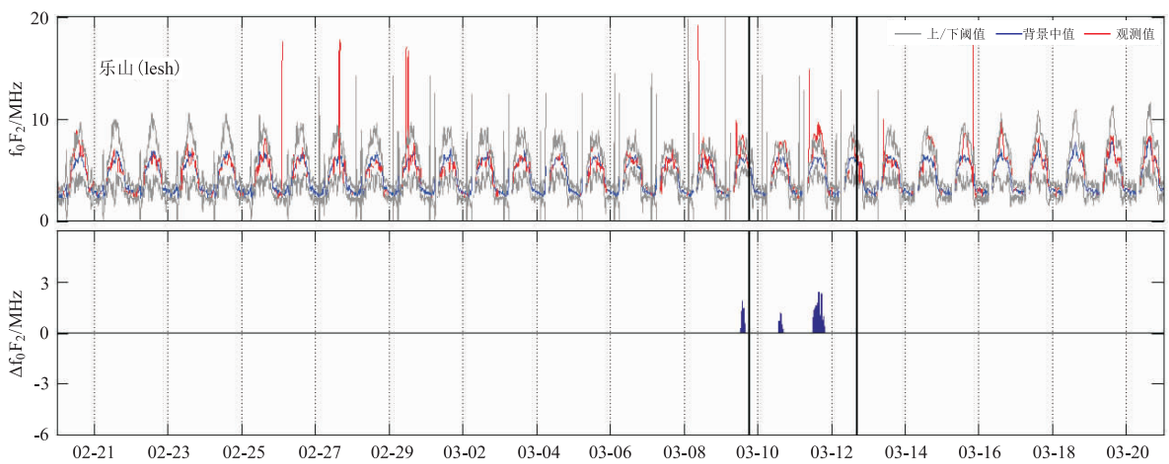


图 7 2020 年 2 月 20 日至 3 月 20 日四川乐山站点 f_0F_2 时间序列

综合以上分析，2020 年 3 月 9 日和 3 月 11 日电离层 VTEC 异常分布、站点 VTEC 时间序列及站点 f_0F_2 时间序列均出现显著的正异常，且异常具有明显的独立性、局地性特征，满足地震 - 电离层异常判定标准。然而，通过查看震例信息发现，2020 年 3 月 20 日 09:33 LT 西藏日喀则市定日县发生了 M_S5.9 地震（震中 28.63°N，87.42E°），与西藏改则震中距离约 500 km。从发震时间上看，电离层异常扰动出现在西藏定日地震前 9 ~ 11 d，根据前人的震例统计结果，震前电离层异常显著出现在震前一周；从发震地点上看，西藏定日与西藏改则震中位置相距较远，且西藏定日地震为孤立型地震（张小涛等，2020），与西藏改则地震无明显相关性。因此，本文认为 3 月 9 日和 3 月 11 日电离层异常扰动与西藏改则 M_S5.0、M_S5.1 地震的孕育相关性较大，与西藏定日 M_S5.9 地震无直接相关性。

3 讨论与结论

西藏改则震区位于青藏高原西部地区，羌塘地块南缘，震中附近地球物理观测台站分布稀疏，地球物理监测能力及观测资料有限。本文通过对 2020 年 3 月 10 日西藏改则 M_S5.0、3 月 12 日 M_S5.1 地震发生前后电离层 VTEC 异常分布、站点 VTEC 时间序列变化和站点 f_0F_2 时间序列变化对比分析，得到以下结论：

（1）电离层 VTEC 异常分布显示 3 月 9 日和 3 月 11 日 04:00 ~ 08:00 UT（12:00 ~ 16:00 LT）震中附近区域均出现显著的正异常，异常持续时间约 4 h，异常变化趋势基本一致，震中均位于异常区域的上边缘，临震

电离层异常扰动向磁赤道方向偏移,异常特征与地震 - 电离层耦合特征一致。站点 VTEC 时间序列和站点 f_0F_2 时间序列观测到了同步异常,与 VTEC 异常分布结果基本吻合。鉴于该异常扰动变化在时间及空间上与 2020 年 3 月 10 日、3 月 12 日西藏改则 M_S5.0、M_S5.1 地震关系密切,本文认为其与西藏改则地震具有一定的相关性,可能是地震前兆异常,同时进一步佐证了地震 - 电离层耦合局部性、集中性和显著性特征。

(2)西藏日喀则、阿里地区处于印度板块常年向欧亚板块俯冲的交界处,2020 年 3 月西藏改则 M_S5.0、M_S5.1、西藏定日 M_S5.9 地震作为中强地震,并未超出该区域常态化背景水平。然而,3 月 10 日、3 月 12 日西藏改则 M_S5.0、M_S5.1 地震构成震群型序列,其余震活动丰富,并于 5 月 22 日、23 日在余震区再次发生 M_S4.8、M_S4.7 地震,震前电离层异常扰动可能与西藏改则孕震过程中地震破裂带的物理、化学反应有关。3 月 20 日西藏定日 M_S5.9 地震作为孤立型地震,余震活动水平不高,最大余震强度为 M_S3.4,震前电离层异常扰动并不明显。震前电离层异常扰动是否与地震序列类型有关,是否与地震能量释放过程有关,目前仍然缺乏直接的证据。地震发生过程非常复杂,地震孕育期、临震前、主震及余震中的电离层异常扰动机理还需要深入研究。

(3)震前电离层多参量同步分析可为地震 - 电离层异常扰动判识提供更多证据,排除单一性、局地性异常,对于区域震情评估具有重要意义。然而,不同参量的观测模式、反演精度、时空差异的对比分析也对地震科研人员提出了新的挑战。未来,随着电离层观测技术水平的不断提高,基于地基和空基电离层探测技术,开展天地一体化联合观测,分析地震前后电离层多参量异常变化,建立多参量时空关联,完善多参量时空演化特征,深入研究地震 - 电离层耦合机理。

致谢:感谢中国地震局台网中心、中国地震局地震预测研究所为本文提供 GNSS 台站和电离层垂测站观测数据。

参考文献

蔡华,孙汉荣,李子申. 2014. 利用陆态网络实时监测电离层 TEC 及在地震监测中的应用分析[J]. 地震,34(1):41 - 48.

何宇飞,杨冬梅,和少鹏. 2020. 基于地震电离层现象研究结果的分析与总结[J]. 中国地震,36(2):244 - 257.

林剑,吴云,祝芙英,等. 2009. 基于 GPS 探测汶川地震电离层 TEC 的异常[J]. 地球物理学报,52(1):297 - 300.

刘静,万卫星. 2014. 中国 6.0 级以上地震临震电离层扰动时空分布特征研究[J]. 地球物理学报,57(7):2181 - 2189.

刘江,陈聪,何福秀,等. 2020. 川滇地区电离层垂测站震例数据分析[J]. 四川地震,(2):35 - 38.

王月,解孟雨,姜祥华,等. 2020. 2020 年西藏改则 3 次 5 级以上地震总结[J]. 地震地磁观测与研究,41(3):174 - 183.

王泽民,孙伟,安家春. 2016. 2015 - 04 - 25 尼泊尔 M_S8.1 地震前后电离层 VTEC 异常变化分析[J]. 大地测量与地球动力学,36(2):133 - 137.

熊波. 2012. 太阳耀斑的电离层响应和 GPS-TEC 监测[D]. 北京:中国科学院地质与地球物理研究所,20 - 29.

张学民,刘静,赵必强,等. 2014. 玉树地震前的电离层异常现象分析[J]. 空间科学学报,34(6):822 - 829.

张小涛,姜祥华,薛艳,等. 2020. 2020 年 3 月 20 日西藏定日 M_S5.9 地震总结[J]. 地震地磁观测与研究,41(4):193 - 203.

Dach R, Lutz S, Walser P, et al. 2015. Bernese GNSS Software Version 5.2[M]. Bern: Astronomical Institute University of Bern, 318 - 322.

Kuo C L, Huba J D, Joyce G, et al. 2011. Ionosphere plasma bubbles and density variations induced by pre-earthquake rock currents and associated surface charges[J]. Journal of Geophysical Research, 116, A10317.

Liu J Y, Chen Y I, Pulinets S A, et al. 2000. Seismo-ionospheric signatures prior to M≥6.0 Taiwan earthquakes[J]. Geophysical Research Letters, 27(19): 3 113 - 3 116.

Pulinets S A. 2009. Physical mechanism of the vertical electric field generation over active tectonic Faults[J]. Advances in Space Research, 44(6): 767 - 773.

Pulinets S A, Boyarchuk K A, Hegai V V, et al. 2000. Quasielectrostatic model of atmosphere-thermosphere-ionosphere coupling[J]. Advances in Space Research, 26(8): 1209 - 1218.

Sorokin V M, Chmyrcv V M, Yaschenko A K, et al. 2001. Electrodynamic model of the lower atmosphere and the ionosphere coupling [J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 63(16): 1681 - 1691.

Characteristics of Ionospheric Anomalies Before the Gaize $M_S \geqslant 5.0$ Earthquakes in March 2020 in Tibet

LIU Jiang, HUANG Xueying, YANG Li, HE Fuxiu, YAO Xianliang
(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: Based on the observation data of GNSS reference station and ionospheric vertical station before and after the Gaize M_S5.0 and M_S5.1 earthquakes in Tibet on March 10 and 12, 2020, this paper compared and analyzed the abnormal distribution of ionospheric VTEC, the time series variation of station VTEC and station f_oF_2 before and after the earthquakes. The results show that the multi-parameter synchronous abnormal changes of ionosphere are significant near the epicenter on March 9 and 11, 2020. The temporal and spatial evolution characteristics of the anomalies are consistent with that of earthquake ionosphere coupling, which meets the criteria of seismic ionospheric anomaly identification. It is considered that the abnormal disturbances might be related to the preparation process of the Gaize M_S5.0 and M_S5.1 earthquakes in Tibet, and further proved the short - term and local characteristics of the earthquake ionospheric effect.

Keywords: the Gaize earthquake in Tibet; VTEC; f_oF_2

(上接第 13 页)

Far-field Co-seismic Displacement Related to the M_S 7.4 Maduo Earthquake Observed by the GNSS Network in the Sichuan Region

HE Fuxiu, YANG Yang, RAO Taiguo, CHEN Cong, LIU Jiang, ZHANG Lan
LUO Ling, YAO Xianliang, ZHANG Yi
(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: A magnitude 7.4 earthquake was occurred in Maduo, Qinghai on May 22, 2021. In Sichuan, the far-field co-seismic displacements caused by the event were monitored and recorded by multiple GNSS continuous stations. The results show that, affected by the M_S7.4 Maduo Earthquake some significant far-field co-seismic displacements were occured on the Xianshuihe fault along the southern margin of the Bayan Har block. At the SHIQ station about 180 km away from the epicenter, the far-field co-seismic displacement in the east-west direction reached as 8.8 ± 2.4 mm, whereas the far-field co-seismic displacement in the north-south direction reached as 2.5 ± 2.3 mm. Through the analysis of the characteristics of the far-field co-seismic displacement field, we suggest that the horizontal co-seismic displacement on the Xianshuihe fault along the southern margin of Bayan Har block generated by the M_S7.4 Maduo earthquake gradually attenuated from west to east.

Keywords: GNSS continuous station; the M_S7.4 Maduo earthquake; far-field co-seismic displacement; the Bayan Har block

江苏地区地震台站地网设计施工关键技术研究

立　凯[1],瞿　旻[2],秦　磊[1]
(1. 江苏省地震局连云港地震台,江苏 连云港　222061;2. 江苏省地震局,江苏 南京　210014)

摘　要:根据江苏地区台站环境及气候的多样性,对江苏辖区内地震台站地网建设环境进行了分类,对常见类型地网通过公式进行推导与计算,提出了江苏各地区地震台站最小地网要求,并对一些特殊环境的接地提出了建议和设计方案,这具有一定的推广价值。

关键词:地震台站;地网建设;最小地网要求;设计方案
中图分类号:P318.6　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0021 - 04
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.02.004

随着行业标准《地震台站综合防雷》(DB/T 68 - 2017)的推出,以及各级地震主管部门对地震台站综合观测技术保障系统建设工作的重视,地网建设成为地震台站综合观测技术保障系统发挥作用的重要基础之一。江苏地处长江中下游地区,每年的夏季梅雨季节为雷电高发期,而地震台站通常地处偏僻,且很多位于山脚下或山窝等无遮挡的雷区,经常出现雷击事件,轻则供电线路出现故障或仪器数据出现异常,重则整套观测系统被击毁(王党席等,2015)。因此构建完善的综合观测技术保障系统是台站建设的基础,地网建设的效果则直接关系到保障系统的效能。本文针对江苏辖区内常见类型的地震台站地网,通过公式推导与计算,尝试提出江苏地区台站地网建设基本要求,以期能有效减轻雷击对台站仪器设备的危害。

1　江苏省地震台站现状

根据现有观测类型,江苏区域内台站主要有地面测震台、井下测震台、山洞测震台、地磁台、地电台、钻孔形变台、钻孔流体台和洞体形变台。根据台站归属又可划分为省属专业台站和地方性台站,省属专业台通常为综合台,有 2 个及以上的观测项目;地方性台站以无人值守台站为主,通常以某一类观测学科的设备为主。这些台站主要位于人烟较少的地区,如景区、农村、城郊、厂区和功德园等地,有的在山脚下,有的在半山坡,有的在田间或山洞等地。由于台站所处地区的土壤条件不同,其地网制作要求和方法也不尽相同。通常情况下,地震台站的地网电阻值通常可由式(1)(中国地震局,2017)计算得到:

$$R = 0.5\rho_x / \sqrt{S} \tag{1}$$

式中 R 为接地电阻,ρ_x 为土壤电阻率,S 为地网面积。影响地震台站地网电阻值的主要因素有土壤电阻率和地网面积。当地震台站位于农村或郊区等地时,其土壤电阻率通常不超过 200 Ω · m,尤其是苏中、苏南水乡地区,土壤电阻率通常不高于 50 Ω · m,不需要大面积制作地网,建设难度较低。当台站处于山脚、半山坡和山洞时,土壤电阻率较高,且土壤覆盖层较薄,接地棒难以完全打入地下,且台站周围用地易受限制,地网制作存在较大难度。

2　江苏省地震台站地网设计施工关键技术

2.1　地震台站地网建设通用要求

地震台站应根据所在地的土壤电阻率以及所选取的接地体类型和降低接地电阻的方法,进行统一接地

收稿日期:2021 - 05 - 11;**修回日期**:2021 - 08 - 11
基金项目:中国地震局监测、预测、科研三结合课题(项目编号:3JH-202001035).
作者简介:立凯(1985 -),男,工程师,主要从事地震监测方面的研究. E - mail:likaidzt@163.com.
通讯作者:瞿旻(1983 -),男,高级工程师,主要从事地震观测技术研究与应用. Email:124894157@qq.com.

设计和实施。无人值守的地震台站，接地宜采用法拉第笼结构（黄锡定等，2007；见图 1）。

房顶用直径为不小于 8 mm 的镀锌圆钢，围成网格，如图 1 中“房顶”所示的防护装置。外圈四周间隔 30 cm 垂直焊接高 15 cm 的一截圆钢。在外圈的四个角用 4 mm ×40 mm 的扁铜或镀锌扁钢作为引下线，将“房顶”所示的防护装置与避雷地网相连接。离观测房外墙 1 m 外挖沟，间隔 5 m 打入用 50 mm ×50 mm ×5 mm 角钢做的长度为 2.5 m 的垂直接地体，接地体的上端距地面宜不小于 0.7 m。用 4 mm ×40 mm 的扁铜或镀锌扁钢将垂直接地体连接成网，如图 1 中“避雷地网”所示。所有焊接处均采用搭接焊，焊接长度为扁钢宽度的 2 倍，焊接面不少于 3 个棱边，且焊接处涂上防锈剂。如果地网的接地电阻大于 4 Ω，则需增加外延接地极，即距 5 m 外再挖沟加做一圈接地线，或添加长效降阻剂以降低接地电阻，达到规定要求。应在室内设接地排（接地母线），并与避雷地网等电位连接。

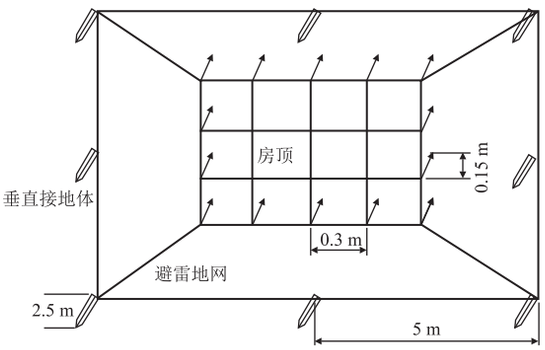


图 1　法拉第笼结构图

地震台站应以建筑物基础地为主，采用共用接地方式，即建筑物基础地、仪器设备地、电源地（变压器地）等共用一个地网，其接地电阻值应不大于 4 Ω。不同建筑物之间的地网，距离在 20 m 以内的应相互连接，距离在 20 m 及以上的不必互相连接。信号线等线路的屏蔽层两端应与各自所在的建筑物的地网连接。当地网接地电阻值未达到要求时，采取外延增加接地网尺寸，将接地体深埋于低电阻率的土壤中，使用降阻剂、接地模块和换土等方法使其达到要求。接地体之间连接应采用搭接焊方式，扁钢搭接长度应为其宽边的 2 倍，圆钢搭接长度应为其直径的 10 倍，焊接面不应少于 3 个棱边，所有焊接点均应进行防锈处理。不应使用工业盐作为降阻材料，可用长效降阻剂。接地网地电阻值应是连续无降雨雪 7 天后的工频测量值。

2.2　低土壤电阻率台站地网建设

对于有人值守专业台站，其主观测楼可采用建筑地或“建筑地 + 专用地网”的方式（黄晖等，2008），专用地网主要指设备地和信号地。主观测楼应具有避雷带，且避雷带与观测楼建筑地相连接，连接点不少于 4 处。与台站观测楼呈星型连接的独立观测房应具备独立地网，对于新建观测房应尽量使用法拉第笼结构建设地网，对于改造地网应根据场地条件因地制宜。当独立观测房地网与主观测楼地网间距小于 20 m 时，避雷带应与主观测楼地网连接，且连接点不少于 2 处。

对于无人值守台站，在新建时应尽量使用法拉第笼结构建设地网（瞿旻等，2015），但至少应在台站附近有带状或网状地网接入。在土壤条件良好的情况下，只需确保地网面积满足基本需求即可，在场地条件和经费允许情况下应尽量制作 5 m ×10 m 的地网，引入室内不少于 2 根热镀锌扁钢，最低不低于 5 m ×5 m 或长 15 m（4 根垂直接地极 3 个水平接地极，如图 2）的带状地网。考虑到江苏中部及南部属于多雨区，苏北属于一般地区，故土壤电阻率在多雨区时计算时应为一般地区的 1/2。

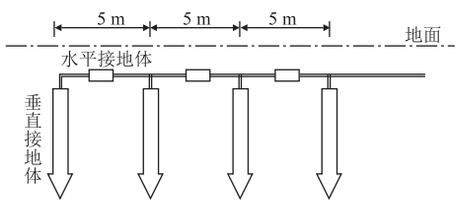


图 2　带状地网示意图

单个垂直接地体，简单估算公式为：

$$R_{垂} = \rho_x / L \tag{2}$$

单个水平接地体，简单估算公式为：

$$R_{平} = 2\rho_x / L \tag{3}$$

式（2）、（3）中的 L 表示接地体的长度。带状地网电阻可用各单个垂直接地体和水平接地体阻值的并联公式求得（王党席等，2015），以 4 根垂直接地体 3 个水平接地体为例，其阻值计算等效为图 3。根据闭环网和带状网接地电阻计算方法，得到降雨一般区不同地网在不同土壤电阻率情况的理论接地电阻，见

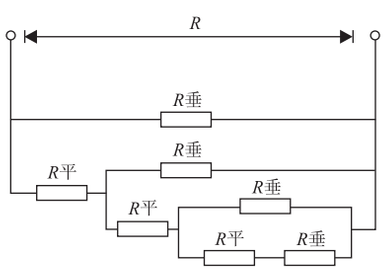


图 3　带状地网接地电阻等效电路

表 1。

表 1　降雨一般区不同地网在不同土壤电阻率情况下的理论接地阻值(王党席等,2015)

土壤类型	电阻率/(Ω·m)	网状地网 5 m×10 m 接地电阻值/(Ω)	网状地网 5 m×5 m 接地电阻值/(Ω)	带状地网 15 m(接地极 2.5 m)接地电阻值/(Ω)	带状地网 15 m(接地极 1.5 m)接地电阻值/(Ω)
陶粘土	10	0.71	1	3.66	5.82
泥炭土	20	1.42	2	7.33	11.64
沼泽土	40	2.83	4	14.65	23.28
黑土等	60	4.24	6	21.98	34.92

从表 1 中可以看出,苏北等降雨一般地区制作地网时除了在地下水位较高的农田中可以制作带状地网外,其它地区应使用网状地网设计。在苏中及苏南的多雨地区,ρ_x 值计算可采取一般地区的一半,当使用 2.5 m 长的垂直接地极制作地网时,可以根据场地条件选用带状地网或 5 m×5 m 网状地网即可满足接地电阻小于 4 Ω,需要注意的是土壤下层应避开建筑垃圾。

综合考虑台站周边土壤覆盖、环境等因素,降雨一般地区的最小地网要求为 5 m×10 m 网状地网;多雨区最小地网要求为 5 m×5 m 网状地网或不少于 4 根 2.5 m 垂直接地极的带状地网。

2.3　高土壤电阻率台站地网建设注意事项

高土壤电阻率台站主要是指台站周围覆盖层小于 20 cm、土壤类型为砂石或碎石的地震台站。根据地网计算公式可知降低 R 的方法主要有降低土壤电阻率或增加地网面积两种。常见的降低土壤电阻率措施主要有 7 种。(1)换土:用电阻率较低的土壤替换电阻率较高的土壤。(2)对土壤进行化学处理:将化学物和土壤混合后填入坑内夯实,常用的化学物有炉渣、木炭、氮肥渣、石灰、食盐等,这种方法中所需的化学物往往带有腐蚀性且易流失,一般不得已时才采用。(3)深埋接地体:当地下深处的土壤或水电阻率较低时采用。(4)污水引入:为降低接地体周围土壤电阻率,可将无腐蚀性的污水引到埋设接地体处。(5)深井接地:用钻机钻孔,把钢管打入井内,再向管内和井内灌满泥浆。(6)利用水工建筑物:与水接触的钢筋混泥土作为流散介质,充分利用水工建筑物(水井、水池等)以及其他与水接触的金属部分作为自然接地体。(7)利用化学长效降阻剂。

考虑到台站环境保护,江苏地区地震台站降低土壤电阻率的方式主要是换土、使用长效降阻剂和打深井深埋接地体。打深井深埋接地体由于成本较高,考虑到防护设备的性价比,一般较少应用。由于地网面积常受到场地限制,在采取换土和增加降阻剂后接地电阻仍无法降到 4 Ω 以下时,应按照规范要求打入足够多的接地体,尽可能降低接地电阻。

2.4　钻孔观测地震台站地网建设注意事项

钻孔类台站主要指有钻孔形变、钻孔流体和钻孔测震观测的台站,由于钻孔类仪器通常价格较为昂贵,钻孔类传感器安装更换费时费力,部分钻孔形变类仪器安装后传感器无法更换(如体应变仪和分量应变仪),因此这类台站在制作地网时特别需要注意钻孔与地网的间距。地网是放电的通道,而钻孔的套管通常是钢管,深度通常为几十米到几百米不等,且浸在地下水位以下,接地电阻非常小(接近于 0),当钻孔与地网间距过近时易引起地电位反击,将雷电流引向钻孔套管,从而导致钻孔下的传感器故障。故在制作此类地网时应考虑以下两点:(1)当钻孔在观测室内且靠近中心点时,适宜做法拉第笼结构地网(中心点的感应电动势最小,且电流放电为外延式);(2)当观测室无法拉第笼式地网或室外条件无法做法拉第笼改造时,应尽量将地网做在钻孔的对侧,且最小距离应不小于 5 m。

2.5　山洞观测地震台站地网建设技术探讨

山洞本身具备较好的电磁屏蔽效果,但由于仪器供电及信号传输,导致雷电信号易从这些途径进入山洞,造成仪器损坏。山洞地网宜根据山洞大小及仪器安装深度进行综合考虑,因山洞内均为山体,无土壤覆盖层,因此在山洞内部做合格的地网难度和代价过大,且制作后难以测得阻值。对于仪器安装位置较浅的山洞,宜在山洞附近寻找覆盖层制作地网,并用 2 根扁钢引入山洞,扁钢平行铺设时距离不小于 0.5 m,宜间隔 0.5 ~ 1 m 焊接一截扁钢呈“梯子”状引入。对于仪器安装位置较深的山洞,山洞外地网引入会导致放电通道过长,雷电流泄放效果较差,考虑经济效益,可寻找山洞内有流水的裂隙处,将扁钢引入其中,或对山洞潮湿

的地段的排水沟进行改造,使之呈阶梯型蓄水池,并将扁钢放置其中(图 4)。须注意的是蓄水池的长度应尽量长,蓄水的深度应高于扁钢放置的高度,蓄水池长度较长可以保证有足够的扁钢处于低电阻率环境中,蓄水面应没过扁钢以保证扁钢与水有充分的接触面放电。

3　部分地震台站地网改造工程实施

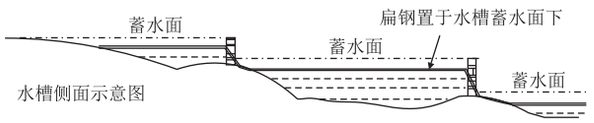


图 4　扁钢入水槽示意图

2017 ~ 2018 年对江苏省南通台、如东台、启东台、盐城台、徐州台、苏 22 井、新沂台和涟水台共计 7 个台站的 9 个地网进行改造。首先对台站土壤电阻率进行测量,再根据各台站实测土壤电阻率对台站地网进行设计,设计地网的接地电阻理论值和工程实施完工后的实测值见表 2。从表 2 可以看到实际值与设计值平均偏差率为 -2.29%,最大偏差率不超过 ±17%,施工结果符合设计预期。偏差率较大的台站,因实际测值较小,故在偏差率上反映较大,如启东台和新沂台地网 2 均为 0.5 Ω 左右,故偏差率略有增大;如东台因实际场地限制难以达到 5 m×5 m 的预期,故施工结果较设计值有所增加。徐州台土壤环境较差,通过换土有效降低了 ρ_x 值,由于场地土深只有约 0.7 m,较预计值 1 m 浅,故而在埋设接地极时增加了长效降阻剂,从实际效果看基本符合要求。此外,测量方法和次数的不同亦会导致表 2 中测量值有些许偏差。

表 2　部分地震台土壤电阻率测量值及气候情况

台站名	测量值/(Ω·m)	台站气候	地网类型及参数	理论值/(Ω)	实际值/(Ω)	实际偏差率/%
南通台	12.40	多雨区	5 m×5 m 网状	0.89	0.88	-1.12
如东台	11.40	多雨区	5 m×4 m 网状	1.00	1.14	14.00
启东台	2.57	多雨区	15 m 带状	0.54	0.48	-11.11
徐州台	46.96	一般降雨区	5 m×10 m 网状	3.29	3.50	6.38
苏 22 井	11.47	多雨区	15 m 带状	3.21	3.09	-3.74
新沂台地网 1	12.00	一般降雨区	5 m×10 m 网状	0.85	0.78	-8.24
新沂台地网 2	12.00	一般降雨区	5 m×10 m 网状	0.65	0.54	-16.92
新沂台地网 3	20.00	一般降雨区	5 m×5 m 网状	2.50	2.60	4.00
涟水台	13.00	一般降雨区	15 m 带状	1.04	1.00	-3.85

4　结论

在台站环境调研的基础上,对江苏省内不同类型地震台站的地网进行了设计和公式推导计算,得到最小地网设计要求,并通过 2017 ~ 2018 年台站地网进行设计和施工后的验证,得到较为理想的结果,对于今后台站接地改造及建设中的设计和施工提供了标准化解决方案。由于这次改造台站土壤大多为田园土,土壤电阻率较为理想,对于高土壤电阻率台站及施工条件限制较多的台站,则需要以降低 ρ_x 值和增加地网面积或长度为原则进行针对性设计,相关计算模型还有待于进一步的设计和实施结果加以验证。地震台站的接地建设是台站观测系统最基本的环节,是开展各项观测的基础,除了不断完善设计和加强管理,也要充分考虑环境制约以及成本等方面的因素,才能真正做好地震台站的接地建设。

参考文献

黄晖,柴剑勇,黎珠博,等. 2008. 广东地震台站前兆观测系统防雷综合方法[J]. 华南地震,28(1):108 - 112.

黄锡定,梁焕贞. 2007. 地震台站应用防雷技术讨论[J]. 地震地磁观测与研究,28(5):35 - 40.

瞿旻,霍祝青,戴波,等. 2015. 测震台站综合防雷系统建设及效能评价[J]. 地震工程学报,(2):679 - 622.

王党席,李少睿. 2015. 数字化地震台防雷接地网设置[J]. 地震地磁观测与研究,36(5):94 - 98.

中国地震局. 2017. DB/T68 - 2017. 地震台站综合防雷[S]. 北京:地震出版社.

(下转第 34 页)

盐源县龙洞河水位异常的分析和判定

蒋　川,陈碧洪,马付红
(四川省地震局西昌地震监测中心站,四川 西昌　615022)

摘　要:针对 2019 年 12 月 10 日盐源县龙洞河地下水位发生异常,外围水坝突然断流,短时间内蓄水区水位急剧下降的现象,从连续异常变化和数据资料两个方面对异常进行分析,认为异常发生的基础是异常区域近年来降雨总体偏少,主要原因是季节性的降雨不足;同时,在对比分析两个采样时间相隔近 15 年的干海井井水样品时发现 SO_4^{2-} 含量的增加最为明显,这可能是异常区域岩溶系统向深部发育的重要标志;地下水的容纳空间向深部扩大,是造成本次水位异常的次要原因。

关键词:盐源县龙洞河;水位异常;异常变化
中图分类号:P315.7　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0025 - 05
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.02.005

地震地下流体是指与地震孕育、发生或构造活动有直接联系的、赋存于地壳岩体空隙中的水、气、油等物质。人们把地下流体的异常变化作为地震前兆来研究,起源于强震前出现的井水位变化、冒泡、变色、变味等宏观现象的认识(郭增建,1964)。多年观测实践及研究证明,中强地震发生前震区部分观测井会出现明显的地下水异常变化,这主要是由于在区域应力作用下,地壳介质受到力的作用发生形变破坏时,介质中的流体在动力作用、热力作用和化学作用下发生动态变化(孙小龙,2016)。水位观测是地下流体观测的手段之一,1966 ~ 2006 年的《中国震例》中,有水位前兆异常的共有 100 个震例,占统计震例的 41.7%。100 个震例中,共有 283 项水位异常,平均每个震例有 2.83 项异常(李利波等,2016)。水位异常也发挥着重要作用,如海城地震前,在海城地震震中半径 250 km 范围内的 25 个县、市,共测得 118 口井水位有异常表现(马宗晋等,2008)。然而并非所有的水位异常均是地震前兆异常,原因在于很多因素均可引起异常变化,如构造活动、降雨、放炮采矿、钻井抽水、水库蓄放水等。如何在各种因素共同作用下准确识别地震前兆信息,排除各种干扰做出准确的判定,是目前地震监测预报亟需解决的重要问题。2019 年 12 月 10 日盐源县龙洞河地下水位发生异常,短时间内蓄水区水位急剧下降,这是该点被设立为地震观测点以来首次观测到的现象。本文针对盐源县龙洞河地下水位异常的现象,对近 2 年来的连续跟踪观察结果和收集到的数据资料进行综合分析,寻找异常发生的原因,进而为本地区今后的前兆观测及地下水异常分析判定提供参考。

1　区域地质构造概况

龙洞河位于川滇菱形块体内、丽江—小金河断裂带的中段偏南的位置。丽江—小金河断裂带是川滇菱形块体内部的一条 NE 向活动构造带,断裂全长 360 km,它将川滇菱形块体斜切为川西北和滇中 2 个次级块体,是龙门山—锦屏山—玉龙雪山中新生代推覆构造带西南段基础上形成的一条活动断裂带(邓起东等,2002;向宏发等,2002),从全新世至今一直具有较强的活动性(徐锡伟等,2003;季灵运等,2015)。丽江—小金河断裂及其次级宁蒗断裂、甲米断裂历史上地震频发,统计龙洞河异常点 50 km 以内地震,发生 5 级以上地震 17 次,最大一次为 1976 年 11 月 6 日发生的 6.7 级地震,最晚为 2001 年 5 月 23 日发生的 6 级地震。李宁等(2018)采用 DEFNODE 负位错反演程序计算了丽江—小金河断裂带的断层闭锁程度和滑动亏损速率特征,结合小震精定位结果分析了该断裂带的强震危险性,结果表明丽江—小金河断裂的南段 - 中段南部具有发生较大地震的潜在危险性。可见异常区域既具有中强地震活动的构造背景,又有发生较大地震的风险,因

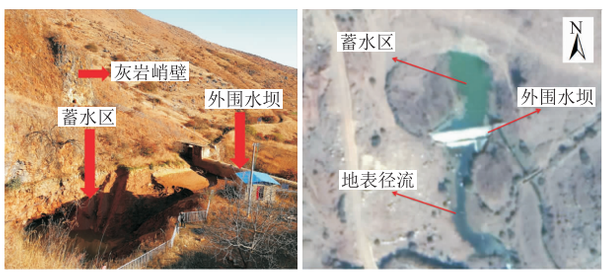
收稿日期:2021 - 08 - 03;**修回日期**:2021 - 09 - 05
作者简介:蒋川(1986 -),男,四川武胜人,助理工程师,主要从事地下流体观测工作. E - mail: 2356321078@qq.com.

此异常的跟踪分析尤为重要。

2　异常概况

2.1　异常点及周边概况

盐源县棉桠乡核桃园村龙洞河宏观异常观测点分蓄水区和排泄区，蓄水区为一水坝所围限的出水坑，地下水通过蓄水区底部的入水口进入蓄水区，入水口为一直径约 1 m 的圆形洞口，2004 年枯水期当地人员曾深入洞口约 500 m，发现内部有暗河，蓄水区在蓄满水后自然溢出，通过外围的水坝向外排泄（图 1b）。



(a) 异常点全貌（发生异常之后）　(b) 异常点卫星图（发生异常之前）

图 1　异常点示意图

异常区内主要出露地层为：(1) 第三系昔格达组（N_2x）为粉砂岩、粘土岩、砂砾岩夹褐煤层，浅层水泉流量 0.02 ~ 0.32 L/s，最大 23 L/s；(2) 三叠系白山组（T_2b）为灰岩、白云质灰岩，组内岩溶发育，岩溶泉流量 50 ~ 40 L/s，局部发育岩溶大泉流量超 6 000 L/s；(3) 三叠系盐塘组（T_2y）为一套浅海相或封闭海湾的碳酸岩沉积，岩性为粉砂岩、砂岩夹泥质灰岩、泥灰岩，含石膏层，赋存岩溶水，溶洞暗河强烈发育，大泉暗河流量 100 ~ 1 000 L/s，大者达 6 830 L/s[①]。异常点旁的陡壁（图 1a）上的基岩剖面（图 2）可见灰岩、泥灰岩出露。

图 2　异常点附近基岩出露情况

2.2　异常特征

2019 年 12 月 10 日异常点外围水坝断流（图 3），蓄水区的水位开始急剧下降，12 月 14 日水位下降约 6 m（图 4），此后水位不断下降，直到 2020 年 2 月 5 日蓄水区入水口已干涸。而异常发生之前，异常点蓄水位偶尔会下降，但一般下降 20 ~ 30 cm 后就会恢复。

(a) 异常发生前的水坝溢水情况　(b) 异常发生后，水坝已无溢水，断流

图 3　异常发生前、后的水坝溢水情况对比

3　异常点跟踪变化及数据资料分析

3.1　异常点跟踪变化分析

异常点在综合水文地质图上被标识为长观泉点，常年泉水流量变化为 0 ~ 6327.54 L/s[②]，异常点至少在 1977 年编制综合水文地质图或更早的野外工作阶段，就出现过断流和恢复外排事件。通过现场调查了解到异常点在 2004 年之前的丰水期均有水排泄，并在枯水期断流；2019 年 12 月 10 日异常发生外围水坝立即断流；2020 年 7 月 9 日外围水坝恢复外排；2020 年 12 月 27 日外围水坝断流；2021 年 7 月 6 日外围水坝恢复外排。异常点详细变化情况见表 1、图 5。

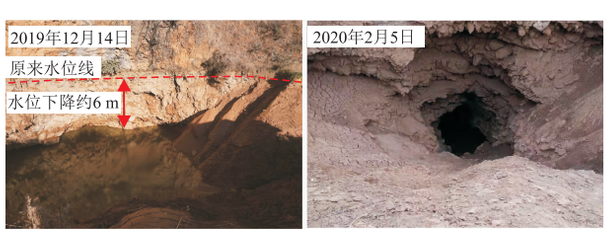


图 4　蓄水区水位变化对比

通过异常点跟踪变化分析发现 2019 年异常点出现断流事件并非首次发生，历史上异常点已经出现过多次类似事件。2019 年异常发生以来已经出现的 2 次断流和 2 次恢复事件（图 5），对比异常点历史上已出现的断流和恢复事件并无不同之处，断流时间都在枯水

[①] 资料来源：四川省地质局第一区域地质测量队二分队. 1971. 区域地质测量报告（盐源幅 G－47－Ⅵ），未公开出版.

[②] 资料来源：中国人民解放军 00 九三一部队四中队. 1977. 综合水文地质图（盐源幅 G-47-6），未公开出版.

季,恢复外排均在雨季。分析认为这与降雨的周期性变化有关,在某一个较长的时间段内年累计降雨量高于平均水平,异常点补给充足,常年向外排水;而在另一段较长的时间段内年累计降雨量低于平均水平,在每年的枯水季节补给不足出现断流,2019 年发生的异常仅是另一个降雨周期的开启。统计发现异常点发生断流的年数远多于不发生断流的年数,发生断流、水位下降事件应属正常,分析认为造成这种“错觉”的原因是异常点于 2005 年被设立为地震宏观观测点,由专门人员负责观察,而 2005 年一直到异常发生前均为常年向外排水,2019 年首次观测到断流则被视为异常。

表 1　异常点历史变化统计表

序号	时间段	异常点情况
1	1977 年(或更早)至 2004 年	丰水季排水、枯水季断流
2	2004 年至 2019 年 12 月 10 日	常年往外排水
3	2019 年 12 月 10 日至 2020 年 2 月 5 日	蓄水区水位逐渐降低,2020 年 2 月 5 日彻底干涸
4	2019 年 2 月 5 日至 2020 年 7 月 9 日	干涸
5	2020 年 7 月 9 日至 2020 年 12 月 27 日	往外排水
6	2020 年 12 月 27 日至 2021 年 2 月	蓄水区水位逐渐降低,2 月蓄水区干涸
7	2021 年 2 月至 2021 年 7 月 1 日	干涸,2021 年 7 月 1 日蓄水区入水口可见水
8	2021 年 7 月 6 日至现在	往外排水

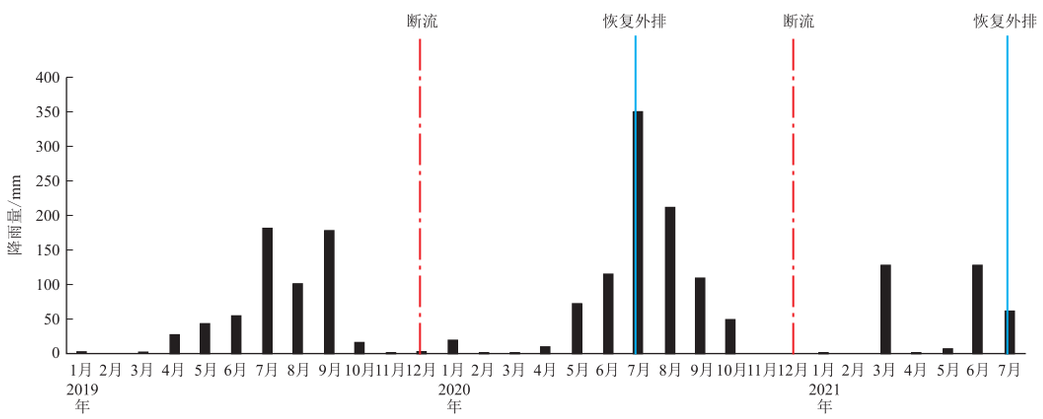


图 5　异常点变化与降雨对应图

注:数据截止到 2021 年 7 月 17 日

3.2　干海井数据资料分析

干海井观测点位于异常点 SEE 向约 16 km 处,井深 73.65 m,流量 0.132 ~ 0.703 L/s,水温 15.0 ~ 18.5 ℃,井下 38 ~ 54.05 m 的砂岩段为主要含水层。干海井观测点与异常点下覆地层(图 6)为第三系昔格达组(N_2x)、三叠系白山组(T_2b)、盐塘组(T_2y),均为异常区域地下水的出漏点。异常点与干海井观测点之间发育有三叠系盐源—棉垭断裂。由于干海井观测点与异常点同处异常区域,且干海井位于异常点地下水流动方向的下游,干海井的降雨、水化学观测资料能够反应异常区域整体降雨、地下水补给、岩溶变化等特征。

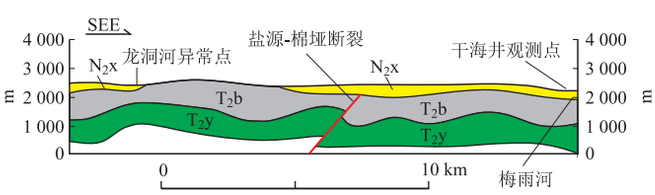


图 6　异常点 – 干海井观测点地质剖面示意图

(据盐源幅地质图、综合水文地质图有改动)

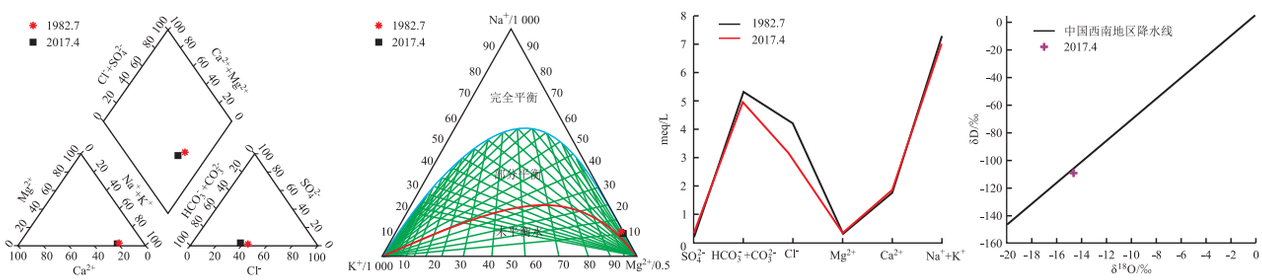
3.2.1　水化学及氢氧同位素分析

地下水的化学组分和稳定同位素组成可以用于判定其水化类型、水 – 岩平衡反应特征及其组分来源。Piper 图可以判定地下水的类型和地下水的混合作用;Giggenbach 图可判定地下水的水岩平衡状态,进一步揭示含水层的深浅部补给关系和地下水系统的开放与封闭程度;Schoeller 图形状变化趋势可以判断地下水补给是否具有同一补给来源;氢氧稳定同位素数据与大气降水线之间的关系可研究地下水的运动过程。本文收集了干海井的水化学及氢氧同位素数据(表 2)。

表 2　干海井水化学及氢氧同位素分析结果

采样时间	K^+ /(mg·L^{-1})	Na^+ /(mg·L^{-1})	Ca^{2+} /(mg·L^{-1})	Mg^{2+} /(mg·L^{-1})	HCO_3^- /(mg·L^{-1})	CO_3^{2-} /(mg·L^{-1})	Cl^- /(mg·L^{-1})	SO_4^{2-} /(mg·L^{-1})	δD /‰	$\delta^{18}O$ /‰
1982.7	1.25	167.08	35.42	3.73	325.3	0	149.81	8.44	–	–
2017.4	1.00	161.20	37.50	4.10	303.2	0	105.40	15.90	–108.9	–14.7

干海井地下水阴离子以 HCO_3^-、Cl^- 为主，阳离子以 Na^+ 为主，依据舒卡列夫分类法干海井地下水水化类型为 HCO_3 · Cl – Na 类型。piper 图（图 7a）、Schoeller 图（图 7c）显示前后离子的含量较为接近，说明干海井补给源没有发生明显变化。地下水中 Ca^{2+}、HCO_3^- 来自于地下水流动过程中对灰岩的溶解。较高的 Na^+、Cl^- 可能是由于在地下水流动过程中溶解盐类形成，K^+ 较低说明本地区沉积岩中含钾盐较低，SO_4^{2-} 增加近 1 倍，分析认为这与下覆地层盐塘组（T_2y）中部含有透镜状石膏，底部含有石膏矿有关，15 年间含有 CO_2 的地下水不断向深部侵蚀，发生反应：$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + Ca^{2+}$，地下水的容纳空间向下扩展，盐塘组中部和底部的石膏溶解在地下水中，同时维持原有地下水水位所需的水源补给更多，这可能是异常发生的一个次要原因。



(a) piper图　(b) Giggenbach图　(c) Schoeller图　(d) $\delta^{18}O-\delta D$同位素图

图 7　干海井地下水分析

Giggenbach 图（图 7b）显示两次采样分析结果几乎重叠，均落在靠近 Mg^{2+} 端元部分平衡区域，表明水循环相对较快，水岩之间尚未达到离子平衡状态，水岩作用仍在进行。氢氧同位素测试结果（图 7d）位于中国西南地区大气降水线（$\delta D = 7.54\delta^{18}O + 4.84$）下方附近，分析认为干海井地下受大气降水直接补给，但因发生了部分平衡的水 – 岩反应，造成该水样轻微偏离中国西南地区大气降水线右侧。

3.2.2　降雨观测资料分析

依据氢氧同位素分析结果，结合其他学者对本地区井水的研究成果（杨耀等，2019）认为异常点地下水补给来源也为大气降水，因此分析降雨数据对查明异常发生的原因十分重要。对干海井所在地区的降雨量进行统计，结果见图 8。从该图可以看出：（1）异常点区域降雨具有显著的季节性特征，每年的 6 ~ 9 月为降雨集中的时段，其中 7 月降雨量最多，11 月至次年的 4 月为少雨时段；（2）异常点区域每年的年累计降雨量并不平均，最小值为 2013 年的 611.6 mm，最大值为 2015 年的 945.4 mm，变异系数为 0.166，离散程度较高。发生断流的 2019 年年累计降雨量（611.7 mm）为近年来的次低水平，降雨量明显偏少。

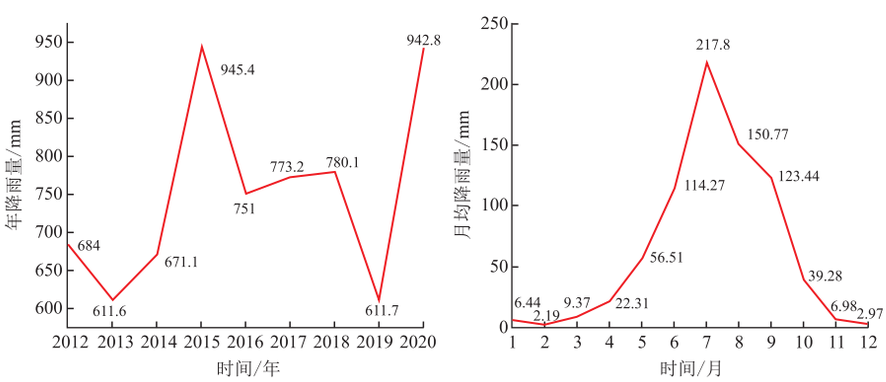


图 8　2012 ~ 2020 年盐源地区年降雨量和月均降雨量（中国气象局公共气象服务中心，2021）

4　结论

（1）跟踪调查情况表明 2019 年 12 月 10 日盐源县龙洞河地下水位异常并不是首次发生，异常发生以来相继出现的断流和恢复外排的事件与降雨的对应关系明确，具有显著的相关性，认为异常的发生只是一个新的降雨周期（枯水周期）的开启。（2）依据水化学和氢氧同位素分析情况，认为异常地区地下水直接受降雨补给，地下水循环相对较快，发生了一定程度的水岩反应，使氢氧同位素轻微偏离西南地区降水线。SO_4^{2-} 显著增加原因是溶解了盐塘组中部、底部的石膏矿，认为异常区岩溶系统在不断向下发育，地下水的容纳空间

也在向深部扩展,维持原有地下水位所需的水源补给将更多,这是异常发生的次要原因。(3)异常区域近年来降雨量低于年平均降雨水平,且季节性特征十分明显。综合分析认为近年来的降雨量偏低使地下水补给总体偏少是发生异常的基础,季节性的补给不足是异常发生的主要原因。

由于数据有限,仅使用干海井单点的数据进行研究,在今后的前兆观测及异常核实工作中需要收集丰富数据以进一步夯实研究成果。

致谢:梁明剑、李晨桦高工对本文的写作给予了指导帮助;中国地震台网中心,国家地震科学数据中心(http://data.earthquake.cn)提供了数据支撑,在这里一并致谢!

参考文献

邓起东,张培震,冉永康,等. 2002. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学:地球科学,32(12):1020 - 1030.

郭增建. 1964. 地震发生前的地下水位变化[J]. 地球物理学报,13(3):223 - 226.

季灵运,刘立炜,郝明. 2015. 利用 Insar 技术研究滇西南镇康—永德地区现今地壳形变特征[J]. 地震研究,38(1):84 - 89.

李利波,张立,付虹,等. 2016. 水位前兆异常特征分析[J]. 地震研究,39(3):436 - 443.

李宁,朱良玉,刘雷. 2018. 丽江—小金河断裂带现今闭锁程度与地震危险性分析[J]. 地震研究,41(2):244 - 251.

马宗晋,吴琼,刘惠敏. 2008. 1975 年海城地震较成功预报的经验和教训[J]. 中国应急管理,(6):18 - 23.

孙小龙. 2016. 地下水动态变化与地震活动的关系研究[D]. 北京:中国地质大学.

向宏发,徐锡伟,虢顺民,等. 2002. 丽江—小金河断裂第四纪以来的左旋逆推运动及其构造地质意义 - 陆内活动地块横向构造的屏蔽作用[J]. 地震地质,24(2):188 - 198.

徐锡伟,闻学泽,郑荣章,等. 2003. 川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源[J]. 中国科学:地球科学,33(增刊 1):151 - 162.

杨耀,周晓成,官致君,等. 2019. 川西地下流体观测井水文地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报,38(5):966 - 976.

中国气象局公共气象服务中心. 盐源气候背景分析[EB/OL]. (2021 - 09 - 01). http://www.weather.com.cn/cityintro/101271604.shtml.

Analysis and Determination of Abnormal Water Level of the Longdong River in Yanyuan County

JIANG Chuan, CHEN Bihong, MA Fuhong

(Xichang Earthquake Monitoring Center Station of Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Xichang 615022, China)

Abstract: On December 10, 2019, groundwater level in the Longdong River in Yanyuan County started to be abnormal, which characterized by the sudden cessation of surrounding dams and sharphy dropping of water level in the impoundment area within a short period. This paper analyzes the anomaly at two aspects such as continuous tracking of anomalous changes and the data. We suggest that the basis of the anomaly occurrence is related to the less rainfall in the abnormal area in recent years, which might be further explained by insufficient seasonal rainfall. Moreover, the SO_4^{2-} in Ganhai well measured by a 15-year interval increased obviously, which could be considered to be an important sign for the deep development of the karst system in the abnormal area. The expansion of the groundwater providing space for the deep part is the secondary cause of the abnormal changes of the water level.

Keywords: Yanyuan County; the Longdong River; abnormal water level; abnormal change

怀来台体应变干扰因素分析及质量评价

宋晓煜[1],马广庆[2],王志敏[1],张　帆[1],池海江[1]
(1. 河北省地震局张家口地震监测中心站,河北 张家口　075400;2. 河北地震台,河北 石家庄　050021)

摘　要:以怀来台 TJ-Ⅱ型钻孔体应变仪为研究对象,通过对 2018 年至 2020 年观测资料的质量进行分析,结果发现体应变观测资料完整率及内在精度符合观测规范技术要求,影响观测质量的因素主要有自然环境、电源干扰、人为干扰和钻孔地质条件,同时发现怀来台体应变观测与钻孔气压呈正相关,与钻孔水位呈负相关。

关键词:体应变仪;干扰因素;质量评价;相关性分析
中图分类号:P315.7　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0030 - 05
DOI:10.13716/j.cnki.1001 - 8115.2022.02.006

地壳应力的状态变化是引起褶皱、断裂及地震等地表变形及破坏发生的根本因素,发生在地壳表面的各种地质灾害都与地应力的作用息息相关。钻孔应变观测是研究地壳应力状态及其变化规律的主要手段,同时也是地震观测与研究中不可或缺的主要技术(白金朋,2013)。TJ - Ⅱ型钻孔体应变仪作为地球动力学仪器在观测和研究地壳形变方面发挥着重要作用(李海亮等,2010;苏恺之等,2003)。河北省地震局怀来地震台地处于首都圈及京西北地震监视区,在地震监测中具有重要作用,该台对本区及邻区近震有着较好的映震能力和震前异常反映(王曰风等,2018)。2008 年 1 月 7 日安装 TJ-Ⅱ型钻孔体应变仪,探头放置于古界花岗片麻岩层,经过石英砂浆固化、探头和井孔祸合、钻孔温度恢复、仪器调整平衡等过程,仪器能记录到清晰、规则的固体潮引起的变化。通过多年观测积累了丰富的资料,但是在观测过程中经常出现数据突跳及干扰现象,为准确识别各类非地震前兆干扰,本文主要针对怀来台体应变观测出现的干扰因素进行分类总结,分析钻孔温度、钻孔气压、钻孔水位与体应变之间的关系,同时对 TJ-Ⅱ型钻孔体应变仪器运行质量进行评价,对剔除干扰因素有积极的意义,以便在资料处理时发现规律,为地震监测提供准确的基础数据。

1　台站概况

怀来地震台地质构造处于延怀盆地中部、延庆山字型前弧西翼与新华夏系构造体系大海沱构造带的复合部位(池海江等,2003)。定点形变观测测项主要有 SQ-70DSI 型水平摆倾斜仪、VP 型垂直摆倾斜仪、DSQ 型水管倾斜仪、SS-Y 型洞体应变伸缩仪、TJ-Ⅱ型钻孔体应变仪。其中体应变钻孔深 74.0 m,终孔孔径为 130.0 mm,探头位置放置于井下 64.0 m 处,用膨胀水泥固定,该段有 5.0 m 完整花岗片麻岩,仪器主机和数采安装在观测室内的大理石墩上,采用聚乙稀泡沫板保温套将仪器密封,有利于降低外界气候变化带来的干扰。怀来地震台 TJ-Ⅱ型钻孔体应变仪自运行以来,观测数据曲线有一定的动态变化规律,曲线光滑,测值的日变动态清楚,由图 1 可看出呈现规律的固体潮形态。

2　体应变仪观测影响因素分析

为准确识别各类非地震前兆干扰,针对怀来台体应变观测出现的主要干扰因素进行分类总结(张红秀等,2019),目前主要受自然环境(大风、气压、降雨)、电源干

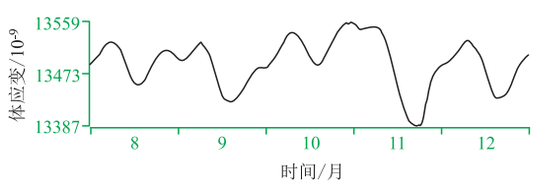


图 1　怀来地震台体应变日观测曲线

收稿日期:2021 - 07 - 07;**修回日期**:2021 - 09 - 07
作者简介:宋晓煜(1967 -),男,河北张家口人,高级工程师,主要从事地震监测工作. E - mail:764523012@qq.com.
通讯作者:马广庆(1978 -),男,河北定州人,高级工程师,主要从事地震监测工作. E - mail:magq2008@163.com.

扰和人为干扰。

2.1　大风、气压和降雨的影响

通过分析对比 2018 ~2020 年体应变观测数据,由于春季张家口地区风力较大,局部风力达到 7 级以上,2018 年 4 月 6 日 02:01 ~07:29,2019 年 3 月 30 日 07:47 ~20:19(图 2a),2020 年 3 月 30 日 07:41 ~17:20(图 2b),大风影响体应变观测,表现为曲线“毛刺”现象,造成数据不稳定。

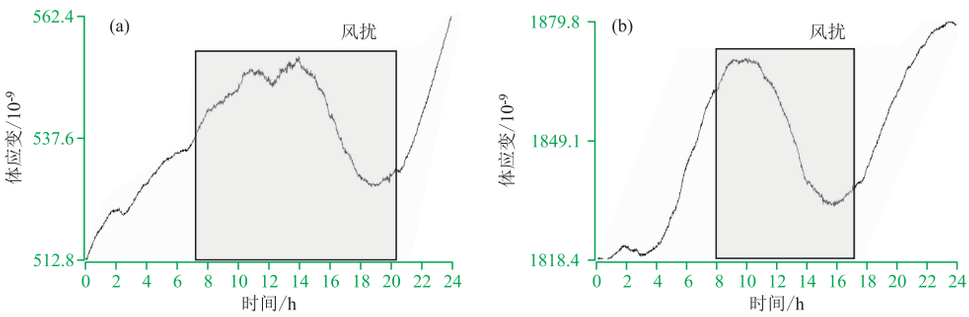


图 2　2019 年 3 月 30 日(a)和 2020 年 3 月 30 日(b)体应变受大风干扰

气压变化是通过地球表面产生边界应力效应造成的,使得岩体内部各种裂隙受到压缩或者拉伸改变岩体的孔隙压力(赵小贺等,2018),造成测值发生明显变化。气压对体应变短时间影响,主要表现在雷雨季节,气压会出现短时剧烈波动,造成曲线畸变。如:2018 年 6 月 10 日 17:39 ~18:19 钻孔气压升高,引起体应变观测值同步变化,曲线形态呈“鼓包”式(图 3a);2019 年 6 月 29 日 00:36 ~03:34 钻孔气压降低,体应变观测曲线与钻孔气压呈同步变化趋势,曲线形态呈“凹陷”式(图 3b)。通过多年资料分析,在雷雨季节,体应变观测在雷雨前后出现的干扰次数要比平常月份频繁。气压对体应变的长时间影响主要表现为同步变化。选取 2019 年 6 月至 9 月钻孔气压与体应变整时值资料做比较,可以看出,钻孔气压对体应变观测显示同步变化特征(图 4)。

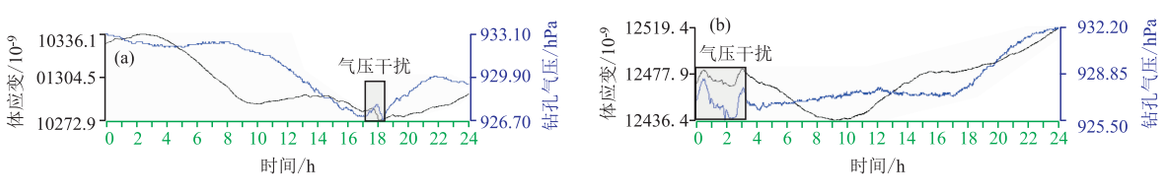


图 3　2018 年 6 月 10 日(a)和 2019 年 6 月 29 日(b)气压对体应变短时间干扰

在体应变观测中,降雨能增加地壳表面的荷载量,造成地壳应力发生相应的变化,继而引起体应变测值出现变化(胡澜缤等,2019)。通过分析怀来地震台体应变观测资料发现,降雨干扰分为即时影响和延时影响。2019 年 6 月 12 日怀来地区发生强降雨,降雨量达 24.2 mm,且当日 15 时降雨量整点值达 19.9 mm,体应变观测曲线出现尖峰干扰(图 5a),变化量达 57.0×10^{-9}。表明此次干扰为降雨产生大地负荷效应所致。雨水随着时间慢慢渗入岩体的孔隙中,使得孔隙压力迅速增多,造成延时影响,引起体应变测值发生变化(李杰等,2003)。2020 年 8 月 18 日 07 时至 10 时降雨量为 19.8 mm,随着降雨缓慢渗透,体应变观测曲线在 08:20 测值增高(图 5b),变化量达 17.6×10^{-9}。

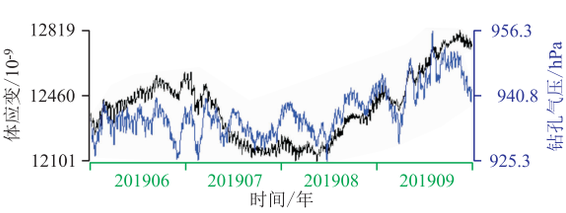


图 4　2019 年 6 ~9 月气压对体应变长时间干扰

2.2　电源干扰

2019 年 6 月 16 日 00:01 ~01:16 电源不稳(交直流电切换,造成输出电压不稳定),产出错误数据,曲线出现“脉冲式”突跳(图 6),变化幅度达到 94.9×10^{-9},01:17 电压稳定后,测值逐渐恢复正常。因此,定期进行巡检维护,减少电源干扰,是保障观测的基础环节,也是提高资料完整率的重要保证。

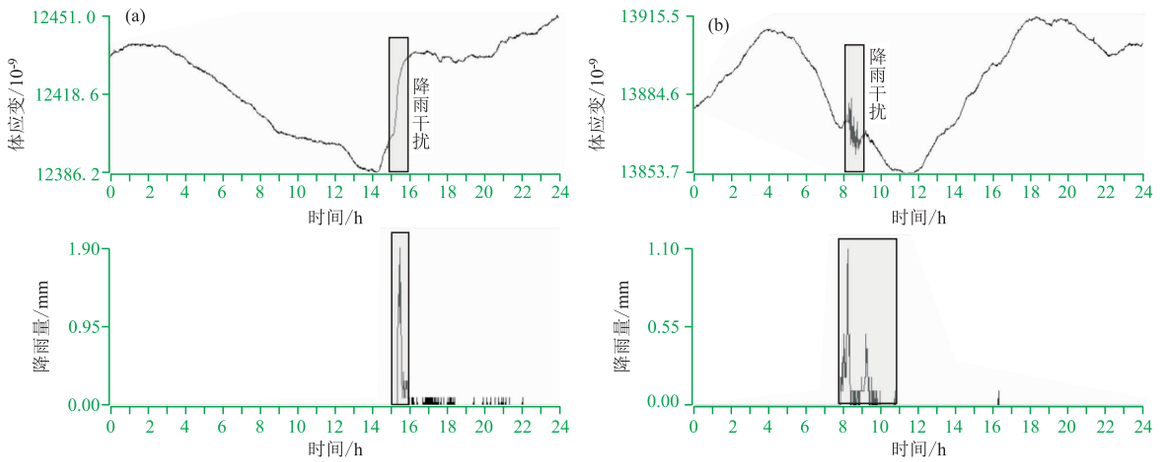


图 5　2019 年 6 月 12 日(a)和 2020 年 8 月 18 日(b)体应变受降雨影响

2.3　人为干扰

2018 年 9 ~ 11 月台站进行标准化改造，线路整理造成体应变观测仪在 2018 年 10 月 16 日整理线路时间段(09:01 ~ 10:25)内数据突跳，曲线出现“毛刺”现象，施工改造(10:26 ~ 12:20)造成数据缺测(图 7a)。按照《倾斜应变台网观测与运行管理工作细则(2015 修订)》规范要求(张英杰等，2016)，2019 年 1 月 1 日台站人员对体应变进行按时标定，造成干扰，表现为数据“脉冲式”上升(图 7b)，变化幅度达到 44.5×10^{-9}。

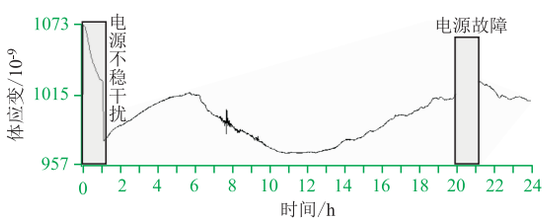


图 6　2019 年 6 月 16 日体应变观测受电源干扰

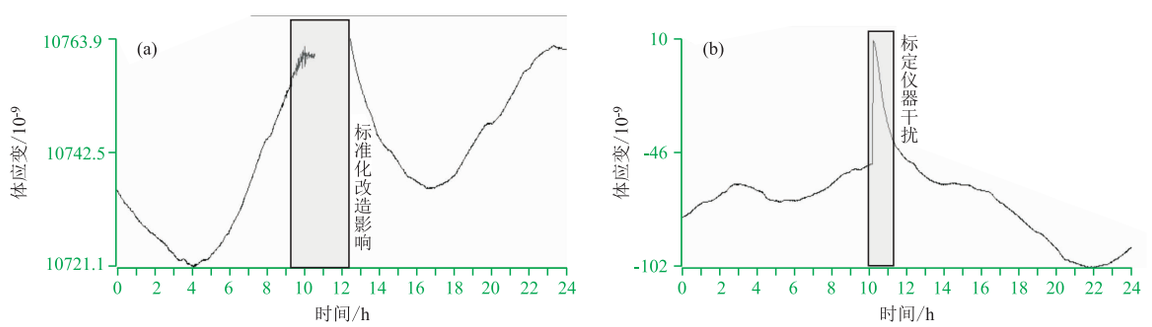


图 7　2018 年 10 月 16 日(a)和 2019 年 1 月 1 日(b)体应变观测受人为干扰影响

3　体应变与钻孔温度、气压、水位之间的关系

在对体应变观测干扰因素进行分类总结基础上，进一步分析钻孔温度、钻孔气压、钻孔水位与体应变之间的关系，利用 origin 数据分析计算得出体应变与气压相关系数为 0.680，与水位相关系数为 -0.455，而与温度的相关系数仅有 -0.246。通过各测项散点图对比和相关系数分析(张帆等，2021)，说明钻孔气压对体应变变化呈正相关(图 8a)，钻孔水位对体应变变化呈负相关(图 8b)，而钻孔温度影响作用相对较弱(图 8c)。

4　体应变仪运行质量评价

资料的完整性、稳定性、可靠性是判断观测资料质量优劣的重要指标。观测资料只有达到观测技术标准要求时，才能更好地判断出观测资料的正常动态背景。为此，有必要对观测资料进行完整性、稳定性、可靠性分析(尤宇星等，2012；李杰等，2002)。统计 2018 年至 2020 年怀来台体应变观测数据完整率，其结果分别为

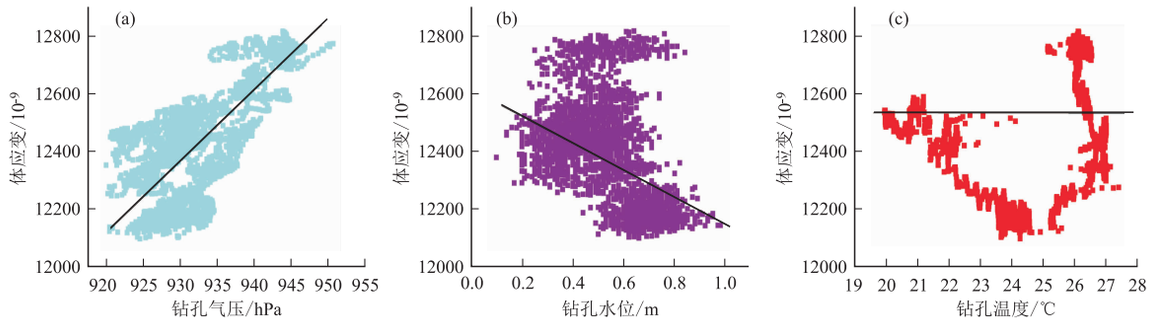


图 8　体应变观测与钻孔气压(a)、水位(b)、温度(c)的关系

94.11%、99.84%、99.93%,这说怀来台体应变观测数据完整率逐年提高,造成 2018 年完整率数据不达标(≤99.5%)的主要原因在于 2018 年台站标准化改造,断续缺测影响数据观测完整率。内在精度方面通常采用 M2 波潮汐参数的稳定性来分析仪器对应变固体潮的观测精度。应变固体潮 M2 波潮汐因子的"内精度"是指 M2 波的均方差与潮汐因子的比值,即相对误差(李文超等,2018)。内精度(小于 0.05)代表观测固体潮数据可靠性,数值越小,说明观测值越可靠,选取 2020 年怀来地震台体应变的观测资料,利用 EIS2000 软件进行 Venedikov 调和分析计算内在质量(全建军等,2021),计算结果见表 1。从表 1 可看出 2020 年 3 月相对误差为 0.0567,8 月相对误差为 0.0531,造成 3 月、8 月内在观测质量较低的原因分别为 UPS 故障停电缺测,气压及雷雨干扰。

表 1　2020 年怀来地震台 1 ~ 12 月体应变调和分析结果

月份	潮汐因子	绝对误差	相对误差	相位滞后	相位误差
1	1.233 3	0.021 5	0.017 4	14.643 0	0.999 6
2	1.153 6	0.025 7	0.022 3	12.580 3	1.275 4
3	1.096 9	0.062 2	0.056 7	-11.625 6	3.247 0
4	1.180 1	0.039 5	0.033 5	-58.584 2	1.918 1
5	1.103 1	0.044 6	0.040 5	-61.765 6	2.317 9
6	1.125 1	0.037 5	0.033 3	-61.264 4	1.908 6
7	1.168 6	0.036 2	0.031 0	-58.955 2	1.774 1
8	1.181 7	0.062 7	0.053 1	-59.599 4	2.538 8
9	1.177 6	0.036 3	0.030 8	-59.280 1	1.764 6
10	1.139 3	0.034 4	0.030 2	-59.184 2	1.729 8
11	1.191 6	0.024 7	0.020 7	-61.122 6	1.185 9
12	1.189 8	0.023 5	0.019 8	-62.836 7	1.132 6

5　结论与认识

通过对怀来台 TJ-Ⅱ型钻孔体应变仪干扰因素及运行质量分析得出几点结论:(1)运用体应变观测资料分析异常与地震的关系时,排除干扰因素是前提,怀来台体应变资料主要受大风、气压、降雨以及电源和人为干扰的影响,其中较为突出的是气压和降雨干扰。(2)降雨对体应变的影响与台站所处地区裂隙发育情况息息相关,降雨通过大地负载效应渗入岩体孔隙中,导致岩石内部的压力加大,体应变观测呈现压性上升同步变化,造成体应变观测受到降雨快速影响和缓慢影响。(3)通过计算怀来体应变观测资料,影响资料质量的因素除受钻孔自身环境外,受电源故障、降雨、人为干扰较大。为进一步分析钻孔体应变与钻孔温度、气压、水位之间的关系,运用 Origin 软件进行分析发现:钻孔气压与体应变变化呈正相关,钻孔水位与体应变变化呈负相关,而钻孔温度影响作用相对较弱。

参考文献

白金朋. 2013. 高精度体积式钻孔应变仪及其观测影响研究[D]. 北京:中国地质科学院.

池海江,张彦清. 2003. 怀来台形变数字化与模拟资料应用的对比分析[J]. 地震地磁观测与研究,24(1):55 - 59.

胡澜缤,张彦吉,李继业,等. 2019. 通河地震台体应变观测干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究,40(3):112 - 119.

李海亮,李宏. 2010. 钻孔应变观测现状与展望[J]. 地质学报,84(6):895 - 900.

李杰,刘敏,邹钟毅,等. 2003. 数字化钻孔体应变干扰机理及异常分析[J]. 地震研究,26(3):230 - 238.

李杰,邹钟毅,闫德桥,等. 2002. TJ - Ⅱ型钻孔体应变仪数字化观测资料分析[J]. 大地测量与地球动力学,22(3):69 - 74.

李文超,闫美蓉,刘发,等. 2018. 大同中心地震台体应变观测资料干扰因素分析及运行质量评价[J]. 山西地震,(3):42 - 45.

全建军,赖见深,陈珊桦,等. 2021. 小陶地震台钻孔体应变仪观测质量与映震能力分析[J]. 华南地震,41(1):26 - 33.

苏恺之,李海亮,张均,等. 2003. 钻孔体应变观测新进展[M]. 北京:地震出版社.

王曰风,张秀萍,张珊珊,等. 2018. 怀来地震台线应变测项群井抽水干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究,39(5):136 - 142.
尤宇星,陈珊华,谢文杰,等. 2012. 泉州地震台 TJ - ⅡC 观测资料综合分析[J]. 华南地震,32(3):118 - 124.
赵小贺,公续升,闫万晓,等. 2018. 马陵山和相公庄台钻孔体应变观测质量影响因素分析[J]. 地震工程学报,40(增刊):95 - 100.
张帆,王江,池海江,等. 2021. 怀 4 井 ATG - 6138M 气汞仪干扰因素及质量评价[J]. 华北地震科学,39(2):80 - 86.
张红秀,李军,张聪聪,等. 2019. 临汾地震台钻孔体应变观测资料分析[J]. 地震地磁观测与研究,40(3):107 - 111.
张英杰,赵长红,马广庆,等. 2016. 涉县台钻孔体应变安装及测试分析[J]. 地震工程学报,38(增刊):266 - 269.

Interference Factors and Quality Evaluation of Volumetric Strain Gauge at Huailai Seismic Station

SONG Xiaoyu[1], MA Guangqing[2], WANG Zhimin[1], ZHANG Fan[1], CHI Haijiang[1]
(1. Zhangjiakou Seismic Station of Hebei Earthquake Agency, Hebei Zhangjiakou 075000, China;
2. Hebei Seismic Station, Hebei Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Taking TJ-Ⅱ bore-hole volumetric strain gauge at the Huailai seismic station as a research object, we analyzed the quality of observation data from 2018 to 2020. The results show that the integrity rate and intrinsic accuracy of the bore-hole volumetric strain gauge observation data meet the technical requirements of the observation. The main factors affecting the observation quality are natural environment, power interference, human interference and borehole geological conditions. We found that the bore-hole volumetric strain observation at the Huailai seismic station is positively correlated with the borehole pressure, whereas negatively correlated with the borehole water level.

Keywords: volumetric strain gauge; interference factors; quality evaluation; correlation analysis

(上接第 24 页)

Research on the Key Technology of Ground Network Design and Construction at Seismic Station in Jiangsu Province

LI Kai[1], QU Min[2], QIN Lei[1]
(1. Lianyungang Seismic Station of Jiangsu Earthquake Agency, Jiangsu Lianyungang 222000, China;
2. Jiangsu Earthquake Agency, Jiangsu Nanjing 210014, China)

Abstract: According to diversity of environment and climate at seismic stations in Jiangsu area, this paper classifies the construction environment of grounding network at the seismic stations in Jiangsu area. We further use formula to deduce and calculate the common types of grounding network, and provide the minimum grounding network requirements of the seismic stations in Jiangsu area. Moreover, we presente some suggestions and design schemes for grounding at some special conditions, which has potential value for regional promotion.

Keywords: seismic station; ground network construction; minimum ground grid requirements; design scheme

浅谈新形势下县(旗)级防震减灾科普宣传工作现状及相应对策研究
——以呼伦贝尔市为例

金志辉
(内蒙古自治区地震局海拉尔地震监测中心站,内蒙古 海拉尔　021000)

摘　要:以呼伦贝尔市为例,简要介绍了当前县(旗)级防震减灾科普宣传工作现状,剖析现阶段县(旗)级科普宣传工作中存在宣传教育人才有限、宣传方法不多、针对性不足等问题,提出人才队伍建设、新媒体平台搭建、民族特色科普等应对措施,为进一步实现和完善科学化、精准化和个性化的防震减灾科普宣传方式,更高质量的增进公众防震减灾科学素养,更有效的提升县(旗)级地震部门社会公共服务意识和能力,提供一定的理论参考。

关键词:县(旗);防震减灾;科普宣传
中图分类号:P315 - 4　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0035 - 04
DOI:10. 13716/j. cnki. 1001 - 8115. 2022. 02. 007

我国地处于欧亚大陆东南部,位于环太平洋地震带和欧亚地震带之间,西南面和西北面又都同处在欧亚地震带上。受太平洋板块、印度洋板块和菲律宾海板块的挤压作用,我国的地震断裂带十分发育,地震分布广、震级高、震源浅、灾害重、社会影响大(周琳,2018)。近年来,随着防震减灾现代化建设的发展,各级防震减灾工作均取得了长足进步,防震减灾科普宣传教育工作也得到了进一步的重视和加强,众多专家学者(张玮晶,2014;王铮等,2016;罗松等,2021)对新时期防震减灾科普工作做了诸多思考及探索,极大地推动了科普工作的拓展。但从总体来看,我国公众特别是县(旗)及以下地区的社会公众防震减灾意识依然相对淡薄,自救互救知识较为缺乏。创新更多老百姓听得懂、看到明的防震减灾科普作品,切实将防震减灾知识充分地传递给社会大众,更好保障人民群众生命财产安全,促进经济社会发展,增强以县(旗)级为代表的基层防震减灾科普宣传工作水平,已然刻不容缓。本文以内蒙古自治区呼伦贝尔市为例,剖析县(旗)级地震部门防震减灾科普宣传工作的现状及存在的问题,探讨相应问题的对策,以期为其他县(旗)级地震部门提供参考。

1　县(旗)级地震部门及其防震减灾科普宣传工作现状

随着应急管理部的挂牌成立及地震系统全面深化改革工作的稳步推进,全国各县(旗)级地震部门也基本相继完成改革任务。以呼伦贝尔市为例,全市各县(旗)级地震部门基本由原来的政府办公室或教育、科技局等单位的下属机构,划转为应急管理局的下属机构。

现阶段,县(旗)级层面的防震减灾科普宣传主要通过以下两种形式进行:一是在“全国防灾减灾日”“全国科普日”等重点时段去往人流量较大的公园、广场(或是走进学校、企业、社区等地)向公众发放科普宣传材料,展示科普宣传展板;二是以微信、美篇等为载体,发布及转发相关文章、短视频等防震减灾科普作品。总的来看,县(旗)级防震减灾科普宣传工作在广大地震工作者的共同努力下,正在持续稳步地推进,但从新形势下对防震减灾科普宣传工作的要求和人民群众对防震减灾知识日益增长的期望值来看,仍然还存在着不小的差距。

收稿日期:2021 - 08 - 30;**修回日期**:2021 - 11 - 25
作者简介:金志辉(1993 -),男,内蒙古呼伦贝尔人,助理工程师,主要从事防震减灾科普、综合行政、地震监测等工作. E - mail:jin_hui_111@163. com.

2 存在的问题

2.1 管理体制衍生一定的联动不足

从管理体制上看，省（自治区、直辖市）一级地震局属于中国地震局垂直管理，市（盟）、县（旗）地震部门分属各自地方政府管理。县（旗）地震部门在改革之后基本均划归到当地应急管理部门。这种管理机制变化，造成地震部门防震减灾宣传教育工作不能从上到下的统一布置、协调一致地开展工作（穆婷等，2020），在相应业务指导与工作执行中，也较之原来产生一定程度的联动阻碍与步调滞后，防震减灾科普宣传工作在基层的延伸有所受限。

2.2 对防震减灾科普工作重视性不够

由于地震的发生，特别是破坏性地震的发生属于小概率事件，且在我国有相对明确的多震地区和少震地区，所以部分县（旗）地震部门，尤其是一般意义上的少震地区县（旗）地震部门，往往在对待防震减灾科普工作上存在一定程度的轻视，未将其作为重要工作来抓，多视为辅助性工作，从而在警觉性和紧迫感上存有不足，主动对接上级、密切联系群众、服务社会的观念意识稍有欠缺。

2.3 组织架构不健全，基层人才匮乏

县（旗）地震部门规格小、影响弱，内设机构相对单一，没有专门负责宣传教育的部门，缺少宏观的统筹谋划，仅在“防灾减灾日”等时间节点开展科普宣传活动，完成既定的“规定动作”，缺少主动性、持续性和深入性。同时由于人员数量少，年龄结构老化，教育背景不一，对新形势、新理念、新技术的敏感程度、接受程度和掌握程度不够高，有些人员多年没有经过岗位变动，长期从事一样工作，不免产生麻痹和懈怠心理，精力与重心难以集中到防震减灾科普宣传工作上来。加之县（旗）一级地震部门对人才的吸引力本就十分薄弱，地震部门又偏“冷门”，上升渠道和发展空间相对不够明朗，造成具备良好专业知识背景和技术能力的年轻人不愿来此工作，人才队伍补充后继乏力。宣传教育工作又更适合年纪轻、脑子活、思维广、创造能力强的年轻人来做，矛盾循环，导致县（旗）地震部门科普宣传工作整体水平多年来进步较为缓慢。

2.4 新媒体手段运用不多

县（旗）地震部门在科普宣传工作中更多采用分发宣传册、摆设宣传板等传统宣传方式，对数字化、信息化等新媒体手段运用不多，运用中也多停留在简单编辑叙述各自部门科普宣传活动的开展情况或是转发相关地震科普作品，对真正的科普内容本身缺少实质性、特色性的创新创造，不能产出适用于本地的特色科普产品，致使群众参与度不高，宣传影响力不够，实际收效不理想，科普宣传流于形式。随着社会科技的高速发展，新媒体平台逐渐成为各类知识信息向社会发布的集散地，社会公众许多科普知识需求和获取，都是通过新媒体来满足和实现的（穆婷等，2020）。形式单一、方式老套的传统“摆摊式”宣传方式带来的知识传播效果日渐式微。故县（旗）地震部门将地震科普知识更充分地融入新媒体，激活自身在新媒体地震科普传播中同老百姓的“近距离”作用，就显得尤为重要。

2.5 宣传覆盖面和民族地区针对性不够

县（旗）地震部门组织科普活动时，经常局限于某一固定地点、场所，社会影响和受众十分有限，广大的农村（嘎查）地区，尤其是偏远农村（嘎查），由于地理位置欠佳、交通条件不便、人口规模较小等因素，往往容易成为科普宣传“盲区”，而少数民族群众又多聚居于农村（嘎查），尤其像呼伦贝尔市这类边陲少数民族地区内少数民族人口体量大，蒙古族、鄂伦春族、鄂温克族、达斡尔族、俄罗斯族等少数民族多，各民族聚居地之间分布较为分散，民族语言文字等差异较大，有些上了年纪的少数民族群众对汉字和汉语的理解掌握不够，甚至听不懂汉语，不认识汉字，且民族地区地震科普宣传工作起步晚、意识淡、资料少（安树志等，2021），而针对上述特定地区和特定人群的科普产品又不是很多见，或是多为简单的平铺直述，感染力和结合度不够，也使宣传效果大打折扣。

2.6 宣传活动联动机制不足

有些地方在开展防震减灾科普宣传活动时，习惯于“单兵作战”，不善于同其他相关部门、媒体联系合作，不能有效地整合社会科普资源，拓展宣传阵地，扩大活动影响，行业引导作用发挥不充分。久而久之，对待科普工作的态度也会持续走低，本就较为薄弱的基层防震减灾科普力量也会更加分散、衰弱。同时，县

(旗)地震部门在各种类、各层级的防震减灾科普竞赛、讲解比赛等科普赛事活动中的参与度仍不够高,没能更充分地利用此类契机,展现基层地震人风采,提升科普宣传水平。

3　提升县(旗)级防震减灾科普宣传工作的思考

3.1　明晰职责职能,发挥能动作用

由于管理体制改革后,县(旗)地震部门基本并入当地应急管理部门,一定程度上失去了“工作主动权”,且应急管理部门职责繁多,任务庞杂,造成对县(旗)地震部门的支持力度不够。在此背景下,县(旗)地震部门更应明确自身职能职责,主动向主管部门争取支持,积极同上级业务主管部门联系对接,同兄弟县(旗)、周边县(旗)广泛调研交流,切实发挥新应急体系下的县(旗)地震部门能动作用,将防震减灾科普宣传纳入重点工作之中,让防震减灾知识成果惠及万家。

3.2　树牢防震减灾理念,提升服务意识

县(旗)级地震工作部门应建立日常理论学习督导机制,明确日程、目标,深刻领会习近平总书记关于防灾减灾救灾重要论述和坚持以人民为中心的发展思想,切实将防震减灾科普宣传放到与地震监测、震情跟踪、群防群测等工作的同等重要位置上来,转变“等”“靠”的被动依赖观念,主动作为,积极尝试将防震减灾科普同本地文明城市创建、自然灾害风险普查、安全生产专项整治等重点工作相结合,进而增强防震减灾科普工作的影响力和穿透力,多方位、多角度融入社会工作,不断提升自身服务能力和服务水平。

3.3　建好基层防震减灾宣教人才队伍

一方面要积极与组织、编办等部门对接,招录、引进具有专业知识背景的防震减灾科普人才,夯实基层地震部门人才基础;另一方面,要在现有的各项业务学习和技能培训基础上,增加科普宣传内容的比重。传统“竖着耳、坐着听”的机械化培训模式,难以给参训人员带来足够的吸引力和专注度,“消化吸收”效果不理想。要探索采取如沙盘实操等更多具有互动性、操作性的新形式,使参训人员切身体会、主动探究,从而达到自身观念、态度和行为上的改变,并将所学知识和方法更好地运用于防震减灾科普宣传实际工作中。同时,在强化自身队伍建设的基础上,不断丰富科普羽翼。可组织动员“驻村第一书记”“大学生村官”等基层带头人兼任基层科普宣传员,组建基层防震减灾科普小组,从而更直接、有效地将防震减灾科普知识传递给乡镇居民和村(嘎查)农牧民。

3.4　打造防震减灾科普宣传新媒体平台

推进“互联网 + 防震减灾科普宣传”形式,充分发挥互联网传播优势,开通本部门微信公众号、抖音官方账号等社交软件和自媒体账号,客观条件受限的县(旗)级地震部门也可借助本地官方媒体账号等创作和发布防震减灾知识微视频、小程序、小游戏等内容,并鼓励发布带有本地区域特色属性的科普作品,从而不断增强科普的精准力和吸引力,更好地同新时代、新技术并轨,更有针对性、时效性地传播防震减灾知识。

3.5　结合民族地域特点,丰富科普产品

虽然县(旗)级地震部门现阶段也在广泛使用各类民族性防震减灾科普产品,但多处于转载使用,独立创作或参与创作的比例很小。而县(旗)级地震部门工作人员多为土生土长的本地人,对当地民族语言、民俗文化等掌握程度高、理解程度深,有完成针对性更强、联系性更紧的民族性防震减灾科普产品的充足内在条件。由此,县(旗)级地震工作者更应积极创新创作,主动联系对接各层级、各种类宣教部门、科普团队,完成更多类似于蒙语歌曲、蒙文故事,或饱含那达慕、圣山祭祀文化背景填充、融合的一系列以民族、民俗为传播载体的,更易于被少数民族群众接受,通俗易懂、直观生动的防震减灾科普产品,促进这一类科普产品更具特色性、融合性,更科学、广泛地传递防震减灾知识。

3.6　构建社会参与新格局

加强同科技、教育、文体广电等部门的联系合作。例如,将地震科普内容纳入当地科技馆;邀请在校师生来地震台站参观,或是去到中小学校内举办科普宣传讲座和地震应急演练;联合当地媒体报道科普活动,展播科普视频,或共同创作科普访谈节目等多形式、多内容开展防震减灾科普宣传。尝试建立科普工作联席会议制度,形成科普工作智囊团体,充分发挥组织协调作用,整合资源、形成合力,一起科普、集思广益,打造共创、共享的科普创作和传播环境(赵文象,2018)。有条件的县(旗)级地震部门更应踊跃推荐优秀工作者、青

年志愿者参与防震减灾知识大赛、科普作品创作大赛等大型科普比赛和“防震减灾科学传播师”等科普团队的选拔建设,并协助做好本地科普教育基地、综合减灾示范社区和防震减灾科普示范学校等示范单位的创建,扩大防震减灾科普宣传途径,发挥阵地宣传作用,更好的引导社会公众最大程度地参与、体验防震减灾科普活动,扩大活动的覆盖面和影响力,努力实现“政府推动、部门协作、社会参与”的防震减灾科普宣传新局面。

4 结束语

县(旗)级地震部门作为基层防震减灾工作的主体部门,跟基层群众联系最为密切,是开展防震减灾科普宣传等公共服务的重要组织者和实施者(安树志等,2021),在确立“防震减灾、科普先行”的发展理念的同时,要不断强化和完善工作机制、工作理念,要更有针对性地组织和开展防震减灾科普宣传工作。在工作实践中,不断创新发展,为最大限度地减轻地震灾害损失,保障人民群众的生命财产安全做出应有的贡献(穆婷等,2020)。全面做好基层防震减灾科普宣传工作,已是助力提升全民防震减灾科学素质,迈入新时代防震减灾科普高质量发展新阶段,实现防震减灾现代化建设的必然要求。

参考文献

安树志,汪贵章,武长青,等. 2021. 市县地震部门提高防震减灾公共服务能力的思考[J]. 城市与减灾,(3):50 – 53.
罗松,周文英,彭涛,等. 2021 从云南漾濞 6.4 级地震浅析地震科普和震后舆论宣传[J]. 四川地震,(3):10 – 16.
穆婷,袁志祥,卢海菊,等. 2020. 新形势下市县防震减灾宣传教育工作现状分析及对策研究[J]. 高原地震,32(1):58 – 63.
王铮,张小东,吴婧. 2016. 新媒体时代防震减灾科普宣传工作的创新思考[J]. 国际地震动态,(5):38 – 42.
张玮晶. 2014. 新时期防震减灾宣传工作的思考与建议[J]. 中国应急救援,(3):12 – 14.
赵文象. 2018. 打造创新发展科普之翼 推动科普事业创新发展[J]. 科协论坛,(9):24 – 29.
周琳. 2018. 我国防震减灾科普工作现状分析及对策研究[J]. 科技创新与应用,(28):146 – 147.

A Brief Discussion on the Current Situation and Corresponding Countermeasures of Popularization of Science for Earthquake Protection and Disaster Reduction at County (flag) Level under the New Situation: Take Hulunbuir City as an Example

JIN Zhihui
(Hailar Earthquake Monitoring Center Station of Inner Mongolia Autonomous Region Earthquake Agency, Inner Mongolia Hailar 021000, China)

Abstract: Taking Hulunbuir city as an example, this paper briefly introduces the current situation of county – level (flag) earthquake prevention and disaster reduction science popularization publicity, and analyzes some practical problems in the current county-level (flag) science popularization such as limited publicity talents, limited publicity methods and lacking of pertinence. We suggest to build a new media platform for talent team construction. The expanded ideas of science popularization with national characteristics can provide a theoretical reference for further realizing and improving scientific, accurate and personalized popularization of earthquake prevention and disaster reduction. Moreover, it is needed to further improve the public's scientific literacy of earthquake prevention and disaster reduction with higher quality, which can effectively enhance the awareness and ability of social public service for county (flag) earthquake departments.

Keywords: county (flag); earthquake prevention and disaster reduction; science publicity

基于消费者意愿的地震科普产品分析

王 萍
(天津市地震局,天津 300201)

摘 要:文章利用问卷调查法,以天津市 10 类消费者为对象,研究消费者对地震科普产品的消费意愿、消费行为特征以及对当前产品的满意程度。结果显示:消费者对于地震科普产品具有较强的消费意愿;对地震科普产品的表现形式、获取渠道和主题内容较以往有了较大改变;对当前地震科普产品的发展总体较为满意,认为在互动性、趣味性、可读性等方面还存在不足。在分析结果的基础上,文章还针对加强地震科普产品的内在质量、地震科普产品的针对性和消费者防灾减灾意识等提出了相应的对策建议。

关键词:地震科普;消费者意愿;分析研究;问卷调查
中图分类号:P315 - 4　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0039 - 05
DOI:10. 13716/j. cnki. 1001 - 8115. 2022. 02. 008

我国是世界上地震灾害最为严重的国家之一,做好地震科普工作与经济社会发展和人民生命财产安全息息相关。特别是随着 2008 年 5 月 12 日汶川 8. 0 级地震、2011 年 3 月 11 日日本 9. 0 级地震和 2013 年 4 月 20 日芦山 7. 0 级地震等国内外重大地震突发事件的发生,地震科普产品得到了社会各界越来越多的关注。目前我国对地震科普产品和产业的研究还刚刚处于起步阶段,袁国铭等(2019)根据文化产业特点,将地震科普产业分为了 9 大类,并从政府和市场层面提出了相应的政策建议;张芝霞等(2014)从地震科普产品创作的角度,对地震科普产业的现状和需求进行了深入分析;闫远芳等(2018)则从实证角度,对地震科普产品传播进行了论证。还有的学者从地震科普图书、地震科普游戏、地震科普知识简笔画、地震官方微信产品等不同角度,对某一领域的具体科普产品形式进行了研究探讨(刘素剑,2014;马镇衍,2013;张楠,2018;张正霞等,2021;罗松等,2021)。不难看出,目前国内对地震科普产品的研究相对较少、系统性不强,尤其缺少从消费者的角度来开展研究,消费者的偏好对于产业发展策略具有十分重要的意义(李丽君等,2019)。作为地震科普产品的需求端,其消费意愿和消费行为特征决定着地震科普产品发展方向。因此,文章以天津市为例,采取对消费者问卷调查的形式,重点从消费意愿和消费者评价两个维度开展相关研究,以期对地震科普产品发展的政策研究提供参考。

1 数据来源及样本情况

笔者以天津市消费者为调查对象,为了保证问卷的真实性和回收率,采用现场随机调查和入户访问调查的方式获取数据,共发放调查问卷 1 517份,回收 1 517份,有效问卷 1 500份,问卷有效率达到 98. 8%,满足研究要求。在自变量方面,文章以调查对象个体的性别、年龄、学历、职业和收入 5 项因素作为自变量。从样本性别分布来看,男性消费者为 739 人(占比 49. 26%),女性消费者为 761 人(占比 50. 74%)。从样本年龄分布来看,25 岁以下的消费者为 387 人(占比 25. 80%),25 ~ 55 岁的消费者为 982 人(占比 65. 46%),55 岁以上的消费者为 131 人(占比 8. 74%)。从样本的学历层次来看,高中及以下学历的消费者为 676 人(占比 45. 08%),大学本科和大学专科学历的消费者为 764 人(占比 50. 94%),硕士及以上学历的消费者为 60 人(占比 3. 98%)。从样本收入分布来看,月收入在 3 000元以下的为 538 人(占比 35. 89%),月收入 3 000 ~ 5 000元的为 426 人(占比 28. 41%),月收入 5 000 ~ 8 000元的为 459 人(占比 30. 57%),月收入 8 000以上的为 77 人(占比 5. 13%)。从样本职业情况来看,机关工作人员 100 人(占比 6. 67%),事业单位工作人员

收稿日期:2021 - 10 - 25;**修回日期**:2021 - 11 - 08
作者简介:王萍(1989 -),女,天津人,工程师,主要从事地震科普研究. E - mail:qdbaby1987@126. com.

300 人(占比 20.00%),企业员工 250 人(占比 16.67%),学生 300 人(占比 20.00%),农民 100 人(占比 6.67%),其他职业 450 人(占比 30.00%)。

2　消费者对地震科普产品的消费意愿分析

从调查的结果(见表 1)来看,消费者对地震科普产品普遍具有消费意愿,75.71% 的消费者愿意个人支付费用购买地震科普产品,平均每人每年愿意支付 49.57 元。其中,愿意每年支付 20 元及以下、20 ~ 50 元和 50 ~ 100 元的人群比重较高,比重分别为 24.08%、25.85% 和 14.72%。

表 1　消费者对地震科普产品消费意愿情况

消费金额	不想支出	<20 元	20 ~ 50 元	51 ~ 100 元	101 ~ 300 元	301 ~ 500 元	>500 元
消费者所占比重/%	24.29	24.08	25.85	14.72	9.29	0.34	1.42

调查结果(见表 2)进一步显示,消费者对地震科普产品的消费意愿与其收入水平有较强的关联性。收入 5 001 ~ 8 000元的群体中有 30.24% 的消费者愿意每年支付 50 ~ 100 元;收入 15 000元以上的群体则有 23.81% 的消费者愿意每年支付 500 元以上。这说明,随着消费者收入水平的提高,在防震减灾科普知识上的支付意愿相对增强。

表 2　不同收入水平群体对地震科普产品消费意愿情况

消费者消费意愿/元	不同收入群体消费意愿占比/%					
	收入金额/元					
	0	>0 ~ <3 000	3 000 ~ <5 000	5 000 ~ <8 000	8 000 ~ <15 000	≥15 000
<20	29.17	23.61	26.48	18.54	18.57	14.29
20 ~ <50	23.72	27.90	15.13	26.93	40.00	4.76
50 ~ <100	21.47	30.04	21.75	30.24	17.14	14.29
100 ~ <300	15.38	8.58	18.44	13.69	11.43	4.76
300 ~ <500	6.73	6.44	12.29	9.71	7.14	33.33
≥500	0.96	0.43	3.07	0.22	2.86	23.81

3　消费者对地震科普产品的消费行为特征分析

关于地震科普产品的表现形式,根据调查结果(见表 3)显示,消费者最喜爱的科普产品的表现形式为“科普短视频”,有 557 位消费者选择此项,占比 37.13%。排名第二至第四位的分别是“网站文章”“微博微信文章”和“报刊杂志文章”,占比分别为 36.93%、29.40% 和 20.53%。“科普广播”“科普讲座”“科普书刊”“手机短信”和“科普展览”等选项占比均不足 20%。对比分析表明,随着消费者生活节奏的加快,利用碎片化的时间来获取地震科普知识已经成为了主流,消费者对短视频、短文章等形式的地震科普产品更加青睐,而对于科普讲座、科普书籍等需要长时间来参与的产品认可度较低。

表 3　消费者对地震科普产品表现形式的选择情况

表现形式	科普短视频	网站文章	微博微信文章	报刊杂志文章	科普广播	科普讲座	科普书籍	手机短信	科普展览
所占比重/%	37.13	36.93	29.40	20.53	19.07	18.53	12.60	12.13	16.60

关于地震科普产品的获取渠道(见表 4),“电视”仍然是消费者的首选,有 808 位消费者选择此项,占比 53.87%。同时,随着互联网和新媒体技术的蓬勃发展,“网站”和“微信”分别排在了第二位和第三位,占比 47.47% 和 37.73%,成为了消费者获取地震科普产品的重要渠道。而“报纸”“广播”和“手机短信”等传统渠道的占比相对较低。

表 4　消费者对地震科普产品的获取渠道

渠道	电视	网站	微信	报纸	微博	手机短信	广播
消费者所占比重/%	53.87	47.47	37.73	27.40	14.13	13.47	11.20

关于地震科普产品的主题内容(见表 5),有 63.93% 的消费者选择“应急自救知识”,44.27% 的消费者选择“地震预报知识”,表明如何在地震灾害重保障自身生命和财产安全是消费者最为关注的问题,也是地震科普产品未来发展的主攻方向。

表 5　消费者对地震科普产品主题内容的选择情况

产品内容	应急自救知识	地震预报知识	地震预警知识	地震仪器知识	地震应急措施	地震名词术语	地震成因分析
消费者所占比重/%	63.93	44.27	28.87	25.27	24.00	24.00	20.60

4　消费者对当前地震科普产品的评价分析

4.1　消费者对于当前地震科普产品的满意度

根据调查表结果(表 6)得知,48.23% 消费者对当前地震科普产品表示满意,其中,“非常满意”的比重为 16.61%,“比较满意”比重为 31.61%;表示目前防震减灾科普工作“一般”的比重最高,为 32.55%;“不太满意”的比重为 14.80%;“很不满意”的比重为 4.42%。调查结果进一步显示,消费者对当前地震科普产品数量满意度的得分为 3.44 分(5 分制,下同),对当前地震科普产品质量满意度的得分为 3.61 分,对当前地震科普产品内容生动性和丰富性的满意度得分为 3.65 分。

4.2　消费者对当前地震科普产品的评价

根据调查表结果得知,对于当前地震科普产品通俗易懂的程度,有 49.26% 的消费者表示“大部分能看懂”,30.57% 的消费者表示“都能看懂”,18.69% 的消费者表示“只能看懂一部分”,另有 1.48% 的消费者表示“基本看不懂”。近九成消费者表示防震减灾科普知识对于其日常生活与工作有帮助,28.50% 的消费者认为“非常有帮助”,59.73% 的消费者认为“有帮助”。这表明随着社会的不断发展,地震安全已经成为了消费者普遍关注的问题,消费者对于地震科普产品重要性的认识得到了显著提高。但同时也要注意到,仍然有 18.69% 的消费者认为“无所谓”,甚至 1.48% 的消费者认为“没有帮助”。

表 6　消费者对地震科普产品满意度的细化情况

满意度	对数量的满意度/%	对质量的满意度/%	对内容生动性和丰富性的满意度/%
非常满意	25.72	22.10	32.05
满意	21.76	32.51	21.28
一般	29.82	32.30	29.70
不满意	16.25	10.34	13.27
非常不满意	6.45	2.75	3.70

4.3　消费者对地震科普产品的改进建议

调查结果(见表 7)显示,消费者普遍认为应当“提高互动性、参与性和趣味性”,有 559 位消费者选择此项,占比 37.27%。其次是要“使地震科普内容更贴近社会公众”,有 499 位消费者选择此项,占比 33.80%。另外,消费者还对“更及时更新科普知识”“增强地震科普知识的可读性”“增加地震科普展示形式”等选择较多。

表 7　消费者对地震科普产品的改进建议情况

改进建议	所占比例/%	改进建议	所占比例/%
提高互动性、参与性和趣味性	37.27	更多利用新媒体进行宣传	24.40
使地震科普内容更贴近社会公众	33.80	更多利用重大事件、热点事件进行宣传	23.87
更及时的更新科普知识	33.27	增强地震科普知识的专业性、权威性	23.28
增强地震科普知识的可读性	28.60	加强地震科普知识的针对性	22.40
增加地震科普展示形式	27.47		

5　主要结论和对策建议

5.1　主要结论

文章基于天津市消费者的问卷调查,分析消费者对地震科普产品的消费意愿以及对当前地震科普产品的评价,得出如下四点结论:

1)随着我国经济社会的不断发展,社会公众生活水平日益提高,安全已经成为了人民对生活美好向往的重要组成部分,地震科普产品越来越受到消费者的认可和关注,消费者对于地震科普产品具有较强的消费意愿。此外,消费者对于地震科普产品的消费意愿与其收入水平具有较强的关联性,收入水平越高消费意愿越强。

2)随着社会公众生活节奏的不断加快,消费者对于地震科普产品的宣传形式更加倾向于直观性强、短小精悍和获取方便的产品,以电视、网络和新媒体等方式展现的短视频、短文章逐渐成为地震科普产品的主流。

3)随着网络技术、新媒体等的蓬勃发展,网站、微信和微博等已经成为了公众获取科普知识的重要阵地。因此,在利用好传统媒体宣传的同时,在新媒体地震科普产品的研发和推广方面还需要进一步增强,发挥好新媒体多元化、个性化、交互性、快速性和广泛性等优势和特点。

4)在消费者对地震科普产品的满意度层面,消费者普遍较为满意,但是在科普内容的多样性、及时性、科普形式的多样性和便捷化等方面距离消费者的要求还存在一定差距。笔者认为存在上述差距的主要原因有两个方面:一方面在于地震科普内容与社会公众需求贴合不够紧密,科普内容科学性、专业性较强,但趣味性和通俗性不足;另一方面在于随着当前传播方式正在从单向传播逐渐转变为互动交流(张正霞等,2020),公众对对地震科普产品的互动性、参与性的要求正在不断提高,以“灌输式”为主的地震科普产品已经难以满足公众需求。

5.2 对策建议

根据上述结论,文章提出如下三点对策建议。

1)提升地震科普产品的内在质量,应重点增强地震科普产品的“三性”。第一,要增强“趣味性”。随着当前消费者社会压力、生活压力和工作压力越来越大,让消费者在地震科普产品中既能够获取地震科普知识的同时,又能寓教于乐,这将是未来产品质量提升的重中之重。当前,应当重点提升地震科普产品的趣味性和娱乐性,在传统产品的基础上,可以通过开发 VR(虚拟现实技术)、AR(增强现实技术)和 4D 等产品形式,给消费者以身临其境的快乐体验。第二,要增强“体验性”。调查结果显示,消费者对于地震科普产品的体验性要求主要体现在所需要消耗的时间上,现代生活的快节奏难以让消费者花费大量时间去体验单种产品。故而,要充分抓住碎片化的时间特点,突出“短”字,以短视频、短动画、短文章和短消息等形式开展地震科普产品制作。第三,要增强“便利性”。便利是消费者选择购买产品的重要动机之一,应充分利用互联网这个平台,加强线上产品制作,畅通网络购买渠道,为消费者提供更加快捷的购买体验,让用户感受到足不出户、随时随地的便利,节省消费者购物的时间和精力。

2)加强地震科普产品的针对性。增强消费者对地震科普产品的感知价值,是提升其竞争力的必然要求。从调查结果能够明显看出,不同年龄、不同收入水平、不同学历层次和不同职业的消费者,对于地震科普产品的感知价值具有较大的差异,因此,就有必要针对不同消费群体,研发不同类型的地震科普产品。比如,对于学历层次较高的消费群体,应当突出地震科普产品的知识性,通过产品的专业化来打动消费者;而对于学历层次较低的消费群体,则应当突出地震科普产品的通俗性,通过通俗易懂、深入浅出的形式,让消费者能够看得明白。比如,对于收入水平较高的消费群体,应当突出地震科普产品的精品性,走品牌化的模式,来吸引消费者的关注;而对于收入水平较低的消费群体,则应当突出地震科普产品的实用性,让消费者用最少的钱买到合适的产品。再比如,对于以青年人为主的消费群体,应当以网络、微博、微信、抖音等新媒体为主要渠道;而对于以中老年人为主的消费群体,则应当以电视、报刊杂志、广播等传统媒体为主要渠道。

3)强化消费者防灾减灾意识。消费者的防灾减灾意识是影响消费者对于地震科普产品消费意愿的根本因素。首先,经营者应当积极开展地震科普公益宣传,主动通过电视、广播、宣传栏等传统形式和互联网、微博微信等开展全媒体宣传,提高消费者的防灾减灾和地震安全意识,让消费者认识到地震科普产品能给自己带来的利益和价值。其次,目前消费者对于地震科普产品质疑的一个主要原因就是对于企业在地震科普知识方面的权威性和专业性存在不信任,特别是随着网络上地震谣言的广泛传播,消费者对于企业制作的地震科普产品将信将疑。故而,应当促进政府建立地震科普产品的相关认证机制,以提升产品的公信力和消费者的认可度,增强产品的市场竞争力。最后,应当增加地震科普产品的互动性,通过组织公益活动、产品设计

大赛、开展知识讲座、邀请消费者参观生产企业等多种形式,让更多的消费者参与到地震科普产品的设计、制作和宣传中来。

参考文献

李丽君,汪星星. 2019. 基于消费者绿色偏好的供应链合作策略研究[J]. 工业技术经济,(11):13 – 22.
刘素剑. 2014. 策划致胜,做好地震科普图书的选题工作——基于《地震小博士》《地震与地球内部的奥秘》的策划实践[J]. 科技与出版,(12):48 – 50.
罗松,周文英,彭涛,等. 2021. 从云南漾濞 6.4 级地震浅析地震科普和震后舆论宣传[J]. 四川地震,(3):10 – 16.
马镇衍. 2013. 地震科普知识简笔画[J]. 中学地理教学参考,(12):69 – 70.
闫远芳,张馨怡. 2018. 山西省特色防震减灾宣传作品普查与推广研究[J]. 山西建筑,44(33):213 – 214.
袁国铭,袁静,陈新房,等. 2019. 关于地震科普传播与发展在经济层面的探讨[J]. 中国管理信息化,22(19):169 – 172.
张楠. 2018. 防震减灾游戏化科普平台设计研究[D]. 西安:西安建筑科技大学.
张芝霞,杨帆,罗彬,等. 2014. 试论地震科普研究与科普产品创作[J]. 城市与减灾,(2)12 – 14.
张正霞,闫远芳,刘康廷. 2021. 我国防震减灾官方微信作品评价体系建设研究[J]. 今传媒,(1):30 – 33.
张正霞,张馨怡. 2020. 官微互动在防震减灾宣传工作中的应用及策略分析——以山西省地震局官方微信为例[J]. 防灾减灾学报,36(2):82 – 87.

Analysis of Earthquake Science Popularization Products Study Based on Consumer Willingness

WAGN Ping
(Tianjin Earthquake Agency, Tianjin　300210, China)

Abstract: In this paper, a study was conducted on 10 categories of consumers in Tianjin through a questionnaire survey method to analyze consumers' willingness to purchase earthquake science products, the characteristics of their consumption behavior and their satisfaction with the current products. Several conclusions were obtained: 1) consumers have a strong willingness to purchase earthquake science popularization products; 2) the format, access and main content of the earthquake science popularization products preferred by consumers have changed considerably compared to before; 3) although consumers are generally satisfied with the development of current earthquake science popularization products, they believe that earthquake science popularization products are still lacking in terms of interactivity, interestingness, and readability. Based on the results of the analysis this paper gives three recommendations: strengthening the intrinsic quality of earthquake science products and the relevance of earthquake science products as well as consumer awareness of disaster prevention and mitigation.

Keywords: seismological science popularization; consumer intention; evaluation and analysis; questionnaire investigation

云南省地震局防震减灾科普宣传进社区实践探索

李　霞,张方浩,杜浩国,杨　芳
(云南省地震局,云南 昆明　650224)

摘　要:社区是预防和应对突发公共事件的前沿阵地。为加强社区防震减灾科普宣传,云南省地震局进行了积极的探索和实践,并提出了整合资源和建设宣传队伍的建议。依托社区和街道,云南省地震局发挥社区楼长(或栋长)、社区科普志愿者的日常宣传作用;在调研的基础上,根据特色,研发人民大众喜闻乐见的科普产品;采取请进来与走出去相结合等一系列措施,以提高人民群众防震减灾意识。

关键词:防震减灾科普宣传;社区实践;社区居民
中图分类号:P315 - 4　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1001 - 8115(2022)02 - 0044 - 04
DOI:10. 13716/j. cnki. 1001 - 8115. 2022. 02. 009

社区是聚集在某一个领域里的人们形成的生活上相互关联的集体,是预防和应对突发公共事件的前沿阵地(陈垚,2020)。社区作为社会最基本的单位,具有服务、教育、感化、维护秩序和稳定、社会参与等功能(杨宏山,2013)。联合国在 21 世纪开始时提出“发展以社区为中心的减灾战略”的口号,2007 年我国开展了防灾减灾示范社区创建活动,针对社区居民定期开展减灾教育活动(兰俊丽,2015),将防灾减灾知识、科学思想、科学方法和科学精神,通过有效的形式、渠道及手段传播到千家万户。

关于科普宣传进社区的研究,魏敏(2016)就城市社区居民科普活动参与度进行了探讨,指出社区科普在社区居民的科学素养提升中的重要作用,但是在科普过程中居民的参与度存在个体差异较大、投入程度不高、参与效度不容乐观等问题,并提出解决措施。刘冰心(2016)就某一特定区域社区科普工作状况进行了调查研究,指出有针对性地制定科普工作决策,在领导协调、经费投入、工作载体、科普项目、队伍建设、整合资源等方面探讨建立和完善社区科普模式的手段。这些关于社区科普的研究为防震减灾社区科普工作提供了共性的参考价值,但防震减灾社区科普存在的特殊性问题及针对性的解决办法还有待探究。而与防震减灾社区科普结合性更紧密的研究者(刘英华等,2016;陆文静等, 2019)就特定地区社区居民防震减灾科学素质、技能现状一系列问题以问卷调查的方式进行分析,总结出了相关的问题,却没有给出相应解决问题的建议。另外,还有一些研究者(许贺等,2021)以本地社区已开展的防震减灾科普讲座为切入点,总结分析“防震减灾百场讲座进社区活动”的经验与不足,探究增强社区科普讲座实效的策略,其仅就防震减灾社区科普的某一具体措施进行了深入探讨,也没有提出综合的防震减灾科普进社区的对策。

云南省是一个多民族地区,辖内的许多社区具有城市民族散杂居社区的特点,例如盘龙区的桃源社区内居住着彝、傣、白、回、纳西等 20 个少数民族,少数民族居民占该社区总人口的 7% 以上。云南省社区居民的区域性、民族性特点突出,对本土文化、民族文化具有较深的认同感,且语言具有地方特色。针对云南省社区的特殊性,云南省地震局在开展防震减灾知识进社区方面做了很多有益的尝试和探索,尤其是 2021 年以昆明市盘龙区为试点开展了一系列活动,也在实践的过程中发现了一些值得探究和有待解决的问题,笔者针对云南省地震局防震减灾科普宣传进社区的工作实践,并结合其他研究者的研究成果进行了分析和总结,希望能为全面提升防震减灾工作能力建设提供一些参考。

1　云南省地震局在昆明市盘龙区开展防震减灾科普宣传进社区实践

1.1　结合党员双报到双服务活动,扩大科普宣传的力量

党员双报到双服务活动要求机关或企事业单位的在职党员到常住地社区报到,并服务群众,根据社区党组织的安排和要求,参加有关活动。2021 年,云南省地震局 310 名党员,完成党员双报到双服务 769 次,累

收稿日期:2022 - 01 - 01;**修回日期**:2022 - 02 - 18
作者简介:李霞(1982 -),女,广西钦州人,工程师,主要从事科普宣传工作. E - mail:392516980@ qq. com.

计服务时长 2 222 小时，利用党员双报到双服务活动的契机，党员干部与社区联系沟通协调，适当组织防震减灾科普宣传活动，协同其他单位党组织和在职党员补充地震部门以外的宣传力量。以盘龙区为例，金辰街道党工委特别策划了“弘扬伟大抗震救灾精神”的主题分享活动和“学党史 记使命 办实事”的主题党日活动，邀请地震专家给社区党员科普防震避险知识，分享地震现场救灾经历。地震局专家接受昆明广播电视台采访，向公众介绍地震预警、地震灾害风险普查、破坏性地震事件应急等情况，扩大宣传。

1.2　结合科普讲座，探索与社区合作的模式

结合“防震减灾 平安云南”百场万人科普宣讲活动，云南省地震局党员干部联系街道办事处、居委会，邀约开展科普讲座，2021 年在盘龙区共开展了 50 余场社区防震减灾科普讲座。讲座的过程既是向公众传递地震知识、避震方法的过程，同时也是与社区居民沟通交流、了解需求和发现问题的过程。为提升讲课效果，科普讲座针对云南社区居民的特点进行了设计，例如在讲座中播放“防震减灾大家唱”“三道弯 · 防震减灾要牢记”等具有云南民族特色的防震减灾科普作品；设置有奖问答，发放带有防震减灾知识、具有民族特色的奖品等。在讲座之余，云南省地震局指导社区制定地震应急预案并进行修订，督促社区定期检查，排查安全隐患，确保紧急疏散路线标识清晰，居民逃生通道畅通；在有条件的社区适时组织居民开展小规模的地震应急演练；在社区相对固定的阅读场所放置防震减灾知识宣传手册、书籍、声像制品等材料供居民阅览学习。

1.3　结合重点时段，集中开展宣传

结合“5 · 12”全国防灾减灾日、“7 · 28”唐山大地震纪念日、“8 · 23”科技活动周、“10 · 13”国际减灾日和“11 · 6”云南省防震减灾宣传日等重点时段，云南省地震局联合盘龙区任旗营社区开展丰富多彩的宣传活动，除了常规性的组织科普宣传人员到广场、社区开展活动，发放科普宣传资料、布设展板展示科普知识、专家现场解疑答惑、播放科普短片等形式（见图 1）外，还开展了具有民族特色的社区宣传活动，编排演出防震减灾科普情景小品、民族歌舞，教社区居民学习地震科普民歌等。

(a) 播放科普短片和专家现场解疑答惑　　(b) 传唱地震科普民歌　　(c) 展板展示科普知识

图 1　灵活多样的科普宣传方式

2　云南省地震局防震减灾科普宣传进社区存在的问题

2.1　社区居民构成复杂、需求多样，科普有难度

社区居民构成除了原有的城镇人口，还存在相当数量的农村迁徙人口、外来务工人员，社区居民年龄层次、文化水平层次跨度较大，职业类型多种、民族构成多样。不同的社区居民获取地震信息的渠道各异，有电视、报纸、广播等传统媒体，也有微博、微信、网站等新媒体；居民对地震知识了解的程度不同，有的居民对地震知识有一定的了解，但了解程度不深、不透、不全面，有的居民有常识性知识错误，当然也有少部分熟知地震知识的居民；大部分居民对于一些涉及自身利益、生命财产安全的问题比较关心，如地震逃生知识和自救互救知识等，也喜欢形式多样、灵活有趣的科普宣传方式，如播放动漫、歌曲、视频等；本地居民对具有民族特色、方言版的科普产品更有认同感和亲切感。目前防震减灾科普宣传的内容和形式不能满足社区群众的不同层次和多样需求。

2.2　社区居民参与度不高，受众面较小

一般来说，公众获取信息的渠道越窄，参与活动给公众带来的收益越小，参与成本越高，参与的行为就越少。在进行社区防震减灾科普宣传实践时，由于缺乏创新，科普活动形式单一，没有甄别对象的模板式宣传、大同小异的摆摊式宣传、内容陈旧的宣传手册、单向输出的科普讲座，这些常规性、重复性的科普宣传方式，让大多数居民觉得学习地震知识对于他们而言收益小，意义浅，浪费时间，参与的主动性、自觉接受的积极性

不高，参加活动的通常只是社区中较为活跃的积极分子，或因社区任务不得不来的工作人员，受众面较小，传播力、覆盖面有限。

2.3　防震减灾科普宣传供需不平衡

云南省是地震多发地区，地震具有频度高、震级大、分布广、震源浅和灾害重的特点。为减轻地震灾害，震灾预防是有效的措施，其中开展防震减灾科普宣传是经济可行的必要措施之一。随着人们防震减灾意识的提高，社会对防震减灾科普无论是在产品方面还是在活动方面的需求都在逐渐增大。但是地震部门专门从事科普宣传工作的人员较少，开展社区科普宣传的次数有限、覆盖区域窄，单纯依靠地震部门单打独斗进行社区科普宣传远远无法满足广大社区居民对防震减灾知识的需求，也难以开展一些针对性强、影响力大、受众广和效果好的科普活动。部分社区虽然有兼职科普志愿者队伍，但是也存在队伍流动性较大、志愿者的地震专业素养参差不齐等问题，很难承担持续性的防震减灾科普宣传任务。

2.4　存在重点时段突击宣传、日常宣传怠懈的现象

在防震减灾科普进机关、进学校、进企业、进社区、进农村和进家庭的“六进”活动中，防震减灾科普宣传工作任务重点放在“进学校”方面，“进社区”活动虽有所体现，但力度和效果不够突出。针对社区居民，防震减灾科普宣传活动通常为结合重要时段、国内外破坏性地震发生的关键时期开展系列活动，日常宣传活动较少，没有长期性、固定性的宣传措施，单靠重点时段的宣传既不能实现大面积普及的目的，也不能有效巩固宣传效果。

3　提升防震减灾科普宣传进社区效果的建议措施

3.1　根据区域特色，研发人民大众喜闻乐见的科普产品

坚持群众的需求就是科普创作的源泉和动力，深入社区开展调研，了解社区居民的所想、所需、所缺，充分结合本地资源、优势、特色、民族性等寻找防震减灾科普创造的源泉。例如可以利用云南地区通行的滇方言和不同子方言之间差别较小的特点，创作社区居民所喜、所爱的方言版的科普产品，如地震科普民歌、花灯、方言小品剧目等。

与当地政府、教育、科技、文化创作等部门联合开发体现地震科普教育要求的、富有内涵的、有长久生命力的防震减灾科普系列作品，适当引入商业，让市场说话，增加防震减灾科普产品的创造力、吸引力。科普产品创作应挖掘兴趣点、创新方式、增强传播影响力，不墨守成规、不拘泥形式，可以是集科学性、权威性、感染力、影响力于一体的书籍、戏剧、影视作品等，也可以是富有传播力、趣味性的音乐、美术、动漫、游戏等。

3.2　整合资源，建设宣传队伍

防震减灾科普宣传队伍的建设是必不可少的前提，只有建设一支力量充足、专兼职结合的防震减灾科普创作队伍和宣传队伍，同时持续加强队伍交流培训力度、增强队伍学习与创新能力，才能更好地提升防震减灾科普服务的能力和水平。鼓励和支持院士、知名学者、科研技术人员参与科普工作，培养防震减灾科普领军人才，打造高标准的防震减灾科普专职队伍。依托地震学（协）会发展服务于社区的科普专家队伍，与社区建立定向的服务机制。创造条件、整合人才资源，通过社区党员志愿活动、大学生社会实践、中小学生科普小达人培养等方式，充实防震减灾科普兼职队伍，补充力量，夯实基础。建立完善社区科普志愿者队伍，动员倡导更多有专业素养、热心积极的社区居民，例如老科技工作者、离退休教师等加入社区科普志愿者队伍，教育引导广大居民群众积极参与、主动承担、共享科普宣传成果。在少数民族语言通行的地区，有部分群众听不懂普通话，可以根据当地情况，补充熟悉当地语言的志愿者进入防震减灾科普队伍，扩大服务面，更好地为当地群众服务。

3.3　依托社区和街道，发挥社区楼长（或栋长）、社区科普志愿者的日常宣传作用

为不断深化基层群众自治工作，社区实施并推行了“楼栋长”制度，在社区以栋为单位，选聘具备群众基础好、熟悉社区等条件的居民担任楼长、栋长，作为楼栋的主要管理责任人，协助社区开展工作，做好宣传教育。在激励社会力量参与、部门联合协作、增强防震减灾科普工作合力的基础上，采取线上线下结合的方式，对社区开展有秩序、有效率的学习宣传活动。先行培训社区居委会工作人员、楼长栋长等社区不同层级的管理人员及科普志愿者，再结合重点时段宣传与日常工作，利用qq、微信等工作、生活群，发布宣传防震减灾的知识、科普视频等，通过讲座、口口相传等多种形式，以点带面将防震减灾知识辐射至其他居民。

3.4　“请进来”与“走出去”结合,争取理解和认同

每年的国家防灾减灾日、科技活动周、云南省防震减灾宣传日等重点时段,在集中开展一系列的科普宣传活动“走出去”的同时,邀请社区工作人员及部分群众参观防震减灾科普教育基地及办公场所,将他们“请进来”,播放宣传片,选定一两个有代表性的部门,安排有关专家对防震减灾的业务工作进行讲解。通过“请进来”与“走出去”相结合,利用单位硬件条件直观展示科学技术,可以让公众更全面了解防震减灾工作情况,让公众在参观结束后理解防震减灾工作的重要性、地震预报的难点等,赢得社会各界的理论认同和情感认同。

4　结束语

云南既是一个多震灾省份,也是个多民族省份,通过开展社区防震减灾科普宣传,利用社区这一基本单位,更能抓住地域的特定性,发挥社区在灾前预防、科学普及等方面的重要作用,使更多公众掌握基本的防震避险和自救互救技能,增强防震减灾意识和能力,减轻地震带来的损失,保护人民群众生命财产安全。

参考文献

陈垚. 2020. 社区应急能力国内研究述评与展望[J]. 社会科学动态, (7):80 – 86.
兰俊丽. 2015. 我国防灾教育的必要性及实施现状研究[J]. 教育理论与实践,35(3):14 – 15.
刘冰心. 2016. 盘锦市社区科普工作状况调查研究[D]. 大连:大连理工大学,1 – 61.
刘英华,常建军,刘爱华,等. 2016. 北京公众防震减灾科普知识现状调查与分析[J]. 城市与减灾,(6): 39 – 42.
陆文静,孙业君. 2019. 溧阳市社区居民防震减灾科学素质调查研究[J]. 防灾减灾工程学报,39(6):1016 – 1022.
魏敏. 2016. 城市社区居民科普活动的参与度研究——以武汉市洪山区为例[D]. 武汉:华中科技大学,1 – 60.
许贺,岳秀侠. 2021. 社区防震减灾科普讲座活动策略分析[J]. 天津科技,48(8):82 – 84.
杨宏山. 2013. 城市管理学(第二版)[M]. 北京:中国人民科学出版社.

The Popularization of Earthquake Prevention and Disaster Reduction into Community Practice by Yunnan Earthquake Agency

LI Xia, ZHANG Fanghao, DU Haoguo, YANG Fang
(Yunnan Earthquake Agency, Yunnan Kunming　650224, China)

Abstract: Community is the front position to prevent and respond to public emergencies. In order to strengthen the publicity of community earthquake prevention and disaster reduction, Yunnan Earthquake Agency has carried out active exploration and practice, and presented suggestions of integrating resources and building publicity team. Based on the help of communities and streets departments, Yunnan Earthquake Agency plays a role of community building chiefs (or building chiefs) and community volunteers in daily publicity. On the basis of the research and the local characteristics, we developed popular science products that are welcome by the publics. We further provided a series of schemes such as the combination of knowledge introduction and learning abroad, which help to raise the people's awareness of earthquake prevention and disaster reduction.

Keywords: popularization of earthquake protection and disaster reduction; community practice; community residents

四川省地震月报目录($M_L \geqslant 3.0$)

(2022.01 ~ 2022.03)

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	20220101	033105.8	3122	10330	四川汶川	51	3.2			13	1	43	51	
2	20220104	210720.8	3304	10114	四川阿坝县	51	3.1			18	2	14	51	
3	20220108	010842.0	2824	10450	四川长宁	51	4.0			7	1	28	51	
4	20220108	213501.3	2926	10449	四川大安	51	3.0			3	1	34	51	
5	20220110	043645.8	2822	10454	四川长宁	51	3.6			12	1	28	51	
6	20220110	182037.0	2824	10450	四川珙县	51	3.6			10	1	26	51	
7	20220112	080226.5	2858	10220	四川石棉	51	3.8			23	1	45	51	
8	20220117	182128.6	3205	10422	四川北川	51	3.3			17	1	23	51	
9	20220118	061732.5	3148	10116	四川壤塘	51	3.3			5	1	27	51	
10	20220120	055236.9	3220	10507	四川青川	51	4.5			23	1	44	51	
11	20220122	212724.8	2812	10455	四川兴文	51	3.4			2	1	32	51	
12	20220123	073629.0	3043	10427	四川青白江	51	3.0			20	1	25	51	
13	20220123	221440.9	3121	10325	四川汶川	51	3.1			16	1	39	51	
14	20220124	155351.6	3250	10408	四川平武	51	3.0			18	1	21	51	
15	20220126	174535.9	3148	10116	四川壤塘	51	3.4			16	1	25	51	
16	20220129	131837.9	2820	10458	四川长宁	51	4.1			11	2	33	51	
17	20220201	060128.0	3156	10417	四川北川	51	4.3			20	1	62	51	
18	20220202	215928.5	3403	10244	四川若尔盖	51	3.2			18	2	20	51	
19	20220205	165635.8	3156	10416	四川北川	51	3.3			19	1	30	51	
20	20220209	213046.1	3307	09736	四川石渠	51	3.6			17	1	8	51	
21	20220210	041139.7	3121	10344	四川彭州	51	3.0			23	1	35	51	
22	20220210	120035.6	3310	09733	四川石渠	51	3.3			22	2	5	51	
23	20220224	085405.9	2808	10455	四川兴文	51	3.2			6	1	18	51	
24	20220227	135706.1	2807	10444	四川筠连	51	3.3			8	2	18	51	
25	20220301	192339.7	2903	10510	四川富顺	51	3.0			9	1	30	51	
26	20220302	150536.5	2807	10525	四川叙永	51	3.1			4	1	12	51	
27	20220303	101802.8	3133	10318	四川理县	51	3.5			14	1	41	51	
28	20220304	163932.5	3014	10253	四川芦山	51	3.0			19	1	27	51	
29	20220307	025734.0	2917	10528	四川泸县	51	3.2			4	1	30	51	
30	20220315	040946.6	3023	09940	四川理塘	51	3.3			16	1	19	51	
31	20220315	183652.9	3204	10243	四川黑水	51	3.0			14	1	22	51	
32	20220316	171406.7	3024	09940	四川理塘	51	3.2			6	1	22	51	
33	20220321	072859.4	3239	10520	四川青川	51	3.1			17	1	24	51	
34	20220326	043408.7	2909	10530	四川泸县	51	3.3			8	1	32	51	
35	20220328	155951.0	2646	10258	四川会东	51	3.3			16	2	12	51	
36	20220329	052509.7	3003	10323	四川丹棱	51	4.5			19	1	63	51	
37	20220330	194152.0	3218	10153	四川马尔康	51	3.0			19	1	23	51	
38	20220331	055910.1	2824	10452	四川长宁	51	3.6			4	1	35	51	
39	20220331	181602.6	2916	10529	四川泸县	51	3.7			7	1	33	51	
40	20220331	184309.9	2917	10528	四川泸县	51	3.2			4	1	31	51	

四川地震台