

# 山西地震 编辑委员会

主 编：陈宇坤

副 主 编：万 亮 李自红 张瑞芳（专职）

编辑委员：（按姓氏汉语拼音排序）

曹 筠 陈 石 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 ZHANG Rui-fang (specific duty)

BOARD MEMBERS: CAO Juo CHEN Shi 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2期(总第194期)

No.2 (Serial No.194) 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://sxdz.cbpt.cnki.net/>

电子信箱：[sxdzjyb@163.com](mailto:sxdzjyb@163.com)

出版日期：2023年6月

Administration: Earthquake Administration of Shanxi Province

Sponsoring Organization: Seismological Society 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://sxdz.cbpt.cnki.net/>

E-mail: [sxdzjyb@163.com](mailto:sxdzjyb@163.com)

Date of Publication: Jun. 2023

ISSN 1000-6265

CN 14-1107/P

CODEN SDIZEY

年定价：20.00元（不含邮寄费） 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

第二期

总第一九四期

# 山西地震®

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI



2023 / 2

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2期

# 山西地震

(季刊·1973年创刊)

(总第194期)

## 目 次

### · 地震活动性 ·

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,李玉钺,王 霞(1)

临汾盆地及邻区地震重定位和 $b$ 值研究…………… 张聪聪,张英杰(5)

### · 观测分析 ·

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(11)

山西地震预警新建基准站数据质量评估…………… 丁大业,董春丽,宫卓宏,陈永新,吕飞亚(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(23)

### · 技术交流 ·

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(28)

地震预警站网典型故障及波形异常分析处理…………… 李晚锐,刘国俊,陈永新,姚林鹏,薛 亮,常 姣(32)

### · 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…………… 罗宾生,李延峰,白永楨(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(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 霞,张 梅,陈 慧,郭文峰,李 艳(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(50)

### · 工作论坛 ·

探析新形势下地震档案利用服务价值提升的途径…………… 刘敬娟,张瑞芳(54)

本期责任编辑:张瑞芳,张正霞; 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 \* 12 \* 2023-06

本刊网址:<https://sxdz.cbpt.cnki.net/>

本刊电子邮箱:sxdzjbj@163.com

---

---

**CONTENTS**

• **Seismicity** •

- Characteristics of Structural Stress Field Variation before and after Moderate to Strong Earthquakes in Northern Shanxi Region ..... GUO Wen-Feng, SONG Mei-Qing, YANG Shi-Ying, LI Yu-Jiao, WANG Xia( 1 )  
Study on Seismic Relocation and b-value in the Linfen Basin, Shanxi Province and its Surrounding Areas ...  
..... ZHANG Cong-cong, ZHANG Ying-jie( 5 )

• **Observation and Analysis** •

- Comparative Analysis of Co-seismic Data between YRY-4 High-sampling-rate Borehole Strainmeter and BBVS Seismograph at the Datong Central Station .....  
..... LI Wen-Chao, LIU Rui-chun, LIU Wei, YAN Mei-rong, YIN Kai, GAO Long-fei( 11 )  
Data Quality Assessment of Newly Established Reference Stations for Earthquake Early Warning in Shanxi  
..... DING Da-ye, DONG Chun-li, GONG Zhuo-hong, CHEN Yong-xin, LV Fei-ya( 15 )  
Research on Site Response of Seismic Early Warning Base Stations in Shanxi Seismic Alerting Network .....  
..... LIU Wei, LI Wen-chao, BAI Wei-li, YIN Kai( 23 )

• **Academic Exchange** •

- Analysis and Handling of Common Typical Faults in Seismic Early Warning Operations and Maintenance ...  
..... SUN Chang-qing, TENG Ju, ZHU Zhen-jia, WEI Long, ZHOU Jian-hua, XING Qing-niu( 28 )  
Analysis and Processing of Typical Faults and Waveform Anomalies in the Seismic Early Warning Station Network ..... LI Xiao-rui, LIU Guo-jun, CHEN Yong-xin, YAO Lin-Peng, XUE Liang, CHANG Jiao( 32 )

• **Seismic Disaster Prevention and Mitigation** •

- Research on Prediction of Earthquake Disaster Casualties Based on Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Sichuan Earthquake ..... LUO Bin-sheng, LI Yan-feng, BAI Yong-zhen( 37 )  
Research on the Perceived Earthquake Disaster Risk and Influencing Factors among Residents in Megacities: A Case Study of Tianjin City ..... ZHANG Meng-yi, WANG Ping, LI Yue, ZHANG Nan( 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 Ji-ming, WANG Xia, ZHANG Mei, CHEN Hui, GUO Wen-feng, LI Yan( 47 )

• **Review** •

- Development History of Shanxi Earthquake Emergency Video Conference System .....  
..... ZHENG Shu-ping, XU Bo, DING Xiao-niu, CHENG Zi-yan( 50 )

• **Work Forum** •

- Exploring the Ways to Enhance the Service Value of Seismic Archives Utilization in the New Context .....  
..... LIU Min-juan, ZHANG Rui-fang( 54 )

---

Managing Editors for This Issue: ZHANG Rui-fang, ZHANG Zheng-xia;

Translator: LI Bin

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

E-mail: sxdzjb@163.com

·地震活动性·

文章编号:1000-8265(2023)02-0001-04

# 晋北地区中强震前后构造应力场变化特征

郭文峰<sup>1,3</sup>, 宋美卿<sup>1,3</sup>, 杨世英<sup>2,3</sup>, 李玉铤<sup>1,3</sup>, 王震<sup>1,3</sup>

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 山西省地震局太原地震监测中心站, 山西 太原 030025;  
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:** 基于1990年1月至2021年12月晋北地区中小地震的P波初动极性数据, 采用综合震源机制解法反演晋北地区的综合断层面解。结果显示, 震源机制解节面为EW和NE向, 与晋北地区主要构造线一致; 震源错动类型以正断型为主; 主压应力方向为NE-NEE, 仰角较大, 主张应力方向为NW-SE, 仰角近水平, 与区域构造应力场方向吻合。综合断层面解中, P轴方位与区域优势方位一致时, 晋北地区可能孕育中强地震的发生。

**关键词:** 构造应力场; 中强地震; 晋北地区; 综合震源机制解法

**中图分类号:** P315.2 **文献标志码:** A

## 0 引言

众多学者通过震源机制解、地壳形变资料研究区域构造应力场特征, 捕捉震前应力场变化<sup>[1-5]</sup>, 受到测震、GPS、地壳形变观测台站稀疏的影响, 反演出的应力场一般为较大区域构造块体平均应力结果, 不能反映地质构造的应力变化。随着测震台网加密和震源机制解及应力场反演技术的发展, 弥补了之前构造应力场研究中存在的不足。近年来, 有学者依据中强地震求解对应的震源机制解, 以此研究震源区附近的应力场特征<sup>[6-7]</sup>; 还有学者利用中小地震资料求取相关区域的综合断层面解, 对区域应力场进行动态跟踪<sup>[8-9]</sup>。

根据P波初动方向确定震源机制解迄今仍是常用的方法, 但由于中小地震能量较低, 清晰的初动记录较少, 难以满足单个地震的震源机制解测定, 学者们<sup>[10-11]</sup>提出通过多个地震的P波初动方向求取综合断层面解, 把握区域构造应力场状况, 解决单个小震因初动数据缺乏无法求其机制解的问题, 同时可以挖掘利用中小地震携带的构造应力场信息。

诸多学者<sup>[12-14]</sup>利用格点尝试法计算震源机制解, 发现在一些中强地震前后出现偏离背景等现象。格点尝试法未考虑震源球上数据点密集程度变化的影响, 使得网格搜索得出的可选解较分散, 简单平均的处理导致结果产生较大的误差。改进后的综合震源机制解技术<sup>[11]</sup>, 震源球上数据点的密集程度采用求取应变的方式赋予权重, 解决了简单平均的问题<sup>[15]</sup>。

晋北地区1990年至今已积累大量的小震初动数据, 本文采用综合震源机制法, 反演得到晋北地区不同时段综合断层面解。在此基础上结合已有震例, 分析中强震前后震源区及附近应力场的变化特征, 得到构造应力场时空变化与中等以上地震活动的联系, 为区域地震危险性判定提供应力场的变化信息。

## 1 资料及方法

山西断陷带是鄂尔多斯地块与华北平原地块的边界带, 历史上曾发生多次 $M \geq 7$ 强震, 是我国大陆重要的地震活动区及地壳形变运动监测区。参考地震地质相关资料<sup>[16]</sup>和山西断裂带上GPS研究成果, 把山西断陷带划分为三部分。北部为晋北地区, 主要包括忻定盆地、恒山隆起、六棱山隆起及大同盆地; 中部晋中地区以石岭关隆起、太原-晋中盆地及灵石隆起为主; 南部晋南地区包括临汾盆地、运城盆地、峨嵋台地及中条山隆起。本文着重对山西断陷带北部的晋北地区进行研究。

收集整理晋北地区( $\lambda_E 110^\circ \sim 115^\circ$ ,  $\phi_N 38^\circ \sim 41^\circ$ ) 1990-2021年的 $M_s \geq 1.0$ 地震P波初动资料。2008年前P波初动极性数据以收集前人研究资料为主<sup>[14]</sup>, 其后的初动资料主要从国家地震编目网的地震观测报告中获取。为探寻应力场在中强地震前后的变化, 目标地震选取山西晋北地区1990年以来 $M \geq 4.0$ 中强地震(见第2页图1)。

采用综合震源机制解法对山西晋北地区的小震P

收稿日期: 2022-11-21

基金项目: 山西省地震局攻关子项目(SBK-2121-03), 中国地震局震情跟踪定向工作任务(2022010109)。

第一作者简介: 郭文峰(1987-), 男, 山西运城市人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事地震活动性分析研究, E-mail: 7560864634@qq.com。

通讯作者: 杨世英(1973-), 男, 山西临汾市人, 高级工程师, 主要从事地震监测预警等相关工作, E-mail: 403461801@qq.com。

波初动资料进行计算<sup>[11]</sup>,通过固定网格步长搜索方法获取晋北地区震源机制解的平均方向,选取矛盾比(不符合综合震源机制解P波个数与P波初动总数之比)最小的P、B、T轴作为综合震源机制解。许忠淮等指出综合震源机制解P、T轴方向可以粗略地当作最大与最小应力方向(压应力、张应力)<sup>[10]</sup>;由Zoback划分世界应力图的原则可知,震源机制解P、T轴仰角反映震源机制解类型,一定程度上反映区域应力状态<sup>[17]</sup>。

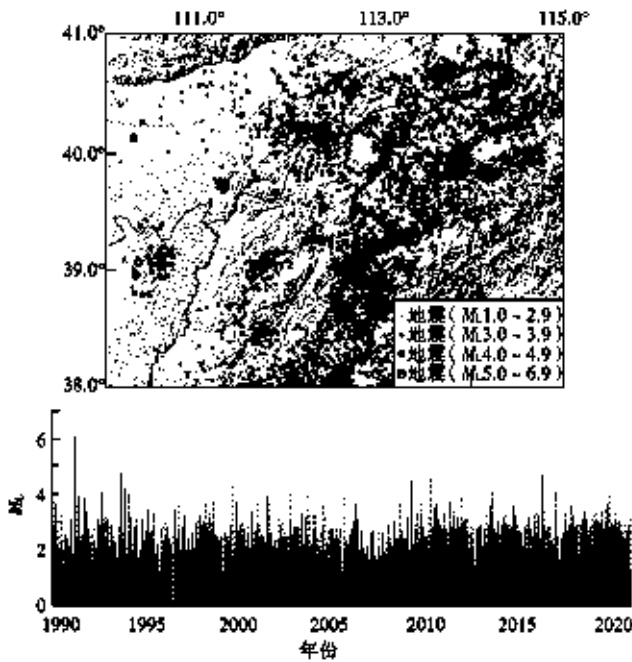


图1 晋北地区地震分布及M-t图  
Fig. 1 Seismic distribution and M-t plot in the northern Shanxi region

### 2 晋北地区现代地壳应力场分析

为深入分析震源机制解结果的统计特征,以 $10^\circ$ 间隔绘制震源机制解参数的归一频数分布图。晋北地区地震以中、小震为主,无法区分断层面和辅助面,为探讨地震震源机制解节面特性,把两个节面合并在一起进行讨论。图2是晋北地区的节面走向,以 $10^\circ$ 为统计单元的节面走向存在两个优势方位,即近EW和NE向,与晋北地区主要构造线方向吻合。节面倾角在 $0^\circ\sim 90^\circ$ 方向均有分布,在近 $60^\circ$ 存在较大优势分布,表明节面中等倾角比较明显,接近直立次之。节面滑动角小于 $0^\circ$ ,表明震源错动为正断型。主压应力P轴优势方位集中在NE-NEE向,仰角以倾斜为主;主张应力T轴方位在NW-SE方向存在显著的优势分布,仰角近水平;中间应力轴优势方位以NE-SW为主,倾角接近水平。山西北部及邻区中、小地震震源机制解参数的优势方位与华北构造应力场(主压应力轴

取向NEE-SWW,主张应力轴取向NNW-SSE)基本一致,表明山西地震除受控于大区域的构造动力因素外,同时受到山西地区NW向水平拉张的局部应力影响,这一结果与前人<sup>[18,14]</sup>研究的山西地区现代地壳构造应力场相吻合。

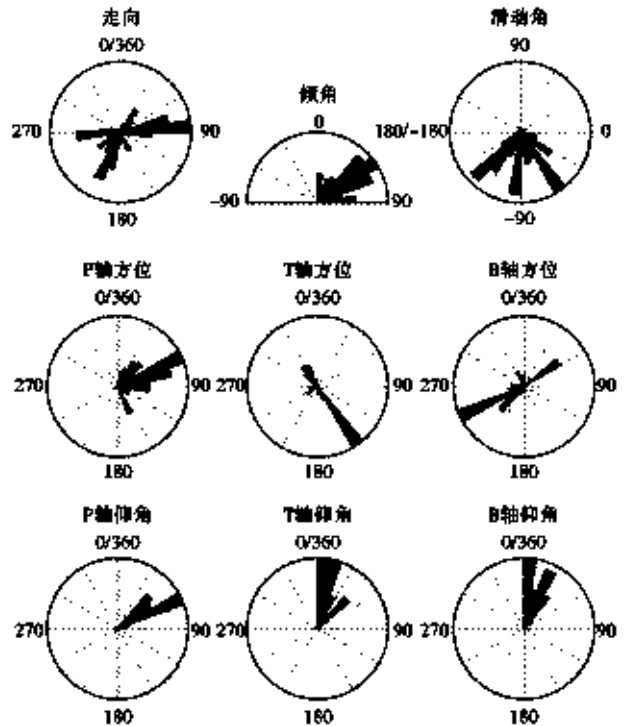


图2 震源机制P、T轴归一频数分布图  
Fig. 2 Normalized frequency distribution of P and T axes in the focal mechanism

### 3 晋北地区现代应力场随时间的变化特征

基于震源机制解反演的应力场是区域背景应力场的一种反映,受地震分布及晋北地区复杂的构造环境影响,基于中小震的综合断层解常出现波动现象。为保证反演结果的相对稳定与准确,本文选取时间窗长3a、滑动步长0.25a,对山西北部及邻区的综合断层解进行时间序列扫描,获得相应综合断层解的时序曲线(见第3页图3)。由晋北地区现代地壳应力场结果分析可知,主压应力P轴在 $40^\circ, 60^\circ\sim 70^\circ$ 方位存在优势分布,与前文的主压应力P轴优势方位集中在NE-NEE向相吻合。P轴 $40^\circ$ 方位集中在2008年12月至2010年6月、2011年3-12月与2015年6月至2016年6月的3个时段,其间依次发生2010年大同4.6级、2009年和2016年原平4.0级地震; $60^\circ\sim 70^\circ$ 方位主要集中在1997年4月至1999年7月与2018年9月至2021年12月的2个时段。1997年4月,P波初动结果趋向一致,主压应力方位为 $68^\circ\sim$

74°, 主张应力轴的取向为 300°~325°, 主应力轴仰角较大, 表现出局部应力场以拉张作用为主。在本次应力作用下发生 1999 年阳高 5.6 级地震, 此次应力变化与前人<sup>[14]</sup>得出的 1991 年阳高 5.8 级地震前应力场调整较相似, 不同的是这次异常出现的时间更早, 持续时间也 longer, 这可能与晋北地区附近 1998 年张北 6.2 级地震密切相关。2018 年 9 月至 2021 年 12 月, P 波初动结果趋向一致, 主压应力方位为 68°~71°, 仰角较大, 主张应力轴的取向为 150°, 仰角基本是水平的, 表明晋北地区现今构造应力场与区域构造应力场优势方位一致, 具有发生中强地震的背景。

由晋北地区其余综合断层面解结果可知, 主张应力 T 轴方位角总体分布较集中, 以 NW-SE 方位为主, 这可能是晋北地区主要受右旋剪切及拉张作用为主的影响, 一直处于稳定的 NW-SE 拉张应力状态, T 轴方位角对晋北地区发生中强地震的指示意义不明显; P 轴仰角较一致, 主要集中在 50°~60°, 相对比较稳定; T 轴仰角相对分散, 2000 年前仰角平均为 30°, 2000-2008 年仰角开始趋势下降, 2008 年后仰角平均为 10°, 表明 2000 年后晋北地区的应力状态出现一定的调整, 地震错动类型开始由倾滑转变为走滑、近走滑为主。

从晋北地区的综合断层面解可知, 晋北地区中强地震前 0.5~2 a, 该区域中小地震会出现 P 波初动结果趋向一致、主压应力轴方位与区域优势方位相吻合现象, 客观地反映中强以上地震孕育过程中震源区附近的应力变化情况, 对晋北地区孕震阶段的判定具有指示意义。

#### 4 结论与讨论

基于晋北地区 1990-2021 年测震台站的 P 波初动资料, 统计分析综合震源机制解节面、力轴参数及错动类型特征, 研究综合断层面解的时序特征, 主要认识如下:

(1) 晋北地区震源机制解节面在 EW 和 NE 向存在优势, 与晋北地区主要构造线方向吻合。节面倾角在 0°~90°方向均有分布, 在近 50°存在较大优势分布, 中等倾角明显, 直立次之。节面滑动角小于 0°, 震源错动方式为正断型。

(2) 震源机制解 P 轴优势方位集中在 NE-NEE 向, 主张应力 T 轴方位在 NW-SE 向存在显著的优势分布, 与华北构造应力场基本一致, 说明受到山西地区 NW 向水平拉张的局部应力影响。

(3) 利用综合震源机制解法求取综合断层面解的时序曲线, 表明晋北地区中强地震前 0.5~2 a 存在综合断层面解 P 轴取向趋于一致的现象, 尤其与区域优势方位相一致时, 孕育中强地震的可能性更大, 这一规律可为地震预报提供参考依据。

(4) 本文首次采用综合震源机制解法反演晋北地区的综合断层面解, 通过综合断层面解变化来探索中强地震前的区域应力场变化, 受山西断陷带复杂构造应力场的影响, 构造分区可能存在不足, 今后的研究应将晋北构造分区进行更细致的划分, 得到更稳定、可靠的局部应力场变化。

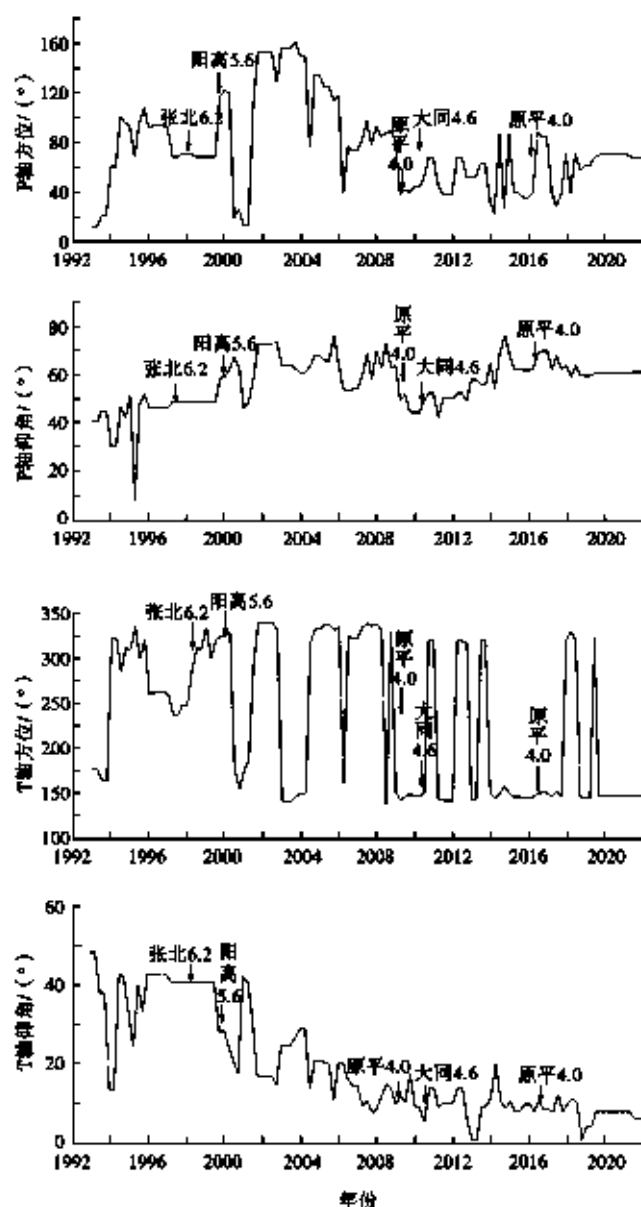


图3 震源机制解 P、T 轴时序曲线  
Fig. 3 Time series curves of P and T axes in the focal mechanism solution

#### 参考文献:

- [1] 刘瑞春, 张 锦, 郭文峰, 等. 利用 GPS 观测研究山西断陷带现今构造应力场变化与地震活动[J]. 地震工程学

- 报, 2021, 43(2): 251-258.
- [2] 郭祥云, 蒋长胜, 王晓山, 等. 鄂尔多斯块体周缘中小地震震源机制及应力场特征[J]. 大地测量与地球动力学, 2017, 37(7): 675-685.
- [3] 黄骥超, 万永革. 利用小震与强震震源机制解反演首都圈现今构造应力场[J]. 地震, 2015, 35(1): 17-27.
- [4] 陈继锋, 蒋 举, 罗仁昱, 等. 海原及周边地区中小地震震源机制解研究[J]. 地震工程学报, 2020, 42(5): 1049-1054.
- [5] Kamra C, Chopra S, Yadav R. Joint inversion for stress and fault orientations using focal mechanisms of earthquakes in the Saurashtra horst, a part of stable continental region of India. and source parameter estimation [J]. J Seismol, 2021(25): 1141-1159.
- [6] 戴盈磊, 万永革, 孔祥雪, 等. 2013年辽宁灯塔 M5.1 地震震源机制中心解及震源区构造应力场特征分析[J]. 地震研究, 2022, 45(04): 570-580.
- [7] 李欣野, 张广伟, 谢卓娟, 等. 2021年四川泸县 M6.0 地震震源机制及地震活动时空演化特征[J]. 地球物理学报, 2022, 65(11): 4284-4298.
- [8] 李光科, 巩浩波, 董 焱, 等. 重庆荣昌及邻区中强震前后构造应力场变化特征[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(02): 428-434.
- [9] 王甘娇, 项月文, 肖孟仁, 等. 赣北地区构造应力场分析[J]. 地震科学进展, 2021, 51(04): 161-168.
- [10] 许忠淮, 阎 明, 赵仲和. 由多个小地震推断的华北地区构造应力场的方向[J]. 地震学报, 1983, 5(3): 268-279.
- [11] 万永革, 吴逸民, 盛书中, 等. P波极性数据所揭示的台湾地区三维应力结构的初步结果[J]. 地球物理学报, 2011, 54(11): 2809-2818.
- [12] 周翠英, 王华林, 王红卫, 等. 华北4次中、强地震前震源区及其附近应力场的变化[J]. 地震地质, 2001, 23(1): 98-110.
- [13] 李瑞莎, 崔效锋, 刁桂苓, 等. 华北北部地区现今应力场时空变化特征研究[J]. 地震学报, 2008, 30(6): 570-580.
- [14] 宋美琴, 张淑亮, 梁向军, 等. 大同盆地应力场变化特征及其与中强地震的关系[J]. 山西地震, 2008(3): 1-5.
- [15] Shen Z K, Jackson D D, Ge B X. Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements[J]. Journal of Geophysical research; Solid Earth, 1996, 101(B12): 27957-27980.
- [16] 国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [17] Zoback M L. First-and second-order patterns of stress in the lithosphere: the world stressmap project[J]. J. Geophys. Res., 1992, 97(B8): 11703-11728.
- [18] 刘 巍, 孟雁英, 王赵国. 大同盆地现今构造活动及地壳应力场特征[J]. 地球物理学报, 1993, 36(3): 360-368.

## Characteristics of Structural Stress Field Variation before and after Moderate to Strong Earthquakes in Northern Shanxi Region

GUO Wen-Feng<sup>1,3</sup>, SONG Mei-Qing<sup>1,3</sup>, YANG Shi-Ying<sup>2,3</sup>, LI Yu-Jiao<sup>1,3</sup>, WANG Xia<sup>1,3</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China; 2. Taiyuan Earthquake Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030025, China; 3. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China.)

**Abstract:** Based on the polarity data of P-wave first motions from moderate to small earthquakes in the northern Shanxi region from January 1990 to December 2021, a comprehensive fault plane solution for small earthquakes in the region is obtained using the focal mechanism inversion method. The results show that the focal mechanism solution exhibits EW and NE dip directions, which are consistent with the major structural trends in the northern Shanxi region. The dominant fault type is normal faulting. The principal stress direction is NE-NEE with a relatively high dip angle, while the maximum stress direction is NW-SE with a nearly horizontal dip angle, which corresponds to the regional tectonic stress field. In the comprehensive fault plane solution for small earthquakes, when the P-axis orientation is consistent with the predominant orientation in the region, it suggests the potential occurrence of moderate to strong earthquakes in the northern Shanxi region.

**Key words:** Structural stress field; Moderate to strong earthquakes; Northern Shanxi region; Comprehensive focal mechanism solution

# 临汾盆地及邻区地震重定位和 $b$ 值研究

张聪聪<sup>1,2</sup>, 张英杰<sup>3</sup>

(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; 3. 河北省地震局邯郸地震监测中心站, 河北 邯郸 056000)

**摘要:** 选取 2010 年—2020 年地震台网记录的震相数据, 采用双差定位法对临汾盆地及邻区中小地震进行重定位, 并对研究区域进行  $b$  值空间扫描。结果表明, 临汾盆地及邻区具有明显的两个优势层发震层, 深度分别为 4~10 km 和 18~24 km, 地震多数集中于较深的发震层附近; 贯穿太原盆地、灵石隆起和临汾盆地存在一条呈“S”状的地震条带, 在临汾盆地北端的地震条带清晰且发生北西向转折, 在灵石隆起西侧可能存在深层地震破碎带或隐伏断裂; 在临汾盆地洪洞凹陷和辛置凸起下方存在一个地震空区, 临汾盆地洪洞凹陷及周边处于低应力异常区, 该区域地震密集成簇, 是 1303 年洪洞 8.0 级地震的震后应力构造调整区; 鄂尔多斯块体的逆时针转动和灵石隆起的阻挡作用, 造成灵石隆起与临汾盆地交界处容易积累应力, 地震频发。

**关键词:**  $b$  值; 地震条带; 临汾盆地; 双差定位  
**中图分类号:** P315.61 **文献标志码:** A

## 0 引言

临汾盆地位于山西断陷带中南部, 是地震活动强烈、构造复杂的主干剪切段, 历史上曾发生 1303 年洪洞 M8.0 地震和 1695 年临汾 M7  $\frac{3}{4}$  地震, 两次强震相距 40 km。山西断陷带地处鄂尔多斯块体东缘, 由一系列断陷盆地及盆间隆起构成的华北强震构造带, 形成于上新世, 是印度洋板块向东北方向挤压和太平洋板块向西俯冲共同作用形成的<sup>[1-2]</sup>。鉴于以上原因, 临汾盆地及周边地区的演化、地震构造和地震危险性一直是学者关注的问题<sup>[3-4]</sup>。

研究表明, 古登堡—里克特经验关系式:  $\lg N = a - bM$  中,  $b$  值取决于震源区的应力状况和介质性质, 与区域构造应力成反比关系, 因此  $b$  值可用于区域应力水平和地震危险性的研究<sup>[5]</sup>。地震定位的精度对地震构造、断层几何构造及动力过程等研究起到重要的作用。双差定位是 Waldhauser 和 Ellsworth 提出的一种相对定位方法<sup>[6]</sup>, 其优点是可以去除对精确速度结构模型的依赖, 获得震源区高精度地震定位, 已在隐伏活动构造、地震构造、板块俯冲带、火山构造和地震活动性研究方面得到应用<sup>[7-9]</sup>。本研究运用双差定位对研究区域的地震进行精定位, 使用精定位后的地震

目录对研究区域进行  $b$  值扫描, 根据精定位结果和  $b$  值空间分布, 研究临汾盆地及周边地区地震构造及地震危险性特征(见第 6 页图 1)。

## 1 数据与方法

选用 2010 年 1 月至 2020 年 12 月 37 个地震台站(山西地震台网、陕西地震台网和河南地震台网)记录地震的震相到时资料, 选取震级大于 0 级, 至少被 4 个台站记录的地震。使用时距曲线删除明显错误的数, 得到时距曲线如第 6 页图 2 所示。获得用于反演的地震事件 9 751 个, P 震相 101 072 个, S 震相 116 277 个。一般情况下, P 波到时的手动拾取精度高于 S 波, 因此在反演时对 P 波震相赋予权重 1.0, 对 S 波赋予 0.5。定位中, 最大震中距设置为 500 km, 最大震源间距设置为 30 km, 最大邻居数设置为 20, 邻居间最小连接数为 8, 每个事件对需要震相数的最小值为 8, 最小震相对间距选择为 1 km。

双差定位可以最大限度摆脱速度模型的影响, 高精度的速度模型使定位结果更可靠<sup>[10]</sup>, 本研究使用 CRUST1.0 模型、殷伟伟山西断陷带模型以及莘海亮中国三维速度结构模型<sup>[11-13]</sup>, 对研究区域不同层深的 P 波和 S 波速度求平均(见第 6 页表 1)。

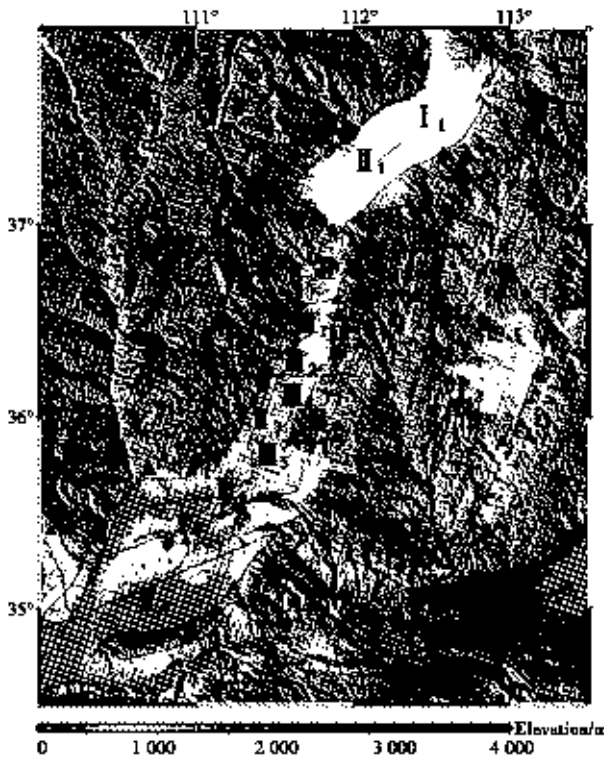
收稿日期: 2022-12-08

基金项目: 山西省地震局科研项目(SBK-2214), 中国地震局地质研究所国家野外科学观测研究站项目(NORSTY20-12)。

第一作者简介: 张聪聪(1989—), 男, 山西临汾市人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事地震监测运维工作, E-mail: 1019276634@qq.com。

通讯作者: 张英杰(1986—), 男, 河北永年县人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事地震监测、各向异性工作, E-mail: zhangyj03@163.com。





▲ 地震台站; --- 为断层; I<sub>1</sub>山西断陷带; I<sub>2</sub>吕梁山断陷区; I<sub>3</sub>太行山断陷区; II<sub>1</sub>太原盆地; II<sub>2</sub>灵石隆起; II<sub>3</sub>榆汾盆地; II<sub>4</sub>运城盆地; III<sub>1</sub>辛置凸起; III<sub>2</sub>洪洞凹陷; III<sub>3</sub>临汾凹陷; III<sub>4</sub>浮山凸起; III<sub>5</sub>襄汾凸起; III<sub>6</sub>侯马凹陷; F<sub>1</sub>罗云山山前断裂; F<sub>2</sub>霍山山前断裂; F<sub>3</sub>青石断裂; F<sub>4</sub>峨嵋台地北缘断裂

图1 研究区域地质构造及台站分布

Fig. 1 Geological structure and station distribution in the study area

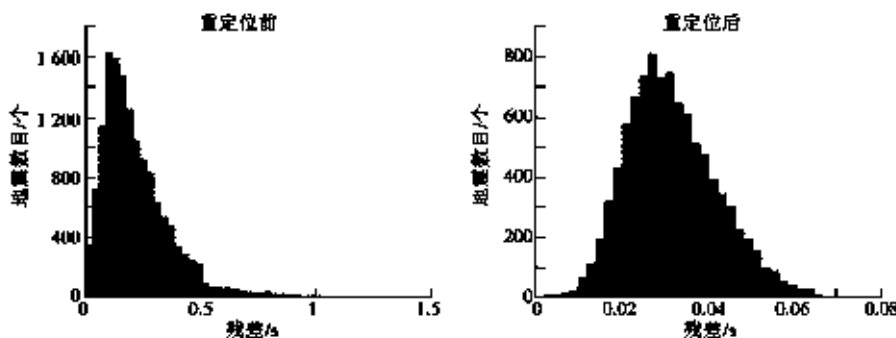


图3 重定位前后到时残差

Fig. 3 Arrival time residuals before and after relocation

研究区域重定位前后的地震分布如第7页图4、图5所示。对比重定位前后地震水平分布发现,重定位后的地震具有一定聚集,但不明显(见图4a和图5a)。地震主要分布在山西断陷带内,断陷带东西两侧的隆起区仅有少量分布。地震具有丛集现象且沿重要断层展布,如峨嵋台地北缘断裂附近的地震沿断层有较好的展布,在襄汾凸起南缘断裂和北缘断裂西侧具

## 2 结果与讨论

### 2.1 地震重定位结果

对选取的研究区内9751个地震进行重定位后剩余9712个地震,丢失地震较少,有利于b值分析。地震定位均方根残差由重定位前的0.2s左右下降至0.02s左右(见图3),说明反演具有较好的收敛,结果可靠。

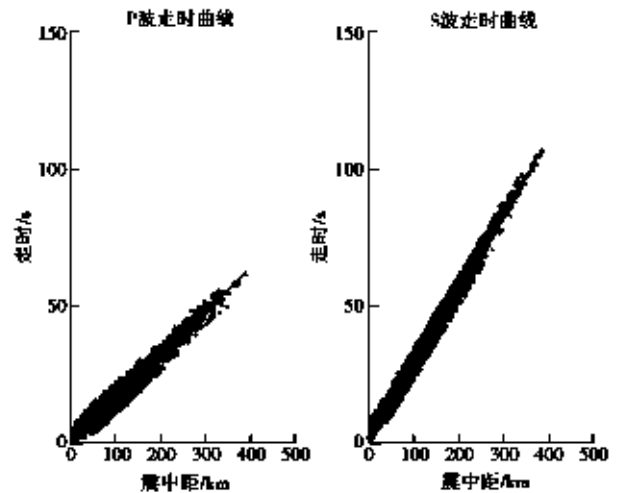


图2 筛选后的震相对时曲线

Fig. 2 Filtered travel-time curves for selected phases

表1 研究区域P波和S波速度结构模型<sup>[14]</sup>

Table 1 Parameters of P-wave and S-wave velocity structure models in the study area

深度/km	5	10	15	20	25	30	35	40
P波/(km·s <sup>-1</sup> )	5.18	6.11	6.26	6.55	6.63	6.82	7.08	7.31
S波/(km·s <sup>-1</sup> )	2.96	3.51	3.62	3.79	3.84	3.96	4.06	4.41

有明显的地震簇集现象,在临汾盆地及附近存在一条明显的地震簇集和地震条带。该地震条带贯穿太原盆地、灵石隆起和临汾盆地,呈“S”状;在临汾盆地内,该条带从浮山凸起西侧开始,经临汾、洪洞凹陷到达辛置凸起,在辛置凸起东侧的次级凹陷——同家庄凹陷开始近乎直角转至西北方向;该条带南细北粗,地震密集,在洪洞凹陷和辛置凸起下方地震最密集,条带东侧

为霍山山前断裂。

国家历史地震目录将1303年洪洞M8.0地震定位于东经111.7°、北纬36.3°,经过沿临汾盆地内NNE向地震条带做的地震剖面(见图5a、5d)。在临汾盆地次级构造的洪洞凹陷和辛置凸起下方存在地震密集区,该区域地震深度最深,1303年洪洞8.0级地震发生在该密集区,小震可能是历史强震后区域应力调整的余震,在密集地震区内部8~23 km深度存在一个地震空区,在重定位前无法看到(见图4d)。

因震源深度受控于台站的水平分布特征,成为学者研究的重点。震源深度精确测定对地震孕育和发生的深部构造、地下深层构造应力变化等研究具有一定的意义。对比重定位前后经度、纬度方向的地震投影图4b、4c和图5b、5c可知,重定位前地震较均匀散布于4~30 km之内,地震地层下界均等、模糊;重定位后地震丛集现象明显,地震地层下界清晰,存在两层优

势地震地层,分别是4~10 km和18~24 km,其中下层地震明显多于上层,地震深度频度分布直方图具有同样的结论(见第8页图6)。临汾盆地次级构造的洪洞凹陷和辛置凸起下方的震源最深,达到30 km,此位置可能为临汾盆地深大断裂的地幔物质上涌位置<sup>[14-15]</sup>。

震源深度在4~10 km和18~24 km地震水平分布如第8页图7所示。在洪洞凹陷北侧至灵石隆起,该区域的地震深度为18~24 km,地震分布多于4~10 km的,呈条带状,说明在18~24 km可能存在一条临汾盆地至太原盆地的脆性破裂通道或深层隐伏断层。罗云山断裂与离石断裂交汇处的北侧,深度在4~10 km的地震基本没有,属于地震空区,同一位置在深度18~24 km的地震分布较多,说明该区域构造深浅不同。

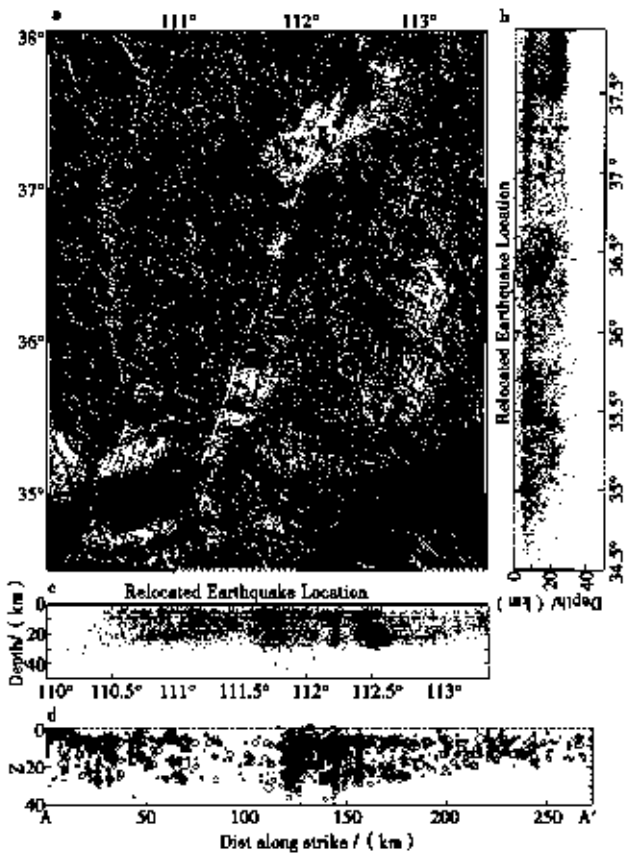


图4 研究区域重定位前地震分布图  
Fig. 4 Seismic distribution map before relocation in the study area

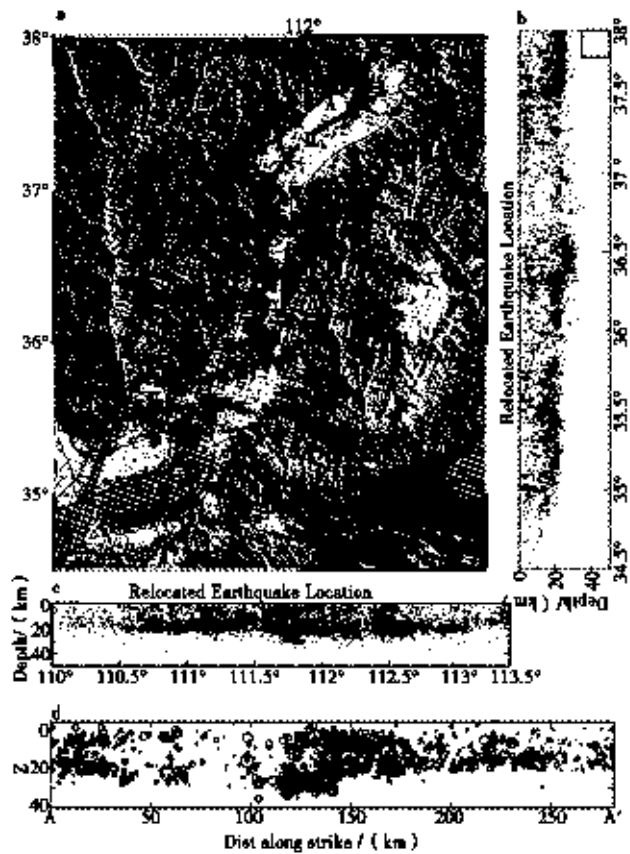


图5 研究区域重定位后地震分布图  
Fig. 5 Seismic distribution map after relocation in the study area

## 2.2 b值分布特征

运用双差定位获得的精定位地震目录计算临汾盆地及周边地区b值,使用最大曲率法获得最小完整性

震级 $M_c$ 为0.9。选择 $M \geq 0.9$ 共6 516个地震事件,按 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 将研究区域网格化,最小样本量选择150个,获得研究区域平均b值0.71,误差在 $\pm 0.01$

(见第9页图8)。

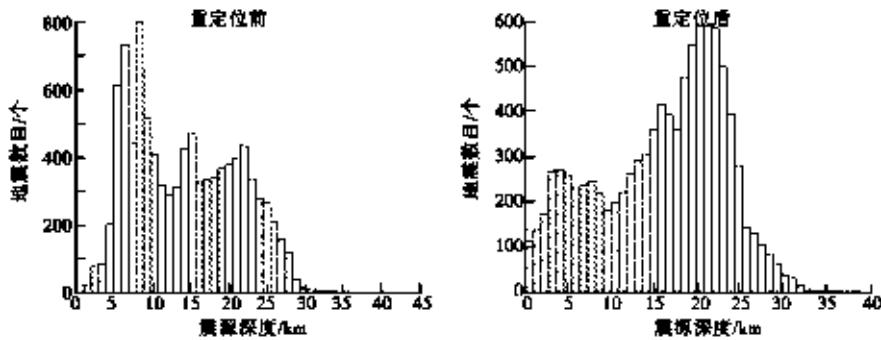
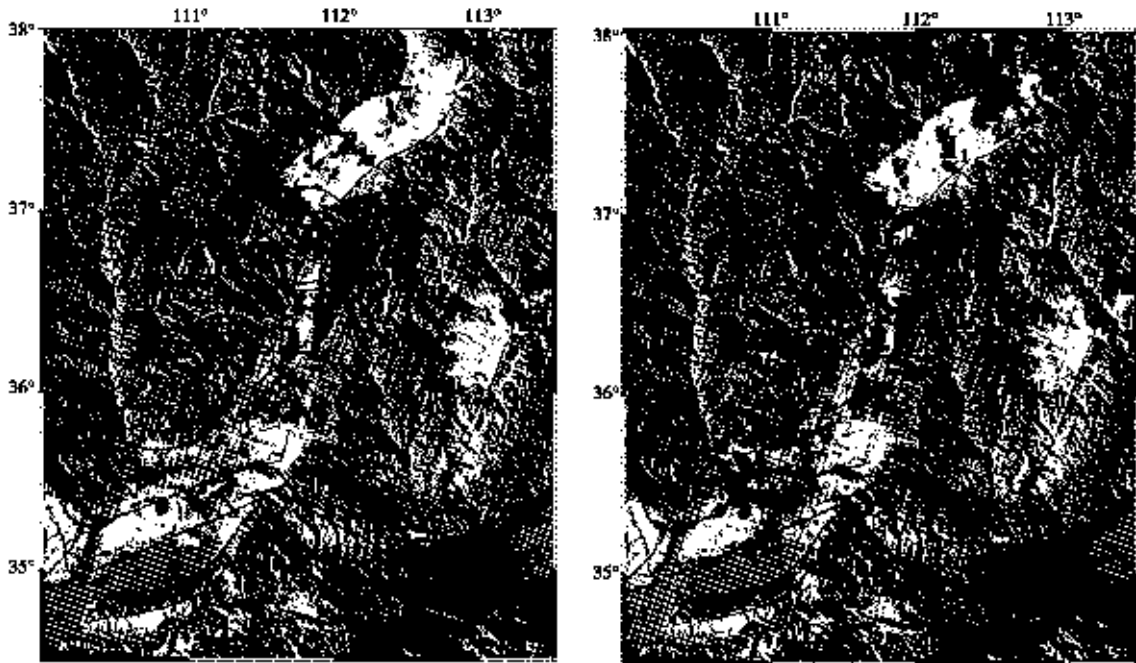


图6 重定位前后震源深度分布频次图

Fig. 6 Frequency distribution of earthquake depths before and after relocation



a 重定位后4-10 km地震在地表投影; b 重定位后18-24 km地震在地表投影

图7 重定位后两个优势地震地层在地表投影

Fig. 7 Projection of the two dominant seismic layers on the surface after relocation

由  $b$  值空间分布的第9页图9a所示,临汾、太原盆地处于高  $b$  值区,灵石隆起处于低  $b$  值区,与鄂尔多斯块体逆时针旋转使盆地处于低应力区、盆间隆起区处于高应力区相吻合,灵石隆起、临汾盆地的辛置凸起、运城盆地南部处于低  $b$  值异常区(小于0.7),说明这些区域处于高应力状态。

洪洞凹陷及附近地区处于明显的高  $b$  值异常区,与前人的研究结果一致<sup>[16-17]</sup>。沿临汾盆地中 NNE 向地震条带和高  $b$  值异常区做剖面并计算  $b$  值,结果如第9页图9b所示。从图中看出,灵石隆起处于低  $b$  值区,洪洞凹陷从10 km 向下处于高  $b$  值异常区,同时该区域也是临汾盆地地震密集区,认为该位置可能为临汾盆地深大断裂的位置<sup>[14]</sup>。1303年洪洞8.0级地震

位于该高  $b$  值异常区,目前该区域仍处于历史强震的震后应力调整区,这与易桂喜等人的研究结果一致<sup>[18]</sup>。

青藏高原在向东移动时受到四川盆地的阻挡,转向东北和东南方向<sup>[19]</sup>,在东北方向鄂尔多斯块体受到华北块体的阻挡发生逆时针旋转<sup>[20-22]</sup>。运用GPS数据对临汾盆地主应力及位移速率进行研究,得出山西断陷带以太原盆地北部为支点进行逆时针转动,临汾盆地的南部拉张、北部挤压作用强烈<sup>[23]</sup>。由于鄂尔多斯块体的逆时针旋转,灵石隆起对临汾盆地北端的物质运动起到阻挡作用,临汾盆地北端及灵石隆起长期处于高压应力状态,使得破裂带将沿着灵石隆起相对易破裂的西部区域展布,成为该区域地震条带呈“S”

展布的原因。同时灵石隆起东侧由于长时间处于高应力状态,未来可能具有强震的危险性。

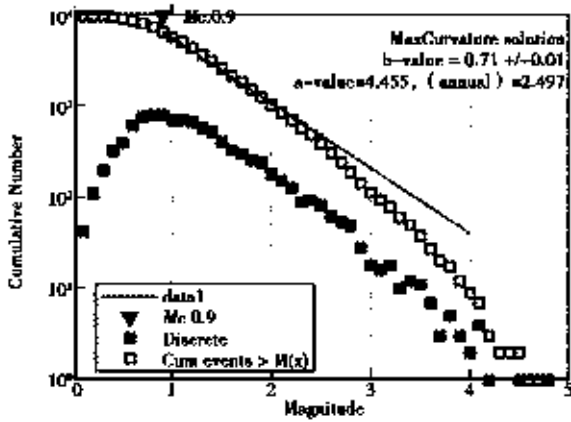
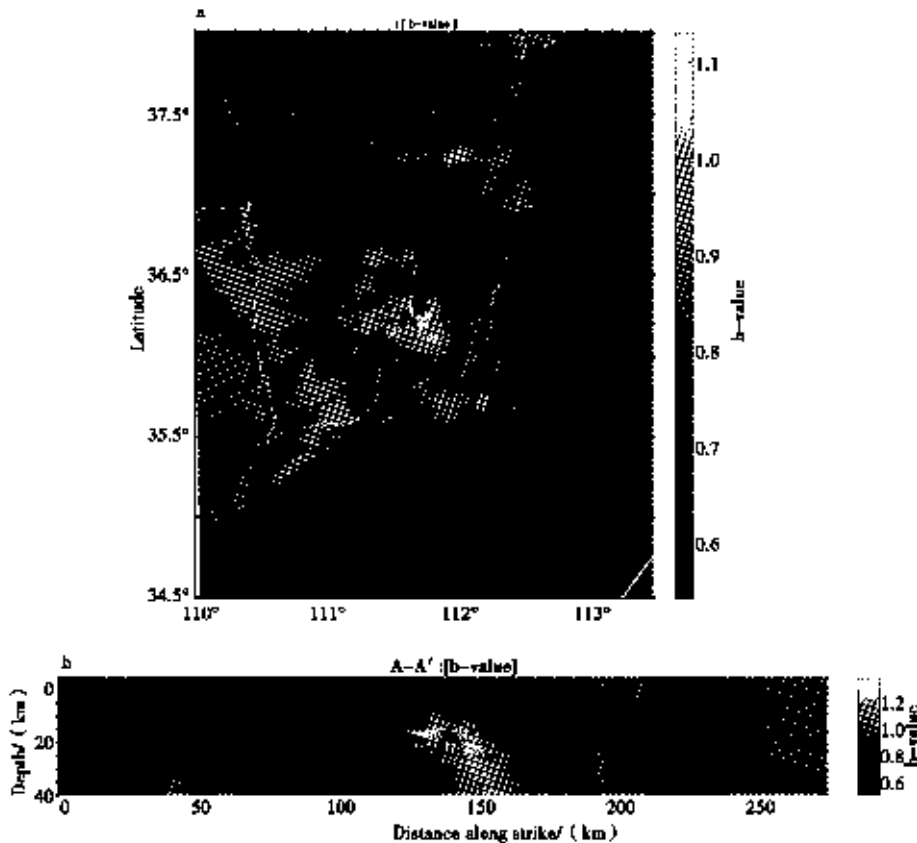


图8 研究区域  $M_c$  值及平均  $b$  值

Fig.8  $M_c$  values and average  $b$ -values in the study area

### 3 结论

选用双差定位对临汾盆地及邻区 9 751 个地震进行反演,得到 9 712 个地震重定位结果。结果显示,研究区域的地震主要分布于中上地壳,有两个明显的优势地层,其中下地层地震较多。贯穿临汾盆地、灵石隆起和太原盆地存在一条呈“S”状的地震条带,在临汾凹陷、洪洞凹陷和辛置凸起条带清晰,地震密集,在洪洞凹陷和辛置凸起下方的地震深度达到最深,可能为临汾盆地深大断裂的地幔物质上涌位置。此地震条带展布于灵石隆起西侧且地震主要分布在 18~24 km,说明临汾盆地至太原盆地之间可能存在脆性破裂通道或深层隐伏断裂。采用精定位后的地震目录计算临汾盆地及邻区的  $b$  值,结果显示,临汾盆地的北端处于低应力区,灵石隆起处于高应力区、低  $b$  值区,洪洞凹陷从 10 km 向下处于高  $b$  值异常区,说明该区域为低应力构造,为 1303 年洪洞 8.0 级地震后的应力构造调整区域。由于鄂尔多斯块体的逆时针旋转,灵石隆起对临汾盆地北端的物质运动起到阻挡作用,长期处于高应力状态,未来可能具有一定的强震危险性。



a:  $b$ 值水平分布; b: AA' 剖面值分布

图9 研究区域  $b$  值空间分布图

Fig.9 Spatial distribution of  $b$ -values in the study area

## 参考文献:

- [1] 徐锡伟,邓起东,马杏垣.山西裂谷系的新构造活动特征及其形成机制[G]//大陆构造和成矿作用讨论会论文集.武汉:中国地质大学出版社,1992:120-131.
- [2] 马宗晋.山西临汾地震研究与系统减灾[M].北京:地震出版社,1993.
- [3] 宋美琴,郑勇,葛荣,等.山西地震带中小震精确定位及其显示的山西地震构造特征[J].地球物理学报,2012,55(2),513-525.
- [4] 吴昊昱.基于背景噪声成像技术的山西地壳结构及强震孕震环境研究[D].太原:太原理工大学,2017.
- [5] Urbancic TI, Trifu CI, Long J M et al. Space-time correlation of b values with stress release[J]. Pure Appl. Geophys, 1992, 139(3), 449-462.
- [6] Waldhauser F, Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, California[J]. Bull Seismol Soc Am, 2000, 90(6), 1353-1368.
- [7] 黄媛,吴建平,张天中,等.汶川8.0级大地震及其余震序列重定位研究[J].中国科学(D辑),2008(38),1242-1249.
- [8] 赵旭,李强,刘瑞丰,等.三峡库区地震精定位中确定速度模型的方法[J].地震地磁观测与研究,2009,30(3),27-35.
- [9] 盛书中.鄂尔多斯块体周缘地壳应力场与断层面参数进行研究[D].北京:中国地震局地球物理研究所,2015.
- [10] Michelini A, Lomax A. The effect of velocity structure errors on double-difference earthquake location[J]. Geophys Res Lett, 2004, 31, L09602.
- [11] Laske G, Masters G, Ma Z T, et al. 2013. Update on CRUST1.0 - A 1-degree global model of Earth's crust. Geophysical Research Abstracts, 15; EGU2013-2658.
- [12] 殷伟伟,雷建设,黄金刚,等.2020.山西断陷带上地幔顶部 Pn 波速度结构与各向异性成像[J].地球物理学报, 63(12):4382-4395.
- [13] Haijiang Xin, Haijiang Zhang \*, Min Kang, Rizheng He, Lei Gao, Ji Gao. High-resolution lithospheric velocity structure of continental China by double-difference seismic travel time tomography[J]. Seismological Research Letters, 2019, 90(1):229-241.
- [14] 李自虹.临汾盆地地壳精细结构探测与孕震构造研究[D].太原:太原理工大学,2014.
- [15] 董春丽,李乐,赵晋泉,等.临汾地区的小震精确定位分析[J].地震地质,2013,35(4),873-886.
- [16] 刘瑞春,韩胜.山西临汾盆地及其周缘现今地震活动特征与地震危险性分析[J].山西地震,2013(1),1-3.
- [17] 沙海军.山西地震带 b 值空间分布与构造应力场的关系研究[J].地壳构造与地壳应力文集,2016(2):12-17.
- [18] 易桂喜,闻学泽,徐锡伟.山西断陷带太原-临汾部分的强地震平均复发间隔与未来危险段落研究[J].地震学报,2004,26(4):387-395.
- [19] Wang Q, Zhang PZ, Freymueller JT, et al. Present-day crustal deformation in China constrained by global positioning system measurements [J]. Science, 2001, 294 (5542):574-577.
- [20] Peltzer G, Saucier F. Present-day kinematics of Asia-derived from geologic fault rates[J]. J. Geophys. Res., 1996, 101(B12), 27943-27956.
- [21] Zhang YQ, Mercier JL, Vergély I. Extension in the graben systems around the Ordos(China), and its contribution to the extrusion tectonics of south China with respect to Gobi-Mongolia[J]. Tectonophysics, 1998, 285 (1-2):41-75.
- [22] 李延兴,张静华,郭良迁,等.鄂尔多斯的逆时针旋转与动力学[J].大地测量与地球动力学[J],2005,25(3),50-56.
- [23] 郭良迁,占伟,杨国华,等.山西断陷带的近期位移和应变率特征[J].大地测量与地球动力学,2010,30(4):36-42.

## Study on Seismic Relocation and b-value in the Linfen Basin, Shanxi Province and its Surrounding Areas

ZHANG Cong-cong<sup>1,2</sup>, ZHANG Ying-jie<sup>3</sup>

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

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

3. Handan Earthquake Monitoring Center Station, Hebei Earthquake Agency, Handan, Hebei 056000, China)

**Abstract.** In this study, seismic phase data recorded by the seismic network from 2009 to 2020 are utilized to perform seismic relocation and b-value analysis for small to moderate earthquakes in the Linfen Basin and its neighboring regions. The results show that the study area exhibits two distinct seismogenic layers at depths of 4-10 km and 18-24 km, with seismicity mainly concentrated near the deeper seismogenic layer. A seismic belt with an "S" shape is observed, extending through the Taiyuan Basin, Lingshi Uplift, and Linfen Basin. The northern part of the Linfen Basin shows a clear northwestward bending of the seismic belt, while a deep seismic rupture zone or concealed fault may exist on the western side of the Lingshi Uplift. A seismic gap is identified beneath the Hongdong Depression and Xinzhi Uplift. The Hongdong Depression and its surrounding areas are characterized by low stress anomalies, where seismicity is clustered, representing a post-seismic stress adjustment zone following the 1303 M8 earthquake. The counterclockwise rotation of the Ordos Block and the blocking effect of the Lingshi Uplift result in stress accumulation at the junction between the Lingshi Uplift and the Linfen Basin, leading to frequent earthquakes in this region.

**Key words:** b-value; Seismic belt; Linfen Basin; Seismic relocation

· 观测分析 ·

文章编号:1000-8265(2023)02-0011-04

# 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<sup>1,3</sup>, 刘瑞春<sup>2,3</sup>, 刘 炜<sup>1,3</sup>, 闫美蓉<sup>1,3</sup>, 殷 锴<sup>1,3</sup>, 高龙飞<sup>1,3</sup>

(1. 山西省地震局大同地震监测中心站, 山西 大同 037008; 2. 山西省地震局, 山西 太原 030021;  
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:** 选取典型震例, 对大同地震监测中心站(以下简称大同中心站)YRY-4 型高采样率钻孔应变仪与 BBVS 测震仪记录的地震波进行比较, 分析同一地震在不同设备记录下的地震波异同与关联情况, 利用 S 变换方法, 分析整个同震时段的频谱动态演化特征。结果表明, 二者的采样率不同, 但反映出的频谱演化过程有较好的一致性, 说明对同场地的同一地震事件, 二者的记录信号可相互参照对比。

**关键词:** 测震; 钻孔应变; 同震; 波形特征

**中图分类号:** P315.63 **文献标志码:** A

## 0 引言

大同中心站设有 BBVS 宽频带测震系统与 TJ-2 体积式钻孔应变仪、YRY-4 钻孔应变仪、RZB-2 钻孔应变仪等观测仪器, 可实现在同一台站、同一场地较好地记录一些地震事件过程。尤其是高采样率四分量钻孔应变仪, 可以记录丰富的应变地震波细节信息, 也是地方震的同震应变记录前提条件, 因为分钟值采样无法记录到地方震。本文通过选取震例, 对大同中心站不同类型仪器的记录资料做比较分析, 为台站准确应用资料开展地震预测综合研究提供参考依据。

## 1 台站背景资料

### 1.1 台址概况

大同中心站上皇庄监测站始建于 1970 年, 地处大同盆地西北边缘, 西北部为山区, 东南部为洪积倾斜平原。11 泉断裂从台址附近通过, 是大同盆地西界控制断裂, 全长 100 多千米, 走向北北东, 断层倾向南东, 全新世活动断裂, 右旋正走滑断裂<sup>[1-2]</sup>。台站西部的断裂下盘广泛出露太古界桑干群黑云斜长片麻岩夹斜长角闪岩, 混合岩化强烈, 上覆第四系黄土, 东部为洪积砂土、砾石层等<sup>[3]</sup>(见第 12 页图 1)。

### 1.2 仪器性能概况

大同中心站测震观测是台站最早的观测项目, 始

于 1970 年 1 月, 2005 年经过“十五”数字化网络项目改造, 由区域台升级为国家台, 数据通过光缆传输至大同中心站进行处理。目前运行仪器为港震 BBVS-120 甚宽频带地震计和采样率 100 Hz 的 EDAS-241P 数采。BBVS-120 地震计的主要特点为采用平衡负反馈系统, 传递函数稳定, 频带范围为 120 s~40 Hz, 速度响应平坦, 仪器自身噪音低于最小噪声模型 NLMA (60 s~10 Hz)。

大同中心站 YRY-4 钻孔应变仪(以下简称 YRY-4 仪)钻孔孔深 50.2 m, 探头埋深 30 m, 岩石性质为 Ar 花岗片麻岩, 结构完整坚硬。YRY-4 仪可用于应变固体潮、地震波、慢地震等方面的观测研究, 以及地震应变前兆探测, 其拥有的长周期性能可同时记录地球自由振荡的球型及环型分量。YRY-4 仪分辨率优于  $5 \times 10^{-11}$ , 漂移小于  $10^{-8}$ /日, 通频带 0~20 Hz(高频端信号需配 100 次/秒以上采样率的数采器), 灵敏度优于  $0.000\ 01\ \mu\text{m}$ (相当于  $5 \times 10^{-11}$  应变), 量程大于  $1\ \mu\text{m}$ (相当于  $5 \times 10^{-6}$  应变)。

## 2 同震响应对比分析

当地震发生时, 地震波由震源通过地壳非均匀介质向四周传递, 台站 BBVS 系统在足够信噪比条件下, 通过记录到的地震波测定震级, 对地震(破裂过程)释放能量有基本估计。BBVS 系统记录的地震波是一

收稿日期:2022-05-28

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-1812), 中国地震局三结合科研项目(CEA-JC/3JH-160404)。

第一作者简介:李文超(1990—), 男, 山西大同市人, 工程师, 主要从事地震监测、分析预报、仪器维护工作, E-mail:609891453@qq.com,

通讯作者:刘瑞春(1982—), 男, 山西应县人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地震分析预报、大地测量等工作, E-mail:609891453@qq.com。

个速度或加速度的物理矢量。在无震情况下, BBVS系统记录台站场地基岩地脉动信号。钻孔应变系统记录在地壳中包围应变仪的岩石介质(包括仪器传感器

自身)因地震波发生的变形程度(应变),是地震力作用在区域岩体产生应变过程的一种定性表述<sup>[4]</sup>。

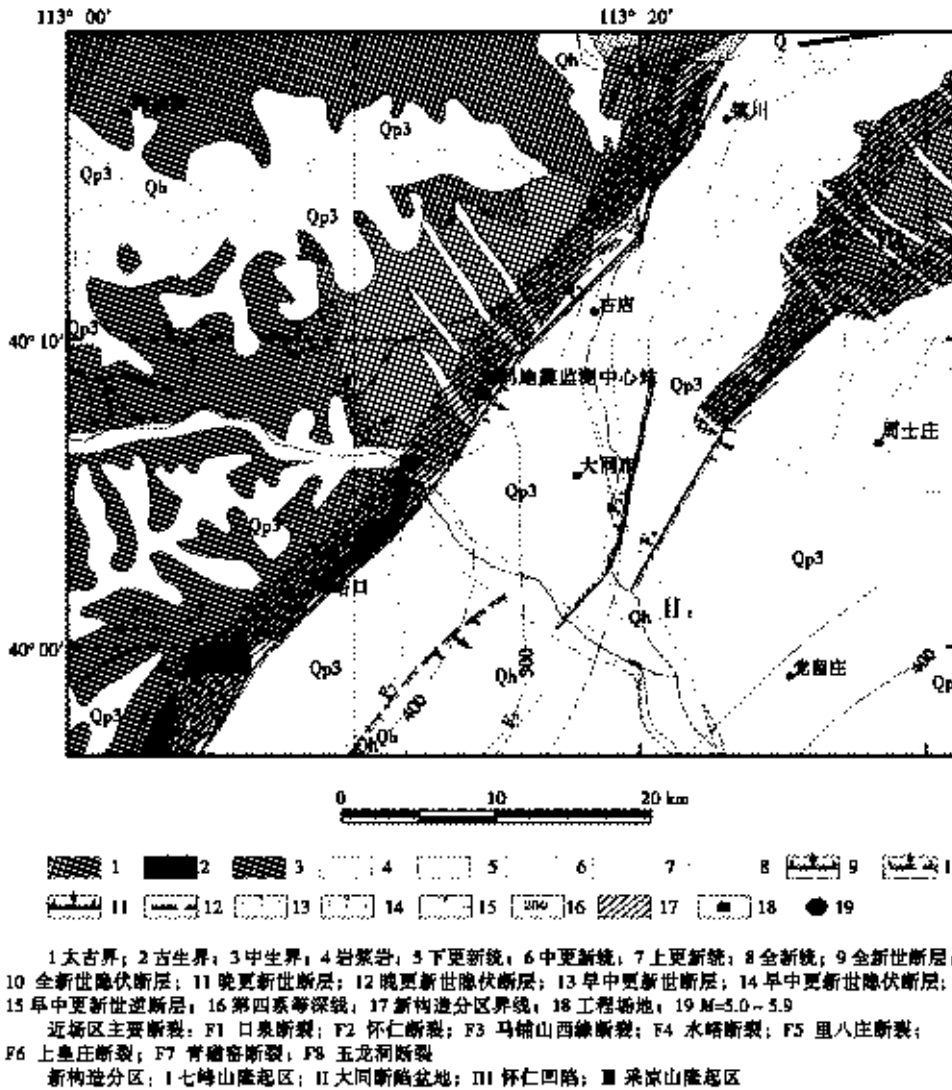


图1 台站地质构造图  
Fig. 1 Geological structure of the station

2016年4月7日04时49分49秒,山西省忻州市原平市(北纬38.87°,东经112.91°)发生4.1级地震,震源深度16 km,震中距142 km。通过波形记录分析得知, YRY-4 仪高采样(10 Hz)清晰地记录到本次地震同震波形(见第13页图2),与BBVS-120测震仪记录到的地震波形近似(见第13页图3)。BBVS-120测震仪Pn到时为04:50:12.3, YRY-4仪记录的初动时间为04:50:12.1,两套仪器记录的到时基本相同(初动时间产生0.2 s的差异可能为不同仪器采样产生的标准误差范围)。YRY-4仪四分量记录

的地震初动均向下,清晰尖锐;BBVS-120测震仪记录的初动方向向上,清晰但不尖锐。

### 3 时频谱动态分析

傅里叶变换可以检测整个信号序列中的不同频率,是频谱分析中最常规的一种分析方法,但无法对整个信号频谱做动态演化,缺乏时间分辨率。为弥补其不足,本文采用时频类分析方法做同震频谱动态分析。时频类分析方法较多,本次采用S变换方法,该方法的特点是时频分辨率随频率而改变,低频端频率分辨

率高,高频端时间分辨率高<sup>[2-6]</sup>。此处不再赘述相关计算公式,直接应用中国地震局地震行业科研专项中地震预测所刘琦老师所提供软件对震例数据进行规范化处理。

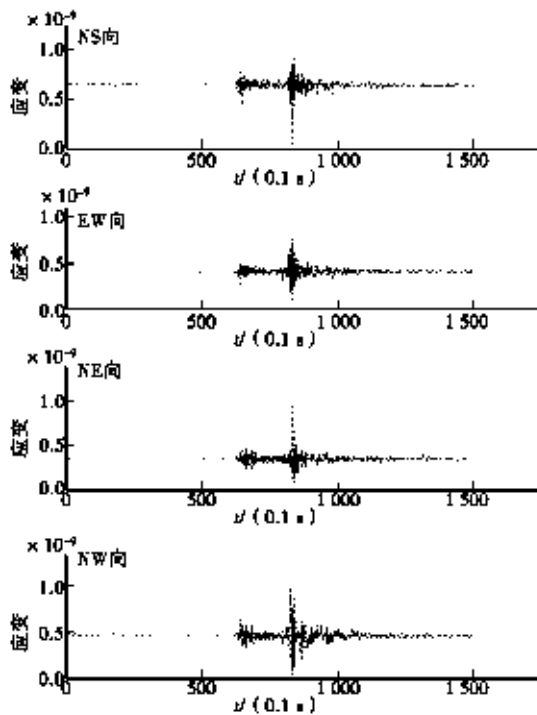


图2 原平4.1级地震YRY四分量应变仪10 Hz采样原始波形

Fig. 2 Original waveform record at 10 Hz sampling of the YRY-4 four-component strainmeter for the 4.1 magnitude earthquake in Yuanping

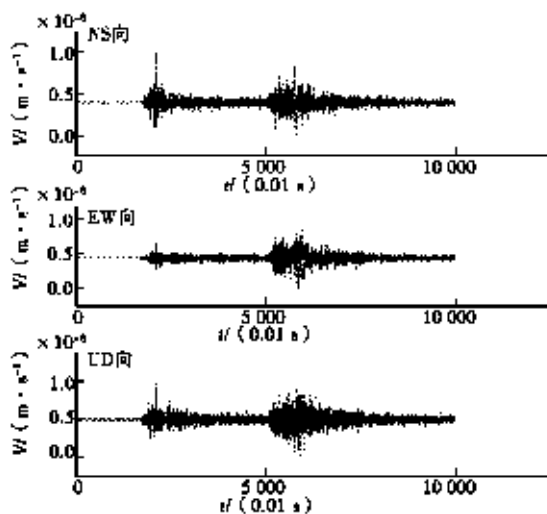


图3 原平4.1级地震测震波形记录原始采样

Fig. 3 Original sampling of the seismograph waveform record of the 4.1 magnitude earthquake in Yuanping

由S变换后的频谱演示图4看出,在P波到达初期,BBVS-120测震仪记录到的高频信号瞬间增多,三分向P波优势频段均在0.025~0.05 Hz,之后依次是低频面波组分、高频面波组分到达,此时的面波能量在整个观测区间内最强,随着时间的推移,面波频谱从0.025 Hz逐步扩展到0.15 Hz,表现出明显的频散特性,随后频带逐步收窄,稳定在一定范围的频带内。

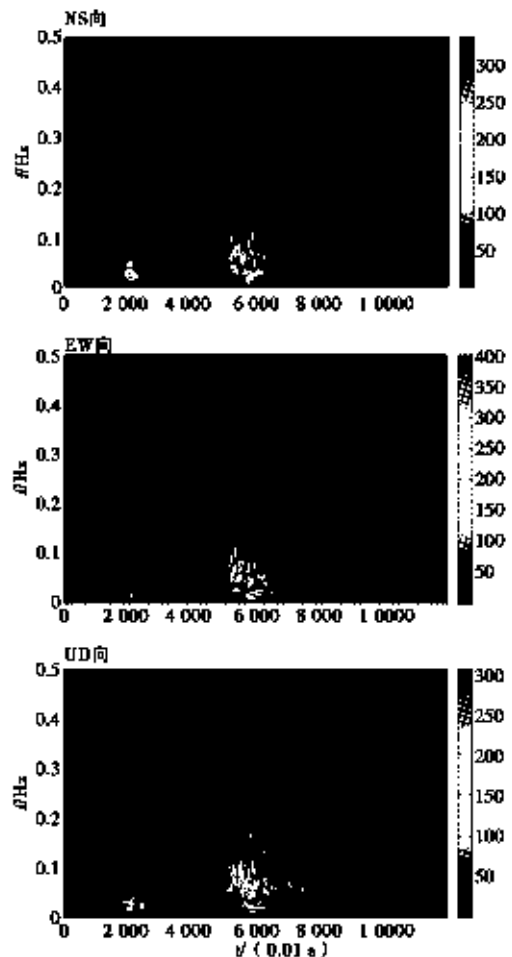


图4 原平4.1级地震测震波形NS、EW、UD向S变换结果  
Fig. 4 S-transform of the seismograph waveform in NS, EW, and UD directions for the 4.1 magnitude earthquake in Yuanping

由第14页图5看出,YRY-4仪高采样率同震波形(分钟值未记录到此次地震)S变换后频谱演化过程与测震仪相似,P波优势频段集中在0.2~0.25 Hz,面波能量优势频段在0.2~0.35 Hz,四个不同方向分量能量优势分布和频率分布基本相似。YRY-4仪的频谱演化不及BBVS-120测震仪记录内容“丰富”,二者记录的优势频段不同,但反映出的频谱演化过程具有较好的一致性。



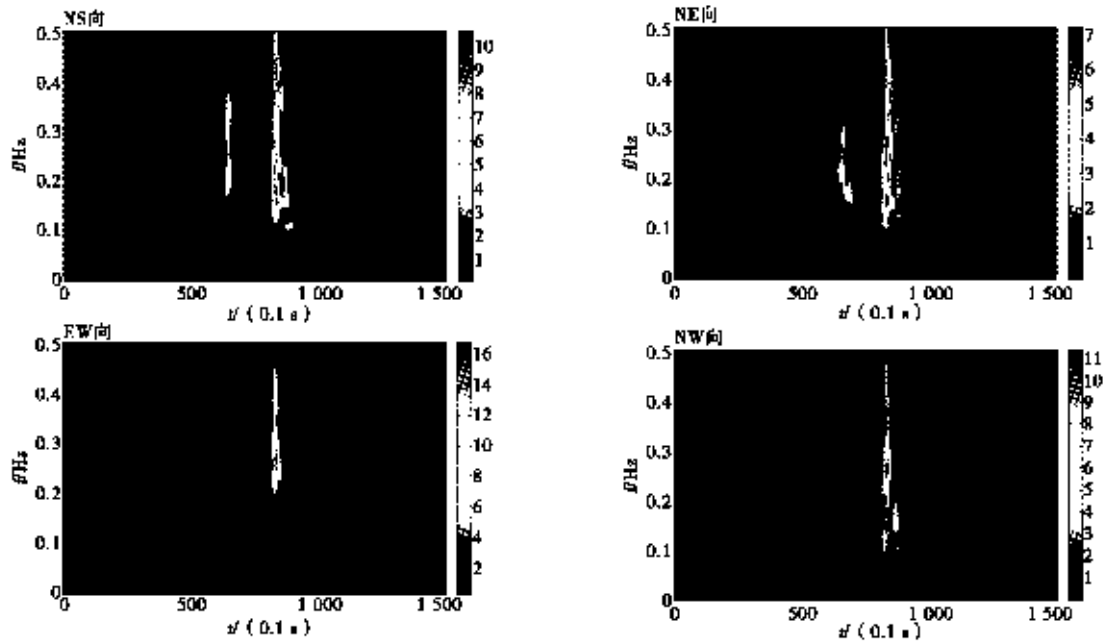


图5 原平4.1级地震YRY四分量应变仪10 Hz采样NS、EW、NE、NW向S变换结果

Fig. 5 S-transform of the YRY-4 four-component strainmeter waveform in NS, EW, NE, and NW directions for the 4.1 magnitude earthquake in Yuanping

### 4 结论

以原平4.1级地震在同一场地不同类型、不同采样仪器记录的观测数据为基础,并使用S变换方法进行时频分析,得出如下结论:

(1) 现阶段钻孔应变仪产出的数据主要以分钟值、整点值、日均值为主,高采样率分量应变可记录到应变地震波的细节信息,是地方震同震应变记录的前提条件。

(2) YRY-4仪与BBVS-120测震仪记录反映的优势频段不同,但反映出的频谱演化过程有较好的一致性。同场地中对于同一事件,二者的记录信号可相互参照,也可为时频域内记录的高频异常特征研究提供参考依据。

### 参考文献:

- [1] 王震,宋美琴,王亮,等. 口泉断裂及其邻近地区的地壳速度结构[J]. 地震地质, 2015, 37(4): 939-952.
- [2] 李文超,同美蓉,刘发,等. 大同中心地震台体应变观测资料干扰因素分析及运行质量评价[J]. 山西地震, 2018(3), 42-45.
- [3] 山西省地震局. 山西省地震监测志[M]. 北京:地震出版社, 2005: 52-54.
- [4] 赵楠,江沛春,李昱凤,等. BBVS地震波与TJ-2体应变波比较[J]. 华南地震, 2013, 33(2): 68-74.
- [5] 刘琦,张晶. S变换在汶川地震前后应变变化分析中的应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2011, 31(4): 6-9.
- [6] 郭文峰,曹志勇,王海龙. 代县地电阻率影响及数值模拟[J]. 地震地磁观测与研究, 2019, 40(2): 62-70.

## Comparative Analysis of Co-seismic Data between YRY-4 High-sampling-rate Borehole Strainmeter and BBVS Seismograph at the Datong Central Station

LI Wen-Chao<sup>1,2</sup>, LIU Rui-chun<sup>2,3</sup>, LIU Wei<sup>1,2</sup>, YAN Mei-rong<sup>1,2</sup>, YIN Kai<sup>1,2</sup>, GAO Long-fei<sup>1,2</sup>

(1. Datong Earthquake Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Datong, Shanxi 037008, China; 2. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China; 3. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** Taking typical seismic events as examples, a comparative analysis is conducted on the seismic waves recorded by the BBVS seismograph and the YRY-4 high-sampling-rate borehole strainmeter at the Datong Seismic Monitoring Center. The similarities, differences, and correlations of the seismic waves recorded by these two devices for the same earthquake event are analyzed. The S-transform method is applied to analyze the dynamic evolution of the frequency spectra during the entire co-seismic period. The results show that although the sampling rates of the two devices are different, they exhibit good consistency in the spectral evolution process. This indicates that the recorded signals of the two devices can be mutually referenced and compared for the same event at the same location.

**Key words:** Seismograph; Borehole strainmeter; Co-seismic; Waveform characteristics

# 山西地震预警新建基准站数据质量评估

丁大业<sup>1,2</sup>,董春丽<sup>1,2</sup>,宫卓宏<sup>1,2</sup>,陈永新<sup>1,2</sup>,吕飞亚<sup>1,2</sup>

(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:**国家地震烈度速报与预警工程项目于2015年开始建设,山西预警工程子项目是其中的一部分,于2022年4月进入内部测试运行阶段。文章从台站运行、台基背景噪声水平及事件波形记录三方面对山西预警工程子项目30个新建基准站的数据质量进行评估,同时对比分析预警台站建成前后山西测震台网地震监测能力的变化。结果表明,新建台站的观测环境总体良好,仪器运行平稳,数据连续率较高,省内外地震事件波形记录清晰,预警区域内的地震监测能力明显提升,地震监测能力为0.5级的区域明显扩大,覆盖全省大多数地区。

**关键词:**地震监测能力;预警基准站;数据质量;台基噪声水平

**中图分类号:**P315.73 **文献标志码:**A

## 0 引言

地震预警(EEW)是指在破坏性地震波达到前做出的预测和警报。早在1868年美国旧金山大地震后,Cooper提出地震预警设想<sup>[1]</sup>。地震预警是在监测到P波后,利用电磁波传播速度远大于地震波传播速度的原理,抢在破坏性较大的S波或面波到达前向预警区的民众发出警报<sup>[2]</sup>。日本、美国、墨西哥、土耳其、意大利等国家对地震预警系统进行相关研究,并取得一系列成果<sup>[3]</sup>。我国于2015年开启国家地震烈度速报与预警工程,主要包括台站观测系统、通信网络系统、数据处理系统、紧急地震信息服务系统及技术保障系统的建设。其中,台站观测系统是实现地震烈度速报与预警功能的首要环节。

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目(以下简称山西子项目)的建设,以原来的地震监测台站为基础,分别在大同盆地、忻定盆地、太原盆地、临汾盆地及运城盆地又新建30个预警基准站。本文从台站运行情况、台基背景噪声水平及事件波形记录三方面对30个新建基准站的数据质量进行评估,同时对比分析预警台站加入前后山西测震台网地震监测能力的变化。

## 1 山西地震预警基准站建设

山西子项目于2022年4月进入内部测试运行阶段,通过本项目的实施,山西省将形成完善的地震预警能力和乡镇级实测精度的地震烈度速报能力。建设的

地震烈度速报与预警工程台站分为基准站、基本站及一般站三类。其中,基准站承担大范围地震活动性监测,用于地震预警及地震烈度速报,为地震科学研究提供连续观测资料。

根据台站建设环境技术要求,新建基准站要避免已知干扰源,一般建于偏远及人烟稀少地区。目前,山西省已建设完成的改造及新建基准站总数为81个,其中新建基准站30个,改造基准站51个(在山西测震台网原有51个台站基础上,配置加速度计及6通道数据采集器),平均台间距约40.67 km,空间分布如图1所示。

## 2 数据质量评估

新建基准站技术系统包括观测系统、通信系统、运行保障系统及防雷系统等。其中,地震计、加速度计、6通道数据采集器构成观测系统,蓄电池组、太阳能、交流电、智能电源、环境监控、视频监控构成运行保障系统,避雷器及接地网构成防雷系统,路由交换机、运营商传输链路构成通信系统(见第17页图2)。台站实时数据通过电信专线传输至省级预警中心。

### 2.1 仪器安装配置

在观测墩表面确定方位基准线后,将地震计及加速度计的衬板按照基准方位摆放,固定加速度计衬板,地震计装防护罩后将加速度计按正确的方向固定在衬板上,通过调零线用万用表检查加速度计三分向零点电压值,如超过 $[\pm 50 \text{ mV}]$ ,对加速度计进行调零操

收稿日期:2023-05-10

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-2212)。

第一作者简介:丁大业(1985—),男,山西大同市人,工程师,主要从事测震仪器运维及数据质量分析等工作,E-mail:diny0001@126.com。

通讯作者:董春丽(1974—),女,山西交城县人,高级工程师,主要从事测震监测分析及其数字应用研究工作,E-mail:my2001@126.com。

作。山西子项目新建基准站的专业设备采用6种搭配方式,依据《国家烈度速报与预警工程基准(本)站设备

安装技术指南规定》,设置相应的配置参数(见第17页表1)。

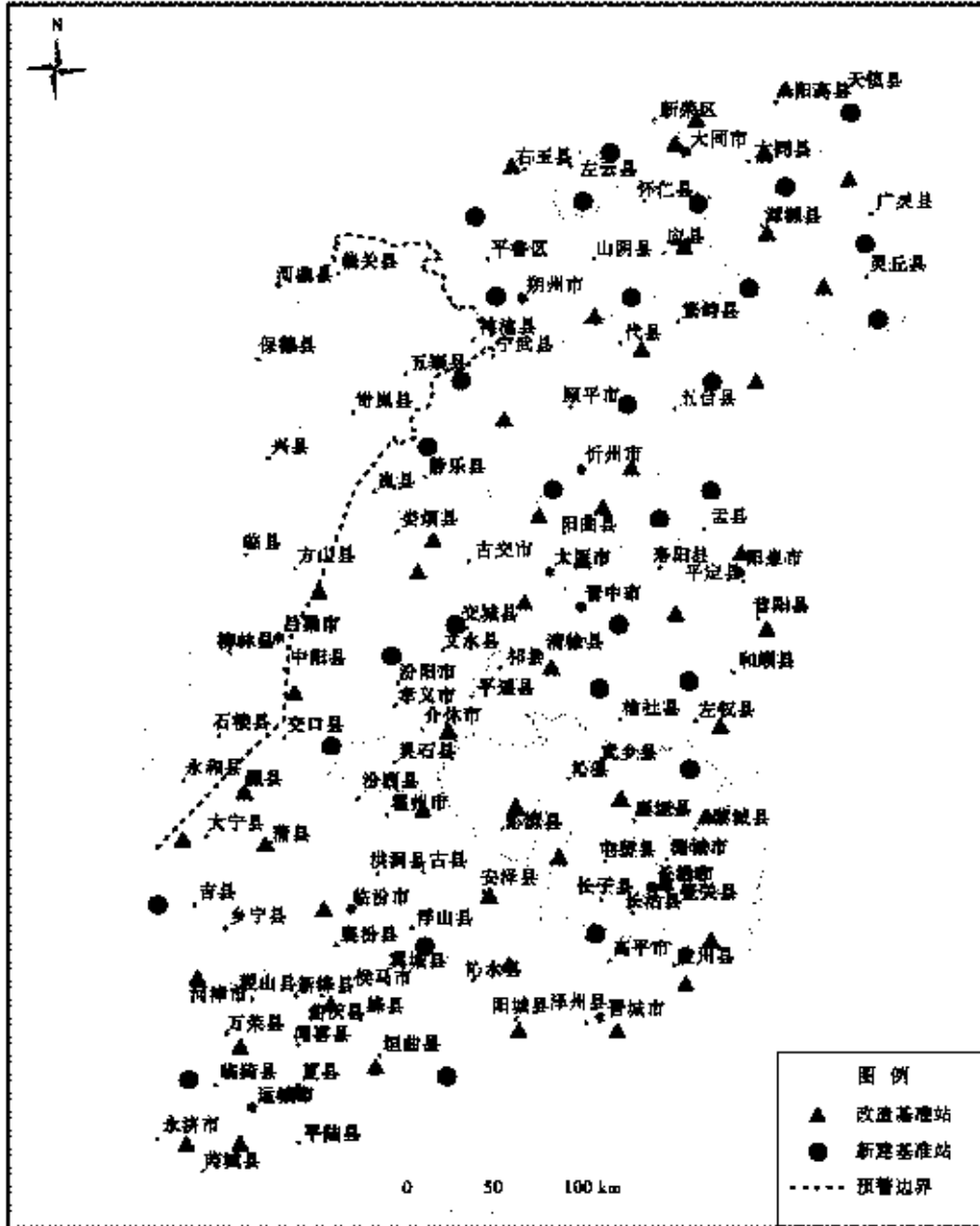


图1 山西地震预警基准站分布  
Fig. 1 Distribution of seismic early warning reference stations in Shanxi

2.2 台站运行

根据30个新建基准站2022年4月1日-30日的实时记录波形,计算每个台站月平均运行率及传输延时,如第18页图3所示。可看出平均运行率为98.86%,平均延时为1.4s,其中24个台站的运行率高于98%。运行率低于98%的主要因供电故障、链路

故障、仪器故障等造成,其中链路故障占绝大多数。怀仁马辛庄台(HRNMX)、平鲁凤凰城台(PLUFH)及朔城下团堡台(SCHXT)3个台站当时使用4G无线传输方式,导致信号传输不稳定,造成台站延时较大及运行率偏低。

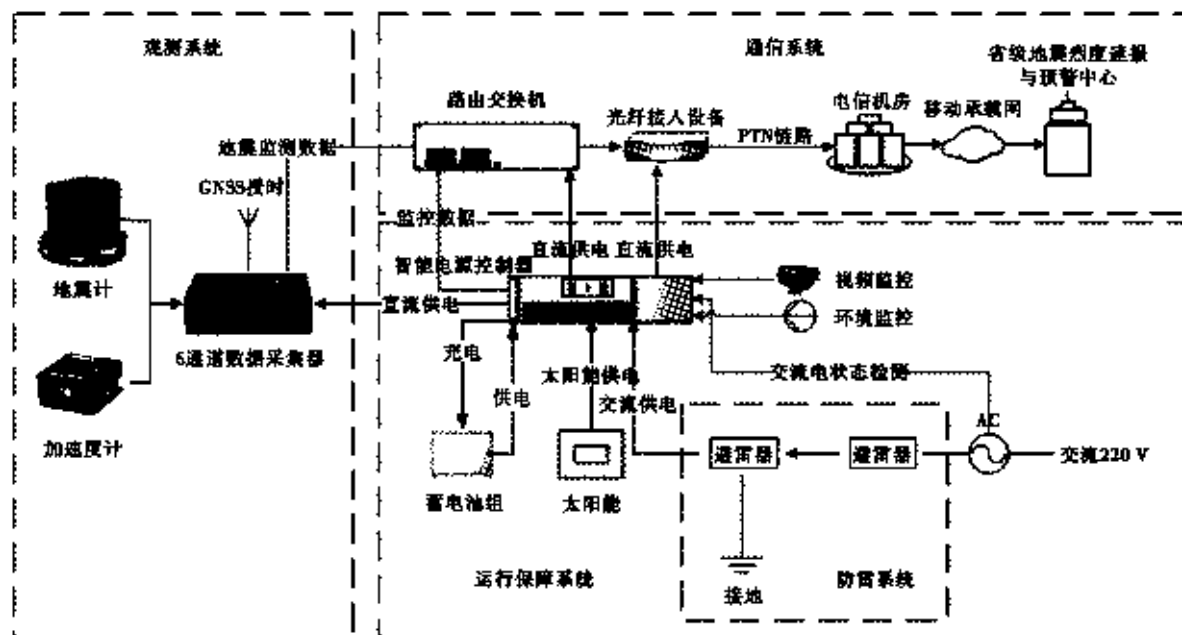
图2 新建基准站技术系统构成图<sup>①</sup>

Fig. 2 Technical system composition of newly established reference stations

表1 不同仪器组合的相关参数配置

Table 1 Parameter configurations for different instrument combinations

仪器组合			通道 00					通道 20						
地震计型号	加速度计型号	数采型号	频带范围	采样率/Hz		相位		量程/V	频带范围 Hz	采样率/Hz		相位		量程/V
				本地	上传	本地	上传			本地	上传	本地	上传	
GL-CS60	TDA-33M	TDE-324FI	60 s~80 Hz	100	100	最小	最小	20	0~200	200	100	线性	最小	20
GL-CS120	TDA-33M	TDE-324FI	120 s~80 Hz	100	100	最小	最小	20	0~200	200	100	线性	最小	20
GL-CS60H	TDA-33M	TDE-324FI	60 s~80 Hz	100	100	最小	最小	20	0~200	200	100	线性	最小	20
JS-60	JS-A2	HG-D6	60 s~50 Hz	100	100	最小	最小	20	0~100	200	100	线性	最小	10
JS-60	TDA-33M	HG-D6	60 s~50 Hz	100	100	最小	最小	20	0~200	200	100	线性	最小	20
JS-120	JS-A2	HG-D6	120 s~50 Hz	100	100	最小	最小	20	0~100	200	100	线性	最小	10

### 2.3 台基背景噪声水平

地震台站的台基背景噪声水平是影响台站数据质量的主要因素。背景噪声的记录情况直接关系到地震事件能否被准确识别,也是检验观测环境是否改变及仪器运行状态是否发生变化的重要依据。在台站仪器正常运行时,地震计记录的噪声水平可准确衡量台基特性。

#### 2.3.1 有效动态观测范围

地震计记录的物理量通过数据采集器后的数据为 counts 值,在实际求解时,需将电压值转换为地动速度值。实测地动速度值计算公式如下:

$$v = \frac{N \times U}{R \times S \times G} \quad (1)$$

式中:  $v$  为实测地动速度,单位 m/s;  $N$  为实测数字值,单位 counts;  $U$  为输入的满幅电压,单位 V;  $R$  为仪器

分辨率,单位 counts;  $S$  为地震计输出电压灵敏度,单位 V/(m/s);  $G$  为数据采集器的增益。

根据 GB/T 19531.1—2004《地震台站观测环境技术要求第1部分:测震》规定,通常使用 1~20 Hz 频段的地动噪声均方根值(RMS)来表示台基背景噪声水平,计算公式如下:

$$RMS = \sqrt{2PSD \cdot f_0 \cdot RBW} \quad (2)$$

$$RBW = (f_2 - f_1)/f_0 \quad (3)$$

式中:  $PSD$  为速度功率谱密度,单位  $(m/s)^2/Hz$ ;  $f_0$  为分度倍频程中心频率;  $RBW$  为相对带宽;  $f_0$  为分度倍频程上限频率;  $f_1$  为分度倍频程下限频率。

在观测仪器正常运行状态下,台站的有效动态观测范围  $D$  用来衡量仪器本身的性能及台基背景噪声

①梁艳,丁大业.国家地震烈度速报与预警工程山西子项目单位工程试运行报告,2023.

水平,计算公式如下:

$$D = 201g \frac{U}{\sqrt{2} \times G \times S \times RMS} \quad (4)$$

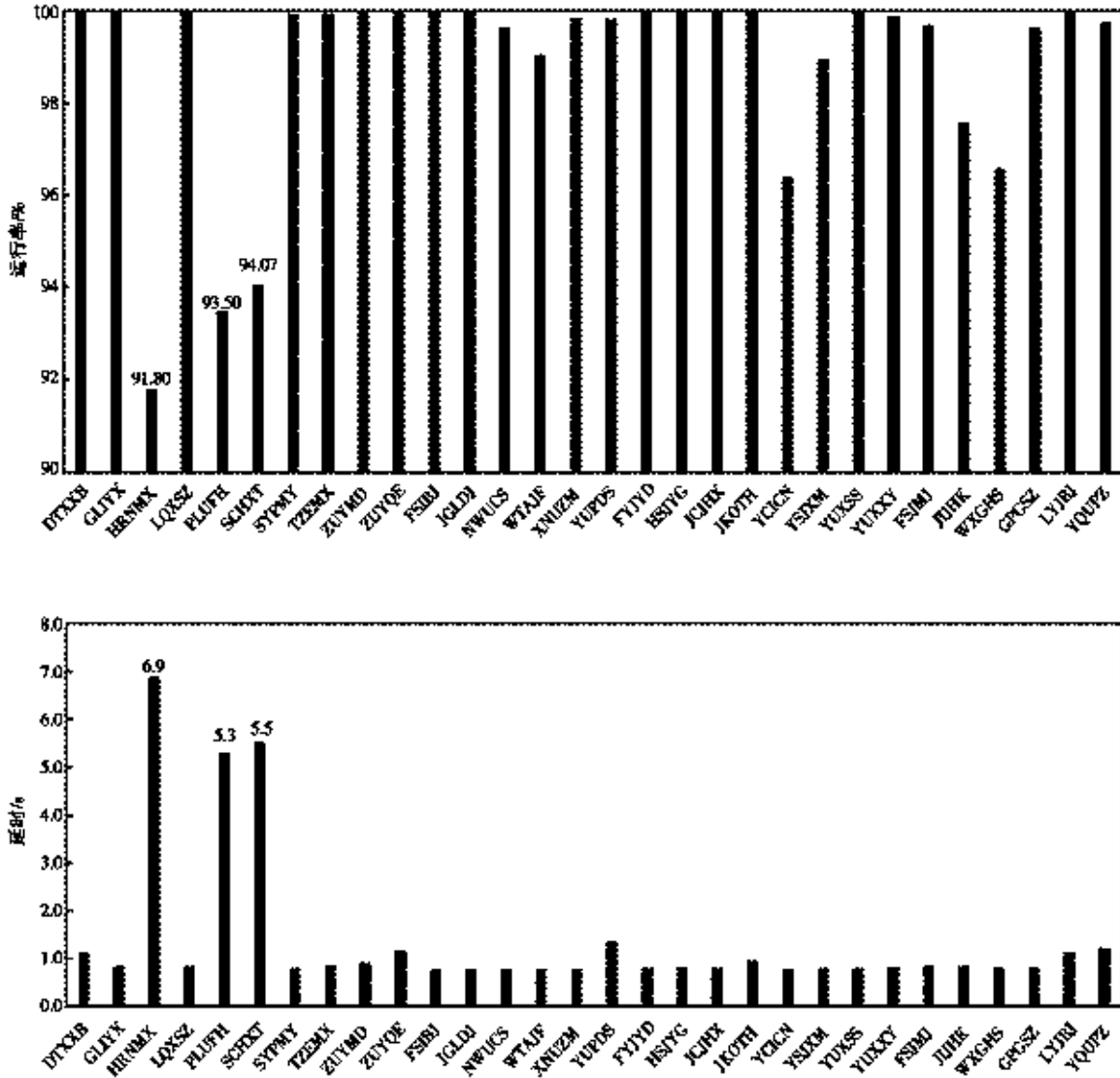


图3 新建基准站2022年4月1日—30日的运行率及延时统计

Fig. 3 Operating rate and delay statistics of newly established reference stations from April 1st to 30th, 2022

### 2.3.2 台基噪声功率谱密度

台基背景噪声信号的频率成分及各成分功率的大小通常用噪声功率谱密度(PSD)表示。功率谱密度反映在频域内噪声信号的功率随频率的分布情况,即功率密度与频率关系的曲线。基于有限长度数据计算的功率谱为功率谱估计,对地震台台基进行噪声功率谱估计时,通常使用 Welch 方法,将输入的噪声数据分段,对分段的数据段应用窗函数加权并计算出周期图,对周期图进行平均得到功率谱<sup>[4]</sup>。一般使用加速度表示台基背景噪声,其功率谱密度单位为  $m^2 s^{-2}/Hz$ ,绘

图时同时给出地球高噪声新模型(NHNM)和地球低噪声新模型(NLNM)曲线作为参考。

选取山西子项目新建30个基准站的无地震事件记录及无明显干扰的1小时3通道连续波形数据,去除零点漂移,计算每个基准站1~20 Hz频段地动噪声均方根值(RMS)及台站的有效动态观测范围,使用 Welch 方法计算噪声功率谱密度(PSD)。同时根据 GB/T19531.1—2004《地震台站观测环境技术要求第1部分:测震》,对每个基准站的台基噪声水平进行分类。I类台基噪声水平为  $En1 < 3.16 \times 10^{-8} m/s$ , II类台基噪

声水平为  $3.16 \times 10^{-8} \text{ m/s} \leq \text{Enl} < 1.00 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ ,  $10^{-7} \text{ m/s}$ 。通过计算可知,23个台站为Ⅰ类台基,5个Ⅲ类台基噪声水平为  $1.00 \times 10^{-7} \text{ m/s} \leq \text{Enl} < 3.16 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 。通过计算可知,23个台站为Ⅰ类台基,5个台站为Ⅱ类台基,2个台站为Ⅲ类台基(见表2)。

表2 新建基准站1~20 Hz频段RMS值及有效动态范围

Table 2 RMS values and effective dynamic range in the 1~20 Hz frequency band for newly established reference stations

序号	台站名称	台站代码	地震计	RMS/(m/s)	有效动态范围/(dB)
1	大同许堡乡	DTXXB	GL-CS60	2.29E-08	111.1
2	浮山米家垣	FSJMJ	GL-CS120	2.29E-08	108.2
3	汾阳峪道河	FYJYD	GL-CS60	1.27E-08	109.2
4	广灵宜兴	GLJYX	GL-CS120	1.68E-08	106.2
5	怀仁马辛庄	HRNMX	GL-CS60B	1.88E-08	108.0
6	吉县壶口	JJHK	GL-CS120	3.08E-08	105.4
7	交口桃红坡	JKOTH	GL-CS60B	2.09E-08	106.1
8	灵丘上寨	LQXSZ	GL-CS60	3.60E-08	108.1
9	临猗北景	LYJBJ	GL-CS60B	4.32E-08	95.4
10	柳城下团堡	SCHXT	GL-CS120	2.85E-08	102.1
11	天镇米薪关	TZEMX	GL-CS60	3.18E-08	112.9
12	原平东社	YUPDS	GL-CS120	1.28E-08	111.2
13	岢岚蒲掌	YQUPZ	GL-CS60	1.86E-08	106.5
14	孟县上社	YUXSS	GL-CS60	2.53E-08	102.9
15	孟县西烟	YUXXY	GL-CS60	3.61E-08	105.2
16	繁峙柏家庄	FSIBG	JS-60	2.78E-08	108.8
17	高平寺庄	GPGSZ	JS-120	2.65E-08	97.9
18	和顺阳光占	HSJYG	JS-60	8.00E-09	111.2
19	交城拱相	JCJHX	JS-120	5.82E-08	100.5
20	静乐段家寨	JGLDJ	JS-120	1.09E-08	112.0
21	宁武苻山	NWUCS	JS-60	1.05E-08	111.9
22	平鲁凤凰城	PLUFH	JS-60	2.69E-08	108.2
23	山阴马营庄	SYPMY	JS-60	3.90E-08	97.7
24	五台蒋塔	WTAJF	JS-60	1.22E-08	111.1
25	武乡洪水	WXGHS	JS-60	9.10E-09	112.6
26	忻州庄磨	XNUZM	JS-60	1.98E-08	109.9
27	榆次长凝	YCI CN	JS-120	1.28E-08	109.7
28	榆社西马	YSJXM	JS-60	9.89E-09	113.2
29	左云马道头	ZUYMD	GL-CS60	1.84E-07	91.1
30	左云鹤儿山	ZUYQE	GL-CS60	1.34E-07	94.0

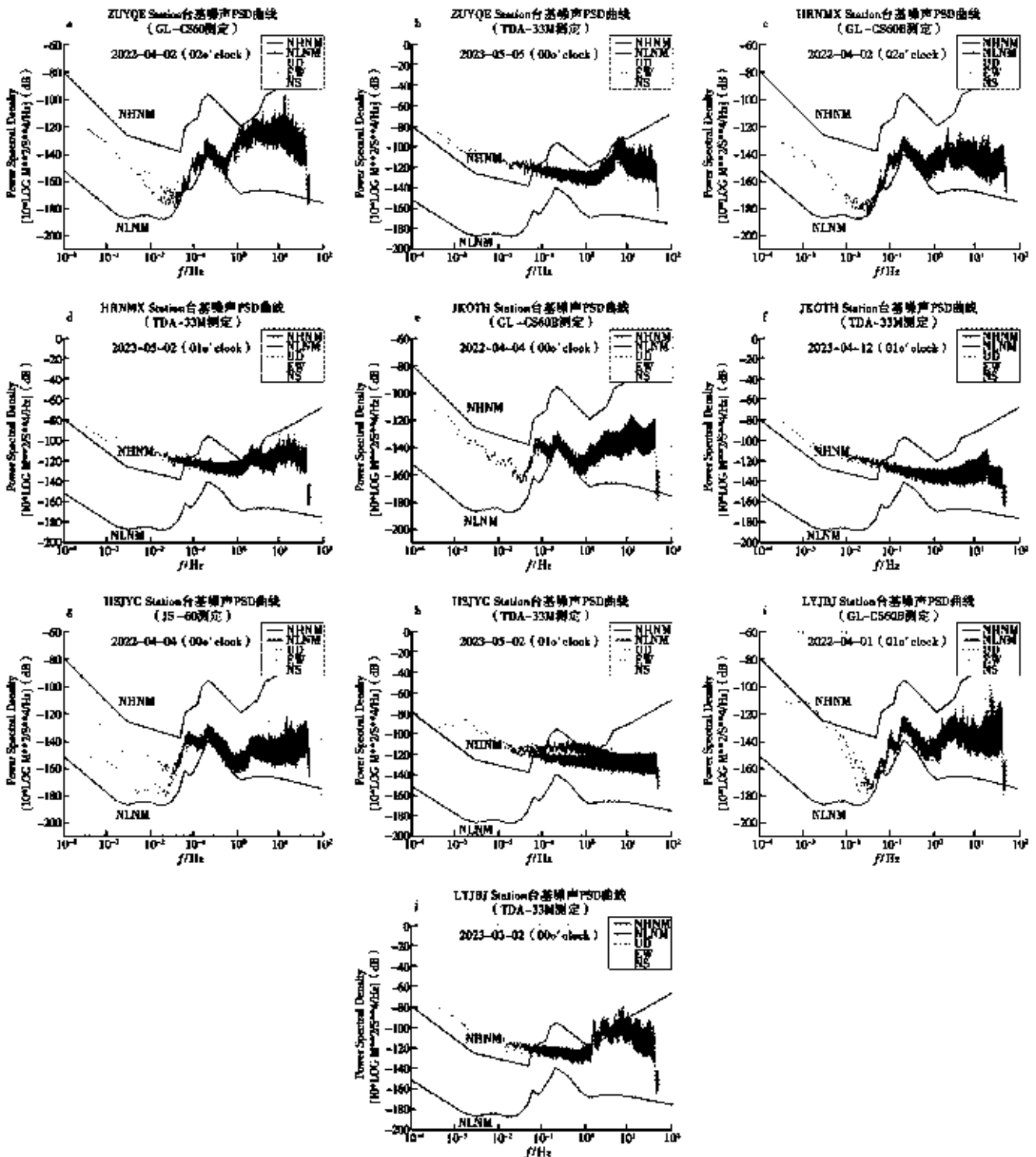
第20页图4依次展示由北到南选取5个新建基准站的地震计及同台基加速度计记录的台基背景噪声曲线,台基噪声峰值主要集中在高频段10 Hz左右,表明噪声来源主要是自然界的风吹及人为活动<sup>[5]</sup>。由图可知,地震计记录的噪声功率谱值为-180~120 dB,加速度计记录的为-140~100 dB,加速度计能记录到0.1 Hz以上的天然噪声。除左云鹤儿山台(ZUYQE)及临猗北景台(LYJBJ)的高频段背景噪声水平较高外,其余台站的噪声水平均接近全球低噪声新模型曲线(NLNM),多数台站长周期频段垂直分量的噪声水平低于另外两个水平分量的,这是由于温度及气压变化产生的地倾斜对长周期频段的水平分量影响大于垂直分量<sup>[6]</sup>。左云鹤儿山台(ZUYQE)台基噪声最大,和顺阳光占(HSJYG)台基噪声最小,两者相差约30 dB。原因是:左云鹤儿山台位于山西省大同市左云县,矿区

较多,易受采煤活动及交通运输等人为因素的干扰;和顺阳光占台远离耕地、乡道,位置偏僻,人烟稀少,基本无外界干扰,能保持较低的台基噪声水平。怀仁马辛庄台(HRNMX)、交口桃红坡台(JKOTH)及临猗北景台(LYJBJ)所处地区为黄土层覆盖,无基岩出露,安装GL-CS60B型井下宽频带地震计。由图4c、4e、4i可知,安装井下地震计的3个土层台的台基噪声水平较低,达到与基岩台基同等的噪声水平。

#### 2.4 事件波形记录

从中国地震台网正式产出的地震速报目录中选取2022年的2个地震事件:5月18日山西忻州繁峙县 $M_L 3.7$ 地震,震源深度7 km;6月1日四川雅安芦山县 $M_L 6.3$ 地震,震源深度15 km。从第21页图5记录的地震波形看出,除忻州庄磨台由于地震计靠摆未能记录到外,其余新建基准站记录的地震事件波形清晰,

说明新建基准站的数据质量较高。



a、c、e、g、i地震计记录；b、d、f、h、j加速度计记录

图4 部分新建基准站台基噪声功率谱密度曲线

Fig. 4 Power spectral density curves of station background noise for selected newly established reference stations

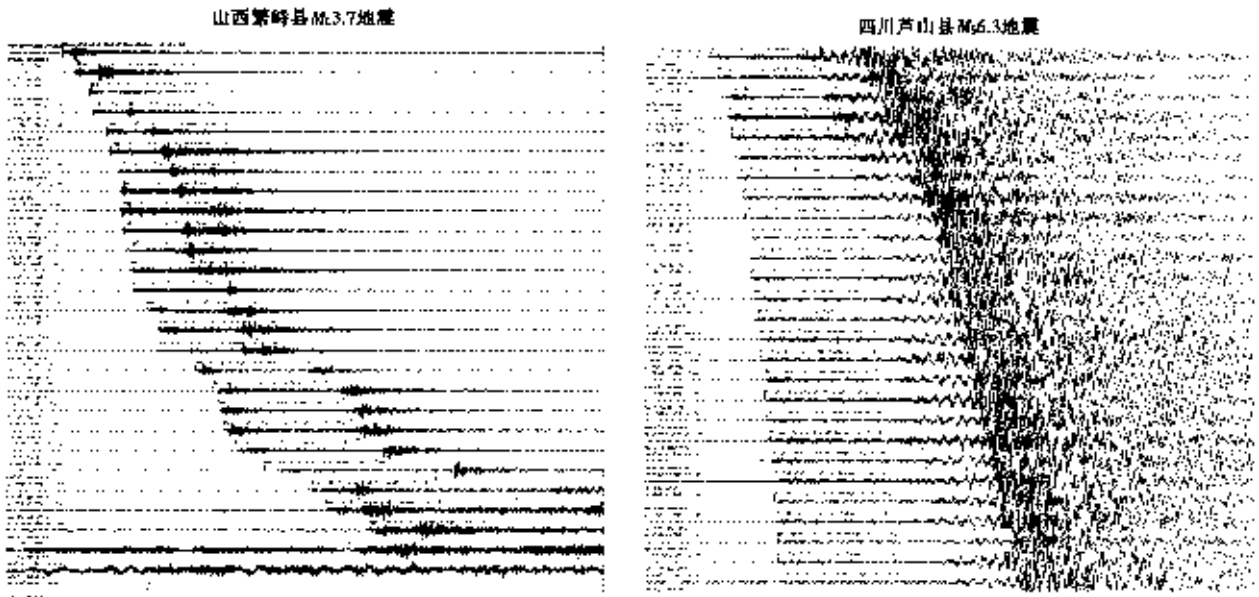


图5 两次地震事件波形  
Fig. 5 Waveform of two seismic events

### 3 地震监测能力评估

测震台站的台基噪声水平影响台站的监测能力,可利用1~20 Hz频段范围的台基噪声有效值来估算台站的监测能力。由台站的台基背景噪声有效值可确定地震事件的振幅值,根据近震震级计算公式:

$$M_L = \lg(A) + R(\Delta), \quad (5)$$

式中: $A$ 为水平分向的最大振幅,单位为 $\mu\text{m}$ ; $\Delta$ 为震中距,单位为 $\text{km}$ ; $R(\Delta)$ 为量规函数。由式(5)可确定台站监测的最小震级与震中距的关系,即测震台站的监测能力(见图6)。

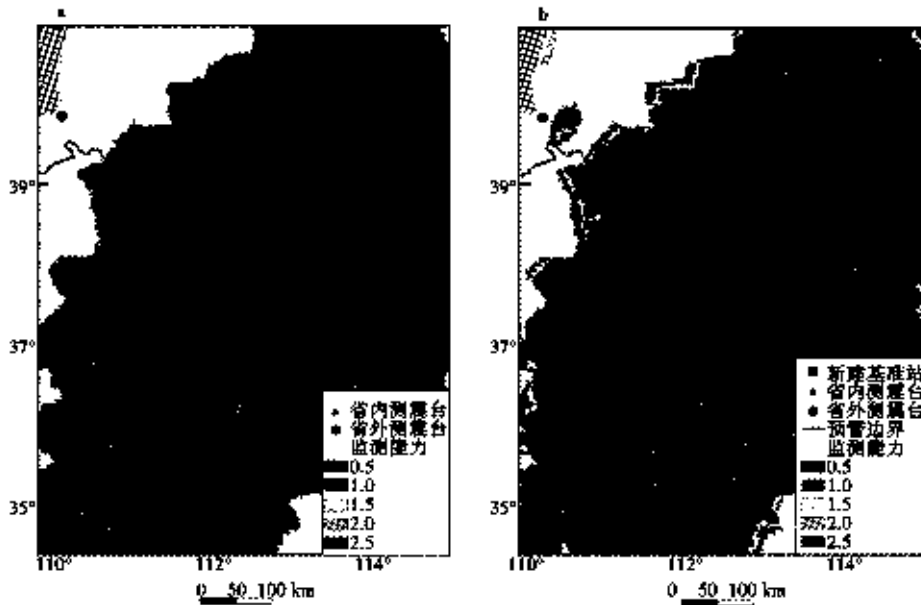


图6 山西测震台网地震监测能力  
Fig. 6 Seismic monitoring capability of the Shanxi Seismic Network



图 6a 为由原有的省内 57 个测震台、邻省 17 个测震台数据计算得到的山西地区地震监测能力,图 6b 为在原有 74 个固定台站的基础上,新增 30 个预警基准站后得到的山西地区地震监测能力。对比可知,新增 30 个预警基准站后,山西预警区域内的地震监测能力显著提高,地震监测能力在 0.5 级的区域范围扩大,覆盖全省大多数地区。

#### 4 结语

随着山西子项目的实施,山西省已初步具备地震预警能力和乡镇级实测精度的地震烈度速报能力。为检验 30 个新建基准站的运行状况,确保预警站网效能,对其产出的监测数据进行质量评估。24 个台站的运行率高于 98%,3 个暂时使用 4G 无线传输的台站延时较大且运行率偏低。计算每个台基的背景噪声水平,有 23 个 I 类台、5 个 II 类台、2 个 III 类台。地震发生时,除忻州庄磨台因仪器故障未记录到地震外,其余台站均能较好地记录地震事件。通过分析认为,新建基准站观测环境总体良好,仪器运行平稳,数据连续率较高,符合地震预警要求。同时,加入 30 个预警基准站后,预警区内的地震监测能力明显提高,特别是地震监测能力为 0.5 级的区域明显扩大,覆盖全省大多数地区。

后续将继续强化台站运维工作,对相关专业设备定时标定、校准,做好备机备件、台站防雷工作,确保各类设备接地良好及供电平稳可靠,及时消除高频干扰。与此同时,开发地震预警台网效能评估系统,实现对波形数据质量的定量化评价及对台网预警能力的评估,将不合格的站点及时退网,提升运维效率,确保监测数据真实可靠,为地震预警系统的正常运行提供保障。

#### 参考文献:

- [1] 梁艳,吕芳,李丽.山西地震台网地震预警时间及盲区半径分析[J].地震地磁观测与研究,2017,38(4):65-69.
- [2] 黄麟,谢向东.地震预警技术研究探讨[J].宁夏大学学报(自然科学版),2021,42(3):277-285.
- [3] 孔庆凯,赵鸣.地震预警系统中的算法研究[J].灾害学,2010,25(Z1):305-308.
- [4] 王良,王杰民,李铂,等.山东数字测震台站台基背景噪声分析[J].地震地磁观测与研究,2021,42(5):129-134.
- [5] 中国监测预报司.地震学原理与方法[M].北京:地震出版社,2017:1-476.
- [6] 谢江涛,林丽萍,赵敏,等.四川地区地震背景噪声特征分析[J].地震学报,2021,43(5):533-550.

## Data Quality Assessment of Newly Established Reference Stations for Earthquake Early Warning in Shanxi

DING Da-ye<sup>1,2</sup>, DONG Chun-li<sup>1,2</sup>, GONG Zhuo-hong<sup>1,2</sup>, CHEN Yong-xin<sup>1,2</sup>, LV Fei-ya<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** The National Earthquake Intensity Rapid Reporting and Early Warning Engineering Project commenced in 2015, and the Shanxi Early Warning Engineering Subproject is a part of it. In April 2022, it entered the internal testing and operation phase. This article evaluates the data quality of 30 newly established reference stations in the Shanxi Early Warning Engineering Subproject, focusing on station operation, background noise levels, and waveform recordings of seismic events. It also compares and analyzes the changes in seismic monitoring capabilities of the Shanxi Seismic Network before and after the establishment of the early warning stations. The results indicate that the newly established stations have generally good observation environments, stable instrument operation, high data continuity rates, and clear waveform recordings of seismic events both within and outside the province. The seismic monitoring capability within the early warning region has significantly improved, with an evident expansion of the region with a monitoring capability of 0.5 intensity level from north to south, covering most areas of the province.

**Key words:** Seismic monitoring capability; Early warning reference stations; Data quality; Station background noise level

# 山西地震预警台网基准站场地响应研究

刘 焯<sup>1,2</sup>,李文超<sup>1,2</sup>,白伟利<sup>1,2</sup>,殷 锴<sup>1,2</sup>

(1. 山西省地震局大同地震监测中心站,山西 大同 037000; 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:**应用 H/V 噪声谱比法,计算分析山西地震预警台网基准站 0.1~20 Hz 的场地响应。结果表明,39 个台站的场地响应曲线无明显放大,8 个台站的中频段有较明显放大,15 个台站的高频段有较明显放大,15 个台站的起伏较大。结合台站地理位置、地质构造、地形地貌等基础资料分析发现,台站的地理位置、空间分布和台基局部地质构造对场地条件的影响不具有规律性。台站在基岩山地的场地条件大部分较好,场地响应曲线平滑且未出现明显放大,能较好地记录地震动。由于地下地质结构的复杂性,有部分在基岩山地的台站存在明显的场地放大作用。受风化、流水侵蚀的场地因条件较差,存在明显的场地放大作用。

**关键词:**山西地震预警台网; H/V 噪声谱比法; 场地响应

**中图分类号:** P315.73 **文献标志码:** A

## 0 引言

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目(以下简称山西子项目)已基本建设完成,测震台站从 57 个增加至 81 个,地震监测能力显著提高。要发挥地震预警系统的作用,精准的震源参数是基础。在测定震源参数时,除考虑地震波传播路径效应,仪器响应外,还需考虑台站的场地响应影响<sup>[1]</sup>。场地响应是指场地上覆盖层对地震波振幅的影响,台站的场地响应影响台网数据的产出,台网测定的震级也会受到影响。场地响应的计算方法主要有传统谱比法和线性反演法等参考场地法,以及 Moya 法和 H/V 噪声谱比法等非参考场地方法<sup>[2]</sup>。参考场地法对参考场地的要求比较严格,实际工作中往往很难找到合适的理想场地,非参考场地法则可避免这一难题。非参考场地法中被广泛采用的 Moya 法需要丰富的地震事件,若地震事件的数量不足,会导致射线覆盖稀疏,不能得到准确的场地响应<sup>[3]</sup>。H/V 噪声谱比法(以下简称 H/V 谱比法)可避开参考场地的选择困难,也不需要较多的地震事件,操作简单且结果可信。本文以山西地震预警台网(以下简称山西预警台网)81 个基准站记录的地脉动噪声数据为基础,使用 H/V 谱比法计算分析各个台站的场地响应。

## 1 计算方法

设  $V_v$  和  $H_v$  分别为地表处垂直向和水平向的

震动振幅谱, $V_b$  和  $H_b$  分别为基底处垂直向和水平向的震动振幅谱,场地放大效应可表示为  $S = \frac{H_v}{H_b}$ 。实验证实,基底岩石处地震动的垂直分量与水平分量大致相等,即  $\frac{H_b}{V_b} \approx 1$ 。实际观测记录也证实,垂直分量经土层的放大效应后远小于水平分量。换言之,假定垂直分量基本没有被放大,即  $V_v \approx V_b$ ,因此  $H_v \approx V_v \approx V_b$ 。在此基础上,场地放大效应可简化为  $S = \frac{H_v}{V_v}$ 。观测台站记录到的水平向与垂直向的震动振幅谱之比,即为各观测台站的场地响应<sup>[4]</sup>。

在对单个台站进行数据处理时,由于数据是连续波形,首先对数据加时间窗,进行分段。时间窗长度的选择应依据所研究数据低频的大小,且时间窗的长度应至少包含 10 个周期长度,即如果数据低频为 0.1 Hz,时间窗长度应至少为 100 s。时间窗越长,包含的数据信息越多,测量的低频信息就完整,包含的随机噪声也越多,对结果会造成较大的干扰。计算每个时间段的三分量傅里叶振幅谱和每个时间段的 HVSR。水平分量包括 EW 和 NS 向两个分量,故计算 HVSR 时,应按下式:

$$HVSR(f) = \sqrt{\frac{EW(f)^2 + NS(f)^2}{2V(f)^2}}$$

将所有时段内的场地响应结果平均,即可得到各台站的场地响应结果。

收稿日期:2022-12-03

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-2202)。

第一作者简介:刘 焯(1994—),男,山西太原市人,助理工程师,主要从事地震监测运维工作,E-mail:leonard934@163.com。

通讯作者:李文超(1990—),男,山西大同市人,工程师,主要从事地震监测运维工作,E-mail:609691453@qq.com。

### 2 资料选取与处理

山西省地震局于2018年开始山西子项目的建设实施,2021年底系统已基本建设完成,2022年4月21日正式进入内部测试运行。本文选取山西预警台网81个基准站的地脉动噪声数据进行分析(见图1)。地脉动噪声容易受环境因素的干扰,为减少在对比分析阶段其他因素的干扰,资料选取时进行一系列的计算分析。

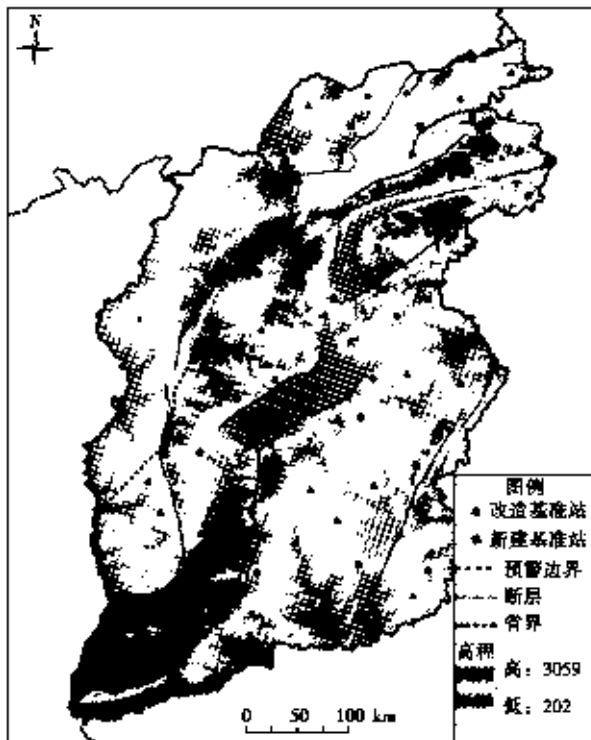


图1 山西地震预警台网基准站分布  
Fig.1 Distribution of base stations in the Shanxi seismic early warning network

为分析观测数据时长对于结果的影响,以PLUFH台为例,分别截取一天内2 h、6 h、12 h、24 h的数据,计算得出的结果显示4条曲线的形态、幅度较一致(见图2a)。表明不同的观测时长对结果的影响不大,2 h的数据已足够计算使用。为分析一天内不同时间段数据对结果的影响,选取4个时间段,计算得出的结果表明4条曲线在中频段和高频段接近一致,在低频段存在差异(见图2b)。02:00—04:00的曲线在低频段更接近于1且平滑,其他时间段可能存在人类活动的干扰<sup>[3]</sup>。由此得出,选取一天内不同时间段的观测数据会对结果产生一定的影响,故应选取受影响最小的时间段数据。为分析一年内不同时间观测数据对结果的影响,分别选取3、5、7、9月4个月在15日02:00—04:00的数据,计算结果表明4组曲线在中频段接近一致,在低频段和高频段存在差异(见图2c)。这种差异很可能是由于环境温度的差别导致,得出选取一年内不同时间的数据会对结果产生一定的影响。为排除以上时间因素带来的影响,本文在资料选取阶段截取3组在相近时间范围内的台网基准站02:00—04:00的地脉动噪声数据。通过对截取波形的对比,排除运行不正常台站和异常干扰的数据,发现一些台站存在机械零位异常,通过远程调零操作使仪器恢复正常后重新截取,得到山西预警台网基准站的地脉动噪声基础数据。

### 3 结果与分析

#### 3.1 山西预警台网基准站场地响应分类

运用上述资料分析方法和数据计算方法,得到山西预警台网基准站(0.1~20 Hz)的场地响应曲线。根据曲线的形态特点将台站大致分为4类。

(1) 场地响应曲线无明显场地放大作用的基准站(见第25页图3)。大同巨乐基准站(DTXJL)、原平东社基准站(YUPDS)等39个站点属于这种类型。此类台站观测环境较好,场地响应曲线平滑且无明显放大,能较好地记录地震动。

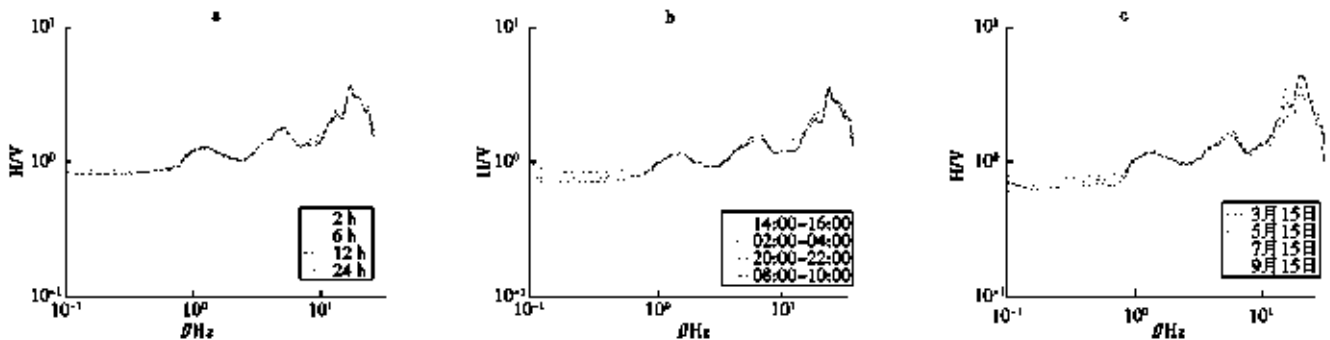


图2 PLUFH台不同时间段得到的场地响应曲线  
Fig.2 Site response curves obtained for different time periods at the PLUFH base station

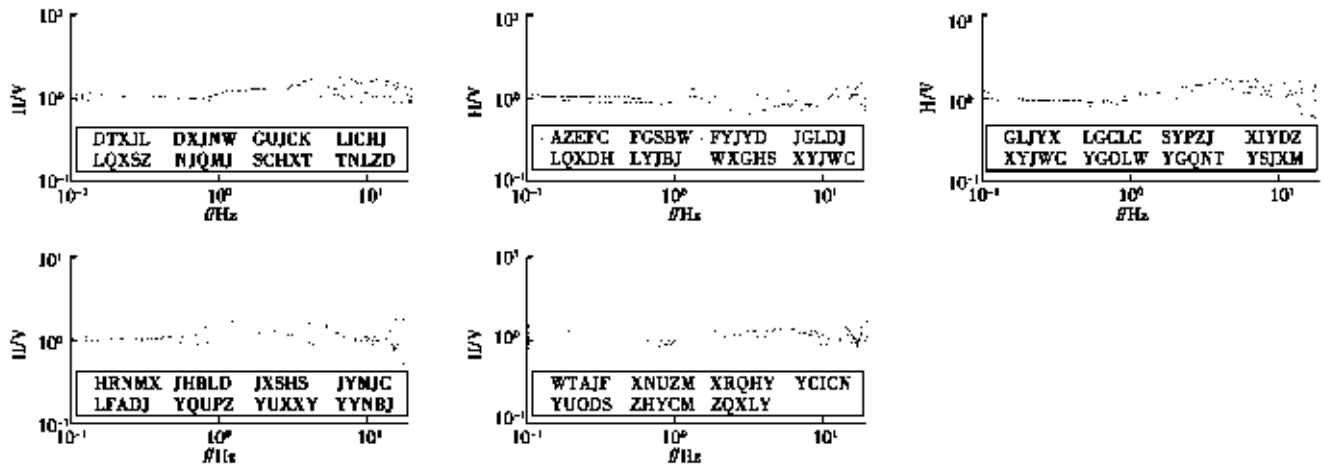


图3 无明显场地放大作用的基准站场地响应曲线

Fig. 3 Response curves of base stations with no significant site amplification

(2) 场地响应曲线中频段有较明显放大的基准站(见图4)。山西预警台网基准站中的浮山米家垣基准站(FSJMJ)、高平庄基准站(GPGSZ)等8个台站符合该特征。这些场地对1~10 Hz范围内接收到的地震动会产生放大作用。

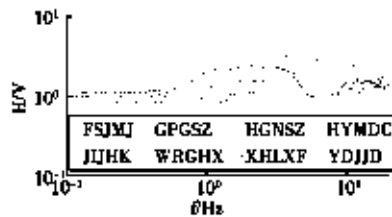


图4 中频段有较明显放大的基准站场地响应曲线

Fig. 4 Response curves of base stations with amplification in the mid-frequency range

(3) 场地响应曲线高频段有较明显放大的基准站(见图5)。山西预警台网基准站中的云州区许堡基准站(DTXXB)、繁峙柏家庄基准站(FSIBJ)等15个台站符合该特征。这些场地对大于10 Hz范围内接收到的地震动会产生放大作用。

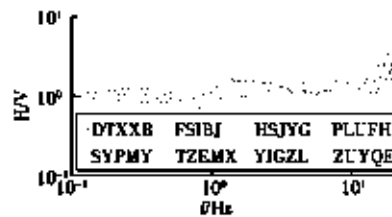


图5 高频段有较明显放大的基准站场地响应曲线

Fig. 5 Response curves of base stations with amplification in the high-frequency range

(4) 场地响应曲线起伏较大的基准站(见图6)。山西预警台网基准站中的代县峪口基准站(DAIYK)、河津樊村基准站(HJSCF)等15个台站符合该特征。

这些台站场地响应曲线起伏较大,存在明显的峰值频率,会对台网数据产生较大的影响。

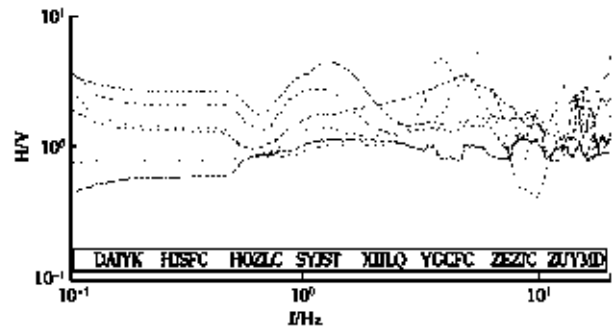
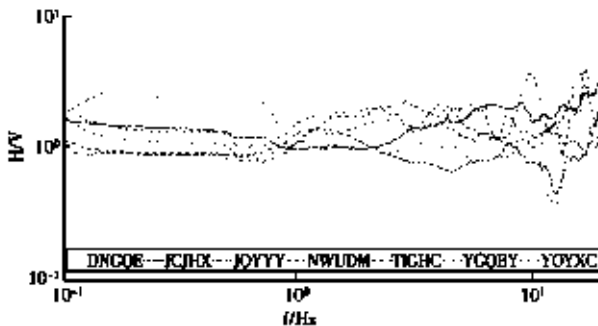


图6 起伏较大的基准站场地响应曲线

Fig. 6 Response curves of base stations with significant variations

3.2 空间分布与地质条件对场地响应曲线的影响

对上述4类台站的地理位置分布情况进行分析,由于山西预警台网基准站的密度较低,未发现有明显的空间集聚特点。对台站地质构造和地形地貌的基础资料分析<sup>[6]</sup>,由于地下地质结构的复杂性,只通过台站

表层地质构造无法准确得出其所处位置的基岩对场地响应的影响。台站所处地貌总体表现出的规律为:无明显场地放大作用台站所处的地形大多在基岩山地,有放大作用台站所处的地形大多是流水作用切割的中山区、强烈风化的中山区等(见表1)。

表1 山西地震预警台网基准站场地地质条件及地形地貌  
Table 1 Geological conditions and topography of base station sites in the Shanxi seismic early warning network

台站名称	场地分类	地质构造	地形地貌	台站名称	场地分类	地质构造	地形地貌	台站名称	场地分类	地质构造	地形地貌
AZEPC	A	砂岩	剥蚀-侵蚀中起伏中山区	YCICN	A	砂岩	基岩山地	SYPMY	C	闪长岩	强烈风化的基岩中山区
DTXJL	A	麻粒岩	基岩山地	YGOLW	A	片麻岩	基岩山地破碎带	TZEMX	C	花岗岩	中等风化基岩中山区
DXJNW	A	灰岩	基岩山地	YGQNT	A	灰岩	基岩山地沟谷区	WTAJG	C	变粒岩	基岩山地沟谷区
FGSBW	A	砂岩	基岩山地	YQUPZ	A	玄武岩	基岩山地	YIGZL	C	变粒岩	基岩山地
GLJYX	A	砂岩	强烈风化中山区	YSJXM	A	砂岩	基岩山地	YUXSS	C	片麻岩	大起伏中山区
GUJCK	A	頁岩	基岩山地	YUPDS	A	砂岩	剥蚀-侵蚀小起伏中山	ZUYQE	C	砾岩	山间黄土丘陵区
HRNMX	A	砂岩	流水强烈作用的中山区	YUXXY	A	灰岩	基岩山地	DAIYK	D	片麻岩	剥蚀-侵蚀大起伏中山
JGLDJ	A	砂岩	剥蚀-侵蚀小起伏中山	YYNBJ	A	灰岩	基岩山地	DNGQE	D	砂岩	剥蚀-侵蚀中起伏中山区
JHBLD	A	灰岩	喀斯特侵蚀小起伏中山区	ZHYCM	A	砂岩	基岩山地沟谷区	FYJYD	D	白云岩	强烈风化的中山区
JXSHS	A	灰岩	基岩山地区	ZQXLY	A	砂岩	基岩山地	HJSFC	D	片麻岩	强风化中山区
JYMJC	A	灰岩	基岩山地	FSJMJ	B	砂岩	基岩山地	HOZLC	D	灰岩	基岩山地沟谷区
LFADJ	A	片麻岩	基岩山地	GPGSZ	B	黄岗岩	基岩山地	JCJHX	D	砂岩	喀斯特侵蚀中起伏中山区
LGCLC	A	灰岩	喀斯特侵蚀大起伏中山区	HGNSZ	B	灰岩	喀斯特侵蚀大起伏中山区	JQYYY	D	灰岩	基岩山地
LICHJ	A	灰岩	喀斯特侵蚀大起伏中山区	HYMDC	B	灰岩	基岩地层	NWUDM	D	灰岩	基岩山地沟谷区
LQXSZ	A	片麻岩	流水强烈作用的中山区	JJHK	B	砂岩	基岩山地	SYJST	D	砂岩	基岩山地
LYJBJ	A	沙土	黄土台塬区	XHLXF	B	灰岩	基岩山地	TIGHC	D	砂岩	喀斯特侵蚀中起伏中山区
NJQMJ	A	麻粒岩	基岩山地	DTXXB	C	灰岩	黄土丘陵区	WRGHX	D	白云岩	孤立小山丘
SCHXT	A	砾岩	强烈风化的基岩中山区	FSIBJ	C	闪长岩	山前倾斜平原区	XULQ	D	砂岩	黄土丘陵地貌
SYZJZ	A	片麻岩	基岩山地	HMASM	C	片麻岩	孤立中山区	YDJJD	D	灰岩	剥蚀-侵蚀中起伏中山区
TNLZD	A	砂岩	喀斯特侵蚀中起伏中山区	HISJYG	C	砂岩	基岩山地	YGCFC	D	砂岩	侵蚀-剥蚀高丘陵区
WTAJF	A	石英岩	剥蚀-侵蚀小起伏中山	JKOTH	C	灰岩	强烈风化的中山区	YQBY	D	灰岩	基岩山地沟谷区
WXGHS	A	砂岩	基岩山地	LQXDH	C	闪长岩	基岩山地	YJJYX	D	泥岩	流水切割的中山区
XIAYF	A	片麻岩	中低山区	NWUCS	C	灰岩	剥蚀-侵蚀大起伏中山	YOYXC	D	玄武岩	基岩山地
XIYDZ	A	頁岩	基岩山地	PLUFH	C	灰岩	强烈风化的基岩中山区	YQUGL	D	白云岩	剥蚀-侵蚀高丘陵区
XNUZM	A	砂岩	流水强烈作用的黄土丘陵区	QSIZZ	C	砂岩	侵蚀-剥蚀中起伏中山区	ZEZJC	D	砂岩	流水作用强烈切割的中山区
XRQHY	A	麻粒岩	基岩山地	QYUJK	C	砂岩	喀斯特侵蚀大起伏中山区	ZUYMD	D	砂岩	流水作用强烈切割的中山区
XYJWC	A	砂岩	喀斯特侵蚀大起伏中山区								

A, 场地响应曲线无明显场地放大作用; B, 场地响应曲线中频段有较明显放大; C, 场地响应曲线高频段有较明显放大; D, 场地响应曲线起伏较大

## 4 结论与讨论

通过对山西预警台网基准站进行 H/V 噪声谱比计算,并结合台站地质构造和地形地貌等基础资料分析,得出以下结论:

(1) 台站场地响应在低频时易受到环境等因素的影响。

(2) 山西预警台网基准站中有 39 个台站的场地响应曲线无明显场地放大作用;8 个台站的场地响应曲线中频段有较明显放大,会对 1~10 Hz 范围内接收到的地震动产生放大作用;15 个台站的场地响应曲线高频段有较明显放大,对大于 10 Hz 范围内接收到的地震动产生放大作用;15 个台站的场地响应曲线起伏较大,对在不同频段范围内接收到的地震动产生放大或缩小作用。

(3) 一般在基岩山地的台站场地条件较好,场地响应曲线平滑且无明显放大,可以较好地记录地震动。由于地下地质结构的复杂性,一些在基岩山地的台站也会存在明显的场地放大作用。受风化、流水侵蚀的场地大多条件较差,存在明显的场地放大作用。

(4) 台站所处地理位置和台基局部地质构造对场地的影响不具有规律性。

(5) 该研究的台站场地响应结果的计算和分析也可应用于单台震级校正中,有助于提高震源参数的精准度。

### 参考文献:

- [1] 朱荣欢,苏有锦.用 H/V 谱比法计算云南区域数字地震台站的场地响应[J].地震研究,2007,30(3):248-252.
- [2] 华 卫,陈章立,郑斯华.利用不同方法估算流动台站的场地响应[J].地震,2010,30(03):30-44.
- [3] 熊 成,叶秀薇,张严心.广东测震台站的场地响应以及对震级确定的影响分析[J].华南地震,2020,40(4):18-28.
- [4] 张红才,徐嘉勇,陈智勇.基于噪声谱比法的福建台网观测台站的场地响应研究[J].地震学报,2015,37(6):1045-1058.
- [5] 陈棋福,刘澜波,王伟君.等.利用地脉动探测北京城区的地震动场地响应[J].科学通报,2008(18):2229-2235.
- [6] 郭文峰,曹志勇,王海龙.代县地电阻率影响及数值模拟[J].地震地磁观测与研究,2019,40(2):62-70.

## Research on Site Response of Seismic Early Warning Base Stations in Shanxi Seismic Alerting Network

LIU Wei<sup>1,2</sup>, LI Wen-chao<sup>1,2</sup>, BAI Wei-li<sup>1,2</sup>, YIN Kai<sup>1,2</sup>

(1. Datong Earthquake Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Datong, Shanxi 037000, China;  
2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract.** The site response of base stations in the Shanxi seismic early warning network is analyzed using the H/V noise spectral ratio method in the frequency range of 0.1 to 20 Hz. The results show that 39 base stations exhibit no significant site amplification in their response curves, while 8 base stations show amplification in the mid-frequency range, 15 base stations exhibit amplification in the high-frequency range, and 15 base stations show significant variations in their response curves. Analysis combining the base stations geographical location, geological structure, and topography reveals that the spatial distribution and local geological structures do not exhibit regular patterns in their influence on site conditions. Most base stations located in bedrock mountain areas have relatively favorable site conditions with smooth response curves and no significant amplification, allowing them to effectively record ground motion. However, due to the complexity of underground geological structures, some base stations in bedrock mountain areas still exhibit noticeable site amplification. Sites affected by weathering and erosion show poorer conditions and significant site amplification.

**Key words:** Shanxi seismic early warning network; H/V spectral ratio method; Site response

· 技术交流 ·

文章编号:1000-8265(2023)02-0028-04

# 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

(甘肃省地震局,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**地震预警系统运维是基层运维工作者的核心工作,对基层运维人员知识储备有很高的要求,也对技能和经验判断有较高的需求。文章结合天水地震监测中心站全年的现场运维情况,梳理出波形异常、电路故障、通讯故障、设备故障等常见问题,并对各类故障的形成原因进行剖析,总结同类问题的处理方法,为地震预警系统运维工作积累经验,也为地震预警系统的正常运行提供保障。

**关键词:**地震预警;系统运维;常见故障

**中图分类号:**P315.62 **文献标志码:**A

## 0 引言

甘东南地区位于青藏高原东缘,地处南北地震带中段,其边界和内部发育多组活动断裂,是中强震和强震发生的主要场所<sup>[1-2]</sup>。自历史地震资料记载相对完整的1570年开始,共发生14次6级地震,3次7级地震,2次8级地震<sup>[3,4]</sup>。甘东南地区历史大地震频发,一直是地震学者研究关注的重点区域。近年来,中国地震局在甘肃省投入大量的人力财力进行地震预警系统的建设,旨在实现全省地震烈度速报和南北地震带预警区地震预警功能<sup>[5]</sup>。甘肃省地震烈度速报与预警工程项目于2016年初正式启动,截至2021年10月,已基本建设完成。根据赵林林等<sup>[6]</sup>人的研究,甘肃省地震预警网的平均监测能力可达到 $M_L 0.8$ ,能监测到的最小地震为 $M_L 0.2$ ,地震预警时间在人口密集的甘东南和南北地震带为5 s左右,在人口稀疏的河西走廊和肃北地区为30 s左右,基本达到项目设计要求。

地震预警系统是目前减轻地震灾害的有效手段之一<sup>[6]</sup>,在地震发生时可以有效地减少人员伤亡、减轻重大工程灾害损失,具有极强的减灾意义<sup>[7]</sup>。因地震预警对时效性和准确性有较高的要求,如何保障地震预警网各站点的稳定运行,为预警系统提供准确的实时波形数据,成为所有基层运维工作者探索和研究课题。文章以天水地震监测中心站(以下简称天水站)辖区内37个预警测站的运维资料和运维实践为基础,系统地梳理从地震预警仪器架设到设备调试、故障处理、日常巡检等过程中遇到的故障及其典型特征,给

出解决方案的同时,进一步探讨故障出现的深层原因,总结相应的故障处理方法、经验,以期在今后的运维工作中,遇到同一类型的故障时作为参考,提升地震预警站网故障的运维效率。

## 1 研究资料选取

选取天水站辖区内37个测站2022年1—12月的运维资料,通过通讯状态测试、供电安全性能测试、设备安全隐患全面检查、在线数据质量24小时不间断监控、观测环境实时监控、速度计和加速度计的性能测试、设备软件版本升级、预警基础资料库更新完善等,对片区内所有站点设备的运行状况进行梳理。此过程中,共处理故障73次,故障频次总体偏高。其中,更换设备17次,处理电路故障23次,处理波形异常17次,通讯故障16次。

仪器种类统计情况如下:传感器主要有GL-CS60、GL-CS120、JS 60、JS 120、TDA 33M、JS A2型6种,数据采集器主要有EDAS-24GN6、TDE-324CI、TDE-324FI型3种,智能电源主要有天元时代ITP-M-12V-AC和远航RH-C1000,监控设备为大华球形摄像头和枪型摄像头,其他配件有太阳能控制器、华为H3C路由器、GPS、防雷控制器、太阳能面板、空气开关(型号为C10、C25、C30)等。部分测站设备配备情况如第29页表1所示。

故障类型主要有仪器故障和监测环境干扰形成的故障。仪器故障分为专业设备、通用设备、供电、通讯等出现的故障。其中专业设备故障主要有数据采集器

收稿日期:2023-03-14

基金项目:2022年度中国地震局监测、预报、科研三结合课题(3JH-202201021)。

第一作者简介:孙常青(1993—),男,甘肃通渭县人,助理工程师,主要从事地震监测预报预警工作。E-mail:1778111401@qq.com。

软硬件故障、传感器故障、智能电源软硬件故障,通用设备故障主要有监控设备、通讯设备、防雷设备、空气

开关、GPS等故障。监测环境干扰一般形成记录波形异常的故障。

表1 天水定西片区部分测站设备配备情况表

Table 1 Equipment configuration at selected stations in the Tianshui-Dingxi area

序号	台站代码	台站名称	台站类型	测项	数据采集器型号	加速度计型号	速度计型号	智能电源型号
站1	EA001	甘肃·天水·秦安·兴国·基本站	新建基本站	30	TDE-324CI-3	TDA-33M	—	RH-C1000
站2	EM002	甘肃·天水·麦积·花牛·基本站	新建基本站	30	TDE-324CI-3	TDA-33M	—	RH-C1000
站3	JL004	甘肃·定西·临洮·中铺·基本站	改建基本站	30	TDE-324CI-3	TDA-33M	—	均为 ITP-M-12V-AC
站4	GGUAY	甘肃·天水·甘谷·安远·基准站	新建基准站	00/20	TDE-324FI-6	JS-A2	JS-60	
站5	MJILQ	甘肃·天水·麦积·利桥·基准站	新建基准站	00/20	TDE-324FI-6	JS-A2	JS-60	
站6	MJIWL	甘肃·天水·麦积·五龙·基准站	新建基准站	00/20	TDR-324FI-6	JS-A2	JS-120	
站7	QNAAF	甘肃·天水·秦安·安伏·基准站	新建基准站	00/20	TDE-324FI-6	JS-A2	JS-60	
站8	QSCYQ	甘肃·天水·清水·永清·基准站	新建基准站	00/20	TDE-324FI-6	JS-A2	JS-120	
站9	WSXML	甘肃·天水·武山·马力·基准站	新建基准站	00/20	TDE-324FI-6	JS-A2	JS-60	
站10	LTOXD	甘肃·定西·临洮·辛店·基准站	新建基准站	00/20	TDE-324FI-6	JS-A2	GL-CS60	
站11	TWEYG	甘肃·定西·通渭·义岗·基准站	新建基准站	00/20	TDE-324FI-6	JS-A2	GL-CS120	
站12	WYQQ	甘肃·定西·渭源·秦祁·基准站	新建基准站	00/20	TDE-324FI-6	JS-A2	GL-CS120	
站13	MJIMJ	甘肃·天水·麦积·麦积·基准站	改建基准站	00/20	EDAS-24GN6	JS-A2	—	

## 2 典型故障处理及分析

### 2.1 波形异常

#### (1) 强震20通道连续突刺干扰。

在运维过程中,发现部分测站强震20通道的波形呈现突刺异常(见图1),有些突刺较尖锐,有些较平缓。经现场电路排查及安装记录检查仪发现,测站出

现突刺异常波形的时间均为仪器架设初期,在安装过程中对机柜下输电线和摆线走线未做严格有效的分离,导致输电线中的电信号对摆线信号传输造成干扰,形成突刺异常波形。经频谱分析研究,确认观测室内机柜坑下市电输电线及智能电源输出直流电的输电线是干扰源。在输电线与摆线并线时,电信号对摆线传输的波形信号产生干扰,形成突刺异常波形<sup>[4]</sup>。

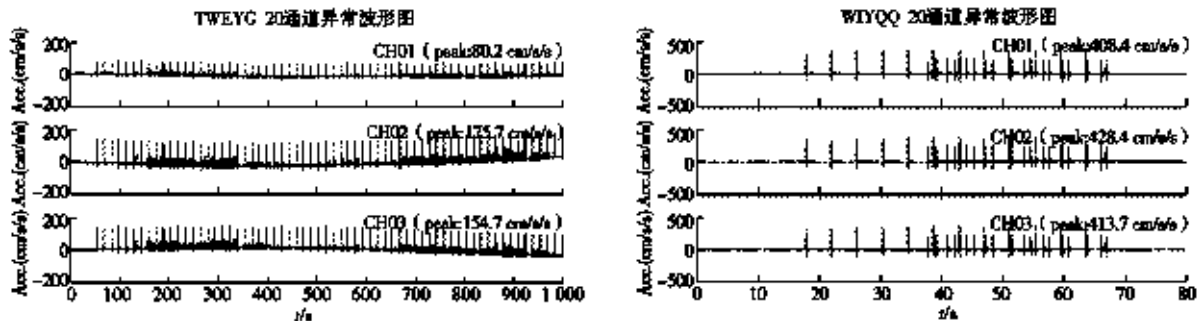


图1 部分测站强震20通道连续突刺干扰波形图

Fig. 1 Waveform plot showing intermittent interference in 20-channel strong motion records

剖析原因并进行现场测试。利用备用摆线,绕过机柜坑下的输电线,直接连数据采集器,突刺异常消除。持续观察一周,波形质量良好,未见波形异常。在测试处理方法有效后,将记录到突刺异常波形测站的摆线重新走线,把输电线路和摆线分离,波形异常消除。

#### (2) 强震20通道加电后持续波形异常。

站13为改造基准站,暂未配速度计,数据采集器在断电后,重新加电时会出现持续3~5分钟的异常波形(见第30页图2)。波形分布密集,幅值明显高于地脉动,持续时间最长不超过5分钟,之后恢复正常。下次给数据采集器加电时,该异常波形依然出现。

经与设备厂家沟通,初步判断为加速度计未接地导致。将数据采集器的负极和加速度计外壳连接,对

加速度计外壳进行接地处理后,上述异常消除。

### 2.2 数据采集器故障

#### (1) 数据采集器无法下达标定指令。

在常规巡检时,站3通过数据采集器(TDE-324CI)控制页面无法下达正标指令,用TDS下达标定指令,仍无法启动。经现场测试,判定为数据采集器标定控制模块故障,标定板无法正常启动工作(见第30页图3),需寄回厂家维修,更换新的标定板。

#### (2) 数据采集器软件版本问题。

2022年6月3日,从站4到站9的6个基准站数据中断。排查服务器、网络通讯等,发现网络正常、数据采集器供电正常、主备服务器均正常,数据采集器端状态显示无数据,无实时波形,且站点速度计通道(1—



3通道)采样率发生变化,由100 sps变为200 sps,数据采集器程序版本跳回初始安装版本 v1.0.20211015,重启数据采集器后恢复传输。经排查发现,本次故障均出现在 TDE-324FI 六通道数据采集器,当数据采集器的软件版本在做数据校验时,帧头校验错误,且软件关闭数据帧尾校验。将数据采集器版本暂时升级到 v1.0.20211126 版本,仍出现问题数据短暂断记的情况,较升级之前的版本相对稳定,仍存在可能出现断记的问题。经与厂家协商,将所有数据采集器版本升级为 v2.0.20220630 后,未出现上述问题。

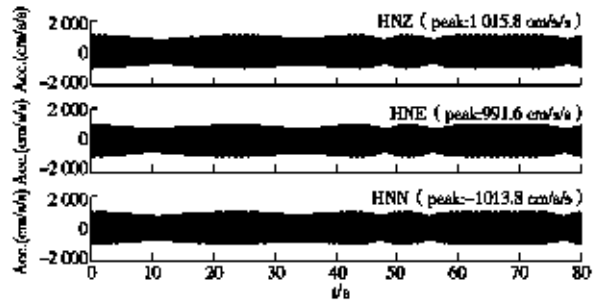


图2 MJIMJ 加电后异常波形图  
Fig. 2 Abnormal waveform after applying MJIMJ

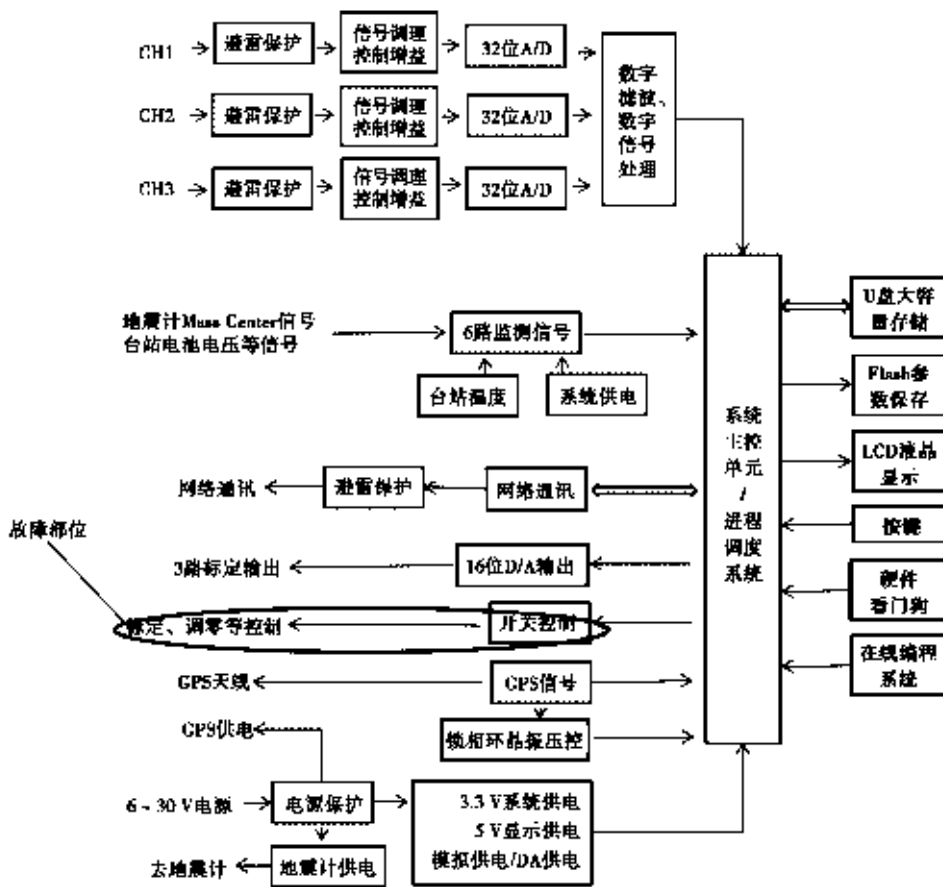


图3 TDE-324CI 地震数据采集器功能结构图  
Fig. 3 Functional structure of TDE-324CI seismic data acquisition unit

(3) 数据采集器串口异常。

站11在4月5日出现波形异常(见第31页图4),波形幅值超出地震计满量程范围-33554432~33554431ct,达到几千万ct值,HHZ通道数据断记,持续约0.3s后波形恢复正常。排查周边环境未发现干扰源,对设备进行测试,加速度计、速度计、数据采集器均正常。调取数据采集器当天日志发现,数据采集器因出现传输缺数,在补数过程中导致波形异常,此后未再出现异常波形。经现场判断是数据采集器的串口故障,为避免再次出现类似故障,更换新的数据采集器

后返厂维修。

(4) 数据采集器无法正常启动。

站1在6月2日晚间数据采集器无法启动,断电重启后,波形呈现方波形态(见图5)。现场检查加速度计,性能测试和地脉动波形记录均无异常,初步判断是数据采集器故障。6月7日数据采集器再次停止工作,无法启动,现场更换备用的。经返厂拆机检查,发现是内部系统主控单元故障导致无法正常启动。

2.3 加速度计故障

站2在断电后,加速度计(TDA-33M)零偏出现大

幅值的跳跃,存在零偏阶跃问题。考虑可能是加速度计靠摆,施加一个脉冲信号,待稳定后,故障仍存在。现场进行调零处理,也未能解决,更换备用设备。经返厂检查发现,加速度计的加速度检测装置故障,需要更换新的模块。

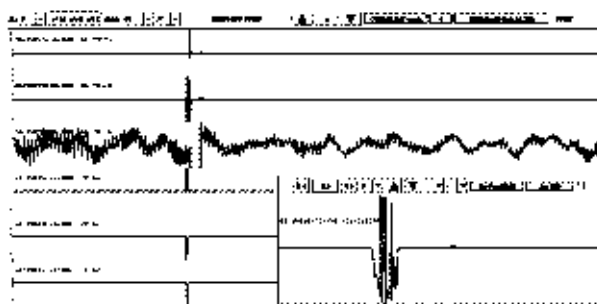


图4 波形异常截图

Fig. 4 Screenshot of waveform anomaly

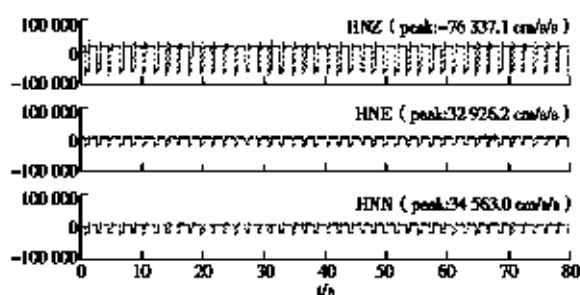


图5 EA001方波波形图

Fig. 5 Square wave waveform of EA001

按照地震预警系统运维要求,每个预警站点加速度计的零偏电压值不能大于50 mV,加速度计在使用过程中零偏易变大,需调零处理。在调零过程中动作要轻柔,缓慢抖动调零细针尾部,让零偏值逐渐变化。不可斜插细针,也不可用劲过大,以免损坏加速度计的调零单元。

#### 2.4 智能电源故障

站12在7月6日晚间智能电源输出端故障,输出2口无法给数据采集器正常供电,站10也在同一天出现智能电源无法启动。经现场调查,在当日晚间,当地出现较强的雷雨天气,雷电导致智能电源输出端故障,无法正常输出12 V的直流电。远程通过Power control重启智能电源,输出端未恢复供电,在更换备用智能电源后,测站供电恢复正常。

#### 2.5 供电故障

每个测站的配电箱均配备一路市电进口,左侧安装市电保护的空开,型号为C20,灵敏度高。在运维过程中发现,C20的空开跳闸频率较高,累计出现14次,涉及十多个站点。巡查易跳闸的站点后发现,观测室内湿气太重(湿度达到97%以上),导致供电线路接口

处容易漏电,触发空开保护跳闸;负载设备电压不稳定,电压出现波动时也会触发空开保护跳闸。

巡检时,对观测室内的电路走线及线路接口进行重点排查,用防水胶带将线路接口重新包扎,将所有负载的接口螺丝加固,并用热缩管包扎处理,尽可能地减少与外部环境的接触面。采取上述办法仍无法解决的测站,将空开更换为C30型,保障正常供电。

利用监控终端SmartPSS Plus对配电箱中的供电情况进行监控,发现配电箱上电压表指针未在220 V位置指示,联系看护或供电部门,排查断电原因并及时解决供电问题。在实际运维中,运用此方法,多次及时发现空开跳闸的问题。

### 3 结论与讨论

文章简要介绍地震预警系统运维过程中遇到的专业设备故障、通用设备故障、供电故障、通讯故障、波形数据异常等常见故障的典型特征及处理方法,对判别类似故障具有一定的参考价值。

(1) 常见的波形突刺问题,首先排查硬件设备的故障,再确认观测环境是否会产生干扰,当排除以上因素外,查看机柜坑、摆坑等相对隐蔽的位置是否存在干扰源。常见的设备故障问题,需要在运维过程中逐一排查,一般是更换备用设备。现场拆机维修需要运维人员熟练掌握设备的原理构造,目前还无法实现,这将是每个运维工作者努力的方向。

(2) 在极端雷雨天气,监测设备易遭受雷击损坏,说明现有设备自带的避雷装置和加装在机柜、配电箱里的避雷装置无法有效防雷。因此,对处于雷雨较多环境的测站,要通过加装防雷装置等手段强化防雷措施。

(3) 测站湿度对供电系统和监测设备均有较大的影响。过潮的环境容易引发电路空开频繁跳闸,也会影响加速度计、速度计等监测设备的使用寿命,尤其在雨季,部分测站室内湿度在99%以上。因此,可以在测站墙壁和摆坑内壁上涂刷防水腻子等材料进行防潮,同时放置石灰等吸附剂,并定期更换。

(4) 软件版本问题。因不同厂家的设备在搭配组合时易存在不兼容的问题,对观测数据质量有一定的隐患,因此,在日常值班和常规巡检时要仔细检查,及时发现并解决。在今后的运维中积累更多的经验,找到稳定性相对较高的组合设备。

#### 参考文献:

- [1] 温志亮,曾庆铭,田中英,等.甘肃省天水市活动断裂带主要特征及活动性分析[J].西北地质,2022,55(2):166-175.
- [2] 刘小凤,张辉,梅秀苹,等.甘东南地区震情预警指标模型及方案研究[J].西北地震学报,2010,32(3):237-243,291.

(下转第53页)

# 地震预警站网典型故障及波形异常分析处理

李晓锐<sup>1,3</sup>, 刘国俊<sup>1,3</sup>, 陈永新<sup>2,3</sup>, 姚林鹏<sup>1,3</sup>, 薛亮<sup>1,3</sup>, 常姣<sup>1,3</sup>

(1. 山西省地震局运城地震监测中心站, 山西 运城 044000; 2. 山西省地震局, 山西 太原 030021;  
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:**地震预警站点正常运行是地震烈度速报与预警系统快速高效产出的基础,山西地震烈度速报与预警站网已建成并投入试运行近一年,地震监测中心站在站网运维工作中积累了很多相关经验。通过梳理运城地震监测中心站在预警站网试运行以来遇到的部分典型故障及波形异常现象,总结分析处理应对的方法,为提高预警站网的运行率提供参考经验。

**关键词:**地震预警站网;典型故障;记录波形

中图分类号:P315.73 文献标志码:A

## 0 引言

地震预警是指地震发生后,根据震中附近台站观测仪器捕捉到的地震波,快速估计地震参数并预测对周边地区的影响,利用电磁波速度远大于地震波速度的原理,抢在破坏性地震波到达之前发布地震动强度和到达时间的预警信息,以减轻地震灾害损失<sup>[1]</sup>。国家地震烈度速报与预警工程旨在建成世界上最大的地震预警系统,在华北、南北地震带、东南沿海、新疆天山中段以及拉萨周边地区等重点地区实现秒级的地震预警能力和分钟级的烈度速报能力,基于PC地震预警终端软件、地震预警APP以及地震预警信息专用接收终端等服务方式,向社会公众、政府部门和企业提供地震预警服务产品<sup>[2]</sup>。

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目于2021年底基本建设完成,2022年4月21日正式进入内部测试运行。运城地震监测中心站(以下简称运城中心站)运维人员保障辖区预警站网的正常运行。笔者梳理辖区内预警基准站和基准站的部分典型故障和波形异常现象,简要记述相应的处理过程,总结出分析、应对的方法,为其他站网的运维工作提供参考。

## 1 站网概况

山西省地处黄河中游,东有太行山,西、南有黄河流过,大同、忻定、太原、临汾、运城等一系列断陷盆地呈雁列形分置南北,属华北地震活动预警区。国家地震烈度速报与预警工程山西子项目共建设改造预警基准站、基准站和一般站合计1096个。运城中心站负

责辖区内(运城市、晋城市)200余个预警站的运维工作,其中预警基准站和基准站(以下简称基准站、基本站)的运行维护任务由中心站负责,一般站主要委托铁塔公司共同维护。运城中心站辖区的预警站网分布如图1所示。基准站的专业设备由速度计、加速度计和地震数据采集器组成,基本站的专业设备为加速度计和地震数据采集器,一般站的专业设备为烈度仪。

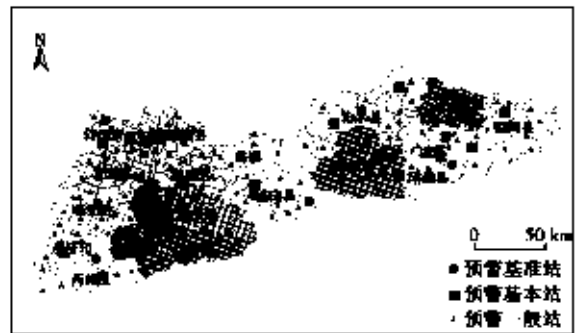


图1 运城中心站辖区预警站网分布图  
Fig. 1 Distribution of the Yuncheng central stations' early warning station network

## 2 站网故障分析处理

基准站和基准站主要由观测、供电和通信三大技术系统构成,运维工作就是要保障其正常运行。

### 2.1 站网故障统计

对2022年运城中心站预警站网出现的各类故障

收稿日期:2022-06-05

第一作者简介:李晓锐(1990—),男,山西夏县人,工程师,主要从事地震监测运维工作,E-mail:lixiaorui90@163.com。  
该文获“庆祝《山西地震》创刊50周年有奖征文活动”三等奖。

进行统计得出,通信系统故障占故障总数的70%以上,为目前主要常见故障(见表1)。

表1 运城中心站预警站网故障统计

Table 1 Statistics of faults in the Yuncheng central stations early warning station network

故障类型	累计故障次数	占比(%)
通信系统故障	95	73
供电系统故障	31	24
观测系统故障	4	3

## 2.2 通信系统故障

山西地震预警站网通信系统主要采用光纤直接接入路由器的PTN专线方式实现,通信系统构成示意图如图2所示。

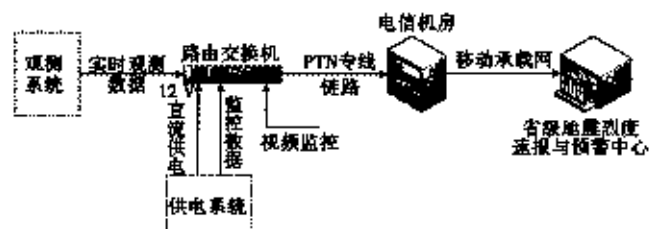


图2 预警站通信系统构成示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the communication system in the early warning station

通信故障最直接的表现是网络不通,常见的通信故障是PTN专线故障,大风、施工等引起的光纤断裂或光纤打折、磨损等导致线路内光信号弱,是出现这类故障的主要原因。通常此类故障需中心站人员协助电信公司运维人员解决。

典型故障:2021年11月16日,值班员发现山西运城垣曲县蒲掌乡01基准站(YQUPZ)通信中断,经联系看护人询问台站供电等基本情况后,初步判断为PTN专线故障。

处理过程:中心站联系电信公司维修人员,经巡查线路,未发现光纤中断或打折,从台站的光纤尾纤可看到光信号,判断可能为台站路由器故障。中心站人员现场重新配置路由器后,网络仍无法联通。经双方沟通,最终判定为光信号弱导致通信中断,经电信公司人员再次检查维修线路后通信恢复。

## 2.3 供电系统故障

山西地震预警站网供电系统一般采用交流+太阳能供电模式,通过智能电源为用电设备提供12V直流供电,保证供电的稳定性和可控性。供电系统构成示意图如图3所示。

供电系统的核心是智能电源,为观测系统、通信系统及视频监控等设备供电。常见的供电系统故障主要

是交流供电中断。在无交流供电后,太阳能供电不能维持整个系统的运行,导致电池组馈电,使智能电源进入待机(或死机)状态,无直流电输出。

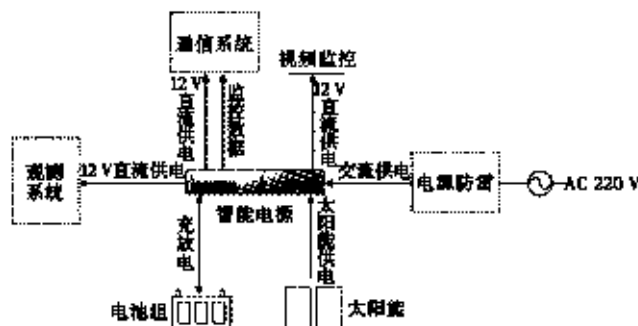


图3 预警站供电系统构成示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the power supply system in the early warning station

典型故障:2022年8月10日,值班员发现山西运城市盐湖区龙居镇01基本站(MY002)中断,联系看护人查看台站供电情况,发现智能电源所有指示灯不亮,处于待机(或死机)状态。

处理过程:中心站人员到现场后发现台站交流电正常,电池组馈电,智能电源无输出,太阳能供电线未连接。在断开智能电源交流电、电池组和太阳能供电线后,用饱和12V电池连接智能电源,使其重新启动。用PC机连接智能电源后,电源参数恢复出厂设置,重新配置电源参数后连接交流电、电池组和太阳能供电线,智能电源供电恢复。

供电系统故障是由于太阳能供电线未连接,智能电源设置为太阳能充电优先模式后频繁切换供电模式,导致死机并恢复出厂设置。

## 2.4 观测系统故障

山西地震预警站网观测系统主要由传感器(速度计、加速度计)和数据采集器构成。观测系统构成示意图如图4与第34页图5所示。

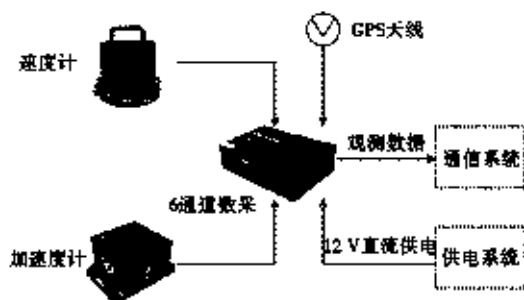


图4 预警基准站观测系统构成示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the observation system in the early warning reference station

观测系统核心设备是数据采集器。常见的观测系统故障一般表现为观测波形异常、数采故障或无波形数据。无波形数据或波形数据不完整的情况通常通过远程重启数采即可恢复。

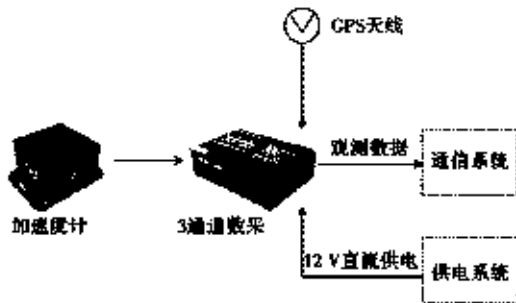


图5 预警基本站观测系统构成示意图  
Fig. 5 Schematic diagram of the observation system in the early warning basic station

典型故障:2022年1月14日,值班员发现山西晋城市阳城县董封乡01基本站(EY002)中断,网络链路正常,数采无法连接,初步判断为数采故障或死机。

处理方法:通过智能电源远程断电重启,数采仍无法连通,看护人员赴现场查看,发现数采工作不正常,更换备用数采后,恢复正常。

### 3 波形异常分析处理

地球表面由于各种原因,会存在微小的震动,如风、寒潮、海浪、交通运输、人和动物活动等,均对地震观测造成干扰,通常称这些干扰为地震噪声(地噪声)或环境背景噪声,有时也称为地脉动。地震台站正常观测到的背景噪声一般包含地脉动噪声和观测仪器噪声等<sup>[3]</sup>。在预警站网试运行以来,运城中心站运维人员发现某些站点存在观测波形异常,主要包括高频干扰、小幅台阶变化和零点偏移等,影响观测质量和预警系统预期产品产出,需及时处理。

#### 3.1 高频干扰

高频干扰指地震计或加速度计记录的观测数据大大超出地脉动的频带和幅度范围,在实时波形上表现为存在大幅度的高频干扰,背景噪声超标,影响预警站点的观测质量(见图6)。下面以山西运城市夏县瑶峰02基本站(MX002)的高频干扰为例进行分析。

第35页图7a中,从原始波形形态上看,该站点波形呈纺锤形,带有大量高频成分,存在严重的波形失真。选取此时间段内任意一段数据进行频谱分析。从频谱图中看出,三分向的波形均存在主频率为50 Hz左右的高频干扰信号,分析认为此类干扰为工频干扰。其出现的原因可能为:摆线与交流供电线存在交叉并行,设备机柜未接地或接地不充分(即接地电阻不达

标),数采机壳未充分接地。

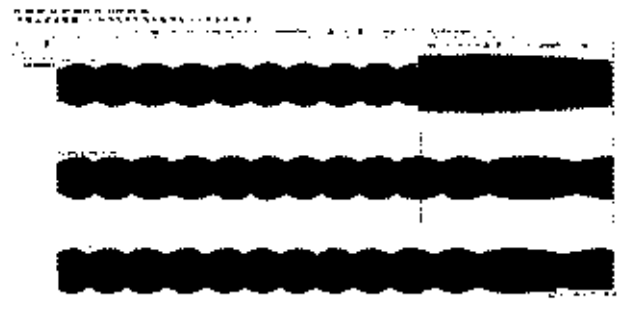


图6 典型高频干扰示例图  
Fig. 6 Example of typical high-frequency interference

处理方法:将摆线与交流供电线分别沿机柜两边分开走线,避免因摆线屏蔽层破损引入人工频干扰;连接设备机柜接地线到接地极并测量接地电阻,确保接地质量;检查数采机壳接地,避免因机壳带电引入干扰。经过处理后,站点的波形质量明显改善,对处理后的观测数据选择任意一段进行频谱分析。从第35页图7b看出,主频率为50 Hz左右的高频干扰信号消失,观测波形恢复正常背景。此类干扰通常与交流供电接地和机柜接地不良有关,在改造的预警站点较常见。

#### 3.2 小幅台阶变化

地震观测波形的小幅台阶变化是预警站网中比较常见的波形异常现象,即在正常的观测背景上出现无规律性的小幅台阶变化。本文以山西运城市永济市虞乡镇01基准站(YJJYX)加速度计出现的小幅台阶变化为例进行分析。

YJJYX基准站加速度计在安装时因摆线长度不够,临时放置于观测室内,在定制长摆线到位后,将加速度计放入山洞内的摆墩上并采用长摆线连接。此后,观测波形开始出现不规则的小幅台阶变化(见第35页图8a)。实地考察发现,该站点观测山洞湿度非常大,洞内有水滴凝结现象。分析认为出现此类干扰的原因可能为:加速度计密封性不好,潮湿的观测环境影响加速度计的正常记录;观测环境湿度大导致摆线与加速度计连接的航空插头处接触不良。

处理方法:将加速度计从山洞内暂时移出,放置于仪器房,现场对加速度计手动调零,更换为原短摆线连接。经过处理,小幅台阶变化现象逐渐减少,几日后恢复正常背景(见第35页图8b)。分析认为此类波形异常通常与加速度计密封性不好,观测环境湿度大有关,应加强对加速度计安放处的防潮处理。

#### 3.3 零点偏移

理论上,地震计和加速度计应工作在机械零点(直流偏置电压)为0 mV左右的位置,实际观测中因受观测环境温湿度及电子元器件自身特性的影响,机械零

点不可能始终保持在 0 mv 左右。为使记录数据中的直流成分较小且能够测量满量程输入信号,防止地震动较大时因限幅导致的波形失真,零点偏移就不能过大。

一般情况下,地震计有内置调零装置,可通过远程客户端控制进行自动调零。加速度计无此类装置,当

监控到加速度计零点超出规范要求时,需要运维人员及时进行现场手动调零。如第 36 页图 9 所示,山西晋城市沁水县龙港镇 01 基本站(EL002)某段时间加速度计三分向零点电位分别为 75 mv、-119 mv 和 128 mv,超出规范要求。经中心站运维人员现场调零后,零点偏移得到有效控制,观测系统恢复正常。

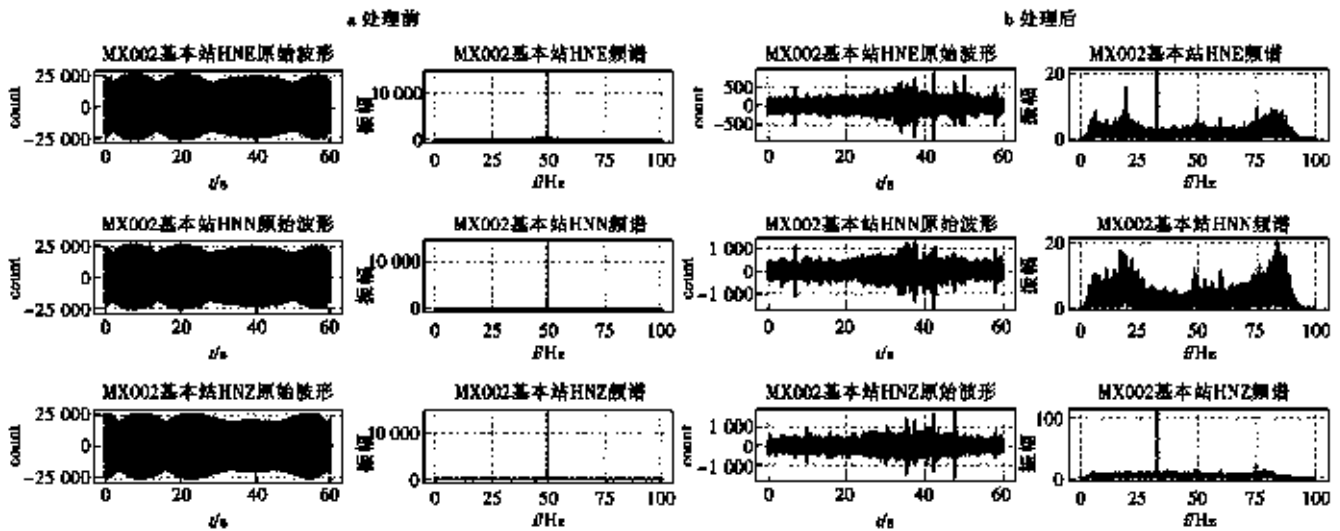


图 7 预警 MX002 基本站波形频谱分析

Fig. 7 Waveform spectrum analysis of the MX002 early warning basic station

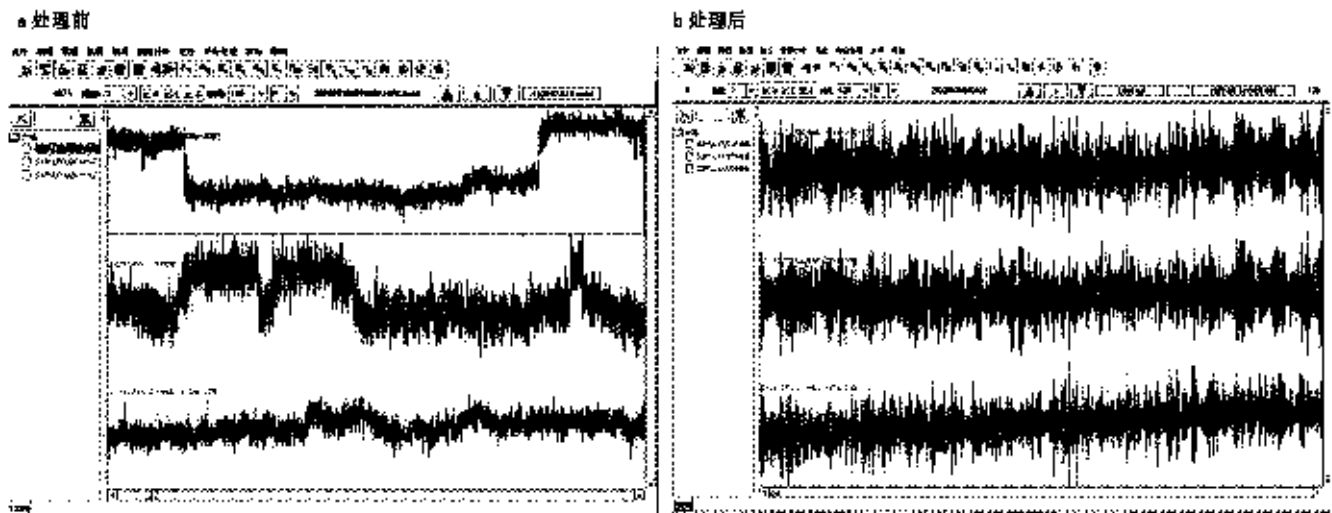


图 8 预警 YJJYX 基准站加速度计波形

Fig. 8 Waveform of the YJJYX early warning reference station's accelerometer

#### 4 结语

地震预警站网具有站点数量多、设备类型多、系统构成复杂等特点,给地震监测中心站的运维工作带来很大的挑战。笔者结合工作实践,梳理总结运城中心

站在运维工作中遇到预警站网出现的典型故障和波形异常现象及分析处理方法,得出如下认识:运维人员要对预警系统的构成和各分系统基本情况有深入了解,在遇到故障时才能做到“心中有预案,工作有方法”,按照预案逐项排查解决,及时排除故障;运维人员要对专

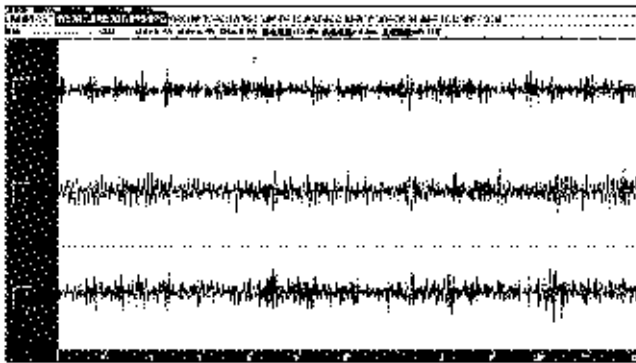


图9 预警 EL002 基本站零点偏移过大示例图  
 Fig.9 Example of excessive zero offset in the EL002 early warning basic station

业设备(地震计、加速度计和数采等)的工作原理、观测物理量以及各类干扰的典型波形表现有一定的认识,能根据观测波形的异常形态做出初步判断,实现快速定位并解决存在的问题。

参考文献:

[1] 中国地震局监测预报司. 测震学原理与方法[M]. 北京: 地震出版社, 2017.  
 [2] 窦立婷, 李冬梅, 任力伟, 等. 国家地震烈度速报与预警工程山西子项目综述及应用分析[J]. 山西地震, 2019(4): 52-56.  
 [3] 侯 颖, 余大新, 叶庆东, 等. 北京市测震台网数字地震台站台基背景噪声分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2019, 40(04): 102-107.

### Analysis and Processing of Typical Faults and Waveform Anomalies in the Seismic Early Warning Station Network

LI Xiao-rui<sup>1,3</sup>, LIU Guo-jun<sup>1,3</sup>, CHEN Yong-xin<sup>1,3</sup>, YAO Lin-Peng<sup>1,3</sup>, XUE Liang<sup>1,3</sup>, CHANG Jiao<sup>1,3</sup>

(1. Yuncheng Earthquake Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Yuncheng, Shanxi 044000, China;

2. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

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

**Abstract:** The normal operation of seismic early warning stations is the basis for the rapid and efficient production of information in the earthquake intensity rapid reporting and early warning system. The seismic intensity rapid reporting and early warning station network in Shanxi has been built and put into trial operation for nearly a year. The seismic monitoring center has accumulated relevant experience in network operation and maintenance. By summarizing and analyzing the communication system, power supply system, and observation system's typical faults and anomalous waveform records encountered during the trial operation of the Yuncheng seismic monitoring center, this study provides methods for handling and addressing these issues, aiming to improve the operational efficiency of the early warning station network instruments.

**Key words:** Seismic early warning station network; Typical faults; Waveform records

· 防震减灾 ·  
文章编号:1000-8265(2023)02-0037-04

# 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

罗宾生,李延峰,白永祯

(青海省地震局,青海 西宁 810001)

**摘要:**震后人员伤亡评估是防震减灾的一项重要工作。本文借助案例推理法预测2022年6月1日17时00分发生的四川雅安市芦山县6.1级地震与6月10日发生的四川阿坝马尔康5.8级地震后人员的伤亡情况,利用案例数据库中的案例特性信息,采用层次分析法计算特征属性的权重值,采用Euclidian距离将新生案例的特性与之进行相似性分析,得到芦山与马尔康地震案例的地震人员伤亡预测,发现预测值与实际结果基本吻合。根据计算结果,提出进一步提升预测模型准确度的相关建议。

**关键词:**地震伤亡人员;案例推理;层次分析;数量预测  
**中图分类号:**P315.09 **文献标志码:**A

## 0 引言

地震作为突发性的自然灾害,严重威胁着人民的生命财产安全,尤其是破坏性地震发生后,通常会造成人员伤亡。破坏性地震给国家经济建设造成直接损失,也给人民生命财产安全带来危害。为减轻地震造成的损失,尤其是地震灾害造成的人员伤亡,及时开展震后死亡人员预测显得尤为重要<sup>[1-4]</sup>。

案例推理(CBR)由 Roger Schank<sup>[5]</sup>首次提出,是人工智能领域中基于知识问题求解的一种重要方法,其核心思想是模仿人类利用经验思考解决问题的过程。从推理方法看,案例推理是一个案例(旧案例)到另一个案例(新问题)的类比推理;从认识过程看,案例推理是基于记忆,利用过去的经验来指导并解决问题的一种方法。由于地震后人员伤亡数量的影响因素较多,如震级、时间、人口密度、设防标准等,因此本文通过获取案例数据库,基于案例推理的方法预测震后死亡人数并进行案例分析。

## 1 特征属性权重确定

案例模型建立首先需要选择各个案例的特征属性,并对案例属性的重要程度进行度量,计算出适合该案例特征的权重值<sup>[7]</sup>。通过对参考文献及地震真实案例的分析发现,造成人员伤亡的影响因素主要涵盖地震基本要素与社会防震水平。其中,地震基本要素由时间、震级、地震烈度、震源深度等构成,社会防震水平

由抗震设防烈度、人口密度、经济水平等构成<sup>[8-10]</sup>。特征属性结构如图1所示。

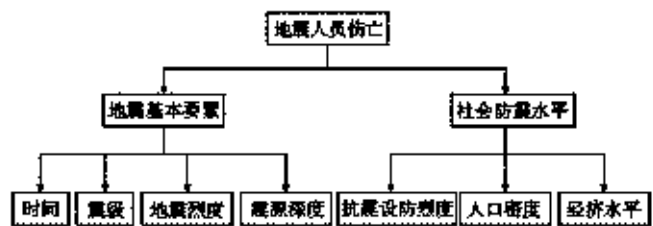


图1 特征属性结构  
Fig.1 Structure of feature attributes

在案例推理的过程中,需要确定案例特征属性对于决策的重要程度,确定一个适合的权重值,采用层次分析法计算特征属性权重。该方法根据问题的性质和需要达到的总目标,将问题分解成不同的组成因素,按照因素间的相互关联影响和隶属关系将因素按不同层次聚集组合,形成一个多层次的分解结构模型,使问题归结为最低层相对于最高层相对重要权值的确定<sup>[11]</sup>。具体过程如下:

(1) 构造判断矩阵。将各层次的因素进行两两比较,按其重要性评定等级,为要素*i*与要素*j*重要性的比较结果。由第38页表1给出的9个标度衡量其重要程度,构建判断矩阵C。

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

收稿日期:2022-11-07

第一作者简介:罗宾生(1989—),男,青海湟中县人,工程师,主要从事地球物理场观测及地震分析工作,E-mail:751610014@qq.com.



表1 标度的含义

Table 1 Meanings of the scale

因素 i 比因素 j	量化值
同等重要	1
稍微重要	3
较强重要	5
强烈重要	7
极端重要	9
两相邻判断的中间值	2,4,6,8

表2 特征属性所占权重

Table 2 Weights of feature attributes

特征属性	时间	震级	地震烈度	抗震设防烈度	人口密度	震源深度	经济水平
权重	0.037 2	0.261 9	0.261 9	0.147 8	0.129 1	0.105 6	0.056 4

(3) 一致性检验。

对矩阵进行一致性检验,若  $CR \leq 0.1$ ,说明比较矩阵一致性是合理的,如果  $CR > 0.1$ ,需要对比较矩阵做修正。

$$CR = \frac{CI}{RI},$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1},$$

式中:为衡量 CI 的大小,引入随机一致性指标 RI,RI 的计算方法和参考标准如表 3 所示。

表3 RI 标准值

Table 3 RI (Random Index) standard values

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

采用专家打分的方式对标度重要性进行判别,选取三位专家重要性判断的平均值作为重要程度的量化

表4 目标案例基本信息

Table 4 Basic information of the target case

目标案例	发震时间	震级 ( $M_L$ )	震中烈度 (度)	震源深度 (km)	抗震设防烈度	人口密度 (人/平方千米)	经济水平 (万元/人)	死亡人数	受伤人数
芦山地震	2022-06-01	6.1	8	17	7	99.93	3.6	4	42
马尔康地震	2022-06-10	5.8	8	10	7	9.05	1.5	0	4

2.2 案例库构建

选取 2010—2021 年西南地区 5.0 级以上的地震构建案例库,地震数据来源于中国地震局、各地政府官网等网站。18 个进行推理的案例信息如第 39 页表 5 所示。

2.3 样本数据处理

本文采用 Pearson 相关系数分析法,对样本数据进行相关性分析。计算方法为:

(2) 计算特征属性的权重值。

计算矩阵 C 的最大特征根  $\lambda_{max}$  以及无量纲处理后的特征向量:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T.$$

对最大特征根方程求解:

$$CW = \lambda_{max}W.$$

归一化的特征向量作为特征属性对于地震人员伤亡的权重。为计算方便,使用 AHP 软件得出各特征属性的权重值(见表 2)。

值。借助 AHP 软件,计算出地震人员伤亡的一致性比例为 0.000 0,  $\lambda_{max} = 2.000 0$ ;地震基本要素一致性比例为 0.022 7,  $\lambda_{max} = 4.060 6$ ;社会防震水平一致性比例为 0.017 6,  $\lambda_{max} = 3.018 3$ ,均通过系统的一致性检验。

2 案例分析

2.1 案例背景

2022 年 6 月 1 日 17 时 00 分,四川雅安市芦山县发生 6.1 级地震,震源深度 17 km,震中位于北纬 30.37 度,东经 102.94 度。地震造成 4 人死亡,42 人受伤。同月 10 日凌晨,四川阿坝马尔康发生 5.8 级地震,且后续发生多次余震,其中 6.0~6.9 级 1 次,5.0~5.9 级 2 次,4.0~4.9 级 3 次,3.0~3.9 级 4 次,共造成 4 人受伤,多人受灾。从中国地震局及芦山县、马尔康地区政府官网查阅 2 次地震的具体信息,整理后如表 4 所示。

$$l = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2}}.$$

当  $l$  为 0 时,表示变量  $x$  与  $y$  无相关关系;当  $0 < l \leq 1$  时,表示  $x$  与  $y$  呈正相关关系;  $-1 \leq l < 0$  时,表示  $x$  与  $y$  呈负相关关系<sup>[12]</sup>。由于每个属性值对结果的共享程度不同,需要确定每个属性的权重值,表 2 为计算出的各个属性值。

## 2.4 相似度计算

由于不同属性的权重不一致,本文根据地震灾害案例特性,采用 Euclidian 距离计算目标案例  $\tau$  与案例库  $r_i (i=1, 2, \dots, 10)$  的相似度  $SIMI(\tau, r_i)^{[13]}$ , 即:

$$SIMI(\tau, r_i) = \frac{1}{1 + D(\tau, r_i)} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sum_{j=1}^m [w_j D(S_{\tau j} - S_{r_i j})]^2}},$$

$$D(\tau, r_i) = \frac{|S_{\tau j} - S_{r_i j}|}{|\max S_j - \min S_j|},$$

式中:  $r_i$  表示案例库中的第  $i$  个案例;  $w_j$  表示第  $j$  个属性的权重系数;  $S_{\tau j}$  表示目标案例的第  $j$  个属性值;  $S_{r_i j}$  表示案例库中案例  $r_i$  的第  $j$  个属性值,  $j=1, 2, \dots, m$ ;  $\max S_j - \min S_j$  表示属性的最大值减去最小值。

表5 案例库基本信息

Table 5 Basic information of the case database

地震名称	发震时间 年-月-日	震级 ( $M_L$ )	震中烈度 (度)	震源深度 (km)	人口密度 (人/平方千米)	抗震 设防烈度	经济水平 (万元/人)	死亡人数	受伤人数
云南楚雄	2010-02-25	5.1	6	16	118	7	1.5	16	587
云南盈江	2011-03-10	5.8	10	10	63.78	7	1.5	5	130
川滇交界	2012-06-25	5.7	7	11	58.91	8	1.2	4	152
昭通彝良	2012-09-07	5.7	8	14	221	7	1.7	81	834
四川雅安	2013-04-20	7.1	9	13	88	7	2.8	196	11 470
滇川交界	2013-08-31	5.9	8	10	10	7	1.9	3	40
云南鲁甸	2014-08-03	6.5	9	12	257	7	1.2	617	3 143
云南景谷	2014-10-07	6.6	8	5	34.72	7	2.7	1	324
四川康定	2014-11-22	6.3	8	18	11.87	8	3.7	5	80
四川乐山	2015-01-14	5.0	6	14	50.17	7	3.9	0	17
云南沧源	2015-03-01	5.5	7	11	91.95	8	1.8	0	20
四川九寨沟	2017-08-08	7.0	9	20	15.31	8	3.1	25	525
云南墨江	2018-09-08	5.9	8	11	67.7	7	4.9	0	27
四川长宁	2019-06-17	6.0	8	16	321	7	5.9	13	226
四川威远	2019-09-08	5.4	6	10	450	6	1.8	1	63
云南巧家	2020-05-18	5.0	6	8	142	7	1.8	4	28
云南漾濞	2021-05-21	6.4	8	12	69.36	8	3.9	3	32
云南双柏	2021-06-10	5.1	6	8	39.56	7	5.5	0	2

由表4给出的案例基本信息,结合特征属性权重值,利用 Euclidian 距离得出目标案例与案例库中案例的距离值,距离值越小,案例越相近。根据计算结果,芦山地震 Euclidian 距离由小到大的3个历史地震分别为云南漾濞地震、云南巧家地震、四川威远地震,再通过人工对比分析,考虑四川芦山人口密度为 99.93 人/平方千米,三个地区中与云南漾濞的人口密度最接近,由于人员伤亡水平与地区的人口密度关联性较大,认为云南漾濞地震与芦山地震更相似;马尔康地震 Euclidian 距离最小的为云南墨江地震。最终将云南漾濞地震、云南墨江地震分别依次作为芦山地震和马尔康地震的最佳相似案例。

由于地震伤亡人数与所在地区的人口密度息息相关<sup>[14]</sup>,因此需考虑所在地区人口的影响。本文借助涵盖人口密度的伤亡人数计算公式:

$$\tau = \frac{a}{\rho'} * \rho,$$

式中:  $\tau$  表示目标案例的伤亡人数;  $\rho$  表示目标案例的人口密度;  $a$  表示案例库中案例的伤亡人数;  $\rho'$  表示案

例库中案例的人口密度。表6为地震案例的伤亡人数统计。

表6 案例库案例伤亡人数

Table 6 Casualties in the case database

案例库案例	受伤人数	死亡人数
云南漾濞地震	3	32
云南墨江地震	0	27

经过计算,并且结果保留为整数,得到芦山地震与马尔康地震预测和实际的受伤及死亡人员对比结果如表7所示。

表7 地震伤亡人员预测值与实际值对比

Table 7 Comparison of predicted and actual earthquake casualties

地震名称	预测结果		实际结果		误差值	
	受伤人员	死亡人员	受伤人员	死亡人员	受伤人员	死亡人员
芦山地震	46	4	42	4	9.5%	0
马尔康地震	4	0	4	0	0	0

由表7看出,两次地震受伤及死亡人数的预测与实际结果基本一致,芦山地震实际受伤人数略低于预测值。对芦山地震的深入分析发现,芦山县处于地震频发区域,也是2008年汶川地震的重灾县,对当地民众的灾害知识普及面较宽,民众对于地震灾害的认知也高于同等水平的漾濞县;同时从地震灾害程度来看,目标案例的芦山地震震源深度17 km、震级6.1级,案例库中相似案例的云南漾濞地震震源深度12 km、震级6.4级,后者的破坏程度也大于前者。因此综合考虑认为,实际造成的受伤人员数量低于预测结果。

### 3 结语

本文通过构建地震灾害案例模型,采用层次分析法对案例的特征属性赋予权重,并结合Euclidian距离算法对目标相似度进行计算,预测出的芦山地震和马尔康地震灾害的伤亡人数与实际值基本吻合。地震时,人员伤亡数量会受到许多因素的影响,包括地理环境、可能造成的次生灾害、地区的地震灾害知识普及程度等,这些因素在此次研究中未被充分考虑。因此,今后需要继续完善和改进研究模型,提高预测的准确度。

### 参考文献:

- [1] 朱达逸,王东明.基于全国建筑抗震能力指数修正的地震人员死亡预测模型研究[J].自然灾害学报,2021,30(06):51-60.
- [2] 习聪望,何少林,王晓青,等.甘肃陇南地区地震灾害人口风险评估[J].自然灾害学报,2017,26(01):97-107.
- [3] 王野,于建杰,余世舟.基于切比雪夫不等式地震人员伤亡评估[J].自然灾害学报,2021,30(03):63-68.
- [4] 白仙富,聂高众,戴雨茨,等.基于公里网格单元的地震滑坡人员死亡率评估模型——以2014年鲁甸 $M_s 6.5$ 地震为例[J].地震研究,2021,44(01):87-95.
- [5] 斯琴塔娜,孟祥龙,高宏巍,等.基于历史灾情数理统计的灾害快速评估模型构建研究[J].科技创新与应用,2021(11):68-70.
- [6] SCHANK R C. Dynamic memory, a theory of reminding and learning in computers and people[M]. New York: Cambridge University Press, 1982.
- [7] 梁曼,徐肖豪,周建,等.基于粗集集的航路飞行冲突智能解脱系统案例检索方法[J].科学技术与工程,2015,15(03):289-294.
- [8] 刘贾贾,李凤,刘龙,等.基于案例推理的地震应急物资需求预测[J].高原地震,2020,32(03):69-74.
- [9] 张国军,李浩,凌云翔.基于案例推理的地震应急救援决策方法[J].火力与指挥控制,2019,44(04):60-64.
- [10] 张儒,齐金平,同森,等.基于情景推理的震灾初期救援物资需求预测[J].物流技术,2022,41(03):39-44, 89.
- [11] 许树柏.实用决策方法:层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1988.
- [12] 李姜,李铁绳,张兴,等.农村人口流动对地震灾害人员伤亡评估的影响研究——以张家口为例[J].震灾防御技术,2022,17(03):557-568.
- [13] Zhang S. Nearest neighbor selection for iteratively KNN imputation[J]. The Journal of Systems & Software, 2012,85(11):2541-2552.
- [14] 曾婷婷,官阿都,陈艳玲,等.基于历史相似案例空间推演的地震伤亡人口评估方法研究[J].地球信息科学学报,2020,22(11):2166-2176.

## Research on Prediction of Earthquake Disaster Casualties Based on Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Sichuan Earthquake

LUO Bin-sheng, LI Yan-feng, BAI Yong-zhen

(Qinghai Earthquake Agency, Xining, Qinghai, 810001)

**Abstract:** Post-earthquake casualty assessment is an important task in earthquake preparedness and disaster mitigation. This study utilizes the case-based reasoning method to predict the casualties after a 6.1 magnitude earthquake in Lushan County, Ya'an City, Sichuan, which occurred on June 1, 2022 at 17:00, and a 5.8 magnitude earthquake in Maerkang, Abo, Sichuan, which occurred on June 10. By utilizing limited case characteristic information from the case database, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is applied to calculate the weights of the feature attributes. The similarity between the characteristics of new cases and the existing cases is analyzed using Euclidean distance, and the predicted casualties for the Lushan and Maerkang earthquake cases are obtained, which are in good agreement with the actual results. Based on the calculation results, relevant recommendations are proposed to further improve the accuracy of the prediction model.

**Key words:** Earthquake casualties; Case-based reasoning; Analytic Hierarchy Process; Quantity prediction

# 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

(天津市地震局,天津 300201)

**摘要:**居民的地震灾害风险感知是影响特大城市地震灾害脆弱性的重要因素,本文提出关于地震灾害风险感知的四个假设并构建理论模型,采用问卷法对天津市民的地震灾害风险感知情况进行调查。运用相关分析、回归分析等方法对其影响因素进行研究并验证假设,提出相关建议。研究表明,对灾害的熟悉程度正向影响地震灾害风险感知,对灾害的可控程度、对灾害权威信息的信任程度负向影响地震灾害风险感知,风险感知水平正向影响居民对于地震灾害的应对行为。除学历水平外,个体因素差异对地震灾害风险感知水平的影响不明显,居民对灾害权威信息比较信赖,对地震灾害的应对行为倾向于依赖政府或社会集体的组织,对开展地震应急演练意愿较强烈。

**关键词:**地震灾害;风险感知;特大城市

**中图分类号:**P315.09 **文献标志码:**A

## 0 引言

风险感知是指人们对某个特定风险的特征和严重性所做出的主观判断,是测量公众心理恐慌的重要指标<sup>[1]</sup>,其作为灾害风险管理的一环越来越受到决策者重视,成为灾害风险研究的前沿和热点之一<sup>[2]</sup>。已有文献证实自然灾害风险感知水平显著影响着对风险的防范行为<sup>[3-5]</sup>。在自然灾害面前,居民既是承灾体,又是减灾政策和措施的具体执行者,居民减灾行为的积极性取决于对灾害风险的感知判断,故提高防灾意识、增强风险感知是减小灾害损失的重要途径<sup>[6-7]</sup>。了解城市居民对自然灾害的风险感知有助于培养居民的风险意识,促使其有效参与自然灾害风险管理与适应<sup>[3]</sup>。

汶川地震发生以来,学者们开始关注公众的地震灾害风险感知与面对灾害的适应行为。苏桂武等就四川德阳民众层面的地震灾害认知和响应特点进行实证研究<sup>[4]</sup>;苏筠等以新疆乌鲁木齐、喀什地区为例,进行公众震灾风险感知影响因素研究,并提出相应的减灾对策、建议<sup>[5]</sup>;魏本勇等从生计资本的角度出发,对2007年云南宁洱6.4级地震灾区农村家庭的生计脆弱性进行调查分析,提出降低家庭生计风险,应对地震灾害冲击的对策建议<sup>[8]</sup>。以往的研究多是围绕地震灾区或多震区进行,对特大城市居民的地震灾害风险感知研究较少。为此,笔者以天津市居民为研究对象,在

构建地震风险感知概念模型的基础上,对16个市辖区居民的地震灾害风险感知水平及其影响因素进行研究。

## 1 研究方法

### 1.1 调研设计

人们对风险认知主要有直觉获取、认识加工、思维应用三个步骤,形成对灾害事件风险性的主观判断<sup>[9]</sup>。Slovic等通过因素分析方法发现风险认知的两个重要维度,一个是忧虑风险(Dread Risk),该因素与风险的灾难性和不可控程度相联系;另一个是未知风险(Unknown Risk),代表风险的可知性程度。其认为影响个体风险感知的因素较多,如个体特征、信任程度、经验与风险经历、风险的性质、知识结构等<sup>[10]</sup>。SIEGRIST等认为对风险感知产生重要影响的因素主要包括三大类:风险感知者特征、危险的特征和风险判断决策倾向<sup>[11]</sup>。本文综合以上研究,构建地震灾害风险感知影响因素的研究框架(见第42页图1)。

在风险熟悉程度方面,Kaspersom认为风险的熟悉性指人们对风险经验、风险方面的知识了解程度<sup>[12]</sup>。Okaka等研究家庭对洪水灾害风险的认知发现,洪水经验、洪水知识教育与洪水风险感知密切相关<sup>[13]</sup>。戴薇对广州居民的自然灾害风险感知研究发现,公众对灾害的熟悉程度越高,对风险的感受程度越低,可接受度越高<sup>[14]</sup>。本文研究的对地震灾害熟悉程

收稿日期:2023-04-03

基金项目:中国地震局三结合项目(3JH-202302021)。

第一作者简介:张孟怡(1989—),女,天津市人,硕士研究生,工程师,主要从事地震灾害风险防治方面研究,E-mail:housianda718@126.com。

通讯作者:王萍(1989—),女,天津市人,硕士研究生,高级工程师,主要从事防震减灾科学普及、新媒体传播工作,E-mail:sansejintpp@163.com。

度与 Slovic 提出的未知风险相对应,主要调查居民对地震灾害属性的感知,包括成灾机理、居住地活动断层分布的了解程度,灾害发生可能性的判断情况等。在风险控制程度方面,Slovic 发现风险的可控程度反映人们对风险的主观认知,反映自身控制风险造成损失的能力大小,对风险事件掌控力越高,风险感知水平越低<sup>[16]</sup>。时勤等对 SARS 风险感知的研究发现,风险控制程度负向影响公众风险感知<sup>[15]</sup>。李盈霞对福建地区民众的台风风险感知研究发现,公众对台风的控制程度对风险感知有明显的负向影响,控制程度越高,风险感知水平越低<sup>[16]</sup>。由于地震灾害的特殊性和目前地震预报的困难性,本文研究的控制程度与前文的忧虑风险相对应,主要调查居民对地震预警、地震灾害工程性防御与非工程性防御的了解程度及其有效性的判断。在权威信任程度方面,居民对地震灾害的知识和经历有限,当对于风险的判断无法依靠自身知识结构决定时,灾害管理部门以及权威专家的影响就显得至关重要。在新冠疫情常态化防控阶段,政府对疫情风险的有效回应显著提升了公众对政府防控能力的信任水平,公众的风险感知有所降低<sup>[17]</sup>。苏筠等在对公众防洪工程减灾效果的风险感知研究中发现,公众对工程和工程实施管理部门越信任,感受到的风险越低<sup>[18]</sup>。本文研究的对权威信任程度方面主要包括居民对所居住地区组织救援能力的评价及对权威专家的信任程度等。在灾害适应行为方面,苏桂武等通过调研指出,民众的地震灾害感知程度好,应对行为更加积极、合理<sup>[4]</sup>。黄晓莹研究台风灾害风险感知得出,风险感知因子能够显著正向影响居民的个人适应行为响应<sup>[3]</sup>。本文研究的灾害适应行为主要包括居民对防震减灾宣传与应急演练的参与度及参加地震巨灾保险的意愿等。居民对灾害的适应行为会直接影响本地区的受灾情况及灾后救援,在探究灾害风险感知与行为之间的相互作用机制的同时,还应关注其他影响因素同适应行为之间的关系。

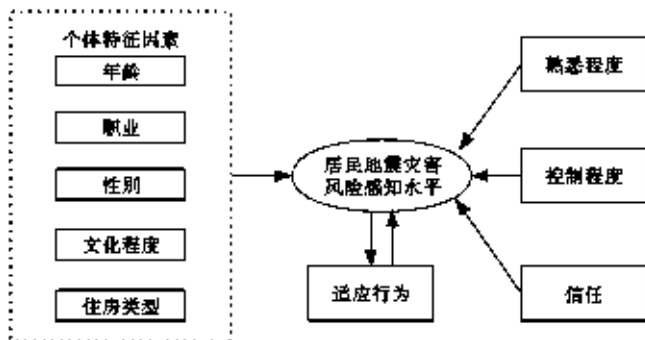


图1 地震灾害风险感知影响因素研究框架  
Fig. 1 Research framework of influencing factors on earthquake disaster risk perception

综上所述,通过参考之前文献和设计理论框架,从熟悉程度、控制程度、信任以及适应行为研究个体处于地震灾害风险环境中的感知情况及互相影响机制。基于此提出以下研究假设:

H1 代表居民对地震灾害风险的熟悉程度负向影响风险感知;H2 代表居民对地震灾害风险的可控程度负向影响风险感知;H3 代表居民对灾害权威信息的信任程度负向影响风险感知;H4 代表风险感知水平正向影响居民对于地震灾害的应对行为。

1.2 问卷调查

风险感知研究领域中首要解决的问题是研究对象信息和数据的获取,调查问卷是社会学研究中十分流行与基础的调查工具。在自然灾害风险感知的研究中,有多名学者通过调查问卷获取公众对火山爆发、海啸、地震和洪水等灾害的了解程度、预防措施等风险感知特征<sup>[1]</sup>。

本文以地震灾害风险感知影响因素的研究框架图1为基础,设计调查问卷,共分个人特征、地震灾害熟悉程度、地震灾害控制程度、权威信任程度、居民适应行为五个模块。问卷设纸质问卷(老年群体)、电子问卷,两种形式调查的问题一致。调查覆盖天津市的16个辖区,共发放问卷320份,收回有效的309份,有效率达96.6%。通过 spss24.0 的描述性分析对人口学变量进行研究,结果如表1所示。

表1 有效调查问卷的参与对象特征及分布  
Table 1 Characteristics and distribution of participants in the valid questionnaire survey

人口学变量	分类	数量	占比(%)
性别	男	184	59.5
	女	125	40.5
年龄段	25岁以下	44	14.2
	25-35岁	112	36.2
	36-45岁	102	33.0
	46-55岁	36	11.7
	55岁以上	15	4.9
文化程度	初中及以下	14	4.5
	高中或中专	27	8.7
	大专或高职	61	19.7
	大学本科	142	46.0
	硕士及以上	65	21.0
职业	机关事业单位	82	26.5
	企业	151	48.9
	个体经营者	50	16.2
	老师	13	4.2
	退休人员	13	4.2
住房结构与类型	砖混结构	175	56.6
	框架结构	57	18.4
	框架-剪力墙结构	21	6.8
	砖木结构	5	1.6
	不确定	51	16.5

## 2 调查结果

### 2.1 信度效度

研究中,采用克伦巴赫 $\alpha$ 系数来说明问卷的可靠性程度。通常,问卷的数据结果要有价值, $\alpha$ 系数至少在0.7以上,当高于0.8时,表明问卷有较高的信度。从表2可知,熟悉程度、控制程度、信任程度、风险感知、适应行为的 $\alpha$ 系数分别为0.877、0.828、0.853、0.911、0.867,均超过0.800,说明问卷有较高的信度。

表2 可靠性分析  
Table 2 Reliability analysis

维度	Cronbachs $\alpha$ 系数	指标数量
熟悉程度	0.877	10
控制程度	0.828	6
信任程度	0.853	3
风险感知	0.911	19
适应行为	0.867	8

表4 相关系数矩阵

Table 4 Correlation coefficient matrix

分类	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>
性别(A <sub>1</sub> )	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
年龄(A <sub>2</sub> )	-0.121	1	—	—	—	—	—	—	—	—
文化程度(A <sub>3</sub> )	0.067	-0.129	1	—	—	—	—	—	—	—
职业(A <sub>4</sub> )	0.194**	0.008	-0.505***	1	—	—	—	—	—	—
房屋结构(A <sub>5</sub> )	0.084	-0.265***	-0.045	0.013	1	—	—	—	—	—
熟悉程度(B <sub>1</sub> )	0.049	0.007	0.194**	0.139	0.081	1	—	—	—	—
控制程度(B <sub>2</sub> )	0.010	-0.050	-0.083	0.038	0.076	-0.534***	1	—	—	—
信任程度(B <sub>3</sub> )	-0.063	0.086	0.038	0.017	-0.047	-0.400***	0.569***	1	—	—
适应行为(B <sub>4</sub> )	-0.018	0.078	-0.082	0.097	0.003	0.544***	-0.704***	-0.583***	1	—
风险感知(B <sub>5</sub> )	0.001	-0.129	-0.274***	0.075	0.045	0.515***	-0.446***	-0.277***	0.438***	1

注:\*\*\*:  $p < 0.001$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*:  $p < 0.05$

(1) 熟悉程度与控制程度呈负相关,  $r = -0.543$ ,  $p < 0.001$ ; 与信任程度呈负相关,  $r = -0.400$ ,  $p < 0.001$ ; 与适应行为呈正相关,  $r = 0.544$ ,  $p < 0.001$ ; 与风险感知呈正相关,  $r = 0.515$ ,  $p < 0.001$ 。

(2) 控制程度与信任程度呈正相关,  $r = 0.569$ ,  $p < 0.001$ ; 与适应行为呈负相关,  $r = -0.704$ ,  $p < 0.001$ ; 与风险感知呈负相关,  $r = -0.446$ ,  $p < 0.001$ 。

(3) 信任程度与适应行为呈负相关,  $r = -0.583$ ,  $p < 0.001$ ; 与风险感知呈负相关,  $r = -0.277$ ,  $p < 0.001$ 。

(4) 适应行为与风险感知呈正相关,  $r = 0.438$ ,  $p < 0.001$ 。

### 2.2.2 多元回归分析

在 spss24.0 环境下采用向前逐步回归的多元线

性回归模型,分析影响地震灾害风险感知的因素,回归模型为:

表3 KMO 和 Bartlett 检验

Table 3 KMO and Bartlett's test

指标	近似卡方值	自由度	KMO 统计量	显著性
问卷值	5 042.671	451	0.953	0.000

### 2.2 假设检验

#### 2.2.1 相关分析

运用皮尔逊相关法对人口学变量、熟悉程度、控制程度、信任程度、适应行为、风险感知进行相关分析(见表4)。

性回归模型,分析影响地震灾害风险感知的因素,回归模型为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon_i$$

式中:因变量  $y$  表示居民对地震灾害风险的感知水平;  $x_i$  表示影响居民感知水平的自变量;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  为回归系数,表示自变量  $x_i$  对  $y$  的贡献率;  $\varepsilon$  表示随机误差或其他因素变化引起  $y$  的线性变化部分。

为明确各因素对风险感知的影响方向及程度,以人口学因素为自变量,以风险感知为因变量,建立模型1;以风险感知为因变量,分别以人口学因素和熟悉程度为自变量、以人口学因素和控制程度为自变量、以人口学因素和信任程度为自变量建立模型2、3、4。在控制人口学因素后,采用 spss24.0 进行多元回归分析检验,结果如第44页表5所示。

表5 熟悉程度、控制程度、信任程度对风险感知的回归分析汇总

Table 5 Regression analysis summary of familiarity, controllability, and trust on risk perception

变量		被解释变量(风险感知)			
		模型1	模型2	模型3	模型4
控制变量	性别	-0.008	-0.031	0.018	0.020
	年龄	-0.169*	-0.173**	-0.154*	-0.199**
	文化程度	-0.277**	-0.194**	-0.303***	-0.330***
	职业	0.038	0.018	-0.083	0.001
	住房结构与类型	-0.012	-0.046	-0.043	-0.009
解释变量	影响因素		0.461*** (熟悉程度)	-0.0436*** (可控程度)	-0.324*** (信任程度)
	F	4.468**	15.368***	12.505***	8.281***
	R2	0.104	0.324	0.281	0.206
	调整R2	0.081	0.303	0.259	0.181
	VIF	VIF<10	VIF<10	VIF<10	VIF<10

注:\*\*\*, p<0.001, \*\* ,p<0.01, \* ,p<0.05

(1) 熟悉程度对风险感知的回归分析。

调整 R2 为 0.303, 回归方程能够解释总变异的 30.3%,  $F=15.368, p<0.001$ , 说明回归方程是显著的。VIF 值均小于 10, 说明不存在多重共线性。通过表 5 的回归系数检验可知, 在剔除人口学控制变量影响后, 熟悉程度能正向预测风险感知,  $\beta=0.461, p<0.001$ , 即熟悉程度越高, 可预期的风险感知水平越高, 未支持原假设。

(2) 控制程度对风险感知的回归分析。

调整 R2 为 0.259, 回归方程能够解释总变异的 25.9%,  $F=12.505, p<0.001$ , 说明回归方程是显著的。VIF 值均小于 10, 说明不存在多重共线性。通过表 5 的回归系数检验可知, 在剔除人口学控制变量影响后, 可控程度能负向预测风险感知,  $\beta=-0.436, p<0.001$ , 即控制程度越高, 可预期的风险感知水平越低, 验证了假设 H2。

(3) 信任程度对风险感知的回归分析。

调整 R2 为 0.181, 回归方程能够解释总变异的 18.1%,  $F=8.281, p<0.001$ , 说明回归方程是显著的。VIF 值均小于 10, 说明不存在多重共线性。通过表 5 的回归系数检验可知, 在剔除人口学控制变量影响后, 信任程度能负向预测风险感知,  $\beta=-0.324, p<0.001$ , 即信任程度越高, 可预期的风险感知水平越低, 验证了假设 H3。

(4) 风险感知对应对行为的回归分析。

从上述的相关分析可知, 风险感知与应对行为呈正相关, 为明确风险感知对应对行为的影响方向及程度, 以人口学因素为自变量, 以应对行为为因变量, 建立模型 5; 以人口学因素、风险感知为自变量, 以应对行为为因变量, 建立模型 6。在控制人口学因素后, 得出风险感知对应对行为的影响。采用 spss24.0 的全部进入法进行多元回归分析检验, 结果如表 6 所示。

在控制人口学因素影响后, 调整 R2 为 0.223, 回

归方程能够解释总变异的 22.3%,  $F=10.474, p<0.001$ , 说明回归方程是显著的。VIF 值均小于 10, 说明不存在多重共线性。通过表 6 的回归系数检验可知, 在剔除人口学控制变量影响后, 风险感知能正向预测应对行为,  $\beta=0.469, p<0.001$ , 即风险感知水平越高, 可预期的应对行为越多, 验证了假设 H4。

表6 风险感知与应对行为的回归分析

Table 6 Regression analysis of risk perception on coping behavior

变量		被解释变量(应对行为)	
		模型5	模型6
控制变量	性别	-0.059	-0.055
	年龄	0.083	0.163*
	文化程度	0.052	0.181*
	职业	0.234**	0.216**
	住房结构与类型	0.029	0.035
解释变量	风险感知	—	0.469***
	F	2.007	10.474***
	R2	0.049	0.247
	调整R2	0.025	0.223
	VIF	VIF<10	VIF<10

3 分析与讨论

本研究从地震灾害熟悉程度、地震灾害控制程度、权威信息信任程度及居民适应行为四个维度分析特大城市地震灾害风险感知情况, 明确各因素间的内在联系。

(1) 在个人统计因素方面。

运用 spss24.0 独立样本 t 检验、单因素方差分析对不同性别、年龄、文化程度、职业、住房结构与类型的风险感知进行差异检验发现, 除文化程度因素外得分均不存在显著差异,  $p>0.05$ ; 不同文化程度的风险感知得分差异显著,  $F=5.424, p<0.001$ 。进行事后多

重比较(LSD)发现,初中及以下人群的风险感知得分最高,明显高于高中或中专人群的;高中或中专人群的风险感知得分明显高于大专或高职、大学本科、硕士及以上人群的,后三者的风险感知得分差异不明显。有研究发现,具有较高科学推理能力的人有可能趋向于根据科学证据来感知风险<sup>[11]</sup>,天津市自1976年唐山大地震后未发生和经历过破坏性地震,很难让高学历者通过科普讲座、新闻报道等形式提升对地震灾害严重程度的感知,且高学历者对信息认知及加工能力相对较强,了解渠道多样化,主观上接受地震灾害风险能力较强。此前有资料显示女性比男性脆弱,更容易受到灾害的影响产生恐惧心理,但此次调查显示性别差异在面对这种灾难时的区别不大。因此在日常宣传和地震应急过程中,对民众性别无需区别对待。

#### (2) 居民对地震灾害的熟悉程度与风险感知。

对于熟悉程度的研究结果并未支持原研究假设。笔者推测公众对地震成灾机理、居住地活动断层情况等灾害属性知识越了解,对地震灾害风险感知的水平越高。在调查区域,通过调查数据可知,居民的地震经历较少,85.11%的受访者未经历过地震灾害,其余有过地震灾害经历的多数是1976年唐山大地震的亲历者。当时我国的抗震设防水平不高,公众的防灾减灾意识普遍薄弱,震后的场景依然历历在目,亲历者的关注点多集中在地震灾害导致的严重后果上,因此容易对地震灾害产生恐慌心理。对地震灾害属性了解越多,对地震灾害的关注度越高。调查中,有过破坏性地震灾害经历的受访者,19.09%认为其所居住的地区发生破坏性地震的可能性很小甚至没有;没有过破坏性地震灾害经历的受访者中,40.12%认为可能性很小甚至没有。

#### (3) 居民对地震灾害风险的控制程度与风险感知。

公众认为由地震灾害产生的损失越可控,感受到的地震灾害风险就越低,反之则越高。地震预报依旧是世界难题,公众对何时发生地震以及发生多大地震无法得知,由地震造成的影响也无法有效避免,尤其是在特大城市中,公众的工作和生活场景大多在建筑物中。本调查88.99%的受访者认同“地震不可避免,但是可以通过抗震设防减轻灾害损失”这个观点,84.79%的受访者表示对自身居住的房屋抗震性能有信心。这反映了公众认同地震发生无法控制,但地震的风险在一定范围内可控。

#### (4) 居民对地震灾害的信任程度与风险感知。

对地震的各种防范和救援信息显示,政府和社会抗震救灾、减少人员伤亡和安置受灾群众的有力举措,可以增加人们的安全感。政府的防范措施影响越大,越能降低风险感知<sup>[12]</sup>。在信任程度调查中,有88.67%的受访者表示不会相信非官方渠道发布的有关地震预报信息,77.67%的受访者表示对所居住地区

的震后救援有信心。这说明调查区域中的公众对权威信息比较信赖,官方渠道发布信息的及时性和透明度有助于提升公众对权威信息的信任程度。在应对行为的调查中,近半数的受访者对是否会购买“巨灾保险”持不确定态度,这从某种程度上也体现出公众认为降低地震灾害风险的主体责任在于政府。要提高全社会的防震减灾能力,根本还是要提高居民自身对灾害风险的应对能力,将灾害带来的损失降至最低。

#### (5) 风险感知水平与居民对地震灾害的应对行为。

由数据分析结果可知,风险感知水平越高,公众采取的应对行为越丰富,反之则越少。调查显示,70.22%的受访者不知道距离居住地最近应急避难场所的位置,半数受访者表示没有必要购买“巨灾保险”,且对未来是否购买“巨灾保险”持不确定态度。约60.52%的受访者参加过防震减灾知识科普宣传,有1.29%的受访者认为组织市民进行地震应急演练没有必要,有78.90%的受访者表示自己或者家人没有参加过任何形式的地震应急演练。当被问及家中是否准备防灾救灾物品时,68.90%的受访者表示家中没有准备。这说明,公众对地震灾害的应对行为倾向于依赖政府或社会集体的组织,可能原因是采取个人行为需要投入更多时间和资金成本。

## 4 结论与建议

居民对灾害的熟悉程度正向影响地震灾害风险感知,居民对灾害的控制程度、对灾害权威信息的信任程度负向影响地震灾害风险感知,风险感知水平正向影响居民对地震灾害的应对行为。除学历水平外,个体因素差异对地震灾害风险感知水平影响不明显;居民对灾害权威信息比较信赖,对地震灾害的应对行为倾向于依赖政府或社会集体的组织,对开展地震应急演练的意愿强烈。基于以上结论提出如下工作建议:

(1) 加强重点工作的宣传力度。调查发现民众对“地震烈度速报与预警工程”和“地震灾害风险普查和地震易发区房屋设施加固工程”的知晓度不高,说明在该方面的宣传欠缺,应提高地震科普工作的针对性,围绕重点工程、应用成果策划开展专题科普活动。

(2) 利用社区资源开展地震应急演练。要注重演练的实效,模拟震时场景,针对应急演练反映出来的问题,及时复盘并不断修改、完善应急预案。社会公众只有多参与,才能在地震灾害面前从容应对。

(3) 结合公众需求,提高地震科普工作的实效性。持续开展公共服务需求调查研究,围绕公众最关注的知识领域,利用公众喜爱的科普形式,开展科普作品创作。通过举办社会性的地震科普,广泛动员和邀请社会公众参与,提高地震科普的互动性和参与性。

(4) 建设地震科普体验基地。尤其在少震地区,让公众对地震灾害有感官上的认识和体验,不要仅停



留在影像资料和书籍中。在科普讲座中,侧重讲解各类场景在震时的应急避险案例,将公众的注意力从对地震灾害的严重后果转移到掌握行之有效的避险技能上。

### 参考文献:

- [1] 周忻,徐伟,袁艺,等.灾害风险感知研究方法与应用综述[J].灾害学,2012,27(2):114-118.
- [2] 贾宁.公众对地震灾害风险感知的影响因素研究[D].西安,西北大学,2017.
- [3] 黄晓萱,徐慧,温家洪,等.上海市居民对城市暴雨内涝的风险感知与适应行为研究[J].灾害学,2022,37(1):192-198,219.
- [4] 苏桂武,马宗晋,王若愚,等.汶川地震灾区民众认知与响应地震灾害的特点及其减灾宣教意义,以四川省德阳市为例[J].地震地质,2008,30(4):877-894.
- [5] 苏筠,尹衍雨,高立龙,等.影响公众震灾风险认知的因素分析,以新疆喀什,乌鲁木齐地区为例[J].西北地震学报,2009,31(1):51-56.
- [6] GROTHMANN T, REUSSWIG F. People at risk of flooding: Why some residents take precautionary action while others do not[J]. Natural Hazards, 2006, 38: 101-120.
- [7] BUBECK P, BOTZEN W J W, AERTS J C J H. A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior[J]. Risk Analysis: An International Journal, 2012, 32(9): 1481-1495.
- [8] 魏本勇,苏桂武,吴琼,等.农村家庭认知与响应地震灾害的特点及其家庭际差异,以2007年云南宁洱6.4级地震灾区为例[J].自然灾害学报,2012,21(4):116-124.
- [9] 苏飞,殷杰,何超,等.国际洪灾风险感知研究的文献计量分析[J].灾害学,2016,31(4):145-149.
- [10] Slovic P. Perception of risk[J]. Science, 1987, 236(277): 280-285.
- [11] 王初,殷杰.上海市居民洪涝灾害风险感知及其影响因素研究[J].灾害学,2022,37(4):149-154.
- [12] 刘金平.理解沟通控制公众的风险认知[M].北京:科学出版社,2011.
- [13] FREDRICK Okoth Okaka, BENEAH Odhiambo. Households' perception of flood risk and health impact of exposure to flooding in flood-prone informal settlements in the coastal city of Mombasa[J]. International Journal of Climate Change Strategies and Management, 2019, 11(4): 592-606.
- [14] 戴薇.广州居民灾害风险感知研究[D].兰州:兰州大学,2014.
- [15] 时勤,范红霞,贾建民,等.我国民众对SARS信息的风险认知及心理行为[J].心理学报,2003(4):546-554.
- [16] 李盈霞.公众对台风灾害的风险感知应对行为研究[D].成都:西南交通大学,2012.
- [17] 祝哲,张楠,张静,等.新冠肺炎疫情中政府信任如何影响公众风险感知?—媒介依赖的调节作用[J].公共管理评论,2022,4(3):47-69.
- [18] 苏筠,刘南江,林晓梅.社会减灾能力信任及水灾风险感知的区域对比—基于江西九江和宜春公众的调查[J].长江流域资源与环境,2009,18(1):92-96.

## Research on the Perceived Earthquake Disaster Risk and Influencing Factors among Residents in Megacities: A Case Study of Tianjin City

ZHANG Meng-yi, WANG Ping, LI Yue, ZHANG Nan

(Tianjin Earthquake Agency, Tianjin 300201, China)

**Abstract.** Understanding the level of residents' perceived earthquake disaster risk and its influencing factors is of great significance for enhancing public awareness and skills in earthquake prevention and disaster reduction. This article presents four hypotheses regarding the perceived earthquake disaster risk and constructs a theoretical model. A questionnaire survey is conducted to investigate the earthquake disaster risk perception among residents in Tianjin City. By employing methods such as correlation analysis and regression analysis, the study explores the influencing factors and validates the credibility of the hypotheses, providing relevant recommendations. The analysis results indicate that familiarity with disasters positively influences the perceived earthquake disaster risk, while perceived controllability of disasters and trust in authoritative disaster information negatively influence the perceived risk. The level of risk perception positively affects residents' coping behavior in response to earthquake disasters. Apart from educational differences, the variations in other factors have insignificant effects on the level of earthquake disaster risk perception among individuals. Residents have a strong reliance on authoritative disaster information and tend to rely on the government or social collective organizations for their coping behavior in earthquake disasters, showing a strong willingness to participate in earthquake emergency drills.

**Key words:** Earthquake disaster; Risk perception; Megacity

· 地震标准 ·

文章编号:1000-8265(2023)02-0047-03

# 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<sup>1,2</sup>, 王霞<sup>1,2</sup>, 张梅<sup>3</sup>, 陈慧<sup>1,2</sup>, 郭文峰<sup>1,2</sup>, 李艳<sup>1,2</sup>

(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;  
3. 临汾市防震减灾中心, 山西 临汾 041000)

**摘要:** 文章结合《地震宏观观测技术规范》编制的背景、过程, 对相关技术内容的确定及其原则进行阐述。围绕地震宏观观测异常能够在震前“测得到、报得出”的根本要求, 对《规范》的全部条文尤其是地震宏观观测报点的选址、建设、观测条件以及异常核实、上报、响应等方面进行重点解读。

**关键词:** 地震; 宏观观测; 短临异常; 地方标准

**中图分类号:** P315.09 **文献标志码:** A

## 0 引言

群测群防是我国地震工作的特色之一, 以地震宏观观测为主的群测群防工作是整个防震减灾工作的重要组成部分。我国现代地震预报实践表明, 有的地震在震前存在大量的宏观异常, 地震宏观观测在多次成功地震预报中发挥了不可取代的作用。根据地震现场考察结果, 很多中强地震前, 如1976年云南龙陵7.3、7.4级地震, 1994年台湾海峡7.3级地震, 1998年云南宁蒗6.2级地震, 1999年台湾7.6级地震和2000年云南姚安6.5级地震等, 都有不同程度的宏观异常出现。这些宏观异常的收集报送主要靠群测群防队伍, 地震宏观观测报点在短临预报中起到重要的作用。

2009年5月1日开始施行的《中华人民共和国防震减灾法》中提出, 国家鼓励、引导社会组织和个人开展地震群测群防活动, 对地震进行监测和预防。从国家法律层面对群测群防工作予以肯定。2021年2月山西省地震标准化小组同意编制《地震宏观观测技术规范》(以下简称《规范》)后, 山西地震台成立起草组, 开展基础资料收集、调研咨询等工作, 确定主要的编写内容。起草组在征求中国地震局和省内外专家意见的基础上, 先后在相对多震和少震的地市展开实地调研, 召开座谈会, 讨论《规范》相关内容。根据调研讨论情况, 结合地市征求反馈意见, 多次对《规范》内容进行修改完善。2021年11月至12月, 山西省市场监督管理局2次组织地震系统内外专家对《规范》文本进行审查, 2022年1月正式颁布。

## 1 编制背景

地震宏观观测是地震监测预报的基础性工作, 是我国防震减灾工作的重要组成部分, 在防御与减轻地震灾害工作中起着重要的作用, 特别是在地震短临预报方面。

### 1.1 法律要求

《中华人民共和国防震减灾法》第八条“…国家鼓励、引导社会组织和个人开展地震群测群防活动, 对地震进行监测和预防。…”; 第三十条规定“…地震重点监视防御区的县级以上地方人民政府负责管理地震工作的部门或者机构, 应当增加地震监测台网密度, 组织做好震情跟踪、流动观测和可能与地震有关的异常现象观测以及群测群防工作”。以上法律条文均对以宏观观测为主的群测群防工作提出要求。

### 1.2 新时期防震减灾工作要求

党的十八大以来, 习近平总书记就防灾减灾救灾发表系列重要论述, 多次对防震减灾做出重要指示批示, 提出“两个坚持、三个转变”新理念, 明确要求坚持预防为主、防抗救相结合, 从源头上防范化解重大地震灾害风险, 最大限度减少地震灾害损失。

2021年1月5日, 中国地震局印发“关于印发《中国地震局党组关于进一步加强地震监测预报工作的实施意见》的通知”(中震党发[2021]1号), 对新时期地震监测预报工作提出新的要求, 其中在“创新群测群防工作”中强调要加大“专群结合”工作力度, 健全完善新时代群测群防工作机制。

2021年8月18日, 山西省地震局、山西省发展和改革委员会联合印发《山西省“十四五”防震减灾规划》

收稿日期: 2022-11-09

基金项目: 中国地震局震情跟踪项目(2022010216; 2022010118), 山西省地震局科研项目(SHK-2121, SHK-2121-02)共同资助。

第一作者简介: 闫计明(1968—), 男, 天津市人, 高级工程师, 主要从事地磁地电和地震预报等研究工作, E-mail: jimiyan@163.com。

(晋震发[2021]69号),文件明确以“防大震、减大灾、抗大震、救大灾”作为“十四五”期末的发展目标。同时在“夯实地震监测预报预警业务基础”主要任务中提出,要完善群测群防工作体系,健全省、市、县紧密衔接的宏观异常报送与核实机制,充分发挥新时代群测群防在地震短临预报中的作用。

这些举措都充分体现了新时期防震减灾事业“以防为主”的工作要求,各级政府和地震主管部门要牢牢坚持“人民至上、生命至上”理念,始终把人民生命安全放在首位。

### 1.3 地震短临预测要求

我国现代地震监测预报实践表明,地震前存在大量的宏观异常,地震宏观观测在多次成功预报中发挥了不可替代的作用。一是表现在业务层面。首先,地震宏观异常是短临性质的异常,异常出现距发震时间一般在几分钟到几天;其次,发震地点一般在宏观异常集中的区域;第三,震级与异常范围密切相关,异常范围越大,未来震级可能也越大,一般在6级以上。二是宏观观测的投入小,减灾效益明显,管理到位可以长期坚持。

## 2 编制原则和技术内容

### 2.1 编制原则

地震宏观观测的目的是为大震短临预测服务。结合大震前地震宏观异常出现的规律和大量震例总结的经验,本《规范》技术内容范围的确定原则包含两方面。一是力争大震前宏观异常可以“测得到”。这就要求地震宏观观测报点的建设要科学规范。体现在地震宏观观测报点的选址、间距,地震宏观观测类型以及条件等方面,是《规范》第四章和第五章的主要内容。二是保证异常信息“报得出”。即对观测或收集到的地震宏观异常能够在第一时间向相关地震主管部门上报。同时,由于单一、孤立的地震宏观异常受主客观因素影响较大,与地震对应率很低,因此在地震宏观异常核实过程中,要科学、严谨,切忌不经现场核实调查就盲目下结论。《规范》第六章主要对异常响应、异常核实结果上报以及异常核实工作内容进行规定。

在《规范》的起草过程中,坚持先进性、科学性、可操作性、实用性相统一的原则,严格执行《标准化工作导则第1部分:标准的结构和编写》GB/T 1.1—2020等有关标准编写方面的规定。做到技术内容的叙述正确无误,文字表达准确、简明、易懂,结构严谨合理,内容编排、层次划分等符合逻辑与规定。

### 2.2 相关技术内容的确定

《规范》的技术内容涉及场址选择、台网间距、信息上报三方面。

(1) 场址选择。在选址要求中,第1条提出选址应科学合理,遵循地震宏观异常的成因。这一条是地

震宏观观测报点选址的原则和根本,其余3条针对不同类型的观测对象提出具体的要求。

(2) 台网间距。一是考虑在地震重点监视防御区或地震多发区,保证有一定数量的地震宏观观测报点能够出现异常(同时群体异常也有助于甄别干扰);二是考虑台网间距要与各地的财力水平、人力资源和管理能力相适应,保证地震宏观观测报点的长期稳定运行。

(3) 信息上报。在地震宏观异常信息上报时间的要求方面,核心就是要“快”。即对观测或收集到的地震宏观异常能够在第一时间向相关地震主管部门上报。地震宏观异常是短临性质的异常,在《规范》中,对首次发现地震宏观异常响应时间和现场核实结束后口头上报结论的时间都规定在30分钟之内。针对不同性质的异常,对牵头组织单位到达现场进行异常核实时间也予以明确规定。

## 3 条文解读

### 3.1 框架结构及内容

《规范》分前言、正文、附录三部分。正文分为六章:第一章 范围;第二章 规范性引用文件;第三章 术语和定义;第四章 地震宏观观测报点建设;第五章 地震宏观观测类型及条件;第六章 地震宏观异常核实。

### 3.2 正文主要内容解读

第一章规定《规范》的主要内容和适用范围。

第二章列出《规范》引用的文件及其条款。

第三章对《规范》涉及的术语进行定义。其中,定义三类性质地震宏观异常主要是依据宏观异常的数量、规模及异常范围,目的是一旦出现地震宏观异常,按照不同性质,牵头单位和处置时间要求不相同。另外,对“地震宏观观测报点”进行定义,除从事日常宏观观测外,强调新时期地震宏观观测报点也有“异常信息上报”的职责。

第四章主要包含六方面内容。4.1是申报、批准。按照要求,首先要个人申报,经县或市级地震主管部门审查,在场址、布局和观测条件及类型符合要求的情况下批准,同时要填写《地震宏观观测报点申请表》。需要强调的是,填写此表,要按照要求填写,尤其是宏观观测报点的地形地貌基本情况、观测对象类型、数量及周边环境条件是宏观观测报点主要信息,要认真、如实填写。4.2是选址。对宏观观测报点的选址提出4条要求,总的原则是遵循地震宏观异常的成因,科学合理<sup>[1]</sup>。4.3是间距。根据山西地质地貌特点,宏观观测报点间距要求共2条。在构造盆地和构造隆起区布设测点时,间距要求为10 km和20 km,同时,考虑全国地震重点监视防御区的工作要求,在上述两类地区布点要进一步加强至8 km和10 km。4.4是对地震宏观观测报员的6条要求,包含任职条件、日常工作职责以及异常应对等。在日常工作中,规定地震宏观观测报员要每日填写

《地震宏观观测异常观测日志》,表格按要求填写一次,时间应相对固定。4.5是退出。规定地震宏观观测点实行动态管理,如不满足观测要求应及时清退。4.6是其他。在现今条件下,鼓励地震宏观观测点采用网络化、实时化、智能化的监控设备,实现宏观异常观测无死角,提高宏观异常上报时效性。

第五章主要包含两方面内容。5.1是类型及要求,分别规定固定场所和不具备固定场所的宏观观测类型。同时规定,在同一个区域观测类型应多样化,同一个测点的观测类型宜多种,同一种观测对象应满足数量要求。5.2是条件,对动物、植物、地下水和其他四类观测对象规定相应的条件。对于动物,主要是满足数量和活动场地要求,对于鱼类等水生动物,鱼塘周边应有相对独立的生态系统,对于植物,种类应在5种及以上,而且要常年固定观测;对于地下水观测,观测的水井要日常使用且肉眼可直接观察到水位、水温或水质的变化情况;对于其他无固定场所的观测对象,要求靠近活动断层及其附近区域<sup>[2]</sup>。

第六章包含四方面的内容,主要是:6.1异常种类,列出6类异常及其表现形式。6.2异常响应,主要是对不同类型的异常响应时间和牵头主体进行规定。需要特别强调的是,无论哪一种类型的地震宏观异常,地震宏观观测报员都要在异常出现后30 min内向县一级地震主管部门报告,同时填写《地震宏观观测报点异常报送信息表》。县一级地震主管部门接到报告后,2 h内到达现场,开展先期异常核实工作。6.3结果报送,主要指报送时间。现场核实工作结束后30 min内要将初步核实结果报送上一级地震主管部门,书面报告在现场核实工作结束后5 d内按要求报送。6.2和6.3

重点是强调异常响应时间和结果上报时间,要“快”,主要由地震宏观异常的短临性质决定。6.4地震宏观异常核实报告内容,主要由概述、地震宏观异常调查分析、结论与建议、参加单位及人员和参考文献五部分组成,最重要的是第二部分地震宏观异常调查分析,是最终结论的依据所在,主要工作应集中在这一部分。这些要求从形式上规范了地震宏观异常核实报告的编写内容。

#### 4 结语

制定《规范》的目的是进一步科学规范山西地震宏观观测点的建设、管理以及异常核实、信息报送等工作,为地震短临预测工作提供重要判据,最大限度地发挥减灾实效,切实保护人民生命和财产的安全。

《规范》发布实施后,在部分地市开展培训,对相关市县宏观观测点的建设和运维工作进行指导,使基层地震工作者和一线宏观观测人员尽快熟悉、了解《规范》。后续将继续推动宣贯,健全完善地震宏观观测的相关制度和办法,按《规范》的要求加强地震宏观观测报点的建设与管理,为震情短临监视跟踪工作提供业务支持。

#### 参考文献:

- [1] 张艳凤,常祖峰,彭水中,等. 2014年云南盈江6.1级地震宏观异常及其与构造关联性讨论[J]. 地震研究, 2018, 41(1): 148-156.
- [2] 中国地震局监测预报司. 地震宏观异常摘编[M]. 北京: 地震出版社, 2010: 119-137.

## Standardize Macro seismic Observations of Earthquakes and Strengthen the Foundation of Short-term Earthquake Forecasting: Interpretation of *Technical Specifications for Macro seismic Observations of Earthquakes*

YAN Ji-ming<sup>1,2</sup>, WANG Xia<sup>1,2</sup>, ZHANG Mei<sup>2</sup>, CHEN Hui<sup>1,2</sup>, GUO Wen-feng<sup>1,2</sup>, LI Yan<sup>1,2</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China; 2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China; 3. Linfen Seismic Disaster Reduction Center, Linfen, Shanxi 041000, China)

**Abstract:** The background and process of compiling the *Technical Specifications for Macro seismic Observations of Earthquakes* are combined to elucidate the determination and principles of the relevant technical content. Focusing on the fundamental requirement that abnormal macro seismic observations can "be measured and reported" prior to major earthquakes, key interpretations are provided for all articles of the *Specifications*, particularly regarding the selection, establishment, observation conditions, and verification and reporting of anomalies at macro seismic observation stations.

**Key words:** Earthquake; Macro seismic observation; Short-term anomalies; Local standard

· 综述 ·

文章编号:1000-8265(2023)02-0050-04

# 山西地震应急视频会议系统发展历程

郑树平<sup>1,2</sup>, 徐博<sup>1,2</sup>, 丁小牛<sup>1,2</sup>, 程紫燕<sup>1,2</sup>

(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:** 山西地震应急视频会议系统建成近15年,覆盖全省11个市级地震部门和全部地震监测中心站,在地震应急、地震演练和召开各类会议中得到广泛应用。从2007年至今,该系统的发展经历初始阶段、规范发展阶段、成熟完善阶段和云视频阶段。本文主要阐述该系统的节点建设、组网模式、运行情况等在不同阶段的发展历程,通过分析总结得出如何用好视频会议系统,为防震减灾工作提供服务。

**关键词:** 视频会议系统;地震应急;视频节点;组网模式;云视频会议

**中图分类号:** P315.99

**文献标志码:** A

## 0 引言

山西地震应急视频会议系统始建于2007年,经过15年的发展,已经覆盖全省11个市级地震部门和全部地震监测中心站。系统实现了地震行业网、卫星网、互联网、各类专网、4G/5G等各类网络覆盖,视频会议终端、移动终端、应急通信车、无人机、手机客户端等各类终端接入。在应急处置时,山西省地震局(以下简称山西局)指挥中心、所属地震监测中心站、市级地震部门,均可通过部署在本单位的视频终端,实时进行音视频、双流的互联互通。依托移动终端、手机、无人机等设备在互联网环境下高清回传音视频画面,实现指挥中心全方位、立体化了解地震现场情况,进行综合研判、快速高效处置应急突发事件。另外,山西地震应急视频会议系统还具备接入国家级、省级视频会议系统的能力。系统正式运行以来,已经在地震应急、地震应急演练和各类重要会议中得到应用和检验。

## 1 初始阶段

2007—2010年为系统运行的初始阶段。2007年11月,山西局指挥中心建设完成应急指挥技术系统,为省政府进行地震应急、抗震救灾指挥提供指挥场所和各种必要的技术手段。指挥中心设有网络通信系统、大屏幕显示系统、音响系统、数字会议系统、视频会议系统等。同时,中国地震局(以下简称中国局)架设地震行业网,实现中国局与31个省(直辖市、自治区)

地震局互联互通,实现视频、语音和数据的共享<sup>[1]</sup>。在山西局指挥中心配置一套与中国局视频会议系统相兼容的视频终端,用于与中国局、各省(直辖市、自治区)地震局召开视频会议互联,实现点对点会议、点对多点会议、多会场同屏显示、电话加入会议、会议发言、视像采集、双流技术等。地震现场系统采用箱体式,通过卫星网,现场指挥部可实现与中国局和山西局指挥中心的视频连通。

这个阶段的视频会议系统只有山西局指挥中心和现场两个节点可以与中国局指挥中心连通,市级地震部门和地震监测中心站无视频节点(见图1)。

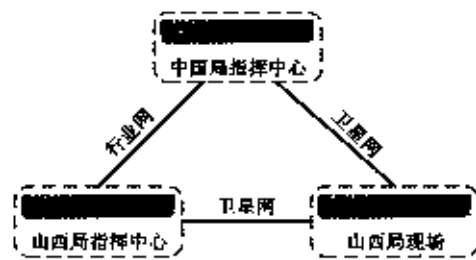


图1 2007—2010年视频会议系统网络拓扑  
Fig. 1 The network topology of the video conference system from 2007 to 2010

## 2 规范发展阶段

2011—2015年是系统的规范发展阶段。“十五”期间,山西局在市级地震部门和地震台站建设地震行

收稿日期:2022-05-30

第一作者简介:郑树平(1980—),男,山西吕梁市人,硕士研究生,高级工程师,主要从事地震应急技术研究工作,E-mail:58091881@qq.com.

通讯作者:徐博(1986—),男,山西太原市人,高级工程师,主要从事地震应急技术研究工作,E-mail:530413955@qq.com.

该文获“庆祝《山西地震》创刊50周年有奖征文活动”二等奖。

业网信息节点,为视频会议提供通信链路。2011年,分别在指挥中心、11个市级地震部门和9个地震台站部署视频会议终端,同时,在指挥中心部署一台多点控制单元(MCU)<sup>[2]</sup>。在安装过程中,对部分市级地震部门原有的会议系统进行集成,保障新旧设备的正常使用;没有会议系统的市级地震部门和地震台站使用液晶电视机或投影仪来实现视频会议的音视频输出。

地震现场系统由原先的箱体式改建为车载式,即应急通信车,支持有线、无线、卫星组网,提供数据、音频、视频传输功能,同时部署一台视频会议终端。应急通信车将室内摄像头(2个)、车顶摄像头、会议终端摄像头、单兵视频等视频源按照需要输出,完成不同的业务需求。

整个系统以山西局指挥中心为核心,通过配置的MCU,利用地震行业网连通市级地震部门和地震台站,利用卫星网连通应急通信车。搭建视频会议控制平台,实现中国局、省级指挥中心、市级地震部门、地震台站和应急通信车之间的任意多点视频会议功能。2013年6月,山西局制定《视频会议系统使用管理办法》,通过定期组织联调、纳入年度考核等方式,进一步规范和保障系统的正常运行。

2013年,在地震行业网和卫星网的基础上,山西局指挥中心布设与山西省部分省厅单位间的专网,同时在指挥中心部署一台终端,用于连通专网视频(见图

2)。系统采用背靠背模式<sup>[4]</sup>,实现专网视频与现有视频的互联互通。图3中,指挥中心终端A连通行业网和卫星网终端,终端B连通专网上的省厅单位终端,两个终端同时将信号输入到视频矩阵中。终端B将接收到的终端A远端(行业网和卫星网终端)信号传输给专网上的省厅单位终端。同理,终端A也可以将接收到的终端B远端(省厅单位终端)信号传输给行业网和卫星网终端。音频方面,终端A和B的音频输入输出均接入调音台,实现音频互通。通过上述方式,实现地震行业网、卫星网和专网三种网络之间的视频连通。

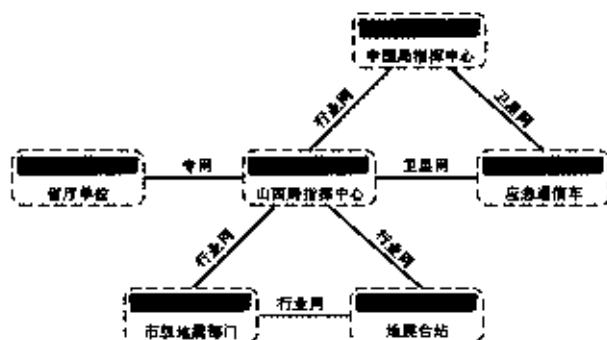


图2 2011—2015年视频会议系统网络拓扑  
Fig. 2 The network topology of the video conference system from 2011 to 2015

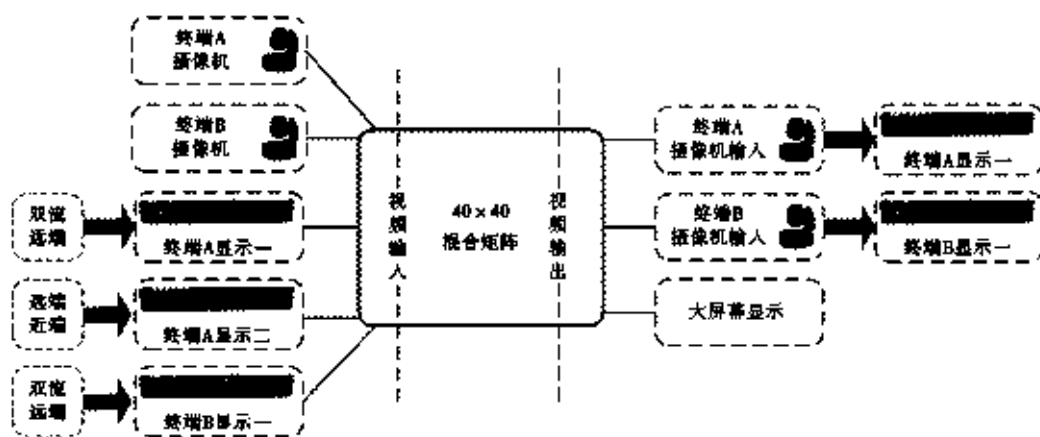


图3 背靠背工作模式  
Fig. 3 Back-to-back working mode

在规范发展阶段,山西局指挥中心、市级地震部门、地震台站、应急通信车、省厅单位之间均可通过各类网络连通。视频在专网上连通时需要先建设信息节点,视频的使用受到限制,因此,系统还需要具备接入互联网的能力。

### 3 成熟完善阶段

2016—2019年是系统的成熟完善阶段。2016年,

山西局指挥中心部署一台视频会议穿越防火墙设备,带有内网地址和外网地址。内网地址接入地震行业网,外网地址接入互联网。地震行业网上的MCU和视频终端,以及互联网上的视频终端只要完成相关参数设置,在穿越防火墙上注册成功,就能实现相互呼叫<sup>[4]</sup>。山西局指挥中心通过MCU组会,同时将地震行业网与互联网上的视频终端连通。个人手机安装视频APP,完成注册后,也可通过互联网接入山西局指

挥中心。

山西局指挥中心在2018年将视频终端升级为高清视频终端,同时在辅助大厅部署视频终端,新建若干视频会议节点,实现直属事业单位视频会议全覆盖。市级地震部门中,忻州、临汾等单位升级视频终端,临汾、晋中等单位部署MCU。县级地震部门中,临汾、运城、晋中等依托“一县一台”项目,多个县建设地震行业网信息节点并部署视频终端,实现与山西局指挥中心连通。应急通信车部署4G/5G无线路由器、无人机等设备,通过4G/5G网络,实现应急通信车视频终端、个人手机、无人机等视频信号接入山西局指挥中心(见图4)。

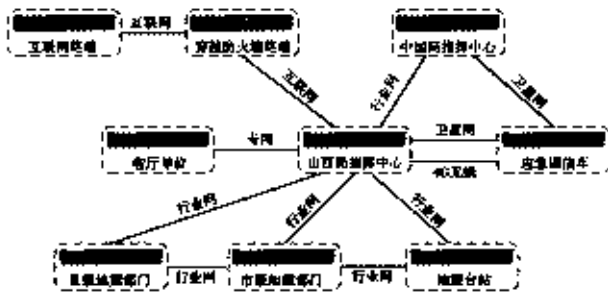


图4 2016—2019年视频会议系统网络拓扑  
Fig. 4 The network topology of the video conference system from 2016 to 2019

此阶段,视频会议节点的建设基本完成,接入网络包括各类专网、卫星网、互联网等,无人机、个人手机等便携移动设备也得到大量应用。视频会议的节点数量多、网络复杂,对视频会议系统的管理和调度提出更高要求。

### 4 云视频阶段

2020年至今是系统的云视频阶段。2020年,山西局指挥中心部署1台硬件云视频终端,实现与其他云视频硬终端和软终端的连通。通过中国局的云平台,实现云视频与现有视频会议系统的互联互通。云视频具有多网融合、接入灵活的特点,通过地震行业网、互联网、4G/5G、卫星网等链路,实现视频连通。同时,云视频软件APP安装简单,只需在个人手机上完成注册,无须特殊设置即可接入云平台。云视频设备,为出差在外、居家隔离等人员参加各类视频会议提供便利。

应急通信车部署一台移动云视频终端,通过5G网络接入云平台,实现与中国局、山西局指挥中心的视频连通(见图5)。云视频弥补了在应急现场复杂环境下视频终端设备数量不足、移动性能差等缺陷,使指挥中心对现场的视频监控能力得到延伸,满足现场应急指挥工作的迫切需求<sup>[5]</sup>。

云视频融合硬件视频会议和云视频会议的优势,为应急视频会议服务精准化、运行智能化提供可靠的理论和实践依据<sup>[6]</sup>。云视频基于公网运行,只要接入互联网,传统的会议室、视频会议软终端、移动视频会议终端等,都可以实现随时随地进入会议。云视频会议以云计算架构为基础,能有效降低系统维护成本,具有高度的易用性,成为视频会议新的发展趋势,实现与传统视频会议的有效融合和互补,为震后协同应急、震情会商、重要会议提供视频保障。同时,5G技术的发展,为高清视频会议提供信道保障。

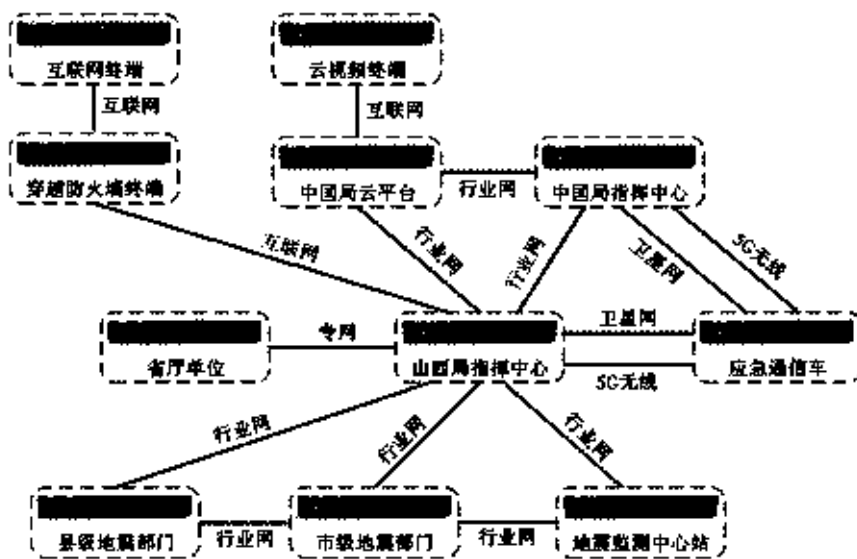


图5 2020年至今视频会议系统网络拓扑  
Fig. 5 The network topology of the video conference system from 2020 to the present

现有的云视频主要依赖中国局的云平台,在平台管理、带宽使用、节点融合等方面受到限制。因此,本地云视频平台的建设和运用,是视频会议系统下一步发展的方向。

## 5 结语

目前,山西地震应急视频会议系统已具备多节点、多网融合的特点,组会方式包括终端参加、MCU自组、MCU级联、背靠背等,能满足各类视频会议的功能需求。随着视频会议技术的发展,视频会议的使用频次越来越高,对视频会议的应用提出新的要求。每一次新技术的成功应用,都能推进整个系统的发展。当然,系统在使用过程中也出现故障和问题,要积极排除故障,找到解决问题的方法,保障系统的正常运行。

## 参考文献:

- [1] 刘在涛,吴天安,郑通彦,等.全国地震应急视频会议系统建设及应用[J].地震地磁观测与研究,2010,31(4):119-125.
- [2] 郑树平,丁小牛,高翔.山西省地震应急视频会议系统建设与应用[J].山西地震,2013(4):41-43.
- [3] 郑树平,丁小牛,高翔.不同组网模式下的地震应急视频会议系统[J].信息技术,2016(6):173-176.
- [4] 郑树平,丁小牛,高翔.4G接入在视频会议中的应用研究[J].自动化技术与应用,2019(1):57-59.
- [5] 杨玉水,董翔,姜世平,等.云视频会议在现场应急指挥中的应用[J].电视技术,2017,41(11/12):220-224.
- [6] 郝焱胎,谭庆全,薄涛,等.云视频会议在地震应急视频会议系统中的融合应用研究[J].防灾减灾学报,2021(12):57-61.

## Development History of Shanxi Earthquake Emergency Video Conference System

ZHENG Shu-ping<sup>1,2</sup>, XU Bo<sup>1,2</sup>, DING Xiao-niu<sup>1,2</sup>, CHENG Zi-yan<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** The Shanxi earthquake emergency video conference system has been established for nearly 15 years, covering 11 municipal-level earthquake departments and all seismic monitoring centers in the province. It has been widely used in earthquake emergency response, earthquake drills, and various types of meetings. Since 2007, the development of the system has gone through the initial stage, standard development stage, mature and improved stage, and cloud video stage. This article mainly elaborates on the development history of the system in different stages, including node construction, network configuration, and operational status. By analyzing and summarizing this information, it aims to provide insights on how to effectively utilize the video conference system and support earthquake disaster prevention and reduction efforts.

**Key words:** Video conference system; Earthquake emergency; Video nodes; Network configuration; Cloud video conferencing

(上接第31页)

- [3] 李清河.天水地震区区域地质、地球物理场和地震活动背景[J].西北地震学报,1991,13(增刊):2-6.
- [4] 王靖泰,孟兴民,马金辉,等.甘肃省的自然灾害[J].甘肃科学学报,1990,4(3):29-37.
- [5] 赵林林,尹欣欣,尹志文,等.甘肃预警台网监测能力以及预警时间评估研究[J].地球物理学进展,2021,36(4):1487-1492.
- [6] 黄麟,谢向东.地震预警技术研究探讨[J].宁夏大学学报(自然科学版),2021,42(3):277-285.
- [7] 袁洁,石文兵,潘章容,等.地震预警的社会影响及应对策略研究[J].甘肃科技,2019,35(21):45-47,133.
- [8] 孙常青,朱振家,潘章容,等.甘肃地震预警测站典型异常波形的频谱分析[J].地震工程学报,2023,45(3):614-624.

## Analysis and Handling of Common Typical Faults in Seismic Early Warning Operations and Maintenance

SUN Chang-qing, TENG Ju, ZHU Zhen-jia, WEI Long, ZHOU Jian-hua, XING Qing-niu

(Gansu Earthquake Agency, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** Seismic early warning system maintenance is the core task of grassroots maintenance workers, which requires a high level of knowledge and expertise in technical skills and experience. This article combines the on-site maintenance situations throughout the year at the Tianshui Seismic Monitoring Center Station to outline common issues such as waveform anomalies, circuit failures, communication failures, and equipment malfunctions. The causes of these issues are analyzed, and the methods for handling similar problems are summarized. This helps accumulate experience in seismic early warning system maintenance and ensures the normal operation of the system.

**Key words:** Seismic early warning; System maintenance; Common faults



· 工作论坛 ·

文章编号:1000-8265(2023)02-0054-03

# 探析新形势下地震档案利用服务价值提升的途径

刘敏娟<sup>1,2</sup>, 张瑞芳<sup>1,2</sup>

(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:** 地震档案记载了防震减灾事业发展的历程, 为地震科研、项目建设等提供重要的史料。为更好发挥地震档案作用, 笔者结合工作实际, 从目前地震档案利用服务现状入手, 针对存在的问题, 探讨提升地震档案利用服务价值的途径。在新形势下, 档案工作者要不断提高认识, 创新工作思路与方法, 发挥地震档案服务防震减灾事业的作用。

**关键词:** 地震档案; 利用服务价值; 途径

**中图分类号:** G273 **文献标志码:** A

## 0 引言

档案是记录社会实践活动的原始材料, 来源广泛, 内容丰富, 数量巨大, 蕴藏着重要的信息资源。地震档案是地震系统各行政机关、事业单位在防震减灾工作中产生的各种资料, 随着陆续开展的地震应急救援、防震减灾科普、国家地震烈度速报与预警工程等工作, 产出更多的档案资料, 如何突破原有的服务模式, 借助新媒体技术手段, 不断提高地震档案利用服务的价值, 为防震减灾工作提供高质量的服务, 成为地震档案管理工作亟须解决的问题。笔者结合工作实践, 就目前地震档案利用服务的现状及存在的问题进行分析, 并提出相应的改进建议。

## 1 档案信息资源开发利用的概念和分类<sup>[1]</sup>

### 1.1 档案信息资源开发利用的概念

档案信息资源开发利用是以利用者或服务对象, 以室(馆)藏档案为服务手段, 采取多种形式和方法, 开发和直接提供档案为党和国家各项事业服务。档案利用服务就是将档案管理人员手中的“死”档案转化为可以开发利用的“活”资源的过程, 也是实现档案管理的最终目的。

### 1.2 档案利用的分类

档案利用可以分为两大类, 即档案信息资源开发利用和利用档案。档案信息资源开发利用是档案工作人员为满足利用者的需要, 向利用者提供档案, 为利用者服务; 利用档案是指利用者为了研究和解决各种问题到档案室使用档案。

## 2 地震档案利用服务现状

目前, 地震档案主要包括文书档案、科技档案、会计档案、声像档案等不同门类的档案。为发挥地震档案的史料价值, 地震档案工作者根据不同的服务需求一直在探索着地震档案利用服务的新途径。首先, 加大对室藏档案信息资源的积累。一方面注重对日常档案的及时收集、整理、归档入库, 另一方面着重对遗落的档案进行补救收集, 丰富室藏资源。第二, 加强档案资源的开发。利用多种检索工具, 结合新型档案管理软件, 实现及时查找档案信息的目的, 部分档案实现全文线上浏览, 满足广大科研工作者的档案利用需求。第三, 注重档案编研工作。根据室藏档案情况及工作实际, 加强对档案资料的分析研究, 本着可靠性、实用性的原则, 主动做好档案信息的编研服务工作。为《山西通志·地震志》《山西省地震监测志》《山西省地震局处室文件汇编》《机构沿革概览》《工作制度汇编》《防震减灾大事记》等图书的编纂提供资料。其中《山西通志·地震志》《山西省地震监测志》的编写人员翻阅大量的档案, 以室藏图文资料、实物档案的照片为基础, 记述地震监测台网建设的过程, 地震监测预报发展的历程, 成为今后探究山西防震减灾事业发展有价值的参考和指导史书<sup>[2]</sup>。同时, 科研工作者通过查阅档案, 在地震科研项目的申报、前沿学科领域的研究中, 产出大量的科研成果。

地震档案利用服务已取得不少成效, 但与技术手段的不断更新、服务对象的更高需求相比, 档案利用服务目前仍存在一些问题, 主要表现在以下几方面。

收稿日期: 2023-05-09

第一作者简介: 刘敏娟(1972—), 女, 山西太原市人, 馆员, 主要从事档案管理工作, E-mail: 2190177806@qq.com。

通讯作者: 张瑞芳(1973—), 女, 山西昔阳县人, 高级工程师, 主要从事期刊编辑出版、档案资料管理工作, E-mail: 531585164@qq.com。

## 2.1 档案管理人员的更替不利于发挥档案利用服务

实践中,专职档案员成为档案管理、利用服务的主体,兼职档案员的职能作用发挥不到位。兼职档案员通常只负责部门档案的收集归档,对档案利用服务的观念淡薄,其负责的专职工作占用大量的时间,无法完成档案利用服务在宣传与应用等方面的工作。同时,各单位因工作需要,对兼职档案员的更换频繁,交接制度、流程不健全,导致新的兼职档案员不熟悉档案管理规定,对应收集的第一手文件资料范围不清,收集到的内容不齐全,归类不符合相关规定等,为档案的利用服务带来困难。

## 2.2 档案利用服务的日常工作不扎实

相关管理人员对档案的利用服务价值认识不到位,缺少对产出档案的管理。在日常工作中,重要的报表、图片、照片、声像等未指定专人管理,重要资料分散在每个经办人手中,随意放置,有时甚至丢失,造成历史资料的缺失。还存在部分科研人员将档案资料据为己有,不上交不归档,在需要时才发现无档可查。对档案管理制度、档案价值认知的缺乏导致档案收集不完整,对档案的利用服务造成影响。

## 2.3 地震档案的数字化工作进度缓慢

2019年7月,山西省地震局开始实施“山西省地震局档案整理及数字化服务”项目,项目建设内容为对1967—2000年历史文书档案、2001至2015年及2018年文书档案进行数字化,项目于2021年9月通过验收。将该项目数字化后的文书档案上传到局档案管理系统,实现档案的数字化资源共享,通过网络即可查阅、调取档案,无需到档案室现场查阅,提高了档案利用服务的效率,对珍贵的历史纸质档案也起到很好的保护作用。地震科技档案是在从事地震监测预报、震灾防御、应急救援、科研和基本建设等活动中直接形成的各种技术文件、资料等,在国家地震烈度速报与预警工程、地震灾害风险防治两项重点工程、地震安全性评价等实施过程中发挥重要作用。在档案的使用过程中发现,与数字化的文书档案相比,科技档案未实施数字化,对档案利用服务的效果有一定的影响,表现为流程繁琐、效率低下。

目前室藏的地震档案中,还有大量的地震观测图纸,不同类型仪器记录到地震发生时的波形图,地倾斜、地下水位、地磁地电等不同观测项目产出的纸质原始数据曲线,是开展地震科研的第一手宝贵资料。储存时间大约有50余年,有的出现纸张变色、鼓包,有的出现记录线条褪色,如不及时进行数字化,可能会失去原始资料的使用价值,对档案利用服务造成不可挽回的损失。

## 2.4 档案管理人员队伍建设有待进一步加强

根据《“十四五”全国档案事业发展规划》文件精神,对加快档案干部人才队伍建设提出明确要求。目前档案从业人员的现状与文件的要求差距较大,普遍

存在档案专业理论薄弱,有的甚至所学专业与档案管理毫无关系,出现既精通档案专业又精通地震业务知识和熟于计算机操作的综合型人才稀缺的情况;档案从业人员缺少正规、系统的专业理论与实务技能培训学习,有的兼职档案员从未参加过相关培训。上述情况,容易导致档案管理工作不规范,一定程度地影响地震档案利用服务的提升。

## 3 创新思路,提升地震档案利用服务价值

### 3.1 加强宣传,提高对地震档案及其利用服务重要性的认识

地震档案专职人员在“国家档案日”等特殊时段,通过讲座、专栏等加强对档案及其利用服务重要性的宣传,不断提高全体人员的认识。首先要从全局层面,健全档案管理领导体制和工作机制。形成单位“一把手”总负责,分管领导具体部署,分管部门牵头,档案产出部门协调配合,做到责任、分工明确,各司其职、各负其责,科学建档、规范管档、高效用档,形成对档案资源共建、共维、共享的工作格局。其次,要增强全员的档案管理意识,人人参与,认识到档案是公共资源,做到档案收集齐全,保管到位。兼职档案员要明确职责,积极督促,规范整理、归档。第三,在档案的利用过程中,对于涉密档案,要严格按照规定流程借阅,做好保密措施,防止泄密事件发生;要爱护档案,特别对于珍贵的历史档案,要妥善保存,防止污损;遵守借阅制度,按照借阅申报原因使用,不得转做他用,不得违反档案利用服务相关规定,同时按期归还档案,便于资源共享。

### 3.2 改变观念,树立主动服务的意识

档案工作一直处于被动服务,当服务对象“找上门”有所需要时才提供查询、借阅。平时缺少档案知识的宣传,缺乏为科研工作者、项目建设单位主动提供室藏信息的服务意识。档案管理人员要改变观念,将“被动服务”变为“主动服务”,借助微信、微博、短视频等新媒体平台,为服务对象科普档案知识,通过案例,让其认识到档案的重要性,认识到做好档案保密的重要性。经常推送地震学科前沿研究成果的目录信息,为科研工作者在项目申报、专项研究时提供参考素材。

### 3.3 合理规划,推进地震档案数字化工作

计算机及网络的发展,对地震档案的数字化提出更高的要求。山西省地震局文书档案实行数字化后,通过网络,服务对象可实现借阅、下载,提高了档案的利用率,获得好评。科技档案及历史地震、观测数据曲线等原始纸质记录的数字化进度缓慢,这在某种程度上影响了档案的利用服务。档案管理人员要设立专项,积极争取更多的经费支持,按照档案的使用率,分批分步骤逐步数字化,拓宽服务模式与渠道。

### 3.4 依据需求,拓宽地震档案利用服务的内容和范围

要使地震档案最大限度地被利用,档案管理人员

就需要熟知防震减灾事业发展的动态,如在国家地震烈度速报与预警工程、地震灾害风险防治两项重点工程、科研项目申报等不同时期,对档案需求的种类也不同。档案管理人员要提前做好准备,清楚所需档案的分类及分布情况,遇到服务需求时,能及时提供完整、准确的档案资料。档案管理人员要定期对借阅档案的数量、种类做需求分析,实现为不同服务对象精准推送档案服务,拓宽档案服务的范围,提高档案的使用率,发挥档案的价值。

### 3.5 提高档案利用服务的软硬件配置

档案保管工作是档案利用服务工作的关键环节,对整个档案工作具有重大影响。档案的按规范要求保管,会为档案利用服务提供优质的物质对象。档案管理部门应根据本单位实际和财力状况,积极完善档案存放、利用的软硬件设施,设置专款用于保障档案室及相关设施的使用和维护,确保档案库房的各项指标达到档案保管与保护的技术规定要求。同时要进一步提升档案的信息化建设水平,开发档案利用服务软件,实现网络化、无纸化、多样化的高效快捷服务。

### 3.6 加强档案利用服务的人才队伍建设

档案利用服务要实现科学化、规范化,很大程度取决于档案管理人员的专业理论知识、责任意识和业务素质。在日常工作中,要注重提高各兼职档案员对档案工作的认识,培养严谨的工作作风,树立对地震档案事业“干一行、爱一行、专一行、精一行”的精神;采取

“走出去、请进来”的办法开展集中培训学习,从理论知识、实务操作等方面入手,提高兼职档案员的综合素质;同时可通过组织专兼职档案员到档案管理先进单位参观学习,交流经验,扩展视野,取长补短,将先进的管理经验、成功做法融入实际工作中;不断解决档案工作人员知识结构不合理的问题,发挥老同志“传、帮、带”的作用,帮助年轻同志快速适应岗位要求,确保档案工作不出现断档。

## 4 结语

为适应防震减灾事业发展的新要求,必须把档案服务创新工作放到首位,不断思考、定位、部署,主动寻找切入点和突破点,增强服务意识和观念,将“事后收集”变为“事前规划”,将“被动服务”变为“主动服务”,不断丰富室藏,拓展专业领域,创新服务机制。依托新型档案管理系统和信息平台,提高服务质量和档案利用率,建立长效机制,做好档案工作的动态跟踪和监管,把档案利用服务创新工作做实、做细、做到位。

## 参考文献:

- [1] 王保国. 档案工作实务[M]. 北京: 中国档案出版社, 2007: 143.
- [2] 刘敏娟. 浅谈地震档案利用服务创新[J]. 办公室业务, 2020(347): 134-135.

## Exploring the Ways to Enhance the Service Value of Seismic Archives Utilization in the New Context

LIU Min-juan<sup>1,2</sup>, ZHANG Rui-fang<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** Seismic archives document the development of earthquake disaster prevention and mitigation, providing important historical materials for earthquake research, project construction, and more. To better utilize the role of seismic archives, based on practical work, the author explores the ways to enhance the service value of seismic archives utilization by addressing the existing issues in the current state of archive utilization. In the new context, archive professionals need to continuously enhance their understanding, innovate their work approaches and methods, and leverage the role of seismic archives in serving the earthquake disaster prevention and mitigation industry.

**Key words:** Seismic archives; Utilization service value; Way