

山西地震 编辑委员会

主 编：陈宇坤

副 主 编：万 亮 李自红 宋美卿 张瑞芳（专职）

编辑委员：（按姓氏汉语拼音排序）

曹 筠 陈 石 董康义 冯希杰 高武平 韩晓明 胡玉良
黄金刚 季灵运 贾建喜 蒋海昆 蒋晓山 雷建设 雷启云
雷生学 李 斌 李 丽 李冬梅 李宏伟 梁 艳 刘瑞春
罗 勇 吕 芳 马朝晖 邵志刚 史双双 宋美卿 万永革
王跃杰 武艳强 解 滔 薛 艳 闫计明 晏 锐 杨 斌
杨 静 殷伟伟 曾金艳 张 合 张亮斌 张仰辉 张郁山
赵晓云 郑文俊 周克昌

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI
THE BOARD OF EDITORS

EDITOR IN CHIEF: CHEN Yu-kun

ASSOCIATE EDITORS IN CHIEF: WAN Liang LI Zi-hong SONG Mei-qing ZHANG Rui-fang (specific duty)

BOARD MEMBERS: CAO Jun CHEN Shi DONG Kang-yi FENG Xi-jie GAO Wu-ping HAN Xiao-ming
HU Yu-liang HUANG Jin-gang JI Ling-yun JIA Jian-xi JIANG Hai-kun
JIANG Xiao-shan LEI Jian-she LEI Qi-yun LEI Sheng-xue LI Bin LI Li LI Dong-mei
LI Hong-wei LIANG Yan LIU Rui-chun LUO Yong LV Fang MA Zhao-hui
SHAO Zhi-gang SHI Shuang-shuang SONG Mei-qing WAN Yong-ge WANG Yue-jie
WU Yan-qiang XIE Tao XUE Yan YAN Ji-ming YAN Rui YANG Bin YANG Jing
YIN Wei-wei ZENG Jin-yan ZHANG He ZHANG Liang-e ZHANG Yang-hui
ZHANG Yu-shan ZHAO Xiao-yun ZHENG Wen-jun ZHOU Ke-chang

山西地震

SHANXI DIZHEN

EARTHQUAKE RESEARCH
IN SHANXI

季刊 Quarterly

1973年2月创刊

Established in February, 1973

2023年第4期（总第196期）

No.4 (Serial No.196) 2023

商标注册号：327496

Number of Trade Mark Registra-
tion: 327496

主管单位：山西省地震局
主办单位：山西省地震学会
编辑出版：《山西地震》编辑部
主 编：陈宇坤

编辑部地址：山西省太原市晋祠路
二段69号

邮政编码：030021

电 话：(0351) 5610534

印 刷：山西省建筑科学研究院
印刷科技有限公司

地 址：太原市山佑巷

发行范围：公开

发行订购：《山西地震》编辑部

网 址：<https://ssdz.cbpt.cnki.net/>

电子信箱：ssdzjhb@163.com

出版日期：2023年12月

Administration: Earthquake Administration of
Shanxi Province

Sponsoring Organization: Seismological So-
ciety of Shanxi Province

Edited and Published: by the Editorial Office
of ERS

Editor in Chief: CHEN YU-kun

Address of The Editorial Office:
No. 69, Block 2 of Jinci Road, Taiyuan.

Postcode: 030021

Tel: (0351) 5610534

Printed: Shanxi Academy of Building Research
Printing Technology Co., Ltd.

Address: Shanyouxiang of Taiyuan

Distributed: Openly

Distributor and Order Department: Editorial
Office of ERS

<https://ssdz.cbpt.cnki.net/>

E-mail: ssdzjhb@163.com

Data of Publication: Dec.2023

ISSN 1000-6265
CN 14-1107/P
CODEN SDIZEY

年定价：20.00元（不含邮费） 本期定价：5.00元

SHANXI DIZHEN



ISSN 1000-6265
CN 14-1107/P
CODEN SDIZEY

山西地震

二〇二三年

第四期

总第一九六期

山西地震®

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI

2023 / 4

ISSN 1000-6265



山西省地震学会

全国优秀地震期刊 山西省连续十三年一级期刊
中国期刊网 中国学术期刊(光盘版) 万方数据库全文收录期刊
中文科技期刊数据库来源期刊 维普资讯网全文收录期刊
中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊

2023年第4期

山西地震

(季刊·1973年创刊)

(总第196期)

目 次

· 地震地质 ·

浅层人工地震精确探测隐伏断层方法研究 曾雄望,王 飞(1)

· 工程抗震 ·

基于窗上带与窗间墙关系评估芮城县砖混结构房屋抗震性能 ... 韩晓飞,董 斌,薛晓东,史双双,王雷霄(8)

· 地震活动性 ·

基于“区域-时间-长度算法”的傅里叶变换分析华北地区6级以上地震活动性变化规律 ... 贺劲松,卫 超(13)

· 史海钩沉 ·

不该忘却的地震群测群防 袁正明(19)

· 技术交流 ·

地震监测管理平台研发及应用——以宿迁地震台网为例 单友磊,朱 红,程红英(23)

山西省人口空间公里格网分布模型研究 程紫燕,杨 斌,于 潼(29)

测震站网仪器标定管理软件的研究与设计 官卓宏,梁 艳,闫美容,刘 发,彭丽娟(33)

临汾站宽频带倾斜仪故障处理与维护 杏利民,张聪聪,荆红亮,靳宝萍,郭国祥(37)

基于深度学习方法检测大同矿区非天然地震事件 郑亚迪,赵晓云(41)

· 观测分析 ·

隰县地震台电磁扰动数据变化规律及影响因素分析 李远林(45)

2021年山东菏泽地电场观测数据异常识别及干扰排除

..... 申茂正,周铭辉,张 军,陈亚红,张继红,冯梁乐(52)

*

*

*

《山西地震》2023年第1期~4期(总第193期~196期)总目次 (I)

《山西地震》2023年第1期~4期(总第193期~196期)作者索引 (V)

《山西地震》2023年第1期~4期(总第193期~196期)主题词索引 (VI)

《山西地震》2023年第1期~4期(总第193期~196期)自由词索引 (VII)

本期责任编辑:张瑞芳,张正雷; 英文译校:李 斌

期刊基本参数:CN 14-1107/P*1973*q*A4*56*zh*P*¥5.00*70*11*2023-12

本刊网址:<https://sxdz.cbpt.cnki.net/>

本刊电子邮箱:sxdzjbj@163.com

CONTENTS

• Earthquake Geology •	
Research on Shallow Artificial Seismic Precise Detection of Concealed Faults	ZENG Weiwang, WANG Fei(1)
• Antiseismic Engineering •	
Assessment of Seismic Performance of Reinforced Brick Structure Houses in Ruicheng County Based on Window Lintel and Wall Between Windows Relationship	HAN Xiaofei, DONG Bin, XUE Xiaodong, SHI Shuangshuang, WANG Leilei(8)
• Seismicity •	
Seismicity Regularity of $M \geq 6$ in North China Based on the Analysis on the Fourier Transform of the "Region-Time-Length Algorithm"	HE Jinsong, WEI Chao(13)
• Lost and Found Pieces of History •	
Earthquake Group Monitoring and Group Defense That Should Not Be Forgotten	YUAN Zhengming(19)
• Academic Exchange •	
Development and Application of Seismic Monitoring Management Platform: A Case Study of Suqian Seismic Network	SHAN Youlei, ZHU Hong, ZHAI Hongying(23)
Study on the Distribution Model of Population Spatial Kilometer Grid in Shanxi Province	CHENG Ziyang, YANG Bin, YU Tong(29)
Instrument Calibration Management Software Design and Application for Seismic Monitoring Station Network	GONG Zhuohong, LIANG Yan, YAN Meirong, LIU Fa, PENG Lijuan(33)
Fault Diagnosis and Maintenance of Wideband Tiltmeter at Linfen Station	LIN Limin, ZHANG Congcong, JING Hongliang, JIN Baoping, GUO Guoxiang(37)
Detection of Non-natural Seismic Events in the Datong Mining Area Based on Deep Learning Methods	ZHENG Yadi, ZHAO Xiaoyun(41)
• Observation and Analysis •	
Analysis of Variations and Influencing Factors of Electromagnetic Disturbance Data at Long County Seismic Station	LI Yuanlin(45)
Abnormal Data Recognition and Interference Elimination in the 2021 Geoelectric Field Observations in Heze, Shandong	SHEN Maozheng, ZHOU Minghui, ZHANG Jun, CHEN Yahong, ZHANG Jihong, FENG Liangle(52)
Composite Catalogue of EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI(No. 1~4, 2023, Sum No. 193~196)	(I)
Author Index of EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI(No. 1~4, 2023, Sum No. 193~196)	(V)
Key Word Index of EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI(No. 1~4, 2023, Sum No. 193~196)	(VII)
Free Word Index of EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI(No. 1~4, 2023, Sum No. 193~196)	(VIII)

·地震地质·

文章编号:1000-8265(2023)04-0001-07

浅层人工地震精确探测隐伏断层方法研究

曾维望,王飞

(山西金湖嘉华科技有限公司,山西 太原 030000)

摘要:选取长治市某区区域性地震安全评价项目中宋家庄断裂和安城断裂等隐伏断层精确探测成果,从数据采集、资料处理和解释三方面,对浅层人工地震观测进行研究。在获得高精度成像地震剖面的基础上,结合区内地质资料,对新近系与第四系厚度、断层的位置、性质、产状以及上断点埋深等关键参数进行推断解释。结果表明,浅层人工地震能够精确探测目标区隐伏断层,并为其活动性鉴定提供可靠的基础资料,是区域性地震安全评价工作中目标区主要隐伏断层勘查的重要手段。

关键词:浅层人工地震;隐伏断层;区域性地震安全评价

中图分类号:P315.2

文献标志码:A

0 引言

目标区活动断层探测和活动性鉴定是区域性地震安全评价的重要基础工作^[1],地球物理勘探是地下构造勘查与活动性鉴定的手段之一,浅层人工地震^[2]、高密度电法和电磁法^[3]、瑞雷波^[4]等单一方法以及综合物探方法^[5-6]等在诸多区域性地震安全评价工作中发挥重要作用。浅层人工地震勘探可以查明新近系与第四系地层以及断层等构造的发育位置、性质、产状、规模和上断点埋深等特征,是所有地球物理勘探方法中分辨率高、探测效果和精度较好的手段之一^[7-8]。浅层人工地震勘探与面向油气、煤炭等资源的反射地震勘探,均需要对断层的位置、规模、产状、活动性等进行研究,但是服务于地震安全性评价的浅层人工地震更关注断层的浅部信息^[9-11]。因此,浅层人工地震更注重观测系统参数的选择,要避免浅部地层有效叠加次数过低,导致上断点不清等问题^[12]。

本文以山西长治市某区区域性地震安全评价项目实例为基础,结合区域地质构造背景,通过野外试验选取合适的观测系统,探讨提高第四系地层层位分辨能力的野外数据观测方法。在此基础上,采用针对性数据处理方法,获得测线上地层高精度内部反射结构,精确解释不同沉积地层的界面埋深,测线上主要隐伏断层的位置、性质、产状及上断点埋深,取得较好的探测效果。

1 目标区地质构造概况

目标区地处太行山南段西侧长治市城区,位于长

治市南部郝家庄以南、苏店镇以北,长治断陷堆积盆地内部,地形高差变化小,地表平坦(见图1)。目标区及其周边主要分布三条隐伏正断层,分别为宋家庄断层(F_1)、安城断层(F_2)以及苏店断层(F_3);三条断裂走向均为NE向,呈平行展布;宋家庄断层和安城断层形成地垒构造(见图1)。断层的主要活动时期为燕山晚期,第四纪以来的活动性趋于稳定。

目标区内新近系与第四系厚度为80~160 m,新近系与第四系未固结松散层与其下伏二叠系基岩顶呈角度不整合接触,因速度、密度差异大,存在良好的波阻抗界面。二叠系山西组与太原组赋存稳定的可采煤层,即3号和15号煤层。3号和15号煤层与其顶、底板围岩的速度、密度差异大,存在良好的波阻抗界面,形成能量弱-中等、波形特征明显、连续性好、易识别的反射波。因此,浅层人工地震观测具有较好的物性基础。

2 浅层人工地震观测

按照浅层人工地震测线尽可能垂直断层构造走向、尽可能跨越目标断层的原则,本次浅层人工地震部署三条测线(见图1),均沿公路布设。为了控制宋家庄断层和安城断层,布设DZ-1和DZ-3两条线,长度分别为1.9 km和2.5 km;为了控制苏店断层,布设DZ-2线,长度2.1 km。

针对波场特征、观测系统和激发接收参数进行现场试验。在此基础上,对试验物理点数据进行定性、定量对比分析,确定本次浅层人工地震的主要采集参数:28吨可控震源激发,震动次数2次、出力75%、扫频

收稿日期:2023-12-12

第一作者简介:曾维望(1980—),男,湖南邵阳人,硕士研究生,高级工程师,从事地球物理与地震服务工作,E-mail:464565121@qq.com。

通讯作者:王飞(1979—),男,山西阳高人,硕士研究生,高级工程师,从事地球物理与地震服务工作,E-mail:wofei@163.com。

8~110 Hz,扫描长度 16 s;采用 3 m 道间距、52 次覆盖次数、中间激发 208 道双边接收、60 Hz 检波器接收,观测方法和采集参数的合理选择,取得整体信噪比较高的原始资料。分析获得的原始资料得出:本区的

主要干扰波为面波、声波及随机干扰等,因在城区施工,背景噪音干扰明显;通过频率扫描确定目的层有效反射波的频率分布范围在 20~100 Hz,优势频带宽度在 30~80 Hz,反射波主频 55 Hz 左右(见图 2)。

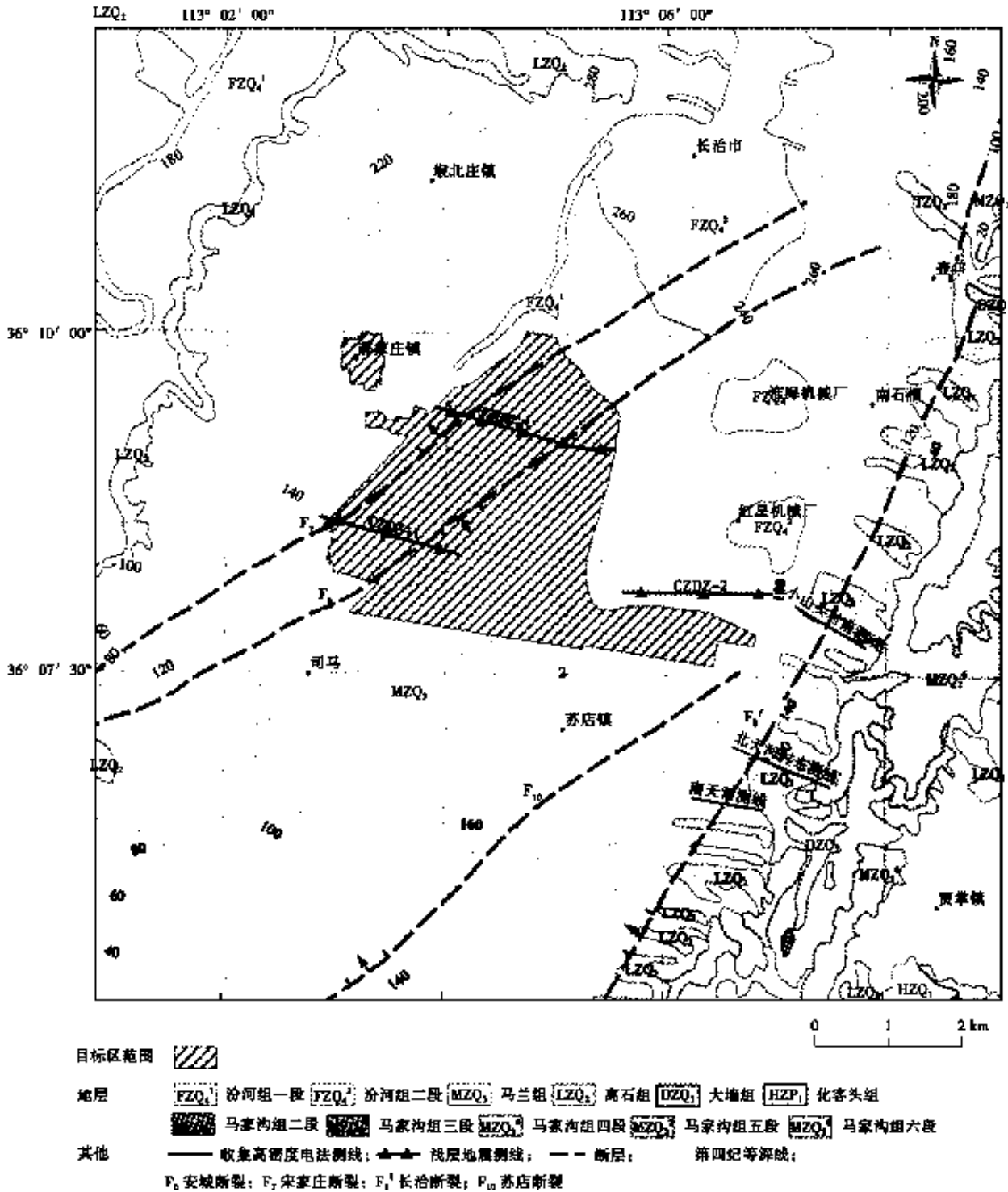


图 1 测区地质构造及浅层人工地震测线位置图

Fig. 1 Target area geological structure and location map of shallow artificial seismic survey lines

关键的观测是采用小道距,小道距观测获得的单 炮记录上可以看到至少两组不同速度的反射波。其

中,一组为新近系与第四系、新近系与下伏二叠系基岩顶的反射,速度较低,为1 400~1 600 m/s;另一组为

二叠系内煤层底界面的反射,主频较高,速度较高,达到3 000~3 500 m/s。

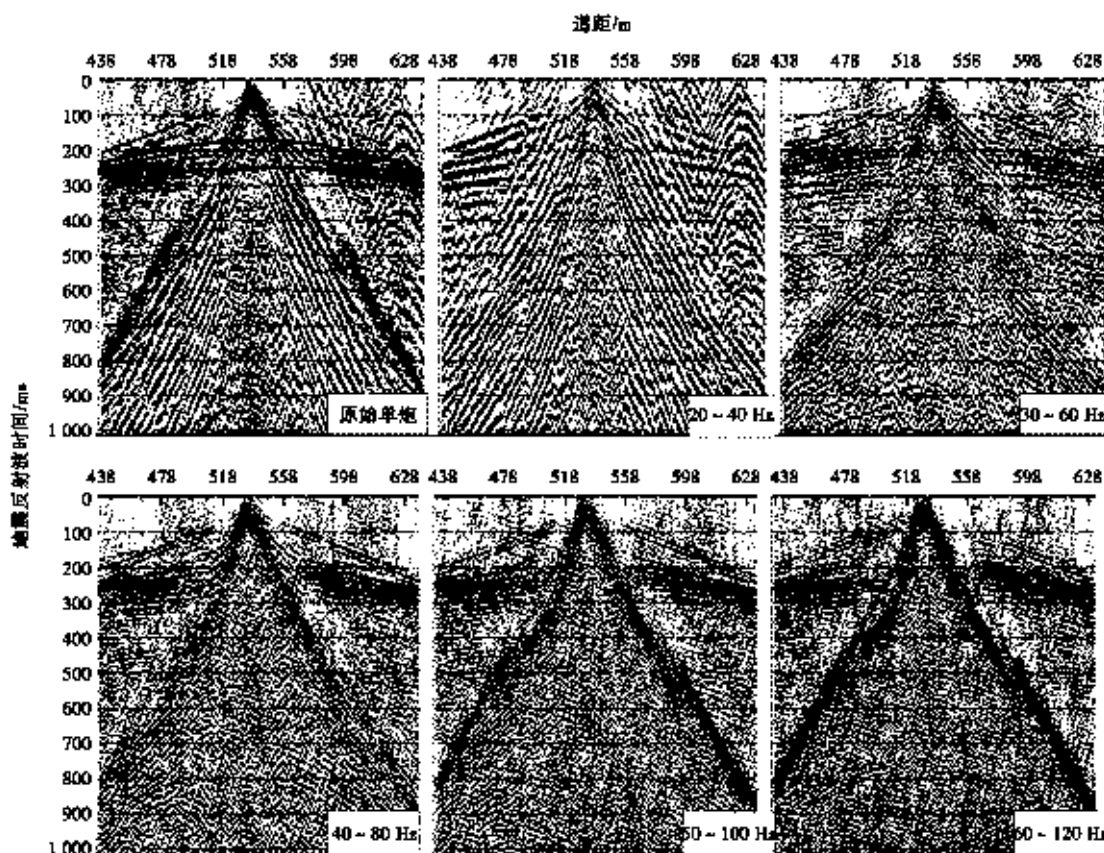


图2 原始单炮及其分频扫描记录

Fig. 2 Original single-shot and its frequency scanning records

3 高精度数据处理

对原始单炮进行信噪比、能量、频率、静校正等分析,综合应用近地表层析静校正、叠前组合去噪、地表一致性振幅补偿、地表一致性反褶积、精准的速度分析、叠加及叠后偏移成像等高精度数据处理技术,获得高精度成像剖面。

本次浅层人工地震数据处理采用非线性分频自适应噪音检测及压制技术,对不同频率、不同类型的噪音进行处理。在不同的频段内,以加权中值为参量,自动识别面波、声波、脉冲、野值等不同噪声类型,根据噪声与信号的数值关系,计算加权曲线,对噪声进行衰减,并重构地震记录。从处理后的单炮记录看出,信号畸变很小,各种强能量干扰得到压制,且不损失浅层和深层的有效反射波信息(见图3)。

由于激发和接收在空间方向与环境的不断变化,单炮记录在空间方向上能量、频率不均衡。数据处理中以先去噪、后补偿的振幅补偿原则,采用地表一致性振幅补偿技术解决炮间和道间能量不一致问题;采用地表一致性反褶积技术进行子波统计、子波整形、相位

校正与拓宽频带提高分辨率(见图4)。

在采用常速扫描法和调查速度变化规律的基础上,针对目的层有效信号的优势频带进行速度分析。经多次迭代和加密(30 m一个点)速度控制点分析,可有效提高叠加速度的精度,为后续地层标定和构造解释奠定可靠的数据基础。

4 地质精细解释

从获得的时间剖面上看到,基本以200 ms为界,上、下时间存在两种明显不同的反射波组特征(见图5、图6)。上部的反射波组同相轴基本为水平平行结构,连续性好,主频较高,能量较弱;下部的反射波组形态起伏变化明显,呈亚平行结构,连续性差,主频较低,能量较强。此外,反射波组同相轴还出现明显中断与位错、强弱相位的反转和产状变化等特征。

根据DZ-1线附近的煤矿钻孔资料,新近系底埋深为134.05~153.20 m,变化很小;二叠系山西组3号煤层埋深为187.80~257.10 m,太原组15号煤层埋深为300.50~373.10 m,同一层埋深差异达60 m以上。说明新近系地层沉积前,地表的风化剥蚀强烈,古

生界残留厚度存在变化。

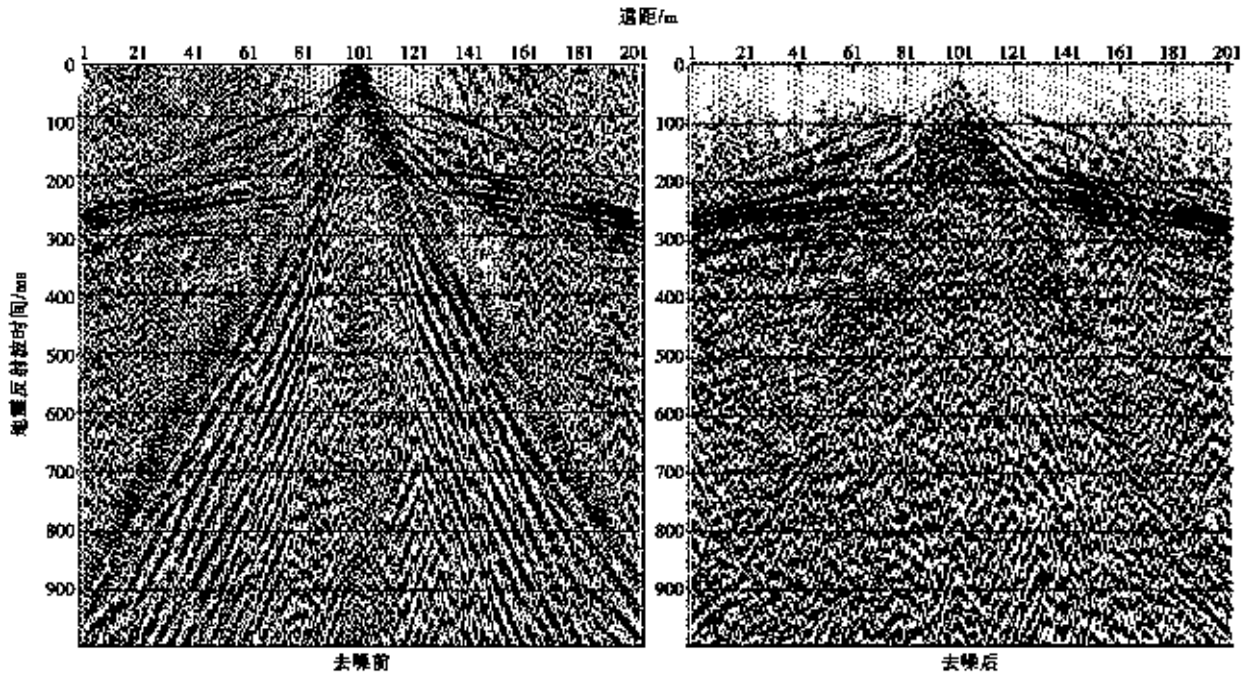


图3 叠前去噪前后的原始单炮对比

Fig. 3 Comparison of original single-shot records before and after pre-stack noise attenuation

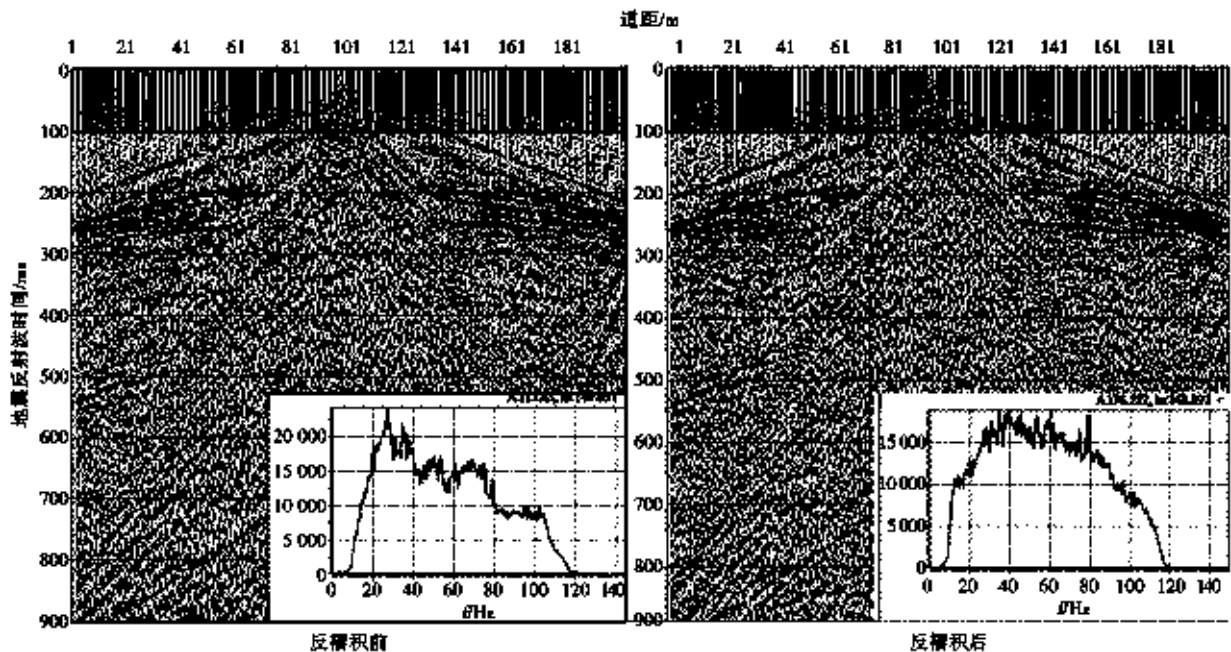


图4 反褶积前后的单炮及频谱对比

Fig. 4 Comparison of single-shot records and frequency spectra before and after deconvolution

根据获得的时间剖面,结合剖面附近煤矿钻孔资料综合分析得出:本区发育四个标准地震反射波 T_Q 、 T_N 、 T_S 和 T_{15} 。 T_Q 为第四系(Q)与新近系(N)分界面的反射波; T_N 对应新近系与古生界之间的角度不整合面,即新近系底面的反射波; T_S 为古生界二叠系内部山西组3号煤层底的反射波; T_{15} 为古生界二叠系内部

太原组15号煤层底的反射波。通过对 T_Q 、 T_N 、 T_S 和 T_{15} 四个标准地震反射波的标定、追踪和对比,完成地震剖面解释,实现对目的层和隐伏断层的研究。

根据断点组合原则,把时间剖面上断点性质相同、落差相近的相邻断点,按照区域构造规律组合起来组成同一条断层。将 DZ-1 测线上的断点 F2 和 DZ-3 测

线上断点 F2 进行组合, 认为其为安城正断层。该断层落差约 30 m, 上断点埋深为 135~170 m, 仅错断新近系、二叠系地层及深部地层, 其上断点未延伸至第四系。

宋家庄断层由 DZ-3 测线控制, DZ-1 测线未发现, 该断层落差约 20 m, 上断点埋深约 150 m, 仅错断新近系、二叠系地层及深部地层, 其上断点未延伸至第四系。

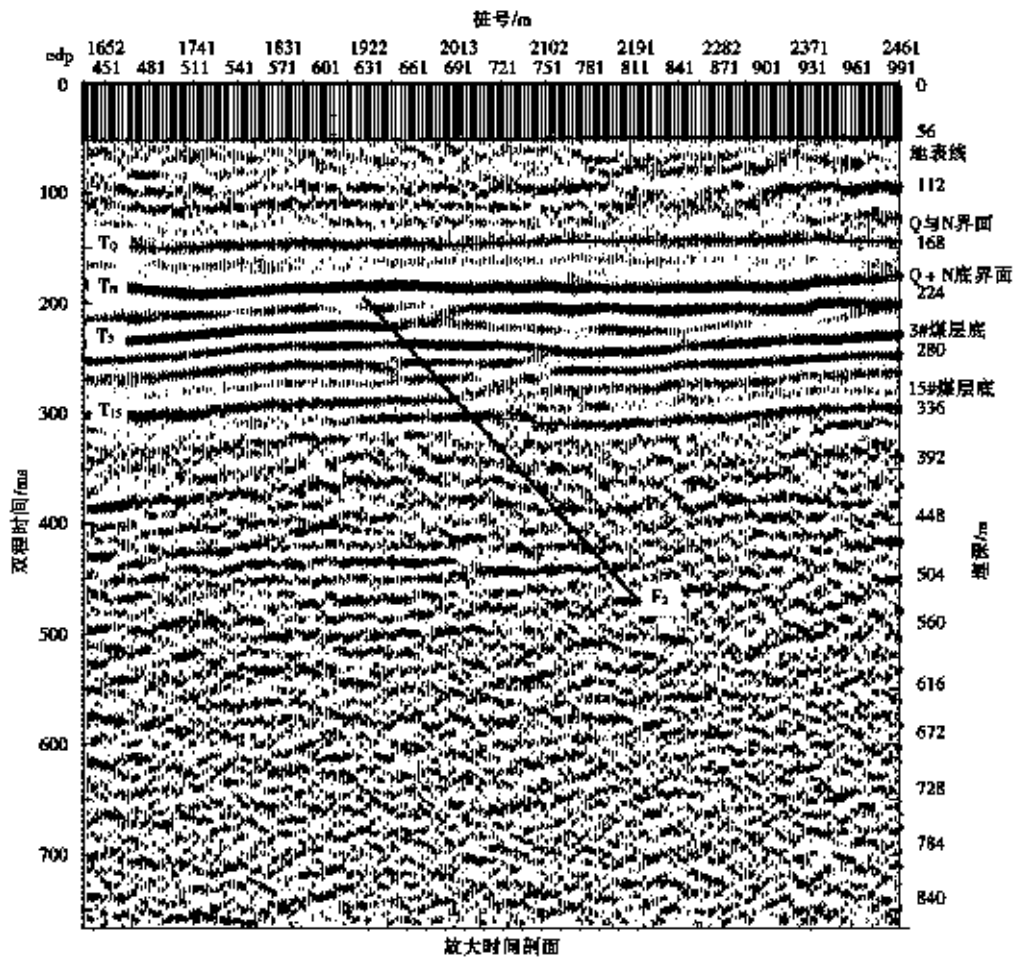
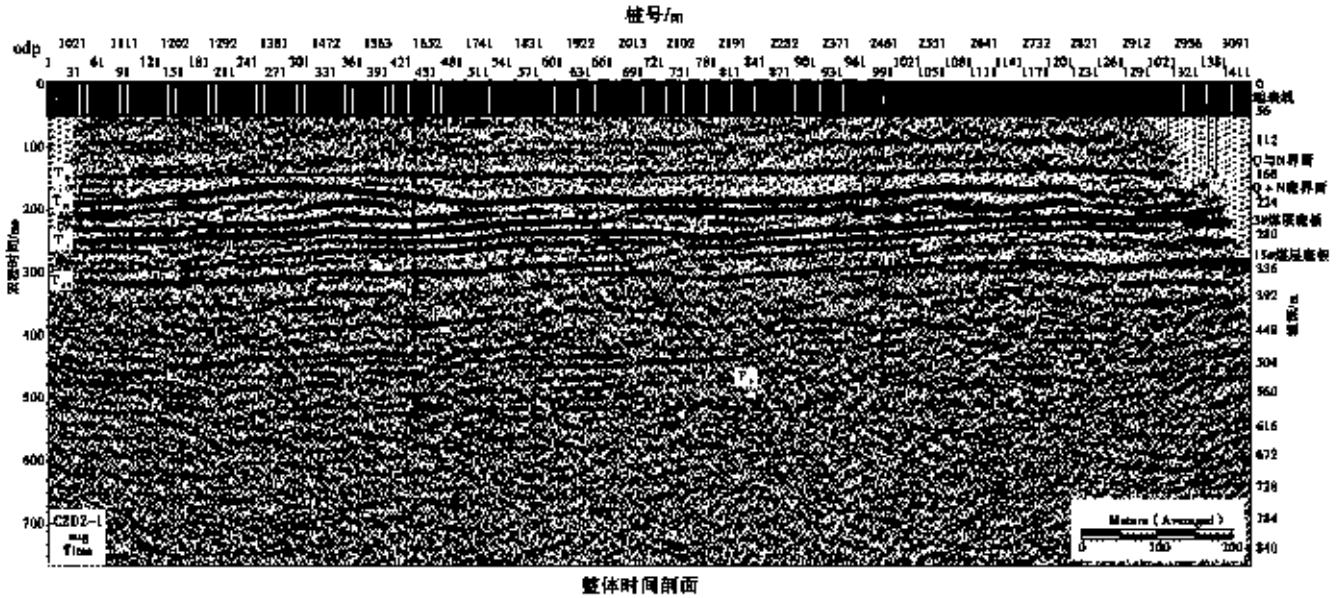


图 5 DZ-1 测线地震整体时间剖面 and 虚线框段放大时间剖面

Fig. 5 Overall time profile and enlarged time profile of the selected section within the dashed box of seismic line DZ-1

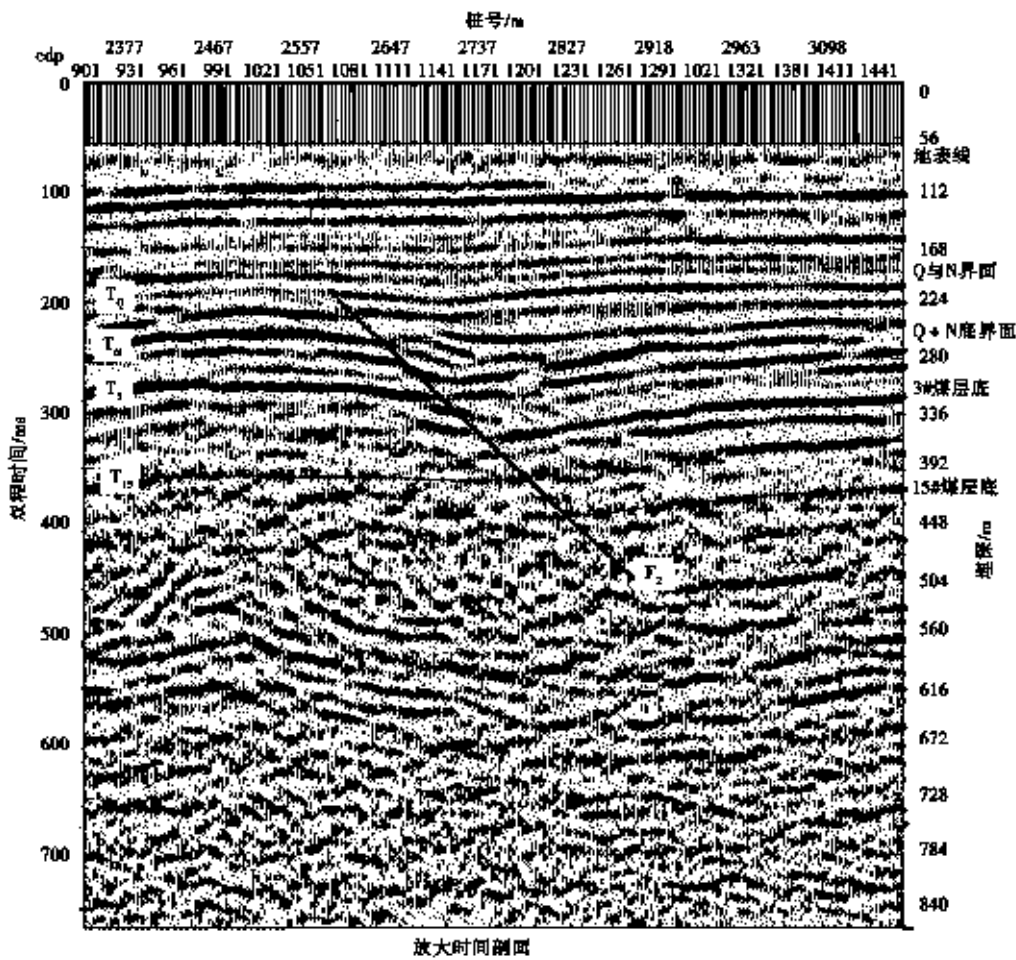
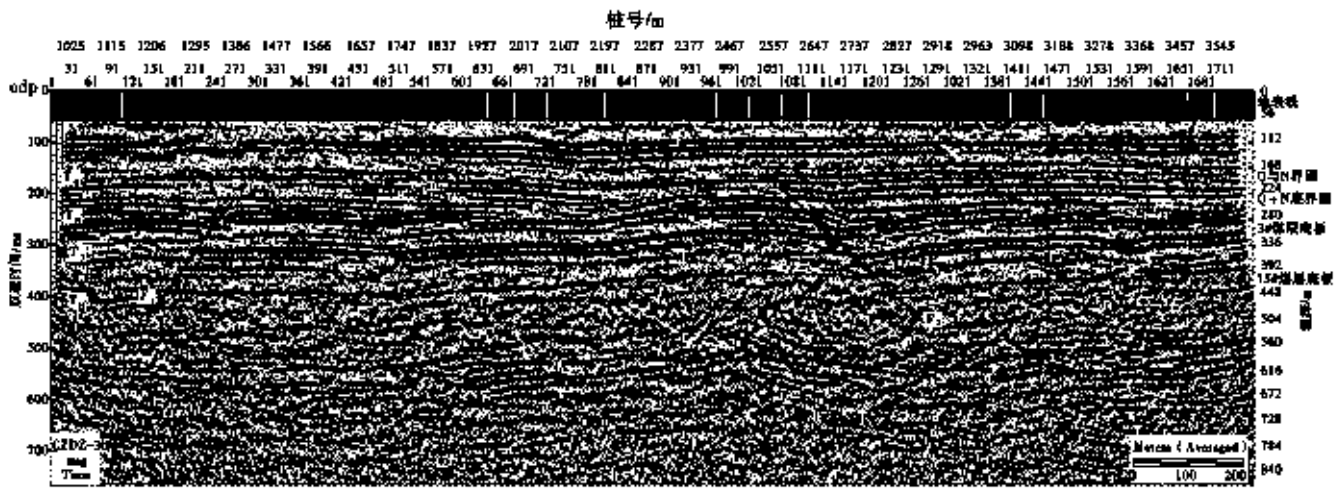


图 6 DZ-3 测线地震整体时间剖面和虚线框段放大时间剖面

Fig. 6 Overall time profile and enlarged time profile of the selected section within the dashed box of seismic line DZ-3.

5 结论与讨论

(1) 本次浅层人工地震采用小道距、高覆盖次数观测参数,应用非线性自适应噪音检测及压制技术等处理手段,结合已有资质资料进行综合分析。查明新近系与第四系覆盖层厚度,得到测区中安城断层和宋家庄断层的特征,明确两个断层均为燕山期活动—更新世活动断层,非全新世断层,可不考虑工程抗断问题,为后续区域性地震安全评价工作提供可靠的地球物理依据。

(2) 浅层人工地震勘探是区域性地震安全评价中目标区主要断层勘查与活动性鉴定有效的手段,尤其对精确探测隐伏断层及查明隐伏覆盖层厚度效果最佳。但需要合理选择和优化观测系统、采集参数,针对性地进行资料处理、综合分析已知地质资料及选取有效的方法,方可确保探测效果。

参考文献:

- [1] 黎益仕,张红,余积明,等.地震安全性评价制度改革的问题与展望[J].震灾防御技术,2021,16(04):781-788.
- [2] 郭南舟,陈杰,袁兴斌,等.浅层反射地震勘探在区域地震安全性评价中的应用[J].能源技术与管理,2022,47(04):177-179.
- [3] 王立会,林承源,梁久亮.瞬变电磁法在工程场地地震安全评价中的应用[J].西部探矿工程,2015,27(08):115-117.
- [4] 薛晓东,程新原,赵向佳,等.瑞雷波勘探方法在地震安全性评价项目中的应用与研究[J].山西地震,2014(01):28-30.
- [5] 温超,郝海强,汪慎文,等.综合物探方法在张家口某工程场地地震安全性评价中的应用研究[J].地震工程学报,2015,37(01):271-275.
- [6] 蔡玲玲,杨枝焱,郭秋娜,等.综合地球物理方法在地震安全性评价中的应用和成果[J].华北地震科学,2016,34(01):21-29.
- [7] 李智.复杂场地地质条件下地震安全性评价工程实例探讨[J].防灾减灾学报,2014,30(02):6-12.
- [8] 张合,扈本娜,吕国军,等.浅层地震反射波法在场地地震安全性评价中的应用[J].勘察科学技术,2012(06):61-64.
- [9] 邓长瑜,张秀莲,满洪敏,等.断层研究在地震安全性评价和石油勘探工作中的对比分析[J].城市地质,2013,8(04):44-47.
- [10] 曾金艳,李自红,陈文,等.太原盆地田庄断裂东段探测和活动性初步研究[J].地震研究,2016,38(2):181-189.
- [11] 曾金艳,李自红,陈文,等.城盆地盐湖南岸断层晚第四纪活动特征研究[J].第四纪研究,2020,40(1):124-131.
- [12] 汪一鹏,宋方敏.工程场地地震安全性评价工作中常见问题研究[J].震灾防御技术,2015,10(01):1-14.

Research on Shallow Artificial Seismic Precise Detection of Concealed Faults

ZENG Weiwang, WANG Fei

(Shanxi Jinchao Jiahua Technology Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi 030000, China)

Abstract: A case study of seismic safety evaluation project in a specific district in Changzhi City, Shanxi province is taken to conduct comprehensive research on the accurate observation of multiple concealed faults such as Anjiazhuang and Ancheng through artificial shallow two-dimensional seismic observation. The research focuses on three aspects: data acquisition, processing, and interpretation. Based on obtaining high-precision imaging seismic profiles, key parameters such as the thickness of the Quaternary cover layer, the location, nature, and attitude of the faults, and the burial depth of the upper fault plane are inferred and interpreted. The results indicate that shallow seismic surveys can accurately detect concealed faults in the target area and provide reliable basic data for their activity identification. It can serve as an important method for the exploration of major concealed faults in the target area during regional seismic safety evaluation work.

Key words: shallow artificial seismic; concealed faults; regional seismic safety assessment

· 工程抗震 ·

文章编号:1000-8265(2023)04-0008-05

基于窗上带与窗间墙关系评估芮城县 砖混结构房屋抗震性能

韩晓飞^{1,2},董斌^{1,2},薛晓东^{1,2},史双双^{1,2},王雷雷^{1,2}

(1.山西省地震局,山西太原030002;2.太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,山西太原030025)

摘要:为摸清芮城县房屋的抗震性能,开展房屋建筑抽样详查工作。分别从房屋建筑类别、数量占比和分布情况等方面展开调查,并对砖混结构房屋的抗震性能进行评估。主要有震害统计的无圈梁、有圈梁构造柱砖混砌体结构房屋的窗间墙宽与窗上带高、窗上带跨高比和窗间墙高宽比、窗间墙与窗上带刚度比的相互关系进行研究。同时基于地震中窗上带优先出现损伤,可最大程度保护房屋抗震柱或承重墙,保持建筑物大震不倒的判断规则,对芮城县30栋砖混房屋的抗震性能做出评判。研究表明,芮城县城区砖混结构房屋抗震性能为一般—较差,乡镇的为较差—差。

关键词:抗震性能;窗间墙;窗上带;刚度比

中图分类号:P315.9

文献标志码:A

0 引言

在地震作用下,窗上带结构优先出现损伤,再逐渐将损伤发展到墙体或窗间墙上,这样的破坏模式,窗上带能够消耗大量的地震能量,最大限度发挥结构的材料性能,增加房屋延性,是符合结构抗震概念设计的破坏模式^[1-4]。对来自汶川地震、芦山地震和玉树地震共202片震害墙体和89个模型的有限元进行分析发现,

无圈梁、构造柱的砖混砌体结构房屋窗间墙宽与窗上带高的比大于1.4,窗上带跨高比和窗间墙高宽比的比值大于1.4,窗间墙与窗上带刚度比大于1.6,窗上带优先出现损伤;对于有圈梁、构造柱的砖混砌体结构房屋,控制窗间墙宽与窗上带高比值大于1.3,窗上带跨高比与窗间墙高宽比的比值大于1.2,窗间墙与窗上带刚度比大于1.4,窗上带优先出现损伤^[5-6]。汶川地震中房屋典型破坏情况及简要分析如图1、表1所示。



图1 震害照片^[4]

Fig. 1 Photos of seismic damage

依托开展的山西省地震灾害风险普查工程,对芮城县房屋建筑的抗震性能进行分析研究。芮城县地处晋秦豫三省交界的黄河大拐弯处,是山西省的南大门。境内北依中条山,西和南临黄河,全县面积1 176 km²,辖7镇3乡(风陵渡镇、阳城镇、大王镇、永乐镇、学张乡、古魏镇、南卫乡、西陌镇、东垆乡、陌南镇)

151个建制村、708个自然村。通过分析芮城县砖混房屋的窗间墙和窗上带尺寸(见图2)及砂浆、材料强度,分析砖混结构房屋的抗震能力。

1 房屋调查及地质构造、基本设防烈度情况

芮城县房屋建筑结构形式有砖混结构、土木结构、

收稿日期:2023-04-26

基金项目:山西太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站(NORSTY20-06),山西省科技厅面上自然基金项目(201901D111462, 20210302123361),山西省地震局科研项目(SBK-2221)共同资助。

第一作者简介:韩晓飞(1981—),男,太原人,高级工程师,主要从事地震地质及地球物理方面的研究,E-mail:38094048@qq.com。

该文为“山西省地震灾害风险普查工程专刊”征文。

多层钢筋混凝土结构、高层结构、空旷结构、工业厂房及砖木结构7种。砖混结构房屋主要分布在县城中心城区及乡镇中心地带;土木、砖木结构房屋主要分布在广大农村地区;多层钢筋混凝土框架结构房屋多分布于芮城县中心城区和乡镇中心地带街道两侧及部分公共建筑;工业厂房主要集中于工业产业聚集区和风陵渡经济开发区;高层结构房屋主要集中在中心城区,以行政办公、小区住宅和商业综合体为主;空旷结构房屋集中分布于中心城区,主要是车站、博物馆、体育场等大型公共建筑。

表1 震害简要分析

Table 1 Brief analysis of the seismic damage

房屋照片编号	破坏模式	建筑用途	是否有圈梁和构造柱	是否有横墙
图 1a	窗上带破坏	学校	否	否
图 1b	窗间墙破坏	住宅	否	有
图 1c	窗上带破坏	住宅	否	有
图 1d	窗间墙与窗上带协同破坏	公寓	有	有

按照第一次全国自然灾害风险普查工作要求,抽样调查原则如下:按照不低于普查房屋面积1%的抽样率,同时满足超过8层以上的高层房屋建筑抽样详查的面积不高于抽样详查总数据量的30%;除高层以外,其他各种结构房屋建筑的抽样详查数量不低于5栋;各种结构房屋建筑抽样详查考虑地理因素,尽量做到均匀分布;城区收集到图纸信息的建筑物面积占比不少于总抽样面积的80%。

1.1 抽样调查情况

本次房屋抽样详查共完成78栋,抽样点分布如图3所示,面积为209 262.48 m²。其中,有完整建施图和结施图的40栋;有简易草图的38栋(1栋框架结

构、17栋土木结构、10栋砖混结构及10栋砖木结构),面积为4 329.5 m²,占抽样总面积的2.1%。



①窗间墙高;②窗间墙宽;③窗上带高;④窗上带宽

图2 学张乡为民服务中心窗间墙和窗上带示意图

Fig. 2 Schematic diagram of walls between windows and lintels above windows in Xue Zhang Township community service center

本次调查砖混结构建筑30栋,占调查总栋数的42.25%(见图3),中心城区以行政办公楼、住宅楼、学校、医院为主,乡镇主要以民宅、政府办公楼、卫生院、乡镇学校为主,各乡镇抽样砖混结构房屋(以下简称砖混房屋)栋数占比情况如表2所示。从建设年代上看,基本涵盖20世纪70年代至今各个时期。地理上覆盖芮城县7镇3乡。现场调查显示,部分70年代和80年代建筑存在构造柱和圈梁缺失、墙体腐蚀掉皮、地基不均匀沉降等风险隐患。本文分析30栋砖混建筑窗间墙与窗上带之间的尺寸和刚度比,并评价其抗震性能。

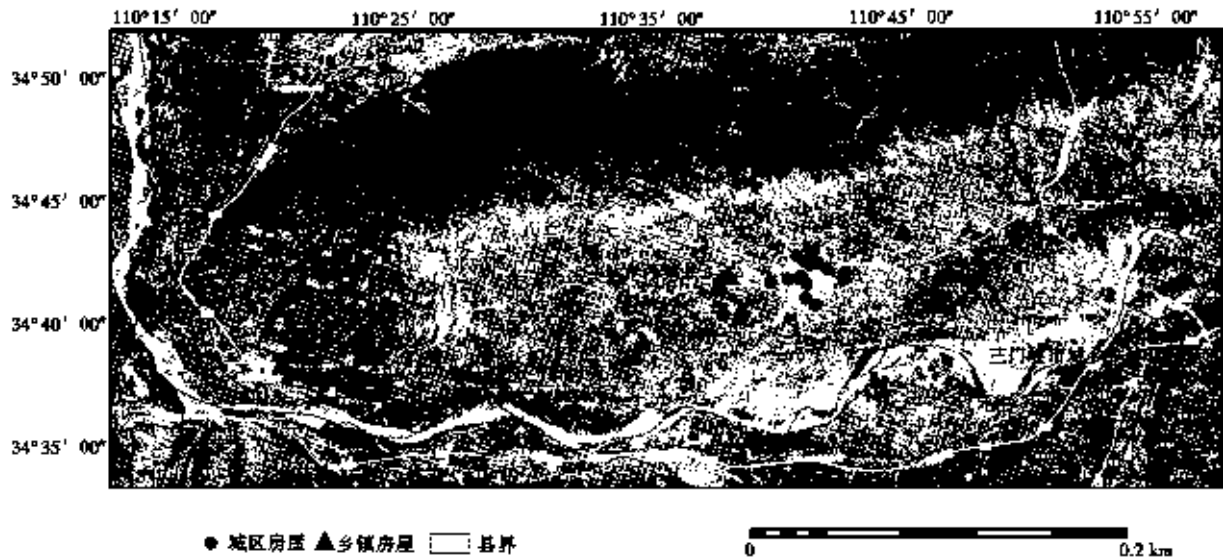


图3 房屋抽样详查对象分布图

Fig. 3 Distribution of sampled detailed inspection objects

表2 芮城县乡镇砖混结构房屋抽样统计
Table 2 Sampling statistics of reinforced brick structure houses in Ruicheng County townships

乡镇街道	房屋栋数	占比(%)
古魏镇	16	53
永乐镇	5	17
学张乡	2	7
南卫乡	1	3
陌南镇	3	10
风陵渡镇	1	3
大王镇	2	7
总计	30	100

1.2 地质构造和基本设防烈度

芮城县地处中条山隆起区南侧,新生代的始新世—渐新世,灵宝盆地作为汾渭断陷带的一部分断陷沉降,到晚第三纪的中新世时期由前期的断陷沉降转为

抬升,直到上新世又开始转为断陷沉降。因此,盆地内缺失中新统地层,上新统不整合堆积于下第三系地层之上。上新世的断陷沉降一直延续到第四纪的早、中更新世,因而堆积上新统和下、中更新统的河湖相沉积,晚更新世以来以黄土堆积为主,其沉积特征基本不反映盆地的构造沉降状态,但全新世构造活动在汾渭断陷带造成地裂缝发育、河道变迁、古地震等多种现象^[7-9],需重视构造活动引起的建筑物或构筑物损毁破坏。灵宝盆地第三纪断陷幅度3500m,第四纪断陷幅度约500m,盆地内断陷最深部位在灵宝一带。

芮城县城周围25km内共发生 $M \geq 4.7$ 地震5次,最大为1815年平陆 $6\frac{3}{4}$ 级地震。芮城县古魏镇以西地区位于峰值加速度0.20g,基本设防烈度为VIII度;古魏镇及以东地区位于峰值加速度0.15g,基本设防烈度为VII度(见图4)。

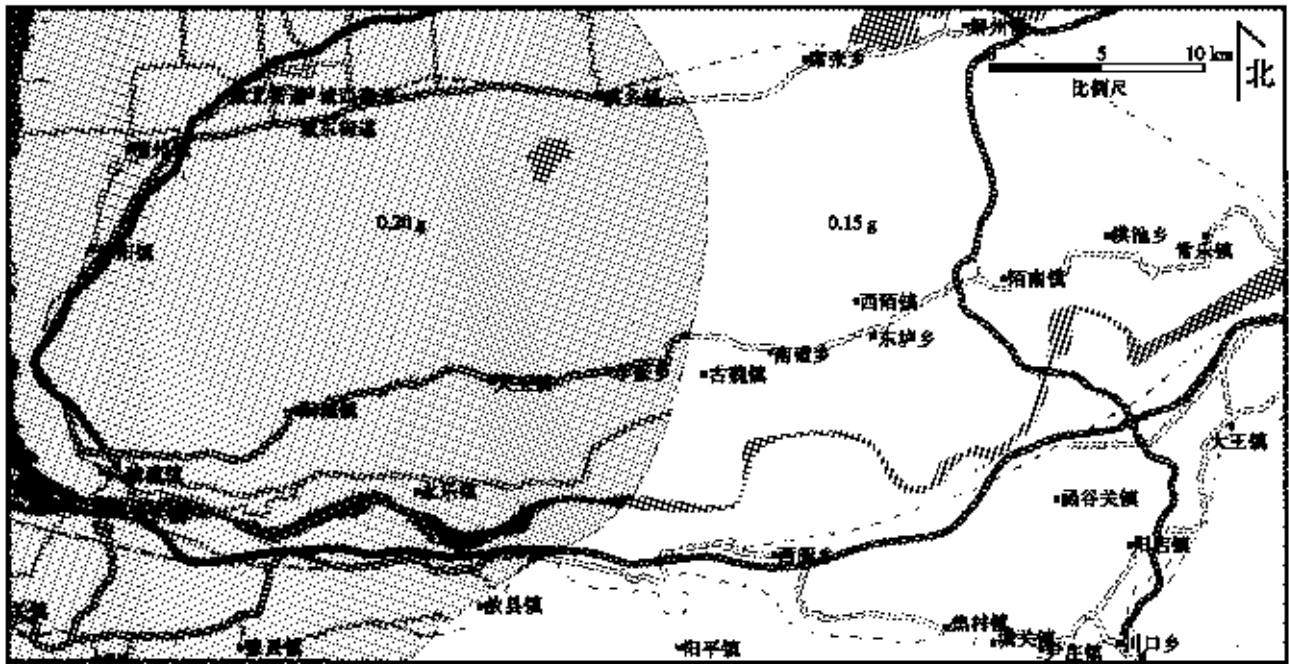


图4 芮城县抗震设防参数图
Fig. 4 Seismic design parameters for Ruicheng County

2 砖混房屋抗震性能判定

2.1 基于窗上带与窗间墙关系的砖混房屋抗震性能评估标准

对于有圈梁、构造柱的砖混砌体结构房屋,窗间墙宽与窗上带高的比值小于1.0时,主要出现窗间墙破坏;当比值大于1.3时,全部为窗上带体破坏。窗上带跨高比与窗间墙高宽比的比值在0.8~1.2时,协同破坏和窗上带破坏均有可能发生;比值大于1.2时,破坏

位置主要在窗上带体上。窗间墙与窗上带刚度比在0.8~1.6时,三种破坏均有可能发生;比值大于1.6时,主要为窗上带体破坏^[1]。

为便于评价,参考《房屋完损等级评定标准(试行)》的相关规定;房屋完损状况,根据各类房屋的结构、装修、设备等组成部分的完好、损坏程度,分成下列各类:完好房、基本完好房、一般损坏房、严重损坏房(分别对应本文总体评价的好、一般、较差、差)^[10]。评判标准如表3所示。

表3 芮城县砖混结构房屋抗震性能评价标准^[1]

Table 3 Seismic performance evaluation criteria for reinforced brick structure houses in Ruicheng County

等级	总体评价	标准
完好房	好	抗震设防措施规范,建筑结构基本完好,柱体、梁及其关键节点完好无破损,承重墙体无破裂
基本完好房	一般	采取一定的抗震措施,建筑结构基本完好,柱体、梁及其关键节点基本无破损,承重墙体轻微开裂或腐蚀,承重功能基本不受影响
一般损坏房	较差	采取一定的抗震措施,建筑结构不合理或柱体、梁及其关键节点轻微破损,承重墙体有轻微开裂或变形现象
严重损坏房	差	没有采取抗震措施,建筑墙体严重开裂、歪闪或变形,建筑主体出现不均匀沉降

结合冯丽丽研究成果^[1],设定判别标准为:有圈梁抗震柱的房屋窗间墙宽与窗上带高之比、窗上带跨高比与窗间墙高宽比、窗间墙与窗上带刚度比三项均符合要求,以窗上带发生破坏为主,保持房屋整体结构,判定为好;有两项符合要求,破坏形成以窗间墙、窗上带协同破坏为主,房屋整体结构保持较好,判定为较好,介于好和一般等级之间;有一项符合要求,破坏形成以部分窗间墙、窗上带协同破坏,部分窗间墙破坏,判定为一般;无符合要求项,房屋以窗间墙破坏为主,出现结构受损情况,判定为较差;无圈梁构造柱砖混房屋的抗震性能判定为差^[12-13]。

2.2 城区砖混房屋窗间墙与窗上带尺寸和刚度比及抗震性能

从芮城县中心城区抽样的16栋砖混房屋来看,均设圈梁、构造柱,窗间墙宽与窗上带高之比符合要求的有4栋,窗上带跨高比与窗间墙高宽比符合要求的有5栋,同时符合这两项要求的有2栋。由于使用材料性能一致,窗间墙与窗上带刚度比均不符合要求(见表4)。

综合判定得出,抗震性能较好的有2栋,一般的有5栋,较差的有9栋,表明建筑物虽有圈梁、构造柱,但窗间墙与窗上带尺寸近一半设计不合理,容易使承重墙或柱子发生损坏,影响房屋整体的抗震性能。

2.3 乡镇砖混房屋窗间墙与窗上带尺寸和刚度比及抗震性能

对于无圈梁、构造柱的结构,当窗间墙宽与窗上带高的比值小于0.8时,主要出现窗间墙破坏的情况;比值大于1.4时,主要出现窗上带破坏。窗上带跨高比与窗间墙高宽比的比值大于1.4时,主要出现窗上带破坏;在0.5~1.4时,三种破坏模式均有可能发生。窗间墙与窗上带刚度比大于1.6时,主要出现窗上带

破坏;在0.8~1.6时,可能出现协同破坏和窗上带破坏,但以出现窗上带破坏为主^[1]。

表4 城区砖混结构房屋窗间墙与窗上带尺寸比例及抗震性能

Table 4 Proportions and seismic performance of walls between windows and lintels in urban reinforced brick structure houses

房屋名称	窗间墙宽与窗上带高之比	窗上带跨高比与窗间墙高宽比	窗间墙与窗上带刚度比	是否有圈梁、构造柱	抗震性能判定
顺龙佳园民居	1.5	1.1	1.0	有	一般
芮城汇福化工有限公司办公楼	0.6	0.7	1.0	有	较差
安居南区民居1	1.3	1.0	1.0	有	较差
安居南区民居2	1.1	1.3	1.0	有	一般
奥运花园民居	1.0	0.8	1.0	有	较差
西港花园民居	0.7	0.6	1.0	有	较差
丰盛园民居	1.3	1.8	1.0	有	一般
佳禾苑民居	0.8	0.6	1.0	有	较差
芳馨苑民居	1.5	1.2	1.0	有	一般
西宝佳园民居	1.8	1.8	1.0	有	较好
西港花园民居	0.7	0.6	1.0	有	较差
西楚名都民居	0.7	0.5	1.0	有	较差
嘉源小区民居	1.2	1.2	1.0	有	较差
城南村民居	1.1	1.8	1.0	有	一般
西张村民居	2.6	3.1	1.0	有	较好
县城西边民居	0.9	0.4	1.0	有	较差

从芮城乡镇抽样的14栋砖混房屋来看,8栋有圈梁、构造柱,窗间墙宽与窗上带高之比符合要求的有1栋,窗上带跨高比与窗间墙高宽比符合要求的有1栋,同时符合这两项要求的有1栋。由于使用材料性能一致,窗间墙与窗上带刚度比均不符合要求(见表5)。

芮城乡镇抽样房屋中有6栋无圈梁、构造柱的砖

混房屋,根据表1,这6栋房屋的抗震性能差,容易发生窗间墙破坏、结构倒塌。

依据有圈梁、构造柱的结构判定标准,综合判定乡镇砖混房屋抗震性能较好的有1栋,较差为7栋,表明乡镇砖混房屋虽有圈梁、构造柱,但窗间墙与窗上带尺寸设计大多不合理,容易使承重墙或柱子发生损坏,影响房屋整体的抗震性能。

表5 乡镇砖混结构房屋窗间墙与窗上带尺寸比例及抗震性能
Table 5 Proportions and seismic performance of walls between windows and lintels in rural reinforced brick structure houses

房屋名称	窗间墙宽与窗上带高之比	窗上带跨高比与窗间墙高宽比	窗间墙与窗上带刚度比	是否有圈梁、构造柱	抗震性能判定
永乐镇蔡村民房1	0.3	0.2	1.0	否	差
永乐镇蔡村民房2	0.4	0.9	1.0	否	差
永乐镇蔡村民房3	0.2	0.1	1.0	否	差
永乐镇蔡村民房5	0.2	0.1	1.0	否	差
永乐镇蔡村民房6	0.3	0.3	1.0	有	较差
学张乡便民服务中心	0.7	0.3	1.0	有	较差
学张乡学张小学综合楼	1.1	0.6	1.0	有	较差
南卫乡东石门村民房	0.6	0.6	1.0	有	较差
陌南镇福源小区民房1	0.8	1.2	1.0	有	较差
陌南镇民房2	0.4	0.6	1.0	否	差
陌南镇府东小区民房3	0.5	0.2	1.0	否	差
风陵渡镇亚家药业集团股份有限公司仓库	0.5	0.3	1.0	有	较差
大王镇民房1	1.5	1.3	1.0	有	较好
大王镇民房2	0.4	0.1	1.0	有	较差

3 结论与讨论

汶川地震中,许多砖混房屋发生破坏甚至倒塌,通过震害总结、统计和有限元印证,认为砖混房屋符合窗间墙与窗上带墙尺寸和刚度比要求时,在地震作用下,窗上带结构优先出现损伤,次之为窗上带和窗间墙协

同破坏,可最大限度地发挥结构的材料性能,增加房屋延性,减少房屋毁坏或倒塌。

对芮城县城区和乡镇抽样详查的30栋砖混房屋判断结果来看,城区16栋有圈梁、构造柱的,完全符合窗间墙与窗上带尺寸设计和刚度比例关系的有0栋,7栋部分符合,9栋均不符合,影响房屋的抗震性能。乡镇14栋砖混房屋中,8栋有圈梁、构造柱,仅有1栋部分符合要求,其余均不符合评判要求;还有6栋为无圈梁、构造柱,抗震性能差。总体来看,芮城县城区砖混房屋抗震性能判定为一般—较差级别,乡镇砖混房屋抗震性能判定为较差—差。因此,建议加强农村自建砖混房屋抗震设计指导,加强对中心城区房屋建筑的抗震设防管理,不断提升城乡房屋的抗震性能。

需要说明的是,由于抽样样本有限,评判结果与实际情况可能存在偏差,后续将开展更多工作进行数据更新,使分析结果更趋于真实情况。

参考文献:

- [1] 冯丽丽,地震作用下砖混砌体结构房屋损伤顺序与破坏模式研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
- [2] 张璇,多层砌体结构延性破坏模式的调查与研究[D].西安:西安建筑科技大学,2010.
- [3] 夏云霞,砌体结构窗上带的震害机理研究[D].哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2011.
- [4] 李辉,砖混结构窗间墙与窗上带关系对其整体抗倒塌性能的影响研究[D].吉林:吉林大学,2012.
- [5] 李碧雄,谢和平,王哲,等.汶川地震后多层砌体结构震害调查及分析[J].四川大学学报(工程科学版),2009,41(4):20-25.
- [6] 孙景江,唐玉红,孙忠贤,等.汶川地震震度和Ⅳ度区城市房屋震害及若干典型震害讨论[J].地震工程与工程振动,2009,29(6):65-73.
- [7] 马秀芳,赵晋泉,曾金艳,等.山西清徐地裂缝分布、类型与建筑物避让距离确定[J].山西地震,2023(1):20-23.
- [8] 闫小兵,周永胜,李自红,等.山西浮山断裂的晚第四纪活动与位移速率[J].地震地质,2022,44(1):35-45.
- [9] 闫小兵,周永胜,李自红,等.1695年临汾 $7\frac{3}{4}$ 级地震发震构造研究[J].地震地质,2018,40(4):883-902.
- [10] 中国地震局地球物理研究所,中国地震灾害防御中心,中国地震局工程力学研究所,等.GB 18306-2015中国地震动参数区划图[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [11] 谢瑞杰,管斌,樊冬,等.典型矿业城市建筑物抗震安全性能调查与分析—以铜峪市为例[J].华北地震科学,2020,38(1):77-83.
- [12] 城乡建设环境保护部.房屋完损等级评定标准(试行)(城住字(1984)第678号)[S],1984.
- [13] 雷静雅,王开岭,胡坚,等.钟祥市农村民居抗震性能调查[J].大地测量与地球动力学,2013,33(增刊1):133-139.

(英文摘要见第18页)

·地震活动性·

文章编号:1000-8265(2023)04-0013-06

基于“区域-时间-长度算法”的傅里叶变换分析 华北地区6级以上地震活动性变化规律

贺劲松,卫超

(焦作市地震台,河南 焦作 454100)

摘要:“区域-时间-长度算法”(Region-Time-Length algorithm)是描述某地区地震活动水平与其本底地震活动水平偏离程度的一种研究方法,在国外多个强震中前得到应用检验。本文利用这一方法对1970年以来华北地区8次有较大影响的6.0级以上强震前的地震活动变化进行检验,全部出现地震活动增强的现象,异常持续时间在5~24个月,异常幅度偏离背景值幅度较大,异常现象较明显,为华北地区区域地震活动性异常指标研究提供新的参考。同时运用傅里叶变换,将得到的时域值转换为频域值,进一步提升这种方法的可操作性。通过研究发现,其在变化过程中持续上升的阈值很难把控,异常达到具体阈值时还需做进一步的分析研究。

关键词:地震活动性;区域-时间-长度算法;傅里叶变换;华北中强地震
中图分类号:P315.5 **文献标志码:**A

0 引言

地震活动性研究主要运用数学模型与基于特定物理意义的一些算法,在地震活动的实际检验与预测中主要起到统计学上的概率作用,从概率的高低来判定某种方法与地震活动性变化对应关系的高低。各种计算方法与大量时空演化结果表明,特定区域强震发生前有各自的变化规律,这也是由地震类型的多样性决定的^[1]。我国幅员广大,地质构造复杂,依据地震活动性和地质构造特征,划分为7个地震区^[2],各种研究方法对不同地震区的研究结论不同,应加以区别分析。华北地区具有人员密集、经济发达、中强震大多数为单发的特点。本文基于“区域-时间-长度算法”(Region-Time-Length algorithm,以下简称RTL算法),对华北地区地震活动水平进行定量分析,得到华北地区中强震前地震活动性异常的统计指标,同时运用RTL算法对其他区域开展研究,进行验证与比较。大量的研究成果表明,7级以上强震前的RTL值常表现为平静异常,出现于1.5~3.5 a,持续时间大约0.5~2.5 a。刘月^[3]等对地震活跃、强震频发的川滇地区7级与6级以上地震进行RTL值研究得出,7级以上地震为负异常,异常在震前9~29个月出现,持续6~24个月不等;6.0~6.9级地震的异常主要表现为地震活动增强后出现平静异常或直接检测到地震活动增强,异常多出现于震前7~30个月,持续时间7~24个月。

基于之前运用RTL方法对强震研究取得的成果,本文利用该方法对华北地区几次 $M_s 6.0$ 以上地震前的活动特征进行计算,对RTL值在强震前随时间演化特征进行分析。在此基础上,运用傅里叶变换,将得到的时域值转换为频域值,进一步提升该方法的可操作性。

1 RTL原理及方法

Sobolev和Tyupkin提出Region-Time-Length(RTL)算法^[4],以定量检测地震活动偏离背景水平的程度。其原理为对于给定点 (x, y) 在 t 时刻的RTL值可定义为震中距、时间及破裂尺度函数分别除以各自标准差后的乘积。即在给定时刻前、给定震中距及破裂尺度情况下的某给定点与研究区域地震活动的偏离程度。在 t 时刻之前发生的地震与研究点 (x, y) 的震中距函数 $R(x, y, t)$ 、时间函数 $T(x, y, t)$ 、破裂尺度函数 $L(x, y, t)$ 及RTL (x, y, t) 分别表示为:

$$R(x, y, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_0}\right) \right] - R_{bk}(x, y, t), \quad (1)$$

$$T(x, y, t) = \left[\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_{bk}(x, y, t), \quad (2)$$

$$L(x, y, t) = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{r_i}\right) \right] - L_{bk}(x, y, t), \quad (3)$$

$$RTL(x, y, t) = \frac{R(x, y, t)}{\sigma_R} \cdot \frac{T(x, y, t)}{\sigma_T} \cdot \frac{L(x, y, t)}{\sigma_L}. \quad (4)$$

收稿日期:2022-04-10

第一作者简介:贺劲松(1976—),男,山西定襄人,工程师,主要从事地震监测预报和震害防御工作,E-mail:13569199381@126.com。

地震破裂尺度 l 用郭建增等给出的公式:

$$l = 10^{\frac{1.13M_i - 0.36}{1.7}}, \quad (5)$$

式(1)–(5)中: r_i 表示第 i 个地震与点 (x, y) 的距离; r_0 为特征距离; t_i 与 l_i 表示第 i 个地震的发震时间和破裂尺度; t_0 为特征时间; $(t - 2t_0, t)$ 为一个计算周期; $R_{bk}(x, y, t)$ 、 $T_{bk}(x, y, t)$ 、 $L_{bk}(x, y, t)$ 分别代表震中距函数、时间函数和破裂尺度函数的背景值, 分别由式(1)、(2)、(3)中右边第一项的均方根求得。为使计算结果不为空值, 对震级、距离、时间和深度做如下规定:

$$M_i \geq M_{\min}, \quad (6)$$

$$r_i \leq R_{\max} = 2r_0, \quad (7)$$

$$t_i \leq T_{\max} = 2t_0, \quad (8)$$

$$d_i \leq d_0, \quad (9)$$

式(6)–(9)中: M_i 为第 i 个地震的震级; M_{\min} 通常取研究区域最小完备性震级; d_i 为第 i 个地震的深度; d_0 为截止深度。对满足以上条件规定的地震个数记作 n 。由以上公式与约束条件看出, 距离点 (x, y) 越远, 与 t 的时间间隔越长, 破裂尺度越小的地震对 (x, y, t) 的影响越小, 反之越大。把 RTL 值看作地震活动水平相对于研究区域研究时段内相对背景的变化值, 即可表征相对于当地地震背景值的活动增强还是异常平静。

2 华北地区 6 级以上地震前 RTL 值异常分析

2.1 资料选取

1970 年以来, 华北地区 ($\lambda_E 108^\circ \sim 122^\circ$, $\phi_N 32^\circ \sim$

42°) 发生有较大影响的 6 级以上地震 8 次 (不包括 1976 年和林格尔 6.2 级地震, 因相关地震目录修订前其震级小于 $M_S 6$), 最大为河北唐山 1976 年 7 月 28 日发生的 7.8 级地震, 其余 7 次均为 6.0~6.9 级。本文选取中国地震台网中心整编的 1970 年以来全国统一正式地震目录 (震级标度 M_L), 以某强震震中范围 $3^\circ \times 3^\circ$ 进行选取, 选取地震及震中位置如表 1 所示。

根据其他地区震例分析, 在主震震级大于之前发生所有地震的前提下, 一般取主震前 6 a 的资料或更长时间段。考虑到华北地区小震活动较西北、川滇地区弱, 本文取特征周期 t_0 为 12 个月, 滑动步长为 10 d, 即第一个数据结果点为起始时间点后 2 a。截止深度 $d_0 = 50$ km, 按华北地区地震深度的统计结果, 仅小于 0.1% 的地震未参与计算。根据最大曲率法 (MAXC) 和拟合度为 95% 的拟合度检测 (GFT) 法, 定量计算区域地震最小完备性震级。对于 Δr_0 , 本文分别研究 6 级以上地震前 $r_0 = 50$ km、 $r_0 = 75$ km、 $r_0 = 100$ km 的不同结果, 并分析各距离下的异常结果。震例及相关参数如表 1 所示。

2.2 RTL 值与华北地区 6 级以上地震在时间上的关系

运用上述计算及资料选取参数的方法, 统一给出 $r_0 = 50$ km 时华北地区各强震前 RTL 值随时间的变化关系 (见图 1)。由图 1 看出, 华北地区强震前的 RTL 值均表现为正向异常, 即地震活动相对于背景值的增强, 其变化形态大致可分为三类。

表 1 选取震例及相关计算参数

Table 1 Selected earthquake examples and related parameters

序号	震中地名	发震时间	震中位置		震级 M_S	M_{\min}	$R_0/(km)$	异常情况
			纬度	经度				
1	河北唐山	1976-07-28	39°38'	118°11'	7.8	2.0	50~100	增强
2	内蒙古五原	1979-08-25	41°14'	108°07'	6.3	2.3		
3	河北宁晋	1981-11-09	37°26'	114°58'	6.1	2.0		
4	山东菏泽	1983-11-07	35°16'	115°17'	6.2	2.2		
5	南黄海	1984-05-21	32°39'	121°36'	6.2	2.0		
6	山西大同—阳高	1989-10-19	39°51'	113°49'	6.1	2.0		
7	内蒙古包头	1996-05-03	40°47'	109°41'	6.4	2.0		
8	河北张北	1998-01-10	41°06'	114°18'	6.2	2.0		

第一类为地震活动缓慢增强, 以唐山、菏泽地震为代表。唐山地震前从 1974 年 7 月开始, RTL 值出现缓慢上升的趋势, 表明地震活动性较整体背景开始增强, 这一趋势持续至 1976 年 1 月, 持续时间 18 个月, 而后加速上升至发震, 历时 6 个月, 总异常时间大致为 24 个月。菏泽地震前, 整体地震背景值偏高, 1982 年 1 月后出现 RTL 值慢速上升的趋势, 随着主震临近, 不断起伏升高, 但未出现急剧升高的过程, 在该区域不断升高的地震活动背景下发震。

第二类为地震活动急剧增强, 以五原、宁晋、大同—阳高、包头地震为代表, 其中五原地震最为突出。五原地震前, 长期保持较低的地震活动水平, 1979 年 3 月至 6 月, 出现一次较明显的上升过程, 6 月至 8 月 25 日发震前, 出现明显的陡然升高, 幅值变化成为华北地区 RTL 的最高值, 异常极为明显。宁晋地震表现为 1980 年 6 月至 1981 年 4 月出现缓慢向上趋势, 4 月至 11 月发震前出现加速上升。大同—阳高地震的情况与之类似, 也表现为先缓升后急升的态势。包

头地震前期的RTL值变化较缓慢,至1995年5月,形态发生变化,表现为连续急升的形态至发震。

第三类为RTL值出现高值再突然下降后发生地震,以南黄海与张北地震为代表。南黄海地震前,1982年7月出现突变升高后,持续高值异常至1984年3月,持续时间近20个月,其后突然降低后发震。张

北地震前,经过1年半的缓慢上升后出现加速上升,1997年5月至9月处于高值异常,异常持续5个月后突然下降发震。从RTL值本身意义来讲,在华北地区随时间变化的三种类型可归纳为小震活动缓慢增强、小震活动突然增强、小震活动增强后突然平静,这也与华北地区易发强震的几种类型一致。

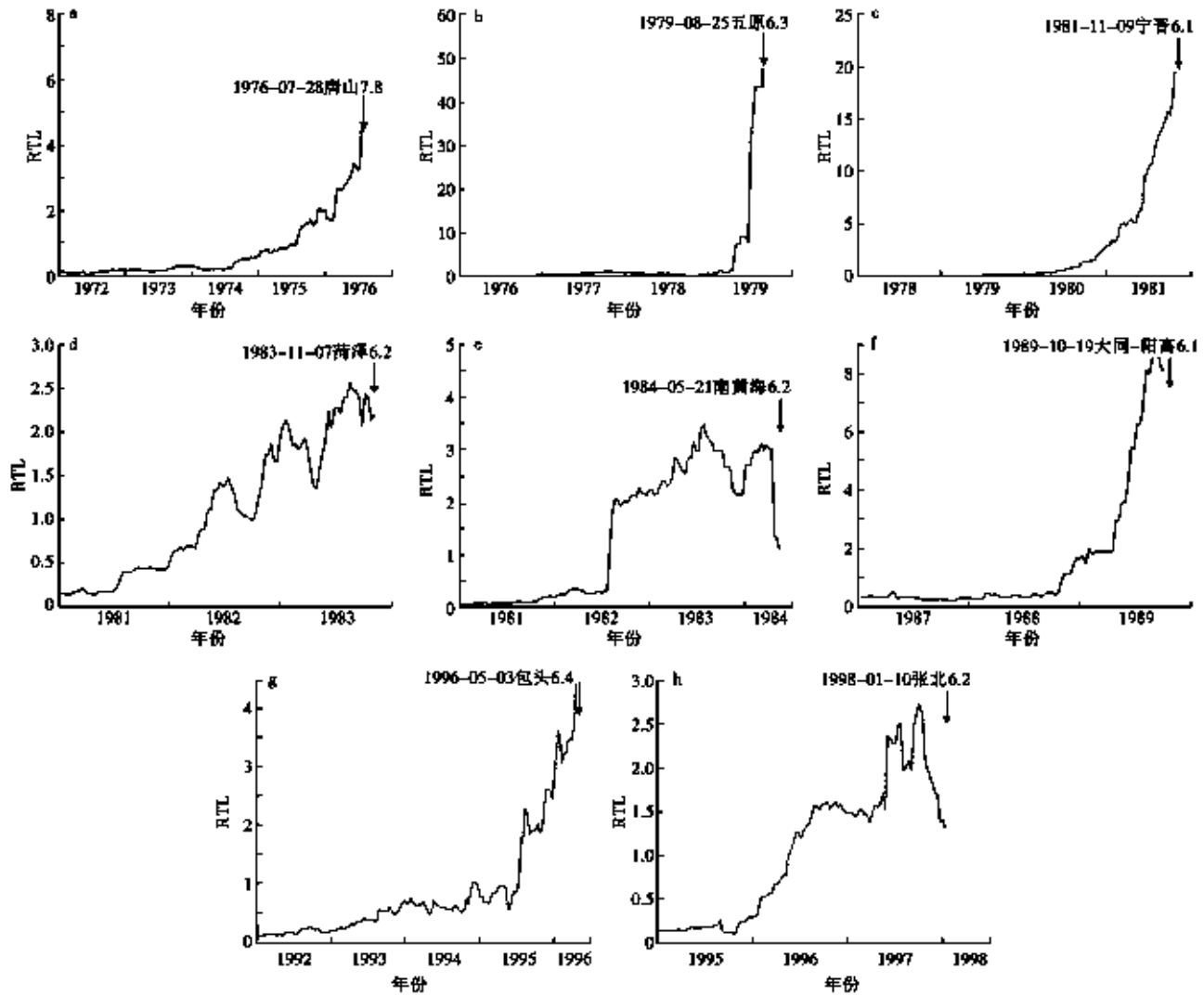


图1 华北地区6级以上地震前RTL值随时间变化曲线

Fig.1 Temporal variation curve of earthquakes of magnitude 6 and above in the North China region

RTL值在华北地区的计算结果表明,该区6级以上强震发生前的地震活动水平较本底地震水平平均出现增强的趋势,异常持续时间为5~24个月不等,因地震类型不同表现出不同的异常形式。为明确特征距离 r_0 的选取对华北地区中强震前RTL值的影响情况,对上述的8次地震分别选取 $r_0=50\text{ km}$ 、 $r_0=75\text{ km}$ 、 $r_0=100\text{ km}$ 进行比较,结果表明仅在幅值大小上存在差异,基本变化形态均一致。下面以不同特征距离时

的唐山、宁晋地震为例进行分析(见图2、图3)。

唐山地震的RTL值,采用特征距离 $r_0=50\text{ km}$ 更能突出异常快速发展的阶段,引起对该地区的高度重视,进行有效的异常识别与主震预测。宁晋地震RTL值曲线表现为在1981年5月前,选取不同特征距离在形态上基本无差别;之后, $r_0=50\text{ km}$ 与 $r_0=75\text{ km}$ 对应的形态基本无差别, $r_0=100\text{ km}$ 的表现为幅值的异常加速升高。因此,笔者认为不同区域不能机械地选

取特征距离 r_0 , 应根据最能突出本地区地震活动异常的特征 r_0 进行计算与判定。

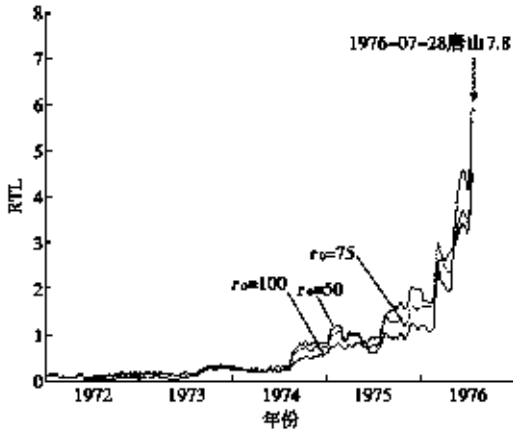


图2 唐山地震不同特征距离下 RTL 值随时间变化曲线
Fig. 2 Temporal variation curve of RTL values at different characteristic distances for the Tangshan earthquake

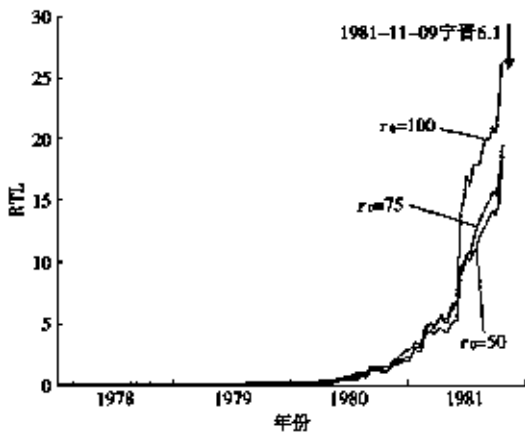


图3 宁晋地震不同特征距离下 RTL 值随时间变化曲线
Fig. 3 Temporal variation curve of RTL values at different characteristic distances for the Ningjin earthquake

本文对最小完整性震级 M_c 进行拟合计算时, 选取最小 M_c , 在实际工作中对 M_c 进行拟合计算耗时较多, 因此对最小 M_c 上下浮动进行比较, 浮动震级差为 0.1。采用 $M_c = M_s, 1.9 \sim 2.4$, 对 8 次地震 RTL 值进行检验的结果表明, 大多数情况下最小 M_c 的变化对 RTL 值变化形态与幅度的影响关系不大, 如包头地震的分析结果(见图 4)。有时存在最小 M_c 的选取对变化形态无影响, 但对变化幅度存在一定的影响(见图 5)。

蒋海昆等^[4]应用 RTL 方法, 系统研究华北地区 1970—1999 年 32 次 5 级以上地震前的中短期异常特征(包括本文研究范围内的所有地震)。与其计算结果相比, 地震前 RTL 值的基本形态二者一致, 本次研究的临震异常更加明显, 异常幅度较以前的研究更加突出。

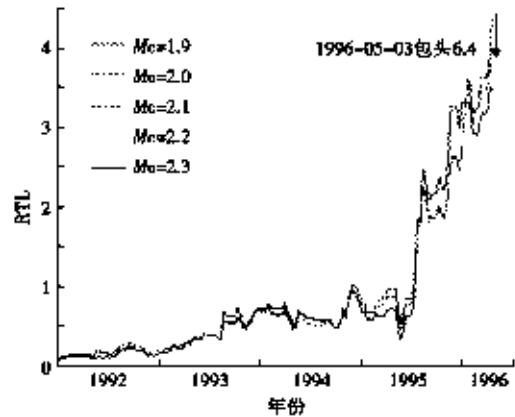


图4 包头地震不同完整性震级下 RTL 值随时间变化曲线
Fig. 4 Temporal variation curve of RTL values at different completeness magnitudes for the Baotou earthquake

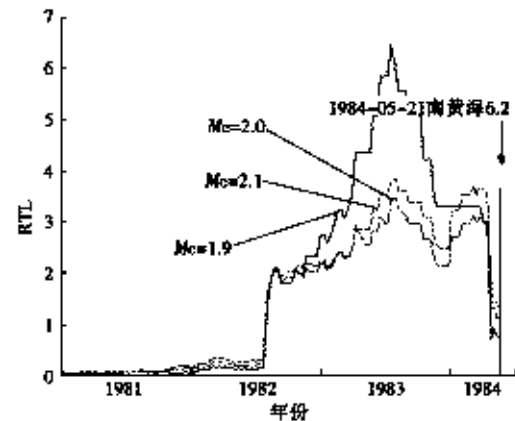


图5 南黄海地震不同完整性震级下 RTL 值随时间变化曲线
Fig. 5 Temporal variation curve of RTL values at different completeness magnitudes for the South Yellow Sea earthquake

3 RTL 值的傅里叶变换

通过上述分析可知, RTL 值在华北 6.0 级地震前有着较明显的变化特征, 高低值异常与地震的发生有一定的对应关系, 但仅凭此很难做出可操作性强的预报意见。本文试图通过傅里叶变换, 将时域信息转换为频域信息, 从不同角度分析地震前的异常信息。

利用传统功率谱对 RTL 进行频谱分析, 直接用傅里叶变换得到^[5]。将随机信号 $x(n)$ 的 N 个样本值 $X_N(n)$ 看作是有限信号, 通过取其傅里叶变换, 得到 $X_N(\omega)$, 再取其幅值的平方, 除以 N 作为 $X_N(n)$ 的真实功率谱 $P(\omega)$ 的估计, 即:

$$P(\omega) = \frac{1}{N} |X_N(\omega)|^2,$$

式中: $P(\omega)$ 为真实功率谱, 单位为 dB; ω 为角频率, 单

位为 rad。

通过反傅里叶变换函数设计一个低通滤波器,设置一定的截止低通频率,得到滤波后的结果。

求得每个中强地震前对应的功率谱后,通过反傅里叶变换低通滤波器,低通截止频率为每个地震前对应功率谱的主要频段值。图6为经过低通滤波处理后的所研究中强震 RTL 值曲线(图中竖向直线表示地震发生时间)。

与未进行傅里叶变换的 RTL 原始曲线相比,原始曲线多表现为在异常上升过程中发震,异常持续上升,何时达到临界值很难把控,这也是蒋海昆等应用 RTL 方法未解决的问题,仅从公差统计的角度给出异常判定分析,会出现大量的漏报与虚报。运用傅里叶变换后,一般表现为达到异常高点向下转折后发生地震,异常持续时间为5~24个月不等,提升 RTL 方法的预报效果。

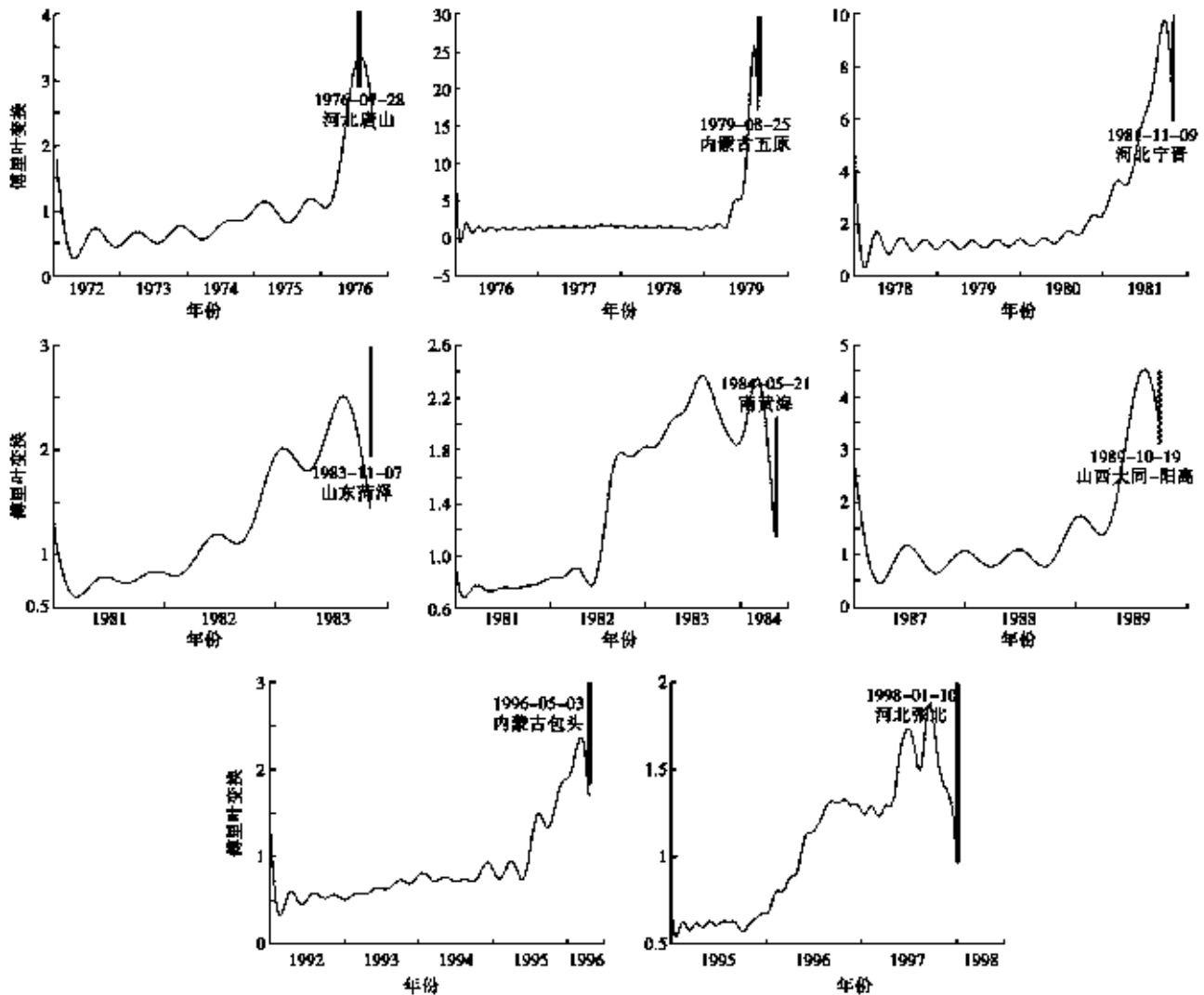


图6 华北地区6级以上强震 RTL 值的傅里叶变换随时间变化曲线

Fig. 6 Temporal variation curve of Fourier Transform of RTL values for earthquakes of magnitude 6 and above in the North China region

4 结论与讨论

对华北地区1970年以来的8次6级以上地震利用 RTL 方法进行回顾性检测,利用不同参数进行异常变化趋势与幅值的检验,得到华北地区中强震前 RTL 值的变化规律,同时运用傅里叶变换,获取强震

发生的预测信息。

华北地区6级以上强震前,RTL 值的变化规律为逐步或快速升高,表现为地震活动偏离背景值而增强,这与华北地区区域力学背景、断层性质与构造特征相符合。

地震前,异常持续时间为5~24个月不等,异常指

标较显著。在山东菏泽、南黄海及河北张北地震异常最明显阶段前,出现与异常相似的高值异常,对准确预测地震的发生有一定的影响,应根据当地历史地震活动情况并结合地震地质构造背景异常趋势进行综合预测分析。

本文仅以华北地区有较大影响的6级地震震中范围为研究对象,利用特定区域内的地震资料及计算方法对震前异常进行提取与分析,取得较好的研究结果,无漏报现象,但对幅值上升到何种程度时定为异常还缺少定量化指标。在日常的分析预报工作中,特定研究点及其周边地震资料的选取会对计算结果产生较大影响,特别是利用这种方法对长时间、大范围的地震分析预报效果会降低,出现漏报及虚报的情况。

参考文献:

[1] 杨立明,石特临,郭大庆.地震活动非线性行为的数学建模[J].地震学报,1995,17(2):180-187.
 [2] 高孟潭.GB18306-2015《中国地震动参数区划图》宣贯教材[M].北京:中国标准出版社,2015.
 [3] 刘月,吕晓健,田勤俭.基于“区域-时间-长度算法”分析川滇地区强震前地震活动性变化[J].地震,2016(02):94-104.
 [4] 蒋海昆,侯海峰,周焕鹏,等.“区域-时间-长度算法”及其在华北中强地震中短期前兆特征研究中的应用[J].地震学报,2004,26(2):151-161.
 [5] 薛山.MATLAB基础教程(第二版)[M].北京:清华大学出版社,2015.

Seismicity Regularity of $M \geq 6$ in North China Based on the Analysis on the Fourier Transform of the "Region-Time-Length Algorithm"

HE Jinsong, WEI Chao

(Jiaozuo Seismic Station, Jiaozuo, Henan 454100, China)

Abstract: "Regional-Time-Length Algorithm" is a research method that describes the deviation of seismic activity level in a certain region from its background seismic activity level. In this study, this method is applied to analyze the seismic activity variations before 8 significant earthquakes of magnitude 6.0 and above in the North China region since 1970. The results show that an enhancement of seismic activity is observed in all cases, with abnormal periods ranging from 5 to 24 months and significant deviations from the background level. Additionally, the Fourier Transform is used to convert the obtained time-domain values into frequency-domain values, which further enhances the operability of this method. However, determining the extent to which the amplitude rise can be considered abnormal during the change process requires comprehensive analysis in conjunction with other conditions.

Key words: seismic activity; Regional-time-length algorithm; Fourier Transform; strong earthquakes in North China

(上接第12页)

Assessment of Seismic Performance of Reinforced Brick Structure Houses in Ruicheng County Based on Window Lintel and Wall Between Windows Relationship

HAN Xiaofei^{1,2}, DONG Bin^{1,2}, XUE Xiaodong^{1,2}, SHI Shuangshuang^{1,2}, WANG Lefei^{1,2}

(1, Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030002, China;

2, National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: In order to assess the seismic performance of houses in Ruicheng County, a sampled detailed inspection of building construction was conducted. The investigation covered aspects such as building types, proportional distribution, and spatial arrangement. The seismic performance of reinforced brick structure houses was evaluated, focusing on the relationship between the width of walls between windows and the height of the lintel above windows, the ratio of lintel height to wall height, the ratio of wall height to wall width, and the stiffness ratio between walls between windows and lintels. Additionally, based on the principle that damage often initiates from lintels during earthquakes, and to maximize the protection of seismic columns or load-bearing walls to maintain the rule that buildings do not collapse during significant earthquakes, an evaluation of the seismic performance of 30 reinforced brick houses in Ruicheng County was conducted. The results indicate that the seismic performance of reinforced brick houses in urban areas of Ruicheng County ranges from moderate to poor, while in rural areas, it ranges from poor to very poor.

Key words: seismic performance; walls between windows; lintels above windows; stiffness ratio

· 史海钩沉 ·

文章编号:1000-8265(2023)04-0019-04

不该忘却的地震群测群防

袁正明

(山西省地震局,山西 太原 030021)

摘要:作者是一位地震群测群防的实践者、见证者,通过亲身经历,回顾了地震群测群防队伍组建的历史、发展过程及地震群测群防的主要工作和取得的成绩。指出,地震群测群防在特定的历史时期发挥了巨大作用,在我国防灾减灾史上留下了浓墨重彩的一笔,提醒大家不该忘却这一历史。

关键词:群测群防;队伍建设;发展历程

中图分类号: P315.99

文献标志码: A

0 引言

20世纪60年代末70年代初,周恩来总理提出地震工作要“以预防为主”的方针,地震工作要专群结合、土洋结合、多兵种联合作战、多路探索。

1970年云南通海7.7级地震后,国务院召开第一次全国地震工作会议,周恩来总理到会看望会议代表,并对做好地震工作做出一系列重要指示。根据全国地震工作会议精神和周恩来总理的指示,全国各地开始建立地震群测群防队伍,开展地震知识宣传普及和地震预测预报工作。在周恩来总理的亲自组织和关怀下,我国逐步形成了全国性的地震群测群防工作体系。1976年,全国有群众地震测报点3万余个,业余测报人员20万人。我正是在那个时期与地震工作结下了不解之缘。

地震群测群防队伍是不同于专业地震队伍的一支业余测报地震的队伍,这支队伍由宏观和微观地震测报点组成。宏观测报点负责观测动植物、井水水位、天气等的异常变化,微观测报点则用自制的土仪器观测地震前的地电、地应力、地电阻率、地磁、植物电等的变化。土地电是各微观测报点的标配。

1 群测群防

1973年山西灵丘发生小震群,山西省地震队派员到雁北地区发动群众,宣传地震知识,帮助有条件的学校和生产队建立群众地震测报点,县革委会科技局组织召开建立群众测报点的会议。当时,我在浑源县西坊城中学任教,因我带物理课,校长韩者印派我参加会议,参加会议的还有浑源中学教物理的王禹等中

学老师。

在浑源中学的一间教室内,田伟伦(时任山西省地震队负责人)首先介绍山西及雁北地区的地震趋势;从1966年河北邢台地震后,中国大陆地区进入新的地震活跃期。按照李四光的“山”字形构造理论,恒山山前断裂地区是地震多发区,历史上灵丘于1626年发生过7级地震。现在又发生小震群,要特别警惕。根据毛主席“要打人民战争”的指示,要发动群众搞地震的群测群防。

山西省地震队阎维彰同志也向大家介绍什么是地震,地震的震级、烈度、破坏情况等基本知识;并以安徽省地震队编印的《土法群测群防地震》(书名可能有误)为蓝本,介绍土地电的安装、测报、分析的方法等等。

会后回到学校,我向韩校长做汇报。韩者印是一个乐于接受新鲜事物的人,也是勇于支持做新鲜事情的人。当即决定在西坊城中学搞地震测报点,确定地震测报点由我、张采凤老师负责,将学校图书室旁边的一间教室作为测报点的观测室(见图1)。

为了充实地震知识,我到学校图书室寻找有关地震的书籍,由于“文革”的影响,原本藏书不丰的图书室,藏书就几百册。在这有限的书籍中,竟然奇迹般地找到一本有关地震的小读物,一本日本鸟山英雄编写的《地震云》。我一口气将这两本书从头读到尾,大致弄明白什么是地震,地震是怎样发生的,地震的分类,什么是地震的震级、烈度、震源、震源深度等。知道地震似乎与气象有点关系,地震前有地震云出现等。这两本书就是我们初识地震的启蒙读物。

有一点点知识储备后,决定先从土地电入手进行地震观测。土地电的装置比较简单,把两个埋在土中

收稿日期:2022-09-10

作者简介:袁正明(1946—),男,天津市人,编审,现已退休。

的电极用导线连接起来,接在量程 50 微安或 100 微安、精度在 1.5 级以上的微安表上就可进行观测。

我们选定方位布极法埋设水平土地电,在北—南、东—西、北东—南西、北西—南东 4 个方向各设一个电极,北、东、北东、北西为碳电极,南、西、南西、南东为铅电极。每个方向的极距为 50 米。同时还安装 1 组铅—铅和 1 组碳—碳同性电极的土地电。按当时的说法——我们这是遵照毛主席“自力更生”的教导,土法上马、修旧利废的成果。除土地电外又安装 2 组植物电和地倾斜、地应力、地磁等观测仪器,先后设置 12 种土仪器测报地震的观测项目。

为规范地震仪器的观测,制定《观测规程》,规定观测时间、观测频次,观测要求,记录电流的方向等;印制各仪器的《观测记录表》;绘制日均值、5 日均值或 5 日滑动值曲线。

1973 年 11 月,西坊城中学地震测报点正式开始地震测报工作。从各个班选了约 30 名认真负责的同学担任观察员,老师负责数据分析。测报点的师生“一颗红心为革命,搞好测报为人民”,坚持按时观测、准确记录、细致分析、及时上报,每日对大量观测数据及时进行处理,绘制日均值图、5 日滑动值图、5 日均值图,必要时还绘制重点值图、瞬时值图和矢量图等。



图 1 西坊城中学测报点

Fig. 1 Forecast point of Xifangcheng middle school

西坊城中学地震测报点不仅是浑源县成立最早的测报点,在当时雁北 13 县也是成立最早、观测项目最多的测报点,被雁北地区地震办公室列为重点联系的测报点之一,灵丘中学、朔州师范、大同矿务局中学、大同 616 厂、广灵中学等测报点亦在之列。

1976 年和林格尔地震后,震情趋势变得紧张,省

里要求晋冀蒙交界区各县加强地震工作,加强地震办公室的力量,巩固和建立地震测报点和宏观观测站。县里决定借我到地震办公室帮助工作,让我和地震办公室的负责人陈冠直共同管理县里的地震工作。我们经过一番策划,决定在原有测报点的基础上在县城北、南、东 3 个方向新增设吴村、土岭、王庄堡等测报点,建成全县的地震群测群防工作系统,并很快投入运行。制定《浑源县地震群测点观测规范》,规定统一的观测时间、观测频次和观测要求、记录电流的方向等,规定观测数据上报县地震办的时间;印发各种土仪器的《观测记录表》;配发用以绘制日均值、5 日均值或 5 日滑动值曲线的坐标纸;编印防震知识传单;通过县广播站播放防震知识,在全县和各公社多次召开防震工作会议……地震群测群防工作在我们的努力下搞得有声有色。

那时,全雁北地区,全省乃至全国有条件的企事业单位、学校、部队、生产队等纷纷成立地震测报点。地震测报点形成的网络承担了宏观观测网、防震减灾知识宣传教育网和灾情速报网的职责,为专业地震队伍提供地震宏观前兆异常信息,为地震短临预测预报提供依据。大量的事实充分证明,群测资料在多次成功地震预报中发挥了不可取代的作用。根据地震现场考察,很多中强地震以前,都有不同程度的宏观异常显示,这些宏观异常的收集报送主要靠群众测报队伍。例如,1976 年和林格尔 6.3 级地震,龙陵 7.3、7.4 级地震,群测点都起到重要作用。

2 群防威力

1976 年 7 月 28 日 3 点 42 分,正在办公室值班的我被强烈的晃动惊醒,我感到发生地震了,急忙跑到院子里拉响防空警报,打电话到各测报点了解情况,各测报点迅速上报测报点所在地的情况,很快搞清地震不是发生在浑源,遂向雁北地区地震办公室作汇报。唐山大地震前,浑源县的地震测报点程度不同地出现一些异常,但并未引起足够的警惕,多是震后总结时发现。唐山大地震后,全中国都在防震。浑源县地处晋冀蒙重点防御区,更是防震的重点。县里成立防震指挥部,在地震办公室院内的防震棚内办公。每当夜幕降临,防震指挥部的成员就到棚内听取地震办公室的汇报,了解异常情况,以决定夜晚能不能让群众回家睡觉。

记忆犹新的是 8 月中旬的一天晚上七八点钟,叽叽喳喳的鸟叫声划破夜晚的宁静,一大群鸟由东向西飞临浑源县上空,这支飞禽大军足足飞越半个小时才渐渐远去。面对此情此景,人们惊恐万状,担心是大地震来临之前的动物异常,纷纷到指挥部打探消息。就在这时,正巧有测报点的人送来了捕获的一只鸟。指挥部人员端详良久、面面相觑,谁也说不不出这只鸟的名

称。我们急忙打电话找浑源师范和浑源中学教生物的老师前来辨认。两位生物老师对照飞禽图谱也未找到答案。但可以肯定这种鸟既不是本地鸟种，也不是迁徙的候鸟。虽经众人讨论、辨别，最终也未搞清这是什么鸟，这么多的鸟来自何方、飞向何处。

对这突如其来的一大群飞禽，是不是地震的前兆，必须迅速作出判断。我们急忙打电话了解各测报点的情况，各测报点的观测仪器未出现明显的异常，也未发现其他的诸如动物、水井水位的异常。综合各群测点的情况，我们作出这群飞鸟不是地震前兆的判断。防震指挥部根据我们的意见告诉群众不必惊慌失措，可以安心睡觉！

类似这样的情景，全国的群测点都发挥了巨大的威力！

3 “牛刀小试”

西坊城中学的土仪器投入观测后，如何用观测到的数据进行地震测报，我们颇下了一番功夫。把观测到的数据绘成曲线图，仅仅是测报地震的第一步，如何在曲线图上找出与地震相关的蛛丝马迹，首先要确定绘制的曲线与地震是否真有关系。一开始我们将地震目录上的地震一股脑儿都标在曲线上，经过一段时间的检验，对应关系不明显。经过不断总结经验，大致确定一个标取范围，依照这个范围按发震点的方向，标在相应方向的曲线上，以认识曲线与地震的关系。按照这种方法，初步摸索到土地电异常对应地震的一些规律，总结出峰峰法、峰谷法、谷谷法、谷峰法4种预报发震时间的方法。

依照这些规律，我们还推算出计算震级及震中距的经验公式，摸索到一些按震中距结合地震地质确定发震点的方法。经过几年的观测，发现哪个方向的土地电出现异常，孕震体就在哪个方向，在这个方向上哪个方位的电位高，则孕震体就在那个方位。如东西向发生异常，说明东西方向有孕震体，若东边电位高，则说明孕震体在东，反之在西。方位确定后，再根据这个方位的地震地质情况和近期的地震活动资料，计算出震中距，确定发震的大致位置。

那时之所以能想出这些方法，也是“初生牛犊不怕虎”的大胆尝试，竟然较成功地预报了1976年和林格尔地震、四川松潘地震和内蒙古阿巴嘎旗的几次大震。1976年我国大陆地震频繁、大震不断，“瞎猫碰死耗子”的概率也高。比如，内蒙古和林格尔4月6日6.3级地震前，铅—铅极西北—东南向土地电的5日滑动值曲线图上，1976年2月10日至3月7日出现谷谷形异常，推算出1976年4月3日左右，距西坊城测报点127公里的地方将有6.0级地震发生。在这一方向的土地电出现异常的同时，土地磁、地应力、植物电、地倾斜都不同程度地存在异常，分析得出这是震情前兆的

判断；再结合该方向的地震地质及那个时期的小震活动情况综合考虑，该方向的右玉、内蒙古和林格尔一带从1973年12月至1976年3月小震活动频繁，共发生18次地震，其中，2.2~3.0级的12次，最大震级为4.6级。于是，我们把发震地点确定在内蒙古自治区和林格尔县。

1976年4月6日凌晨4时左右，正在睡梦中的我被强烈的晃动惊醒，朦胧中还依稀听到隆隆的声音。我感觉到地震了，急忙跑出屋子，大声喊叫着“地震了，地震了！”。急匆匆向测报室奔去，先打开土地电的开关，看有什么变化，只看到土地电的读数较日均值有较大的变化，别的没什么大的异常。

韩校长及张老师也赶到测报室，我们不约而同地说：“这就是我们预报的地震啊！”土地电初次预报地震竟首战告捷，使我们备受鼓舞，觉得土地电还真管用，群测群防就是好！地震预报好像并不是那么可望而不可即。但也有一丝的疑惑，地震预报真的就这么容易、简单吗？

尽管那几年的观测实践证明，对于近震、大震，各种土仪器都有反应，但是也有过不相信土仪器灵敏度的经历。例如，我们的铅—铅极东—西向土地电从5日滑动值曲线图上，1976年4月24日至6月12日，出现谷谷形异常，推算出1976年7月31日左右距西坊城测报点300公里的地方有一个7.3级的地震，这一地震恰是唐山—丰南地震的反应。但因怀疑是土地电受到干扰，没有及时、细致地对土仪器异常进行分析，以致漏报。

那时我们坚信，只要对各种观测手段及时综合分析，反复研究琢磨，是可以较好地作出地震预报的。认为，震情预报是主观认识，发震情况则是客观实际，要使我们的主观认识符合客观实际，只有按照毛主席“一个正确的认识往往要经过由物质到精神，由精神到物质即由实践到认识，由认识到实践，这样多次的反复，才能完成”的教导，不断总结经验，“有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”努力为人民站好岗，放好哨。

至今，我虽然无法解释用土地电、用推导的经验公式预测地震三要素的科学性和理论根据，但当时土地电出现的异常确实存在，我们也确实向雁北地区地震局和省地震局汇报过出现的异常和预报意见。尽管这些预报意见未被采纳，但毕竟写下了值得铭记的一笔。我也因群测群防取得了些许成绩，因而被省地震局点名参加1976年国家地震局在山东济宁召开的全国群测群防地震工作会。

4 济宁会议

1977年2月16日，国家地震局下达的005号文件称，在山东省济宁市召开土地电、土地应力测报地震经验交流会。山西省地震局派我作为山西群测群防的

代表和省地震局负责群测群防工作的阎维彰同志去山东济宁参加会议,并让我准备大会发言,介绍用土地电测报地震的心得体会。

会议在运河边的一个饭店举行,当时开会需要交伙食费和粮票。伙食费按行政级别交纳,级别越高的交得伙食费越多,一人一天交一斤全国粮票。

来自全国的群测群防地震搞得好的单位在会上介绍各自的经验,我作为山西的代表在会上做题为《反复实践 认真总结——用土地电预报地震的体会》的发言。地球物理研究所的宋良玉同志对我的发言很感兴趣,大会交流后专门找到我,又仔细看我带去的材料。并说:“你们的土地电很有研究价值,好好坚持观测,认真进行总结。回去后,将你们的观测资料按时寄给我一份,我想进一步做些研究。”我们偏僻小县的土地电能受到专业研究人士的重视,倍感兴奋和有成就感。回到县里,我按旬将观测数据寄到宋良玉处,她做了什么研究,我不得而知。但那时的土地电至少为专业研究贡献了绵薄之力。

会议期间,我还结识一些搞土地电的同行,就土地电测报地震的问题做相互交流,收获良多。阎维彰同志在会上拜访各地从事群测群防的同志,建立联系、收集资料,忙得不亦乐乎。

会议表明,作为地震群测群防主打观测项目——土地电、土应力,确实在地震预测预报中发挥了不可磨

灭的、积极的作用,尽管其科学性尚不明确。

1977年3月,国家地震局编印《土地电土应力测报地震经验交流会资料选编》,这是对土地电、土应力预测预报地震的一个历史性总结。

此后,地震出版社约阎维彰和我编写一本《土地电与地震》的小册子,我们收集全国大量的土地电测报地震的资料,对资料进行详细认真的研究、考证、分析、归纳,抽取有规律的共性问题作为重点进行编写,于1978年底脱稿。但那时人们已开始认真反思一些曾经轰轰烈烈的事情,对群测群防亦有微词,认为专业前兆仪器尚不能完全捕捉地震前兆,更何况土仪器呢!致使《土地电与地震》未能出版。1979年我调到山西省地震局,在《山西地震》编辑部任编辑,《土地电与地震》得以在《山西地震》上连载。

5 结语

我是地震群测群防的实践者、见证者,是地震群测群防使我这个对地震一窍不通的门外汉成长为一名专业地震工作者,是地震群测群防改变了我的人生轨迹,是地震群测群防丰富我的工作阅历,是地震群测群防锤炼我不断探索的意志,是地震群测群防造就我的地震期刊编辑生涯,是地震群测群防使我的青春岁月涂写浓墨重彩的一笔,是地震群测群防留给我不能忘却的记忆!

Earthquake Group Monitoring and Group Defense That Should Not Be Forgotten

YUAN Zhengming

(Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China)

Abstract: The author, a practitioner and witness of earthquake group monitoring and group defense, reviews the history, development process, and the main work and achievements of earthquake group monitoring and group defense based on personal experiences. It is emphasized that earthquake group monitoring and group defense played a significant role in specific historical periods, leaving a vivid mark in the history of disaster prevention and reduction in our country. The article reminds everyone not to forget this history.

Key words: group monitoring and group defense; team construction; development process

· 技术交流 ·

文章编号:1000-8265(2023)04-0023-06

地震监测管理平台研发及应用

——以宿迁地震台网为例

单友磊¹,朱红¹,翟红英²

(1.江苏省宿迁市地震服务中心,江苏 宿迁 223800;2.江苏省泗洪县应急服务保障中心,江苏 泗洪 223900)

摘要:总结归纳以往地震观测仪器监控类和管理类软件优缺点,借助大数据智慧应用技术手段,研发符合本地需求的地震监测管理平台。以宿迁地震台网为例,该平台可实现对地震监测设备的维护与管理,快速发现并及时解决地震监测系统故障,有效降低监测人员的工作量,提高仪器运行率和数据连续率,及时推送震情信息和展示防震减灾相关动态。该系统自应用以来,工作人员能在第一时间获得地震观测仪器网络故障、仪器工作状态异常及数据缺测等情况下发送的告警信息,及时了解国内外及周边地震快报信息,台网的地震监测水平和管理效能均有较大提升。

关键词:地震台网;实时监控;速报告警;信息展示

中图分类号:P315-39

文献标志码:A

0 引言

随着大数据时代的来临,智慧平台已广泛应用于政府、金融、物流、制造等各个行业,信息化建设成为“新基建”的重要组成部分。近年来,大数据技术越来越多地被应用到地震台站运维、数据处理以及分析预报等领域。许多地震台站配置的监控设备,对于保障台站设施安全、提高观测设备的正常运行率发挥应有的作用^[1]。宿迁地震监测台网历经50多年发展,形成较完善的监测体系,承担着区域地壳形变、电磁、测震、流体等学科观测仪器的日常运维、数据分析、预测预报等工作。在地震监测台站日常运维中,经常出现无人值守台发生故障后,技术人员无法根据台站当前状态判断故障原因,因故障响应不及时,对台站的实时运行率造成影响^[2]。因此,无人值守台站的运维管理成为防震减灾工作的新课题,如何科学有效地管理全国大量无人值守台站,提高运维效率,降低运维成本,提高观测质量,还尚在实践中进行研究探索^[3]。陈军辉等利用部署在地震台站的智能查障设备、视频监控设备、门禁系统和通讯网络设备,系统实现台站的远程监控,当台站设备运行发生物理故障时,能够快速、准确判断故障位置,合理有效地调配运维资源,从而更快地处理故障设备,保障地震台网的高运行率和数据准确率^[4]。马永研究全国地震信息服务系统在软件平台上提供数据交换、行业监控、网络管理、搜索引擎、行业门户等,

为地震行业实现全面信息化和网络化打下了基础^[5]。“十三五”时期,宿迁市科学规划地震监测台网,新建GNSS、地磁场、地球化学等测项,地震监测能力大幅提升。现辖有沭阳、泗阳、泗洪、苏05井、国家地震烈度速报与预警工程基本站以及断层气观测站共计20余个,各站点距市台网中心20~100 km不等,大多数站点间距50 km以上,除宿迁地震监测中心站有人值守外,其余均为无人值守台站。宿迁市在“十五”以来建成地震信息节点网络和运用互联网技术,各台站仪器及辅助观测的数据均实现了实时传输到市台网中心,工作人员可通过调取各台站观测数据来判断仪器的运行状态,如发现异常,可及时派出技术人员或通知属地现场核实,及时排除仪器故障。工作人员也可以利用专业软件对监测数据进行分析处理,为地震趋势会商提供科学依据。笔者也尝试在构建地震监测综合管理与数字化服务的基础上,利用现代信息技术,以地震监测为基础,提供声、像、图、文四位一体的数字化管理平台,实现地震观测仪器综合监控和系统模块展示,提升台站运维精细化和精准化水平。

1 设计构思

设计、开发、建设一套无人值守台站系统运维监控平台,以解决故障自动识别、自动报警、远程修复等问题。监控平台需包括基础信息库、状态监控系统、故障侦听和报警系统、远程控制系统等单元模块,分别实现

收稿日期:2023-02-18

基金项目:江苏省宿迁市应急管理局科研项目(JSZRCG[2021]75号)。

第一作者简介:单友磊(1988—),男,江苏沭阳人,高级工程师,主要从事地震监测与分析工作,E-mail:1773979777@qq.com。

不同的功能。其中,以台站为单位的信息数据库是其他单元模块的基础;状态监控系统单元负责对辖区内各台站的状态实时监控;故障侦听与报警系统单元采用轮询的方式,对各无人台站的设备进行自检,自动识别故障,通过手机短信、微信等多种方式向值班人员报警^[6];远程单元可以对台站的设备进行远程重启等简单操作,减少对台站看护人员的依赖,提高故障修复效率^[7]。

系统建成后,可提供真实的可视化效果、灵动的视觉探索手段、交互式的即席分析体验,能及时反映仪器设备、观测数据状态,使地震观测仪器设备监控更简单、智能,仪器运维和震情获取更快捷,防震减灾信息展示度更广泛。同时,该系统综合考虑维护及操作因素,为今后的发展、扩建、改造等留有扩充的余地(见图 1)。

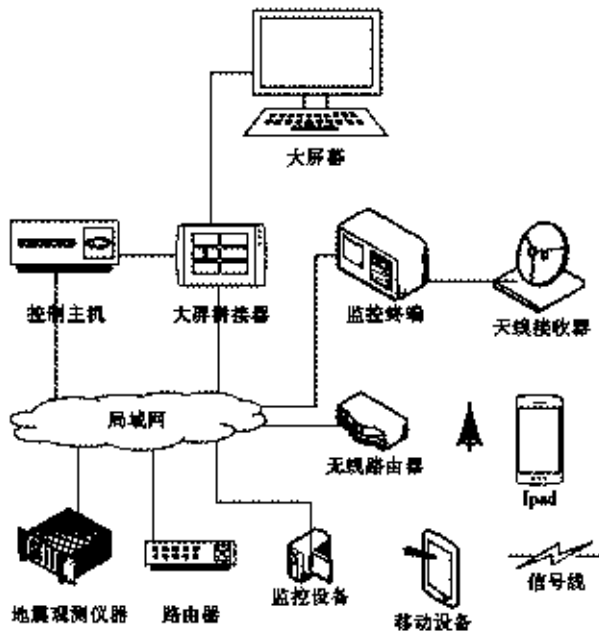


图 1 宿迁市地震监测管理平台集成示意图
Fig. 1 Integrated schematic diagram of Suqian Seismic Monitoring Management Platform

2 系统设计

2.1 开发环境

地震监测管理平台基于 Python、Java Script、C#、ASP.NET、Visual Basic、Vue 六种编程语言和框架进行开发。其中,基于 Python 开发宽频带地震计零位实时监控与发布软件(SseiMonitor),实现宽频带地震计零位、GPS 和网络状态的监控;开发 SIAM 企业微信管理软件(SIAM WechatMessage),实现文本和图片消息以企业微信的方式推送;基于 Java Script、ASP.NET 和 Vue 框架开发地震观测仪器可视化监控平台(Visual SIAM),实现监控结果和地震监测信息的数据可视化展示;基于 Visual Basic 开发地震观

测仪器自动监控软件(SIAM)、地震观测仪器设备网络实时监控软件(SeisNetMonitor)、地震前兆仪器数据监视软件(QZDM)、前兆仪器数据自动备份与手动恢复软件(QZIBR)、地震目录自动处理软件(EqDeal)和 SIAM 告警信息与时钟服务软件(SIAM Server)等。各软件通过无缝衔接,实现地球物理类和测震类观测仪器的定时自动监控,以地图、柱状图、折线图和饼图等图表形式实现前端可视化展示。按照中国数字地震观测网络技术规程 JSGC-02-02 要求,基于 C# 进行模块化设计,主要包括设置参数模块(台站名称、仪器名称、仪器 ip 地址、仪器 ID 号、用户名、密码、端口号、是否监控)、网络中断判断模块、缺测判断模块、报警模块(颜色报警、语音报警)、监控结果保存和查询模块^[8]。

2.2 运行环境

(1) 硬件环境。

内存:4 G 或以上;CPU:3.10 GHz 或以上;显卡:512 MB 显存或以上;监视器:建议使用 1 680 × 1 050 分辨率。

(2) 软件环境。

建议使用 Windows7 32 位操作系统。测试通过的操作系统为 Windows7 32 位、64 位和 Windows10 64 位。

2.3 总体架构

地震监测管理平台总体架构如图 2 所示,包括软件系统、硬件系统和服务系统三部分,分为基础层、接入层、数据层、服务层和应用层五个层次。信息集中管理和模块化设计是系统设计的关键。模块化设计把各个功能独立起来,互不影响,发挥各自的功能特点^[9]。

地震监测管理平台以统一、完整的系统层次架构,与现有基础软硬件环境完整地组合在一起,形成数据互通、服务互调、业务协同的整体系统。基础层提供最基本的系统运行环境、通信网络和数据汇集存储,包括服务器(操作系统、数据库、应用软件等)、显示设备、地震行业专用网络、公众网络等;接入层提供地震观测仪器、通讯设备、动力环境、网络通信等资源的接入;数据层为系统的各类应用服务提供核心驱动和支撑,包括地震仪器观测数据、监控结果数据、地震目录数据、地震速报数据、维护管理数据和地理信息数据等;服务层建立一个基本服务的交互式支撑环境,为应用层提供所需的各种智慧服务,如信息展示、数据处理、异常告警和远程控制等;应用层为平台展示提供信息化支撑,满足展示与交互需要,支撑各个应用板块的业务开展,主要包括大屏交互展示(展示终端分别布设在市地震台网中心和宿迁地震监测中心站监测室)、平台应用、移动端应用和媒体展示等。

地震监测管理平台包括应用软件和硬件设备。其中,软件功能满足综合应用的要求,并做到新功能扩

展,支持在移动平台上的交互式应用;硬件设备承载所有的软件以及功能应用,包括监控主机、辅助设备和配件等,可支持与大型交互界面和移动智能终端等设备的集成。通过将软件、硬件与通信技术组合,完成地震信息处理和可视化展示业务,实现平台各部分间协调工作,发挥整体效益,达到整体优化的目的。系统集成

方案将对软硬件的性能、可靠性、可用性、可维护性和安全性,以及与其他系统的匹配性、兼容性和对环境的影响进行量化评估。地震观测数据和信息集成建立在硬件、软件各自的集成之上,是系统集成的核心,主要解决合理规划数据和信息、减少数据冗余、更有效地实现信息共享等问题,确保数据与信息安全保密。



图2 地震监测管理平台总体架构

Fig.2 Overall architecture of the Seismic Monitoring Management Platform

2.4 系统功能模块

地震监测管理平台考虑先进性、可靠性、经济性、可扩充性和易维护性等原则,建成一套技术先进、布局优良、应用合理、界面友好、功能齐全和扩展性较好的

大屏幕系统,满足大屏幕图像和地震监测数据可视化显示的需求,实现地震观测仪器智能化监控、综合信息数据可视化、震情信息快速报送及防震减灾业务展示等多种功能(见图3)。

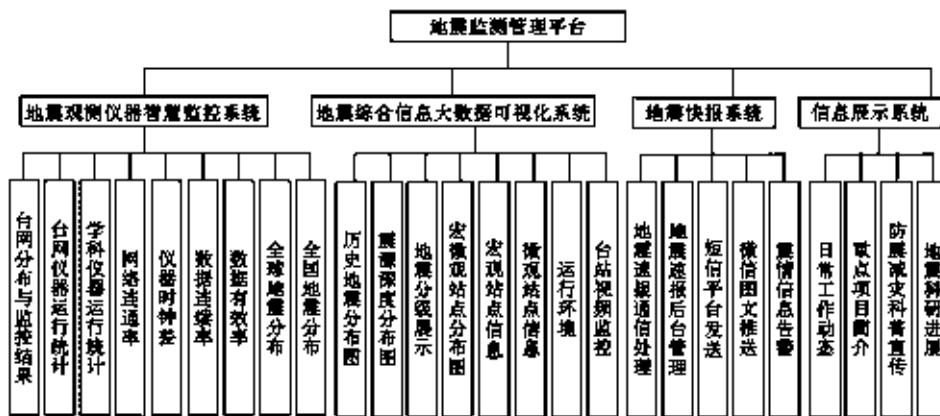


图3 系统功能模块树状图

Fig.3 Tree diagram of system functional modules

3 系统功能实现

地震监测管理平台采用先进的GIS技术、物联网

技术、无线通讯技术、远程视频技术及三维虚拟技术等,实现远程故障诊断、远程故障自动处理和交互处理、故障报警和预警以及安防等。运维人员远程浏览

台站的各种信息及监测仪器的运行状态,通过报警提示快速发现问题,同时进行远程处理,为地震监测仪器的正常运行提供稳定、可靠、方便、高效的技术保障^[10]。地震监测管理平台的建设,可实现与现有地震监测系统无缝连接,构建全面交互、实时管控、按需推送、可视化等特征的时空环境;适应地震监测业务综合管理的模式,满足地震观测仪器监控管理、数据管理、异常报警、地震监测能力展示等需求。最终把该平台集成为一个相互关联和协调的综合系统,实现地震监测业务的统一管理、信息共享及联动控制。

(1) 地震观测仪器智慧监控系统。实现宿迁市应急管理局所辖地震台站观测仪器的工作状态、在网运行状态、远程控制与可视化展示,观测数据的变化监控,实现工作环境异常、仪器工作异常、监测数据异常的自动告警,异常消息通过微信、短信或电话等方式及时、准确推送给相关人员(见图4)。该系统的功能包括:①台网分布与监控。展示站点分布、隶属关系、运行仪器总数等,包括台站总数、仪器总数、告警总数、监

控进度、异常告警时站点标识和站点状态信息提示等。②学科展示。显示台网范围内各学科运行仪器总数与异常仪器总数。③地震活动。显示设定时间段内全球 $M_s \geq 7$ 地震的震中分布图,江苏省内及邻区中小地震震中分布图,以及辖区内发生的地震。④震情快报。接收测震台网信息,对辖区内及周边 100 km 范围内所有地震、省内 2.0 级以上地震、国内 5.0 级以上地震、全球 7.0 级以上地震向设定人员发送信息,并电话提醒。⑤网络联通率。显示台网范围内各台站仪器的网络联通率(N_r), $N_r = 100\%$ 时标志点为绿色, $99.9\% \leq N_r < 100\%$ 时为黄色, $N_r < 99.9\%$ 时为红色。⑥仪器时钟差。显示台网范围内地震观测仪器的时钟差(C_p), $C_p < 60$ s 时标志点为绿色, $60 \text{ s} \leq C_p < 300$ s 时为黄色, $C_p \geq 300$ s 时为红色。⑦数据连续率。显示台网范围内地震观测仪器的数据连续率(D_r), $D_r = 100\%$ 时标志点为绿色, $D_r < 100\%$ 时为红色。⑧数据有效率。显示台网范围内地震观测仪器的数据有效率(E_r), $E_r = 100\%$ 时标志点为绿色, $E_r < 100\%$ 时为红色。

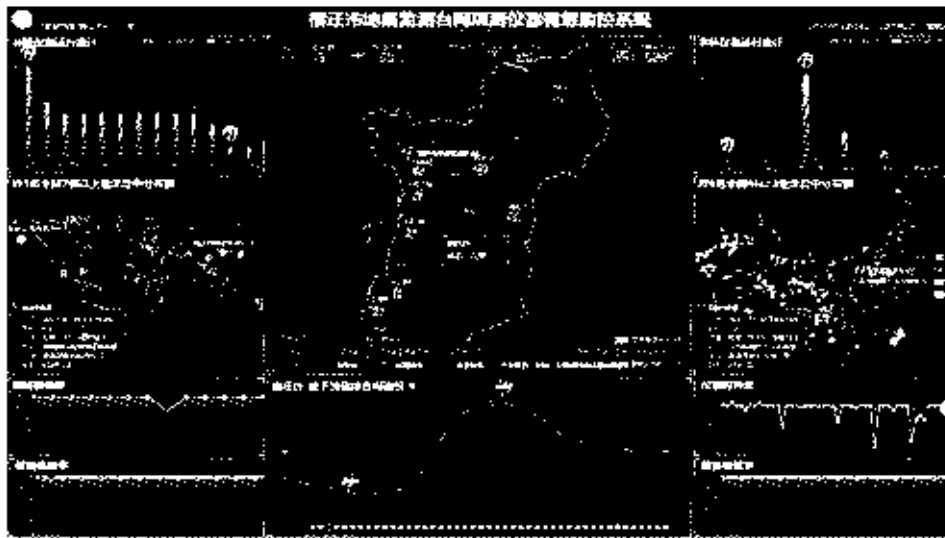


图4 地震监测台网观测仪器智慧监控系统

Fig. 4 Intelligent monitoring system for seismic monitoring network observation instruments

(2) 地震综合信息大数据可视化系统。实现宿迁市应急管理局所辖宏观站点、微观站点等基本信息、综合管理信息等的可视化展示(见图5)。该系统的功能包括:①历史地震分布。展示辖区内历史地震震中分布图(分等级以不同颜色显示)。②震源深度分布。以3D模型图形式展示辖区内历史地震震源深度分布图。③地震群测群防分布图。展示辖区内地震群测群防站点的分布及各点的测项、位置、观测员联系方式等信息。④运行环境。展示天气信息及环境信息。⑤站点视频监控。展示视频监控信息,提供视频监控的接口。

(3) 地震快报系统。接入宿迁市区域地震速报台

网,监控网络运行状态,将台网地震速报信息分级管理、及时传送,实现地震信息的速报告警、信息展示、图文推送及电话通知等功能(见图6)。该系统的功能包括:①地震速报信息处理。打开速报消息推送设置,发送测试消息或正式推送。②地震速报后台管理。设置不同震级发送群组,全球 $M \geq 7.0$ 、全国 $M \geq 5.0$ 、江苏及邻区 $M_L \geq 3.0$ 、宿迁及邻区 $M_L \geq 2.0$ 地震的快报。③短信平台发送。通过系统内设端口发送震情三要素信息。④微信图文推送。通过移动端的企业微信接收地震速报相关消息。⑤震情信息告警。当“播放地震声音”开关处于打开状态,地震时即可播放音乐。

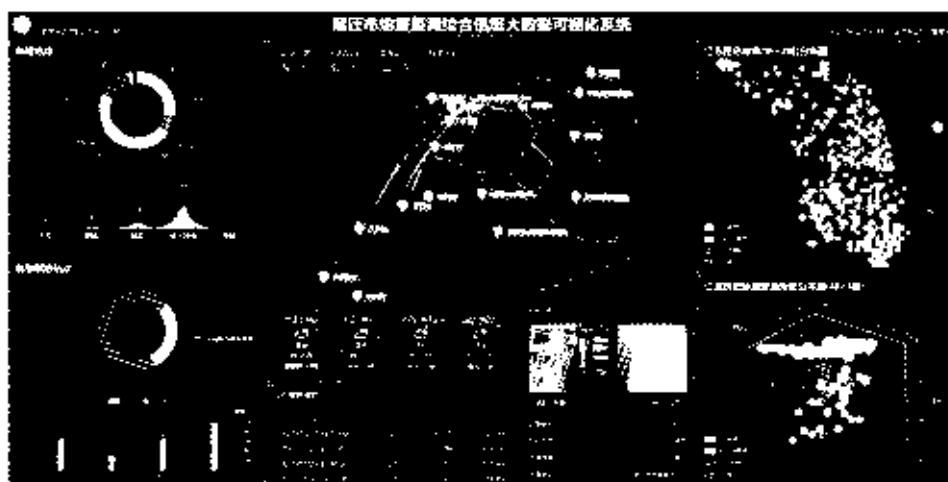


图5 地震监测综合信息大数据可视化系统

Fig. 5 Big data visualization system for comprehensive seismic monitoring information

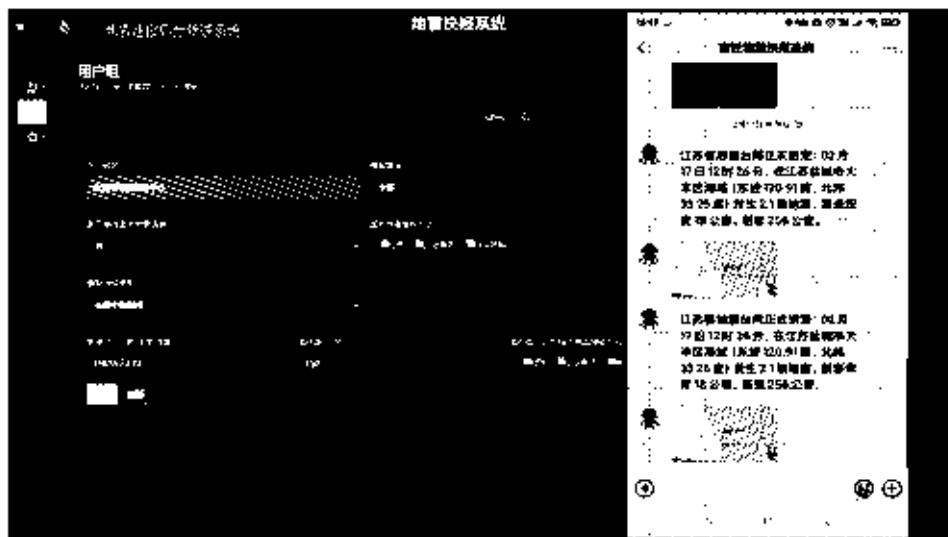


图6 地震快报系统

Fig. 6 Earthquake bulletin system

(4) 信息展示系统。对宿迁市地震监测、震灾防御、地震应急救援、科技创新、法制建设等主要成果及重要活动进行全方位展示(见图7)。该系统的功能包括:①日常工作动态。展示地震部门日常工作动态信息并实时更新。②重点项目简介。着重介绍已建成或在建地震学科相关重点项目,及其对地方社会发展产生的影响、对防震减灾事业带来的效益等。③防震减灾科普宣传。实时推送防震减灾相关科普知识、动漫、卡通图册以及地震应急逃生技能等,重要地震纪念日实行滚动播放。④地震科研进展。着重介绍国内外最新地震监测预警、抗震设防、应急响应等研究成果。

4 平台运行情况

地震监测管理平台自2021年5月投入运行以来,

已经应用于宿迁市20个台站、70套仪器的日常运维监控,在地震信息节点分布处,工作人员均可通过局域网内的台式机、笔记本、平板电脑、手机等移动设备或触屏展示终端进行可视化展示,对台网信息流、控制流、状态流实施远程实时监控,及时获取地震观测仪器运行状态及故障、数据异常等情况推送的告警消息。

5 结语

该系统一年多的运行结果表明,可发挥如下作用:提高地震监测业务管理的信息化水平和效率,使地震信息公共服务能力和质量有较大提升;利用数据可视化、云技术等现代信息技术建立的地震观测仪器监控和数据分析平台,可连接地震监测业务各个单元,并以数据为载体,在感知、控制和管理地震监测运维的各个

环节发挥作用;提供及时的地震信息服务,为政府应急决策、地震紧急处置提供必要的技术支撑;建成与地震监测业务深度融合的一体化平台,适应和促进业务需求的发展变化和业务流程的变革,推进地震监测工作

的专业化、规范化和现代化。该系统具有较强的稳定性,设备未发生故障或损坏,运行状态良好,可为无人值守台站实时监控和地震监测台网管理系统的建设提供参考。

震 宿迁市地质服务中心信息展示系统



图 7 信息展示系统

Fig. 7 Information display system

参考文献:

[1] 李松华,郑黄海,刘江斌,等.应用地震台站信息节点建设监控系统;以淮安地震台为例[J].高原地震,2017,29(2):53-56.
 [2] 王军,朱晨.地震观测台站智能化监控管理集成方案初步研究[J].信息通信,2016,36(4):260-261.
 [3] 马世虎,袁志祥,徐仙鹏,等.陕西地震台网无人值守地震台站运维管理[J].地震地磁观测与研究,2014,35(4):239-243.
 [4] 陈军辉,沈晓健,邱晓宇.地震台站智能运维保障系统开发[J].地震地磁观测与研究,2016,37(5):152-157.
 [5] 马永.地震监测信息技术及其发展[J].应用科技,2016,

49(11):32-33.
 [6] 陈吉峰,陈军辉,应毅,等.无人值守地震台站远程监控系统的设计与实现[J].地震研究,2012,35(3):429-433.
 [7] 彭宏伟,朱文成,胡治国.无人值守台站电源远程监控系统的设计[J].防灾科技学院学报,2010,12(3):44-47.
 [8] 杨璐,殷志刚,祁振东,等.远程监控系统在地震台站运维中的应用[J].山西地震,2019(3):48-50.
 [9] 何寿清,王钰.地震台站环境监控系统的设计及应用[J].华南地震,2013,33(3):47-54.
 [10] 黄呈良,戚浩,夏仕安,等.基于智能化构架的新型数字地震监测台网研发及应用[J].中国科技成果,2014,23(22):76-77.

Development and Application of Seismic Monitoring Management Platform: A Case Study of Suqian Seismic Network

SHAN Youlei¹, ZHU Hong¹, ZHAI Hongying²

(1. Suqian Seismological Service Center, Suqian, Jiangsu 223800, China; 2. Sihong County Emergency Service Support Center, Sihong, Jiangsu 223900, China)

Abstract: Summarizing the advantages and disadvantages of previous seismic monitoring instrument monitoring and management software, and leveraging the use of big data and smart application technologies, a seismic monitoring management platform tailored to local needs has been developed. Taking the Suqian Seismic Network as an example, this platform enables the maintenance and management of seismic monitoring devices, facilitates the quick identification and timely resolution of faults in the seismic monitoring system, reduces the workload of monitoring personnel, improves instrument uptime and data continuity, and provides timely dissemination of seismic information and display of relevant earthquake prevention and disaster reduction dynamics. Since its implementation, the system allows staff to receive alert messages in real-time regarding network faults, abnormal instrument operating status, and missing data in seismic observation instruments. It also provides timely access to domestic and international earthquake bulletins. As a result, the seismic monitoring level and management efficiency of the network have significantly improved.

Key words: seismic network; realtime monitoring; rapid reporting and alerting; information display

山西省人口空间公里格网分布模型研究

程紫燕^{1,2}, 杨斌^{1,2}, 于潼^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要: 精准的人口分布信息是震后灾害快速评估、应急救援决策的重要依据。本文应用居民地与人口分布密切相关的基础数据, 结合居民地建筑物给出不同区域人口权重, 以人口统计数据为总量控制, 完成人口空间公里格网数据模型建立, 并与夜间灯光数据、道路数据、实际调研数据等进行对比分析。结果表明, 该人口分布模型可靠性高, 可为震后灾害快速评估、应急救援决策提供可参考的人口数据。

关键词: 人口分布; 公里格网; 模型

中图分类号: P315-39

文献标志码: A

0 引言

震后人员伤亡快速评估、重点救援区域判定、救灾队伍人数确定及救灾物资需求规模估计等都离不开人口数据的支撑。精准的人口分布数据是完成上述评估的基础, 随着遥感技术、GIS技术、无线通讯定位技术的发展, 人口数据空间分布模型的研究也越来越深入。国内外众多学者提出一系列模型和方法, 按研究的不同阶段以及所用的数据源主要分为: 人口平均分配理论模型、空间插值法、人口分布影响因子分析法^[1-5], 基于GIS的空间化法^[6-7]等。平均分配法操作最简单, 将人口平均分配在行政区划单元内, 但数据精度较低, 与实际情况有较大差距; 空间插值法是假设空间位置上越相近的点越有相似的特征值, 此类方法能够有效地缩减工作量, 存在因插值方法不同、采样规则不同会对数据成果有很大的影响, 能否表征人口实际分布情况还需验证; 人口分布影响因子分析法需要专家赋值权重, 受人为主观因素影响较大^[8]; GIS技术为人口空间分布研究提供重要的技术手段, 可以结合土地利用数据、行政区划数据、地形数据等多源数据对人口分布进行研究, 近十年来成为主要的人口空间分布研究方法。

传统的基于行政区划展现人口分布疏密状态的方法, 在理论方面和实际应用中都有很大的局限性。对近年来的多次破坏性地震, 基于行政区划的统计人口数据方法在震后灾害快速评估中均表现不佳, 需要探

索精度更高、实际操作更便捷的人口分布模型。

由近年来人口空间分布模型研究结果可以看出, 研究方向已从简单的格网化向受自然、经济、人文等多因素综合影响的模型发展, 数据处理方式由传统统计方式向空间分析转变, 研究维度由单一维度向多维度转化, 人口模型成果越来越向实际靠拢。

本文以山西省为目标研究区域, 通过建立人口空间公里格网数学模型, 探讨形成一套简便快捷并符合应用要求的人口数据格网化方法。

1 人口分布模型建立与实现

人口空间分布数据是反映人口空间分布的重要表现, 也是震后灾害快速评估、应急救援决策的重要依据。根据不同的研究目标, 人口数据空间精度需求不同, 目前在数据研究尺度上, 人口分布研究仍以宏观维度为主, 大比例尺人口分析较少, 结合震后灾害评估、应急救援决策需求, 综合考虑实用性及可操作性, 本文以1 km×1 km为单元, 研究山西省人口空间公里格网分布模型^[9]。

人口的疏散和集聚是人口空间分布最直观的体现。进行人口数据空间格网分布时, 应明确空间各格网上的人口权重系数, 从而确定各个格网的人口。现有模型的格网人口权重多采用土地利用数据, 目前土地利用数据的信息损失现象普遍存在, 因基于土地利用的人口分布模型又过于依赖土地利用数据, 使得土地利用数据的质量直接影响研究结果的可靠性。从模

收稿日期: 2022-11-03

基金项目: 地震科技星火计划项目(XH18009), 大中城市地震灾害情景构建重点专项(2016QJGJ05), 山西省地震局科研项目(SBK-2218, SBK-2316), 地震应急青年重点任务(ceaedem202202)共同资助。

第一作者简介: 程紫燕(1982—), 女, 山西代县人, 高级工程师, 主要从事地震应急技术研究工作, E-mail: cszy1317@qq.com。

通讯作者: 杨斌(1981—), 男, 山西文水人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地震应急技术的研究, E-mail: ybsuning@163.com。

型因子的角度看,居民地与人口的关系较土地利用更直接,无论在农村还是城市,人口分布与居住建筑的关系更紧密。

以居民地为基础,分别赋予城市及农村地区各居民地块权重,按照公里格网面积与所相交居民地面积占比作为人口分配权重,完成各公里格网内人口数量计算。

在GIS软件的支持下,考虑以年鉴数据为后续更新来源,选取区县的统计人口数据为总量,按照居民地内建筑面积确定居民地权重,实现公里格网人口分布计算模型如下:

$$P_j = \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{ji}}{S_i} \times P_i \right), \quad (1)$$

式中: P_j 为第 j 个单元格网内人口数; S_{ji} 为第 j 个居民地内第 i 个公里格网面积权重; S_i 为第 i 个居民地面积权重; P_i 为 i 个居民地内总人数。

$$P_i = \frac{D_i}{D} \times P \times R_i, \quad (2)$$

式中: D_i 为第 i 个居民地块面积; D 为区/县等数据计算区面积; P 为区/县等数据计算区内总人口; R_i 为第 i 个居民地块权重。

将(2)式代入(1)式后,得到式(3):

$$P_j = \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{ji}}{S_i} \times \frac{D_i}{D} \times P \times R_i \right). \quad (3)$$

基于GIS软件,首先建立 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的空间格网,随后在山西省居民地数据的基础上,利用Python语言按照上述公式,进行模型计算,最终形成山西省人口空间公里格网数据(以下简称人口格网数据)(见图1)。

2 数据对比分析

模型结果的准确与否需要通过对比分析得到。现有大部分人口数据检验以统计数据为基础,对于公里格网的人口数据,与统计数据的对比分析只能校验人口数据总量是否准确,不能反映格网人口在空间上的分配精度。现运用夜间灯光数据、人口普查行政区划数据、实地调研数据等,与模型结果进行对比,验证其准确性及实用性。

将模型生成的人口格网数据与夜间灯光数据进行对比发现,人口疏密程度与夜间灯光明亮程度紧密相关,全省趋势整体一致(见图2)。从图2看出,山西省人口密集区主要集中在地市行政中心,最明亮地区表现的是太原市与晋中市两个人口密集主城区相邻叠加的效果;在太原盆地南部平遥、孝义一带有一部分灯光明亮区,人口格网数据反映出该地区虽然不是地市级中心,但人口密度较大。

将人口格网数据与普查行政区划数据叠加分析看出,按照模型生成的格网数据在空间分布上与普查行

政区划数据高度吻合,在数据表达上更加清晰明确,有空间的疏密分布,还有人口数值的直观不同。对比基于行政区划的人口数据,格网数据无论在空间分布上还是数值表现上都更细致准确(见图3)。人口格网数据图中,昌宁镇行政区划的人口最密集,且集中于一定区域,该镇仍存在大面积人口稀少区;台头镇、西坡镇、管头镇等地都有高密度人口聚集地,不是行政区划人口图中一致显示的低密度区。这种表达方式能更直观精细地体现人口密集区域所处位置,为未来震后救援或者其他针对人口密集区的处置对策提供参考依据。

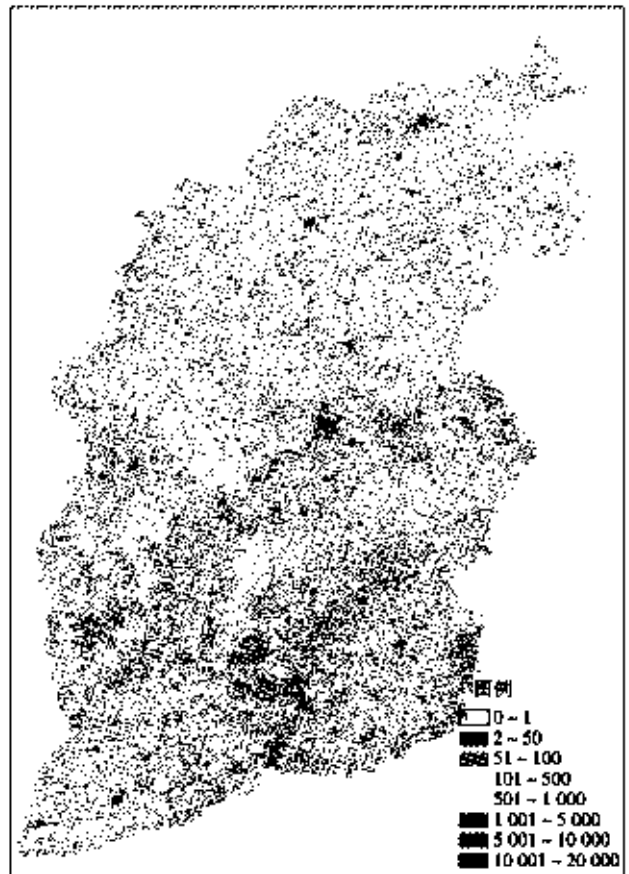


图1 山西省人口格网数据

Fig. 1 Population grid data of Shanxi Province

将模型生成的人口格网数据与地形数据(见图4)、道路数据(见图5)叠加分析看出,建筑物稠密的城市地区、建筑物松散分布的农村地区与格网人口的疏密形成较好的空间耦合性,人口分布整体表现为依照地形、沿交通道路辐射的空间形态分布。图4、图5都反映出在山区人口明显稀少,沿道路人口密集,符合山西农村地区的生活习俗,依山傍崖,居住密集区的建筑大都在坡地和河谷地带。

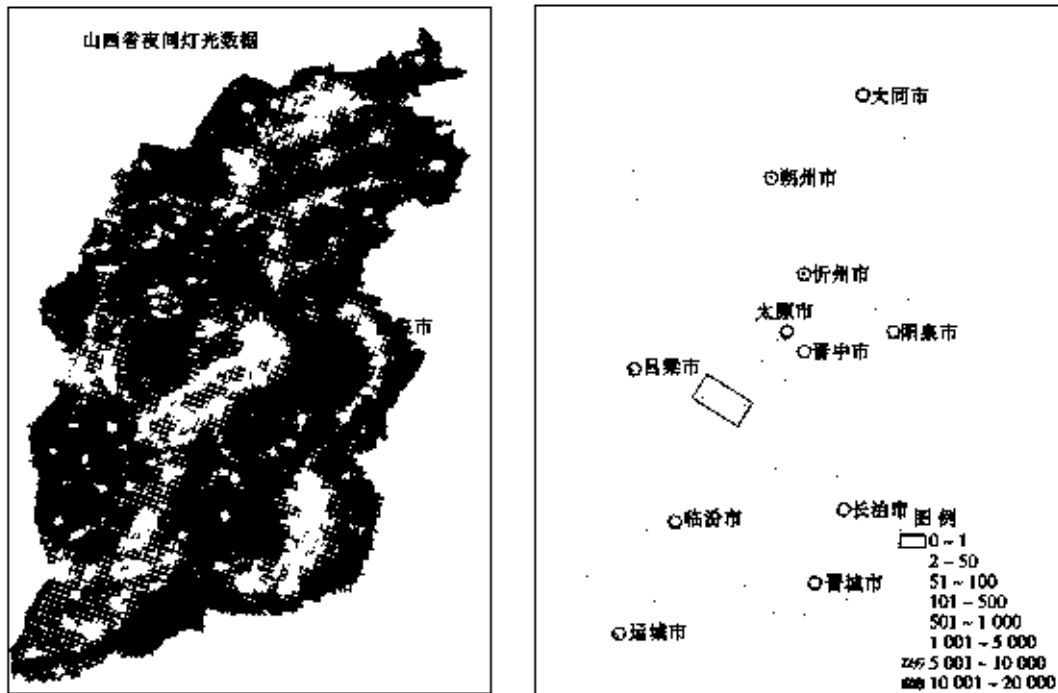


图2 人口格网数据与夜间灯光数据对比图

Fig. 2 Comparison between grid population data and nighttime light data

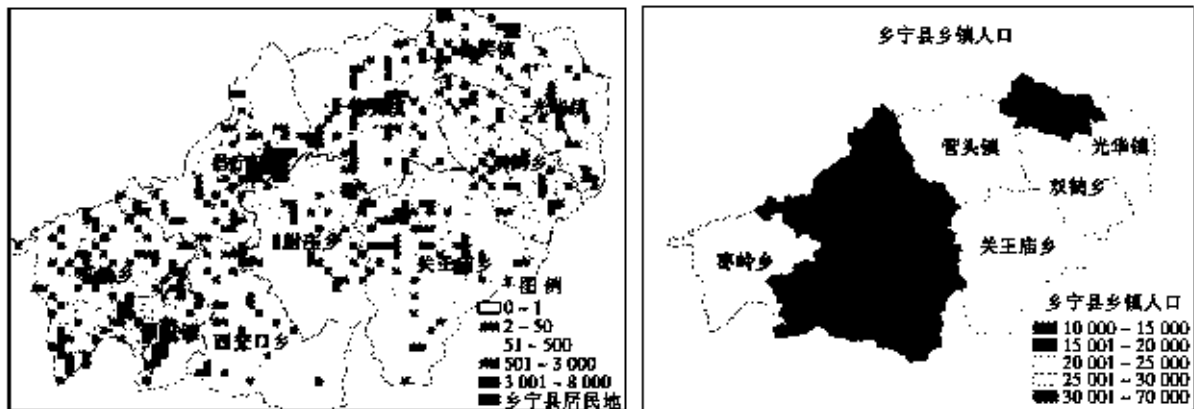


图3 人口格网数据与行政区划人口对比图

Fig. 3 Comparison between grid population data and population data by administrative divisions

本研究还采用实地调查数据对模型结果进行精度检验,通过对比看出,因存在外出务工、上学等情况,实际调研人数较格网人口人数较少,格网人口与户籍人口较一致,误差率最大为7.66%,最小为0.13%,平均误差率为2.1%(见表1)。对比结果表明,模型生成的公里格网人口数据与实际数据误差较小,具有较高的精度。

3 结论与讨论

基于居民地基础数据、人口统计数据建立的人口格网数据模型,通过与夜间灯光数据、行政区划人口、道路数据、地形数据和实际调研数据等叠加分析对比,得出如下结论:

(1) 夜间灯光的明亮度与格网人口的疏密程度高

度重合。

(2) 行政区划的人口与格网人口趋势一致,格网人口表现得更精细。

(3) 与道路数据和地形数据叠加分析,格网人口的疏密与地形、交通相互对应,印证出格网人口的合理性。

(4) 与实际调研数据对比的误差较小,分析可知误差存在的原因由流动人口和静态统计数字之差造成。

综上所述,该人口分布模型与实际相符性较高,可作为应急辅助决策、灾害风险评估研究、震后灾情快速判断、救援力量科学部署的参考依据,也可为大数据挖掘应用服务防灾减灾提供借鉴。

应用于震后救灾部署、密集人群风险预判等应急工作,同时也能避开无人区域,节约公共资源,提高应急处置效率。

表1 人口格网数据与实际调研人数对比
Table 1 Comparison between grid population data and actual surveyed population

对比项目	大石头村委会	支田村委会	门家沟村委会	龙门村委会	牛塔村委会
户籍人数	1 198	747	701	965	718
调研人数	948	662	533	785	629
人口格网数据人数	1 132	748	705	982	663
误差率/%	5.51	0.13	0.57	1.76	7.66

该人口分布模型以人口统计数据作为总量控制,未考虑流动人口造成的实际数据差距,在后续研究中应加以改进。在实际生活中,人员流动不仅仅是城市间的交流,在大中城市以及一些典型城市,还存在工作区与生活区之间的白昼差别,甚至某些特定时段会在特定场所出现大量人员聚集。如何在破坏性地震发生后较准确判定灾情,以目前比例尺下的人口分布模型恐难以实现,需要放大比例尺,增加更多参考系数来研究城区分时段的人口分布模型。

参考文献:

- [1] McGranahan G, Balk D, Anderson B. The rising tide: assessing the risks of climate change and settlements in low elevation coastal zones[J]. Environment and Urbanization, 2007, 19(1): 17-37.
- [2] Sherratt G G. A model for general urban growth[J]. Management Sciences, Models and Techniques, 1960, 2(11): 7.
- [3] 陈勇,艾南山. 城市结构的分形研究[J]. 地理学与国土研究, 1994, 10(4): 35-41.
- [4] 陈彦光. 城市人口密度的分形模型及其异化形式一对Clack和Sherratt模型的综合与发展[J]. 信阳师范学院学报, 1999, 12(1): 60-64.
- [5] 王益谦,王放. 城市人口分布的多重分形特征刻画[J]. 大自然探索, 1997, 16(4): 72-76.
- [6] 于雪梅,李新,马明国. 干旱区内陆河流域人口统计数据的空间化:以黑河流域为例[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6): 39-47.
- [7] 杨小暎,江东,王乃斌,等. 人口数据空间化的处理方法[J]. 地理学报, 2002, 57(增刊): 70-75.
- [8] 梁亚婷,温家洪,杜志强,等. 人口的时空分布模拟及其在灾害与风险管理中的应用[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 220-228.
- [9] 杨斌,甄盟. 基于天地图数据平台的地震应急评估决策服务系统设计与实现[J]. 震灾防御技术, 2020, 15(1): 165-175.

(英文摘要见第56页)



图4 人口格网数据与地形数据叠加图
Fig. 4 Overlay of grid population data with remote sensing images and terrain data

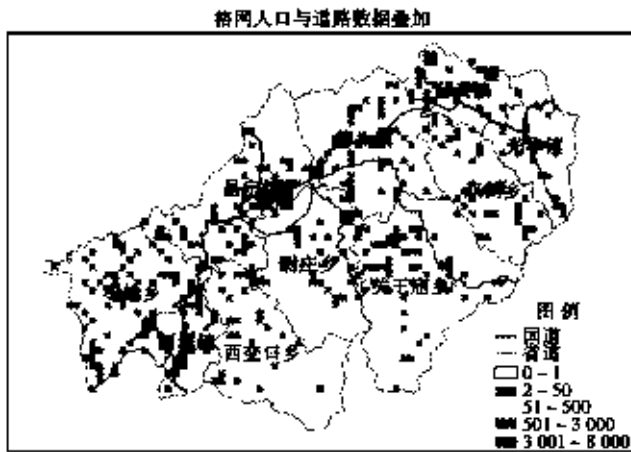


图5 人口格网数据与道路数据叠加图
Fig. 5 Overlay of grid population data with road data

格网人口能精细地展示出各地在人口分布的特点,显示出人口密集区和稀少区,精确表达人口在空间区域的差异,为制定合理的应急预案提供科学依据,可

测震站网仪器标定管理软件的研究与设计

宫卓宏^{1,3}, 梁艳^{1,3}, 闫美容^{2,3}, 刘发^{2,3}, 彭丽娟^{2,3}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 山西省地震局大同地震监测中心站, 山西 大同 037000;
3. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要: 为提高测震站网仪器标定管理的效率, 研发一款仪器标定管理软件。该软件采用 C++ 语言设计开发, 主要包括用户管理、信息查询、标定结果录入、表格输出和后台数据库 5 个模块。该软件设计完成并应用到山西测震站网后, 可优化原有的标定流程, 缩短标定时间, 提升了测震站网的标定效率, 实现测震站网仪器标定信息的统一管理。

关键词: 仪器标定; 地震监测站网; 软件设计
中图分类号: P315-39 **文献标志码:** A

0 引言

地震计是测震站网的观测仪器部件, 标定是检测地震计是否正常工作的手段, 标定合格才能保证观测数据的质量。目前, 在实验室环境下, 采用振动台测试法对地震计进行绝对标定。由于振动台复杂且昂贵, 省地震局很难用到振动台^[1], 因此, 测震站网运维人员主要采用电标定法对地震计进行标定^[2]。

山西数字测震站网现有 57 个台站, 专业设备由宽频带地震计和多通道数采组成, 专业设备的正常运行是做好地震监测预报预警和区域性地震危险评估等工作的重要基础, 对专业设备定期开展正弦标定和脉冲标定, 是监控地震计运行状态的主要手段。

山西测震站网目前采用基于 MATLAB 的标定计算脚本进行日常标定数据的处理^[3,4], 随着近年来测震站网不断增加, 设备标定的工作量越来越大, 采用现有的标定流程, 问题越来越突出, 主要有: 各台站数采和地震计的组合多种多样, 标定参数各异; 标定计算的结果参数文件分布在不同目录的不同文件中, 手动汇总较繁琐, 易出现失误; 各类标定步骤繁杂, 缺乏记录和整理。为此, 结合工作实际, 开发适用于山西测震站网仪器标定的管理软件非常必要, 用以实现标定和计算数据的信息化管理, 方便省地震局和各地震监测中心站维护人员管理仪器的标定和计算以及上报仪器的标定结果, 针对测震站网标定结果上报所需设计不同报表模板, 用户可以根据需要对标定参数信息、标定记录等进行查询和统计, 既减少测震标定、计算、上报等工作量和手动汇总造成的人为错误, 又能提高标定工作效率和上报结果的准确度。下面从设计思路、模块化

设计实现等方面对此款标定管理系统进行介绍。

1 总体设计

为提高日常的标定工作效率, 管理软件需满足以下设计目标:

(1) 契合标定流程的管理功能。

创建标定信息数据库, 包含台站信息、用户信息、标定结果等多个数据表, 便于管理标定流程和结果。考虑台站参数因改造等原因会有变动, 需实现台站信息的录入和修改。实现标定结果直接从文件读取、入库, 避免手动输入带来的操作失误。

(2) 标定流程规范化和汇总快捷化。

之前各维护中心的标定、计算及结果上传的流程各有不同, 易出现标定结果的录入、汇总因不规范操作而出现错误。因此, 规范计算结果的文件目录, 不仅便于软件入库, 且有利于标定流程的规范化, 为汇总做准备。

(3) 工作效率的持续提升。

通过便捷的标定结果导入和汇总功能, 运维人员不需要进行重复的手动处理数据, 可提升工作效率。其他类型的标定汇总工作也可以通过增设相应的模板来实现。

为达成上述设计目标, 该软件采用模块化设计, 基于 C++^[5] 语言, 使用 Qt^[6-8] 框架进行开发, 具有五个功能模块, 分别是用户管理模块、信息查询模块、标定结果录入模块、表格输出模块和后台数据库模块。整体功能如图 1 所示, 软件流程如图 2 所示, 其中数据库^[9] 模块是存储和修改数据的关键模块, 其数据表的构成如表 1 所示。

收稿日期: 2017-11-30

基金项目: 山西省地震局科研项目(SBK-1718)。

第一作者简介: 宫卓宏(1993—), 男, 山西吕梁人。硕士研究生, 工程师, 主要从事地震监测预警工作, E-mail: onzeros@mail.usac.edu.cn。

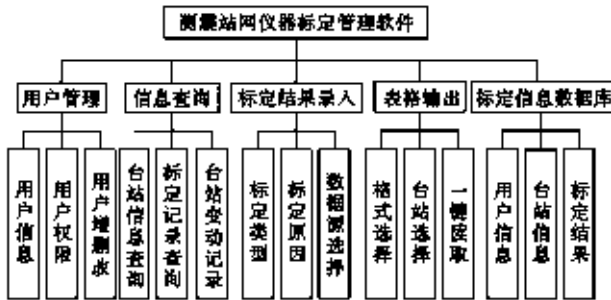


图 1 功能模块图
Fig. 1 Software functional module diagram

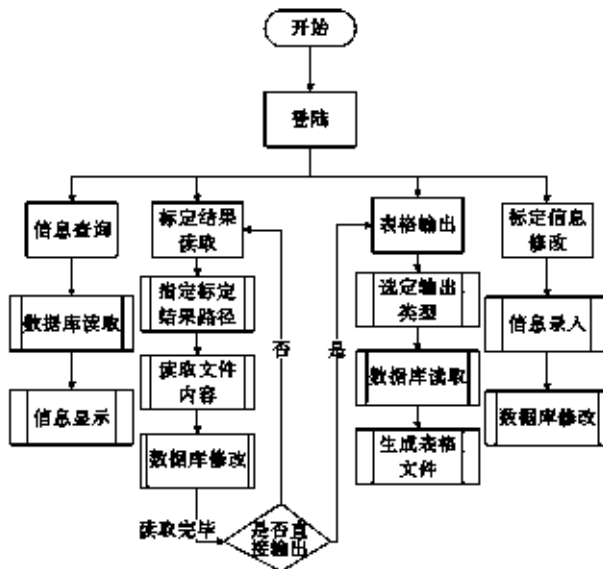


图 2 软件运行流程图
Fig. 2 Software operation flowchart

用户管理模块用于管理用户权限,控制不同权限用户对不同界面的访问。信息查询模块用于查询、修改标定台站和仪器信息、查看处理记录等,方便用户了解标定相关信息。标定结果录入模块和表格输出模块是本软件的核心功能模块,用户选定标定处理结果所在路径,使用结果录入功能即可将各台站标定结果文件中的信息提取到数据库,便于查询和导出。用户使用表格输出功能将选定数据库中需导出的标定结果条目,按照预设格式以表格形式导出。

2 功能设计

信息查询模块主要进行标定信息的整理和查询。标定结果读取模块应按照标定流程规范,依据预设的逻辑读取指定文件内容到数据库中。表格输出模块按照表格模板,将数据库中的对应内容,规范输出到表格

文件中。设计的各模块要便于操作,平台要方便维护,实现及时处理异常、更新。

表 1 数据库结构
Table 1 Database structure

数据表	字段	数据类型	备注	
calli	id	varchar	记录 ID	
	time	varchar	标定时间	
	reason	varchar	标定原因	
	cycle_ud	float	垂直向周期	
	count_ud	float	垂直向 count 值幅度	
	sensitivity_ud	float	垂直向灵敏度	
	damping_ud	float	垂直向阻尼	
	factor1_ud	float	垂直向传递函数参数 1	
	factor2_ud	float	垂直向传递函数参数 2	
	pole1_ud	float	垂直向极点参数 1	
	pole2_ud	float	垂直向极点参数 2	
	pole3_ud	float	垂直向极点参数 3	
	pole4_ud	float	垂直向极点参数 4	
	cycle_ew	float	东西向	
	count_ew	float		
	sensitivity_ew	float		
	damping_ew	float		
	factor1_ew	float		
	factor2_ew	float		
	pole1_ew	float		
pole2_ew	float			
南北向	pole3_ew	float		
	pole4_ew	float		
	cycle_ns	float		
	count_ns	float		
	sensitivity_ns	float		
	damping_ns	float		
	factor1_ns	float		
	factor2_ns	float		
login	pole1_ns	float		
	pole2_ns	float		
	pole3_ns	float		
station	pole4_ns	float		
	username	varchar	用户名	
	pwd	varchar	密码	
	permission	float	权限	
	updatesrecord	name	varchar	台站名
		pen_type_id	float	地震计类型
factor		float	转换因子	
ud		float	垂直向灵敏度	
ew		float	东西向灵敏度	
updatesrecord	ns	float	南北向灵敏度	
	id	varchar	更新记录 ID	
	station	varchar	台站名	
updatesrecord	time	varchar	时间	
	changes	varchar	更新内容	

2.1 标定结果读取模块

该模块可解决手动处理数据带来的人为失误。由于标定结果的各项关键参数分布在结果路径下不同文件的不同数据段,按照文件规则读取时方便快捷。

结果读取的过程大致如下。首先,用户选择标定结果的文件路径,根据标定流程规范,该路径下应当以各个台站代码命名子文件夹,也是标定的各结果文件;其次,程序从数据库中读取台站代码,指定的路径+台站代码+特定文件名,得到单个台站标定结果的完整文件路径。标定结果数据以文本文件形式存储,用文件流读取到对应行,然后处理字符串即可获得所需的数据。依据此文件路径,读取对应文件中的数据并存储到数据库中。按此做法遍历台站列表,至所有台站读取完毕。文件读取界面如图3所示。

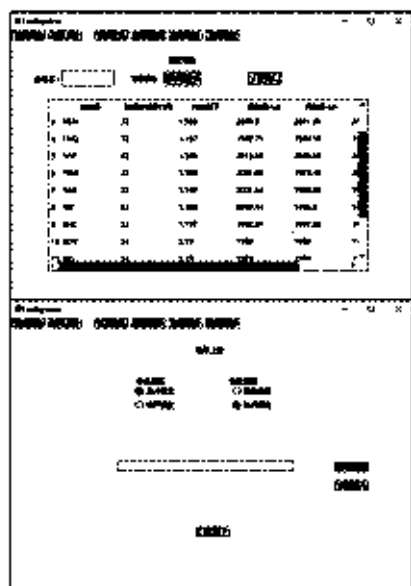


图3 信息查询和读取文件界面

Fig. 3 Interface of information query and reading files

选择文件夹使用 QFileDialog 类中的 `getExistingDirectory` 静态成员函数,读取文件使用 QDir 类中的 `setNameFilters` 函数筛选出要读取的文件,使用 QTextStream 类即文件流按行读取文件内容。

日常标定计算过程中,将标定结果按台站分类存放在文件夹中,每个台站一个文件夹,每个台站需要录入的数据在标定结果文件夹中的两个结果汇总到文本文件中。标定结果录入模块可以在用户选择对应文件夹后,逐个读取每个台站对应的两个文本文件,将该文件夹下所有台站的数据全部录入数据库中。读取流程如图4所示。

2.2 信息查询模块

此模块主要包括三部分功能。第一是标定信息的

查询(见图3)。包括各台站经纬度、标定灵敏度等。第二是标定记录查询。在标定结果读取模块将标定结果存入数据库后,在标定记录查询页面查看已经入库的标定结果条目。第三是台站更新及更新记录。各台站的标定信息可以在程序页面中进行增加、删除、修改等,历史改动都可以在更新记录页面查看,只需在台站更新页面选择记录修改信息即可。

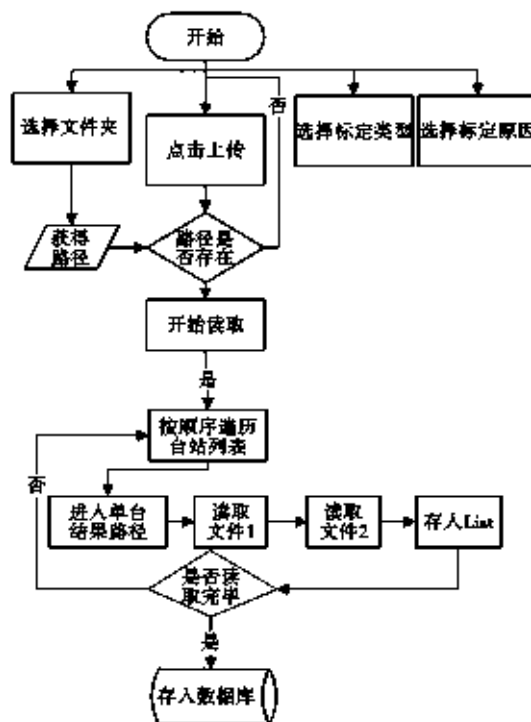


图4 读取文件流程图

Fig. 4 File reading process flowchart

2.3 表格输出模块

表格输出模块在用户选择需要输出的台站和格式后,把标定数据输出到对应的表格模板中,表格模板存放在软件目录下,程序跳过表格的前三行即表头,从第四行开始逐个写入数据。每个台站每个分向的数据占一行,每行有台站信息、标定时间、周期振幅等数据,分别对应表头的每一列。

用户选择需要输出的台站和格式并确定输出后,程序打开表格模板文件,从数据库中提取第一个台站的各项数据并保存到对应的单元格中,再操作下一个台站,直到写完所有选中的台站数据,最后保存表格文件。表格输出界面如图5所示。

用 QAxObject 类映射 excel 表格,用一些对象来对应表格中的各元素。如,workBook 对应 excel 中的工作表,worksheet 对应 excel 中的一个 sheet 表单。

外层 while 循环遍历各个台站,对应 excel 表中的一个台站(占三行);三个内层 for 循环对应一个台站

的三个分向,每个分向占一行,每遍历完一个分向就运行“row++”即行数加1;三个分向全部遍历完后,就运行“station++”即台站数加1。重复上述过程,再对下一个台站进行操作,直到全部完成,最后保存整个 excel 文件。



图 5 表格输出界面
Fig. 5 Interface of table output

2.4 一键读取功能的实现

由于读取、选择、输出表格的流程较繁琐,故设计一键读取功能。其原理是:选定已经整理好的标定资料目录,根据目录名或文件名遍历整个目录,一次性获取所有标定结果的资料,再将其输出到表格中(见图 6)。其优点是与原有工作流程更加契合,可提高工作效率。

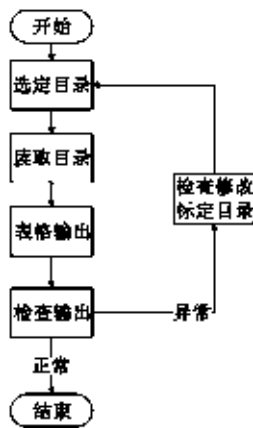


图 6 一键读取流程图
Fig. 6 One-click reading process flowchart

3 系统应用

该软件自 2017 年部署到山西测震站网后,对 57 个站点的 57 台套测震仪器标定结果进行流程化导入,实现在数分钟内即可汇总标定结果,有效提升测震站网的标定效率。同时利用该软件建立山西地区测震仪器标定结果数据库,首次实现标定结果的信息化管理,为今后仪器运维工作提供基础数据支撑。经过几年的运行,已实现标定流程规范化和汇总快捷化,不仅缩短运维人员的工作时间,还可避免手动处理数据带来的人为失误,提升了测震站网标定管理的水平。

4 结语

该软件自投入运行以来,得到地震监测中心站运维人员的认可,已成为日常工作中的必要工具,其实用性和易用性得到实践的检验。对该软件的设计、开发和长时间运行结果进行分析表明,基于 Qt 的标定管理软件,设计方案合理,人机互动界面良好;可提高上报结果的准确性,避免手动处理数据带来的人为失误;可实现标定流程规范化和汇总快捷化,有效提升测震站网标定管理的水平。

参考文献:

- [1] Havskov J, Alguacil G. 地震观测技术与仪器[M]. 赵仲和,赵建和,译. 北京:地震出版社,2007:206-207.
- [2] 朱小毅,林湛,陈阳,等. 地震计阶跃标定自动处理算法研究[J]. 地震地磁观测与研究,2010,31(1):45-48.
- [3] 高伟亮. 山西数字测震台网数字地震仪传递函数的测定及特性分析[J]. 山西地震,2012(02):24-30.
- [4] 刘林飞,官卓宏,梁向军,等. 山西测震台网地震计工作状态检测及故障原因分析[J]. 山西地震,2021(01):38-41.
- [5] Prata, S. C++ Primer Plus, 6th Edition[M]. 北京:人民邮电出版社,2012.
- [6] 霍亚飞. Qt Creator 快速入门[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2012.
- [7] 陆文周. Qt5 开发及实例[M]. 北京:电子工业出版社,2014.
- [8] 王属灵,宋磊,张一嘉,等. 基于 Qt 的通信信号分析软件的设计与实现[J]. 航天电子对抗,2023,39(03):26-32. DOI:10.16328/j. htz8511. 2023. 03. 008.
- [9] 吴树林. 基于 Qt 的电磁随钻测量系统接收软件设计[D]. 西安,西安石油大学,2022. DOI:10.27400/d.cnki.gxase. 2022. 001079.
- [10] 钱雪忠. 数据库原理及应用[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2007.

(英文摘要见第 51 页)

临汾站宽频带倾斜仪故障处理与维护

吝利民^{1,2}, 张聪聪^{1,2}, 荆红亮^{1,2}, 靳宝萍^{1,2}, 郭国祥^{1,2}

(1. 山西省地震局临汾地震监测中心站, 山西 临汾 041000;

2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要: 文章以宽频带倾斜仪工作原理为基础, 将典型故障分为控制功能性故障、信号调理故障和网络故障, 并对临汾站宽频带倾斜仪2022年6月3日至12月4日期间出现的故障及维修情况进行分析和总结, 得到一套实用性较强的故障维修经验, 在保障仪器运行稳定性、提高数据观测质量方面具有一定的作用。

关键词: 宽频带倾斜仪; 故障处理; 运维

中图分类号: P315.62 **文献标志码:** A

0 引言

宽频带倾斜仪是记录由天体相互作用力引起的地倾斜固体潮变化的地球物理观测设备^[1], 是进行地球物理观测的重要手段之一。由于其具有实用性强、运行稳定等特点, 在地震系统得到广泛的应用^[2-3]。宽频带倾斜仪在垂直摆倾斜仪的基础上研发, 数据采集器的采样率由原先的分钟采样提高为秒采样, 可以有效捕获更多的地球物理信号。宽频带倾斜仪的稳定运行和数据产出对地震监测工作起着一定的作用, 因此, 保障宽频带倾斜仪正常运行尤为重要。临汾地震监测中心站宽频带倾斜仪的长期稳定运行为地球物理观测提供大量可靠观测数据的同时, 其运维人员也积累了大量的运行维护经验^[4-5]。

1 宽频带倾斜仪工作原理

宽频带倾斜仪主要由垂直摆摆系、电源系统、信号处理系统、数据采集系统四部分构成^[6]。其中, 垂直摆摆系主要由摆杆、柔丝、主体支架、调零装置、锁摆装置、底盘组成, 垂直摆机械结构如图1所示。

宽频带倾斜仪由高强度合金柔丝将摆体垂直悬挂起来, 在无震动时处于铅垂状态, 当地面发生倾斜变化时, 柔丝悬挂的动片会随着地倾斜变化而发生改变, 导致动片与定片间的相对位置发生变化, 仪器将这种相对位置变化通过高精度的电容式差分式电容传感器(三片式电容器)将这种微小的电压变化记录下来, 再通过一系列的信号放大装置, 将信号记录到数据采集器中, 最后数采对信号进行整理, 还原地倾斜固体潮变化情况^[7], 电容传感器结构如图2所示。

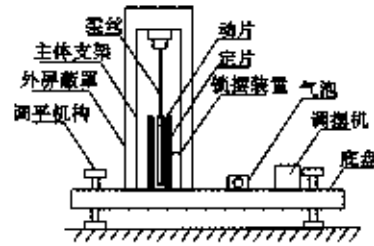


图1 宽频带倾斜仪机械结构图

Fig. 1 Mechanical structure of the wide-band inclinometer

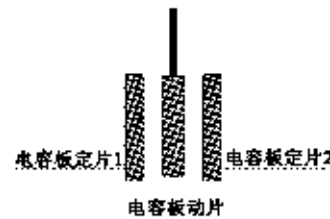


图2 电容传感器结构图

Fig. 2 Structure of capacitance sensor

图3所示的校准平台通过利用压电陶瓷的压电效应产生微形变来模拟实际微小形变量^[8-10]。为保障宽频带倾斜仪的正常运行, 每半年进行一次格值校准, 给定一个格值, 让仪器在测量物理量与采集量之间进行数据转换。当格值出现错误后, 导致记录的数据出现偏差, 严重影响观测质量。

收稿日期: 2022-12-05

第一作者简介: 吝利民(1991—), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 助理工程师, 从事地震监测运维工作, E-mail: 1147734520@qq.com.

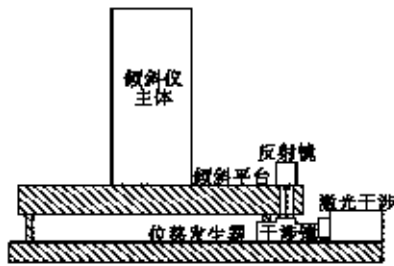


图3 标定平台示意图
Fig.3 Sketch of calibration platform

2 仪器常见故障处理流程

宽频带倾斜仪观测系统由四部分构成,工作原理为用垂直于地面悬挂的摆系来监测地倾斜的变化状况,高精度的电容式微位移传感器,把这种变化转化为微弱电信号,通过放大、整形、同步检波、滤波等模拟电路,将微弱电信号进行处理,由数据采集器记录整理,还原实际的地倾斜变化状况。宽频带倾斜仪常见故障有三类:第一类是控制功能性故障,主要有调零故障和标定故障;第二类是信号调理故障,主要表现为观测数据背景噪声大、突跳、台阶、畸变、无固体潮等;第三类是网络故障。故障排查流程如图4所示。

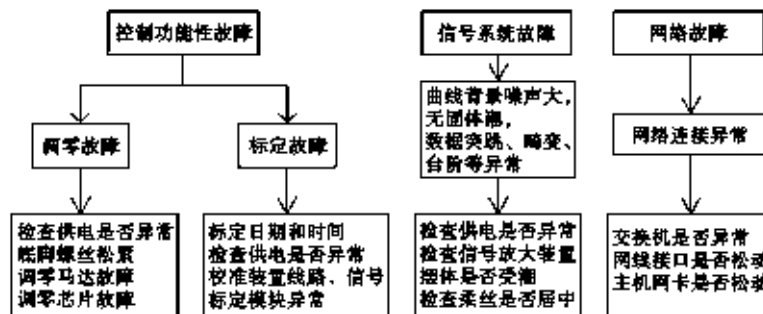


图4 宽频带倾斜仪故障排查流程图
Fig.4 Troubleshooting process for wide-band inclinometer

2.1 控制功能性故障

(1) 调零系统故障。

当传感器输出信号的大小超出数据采集器记录范围时,数采将无法记录传感器信号,需要对仪器进行调零操作。宽频带倾斜仪具有自动调零的功能,当需要调零时,可以通过仪器主机页面对仪器进行远程自动调零。当多次进行远程调零而仪器无响应时,应检查调零电路板的电压和供电线路,确认供电电压是否正常,供电线路是否存在虚接等现象,排除上述故障后,检查调零装置及马达是否出现故障。检查步骤为:将前置放大盒中的调零接线柱短路,若马达未能发出声音且不能正常调零,初步判定调零马达或马达控制芯片出现故障,在更换马达或马达控制芯片后,如果听到马达转动声音,但调零仍然出现故障,判定可能是调零底脚螺丝太紧或者太松,反复调整至合适位置,确保其平稳运行。

(2) 标定系统故障。

仪器每年进行2次格值校准,选择在小潮期间,波形曲线处于波峰或者波谷时进行。如果多次进行远程校准,仪器未响应或标定波形异常,判定为标定系统故障。故障排查步骤为:首先检查数据采集器的标定功能及标定线进入山洞后是否有标定电压;若标定功能正常且有标定电压输出,待校准结束后查看校准波形,

若校准波形幅度略小于正常校准波形幅度,可能是因长时间不校准导致,可再次进行校准,直到符合规范要求;若校准波形幅度与正常校准波形幅度明显不同,需对标定线路、标定信号进行检查;检查标定线路是否存在虚接、电子元件是否正常工作,同时可以对存在故障的电子元件 LM336 进行更换。

2.2 信号系统故障

信号系统故障主要有四类:第一类是供电故障。首先确保宽频带倾斜仪供电电压正常,采用直流 12 V 或直流 15 V,或者交流 100~240 V 供电电压。当供电电压异常时,先确保台站 UPS 是否正常供电,再测量电源模块中输出电压是否符合规范要求,进而对故障进行判断和处理。第二类是信号放大装置故障。信号放大装置的作用是将电容板定片与动片之间的相对位置信息通过放大、滤波、整形等信号调理^[1],将其转化为电压信号,并传输给数据采集器。信号放大装置故障会导致采集的数据出现错误。当其出现故障时,先拆开并检查电路,更换容易出现故障的电子元件,如果故障仍不能解决,考虑更换信号放大装置。第三类是电容动片位置偏离。当差分式电容传感器(三片式电容器)中的电容动片位置偏移中心位置时,导致观测数据异常且调零或者标定不能正常进行。用手电筒照射摆体正上方,查看电容动片的相对位置,使用螺丝刀

等对电容动片进行微调,将其置于两个电容定片的正中间位置。第四类是摆体受潮。在个别湿度较大的山洞容易出现此类故障,导致记录的电压信号出现偏差,此时需要对摆体进行除潮处理。

2.3 网络故障

网络故障主要分为三类,第一类是本地交换机故障。台站一般都是多套仪器共用交换机,交换机出现故障时,通过交换机连接的所有仪器都无法连接网络。第二类是网线接口松动。一般是由于维修过程中维修人员不小心触碰网线接口导致,重新插拔网线即可。第三类是网卡故障。维修人员在维修仪器时触碰网卡,导致松动,重新插拔即可。

3 典型故障分析及处置

3.1 供电电源故障

2022年6月3日临汾站宽频带倾斜仪南北向零漂超限,工作人员对其进行远程调零处置失败,重启仪器后东西向观测数据也出现错误,两分量观测数据同时出现无潮汐形态(见图5)。

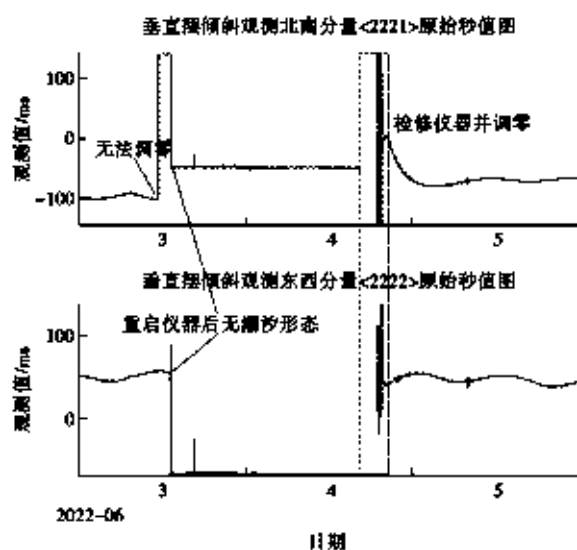


图5 宽频带倾斜仪原始观测数据曲线
Fig.5 Original observation data curve of wide-band inclinometer

出现该故障后,工作人员到山洞进行现场检查发现,东西向和北南向调零盒上的显示面板均无数据,数据采集器面板上有错误数据。两个测项的调零盒同时无数据显示,调零盒本身故障的概率很小,同时出现故障的概率也较低,初步判定电源故障的可能性较大。供电故障有两种可能性:一是供电线路问题,二是供电电源问题。

首先检查主机到传感器之间的供电线路。拆除供电线路接口,短接线路两头,用万用表进行导通测试,

发现线路正常,排除供电线路故障。打开主机检查供电模块,使用万用表测量传感器供电电源,正常状态时 $V_1=5\text{ V}$, $V_2=12\text{ V}$, $V_3=-12\text{ V}$,通过测量发现 V_2 为 10 V ,其余电压正常。故障原因为供电模块电压过低,造成调零盒显示器不亮。更换 $+12\text{ V}$ 的电源模块后,调零盒显示恢复正常。

3.2 调零故障

2022年6月4日供电故障维修后,供电恢复正常,但无法对其进行调零处置,主要表现为调零命令发出后调零电机一直运转,无法自行停止,初步推断为调零控制电路故障,对调零信息不能及时反馈所致。更换调零电路板上的TL084和LM356控制芯片后,调零成功,观测数据恢复正常。

上述供电电源和调零故障具有一定的内在联系,当远程调零命令发出后,调零装置开始运行,马达转动开始调零,此时调零控制芯片发生故障,无法将调零信息及时反馈马达,使马达无法停止,长时间给马达供电,引起供电模块部分烧坏,无法提供正常的供电电压,导致双向前置放大盒出现故障,造成调零盒显示面板无数据。

3.3 低通滤波芯片故障

2022年12月2日宽频带倾斜仪东西分量出现高频抖动及观测曲线噪声明显增大,发现问题后观测人员进山洞对仪器进行检修。由于观测环境未发现明显变化且北南分量观测数据正常,分析认为是东西分量故障(见图6)。

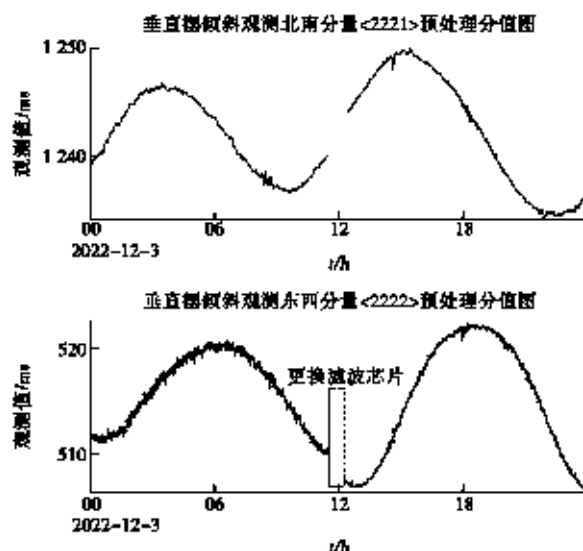


图6 宽频带倾斜仪预处理数据曲线
Fig.6 Preprocessing data curve of wide-band inclinometer

首先打开东西分量前置放大盒,通过万用表检查发现供电稳定,电压芯片输出稳定,排除线路和电源故

障,初步认为可能是低通滤波芯片故障。更换低通滤波芯片后,高频抖动现象消失。

3.4 网络故障

查看仪器工作状态是否正常,观测数据是否可以正常采集入库是每日巡检的项目。2022年12月4日在维修结束后发现仪器不能正常连接网络,路由器指示灯断续闪烁,网线接口未出现松动现象。

首先更换网线,故障仍然存在,认为可能是数据采集器中的网卡故障,然后打开数据采集器,检查网卡接口时,发现网卡接口松动,重新插拔网卡后,故障得到解决。

4 结语

由于仪器故障种类较多,为保障观测数据的连续、可靠,需要维修人员了解仪器的工作原理,掌握最基本的故障排除方法。总结临汾站宽频带倾斜仪运维工作,得出以下经验:

(1) 当主机面板显示正常,调零盒双向同时数据不显示时,首先考虑供电模块能否提供有效电压。

(2) 当远程操作无法调零时,首先考虑调零马达故障或马达控制芯片故障,在调零信号发出后,马达不转动,则大概率为马达故障;马达可正常转动,则考虑马达控制芯片故障。

(3) 曲线背景噪声大,数据突跳时,在确认观测环境未发生明显改变的前提下,首先考虑低通滤波芯片故障。

(4) 在每次维修仪器后,要检查仪器网络是否畅

通,观测数据是否可以正常采集入库。

参考文献:

- [1] 马武刚,吴艳霞,胡国庆. VP型宽频带潮汐观测仪的研制[J]. 地震工程学报, 2015, 37(03): 873-877.
- [2] 赵黎明,胡雪琪,李颖楠,等. 天津蓟县地震台VP宽频带倾斜仪故障诊断与排除[J]. 高原地震, 2019, 31(04): 52-56.
- [3] 朱冰清,王建国,郭巍,等. 天津地区VP宽频带倾斜仪与宽频带地震仪数据融合分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2021, 41(07): 759-764. DOI: 10.14075/j.jgg.2021.07.017.
- [4] 张聪聪,靳宝萍. 临汾中心地震台FHD质子磁力仪噪声干扰分析[J]. 山西地震, 2020(03): 30-33.
- [5] 张聪聪,韩磊,靳宝萍. 临汾龙祠地震台前兆观测系统维护[J]. 山西科技, 2019, 34(06): 146-149.
- [6] 马武刚,卢海燕,胡国庆,等. VP型垂直摆倾斜仪校准装置的设计[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(04): 152-155. DOI: 10.14075/j.jgg.2012.04.004.
- [7] 栾威,申文斌,贾剑钢. 利用VP型垂直摆倾斜仪观测数据检测2011日本Mw9.0级地震激发的低频地球自由振荡[J]. 地球物理学报, 2015, 58(03): 844-856.
- [8] 范彦平,朱灵,巫建东,等. 一种压电陶瓷微位移测量的新方法[J]. 压电与声光, 2010, 32(01): 82-85.
- [9] 施志龙,吴书朝. 垂直摆倾斜仪灵敏度标定方法研究[J]. 测绘科学, 2007(04): 63-64+194.
- [10] 韩同鹏,李国平,沈杰. 基于压电陶瓷微位移执行器的精密定位技术研究[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(02): 51-53. DOI: 10.13873/j.1000-97872010.02.004.

Fault Diagnosis and Maintenance of Wideband Tiltmeter at Linfen Station

LIN Limin^{1,2}, ZHANG Congcong^{1,2}, JING Hongliang^{1,2}, JIN Baoping^{1,2}, GUO Guoxiang^{1,2}

(1. Linfen Seismic Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Linfen, Shanxi 041000, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Based on the working principle of the wideband tiltmeter, this article categorizes typical faults into control functional faults, signal conditioning faults, and network faults. It analyzes and summarizes the faults and maintenance situations of the wideband tiltmeter at Linfen Station from June 3 to December 4, 2022, deriving a practical set of troubleshooting and maintenance experiences. This holds certain reference significance for ensuring the stability of instrument operation and improving the quality of data observation.

Key words: wideband tiltmeter; fault diagnosis; operation and maintenance

基于深度学习方法检测大同矿区非天然地震事件

郑亚迪^{1,2}, 赵晓云^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

摘要: 利用深度学习方法对2022年6月1日至8月31日大同非天然地震试验台网8个台站、山西及周边邻省地震台网32个固定台站的连续波形进行微震检测, 产出非天然地震自动编目结果。自动编目结果和人工编目结果的对比显示, 自动编目产出非天然地震事件数量是人工编目的7.9倍, 检测匹配率达86.9%; 发震时刻偏差1s以内的占总匹配事件的91.5%; 震源位置偏差在5km以内的占83.0%; M_L 震级偏差在±0.3以内的占81.1%; 震源深度偏差在2km以内的占60.1%。分析认为, 实时智能处理系统对大同矿区非天然地震目录完整性有较大幅度的补充, 定位精度较高, 可应用于大同矿区非天然地震检测、活动性分析及定位等工作。

关键词: 非天然地震; 深度学习方法; 微震检测

中图分类号: P315.09

文献标志码: A

0 引言

准确高效地检测每一个地震事件是开展地震工作的基础。近年来, 深度学习技术的发展, 为地震波到时自动拾取和震相自动识别开辟新的思路, 在地震信号识别中得到广泛应用, 相比传统检测方法其性能更优, 不仅计算时间远小于模板匹配类方法^[1], 且可避免波形数据特征涵盖不全、检测阈值设定等问题。廖诗荣等开发出基于深度学习的实时智能地震处理系统—RISP系统, 该系统可实现实时、高精度、高灵敏度的余震序列目录产出^[2], 在2021年云南漾濞 M_s 6.4、2022年门源 M_s 6.9 和马尔康 M_s 5.8 等多次地震的余震序列检测中得到较好的应用^[2-4]。

山西地区煤炭资源丰富, 常年的煤矿开采导致非天然地震事件频发^[5], 在采矿工程中, 岩石破坏以及由此导致的灾害如岩爆、冲击地压、顶底板变形破裂等都属于非天然地震, 在一定程度上影响民众的生产生活^[6]。因此, 对非天然地震进行快速准确的检测, 对政府部门应急管理、保障地方经济社会安全有重要作用^[7]。大同地区是山西省非天然地震发生较频繁的地区, 2022年在山西数字测震台网的基础上, 在大同矿区加密布设8个流动测震台站进行试验性观测, 为天然与非天然地震的研究提供基础数据。随着台网密度的增大, 可监测到的非天然地震明显增加。考虑非天然地震波形的复杂性, 本研究在大同非天然地震试验

台网数据的基础上, 结合固定台站波形数据, 引入基于深度学习的微震检测方法, 对山西大同矿区非天然地震的震相加以识别。通过震相关联、定位、震级测定、事件类型人工判定, 产出更加完整的非天然地震目录, 并与人工编目的非天然地震目录进行对比, 同时检测基于深度学习方法在山西大同台网的应用效果。

1 研究数据及方法

1.1 数据选取

为提升研究区非天然地震的监控能力, 在非天然地震事件频发区域形成更加科学、合理的监测布局, 山西大同非天然地震试验台网于2022年5月优化改造完成, 在大同矿区布设8个三分量中长周期一体化地震仪, 平均台间距为5km。本研究选取2022年6月1日0时0分至8月31日24时0分大同试验区域(北纬 $39.6^\circ \sim 40.2^\circ$, 东经 $112.5^\circ \sim 113.4^\circ$)加密台网8个台站、山西地震台网及邻省台网共32个台站(见图1)记录到的连续地震波形, 分别通过实时智能地震处理系统和人工处理, 产出非天然地震目录及观测报告。

实时智能地震处理系统对选取时段连续波形进行处理, 将研究区内检测的事件波形逐一截取, 剔除其中的天然地震, 通过人工分析确定含有非天然地震信号的所有事件, 产出非天然地震编目结果。RISP系统共产出非天然地震目录8649条(以下简称自动编目), 拾取震相196453个。在研究区内, 人工编目非天然

收稿日期: 2023-08-07

基金项目: 山西省地震局工作专项, 山西太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站项目(NORSTY2022-07)共同资助。

第一作者简介: 郑亚迪(1994—), 女, 山西忻州人, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事矿山地震监测研究, E-mail: ydzheng_sx@163.com。

通讯作者: 赵晓云(1977—), 女, 山西朔州人, 高级工程师, 主要从事矿山地震监测研究, E-mail: 365801901@qq.com。

地震事件共 1 096 条(以下简称人工编目),分析震相 21 119 个。

于深度学习的微震检测优势显著,与颜利君等得出的结论相近^[2]。

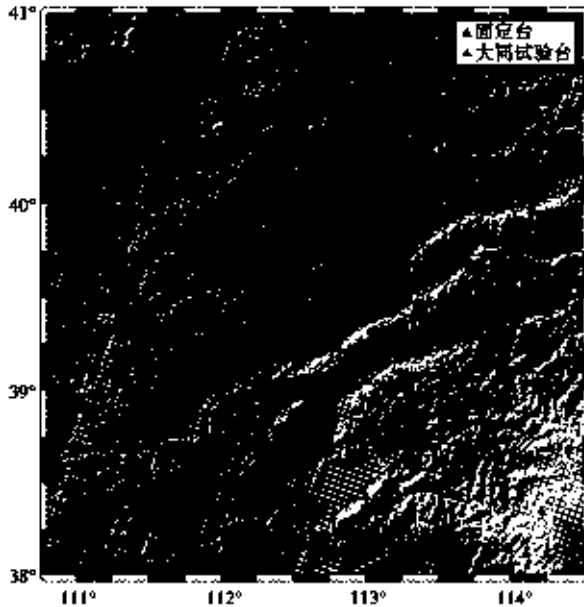


图 1 研究区域台站分布图

Fig. 1 Distribution map of seismic stations in the study area

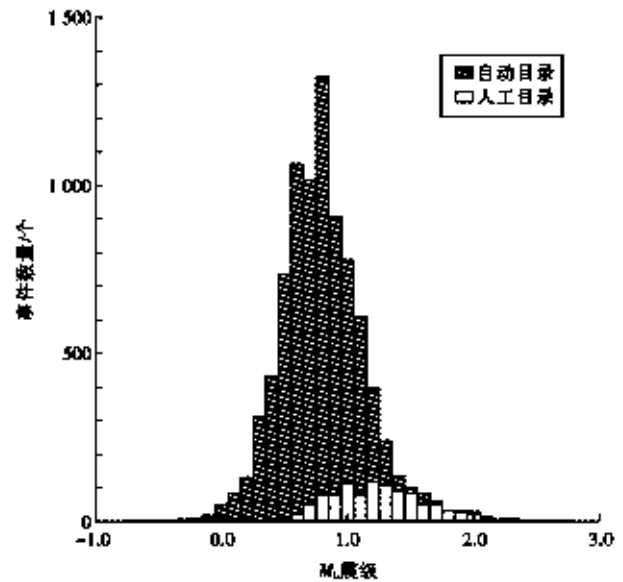


图 2 人工编目和自动编目震级结果对比图

Fig. 2 Comparison of magnitude results between manual and automated catalogs

1.2 研究方法

本研究使用廖诗荣等开发的地震编目实时处理系统(RISP)。该系统以深度学习技术为基础,从 Jopens 系统调取实时地震波形或直接读取离线数据,采用 PhaseNet 和 EQTransformer^[8-9]模型进行波形数据的震相识别并拾取到时,运用基于组触发和等时差八叉树搜索相结合的方法进行震相关联^[4],采用 NLLoc 等方法进行定位,按照震级国家标准自动量取振幅、计算震级。本次研究的事件触发最小阈值设置为 5 个震相。

2 检测结果对比分析

2.1 检测事件数量对比

自动和人工编目观测报告统计结果显示,2022 年 6 月 1 日至 8 月 31 日研究区内人工编目识别出的非天然地震事件有 1 096 个,震级分布在 M_L 0.2~2.8; 自动编目检测出非天然地震事件 8 649 个,震级分布在 M_L -0.4~2.8,比人工目录多 7 553 条,是人工编目数量的 7.9 倍。由此看出,自动编目非天然地震数量明显多于人工编目数量。

图 2 显示人工编目和自动编目事件震级对比结果。当 $M_L < 1.5$ 时,自动编目事件个数明显多于人工编目;当 $M_L \geq 1.5$ 时,人工编目与自动编目产生的事件数量基本一致。由此可见,在微小地震识别方面,基

于深度学习的微震检测优势显著,与颜利君等得出的结论相近^[2]。研究中,以人工编目事件的发展时刻和震源位置为对象,与自动编目产出事件进行对比匹配,设置发展时刻偏差小于 3 s、震源位置偏差小于 15 km 的匹配为同一事件。通过震相对比,自动编目有 953 个事件与人工编目结果匹配对应,检测匹配率达 86.9%;多检测出事件 7 553 个;漏检测事件 143 个,漏检率为 13.1%。图 3 为人工编目与自动编目的非天然地震震中分布图。可知两种目录的非天然地震大部分集中在大同非天然地震试验台网台站附近,自动编目检测事件的分布更密集,明显多于人工编目事件;自动编目比人工编目多检测出的非天然事件在整个研究区域内几乎均匀分布。由此看出,相比人工编目,对于监测能力稍弱的试验台网周边,基于深度学习的微震检测具有较好的检测能力。

2.2 发震时刻对比

图 4a 所示的自动目录与人工目录匹配成功事件发震时刻的偏差统计结果表明,发震时刻偏差为负值的事件数相对较多,即自动拾取事件发震时刻早于人工编目的事件较多,占匹配事件的 56.5%;发震时刻偏差小于等于 ± 0.5 s 的事件有 719 个,占总匹配事件的 75.4%;发震时刻偏差小于等于 ± 1 s 的事件有 872 个,占比 91.5%;发震时刻偏差小于等于 ± 1.5 s 的事件有 921 个,占比 96.6%;发震时刻偏差小于等于 ± 2 s 的事件有 938 个,占比 98.4%。

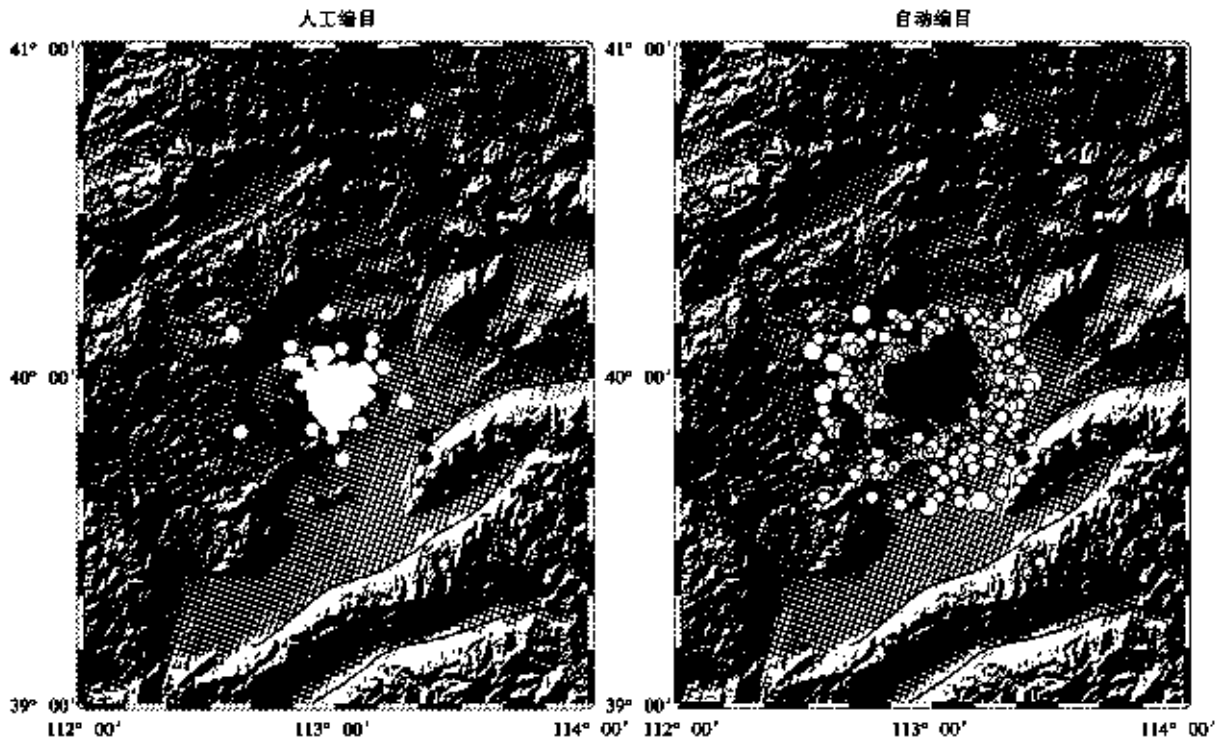


图3 人工编目与自动编目的非天然地震震中分布图

Fig. 3 Distribution map of non-natural seismic epicenters in manual and automated catalogs

2.3 震源位置偏差对比

图4b的自动编目与人工编目匹配事件震源位置偏差统计结果显示,自动编目与人工编目事件的震源位置偏差在5 km以内的共有791个,占匹配事件总数的83.0%;震源位置偏差在10 km以内的有911个,占比95.6%。图4c为自动编目与人工编目匹配事件的震源深度偏差统计,由于非天然地震事件发生在浅地表,日常的人工编目非天然地震震源深度设置为固定值0,因此自动编目与人工编目事件的深度偏差均为正值,偏差在2 km以内的事件有573个,占匹配事件的60.1%。

2.4 震级对比

图4d的自动目录与人工目录匹配成功事件 M_L 震级偏差统计结果显示,自动编目与人工编目事件的震级偏差为负值的事件数较多,即自动拾取事件震级小于人工编目的占总匹配事件的72.4%;震级偏差在 ± 0.3 以内的有773个,占81.1%;震级偏差在 ± 0.5 以内的有907个,占95.2%;震级偏差在 ± 1.0 以内的有945个,占匹配事件的99.2%。

2.5 震相到时对比

统计自动目录与人工目录匹配事件的P、S波震相到时偏差显示(见图5),自动拾取的震相中有3845个P波和4039个S波,分别与人工拾取的P、S波震相匹配,匹配率分别为76.1%和89.3%。P、S波到时偏差均呈正态分布,P波到时偏差主要分布在 ± 0.3 s以内,S波的在 ± 0.6 s以内;P波到时偏差收敛性更好,

系统对P波到时的识别精度相对更高^[10],对S波的识别精度低于P波。S波到时偏差为正值的事件数较多,说明存在较多自动编目拾取的S波震相晚于人工识别S波震相到时的情况^[2]。

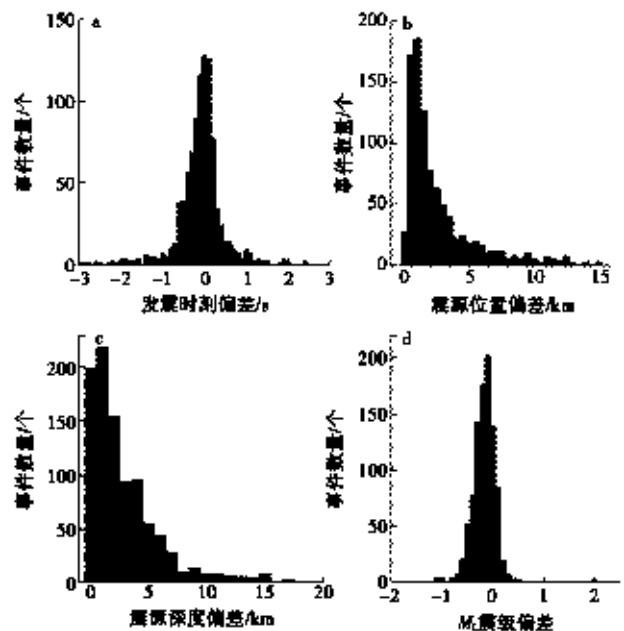


图4 自动编目与人工编目匹配非天然地震事件偏差统计图

Fig. 4 Statistical analysis of deviations in non-natural seismic events between automated and manual catalogs

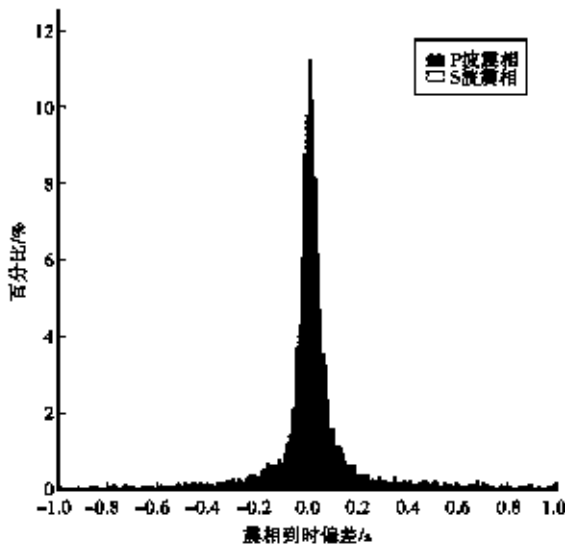


图5 自动编目与人工编目匹配
非天然地震事件 P、S 波到时间偏差统计图

Fig. 5 Statistical analysis of P and S wave arrival time deviations in matched non-natural seismic events between automated and manual catalogs

3 结论与讨论

为构建山西大同矿区非天然地震高精度目录,选取 2022 年 6 月 1 日至 8 月 31 日山西大同矿震监测流动台站及周边 32 个固定台站记录的地震连续波形,通过基于深度学习的实时智能检测系统进行处理,并对产生的自动编目结果进行筛选,得到研究区非天然地震自动编目结果,与人工编目结果对比分析,得出以下结论:

(1) 深度学习检测方法检测出非天然地震事件 8 649 个,为同一时段人工编目非天然地震事件的 7.9 倍。自动编目与人工编目匹配率为 86.9%,覆盖大部分人工编目事件,漏检率为 13.1%,并识别出大量人工未能识别的非天然事件,说明基于深度学习的微震事件检测可弥补大同矿区非天然地震人工漏检的缺陷。

(2) 定位精度方面。自动编目与人工编目结果基本一致,两种目录震中位置的偏差多集中在 5 km,发震时刻偏差集中在 2 s 内,震级偏差集中在 ± 0.3 以内,很大一部分事件的自动拾取震级小于人工编目震级。

(3) 震源深度方面。通过深度学习检测方法检测的匹

配事件震源深度有 60% 集中在 2 km 以内。根据研究区域已有的地质及开采资料,非天然地震震源深度应在 2 km 以内,由此看来,对于非天然地震震源深度测定,基于深度学习的微震检测仍存在一定误差。

(4) 震级方面。偏差集中在 ± 0.3 以内的事件占匹配事件的 81.1%,震级偏差可能是由于人工编目与自动编目量取的振幅与周期存在差异,且计算震级使用的量规函数不同引起的^[3]。

感谢福建省地震局房立华和廖诗荣团队为本研究提供的 RISP 系统。

参考文献:

- [1] 尹欣欣,杨晓鹏,蔡润,等.基于 PhaseNet 的地震信号自动处理方法准确性分析[J].大地测量与地球动力学,2022,42(08):870-873. DOI:10.14075/j.jgg.2022.08.018.
- [2] 颜利君,刘媛,廖诗荣,等.2022 年 6 月 10 日四川马尔康地震序列实时智能检测结果分析与研究[J].地震工程学报,2022,44(06):1450-1453. DOI:10.20000/j.1000-0844.20220817003.
- [3] 王祖东,杨晓鹏,尹欣欣,等.2022 年 1 月 8 日青海门源 $M_s 6.9$ 地震余震序列自动处理结果探讨[J].地震工程学报,2022,44(02):408-414. DOI:10.20000/j.1000-0844.20220125002.
- [4] 廖诗荣,张红才,范莉苹,等.实时智能地震处理系统研发及其在 2021 年云南漾濞 $M_s 6.4$ 地震中的应用[J].地球物理学报,2021,64(10):3632-3645.
- [5] 郑亚迪,宋美卿.山西大同、朔州地区非天然地震特征与识别[J].山西地震,2022(01):7-11.
- [6] 梁宝霞.矿震信号识别和定位及其在本城洞煤矿的应用[D].阜新市:辽宁工程技术大学,2007.
- [7] 周少辉,蒋海昆,曲均浩,等.爆破、塌陷识别研究进展综述[J].中国地震,2021,37(02):508-522.
- [8] Zhu W, Beroza G C. PhaseNet: a deep-neural-network-based seismic arrival-time picking method[J]. Geophysical Journal International,2018(1),1.
- [9] Mousavi S M, Ellsworth W L, Zhu W, et al. Earthquake transformer-an attentive deep-learning model for simultaneous earthquake detection and phase picking[J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 3952. DOI: 10.1038/s41467-020-17591-w.
- [10] 刘媛,颜利君,廖诗荣,等.实时智能地震处理系统在 2020 年四川石渠 $M_s 6$ 地震序列中的应用[J].地质论评,2022,68(04):1375-1381. DOI:10.16509/j.georeview.2022.05.021.

(英文摘要见第 56 页)

· 观测分析 ·

文章编号:1000-8265(2023)04-0045-07

陇县地震台电磁扰动数据变化规律及影响因素分析

李远林

(陕西省宝鸡市地震局,陕西 宝鸡 721004)

摘要:对陇县地震台电磁扰动仪2019至2021年的数据变化规律及成因进行分析,发现电磁扰动值的年变和日变形态与气温呈明显的负相关,探讨电磁扰动异常变化的影响因素发现,陇县台电磁扰动对发生在台站一定距离内中强以上地震的同震效应显著;另外观测数据还容易受到雷电、强降雨、大功率电器等因素的影响。通过总结不同干扰因素的影响形态,为迅速排除干扰及正确识别前兆异常提供依据。

关键词:干扰因素;电磁扰动;同震效应;观测数据

中图分类号:P315.72¹ **文献标志码:**A

0 引言

地震电磁扰动,又称电磁波、电磁辐射,是指在地震孕育过程中产生的地磁辐射源释放出电磁信号的现象^[1]。我国研究地震电磁扰动并用来预报地震是在1976年唐山地震后逐渐发展起来的,内容涉及震磁效应理论研究、震例研究、电磁辐射特征等方面,诸多研究表明,地震电磁辐射与岩石破裂及地震孕育有内在的联系^[2-6],电磁异常与台站周边的中强地震有相关性^[7-16],电磁扰动成为预测预报地震的重要手段之一,在短临跟踪实践中形成可借鉴的经验^[17-20]。

在电磁扰动的观测中,出现了许多与地震孕育发生过程无关的干扰因素,给识别地震前兆异常信息带来困难^[21]。因此,摸清电磁扰动在非震时段的变化规律和可能的影响因素,有助于在提取前兆异常信息时准确排除干扰因素,提高震前异常分析结论的可信度^[22]。

本文选取陇县地震台(以下简称陇县台)2019至2021年的电磁扰动观测数据,数据连续率和完整率均在95%以上。期间,该台周围未发生中强地震,台站配有气温、降水等辅助观测手段,为摸清电磁扰动的变化规律及影响因素提供数据基础。

1 台站观测环境及仪器概述

陇县台位于宝鸡市陇县县城西北方向11 km处的陇县温水镇柴家洼村,台站周围人员稀少,环境噪声小,附近无工业等其他强振源。台站位于陇县一宝

鸡断裂带的国关—魏镇断裂附近,该断裂带是鄂尔多斯西南边缘弧形断裂带的最南段。

陇县台电磁扰动观测开始于2014年6月,观测场地位于台站院内,采用郑州晶微电子科技有限公司研发和生产的GS-2000-DC电磁扰动仪,主要由磁扰动传感器、电磁扰动监测仪、数据采集仪、无线CDMA数据传输模块和前兆仪器专用充电机等设备构成,电磁扰动探头置于30 m的观测井中。磁扰动传感器根据“磁感应”原理设计,采用低频敏感磁芯,在磁芯上绕制一定数量的线圈,震时线圈切割磁力线,接收感应电磁信号。磁传感器安装在一个压力容器内,达到防潮和降低热噪音的作用,同时装置外配有静电屏蔽层,增强抗干扰能力。仪器采用井下安装方式,在一定程度上克服地面人为干扰和气象干扰带来的影响。仪器安装示意图如图1所示。

电磁扰动仪的工作原理为:电磁波接收装置将接收到的电磁波信号转换为电信号后,传入隔离放大电路,信号被放大并隔离干扰后分别输入三个电路,经滤波将三个不同频段的信号传入数据采集仪。为方便观测,仪器输出端的原始信号经过放大处理(放大系数为2)。三个通道的频段分别为0.1~1 Hz、1~10 Hz、10~20 Hz,每个通道的数据采集间隔为1 min。

2 日常变化规律

2.1 年变规律及影响因素分析

图2为陇县台2019—2021年电磁扰动日均值曲线,第一、二通道具有明显的年变形态,表现为冬高夏

收稿日期:2022-11-21

作者简介:李远林(1996—),女,河南洛阳人,硕士研究生,助理工程师,主要从事地震监测工作,E-mail:1191462480@qq.com。

低,其中第二通道夏季突跳干扰较多,第三通道年变形态不明显。地球物理观测值年变形态易受其他因素的影响,主要有气温、气压、降雨量等自然因素。对于电磁波观测,从仪器的设计原理和观测环境上看,气压与电磁波观测值基本不相关^[22]。将电磁扰动值与气温日均值进行对比发现,电磁扰动值第一、二通道与气温的相关系数分别为-0.94和-0.57,呈明显的负相关,温度低时电磁扰动呈现高值,反之呈现低值;第三通道由于干扰较大相关性不强,相关系数为-0.07。

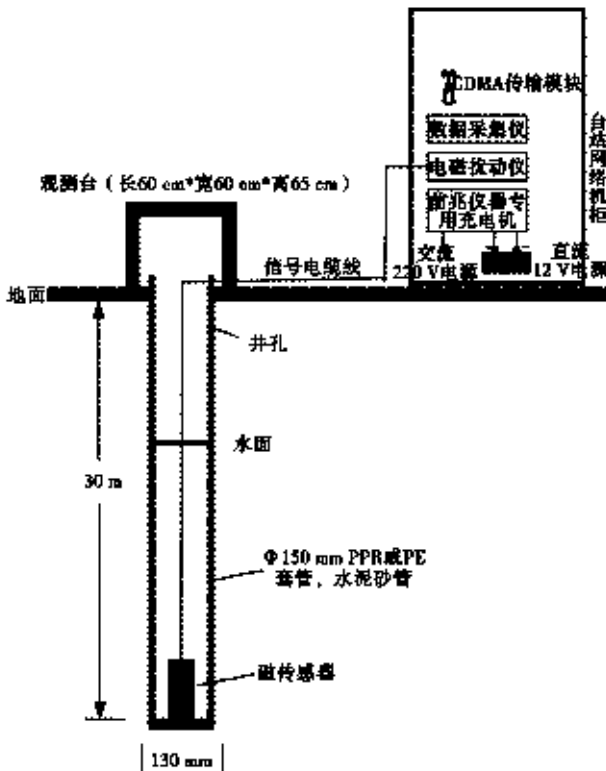


图1 GS-2000-DC电磁扰动仪安装结构图

Fig. 1 Structure of GS-2000-DC electromagnetic disturbance instrument

2.2 日变规律及影响因素分析

自观测以来,隄县台电磁扰动日变形态相似,分别选取2019年1月1日和7月1日冬、夏季两种形态的日变分钟值曲线进行分析(见图3)。第一通道在夏季的日变形态明显,为正弦曲线,7:00—8:00为高值区,15:00—17:00为低值区;冬季时的日变相对平缓。第二、三通道无规律性的日变形态,毛刺干扰在昼夜、季节无明显区别。虽然缺少每日气温的连续变化曲线,但依据一般的气温日变趋势,即一天中最高气温一般出现在午后2~3小时,最低气温出现在日出前后,可以看出电磁扰动第一通道的日变形态与气温也呈负相关变化。

3 动态扰动变化原因探讨

3.1 同震效应

表1列出隄县台电磁扰动仪自观测以来记录到的同震效应,可以看出,电磁波观测对400 km范围内的4.3级以上、600 km范围内的5.0级以上和800 km范围内的6.0级以上地震具有较好的同震效应。图4为2014年甘肃碌曲4.5级、2017年四川九寨沟7.0级、2018年陕西宁强5.3级和2019年四川长宁6.0级地震发生前后几个小时内的观测值,看出同震效应一般在震后3~5分钟后出现,主要表现为二通道或一、二通道同时出现高值脉冲,变化幅度明显超出背景值,可达几倍至几十倍。

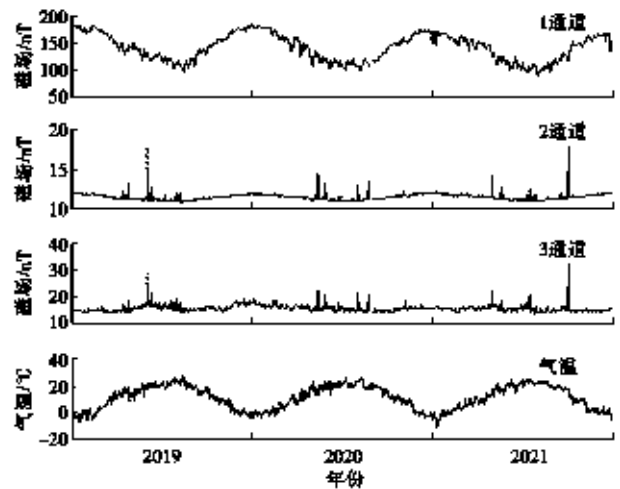


图2 隄县台2019—2021年电磁扰动值和气温日均值

Fig. 2 Daily average curves of electromagnetic disturbance values and temperature at Long County station from 2019 to 2021

3.2 非震异常变化及干扰因素分析

3.2.1 雷电

雷电天气会产生雷电电磁脉冲,尤其是低空特强雷电产生的超强电磁脉冲会对安装于地下的电磁扰动探头造成严重的干扰,多集中在夏秋两季^[23-24]。在观测数据曲线上表现为三个通道均出现高频脉冲式变化,异常时间和雷电发生时间一致,脉冲最大时可达正常观测值的3~4倍(见图5)。

3.2.2 强降雨

强降雨会引起隄县台电磁测值产生阶降,剧烈的扰动变化使日变形态消失。如图6所示,2021年9月17日至18日因强降雨(降水量达55.9 mm),1通道测值出现不规则的阶降现象,19日恢复正常。2021年10月3日至5日出现连续降雨,降雨总量达138 mm,电磁扰动测值在降雨期间出现不规则的阶降变化,

6日开始恢复正常日变形态。观测井里有水,电磁扰动探头位于水面下,能够避免一般性降雨的干扰影响,

但在强降雨时观测值会受到影响。

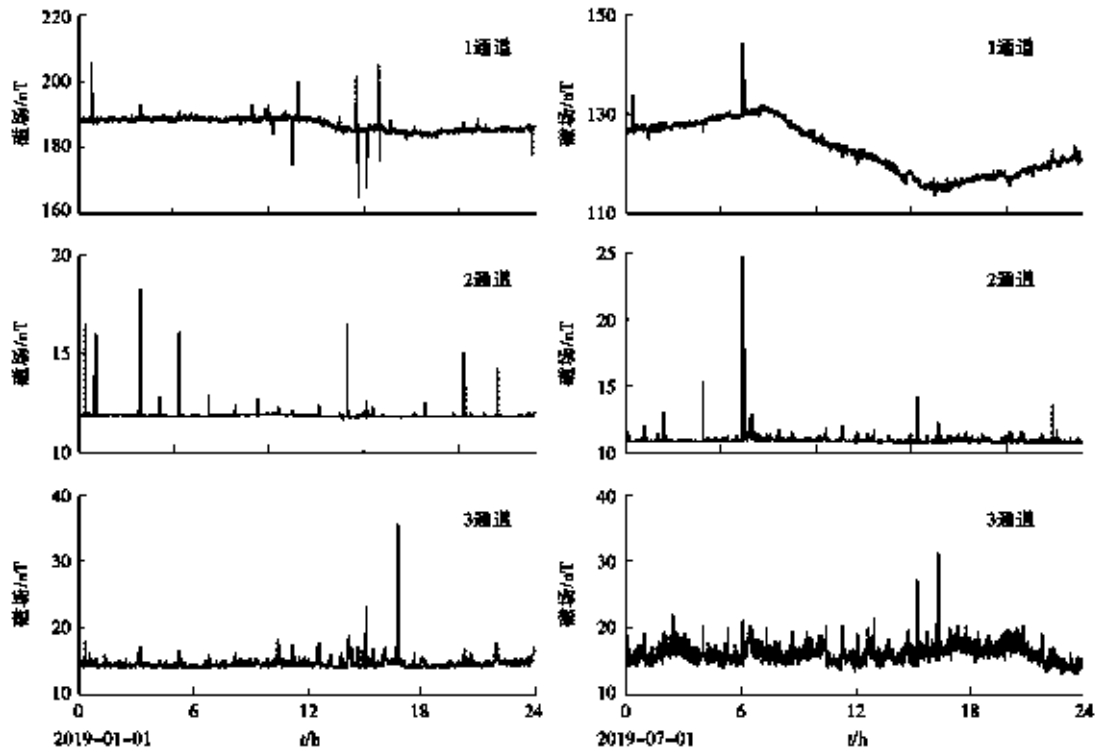


图3 陇县台电磁扰动日变曲线对比

Fig. 3 Daily variation curve of electromagnetic disturbance at Long County station

表1 陇县台电磁扰动仪自观测以来记录到的同震效应

Table 1 Parameters of coseismic effects recorded by electromagnetic disturbance instrument at Long County station

发震地点	发震时间	震中位置		震级	震中距/km	通道1最大响应幅度/nT	通道2最大响应幅度/nT
		纬度(°)	经度(°)				
四川梓潼	2014-07-29	31.48	105.25	4.9	402	160	90
甘肃碌曲	2014-10-25	34.25	102.39	4.5	406		20
四川康定	2014-11-22	30.28	101.69	6.3	680		10
甘肃临洮	2015-04-15	35.36	104.02	4.5	250	70	70
内蒙古阿拉善	2015-04-15	39.79	106.34	5.8	558	30	40
青海门源	2016-01-21	37.68	101.62	6.4	562		43
内蒙古阿拉善	2017-06-03	37.99	103.56	5.0	450		14
四川九寨沟	2017-08-08	33.20	103.82	7.0	328	580	340
四川九寨沟	2017-08-09	33.16	103.86	4.8	327	40	40
四川九寨沟	2017-08-10	33.16	103.85	4.3	327		9
四川青川	2017-07-17	32.38	105.36	4.9	307	80	60
宁夏原州	2017-09-02	36.28	106.01	4.6	165		13
四川青川	2017-09-30	32.27	105.00	5.4	330	60	120
陕西宁强	2018-09-12	32.75	105.69	5.3	259	160	130
四川兴文	2018-12-16	28.24	104.95	5.7	736	8	50
四川长宁	2019-06-17	28.34	104.90	6.0	730	35	50
甘肃夏河	2019-10-28	35.10	102.69	5.7	370		32
四川北川	2020-10-21	31.84	104.17	4.6	413		5
四川北川	2020-10-22	31.83	104.18	4.7	413		15
青海玛多	2021-05-22	34.59	98.34	7.4	762	310	210
四川泸县	2021-09-16	29.20	105.34	6.0	630	60	60

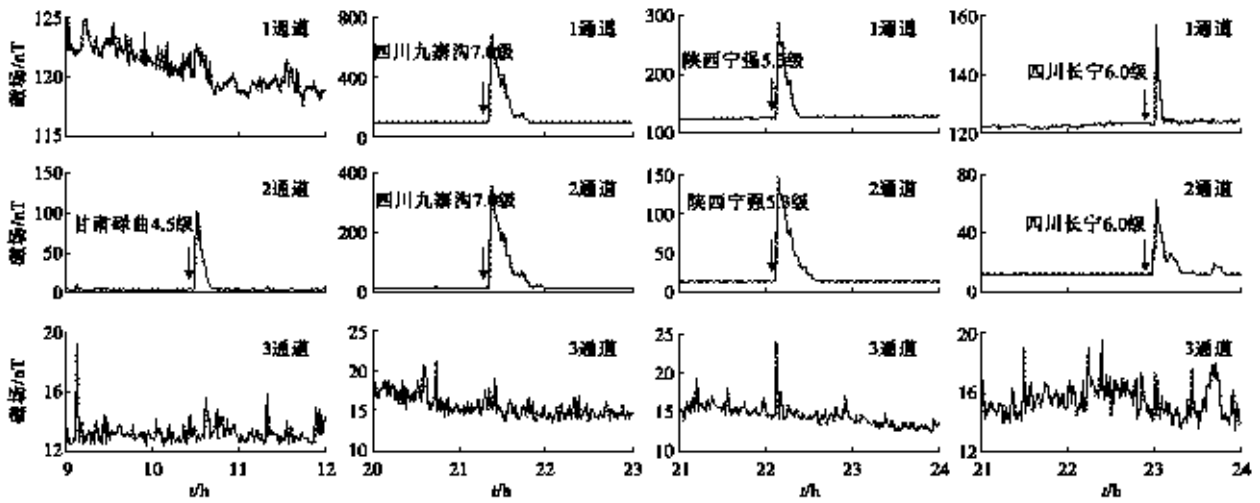


图4 隰县台电磁扰动同震效应
Fig. 4 Coseismic effect curve of electromagnetic disturbance at Long County station

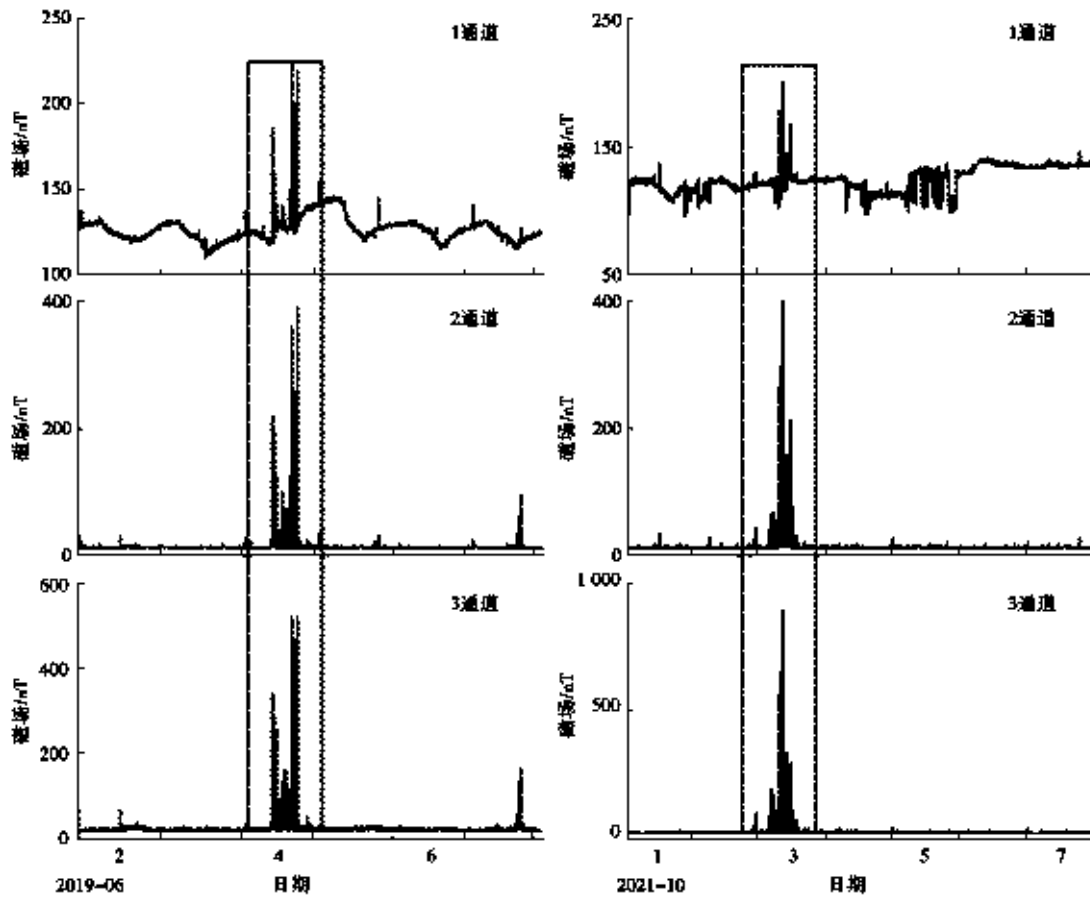


图5 雷电对电磁扰动的影响
Fig. 5 Form of observation data affected by lightning interference

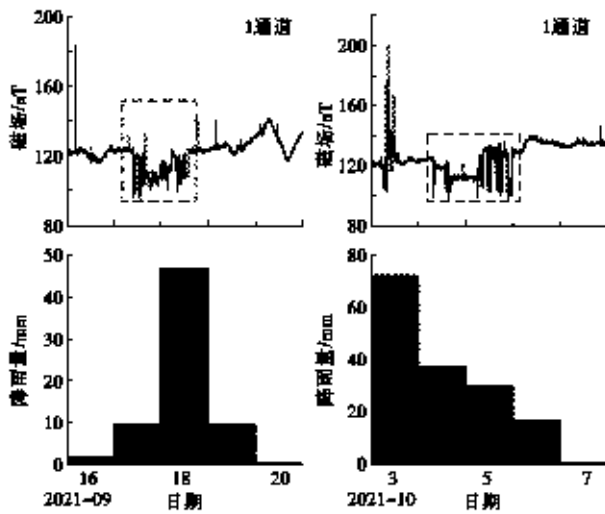


图6 强降雨对电磁扰动仪1通道的影响
Fig. 6 Influence of heavy rainfall on the first channel of electromagnetic disturbance

3.2.3 使用大功率电器

有关分析认为,使用大功率电器(如空调等)会导

致输电线路的电流负荷变化,根据电磁感应理论,会在输电线路附近产生变化电磁场,从而影响周围的磁场环境,导致记录到的电磁扰动值产生异常变化^[25-26]。

为研究使用大功率电器对陇县台电磁扰动的影响,选取6月11日至21日无雨或少雨时期(也无雷电干扰)作为研究时段。期间因气温升高,陇县台开始使用3匹立式空调,时间基本在13:00—17:00。

为从日变曲线中分辨出异常形态,根据前面对日变规律的研究,使用Matlab曲线拟合程序中的谐波拟合一通道日变曲线,拟合时段为24小时,并对拟合值和观测值作差,得到去除日变形态的残差曲线。由图7看出,6月11日13时至16时扰动明显增大;13日下午14:15电磁扰动测值出现阶升,16:00出现突跳;21日下午15:00至16:00电磁扰动值出现较大幅度的异常波动。如图8所示,在使用空调的几天内,第一通道测值扰动变化不明显,二、三通道出现不同程度的扰动变化。6月12日下午14:20和15:30,二、三通道均出现异常突跳;16日下午14:10左右开启空调,三个测道的电磁扰动值随之出现突跳,异常值明显高于一般测值,二、三通道的同步变化更明显。因此认为,使用空调会对陇县台电磁扰动观测值造成影响。

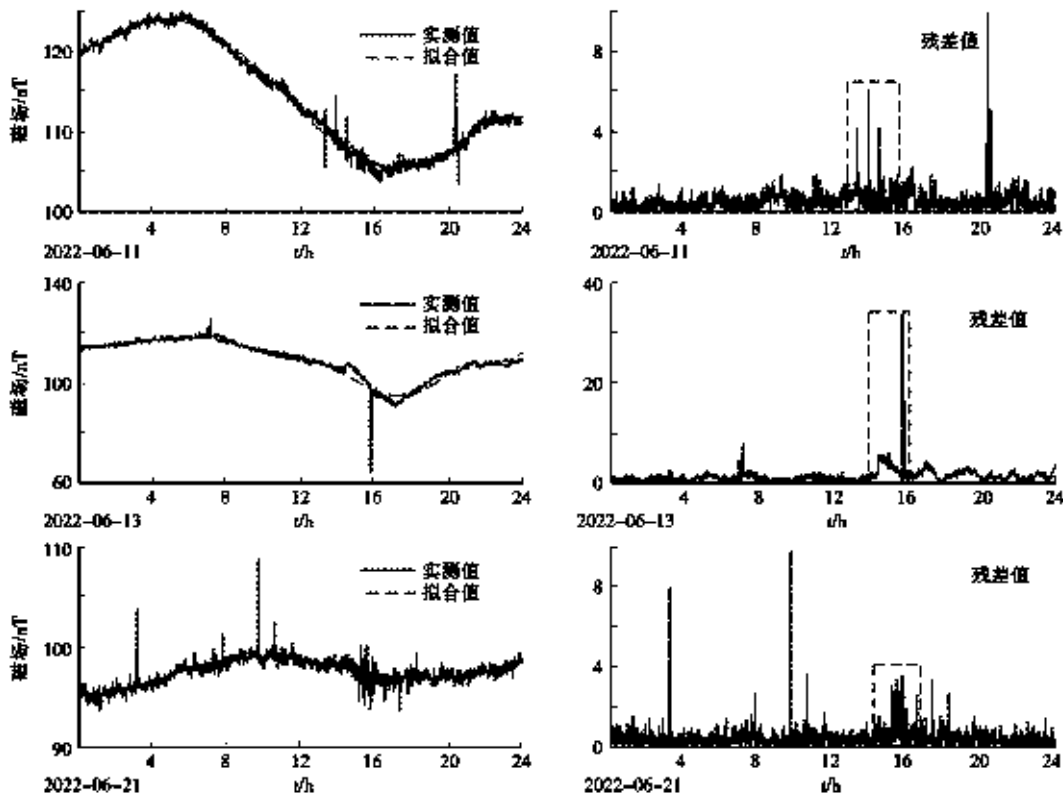


图7 使用空调引起电磁扰动仪1通道的异常变化
Fig. 7 Abnormal changes in the first channel of electromagnetic disturbance caused by air conditioning usage

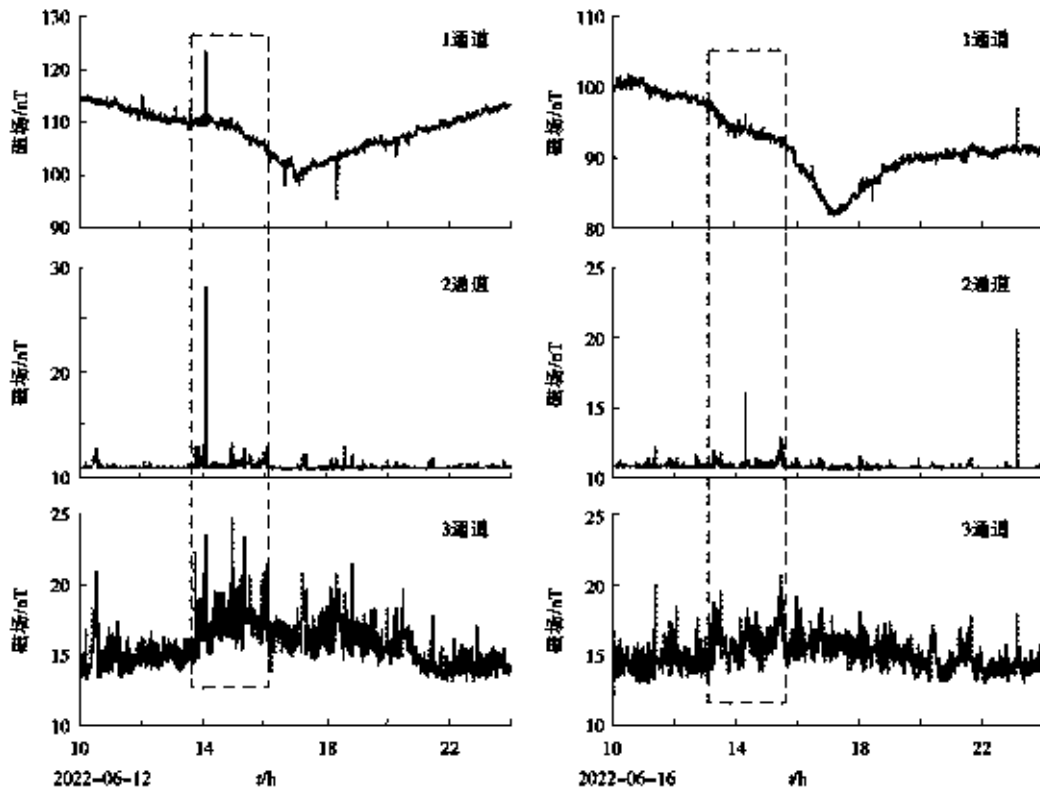


图8 使用空调引起电磁扰动仪3个通道的同步异常变化

Fig. 8 Synchronized abnormal changes in all three channels of electromagnetic disturbance caused by air conditioning usage

4 结论

对陇县台电磁扰动日常变化规律和动态扰动变化因素的分析,得出如下结论:

(1) 陇县台电磁扰动第一、二通道年变形态明显,表现为冬高夏低,与气温呈明显的负相关;第三通道年变不明显。第一通道日变规律夏季较冬季明显,为正弦曲线形态,与气温呈负相关;二、三通道无明显的日变形态。

(2) 陇县台电磁扰动对发生在台站一定范围内的中强以上地震具有明显的同震效应。

(3) 陇县电磁扰动观测值会受到雷电、强降雨、使用大功率电器等干扰因素的影响。雷电会使测值出现高值脉冲变化;受强降雨影响时,测值出现阶降,偏离正常日变形态;受大功率电器的使用影响,测值会出现较大幅度的扰动变化。

综上所述,本文分析陇县台电磁扰动数据的变化规律及原因,并对造成数据异常变化的影响因素进行总结,为台站人员能够迅速排除干扰因素、及时识别前兆异常提供依据,对电磁扰动仪日常运行维护具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 陈化然,杨冬梅,李琪,等. 1980年以来我国电磁辐射地震前兆信息的观测与研究[J]. 中国地震, 2008(02): 180-186.
- [2] 冯亮,张世杰. 产生地震电磁前兆信息的一种机制[J]. 地震研究, 1985(01): 33-38.
- [3] 郭自强,周大庄,施行觉,等. 岩石破裂中的电子发射[J]. 地球物理学报, 1988(05): 566-571.
- [4] 朱元清,罗祥麟,郭自强,等. 岩石破裂时电磁辐射的机理研究[J]. 地球物理学报, 1991(05): 594-601.
- [5] 郭自强. 地震低频电磁辐射研究[J]. 地球物理学报, 1994(S1): 261-268.
- [6] 郝锦琦,钱书清,高金田,等. 岩石破裂过程中的超低频电磁异常[J]. 地震学报, 2003(01): 102-111.
- [7] 杨兆旺,沈海宝. 电磁辐射异常信息的分析与思考[J]. 地震学刊, 1997(04): 18+20-23.
- [8] 关华平,陈智勇,余素荣. 首都圈及其邻近地区电磁辐射映震效果研究[J]. 地震, 2000(01): 65-70.
- [9] 洪祖展,杨小生. 地震电磁辐射观测技术应用研究[J]. 地震学刊, 2000(03): 38-43.
- [10] 卢永,杨军,冯志生,等. 江苏及邻近地区地震电磁辐射异常与地震关系[J]. 华南地震, 2004(02): 38-46.
- [11] 李美,程文海,侯万凯,等. 苏家屯台电磁辐射异常与地

- 震关系研究[J]. 中国地震, 2006(01): 76-84.
- [12] 丁跃军. 汶川地震与电磁扰动现象[J]. 国际地震动态, 2009(07): 8-18.
- [13] 关华平, 陈智勇. 地震电磁扰动场磁电分量综合信息的研究[J]. 地震, 1998(S1): 58-64.
- [14] 安海静, 赵家骥, 赵和云, 等. 大地电磁场的两种大震短临异常[J]. 西北地震学报, 2004(02): 73-78.
- [15] 王继军, 赵国泽, 詹艳, 等. 中国地震电磁现象的观测与研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2005(02): 11-21.
- [16] 袁宝珠, 刘晓灿, 马新欣, 等. 电磁扰动数据分析及在震情跟踪中的应用[J]. 地震地磁观测与研究, 2010, 31(02): 63-67.
- [17] 关华平, 韩凤银, 肖武军, 等. 超低频(ULF)电磁辐射观测与资料处理方法[J]. 地震, 2003(02): 85-93.
- [18] 李琪, 李军辉, 杨冬梅, 等. 地磁 ULF 前兆信息研究简述[J]. 地震地磁观测与研究, 2008, 29(06): 170-176.
- [19] 李美, 卢军. 地震电磁辐射前兆异常特征和异常指标关系研究[J]. 地震, 2008(04): 112-120.
- [20] Two types of changes in apparent resistivity in earthquake prediction[J]. Science China (Earth Sciences), 2011, 54(01): 145-156.
- [21] 李军辉, 殷煤, 何康, 等. 淮南台电磁扰动数据变化特征及影响因素初探[J]. 华南地震, 2012, 32(04): 45-51.
- [22] 田杨萌. 雷电电磁脉冲的产生机理、危害及其防护[J]. 物理与工程, 2006(05): 34-37.
- [23] 杨颖, 刘水莲, 肖武军, 等. 十三陵地震中心台电磁扰动数据分析处理讨论[J]. 华北地震科学, 2009, 27(02): 11-16.
- [24] 陶方宇, 陆栋梁, 应允翔, 等. 金寨台低频电磁扰动观测的降雨影响与校正[J]. 科技资讯, 2018, 16(01): 79-81+83. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2018.01.079.
- [25] 殷煤, 杨勋普, 朱亮. DC- II 电磁扰动仪的电源干扰与异常特征[J]. 华南地震, 2010, 30(S1): 176-181.
- [26] 李桂清, 厉天琴, 彭淑丽, 等. 濮阳台电磁波观测的干扰因素分析[J]. 高原地震, 2004(03): 69-70+65.

Analysis of Variations and Influencing Factors of Electromagnetic Disturbance Data at Long County Seismic Station

LI Yuanlin

(Baoji Earthquake Agency, Baoji, Shaanxi 721004)

Abstract: Analysis of variations and influencing factors of electromagnetic disturbance data at Long County Seismic Station from 2019 to 2021. It is believed that the annual and diurnal variations of electromagnetic disturbance values were found to exhibit a significant negative correlation with temperature. The study explores the influencing factors of electromagnetic disturbance abnormal changes and finds that the electromagnetic disturbance at Long County station exhibits significant coseismic effects for moderate to strong earthquakes occurring within a certain distance from the station. Additionally, the observation data can be easily affected by factors such as lightning, heavy rainfall, and high-power electrical appliances. By summarizing the influence patterns of different interference factors, it provides a basis for rapid interference elimination and accurate identification of precursor anomalies.

Key words: interference factors; electromagnetic disturbance; coseismic effect; observation data

(上接第 36 页)

Instrument Calibration Management Software Design and Application for Seismic Monitoring Station Network

GONG Zhuohong^{1,2}, LIANG Yan^{1,3}, YAN Meirong^{2,3}, LIU Fa^{2,3}, PENG Lijuan^{2,3}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021;

2. Datong Seismic Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Datong, Shanxi 037000, China;

3. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: To improve the efficiency of instrument calibration management for seismic monitoring station networks, a calibration management software has been developed. The software is designed and developed using the C++ programming language, and it mainly includes five modules: user management, information query, calibration result entry, table output, and backend database. After applying this software to the seismic monitoring station network in Shanxi, it optimizes the original calibration process, reduces calibration time, enhances the efficiency of instrument calibration for the seismic monitoring station network, and achieves unified management of calibration information.

Key words: instrument calibration; seismic monitoring station network; software design

2021年山东菏泽地电场观测数据异常识别及干扰排除

申茂正¹,周铭辉¹,张军¹,陈亚红¹,张继红²,冯梁乐¹

(1.山东省地震局菏泽地震监测中心站,山东 菏泽 274000;2.山东省地震局,山东 济南 250014)

摘要:2021年9月至2022年2月期间菏泽地电场观测数据出现异常变化,台站工作人员通过对观测系统、外装置系统、电极、观测室用电线路巡检、测试和主备机对比观测等方式,查找干扰源,在排除地球物理场异常变化后,认为此次数据异常变化是由电极老化和电极引线与外线路接线处接触不良造成的。

关键词:地电场;干扰;异常识别;接触不良

中图分类号:P315.72¹2 **文献标志码:**A

0 引言

地电场是重要的地球物理场之一。根据场源的不同,地电场可分为大地电场和自然电场两部分。大地电场由地球外部的各种场源作用在地球表面感应产生,一般具有广域性;自然电场由地下场源产生,是地下介质电性结构、地表、裂隙流体及地下金属体的物理、化学变化引起的局部性电场变化,一般具有局部性(或称为地域性)^[1-3]。大地电场观测作为地震前兆监测的重要手段,易受到电暴(磁暴)、人类活动、雷电、降水、观测系统本身变化(包含更换电极)、电阻率测量、公用接地网等因素干扰,为地震前兆信息的识别带来困难^[3]。

菏泽电磁台 GEF-II 地电场仪观测数据于 2021 年 9 月至 2022 年 2 月出现异常变化,为明确异常出现的原因,开展研究工作。通过巡查观测区环境、检查观测系统及外装置系统、调用相邻台站地电场备机开展试验等方式,逐步排查,找到引起观测数据变化的因素。最终排除故障、恢复正常观测,保证观测数据的连续性 & 观测资料质量。

1 菏泽地电场观测概况

菏泽地电场采用常用的 L 型观测装置布设,有 NS、EW、NW 向六条测线,独立布设电极和线路。具体为:在场地中心点向北和向西布设测线,每个方向均有两个测道,选取不同极距埋设电极,室内分线组合成六个输入端进入仪器,形成六个测道为南北向长极距

0.350 km、短极距 0.200 km,东西向长极距 0.350 km、短极距 0.200 km,北西向长极距 0.495 km、短极距 0.283 km^[4]。

2015 年 11 月更换为兰州地震研究所生产的新型固体不极化电极,2016 年 6 月 30 日至 7 月 5 日更换地电场观测外线路及配电箱。由于电极老化,到达使用年限,于 2021 年 12 月 16 日 18 时更换为兰州大地物探研究所生产的 LGB-3 型不极化电极。电极采用兰州地震研究所生产的固体不极化电极 6 个,埋设在地表冻土层以下的潮湿土壤中,深度 8 m,各电极基本处于同一平面,电极坑中土质相同^[5]。地电场外线均采用铠装电缆架空方式敷设,地电场配电箱按照规范要求设置,观测室内配电箱装有避雷设施,配电箱和仪器均做接地处理。

2 异常观测数据分析

菏泽台地电场各测道观测数据自 2021 年 9 月以来,经常出现错误数据,严重时一天内有 10 h 以上的错误数据(见图 1)。短极距北南向、东西向观测数据出现此种情况尤为严重,日变幅最高时达到 6 548 mV/km⁻¹。同时,各测道测值相关系数也出现大幅度降低,有时为负相关(见图 2)。此情况影响了观测数据的准确性,为日常前兆观测资料分析造成极大干扰。为此,2021 年 12 月 16 日更换 LGB-3 型不极化电极,之后,观测数据恢复正常。12 月 23 日后,地电场短极距观测数据出现间歇性突跳,日变幅最高时达到 6 548 mV/km⁻¹(见图 1)。台站工作人员针对

收稿日期:2023-02-14

第一作者简介:申茂正(1989—),男,山东菏泽人,助理工程师,主要从事地震监测预报与运维工作,E-mail:272685214@qq.com。

2021年9月及12月更换电极前后出现的观测数据异常情况,开展现场核实、检查工作。

2.1 检查供电线路

出现数据异常后,对观测楼内供电线路进行检查测量,发现台站整个观测楼内零线带电,零线对地电压为200 V左右。经过咨询,使零线带电的原因有很多种:线路上有电气设备漏电,保护装置未发挥作用;线

路上有一相接地,电网中的总保护装置没有得到保护;零线断裂等。

9月10日请专业人员对办公楼线路进行全面检查,发现一条火线被老鼠咬断,维修之后电压恢复正常,零线带电情况解决。漏电情况解决后,短极距东西向、南北向观测数据出现长时段错误数据情况仍未好转,故排除台站内供电线路漏电原因。

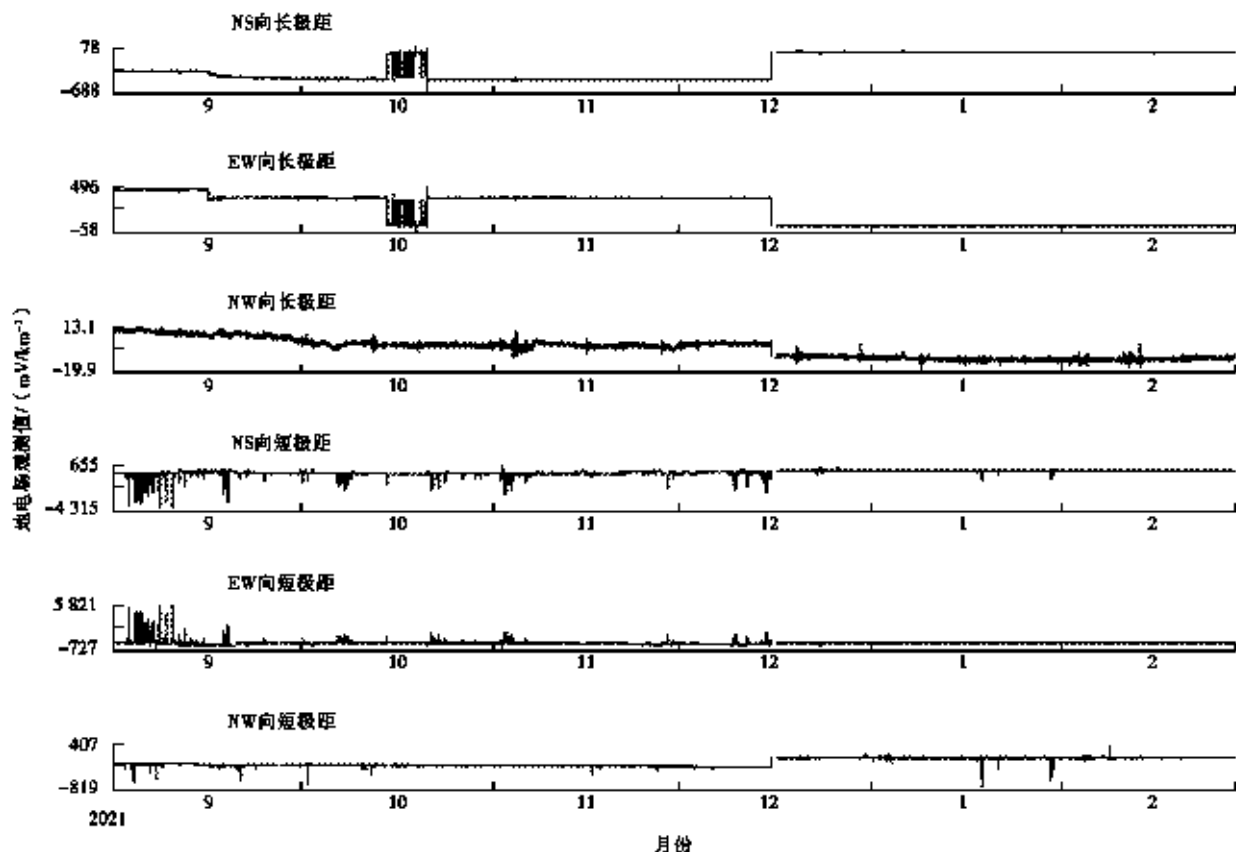


图1 2021年9月至2022年2月地电场观测原始数据

Fig. 1 Raw data of geoelectric field observation from September 2021 to February 2022

2.2 巡查外装置系统

对外线路、室内线路接线插头、外线路绝缘电阻、电极引线与外线路连接处等进行排查发现,电极引线与外线路连接处正常;室内线路接线插头无虚接现象;外线路外观正常、无破损及人为破坏情况,利用绝缘电阻测试仪对外线路进行绝缘测试,摇表数值大于200 M Ω ,说明外线路绝缘性能良好。由此,排除由外装置系统故障引起观测数据异常的情况。

2.3 观测试验对比

为判断是否由观测仪器故障引起观测数据异常变化,于2021年9月16日借来乳山台地电场备机进行

对比试验。试验之前,对备用仪器进行校准和参数设置,保证试验时备用仪器与菏泽台在用仪器处在相同的状态下进行工作。对比图1、图2发现,2021年9月17日以来的观测数据异常情况没有明显改善,相关系数与更换仪器前相比没有升高。由此判定,菏泽台在用地电场观测仪器不存在问题。

2.4 更换地电场电极

从观测仪器对比测试、观测线路以及观测场地等方面检查结果来看,这些环节均正常,不是引起此次数据异常变化的原因。观测日志记录显示菏泽台地电场电极上次更换时间为2015年,至今已有六年时间,使

使用年限已超过固体不极化电极的使用寿命。结合以上试验及排查情况,为解决观测数据异常变化的问题,于2021年12月16日对中心点公共长短电极、南北向和东西向长短电极进行更换。对比更换电极前后原始数据曲线、日相关系数和差值看出,相关系数和差值在更换电极后明显提高,观测数据质量得到明显改善(见表1、表2)。

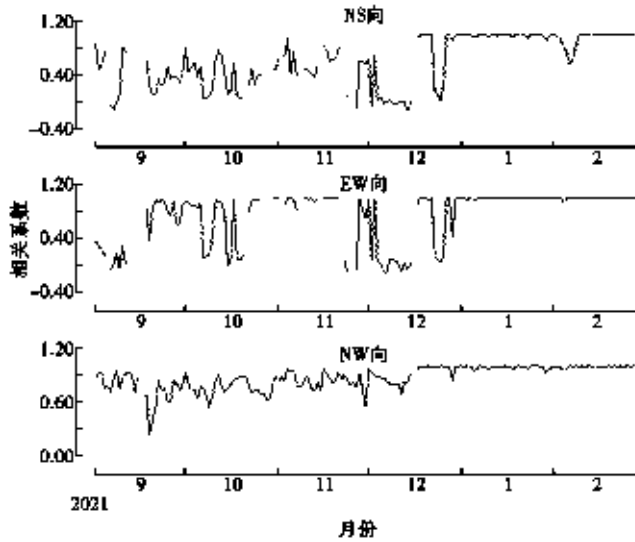


图2 2021年9月至2022年2月地电场测值相关系数
Fig.2 Correlation coefficients of geoelectric field measurements from September 2021 to February 2022

表1 更换电极前后测值日相关系数
Table 1 Daily correlation coefficients before and after electrode replacement

对比项目	对比时间月-日	NS极距	EW极距	NW极距	平均
更换电极前	12-13	0.006	0.029	0.821	0.285
	12-14	-0.127	-0.051	0.803	0.208
	12-15	0.007	0.043	0.904	0.318
更换电极后	12-17	0.954	0.883	0.961	0.933
	12-18	0.987	0.984	0.988	0.986
	12-19	0.975	0.993	0.981	0.983

2.5 公共电极及外线路检查

菏泽地电台 GEF-II地电场仪观测数据自2021年12月16日18时更换电极后观测数据一直正常,但从23日开始,短极距东西向、南北向观测数据出现畸变、错误数据,短极距北西向观测数据正常,判断可能是中心点公共短电极、外线路、闸刀、仪器内部公共短测道的问题。经过和山东省地震局专家论证后,决定对电极以及外线路分别进行测试。

(1) 12月26日在室内配线盘,断开中心点公共短

电极,引入室内的公共短电极外线路,把仪器端中心点公共短电极测量线并接到中心点公共长电极测量线上。在测量长、短极距南北向、东西向数据时,共用中心点公共长极距外线路及公共长电极。

(2) 在26日试验基础上,27日在野外中心点公共电极处,断开公共长电极与外线路的连接,用中心点公共长电极外线路连接中心点公共短电极。在测量长、短极距南北向、东西向观测数据时,共用中心点公共长电极外线路及中心点公共短电极。

(3) 两次试验包含对中心点公共长电极、公共短电极、公共长电极外线路的检测,对比前后的观测数据(见表3、表4),未发现明显变化,说明试验中包含的电极和外线路不存在问题。初步判定故障点可能出现在中心点公共短电极外线路及外线路与电极连接线处的闸刀之间。

(4) 确定故障点后,巡查中心点短电极外线路及外线路与电极连接线处的闸刀。中心点短极距外线路外观无破损情况,通过绝缘电阻测试仪对该外线路对地绝缘电阻进行测试,接近无穷大,表明外线路无故障;检查发现中心点公共短电极引线 with 外线路连线闸刀处由于更换公共短电极引线时操作不当,导致闸刀出现问题,使得外线路与中心点公共短电极引线接触不良,将外线路与该电极引线避开闸刀进行直连后,观测数据恢复正常。

表2 更换电极前后测值日差值

Table 2 Daily differences in measurements before and after electrode replacement

对比项目	对比时间月-日	NS极距	EW极距	NW极距	平均
更换电极前	12-13	46.39	33.93	0.38	26.90
	12-14	141.63	104.72	0.29	82.21
	12-15	703.11	521.25	0.38	408.25
更换电极后	12-17	3.69	4.79	1.84	3.44
	12-18	0.79	0.09	0.59	0.49
	12-19	0.74	0.19	0.64	0.523

表3 检查前后测值日相关系数

Table 3 Correlation coefficients of measurements before and after investigation

对比项目	对比时间月-日	NS极距	EW极距	NW极距
检查前	12-23	0.147	0.167	0.980
	12-24	0.115	0.074	0.988
	12-25	0.006	0.036	0.996
检查后	12-26	0.299	0.204	0.984
	12-27	0.956	0.956	0.987
	12-28	0.993	0.995	0.988

表4 检查前后测值日差值
Table 4 Daily differences in measurements
before and after investigation

对比项目	对比时间 月-日	NS 极距	EW 极距	NW 极距
检查前	12-23	115.43	85.17	0.29
	12-25	4.21	3.28	0.22
	12-26	13.51	10.04	0.15
检查后	12-27	0.86	0.67	0.15
	12-28	0.29	0.09	0.25
	12-29	0.30	0.34	0.22

3 结论与讨论

菏泽台地电场观测数据出现异常变化后,台站工作人员结合异常特征,从观测仪器、外装置系统、更换电极和公共点对比实验等多方面进行综合研判,最终确定造成观测数据异常变化的原因为电极老化和外线路与公共短电极引线处的闸刀接触不良所致,排除地球物理场异常变化。

菏泽地电台地电场布极区位于农田,受到的自然条件及人为干扰因素较多,主要受农田机械作业、农田灌溉、灌溉设备漏电、高压直流输电、地电暴等因素影响。异常落实工作应在异常数据出现后,通过分析异

常数据形态,初步确定产生异常的原因,制定具体的异常落实方案和措施。如果地电场所有测道的观测数据在同一时间都记录到干扰,可以考虑地电暴、高压直流输电、降雨、雷电等因素的影响;如果是个别测道或者两个测道的观测数据出现异常变化,要分析两个测道共用的电极,大致确定排查干扰的方向,避免盲目地进行异常核实而延长数据异常时间,耽误震前异常信息的捕捉。

感谢山东省地震局张继红研究员和中国地震局席继楼研究员给予的帮助与指导!

参考文献:

- [1] 中国地震局监测预报司.地震电磁学理论基础与观测技术[M].北京:地震出版社,2010:1-180.
- [2] 钱家栋,赵玉林,桂雯泰,等.国内外地电预报地震研究动态与展望[M]//国家地震局科技监测司.中国地震预报方法研究.北京:地震出版社,1991:266-276.
- [3] 张彩艳,赵洁,雷功明,等.甘肃嘉峪关地震台大地电场观测数据干扰分析[J].山西地震,2011(4):25-28.
- [4] 蔡璐.菏泽地电台电极改造前后观测数据对比研究[J].地下水,2022,44(02):137-140.
- [5] 辛建村.各测向地电场潮汐波相位关联特征及机理研究[D].兰州:中国地震局兰州地震研究所,2017:1-62.

Abnormal Data Recognition and Interference Elimination in the 2021 Geoelectric Field Observations in Heze, Shandong

SHEN Maozheng¹, ZHOU Minghui¹, ZHANG Jun¹, CHEN Yabong², ZHANG Jihong², FENG Liangle¹

(1. Heze Seismic Monitoring Center Station, Shandong Earthquake Agency, Heze, Shandong 274000, China;

2. Shandong Earthquake Agency, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: From September 2021 to February 2022, abnormal changes were observed in the geoelectric field observation data in Heze. To identify the cause of the anomalies, station personnel conducted anomaly recognition and interference elimination work. Through inspections, tests, and comparisons between the main and backup systems of the observation system, external device system, electrodes, and electrical circuits in the observation room, interference sources were identified. After eliminating abnormal changes in the geophysical field, it was determined that the abnormal data variation was caused by electrode aging and poor contact between the electrode lead and external circuits.

Key words: geoelectric field; interference; anomaly recognition; poor contact

(上接第 32 页)

Study on the Distribution Model of Population Spatial Kilometer Grid in Shanxi Province

CHENG Ziyang^{1,2}, YANG Bin^{1,2}, YU Tong^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Accurate population distribution information is crucial for rapid post-disaster assessment and emergency rescue decision-making. The precision of population distribution data based on administrative divisions no longer meets practical needs. In this study, we integrate remote sensing building data, residential data, natural environmental factors, and statistical population data. Focusing on Shanxi Province as the target research area, we establish a mathematical model for kilometer grid population distribution. The generated population grid data from the model are compared and analyzed against real-world situations to verify the model's accuracy. Improvement suggestions are proposed to gradually develop a simple, efficient, and application-oriented method for gridding population data that meets practical requirements.

Key words: population distribution; kilometer grid; model

(上接第 44 页)

Detection of Non-natural Seismic Events in the Datong Mining Area Based on Deep Learning Methods

ZHENG Yadi^{1,2}, ZHAO Xiaoyun^{1,2}

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Utilizing deep learning methods, we conducted microseismic detection on continuous waveforms from eight stations of the Datong non-natural seismic experimental network and 32 fixed stations from seismic networks in Shanxi and surrounding provinces, covering the period from June 1 to August 31, 2022. The automated catalog of non-natural seismic events was generated. A comparison between the automated and manual catalogs revealed that the automated catalog identified 7.9 times more non-natural seismic events than the manual catalog, with a detection matching rate of 86.9%. Events with a time deviation within 1 second accounted for 91.5% of the total matching events, while those with an epicenter deviation within 5 km constituted 83.0%. Additionally, events with a magnitude deviation within ± 0.3 ML comprised 81.1%, and those with a depth deviation within 2 km constituted 80.1%. The analysis suggests that the real-time intelligent processing system significantly supplements the completeness of the non-natural seismic catalog in the Datong mining area, demonstrating high localization accuracy. This system can be applied to non-natural seismic detection, activity analysis, and localization in the Datong mining area.

Key words: non-natural earthquakes; deep learning methods; microseismic detection

《山西地震》2023年第1期~4期(总第193期~196期)总目次

目 录	作 者	期 页
· 地震活动性 ·		
基于频谱分析的矩震级测定方法——以山西地震带为例	李 斌, 新一升, 李嘉丽, 王泽东, Nganaye Gomer De Dieu	1 (1)
浙江省非天然地震区域特点和识别方法	赵梦琦, 孙 侃, 吕奥博, 陈依依	1 (9)
晋北地区中强震前后构造应力场变化特征	郭文峰, 宋美卿, 杨世英, 李玉锐, 王 霞	2 (1)
临汾盆地及邻区地震重定位和 b 值研究	张聪聪, 张英杰	2 (5)
基于“区域-时间-长度算法”的傅里叶变换分析华北地区6级以上地震活动性变化规律	贺劲松, 卫 超	4 (13)
· 地震地质 ·		
山西清徐地裂缝分布、类型与建筑物避让距离确定	马秀芳, 赵晋东, 曾金艳, 薛晓东, 薄建杰	1 (20)
山西断陷带主要活动断层基本特征与避让区划	史双双, 蔡洁钰, 刘艳春, 闫小兵	3 (46)
山西临汾市区土层剪切波速与埋深关系的研究	任瑞国, 李宏伟, 危桂让	3 (52)
浅层人工地震精确探测隐伏断层方法研究	曹维望, 王 飞	4 (1)
· 观测分析 ·		
井下地电阻率交流观测试验——以江宁台为例	樊晓春, 高可伟, 单友磊	1 (24)
忻州站井下与地表地电阻率观测数据对比分析	尚永明, 宁亚灵, 殷志刚, 李贵明	1 (30)
大同中心站 YRY-4 钻孔应变仪与 BBVS 测震仪同震数据对比分析	李文超, 刘瑞春, 刘 炜, 闫芙蓉, 殷 锴, 高龙飞	2 (11)
山西地震预警新建基准站数据质量评估	丁大业, 董春雨, 宫卓安, 陈永新, 吕飞亚	2 (15)
山西地震预警台网基准站场地响应研究	刘 炜, 李文超, 白伟利, 殷 锴	2 (23)
陇县地震台电磁扰动数据变化规律及影响因素分析	李远林	4 (45)
2021年山东菏泽地电场观测数据异常识别及干扰排除	中茂正, 周懿辉, 张 军, 陈正红, 张继红, 冯荣乐	4 (52)
· 技术交流 ·		
DTW 算法在地震时间序列信息挖掘中的应用	李宏伟, 张淑亮	1 (37)
基于 POI 的地震应急基础数据库更新方法研究	赵 杰, 郑树平	1 (41)
地震预警系统运维常见典型故障分析处理	孙常青, 滕 举, 朱振家, 尉 龙, 周建华, 邢庆牛	2 (28)
地震预警站网典型故障及波形异常分析处理	李晓妮, 刘国俊, 陈永新, 姚林鹏, 薛 亮, 常 蛟	2 (32)
山西省地震危险性计算与制图	危桂让, 郝雪景, 刘艳春, 张 丽	3 (36)
山西省工程场地地震安全性评价活动断层探测成果数据库建设综述	郝雪景, 危桂让, 刘艳春, 任瑞国	3 (41)
地震监测管理平台研发及应用——以宿迁地震台网为例	单友磊, 朱 红, 翟红英	4 (23)
山西省人口空间公里格网分布模型研究	程紫燕, 杨 斌, 于 潼	4 (29)
测震站网仪器标定管理软件的研究与设计	宫卓安, 梁 艳, 闫芙蓉, 刘 发, 彭丽娟	4 (33)
临汾站宽频带倾斜仪故障处理与维护	谷利民, 张聪聪, 荆红亮, 靳宝萍, 郭国祥	4 (37)
基于深度学习方法检测大同矿区非天然地震事件	郑亚迪, 赵晓云	4 (41)
· 地震社会学 ·		
东汉时期地震与社会文化的关系——张衡地动仪发明的背景研究	卢双琴, 于庆民, 韩晋浴, 王合乾, 石晓辉, 郭春红	1 (45)
· 工作论坛 ·		
毕路蓝缕 以启山林——我与《山西地震》	袁正明	1 (53)
探析新形势下地震档案利用服务价值提升的途径	刘敏娟, 张瑞芳	2 (54)

· 本刊启事 ·

“地震灾害风险普查工程和地震易发区房屋设施加固工程”专刊约稿函 《山西地震》编辑部 1 (56)

· 防震减灾 ·

基于层次分析法的地震灾害伤亡人员数量预测研究——以四川地震为例 罗奕生,李延峰,白永祚 2 (37)

特大城市居民地震灾害风险感知及影响因素研究——以天津市为例 张孟怡,王萍,李悦,张楠 2 (41)

· 地震标准 ·

规范地震宏观观测 夯实短临预报基础——《地震宏观观测技术规范》解读 闫计明,王震,张梅,陈慧,郭文峰,李艳 2 (47)

· 综述 ·

山西地震应急视频会议系统发展历程 郑树平,徐博,丁小牛,程紫燕 2 (50)

山西省地震灾害风险普查成果与推广应用综述 曹金艳,惠桂让,刘艳春,闫小兵,史双双 3 (1)

摸清底数 提高地震灾害风险防治能力——山西省地震灾害风险普查工程纪实 李泽晖,陶君丽,董康义 3 (5)

· 工程抗震 ·

山西中南部农村典型房屋建筑抗震性能调查分析 史琳娜,史双双,王雷雷,郝雷景 3 (7)

芮城县房屋建筑抽样详查结果及典型结构抗震性能分析 王雷雷,韩晓飞,王跃杰,由文哲,焦洁钰 3 (12)

基于遥感影像和经验估计初判山西省建筑物抗震能力 赵杰,王跃杰,程紫燕,王飞剑,郑树平 3 (18)

临汾市浮山县不同结构建筑物特征研究 马秀芳 3 (23)

忻州市代县农村房屋抗震性能调查与分析 焦品森,徐博,郑树平 3 (27)

临汾市古县房屋抽样详查及抗震设防存在问题分析 薛晓东,韩晓飞,任鸡因 3 (32)

基于窗上带与窗间墙关系评估芮城县砖混结构房屋抗震性能 韩晓飞,董斌,薛晓东,史双双,王雷雷 4 (8)

· 史海钩沉 ·

不该忘却的地震群测群防 袁正明 4 (19)

Composite Catalogue of EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI

(No. 1~4, 2023, Sum No. 193~196)

· Seismicity ·

Determination of Moment Magnitude Based on Spectrum Analysis, Taking Shanxi Seismic Belt as an Example LI Bin, JIN Yidan, LI Jiali, WANG Zhendong, Nganaye Gomer De Dieu 1 (1)

Characteristics and Identification Methods of Non-Seismic Areas in Zhejiang Province ZHAO Mengqi, SUN Kan, LV Aobo, CHEN Yini 1 (9)

Characteristics of Structural Stress Field Variation before and after Moderate to Strong Earthquakes in Northern Shanxi Region GUO Wenfeng, SONG Meiqing, YANG Shiyang, LI Yujiao, WANG Xia 2 (1)

Study on Seismic Relocation and b-value in the Linfen Basin, Shanxi Province and its Surrounding Areas ZHANG Congcong, ZHANG Yingjie 2 (5)

Seismicity Regularity of $M \geq 6$ in North China Based on the Analysis on the Fourier Transform of the "Region-Time-Length Algorithm" HE Jinsong, WEI Chao 4 (13)

· Earthquake Geology ·

Distribution, Types and Building Avoidance Distance Determination of Ground Fissures in Qingxu, Shanxi MA Xiufang, ZHAO Jinquan, ZENG Jinyan, XUE Xiaodong, BO Jianjie 1 (20)

Basic Characteristics of Main Active Faults and Zoning for Avoidance in the Shanxi Rift Zone SHI Shuangshuang, JIAO Jieyu, LIU Yanchun, YAN Xiaobing 3 (46)

Study on the Relationship between Shear Wave Velocity and Burial Depth of Soil Layers in Linfen City, Shanxi	REN Ruiguo, LI Hongwei, HU Guirang 3 (52)
Research on Shallow Artificial Seismic Precise Detection of Concealed Faults	ZENG Weiwang, WANG Fei 4 (1)
• Observation and Analysis •	
AC Resistivity Observation Experiment in Underground Environment-A Case Study of Jiangning Station	FAN Xiaochun, GAO Kewei, SHAN Youlei 1 (24)
Comparing the data from underground and surface Electrical Resistivity Observation at the Monitoring Center of Xinzhou Seismic Station	SHANG Yongming, NING Yaling, YING Zhigang, LI Guiming 1 (30)
Comparative Analysis of Co-seismic Data between YRY-4 High-sampling-rate Borehole Strainmeter and BBVS Seismograph at the Datong Central Station	LI Wenchao, LIU Ruichun, LIU Wei, YAN Meirong, YIN Kai, GAO Longfei 2 (11)
Data Quality Assessment of Newly Established Reference Stations for Earthquake Early Warning in Shanxi	DING Daye, DONG Chunli, GONG Zhuohong, CHEN Yongxin, LV Feiya 2 (15)
Research on Site Response of Seismic Early Warning Base Stations in Shanxi Seismic Alerting Network	LIU Wei, LI Wenchao, BAI Weili, YIN Kai 2 (23)
Analysis of Variations and Influencing Factors of Electromagnetic Disturbance Data at Long County Seismic Station	LI Yuanlin 4 (45)
Abnormal Data Recognition and Interference Elimination in the 2021 Geoelectric Field Observations in Heze, Shandong	SHEN Maozheng, ZHOU Minghui, ZHANG Jun, CHEN Yahong, ZHANG Jihong, FENG Liangle 4 (52)
• Academic Exchange •	
Application of DTW Algorithm in Earthquake Time Series Information Mining	LI Hongwei, ZHANG Shuliang 1 (37)
Research on the Update Method of Earthquake Emergency Basic Database Based on POI	ZHAO Jie, ZHENG Shuping 1 (41)
Analysis and Handling of Common Typical Faults in Seismic Early Warning Operations and Maintenance	SUN Changqing, TENG Ju, ZHU Zhenjia, WEI Long, ZHOU Jianhua, XING Qingniu 2 (28)
Analysis and Processing of Typical Faults and Waveform Anomalies in the Seismic Early Warning Station Network	LI Xiaorui, LIU Guojun, CHEN Yongxin, YAO Linpeng, XUE Liang, CHANG Jiao 2 (32)
Seismic Hazard Calculation and Mapping in Shanxi Province	HU Guirang, HAO Xuejing, LIU Yanchun, ZHANG Li 3 (36)
Comprehensive Review of the Establishment of a Database for Seismic Safety Evaluation of Engineering Sites and Results of Active Fault Detection in Shanxi Province	HAO Xuejing, HU Guirang, LIU Yanchun, REN Ruiguo 3 (41)
Development and Application of Seismic Monitoring Management Platform: A Case Study of Suqian Seismic Network	SHAN Youlei, ZHU Hong, ZHAI Hongying 4 (23)
Study on the Distribution Model of Population Spatial Kilometer Grid in Shanxi Province	CHENG Ziyao, YANG Bin, YU Fong 4 (29)
Instrument Calibration Management Software Design and Application for Seismic Monitoring Station Network	GONG Zhuohong, LIANG Yan, YAN Meirong, LIU Fa, PENG Lijuan 4 (33)
Fault Diagnosis and Maintenance of Wideband Tiltmeter at Linfen Station	LIN Limin, ZHANG Congcong, JING Hongliang, JIN Baoping, GUO Guoxiang 4 (37)
Detection of Non-natural Seismic Events in the Datong Mining Area Based on Deep Learning Methods	ZHENG Yadi, ZHAO Xiaoyun 4 (41)
• Seismosociology •	
The Relationship Between Earthquakes and Social Science and Culture During the Eastern Han Period in China: Background research on the invention of Zhang Heng's seismoscope	LU Shuangling, YU Qingmin, ZHONG Puyu, WANG Heqian, SHI Xiaohui, ZOU Chunhong 1 (45)

· Work Forum ·

- Endure Great Hardships in Pioneer Work, Light the Way Through the Mountains, My Experience with the “Shanxi Earthquake”
 YUAN Zhengming 1 (53)
- Exploring the Ways to Enhance the Service Value of Seismic Archives Utilization in the New Context
 LIU Minjuan, ZHANG Ruifang 2 (54)

· Editorial Office Notice ·

- Invitation Letter for Special Issue of “Earthquake Disaster Risk Survey Project and Building Facility Reinforcement Project in Earthquake-prone Areas”
 Editorial Office of ERS 1 (56)

· Seismic Disaster Prevention and Mitigation ·

- Research on Prediction of Earthquake Disaster Casualties Based on Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Sichuan Earthquake
 LU() Binsheng, LI Yanfeng, BAI Yongzhen 2 (37)
- Research on the Perceived Earthquake Disaster Risk and Influencing Factors among Residents in Megacities: A Case Study of Tianjin City
 ZHANG Mengyi, WANG Ping, LI Yue, ZHANG Nan 2 (41)

· Earthquake Standards ·

- Standardize Macroseismic Observations of Earthquakes and Strengthen the Foundation of Short-term Earthquake Forecasting: Interpretation of *Technical Specifications for Macroseismic Observations of Earthquakes*
 YAN Jiming, WANG Xia, ZHANG Mei, CHEN Hui, GUO Wenfeng, LI Yan 2 (47)

· Review ·

- Development History of Shanxi Earthquake Emergency Video Conference System
 ZHENG Shuping, XU Bo, DING Xiaoniu, CHENG Ziyang 2 (50)
- A Comprehensive Review of the Results and Promotional Applications of Seismic Hazard Risk Assessment in Shanxi Province
 ZENG Jinyan, HU Guirang, LIU Yanchun, YAN Xiaobin, SHI Shuangshuang 3 (1)
- Thoroughly Understanding the Baseline and Enhancing Earthquake Disaster Risk Prevention and Mitigation Capability — A documentary of the Shanxi Province earthquake disaster risk survey project
 LI Zehui, TAO Junli, DONG Kangyi 3 (5)

· Antiseismic Engineering ·

- Investigation and Analysis of Seismic Performance of Typical Rural House Constructions in Central and Southern Shanxi
 SHI Linna, SHI Shuangshuang, WANG Leilei, HAO Xuejing 3 (7)
- Results of Sampled Detailed Inspection of Building Construction in Ruicheng County and Analysis of Seismic Performance of Typical Structures
 WANG Leilei, HAN Xiaofei, WANG Yuejie, YOU Wenzhi, JIAO Jieyu 3 (12)
- Preliminary Seismic Resilience Assessment of Buildings in Shanxi Province Based on Remote Sensing Imagery and Empirical Estimation
 ZHAO Jie, WANG Yuejie, CHENG Ziyang, WANG Feijian, ZHENG Shuping 3 (18)
- Study on Characteristics of Different Structural Buildings in Fushan County, Linfen City
 MA Xiufang 3 (23)
- Seismic Performance Investigation and Analysis of Rural Houses in Daixian County, Xinzhou City
 JIAO Jinmiao, XU Bo, ZHENG Shuping 3 (27)
- Sampled Detailed Inspection and Analysis of Seismic Defense Issues for Houses in Gu County, Linfen City
 XUE Xiaodong, HAN Xiaofei, REN Ruiguo 3 (32)
- Assessment of Seismic Performance of Reinforced Brick Structure Houses in Ruicheng County Based on Window Lintel and Wall Between Windows Relationship
 HAN Xiaofei, DONG Bin, XUE Xiaodong, SHI Shuangshuang, WANG Leilei 4 (8)

· Lost and Found Pieces of History ·

- Earthquake Group Monitoring and Group Defense That Should Not Be Forgotten
 YUAN Zhengming 4 (19)

《山西地震》2023年第1期~4期(总第193期~196期)作者索引

作者索引以作者姓之汉语拼音为序,英文以字母顺序为序。①:表示第1作者,(1):表示期,1:表示页次。

- B**
白伟利③.(2),23
白永祯③.(2),37
薄建杰⑤.(1),20
- C**
常 蛟⑥.(2),32
陈 慧④.(2),47
陈亚红④.(4),52
陈依妮④.(1),9
陈永新③.(2),32;
④.(2),15
程紫燕①.(4),29;
③.(3),18;
④.(2),50
- D**
丁大业①.(2),15
丁小牛③.(2),50
董 斌②.(4),8
董春丽②.(2),15
董康义③.(3),5
- F**
樊晓春①.(1),24
冯梁乐⑥.(4),52
- G**
高可伟②.(1),24
高龙飞⑥.(2),11
宫卓宏①.(4),33;
③.(2),15
郭国祥⑤.(4),37
郭文峰①.(2),1;
⑤.(2),47
- H**
韩晓飞①.(4),8;
②.(3),12;
②.(3),32
郝雪景①.(3),41;
②.(3),36;
④.(3),7
贺劲松①.(4),13
扈桂让①.(3),36;
②.(3),1;
②.(3),41;
③.(3),52
- J**
焦洁钰②.(3),46;
⑤.(3),12
焦磊森①.(3),27
靳宝萍④.(4),37
靳一丹②.(1),1
荆红亮③.(4),37
- L**
李 斌①.(1),1
李 艳⑥.(2),47
李 悦④.(2),41
李贵明④.(1),30
李宏伟①.(1),37;
②.(3),52
李嘉丽③.(1),1
李文超①.(2),11;
②.(2),23
李晓悦①.(2),32
- M**
李延峰②.(2),37
李玉皎④.(2),1
李远林①.(4),45
李泽晖①.(3),5
梁 艳②.(4),33
各利民①.(4),37
刘 发④.(4),33
刘 炜①.(2),23;
③.(2),11
刘国俊②.(2),32
刘敏娟①.(2),54
刘瑞春②.(2),11
刘艳春③.(3),1;
③.(3),36;
③.(3),41;
③.(3),46
卢双苓①.(1),45
罗宾生①.(2),37
吕奥博③.(1),9
吕飞亚⑤.(2),15
- N**
马秀芳①.(1),20;
①.(3),23
宁亚灵②.(1),30
- P**
彭涵婧⑤.(4),33
- R**
任瑞国①.(3),52;
③.(3),32;
④.(3),41
④.(3),41
④.(3),46
卢双苓①.(1),45
罗宾生①.(2),37
吕奥博③.(1),9
吕飞亚⑤.(2),15
- S**
单友磊①.(4),23;
③.(1),24
尚永明①.(1),30
申茂正①.(4),52
石晓辉⑤.(1),45
史琳娜①.(3),7
史双双①.(3),46;
②.(3),7;
④.(4),8;
⑤.(3),1
宋美卿②.(2),1
孙 侃②.(1),9
孙常青①.(2),28
- T**
陶君丽②.(3),5
滕 举②.(2),28
- W**
王 飞②.(4),1
王 萍②.(2),41
王 霞②.(2),47;
⑤.(2),1
王飞剑④.(3),18
王合乾④.(1),45
王雷雷①.(3),12;
③.(3),7;
⑤.(4),8
王跃杰②.(3),18;
③.(3),12
- 王振东④.(1),1
②.(1),20
卫 超②.(4),13
尉 龙④.(2),28
- X**
邢庆牛⑥.(2),28
徐 博②.(2),50;
②.(3),27
薛 亮⑤.(2),32
薛晓东①.(3),32;
③.(4),8;
④.(1),20
- Y**
闫计明①.(2),47
闫美容③.(4),33
闫芙蓉④.(2),11
闫小兵④.(3),1;
④.(3),46
杨 斌②.(4),29
杨世英③.(2),1
姚林鹏④.(2),32
殷 错④.(2),23;
⑤.(2),11
殷志刚③.(1),30
由文智④.(3),12
于 潼③.(4),29
于庆民②.(1),45
袁正明①.(1),53;
①.(4),19
- Z**
曾金艳①.(3),1;
②.(1),20
曾维望①.(4),1
翟红英③.(4),29
张 军③.(4),52
张 丽④.(3),36
张 梅③.(2),47
张 楠④.(2),41
张聪聪①.(2),5;
②.(4),37
张继红⑤.(4),52
张孟怡①.(2),41
张瑞芳②.(2),54
张淑亮②.(1),37
张英杰②.(2),5
赵 杰①.(1),41;
①.(3),18
赵晋泉②.(1),20
赵梦琦①.(1),9
赵晓云②.(4),41
郑树平①.(2),50;
②.(1),41;
③.(3),27;
⑤.(3),18
郑亚迪①.(4),41
钟善裕③.(1),45
周建华⑤.(2),28
周铭辉②.(4),52
朱 红②.(4),23
朱振家③.(2),28
邹春红⑥.(1),45

Author Index of EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI (No. 1~4, 2023, Sum No. 193~196)

- B**
BAI Weili③.(2),23
BAI Yongzhen③.(2),37
- BO Jianjie**⑤.(1),20
- C**
CHANG Jiao⑥.(2),32
CHEN Hui④.(2),47
- CHEN Yahong**④.(4),32;④.(2),15
- CHEN Yini**④.(1),9
- CHEN Yongxin**③.(2),52
- CHENG Ziyan**①.(4),29;③.(3),18;④.(2),50
- D**
DING Daye①.(2),15
DING Xiaoni③.(2),50

DONG Bin②. (4);8	LI Hongwei①. (1);37;	REN Ruiguo ①. (3);	WEI Chao②. (4);13	(4);23
DONG Chunli ②. (2);	②. (3);52	52;③. (3);32;④.	WEI Long④. (2);28	ZHANG Congcong ②.
15	LI Jiali③. (1);1	(3);41	X	(4);37;①. (2);5
DONG Kangyi③. (3);5	LI Wenchao①. (2);11;	S	XING Qingniu ⑥. (2);	ZHANG Jihong⑤. (4);
F	②. (2);23	SHAN Youlci ①. (4);	28	52
FAN Xiaochun①. (1);	LI Xiaorui①. (2);32	23;③. (1);24	XU Bo ②. (2);50;②.	ZHANG Jun③. (4);52
24	LI Yan⑥. (2);47	SHANG Yongming ①.	(3);27	ZHANG Li④. (3);36
FENG Liangle ⑥. (4);	LI Yanfeng②. (2);37	(1);30	XUE Liang⑤. (2);32	ZHANG Mei③. (2);47
52	LI Yuanlin①. (4);45	SHEN Maozhong ①.	XUE Xiaodong③. (4);	ZHANG Mengyi ①.
G	LI Yue③. (2);41	(4);52	8;①. (3);32;④.	(2);41
GAO Kewei②. (1);24	LI Yujiao④. (2);1	SHI Linna①. (3);7	(1);20	ZHANG Nan④. (2);41
GAO Longfei⑥. (2);11	LI Zehui①. (3);5	SHI Shuangshuang ③.	Y	ZHANG Ruifang ②.
GONG Zhuohong ①.	LIANG Yan②. (4);33	(4);8;①. (3);46;	YAN Jiming①. (2);47	(2);54
(4);33;③. (2);15	LIN Limin①. (4);37	②. (3);7;⑤. (3);1	YAN Meirong ③. (4);	ZHANG Shuliang ②.
GUO Guoxiang⑤. (4);	LIU Fa④. (4);33	SHI Xiaohui⑤. (1);45	33	(1);37
37	LIU Guojun②. (2);32	SONG Meiqing②. (2);	YAN Meirong ④. (2);	ZHANG Yingjie ②.
GUO Wenfeng①. (2);	LIU Minjuan①. (2);54	1	11	(2);5
1;⑤. (2);47	LIU Ruichun②. (2);11	SUN Changqing①. (2);	YAN Xiaobing ④. (3);	ZHAO Jie①. (1);41;
H	LIU Wei①. (2);23;③.	28	1;④. (3);46	①. (3);18
HAN Xiaofei①. (4);8;	(2);11	SUN Kan②. (1);9	YANG Bin②. (4);29	ZHAO Jinquan②. (1);
②. (3);12;②. (3);	LIU Yanchun③. (3);1;	T	YANG Shiyang ③. (2);	20
32	③. (3);36;③. (3);	TAO Junli②. (3);5	1	ZHAO Mengqi①. (1);9
HAO Xuejing ①. (3);	41;③. (3);46	TENG Ju②. (2);28	YAO Linpeng ④. (2);	ZHAO Xiaoyun②. (4);
41;②. (3);36;④.	LU Shuangling①. (1);	W	32	41
(3);7	45	WANG Fei②. (4);1	YIN Kai④. (2);23;⑤.	ZHENG Shuping ①.
HE Jinsong①. (4);13	LUO Binsheng①. (2);	WANG Feijian ④. (3);	(2);11	(2);50;②. (1);41;
HU Guirang①. (3);36;	37	18	YING Zhigang ③. (1);	③. (3);27;⑤. (3);
②. (3);1;②. (3);	LV Aobo③. (1);9	WANG Heqian④. (1);	30	18
41;③. (3);52	LV Feiya⑤. (2);15	45	YOU Wenzhi④. (3);12	ZHENG Yadi①. (4);41
J	M	WANG Leilei⑤. (4);8;	YU Qingmin②. (1);45	ZHONG Puyu ③. (1);
JIAO Jicyu②. (3);46;	MA Xiufang①. (1);20;	①. (3);12;③. (3);	YU Tong③. (4);29	45
⑤. (3);12	①. (3);23	7	YUAN Zhengming ①.	ZHOU Jianhua⑤. (2);
JIAO Jimiao①. (3);27	N	WANG Ping②. (2);41	(4);19;①. (1);53	28
JIN Baoping④. (4);37	Nganyac Gomer De Dieu	WANG Xia②. (2);47;	Z	ZHOU Minghui②. (4);
JIN Yidan②. (1);1	⑤. (1);1	⑤. (2);1	ZENG Jinyan①. (3);1;	52
JING Hongliang ②.	NING Yafeng②. (1);30	WANG Yuejie②. (3);	③. (1);20	ZHU Hong②. (4);23
(4);37	P	18;③. (3);12	ZENG Weiwang ①.	ZHU Zhenjia③. (2);28
L	PENG Lijuan⑤. (4);33	WANG Zhendong ④.	(4);1	ZOU Chunhong⑥. (1);
LI Bin①. (1);1	R	(1);1	ZHAI Hongying ③.	45
LI Guiming④. (1);30				

《山西地震》2023年第1期~4期(总第193期~196期)主题词索引

主题词索引以汉语拼音为序。(1):表示期,1:表示页数。

B	地裂缝(1);20	G	(3);46	L	S
b值(2);5	地震(2);47	干扰(4);52		历史地震(1);45	数据库(1);41;(3);
波形分析(1);9	地震活动性(4);13	干扰因素(4);45	J	剪切波速(3);52	41
D	地震台网(4);23	构造应力场(2);1	矩震级(1);1	M	Y
地电场(4);52	地震条带(2);5	H	K	埋深(3);52	预报效能评估(1);
地电阻率(1);24;	地震灾害(2);41	宏观观测(2);47	宽频带倾斜仪(4);	P	37
(1);30	短临异常(2);47	活动断层(3);41;	37	频谱分析(1);1	

Key Word Index of EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI (No. 1~4, 2023, Sum No. 193~196)

A	Earthquake disaster(2);	24;(1);30	tion(2);47	(2);47
Active fault (3); 41;	41	H	Moment magnitude M_w	Spectrum Analysis(1);
(3);46	Earthquake(2);47	Historical	earthquake	1
Active faults(3);46	F	(1);45	S	Structural stress field
B	Forecast performance e-	I	Seismic activity(4);13	(2);1
Burial depth(3);52	valuation(1);37	Interference factors(4);	Seismic belt(2);5	W
B-value(2);5	G	45	Seismic network(4);23	Waveform analysis(1);
D	Geoelectric field(4);52	Interference(4);52	Shear wave velocity(3);	9
Database(1);41;(3);41	Ground fissure(1);20	M	52	Wideband tiltmeter(4);
E	Ground resistivity(1);	Macroseismic observa-	Short-term anomalies	37

《山西地震》2023年第1期~4期(总第193期~196期)自由词索引

自由词索引以汉语拼音为序。(1):表示期,1:表示页数。

A	15	37	观测数据(4);45	(3);32	R值(1);37
案例推理(2);37	地震监测站网(4);	断层避让(3);46	观测系统(1);30	抗震性能(3);27;	人口分布(4);29
B	33	队伍建设(4);19	H	(3);7;(4);8	软件设计(4);33
避让距离(1);20	地震救灾措施(1);	F	H/V 噪声谱比法	L	S
波形特征(2);11	45	发展历程(1);53;	(2);23	利用服务价值(2);	山西地震带(1);1
C	地震科技期刊(1);	(4);19	华北中强地震(4);	54	山西地震预警台网
测震(2);11	53	防震减灾(3);1	13	临汾盆地(2);5	(2);23
层次分析(2);37	地震伤亡人员(2);	房屋建筑(3);32	滑动速率(3);46	M	山西断陷带(3);46
常见故障(2);28	37	房屋建筑抽样详查	J	模型(4);29	山西省(3);5
场地响应(2);23	地震应急(1);41;	(3);12	记录波形(2);32	N	深度学习(4);
成果推广(3);1	(2);50	房屋结构(3);7	建筑结构抗震性能	农村房屋(3);27	41
抽样详查(3);23	地震预警(2);28	非天然地震(1);9;	分析(3);12	农村住宅(3);7	实时监控(4);23
窗间墙(4);8	地震预警站网(2);	(4);41	建筑物(1);20;	P	视频会议系统(2);
窗上带(4);8	32	风险防治(3);5	(3);23	POI数据(1);41	50
D	地震灾害风险防治	风险感知(2);41	交流(1);24	Q	视频节点(2);50
代县地区(3);27	(3);12	傅里叶变换(4);13	接触不良(4);52	浅层人工地震(4);	数据质量(2);15
地表观测(1);30	地震灾害风险普查	G	结构类型(3);32	1	数量预测(2);37
地动仪发明(1);45	(3);1;(3);36;	概率地震危险性分	晋北地区(2);1	区域-时间-长度算	双差定位(2);5
地方标准(2);47	(3);41;(3);5	析(3);36	经验评估(3);18	法(4);13	速报告警(4);23
地铁干扰(1);24	典型故障(2);32	干扰排除(4);52	井下观测(1);24;	区域特点(1);9	《山西地震》(1);53
地震安全性评价	电磁扰动(4);45	刚度比(4);8	(1);30	区域性地震安全评	T
(3);41	东汉(1);45	GIS(3);36	K	价(4);1	台基噪声水平(2);
地震档案(2);54	动态时间规整	公里格网(4);29	抗震能力(3);18	群测群防(4);19	15
地震监测能力(2);	(DTW)方法(1);	故障处理(4);37	抗震设防(3);23;	R	特大城市(2);41

同震(2);11	微震检测(4);41	遥感影像(3);18	隐伏断层(4);1	Z	综合震源机制解法(2);1
同震效应(4);45	X	仪器标定(4);33	预警基准站(2);15	直流(1);24	组网模式(2);50
统计分析(3);52	系统运维(2);28	异常自动识别(1);37	云视频会议(2);50	中强地震(2);1	钻孔应变(2);11
途径(2);54	信息展示(4);23		运维(4);37	中小地震(1);1	
W	Y				

Free Word Index of EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI (No. 1~4, 2023, Sum No. 193~196)

A	survey project(3);5	Medium-small earthquakes(1);1	Remote sensing imagery(3);18	(1);53
AC(1);24	Earthquake emergency(1);41;(2);50	Megacity(2);41	Risk perception(2);41	Shanxi Province(3);5
Analytic Hierarchy Process(2);37	Earthquake prevention and disaster reduction(3);1	Microseismic detection(4);41	Risk prevention and mitigation(3);5	Shanxi Rift Zone(3);46
Anomaly recognition(4);52	Earthquake relief measures(1);45	Model(4);29	Rural houses(3);27	Shanxi seismic belt(1);1
Automatic anomaly identification(1);37	Eastern Han Period(1);45	Moderate to strong earthquakes(2);1	Rural housing(3);7	Shanxi seismic early warning network(2);23
Avoidance distance(1);20	Electromagnetic disturbance(4);45	N	R-value(1);37	Site response(2);23
B	Empirical estimation(3);18	Network configuration(2);50	S	Slip rate(3);46
Borehole strainmeter(2);11	Fourier Transform(4);13	Non-natural earthquakes(4);41	Sampled detailed inspection of building construction(3);12	Software design(4);33
Building construction(3);32	GIS(3);36	Non-seismic events(1);9	Sampled detailed inspection(3);23	Station background noise level(2);15
Building structure(3);7	Group monitoring and group defense(4);19	Northern Shanxi region(2);1	Seismic archives(2);54	Statistical analysis(3);52
Buildings(1);20;(3);23	H/V spectral ratio method(2);23	O	Seismic defense(3);23;(3);32	Stiffness ratio(4);8
C	Information display(4);23	Observation data(4);45	Seismic early warning station network(2);32	Strong earthquakes in North China(4);13
Case-based reasoning(2);37	Instrument calibration(4);33	Observation system(1);30	Seismic early warning(2);28	Structural types(3);32
Cloud video conferencing(2);50	Interference(4);52	Operation and maintenance(4);37	Seismic hazard risk assessment(3);1;(3);36;(3);41	Subway interference(1);24
Common faults(2);28	Invention of seismograph(1);45	Outcomes dissemination(3);1	Seismic hazard risk prevention and mitigation(3);12	Surface observation(1);30
Comprehensive local mechanism solution(2);1	Journal of earthquake science and technology(1);53	P	Seismic monitoring capability(2);15	System maintenance(2);28
Concealed faults(4);1	Kilometer grid(4);29	POI data(1);41	Seismic monitoring station network(4);33	T
Coseismic effect(4);45	L	Poor contact(4);52	Seismic performance analysis of building structures(3);12	Team construction(4);19
Co-seismic(2);11	Lintels above windows(4);8	Population distribution(4);29	Seismic performance(3);27;(3);7;(4);8	Typical faults(2);32
D	Local standard(2);47	Probabilistic seismic hazard analysis(3);36	Seismic resilience(3);18	U
Daixian County(3);27	M	Quantity prediction(2);37	Seismic safety evaluation(3);41	Underground observation(1);24;(1);30
Data quality(2);15	Linfen Basin(2);5	R	Seismograph(2);11	Utilization service value(2);54
DC(1);24	Lintels above windows(4);8	Rapid reporting and alerting(4);23	Shallow artificial seismic(4);1	V
Deep learning methods(4);41	Local standard(2);47	Realtime monitoring(4);23	"Shanxi Earthquake"	Video conference system(2);50
Development process(1);53;(4);19		Regional characteristics(1);9		Video nodes(2);50
Dynamic Time Warping(DTW) algorithm(1);37		Regional seismic safety assessment(4);1		W
E		Regional-time-length algorithm(4);13		Walls between windows(4);8
Early warning reference stations(2);15				Waveform characteristics(2);11
Earthquake casualties(2);37				Waveform records(2);32
Earthquake disaster risk				Way(2);54