

山西地震 编辑委员会

主 编: 张淑亮

副 主 编: 张瑞芳 (专职)

编辑委员: (按姓氏汉语拼音排序)

陈 颢 (院士) 程冬焱 高景春 胡玉良 黄春玲 黄金刚
贾建喜 蒋晓山 李冬梅 李俊拴 李 丽 李志雄 李自红
刘瑞春 吕 芳 马朝晖 宋美卿 孙景慧 王兰民 王秀文
王跃杰 吴昊昱 吴忠良 薛振岳 闫计明 闫小兵 杨 斌
殷伟伟 殷志刚 尉燕普 曾金艳 张亮娥 张培震 (院士)
赵晓云 卓力格图

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI
THE BOARD OF EDITORS

EDITOR IN CHIEF: ZHANG Shu-liang

ASSOCIATE EDITORS IN CHIEF: ZHANG Rui-Fang (specific duty)

BOARD MEMBERS: CHEN Rong (academician) CHENG Dong-yan GAO Jing-chun HU Yu-liang
HUANG Chun-ling HUANG Jin-gang JIA Jian-xi JIANG Xiao-shan LI Dong-mei
LI Jun-shuan LI Li LI Zhi-xiong LI Zi-hong LIU Rui-chun LV Fang MA Zhao-hui
SONG Mei-qing SUN Jing-hui WANG Lan-min WANG Xiu-wen WANG Yue-jie
WU Hao-yu WU Zhong-liang XUE Zhen-yue YAN Ji-ming YAN Xiao-bing YANG Bin
YIN Wei-wei YIN Zhi-gang YU Yan-pu ZENG Jin-yan ZHANG Liang-e
ZHANG Pei-zhen (academician) ZHAO Xiao-Yun ZHUOLI Ge-tu

山西地震

SHANXI DIZHEN

EARTHQUAKE RESEARCH

IN SHANXI

季刊 Quarterly

1973年2月创刊

Established in February, 1973

2021年第1期 (总第185期)

No.1 (Serial No.185) 2021

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: 张淑亮

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
印刷厂

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: <http://www.chinajournal.net.cn>
<http://www.cnki.net>
<http://www.cqvip.com>

电子信箱: sxdzjb@163.com

出版日期: 2021年3月

Administration: Earthquake Administration of
Shanxi Province

Sponsoring Organization: Seismological So-
ciety of Shanxi Province

Edited and Published: by the Editorial Office
of ERS

Editor in Chief: ZHANG Shu-liang

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

Postcode: 030021

Tel: (0351) 5610534

Printed: by the Print House of Construction Sci-
ence Institute of Shanxi

Address: Shanyouxiang of Taiyuan

Distributed: Openly

Distributor and Order Department: Editorial
Office of ERS

<http://www.chinajournal.net.cn>

<http://www.cnki.net>

<http://www.cqvip.com>

E-mail: sxdzjb@163.com

Data of Publication: Mar.2021

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®

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI

山
西
地
震

二
〇
二
一
年

第
一
期

总
第
一
八
五
期

2021 / 1

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

山西地震

(季刊·1973年创刊)

2021年第1期

(总第185期)

目 次

· 地震活动性 ·

- 第二影区地震震相到时特征变化浅析…………… 陈凯男,刘立申,王利兵,赵志远,宋 昭,罗 娜,贾 华(1)
中国东南沿海地区地震的精定位研究…………… 王 鹏,孙冬军,王成睿,冯 策,潘国勇(5)
基于双差定位法的鄂尔多斯块体西北缘地震精定位研究…………… 郭 伟,刘甜甜,范玲玲,李贵明(10)

· 地震地质 ·

- 口泉断裂邻城段断裂展布特征及其活动性研究…………… 丁学文,霍 魁,冯凯宇,高树义,李 申(15)

· 观测分析 ·

- 小波分析法在海拉尔地震台前兆数据处理中的应用研究…………… 曲浩鑫,王 怡,堵伟鹏(20)
张家口地震台连续重力异常分析…………… 屈 曼,侯晓真,陈建国,王曰风,朱振兴,周 亚,刘仲韬(26)
怀来地震台定点形变观测转折异常的调查与分析……………
…………… 王曰风,张秀萍,张珊珊,屈 曼,宋晓煜,池海江,只 楠,周 亚(30)
河北冀16井水温动态分析…………… 张明哲,王 静,罗 娜,凌 燕,张朋杰(34)

· 技术交流 ·

- 山西测震台网地震计工作状态检测及故障原因分析…………… 刘林飞,宫卓宏,梁向军,殷伟伟,高云峰(38)
基于CWQL的山西测震台网准实时背景噪声计算分析……………
…………… 高伟亮,殷伟伟,王卓君,张 娜,梁永辉,吕 睿(42)
河北省地震局行政值班管理系统的设计与实现…………… 茅远哲,马旭东,李振波(46)
山西省地震局绩效管理系统的的设计与实现…………… 魏越超,穆慧敏,范 磊,陈常俊,杨世英,张亮斌(50)

· 工作论坛 ·

- 太原市防震减灾科普宣传现状及改进对策…………… 卫露媛(54)

本期责任编辑:张正霞,张瑞芳; 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 * 13 * 2021-03

本刊电子信箱:sxdzjb@163.com

CONTENTS

• Seismicity •

- A Brief Analysis on the Change of Arrival Time Characteristics of Seismic Phase in the Second Shadow Area
..... CHEN Kai-nan, LIU Li-shen, WANG Li-bing, ZHAO Zhi-yuan, SONG Zhao, LUO Na, JIA Hua(1)
- Study on Precise Location of Earthquakes in Coastal Areas of Southeast China
..... WANG Peng, SUN Dong-jun, WANG Cheng-rui, FENG Ce, PAN Guo-yong(5)
- Precise Seismic Location of the Northwest Margin of Ordos Block Based on Double Difference Location Method
..... GUO Wei, LIU Tian-tian, FAN Ling-ling, LI Gui-ming(10)

• Earthquake Geology •

- Study on Fault Distribution Characteristics and Activity of Jiaocheng Section of Kouquan Fault
..... DING Xue-wen, HUO Kui, FENG Kai-yu, GAO Shu-yi, LI Shen(15)

• Observation and Analysis •

- Research on the Application of Wavelet Analysis Method in Precursor Data Processing at Hailaer Seismic Station ...
..... QU Hao-xin, WANG Yi, DU Wei-peng(20)
- Analysis of Continuous Gravity Anomaly at Zhangjiakou Seismic Station
QU Man, HOU Xiao-zhen, CHEN Jian-guo, WANG Yue-feng, ZHU Zhen-xing, ZHOU Ya, LIU Zhong-tao(26)
- Investigation and Analysis of Turning Anomalies in Fixed-point Deformation at Huailai Seismic Station
... WANG Yue-feng, ZHANG Xiu-ping, ZHANG Shan-shan, QU Man, SONG Xiao-yu, CHI Hai-jiang,
..... ZHI Nan, ZHOU Ya(30)
- Dynamic Analysis of Water Temperature in Ji 16 Well of Hebei Province
..... ZHANG Ming-zhe, WANG Jing, LUO Na, LING Yan, ZHANG Peng-jie(34)

• Academic Exchange •

- Working State Detection and Fault Analysis of Seismometer in Shanxi Seismic Network
..... LIU Lin-fei, GONG Zhuo-hong, LIANG Xiang-jun, YIN Wei-wei, GAO Yun-feng(38)
- Calculation and Analysis of Quasi Real Time Background Noise of Shanxi Seismic Network Based on CWQL
..... GAO Wei-liang, YIN Wei-wei, WANG Zhuo-jun, ZHANG Na, LIANG Yong-ye, LV Rui(42)
- Design and Implementation of Administrative Duty Management System of Hebei Earthquake Agency
..... MAO Yuan-zhe, MA Xu-dong, LI Zhen-bo(46)
- Design and Implementation of Performance Management System of Shanxi Earthquake Agency
... WEI Yue-chao, MU Hui-min, FAN Lei, CHEN Chang-jun, YANG Shi-ying, ZHANG Liang-e(50)

• Work Forum •

- Current Situation and Improvement Countermeasure of Popular Science Propaganda for Earthquake Prevention
and Disaster Reduction in Taiyuan WEI Lu-yuan(54)

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

E-mail: sxdzbjb@163.com

• 地震活动性 •
文章编号:1000-6265(2021)01-0001-04

第二影区地震震相到时特征变化浅析

陈凯男¹,刘立申¹,王利兵¹,赵志远¹,宋 昭¹,罗 娜¹,贾 华²

(1. 河北省地震局红山基准地震台,河北 邢台 054000;2. 河北省地震局邯郸中心地震台,河北 邯郸 056002)

摘要: 运用国家台甚宽和超宽频带地震计记录的波形数据,对震中距介于 105°~128°(即第二影区)的地震波形进行仿真处理,分析各台站地震波由地幔传播到核幔交界面时,各震相记录特征发生的变化。结果表明,当震中距增大到 105°左右时,地震波进入到核幔过渡带这一复杂的低速层中,地震波能量衰减加快;P 波与 Pdif 波震相未表现出明显的分界,S 波震相也未出现断崖式消失,且随着震中距的增大还会出现。这也间接印证这一低速层的不均匀性。
关键词: 震相特征;第二影区;核幔过渡带
中图分类号: P315.73 **文献标志码:** A

0 引言

作为地球内部结构最复杂、动力学过程最活跃的区域之一,核幔边界及其附近结构一直是地球科学研究的热点^[1]。下地幔底部和外核顶部之间约 100~200 km 的范围称为核幔过渡带。对于台站记录,当震中距达到 105°左右时,地震波开始进入此区域,即核幔界面的“影区”,也称第二影区。此时,地震波较发育,震相较多,主要是由复杂的地球内部结构和速度层分布所决定。震中距介于 105°~128°左右时,记录到较清晰的震相,通常是 PP、SKS、PS 和 SS。Pdif 震相在仿真 SK 和 763 等中长周期和长周期仪器上,记录一个或数个完整的周期^[2]。该文主要分析地震波在进入第二影区时各震相的特征变化,以便精确测定地震参数,用于资料分析及速度层结构等方面的研究,提高资料的可信度和使用价值。

1 数据选取

(1) 所用数据台站的基本概况。

文中选用的地震波形数据均来自国家测震台站,各台观测环境背景噪声小,观测仪器动态范围大,分辨率高,记录频带宽,覆盖传统地震计的短周期、中长周期和长周期频带。从记录的原始数据中可用各种仿真滤波器获得传统地动计的仿真数据,得到地动的真实信息,数据可信度高。选用数据台站的基本情况如表 1 所示。

(2) 地震数据的选取条件。

表 1 研究选用台站的基本概况
Table 1 Basic situation of selected stations in this study

台站名称	台站简称	观测起始时间/年	台基	观测仪器
安西台	AXX	1980	沙砾岩	CTS-1
成都台	CAD	1971	沉积岩	JCZ-1
昌黎台	CLI	1968	花岗岩	BBVS-120
大连台	DL2	1954	石英岩	CTS-1
格尔木	GOM	1973	沉积岩	JCZ-1
高台台	GTA	1964	花岗岩	JCZ-1
桂林台	GUL	1973	厚层状灰岩	CTS-1
广州台	GZH	1978	砂岩	JCZ-1
黑河台	HEH	1991	沉积岩	JCZ-1
呼和浩特	HHC	1972	流纹岩	JCZ-1
红山台	HNS	1966	石英砂岩	CTS-1
和田台	HTA	1971	沉积岩	JCZ-1
昆明台	KMI	1957	石灰岩沉积层	STS-2
喀什台	KSH	1965	土层卵石层	CTS-1
拉萨台	LSA	1960	砾岩	STS-2
洛阳台	LYN	1971	寒武纪石质灰岩	CTS-1
那曲台	NAQ	1998	石灰砂岩	CTS-1
南京台	NJ2	1931	石英长石砂岩	CTS-1
泉州台	QZH	1982	花岗岩	CTS-1
沈阳台	SNY	1970	花岗岩	JCZ-1T
腾冲台	TNC	1970	冲积层、熔岩	CTS-1
武汉台	WHN	1965	石英砂岩	JCZ-1
乌鲁木齐	WMQ	1963	砂岩、泥岩	STS-2
西安台	XAN	1953	花岗岩	STS-2
锡林浩特	XLT	1981	辉长岩、闪长岩	CTS-1

一是台网中单台震中距介于第二影区前后;二是在短周期、中长周期记录图上可清晰识别各震相,得出 PHASE 结果,做出各震相走时曲线图。如第 2 页图 1

收稿日期:2020-05-21
基金项目:河北省地震局科技星火计划项目(DZ20150422041)。
第一作者简介:陈凯男(1985)男,陕西省咸阳市人。助理工程师,主要从事地震监测工作,E-mail:360539010@qq.com。

为 2010 年 9 月 4 日新西兰南岛东海岸远海 $M_s7.1$ 地震各单台的震中距, 跨度为 $87^\circ \sim 124^\circ$ 。选取 10 个满足条件的地震, 地震目录如表 2 所示, 所用数据的台站及震例分布如图 2 所示。

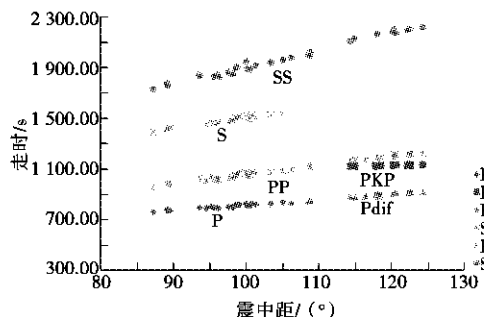


图 1 新西兰南岛东海岸远海 $M_s7.1$ 地震各单台震中距跨度
Fig. 1 The $M_s7.1$ earthquake off the east coast of New Zealand

表 2 研究选用的地震目录

Table 2 Earthquake catalogs selected in this study

序号	发震时刻	纬度 /(°)	经度 /(°)	震级 /M	震中距 跨度/(°)	深度 /km
	年-月-日 T时:分:秒					
1	2008-04-12T08:30:12	-55.6	158.4	7.1	85~117	15
2	2008-09-29T23:19:35	-29.7	-177.8	7.2	81~120	5
3	2009-08-04T01:59:55	29.0	-112.9	7.3	84~118	6
4	2009-09-30T01:48:11	-14.8	-171.6	8.1	78~116	16
5	2010-04-05T06:40:43	32.1	-115.3	7.5	80~114	10
6	2010-09-04T00:35:42	-44.1	173.0	7.1	85~120	10
7	2010-10-22T01:53:12	24.5	-109.8	7.1	89~123	8
8	2011-07-07T03:03:20	-29.2	-176.1	7.6	82~121	30
9	2011-10-22T01:57:17	-28.8	-176.2	7.6	82~121	40
10	2014-04-18T22:27:26	17.6	-100.8	7.6	100~133	30

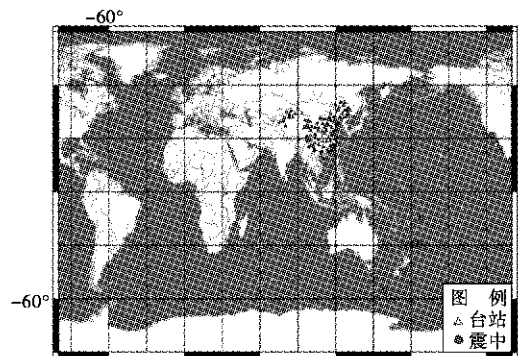


图 2 台站及震例震中分布图
Fig. 2 Distribution of stations and epicenter of earthquake cases

2 研究思路

对于单台, 震中距不同的地震震相各有特点, 特别

是震相较多较复杂的第二影区, 在震相识别时存在将相邻震相混淆的可能, 会导致错误的分析。对于全国台网, 同一个地震, 单台的震中距各不相同, 但各台记录到的震相基本一致。台站的波形记录可按震相到顺序排列(见图 3, 选取部分台站、部分震相)。当台网记录中各单台震中距横跨第二影区时, 可针对横跨影区即核幔过渡层各震相的传播和变化规律进行分析。

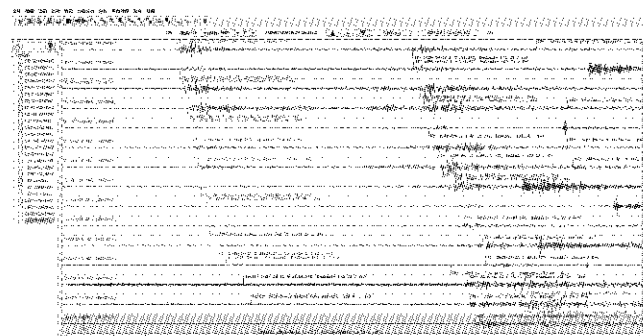


图 3 2008 年 4 月 12 日麦夸里岛地区 $M_s7.1$ 地震震中距跨度 ($84^\circ \sim 115^\circ$)

Fig. 3 The epicentral distance span ($84^\circ \sim 115^\circ$) of the Macquarie island earthquake with $M_s7.1$ on April 12, 2008

3 震相特征变化分析

地震波形数据使用 MSDP 台网版拾取震相, 仿真短周期 wwssnsp 拾取远震初动 P、PKP, 仿真长周期 SK 拾取初动 Pdif 及后续 S、PP、SS 等震相。

3.1 P 波和 Pdif 波

进入核幔过渡带之前的 P 波震相表现为地震波形记录上的初至震相, 一般周期在 $4 \sim 6$ s^[3], 振幅较大。随着震中距的增大, P 波周期也增大。在 105° 左右时, 开始进入核幔过渡带, 发生衍射现象。由于衍射, 其能量消耗较快, 在地震波形记录中表现出振幅越来越小直至淹没在地脉动中。P 波与 Pdif 波震相未表现出明显的分界, 在震中距达到 105° 左右之后, 短周期记录上 P 波衰减加速。如第 3 页图 4a 的仿真 wwssnsp 300 s, 选用数据的台站有 QZH、XSA、GZH、NJ2、GUL、DL2、HNS、LYN、KMI、XLT、TNC、YCH、LZH、CAD、GTA、LSA、AXX、WMQ、HTA、KSH。此时, 长周期记录衍射波 Pdif 震相特征越来越清楚。如图 4b 的仿真 SK 300 s, 选用数据的台站有 QZH、XSA、GZH、NJ2、GUL、DL2、HNS、LYN、KMI、XLT、TNC、YCH、LZH、CAD、GTA、LSA、AXX、WMQ、HTA、KSH, 直至最后一条地幔穿透波消失。

进入核幔过渡带后, 由于大部分能量穿透核幔过渡层进入外核, 少量能量沿着核幔过渡层衍射传播。凡记录到的衍射波 Pdif 波形孤立波动, 波数小于 3, 初始很弱, 有一定的水平向初动振幅。随后很快趋于平

静,或中断几十秒至几分钟(依震中距而定),未看出有明显尾波。衍射波 Pdif 不同于 PKP 等震相的另一个标志是周期较大,初至周期和波列中最大振幅的周期相差很小^①,在中长周期仪(SK-763)上可记录到 Pdif,表现为一个弱而周期相当长(10~20 s)的震动,约早于 PP 波震相 4 min 以上。如图 5 的仿真 SK 1 200 s,使用数据的台站有 CLI、BJT、HNS、MCG、MCH、WHN。

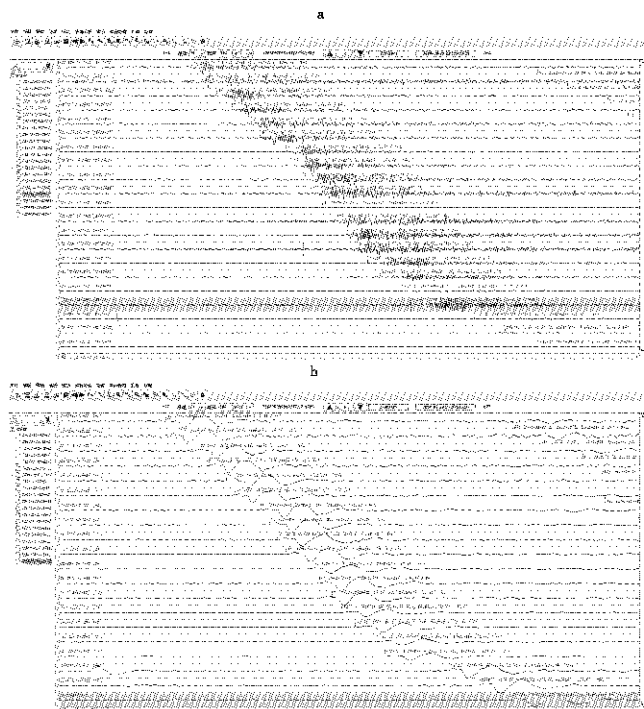


图 4 2008 年 9 月 29 日克马德克群岛 $M_s 7.2$ 地震震中距跨度($95^\circ \sim 120^\circ$)

Fig. 4 The epicentral distance span ($95^\circ \sim 120^\circ$) of the Knaek Islands earthquake with $M_s 7.2$ on September 29, 2008

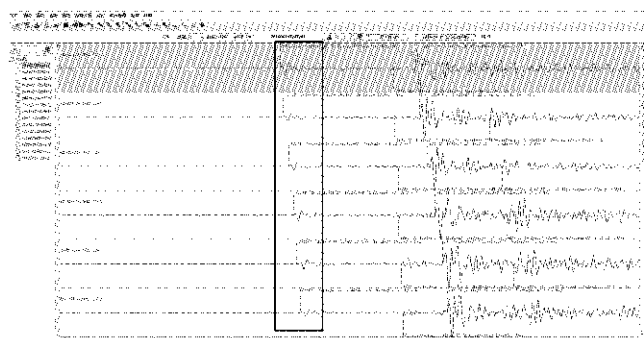


图 5 2014 年 4 月 18 日墨西哥格雷罗海岸近海 $M_s 7.6$ 地震震中距跨度($91^\circ \sim 125^\circ$)

Fig. 5 The epicentral distance span of the $M_s 7.6$ earthquake off the coast of Guerrero, Mexico on April 18, 2014 ($91^\circ \sim 125^\circ$)

3.2 PP 波

PP 波是在地表反射一次的纵波,在 70° 以后逐渐发育。在进入核幔过渡层之前是 P 波后第二个出现的振幅较大震相,进入核幔过渡层后其振幅明显超过 Pdif 波,变为第一个振幅较大的震相。如图 6 所示,原始波形 1 200 s,使用数据的台站:MDJ、BNX、NZN、CLI、BJT、HNS。

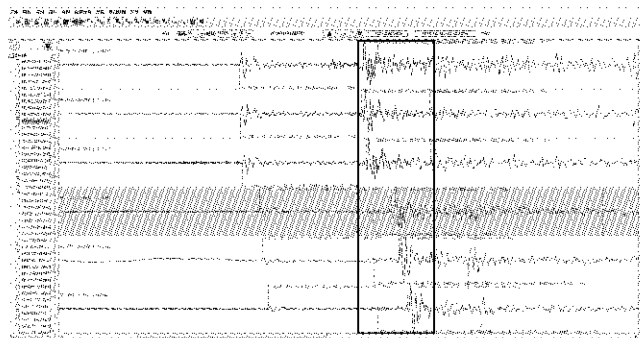


图 6 2014 年 4 月 18 日墨西哥格雷罗海岸近海 $M_s 7.6$ 地震震中距跨度($91^\circ \sim 125^\circ$)

Fig. 6 The epicentral distance span of the $M_s 7.6$ earthquake off the coast of Guerrero, Mexico on April 18, 2014 ($91^\circ \sim 125^\circ$)

3.3 S 波

S 波震相在进入核幔过渡带之前都清晰可辨(暂不考虑深震),周期、振幅较 P 波发育;开始进入核幔过渡带后,S 波速度越来越慢,振幅也越来越小。如第 4 页图 7a 所示,仿真 SK 1 200 s,使用数据的台站有 HNS、LZH、GTA、CAD、AXX、WMQ。HNS 台在震中距为 93° 时,能正常记录到 S 波震相。理论上,S 波震相记录可持续到震中距 105° 。图 7a 方框显示的 LZH 台震中距为 99° ,CAD 台为 101° ,GTA 台为 103° ,已记录不到 S 波震相;震中距分别为 107° 、 114° 的 AXX 台、WMQ 台(箭头所指)却记录到 S 波震相,印证核幔过渡带的不均匀性。当 S 波穿透核幔过渡带到达液态的外核后,观测不到 S 波(见图 7b)。

3.4 PS 波、SS 波

PS 波是由纵波 P 经过地表反射转换为横波的震相,SS 波是在地表反射一次的横波。在 $105^\circ \sim 128^\circ$ 时,S 波迅速衰减,PS 波比较发育,振幅较大,在地震波形记录的水平分向上可清晰地识别。之后,振幅最大的是 SS 波震相,如第 4 页图 8 的仿真 SK 2 400 s,使用数据的台站有 CAD、LIZ、LSA。

4 结论与讨论

对大量实际地震波形记录进行处理(文中列举出部分结果),得出地震震相走时曲线图,只体现出部分变化特征比较明显的震相。

① 赵永. 远震分析与震相解释[R],2013.

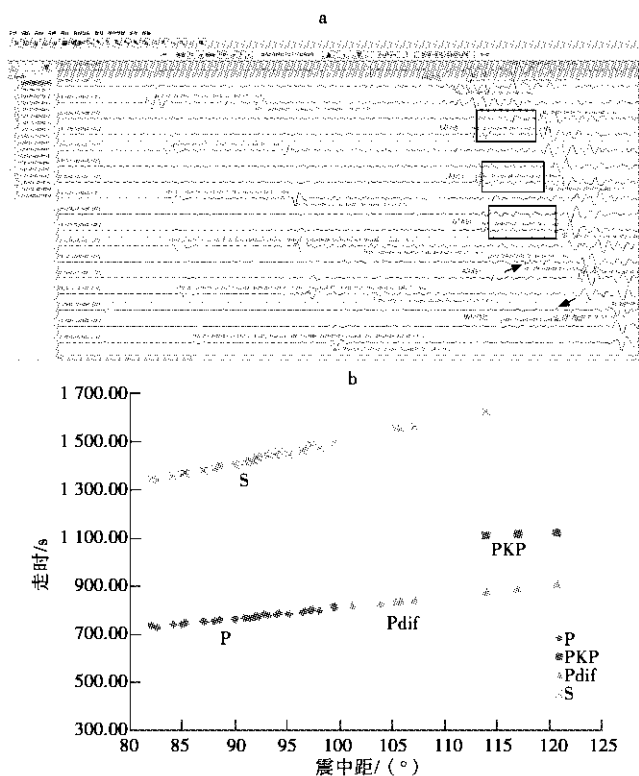


图7 2008年9月29日克马德克群岛 $M_s 7.2$ 地震震中距跨度 ($82^\circ \sim 120^\circ$)

Fig. 7 The epicentral distance span ($82^\circ \sim 120^\circ$) of the Knadek Islands earthquake with $M_s 7.2$ on September 29, 2008

理论上,当震中距在 105° 时,记录到地幔折射波与核幔分界面相切的 P 波、S 波,是地幔折射波的最后一条射线。此后,地幔折射波消失,出现衍射波 (Pdif)、地核穿透波等。

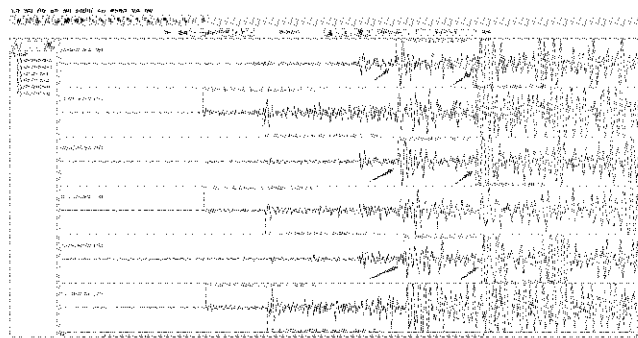


图8 2010年9月4日新西兰南岛东海岸远海 $M_s 7.1$ 地震震中距跨度 ($87^\circ \sim 124^\circ$)

Fig. 8 The epicentral span ($87^\circ \sim 124^\circ$) of the $M_s 7.1$ earthquake off the east coast of the South Island of New Zealand on September 4, 2010

实际记录的波形是在震中距增大到 105° 左右时,地震波进入核幔过渡带这一复杂的低速层中,地震波能量衰减加快,在波形记录中表现出周期变大,振幅越来越小直至淹没在地脉动中;P 波与 Pdif 波震相未表现出明显的分界,S 波震相也未出现断崖式消失,而是随着震中距的增大还会出现,这也间接印证这一低速层的不均匀性;反射波 PP、PS、SS 在远震记录中常有,随着震中距增大逐渐发育,周期振幅变大表现得越来越清楚。

参考文献:

- [1] 马晓龙. 下地幔底部小尺度不均一速度结构研究[D]. 广州:中国科学院大学(中国科学院广州地球化学研究所), 2017.
- [2] 许玉红,陈建军,李兴坚,等. PDIF 震相在嘉峪关地震台的记录特征分析[J]. 震灾防御技术, 2014, 9(增刊): 632-638.
- [3] 刘瑞丰,陈翔,沈道康,等. 宽频带数字地震记录震相分析[M]. 北京:地震出版社, 2014.

A Brief Analysis on the Change of Arrival Time Characteristics of Seismic Phase in the Second Shadow Area

CHEN Kai-nan¹, LIU Li-shen¹, WANG Li-bing¹, ZHAO Zhi-yuan¹, SONG Zhao¹, LUO Na¹, JIA Hua²

(1. Hongshan Seismological Station, Hebei Seismological Bureau, Xingtai, Hebei 054000, China;

2. Hebei Seismological Bureau Handan Center Station, Handan, Hebei 056002, China)

Abstract: Based on the waveform data recorded by the very wide and ultra-wide band seismometers of national seismological stations, the seismic waveforms with the epicenter distance between 105° and 128° (the second shadow area) were simulated, and the changes of the recorded characteristics of each seismic phase were analyzed when the seismic wave propagates from the mantle to the interface between the core and mantle. The results show that when the epicentral distance increases to about 105° , the seismic waves enter the complex low-velocity layer called the core mantle transition zone, and the energy attenuation of seismic waves is accelerated. The seismic phase of P wave and Pdif wave will not show obvious boundary, and the seismic phase of S wave will not appear cliff-like disappearing, but will also appear with the increase of epicentre distance. This also indirectly confirms the unevenness of this low-speed layer.

Key words: Seismic phase characteristics; Second shadow area; Core mantle transition zone

中国东南沿海地区地震的精定位研究

王 鹏^{1,2}, 孙冬军^{1,2}, 王成睿^{1,2}, 冯 策^{1,2}, 潘国勇^{1,2}

(1. 上海市地震局, 上海 200062; 2. 上海佘山地球物理国家野外观测研究站, 上海 200062)

摘要: 应用中国地震台网 229 个台站在 2008 至 2017 年期间记录的 9 826 个地震事件体波走时数据, 采用地震双差定位方法反演了中国东南沿海地区的地震位置。结果显示, 东南沿海地区构造活动对地震活动有控制作用。在现今活动较强的块体边缘, 地震活动集中呈条带状线性分布, 优势方向与构造带方向一致; 在现今活动性较弱的块体内部, 地震分布离散或稀疏, 无成带分布现象。在广东南澳岛北部出现两处线性分布的地震, 长度分别约 200 和 40 km, 走向均为北偏东 70°。其位置与前人根据重力资料推测的断裂位置一致, 由于无已知断裂构造与其对应, 此处可能是尚未发现的隐伏断裂。在南澳岛南部海域巴士断裂与滨海断裂交汇处, 地震沿断裂大量聚集, 剖面显示滨海断裂倾向为东南且倾角大。新丰江水库地震深度均在 12 km 内, 较构造地震的深度浅。

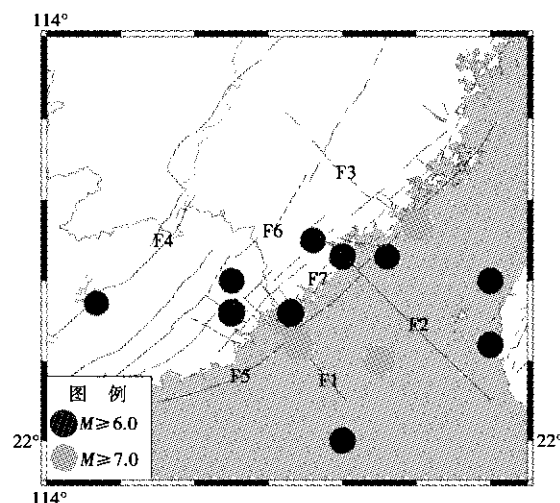
关键词: 双差定位; 中国东南沿海; 南澳岛断裂

中图分类号: P315.73

文献标志码: A

0 引言

东南沿海地处中国大陆东南缘, 是华南块体的一部分, 长期受太平洋板块、欧亚板块和菲律宾板块的联合作用, 中生代以来先后经历长期的构造挤压和伸展作用^[1], 形成现今复杂的地球物理场和地质构造。区内有 2 条大规模 NE 向左旋走滑断裂, 即丽水—海丰断裂和长乐—南澳断裂^[2]。其中, 长乐—南澳断裂长达 400 km, 宽 38~58 km, 是一条大规模超壳断裂, 也是显著的重力及航磁梯度带^[3-5]。其整体走向在北偏东 40°~50°, 倾向东南, 倾角 40°~70°^[6]。另外, 还有一系列较小规模的 NW 向断裂, 如巴士断裂带, 七星岩—九龙江下游断裂带, 晋江—永安断裂带等。其中, 巴士断裂带是一组较新的、活动性强烈的左旋张性断裂带, 其从巴士海峡开始, 在泉州与汕头之间登陆, 然后继续向内陆扩展, 一直延伸至江西寻乌一带^[7] (由于断层数据的缺失, 未能在图 1 中标出)。上述两条 NE 向和 NW 向断裂相互截交形成了东南沿海地区棋盘式的构造格局。该区域地震活动强度由内陆向海域递增, 强震多发生在 NW 向和 NE 向断裂带的交汇部位^[8]。自公元 1 000 年以来, 区内发生了 21 次 6.0 级以上的地震, 其中, 6.0~6.9 级 17 次, 7 级以上 4 次, 最大陆地地震为 1918 年 2 月 13 日发生在南澳县 7.3 级 (见图 1)。总体来说, 该地区以 7 级以下地震为主, 7 级以上主要发生在邻近海域中。



F1 巴士断裂带; F2 七星岩—九龙江下游断裂带; F3 晋江—永安断裂带; F4 邵武—河源断裂带; F5 滨海断裂带; F6 政和—大埔断裂带 (丽水—海丰断裂带); F7 长乐—南澳断裂带 (长乐—诏安断裂带)

图 1 研究区域内公元 1 000 年以来 6 级以上地震及断裂分布图

Fig. 1 Distribution map of earthquakes with $M \geq 6$ and faults in the study area since 1000 AD

文中使用双差定位法研究区内地震的分布特点。该方法在台站布局合理的地区, 地震定位精度可达到几米的量级, 是研究地下隐伏断裂, 揭示震源区介质性质的主要方法之一, 已被国内外地震学家广泛应用^[9-15]。

收稿日期: 2020-12-10

基金项目: 上海市地震局科技专项 (2020SSY09)。

第一作者简介: 王 鹏 (1988), 男, 湖北省荆门市人。工程师, 主要从事地震监测及相关研究工作, E-mail: 284634954@qq.com。

1 数据来源和参数设置

以东南沿海地区为研究区域,从中国地震局编目网站下载 2008 至 2017 年的地震观测报告。报告中涉及地震台站 229 个,其中,台湾省台站 3 个(见图 2)。为确保定位质量,选取震级在 $M_L 0.9$ 以上 4 个以上台站同时记录到的地震,对震级相差 0.2 级、时间相差 4 s 以内的重复地震进行删除。使用走时曲线剔除异常走时数据(见图 3)。最终从 38 451 个原始数据中筛选出 9 826 个地震,得到 P 波走时 124 643 条, S 波走时 122 009 条。由于 P 波震相人工识别度高于 S 波震相,在反演过程中,令 P 波走时权重为 1, S 波走时权重为 0.5。

网格划分以 24°N 、 117°E 为中心,水平方向网格间距为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$,即东西向有 13 个节点,南北向有 11 个节点,垂直向有 6 个节点,分别为 0 km、2 km、6 km、12 km、20 km、26 km、32 km,每个节点的初始速度模型采用前人研究成果^[16-17],该模型将地壳(0~32 m)分为 6 层,波速比采用统一的 1.73。反演时设置阻尼因子为 360~400,水平向上平滑系数为 40,垂直向上为 15,计算结果显示条件数在 70 左右,说明反演结果稳定可靠。经统计,重新定位前地震走时残差

均方根(RMS)为 0~1.0 s,82%地震的 RMS 在 0.05~0.5 s 之间。重新定位后 RMS 为 0~0.05 s(见第 7 页图 4),98.6%地震的 RMS 小于 0.03 s,定位精度明显提高。

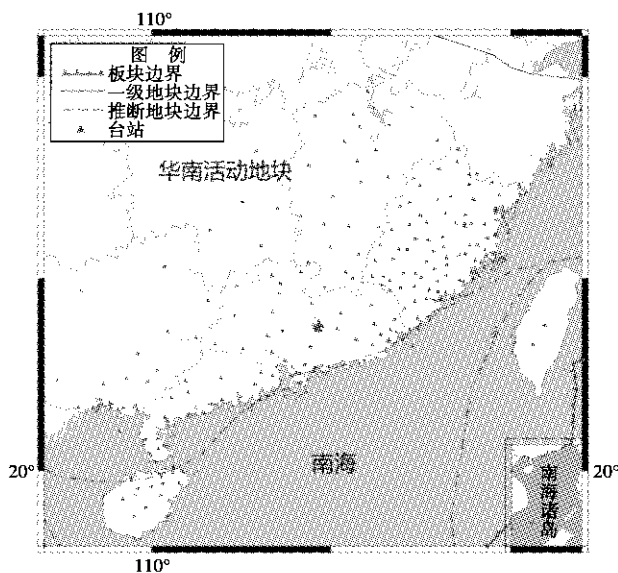


图 2 台站分布图

Fig. 2 Station distribution map

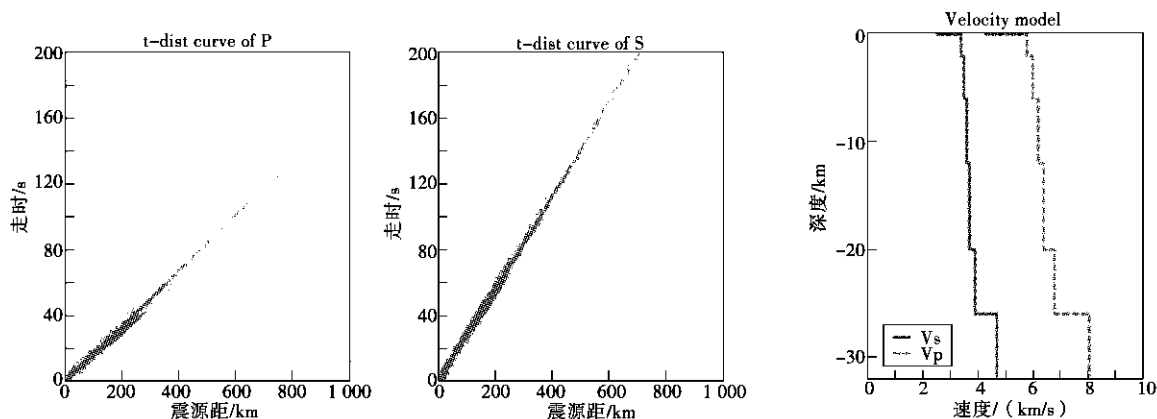


图 3 P、S 走时曲线及地震定位速度模型

Fig. 3 P and S travel time curve and seismic location velocity model

2 定位结果分析

重新定位后有 99.8% 的震源深度小于 28 km,说明区内地震以地壳内构造活动为主。华南地块内部地震分布相对稀疏,地震主要发生在断裂带附近或断裂交汇部位。在华南地块的边缘,地震集中分布,是块体构造变形的主要区域,表明地震活动受区域构造活动的控制。研究区内出现 2 处地震集中分布的区域:广东新丰江水库和广东南澳岛附近海域。特别在南澳

岛北部出现 2 条 NE 向条带状分布的地震带(见第 7 页图 5)。由于无已知断裂与之对应,因此,可能是之前研究尚未发现的隐伏断裂。这 2 条地震带的位置与刘以宣根据重力资料推测的广东南澳岛北部海域 NEE 向断裂^[6],即南澳北缘断裂的位置一致。下面对南澳 2 条带状分布的地震和新丰江水库地震的分布特征进行研究。

2.1 南澳岛地震分布特点

北部条带状分布的地震西起揭阳普宁市,途经潮

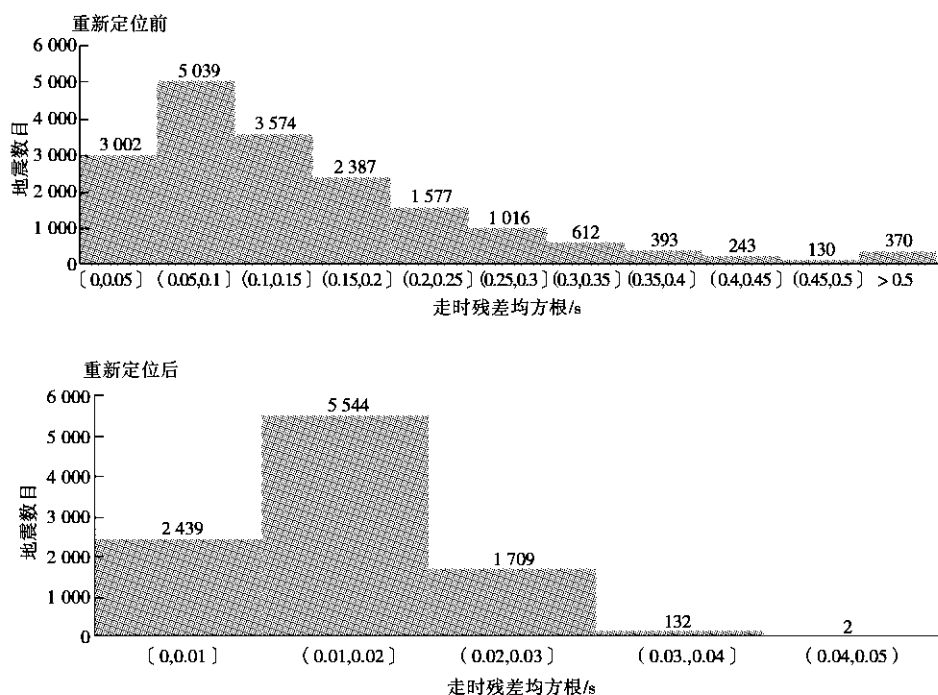


图 4 重新定位前后地震走时残差均方根分布直方图

Fig. 4 Root mean square distribution histogram of travel time residuals before and after reposition

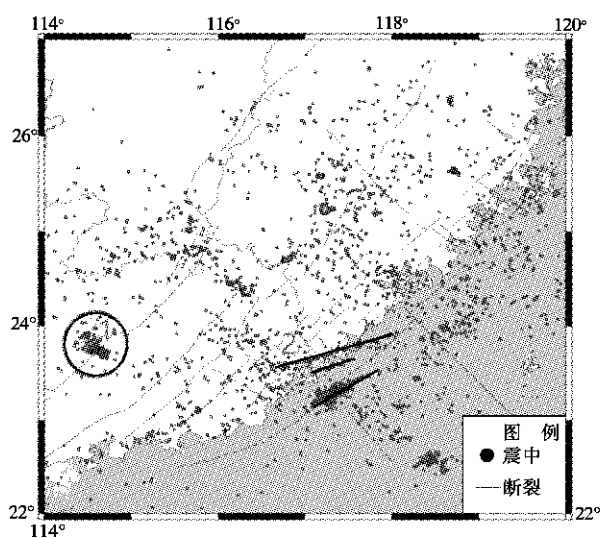


图 5 重新定位后的震中分布图

Fig. 5 Epicenter distribution map after reposition

安、饶平、诏安、东山,北端进入海域,全长 200 km 左右,走向为北偏东 70° (见图 6,图中黑色实线表示剖面位置),图 6c 为纵向剖面,地震均匀地分布在剖面上,地震深度最大值为 28.2 km,接近莫霍面。3 级以下小地震占该地震条带总数的 98.3%。地震在原点左侧深度较浅,右侧由深变浅,这可能与断裂深度的起伏变化有关。图 6d 为切向剖面,原点左侧地震分布比较

松散,右侧相对集中,地震以高角度从西北向东南切入,即倾向东南。在南部条带状分布的地震,西起南澳岛北部海域,经过东山县半岛,全长 40 km 左右,走向与北部的地震条带一样约为 70° 。此条带地震多分布在 20 km 左右,最大地震深度为 31 km。因在研究时段内该条带上地震数目只有 31 个,因此,其分布可能无法完整刻画断裂的形态特征。

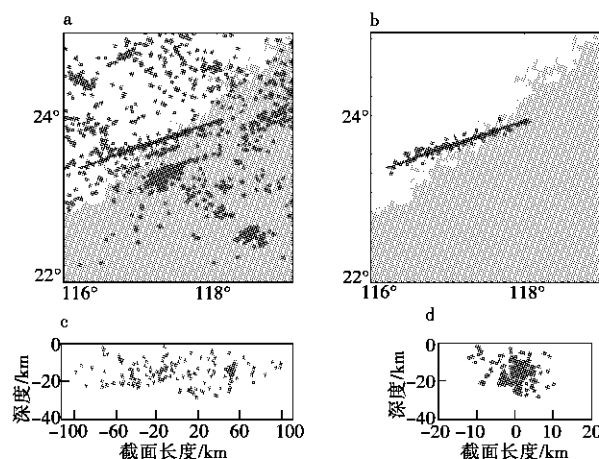


图 6 重新定位后的震中分布及剖面图

Fig. 6 Epicenter distribution and profile after reposition

值得注意的是,在南澳岛南部海域—巴士断裂与

滨海断裂截交处,地震大量聚集。图中截面范围内共有地震 2 133 个,远多于上文中两处条带状分布的地震数目。地震最大深度为 26 km,均未到达上地幔。该地震条带长约 110 km,走向为北偏东 64°。如图 7c 所示,纵向剖面横截巴士断裂,剖面上震中以 45°角从西南插入东北方向,即倾向东北,呈“V”字形分布,且主要集中分布在原点-20~40 km 范围内。切向剖面上,震中西北边界清晰,东南边界模糊,以高角度从西北插入东南,这与前人研究的滨海断裂倾向东南相符。

2.2 新丰江水库地震分布特点

新丰江水库位于广东河源市区西北,北东向邵武—河源断裂带穿过库区。1959 年蓄水以来,发生的最大地震为 1962 年 3 月 19 日的 M6.1 地震(见图 8)。此次的定位结果基本与王晓娜和刘锦 2017 年研究结果^[18]一致,地震未沿断裂分布,是发生在几条断裂交叉的部位,构造活动控制水库地震的发生。以 114.53°E、23.85°N 为中心点坐标,沿北偏东 141°做一条长 60 km 的剖面(AB),将库区地震串联起来,画出其 20 km 的垂线(CD)。将上述范围内的地震分别投影在

两个剖面上,共计约 3 671 个地震,最大震级为 M5.2,3 级以上地震 37 个,占总数的 1%。最大地震深度为 11.7 km。

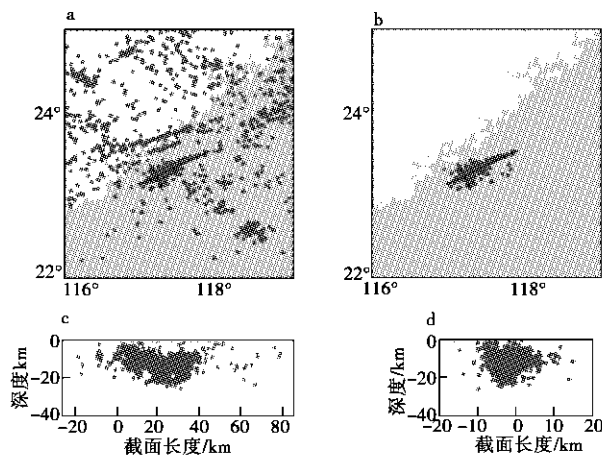
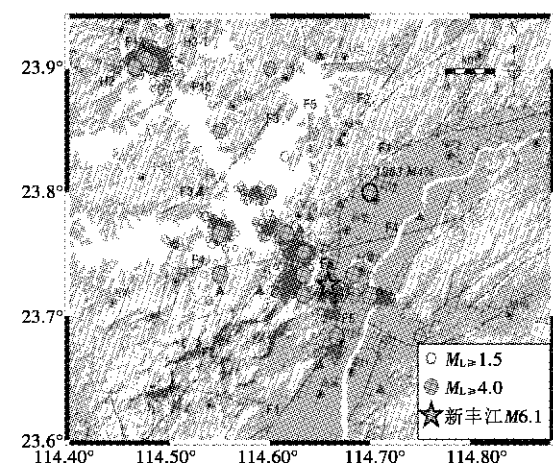


图 7 重新定位后的震中分布及剖面图

Fig. 7 Epicenter distribution and profile after reposition



F1 河源断裂; F2 人字石断裂; F3 大坪-岩前断裂; F4 南山-坳头断裂; F5 石角-新港-白田断裂; F10 兰屋-太和洞断裂; F12 大坑推断断裂; H2 锡场向斜; H3-1 马石门-龙潭褶皱群

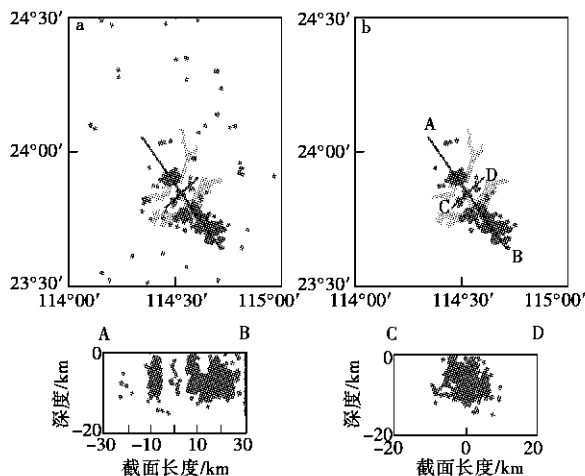


图 8 新丰江地区地震定位结果对比

Fig. 8 Comparison of seismic location results in Xinfengjiang area

3 结论与讨论

重新定位后地震走时残差均方根为 0~0.05 s, 98.6% 的地震 RMS 小于 0.03 s, 定位精度明显提高。99.8% 的震源深度小于 28 km, 说明区内地震以壳内构造活动为主。研究得出, 东南沿海地区构造活动对地震活动有控制作用。在现今活动较强的块体边缘, 地震活动集中成条带状线性分布, 且优势方向与构造带方向一致; 在现今活动性较弱的块体内部, 地震分布

离散或稀疏, 无成带分布现象。精确定位的震中空间分布可刻画断裂的几何结构面, 其线性分布可用于揭示隐伏断裂的存在。定位结果显示, 在广东南澳岛北部出现两处线性分布的地震, 长度分别约 200 km 和 40 km, 走向均为北偏东 70°, 位置与前人根据重力资料推测的断裂位置一致, 由于无已知断裂构造与其对应, 认为可能是尚未发现的隐伏断裂。另外, 在滨海断裂与巴士断裂交汇处, 小地震频繁发生, 其空间分布刻画出两条断裂的倾角。其中, 滨海断裂倾角陡, 巴士断

裂倾角相对比较平缓。新丰江水库地震的深度主要集中在 12 km 之上,较构造地震的深度浅。由于大量地震的集中分布容易引起视觉上呈条带状分布的错觉,重新定位揭示的两处地震条带是否为隐伏断裂还需其他地质、地球物理证据证实。

参考文献:

- [1] 黄海波,郭兴伟,夏少红,等. 华南沿海地区地壳厚度与泊松比研究[J]. 地球物理学报, 2014(12): 44-54.
- [2] Yang, Yong-Tai. An unrecognized major collision of the Okhotomorsk Block with East Asia during the Late Cretaceous: constraints on the plate reorganization of the Northwest Pacific [J]. Earth-Science Reviews, 2013 (126): 96-115.
- [3] 刘福田,曲克信,吴 华,等. 中国大陆及其邻近地区的地震层析成像[J]. 地球物理学报, 1989(3): 281-291.
- [4] 熊绍柏,金东敏,孙克忠,等. 福建漳州地热田及其邻近地区的地壳深部构造特征[J]. 地球物理学报, 1991, 34 (1): 55-63.
- [5] 廖其林,王振明,王屏路,等. 福州—泉州—汕头地区地壳结构的爆炸地震研究[J]. 地球物理学报, 1988, 31 (3): 270-280.
- [6] 刘以宣. 南澳断裂带与滨海断裂带的基本特征及其活动性探讨[J]. 华南地震, 1986(3): 4-11.
- [7] 丁原章,梁 劳. 巴士系构造的地震危险性[J]. 华南地震, 1992(2): 1-14.
- [8] 闻学泽,徐锡伟. 福州盆地的地震环境与主要断层潜在地震的最大震级评价[J]. 地震地质, 2003, 25(4): 509-524.
- [9] 杨智娴,陈运泰,郑月军,等. 双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2003, 33(Z1): 129-134.
- [10] 李志海,赵翠萍,王海涛,等. 双差地震定位法在北天山地区地震精确定位中的初步应用[J]. 内陆地震, 2004, 18(2): 146-153.
- [11] 王小平,王燕纹,李慧民. 结合双差地震定位法及台阵技术对江苏张家港地震序列进行精确定位[J]. 内陆地震, 2005(3): 257-263.
- [12] 朱艾嫒,徐锡伟,刁桂苓,等. 汶川 $M_s 8.0$ 地震部分余震重新定位及地震构造初步分析[J]. 地震地质, 2008(3): 759-767.
- [13] 孔祥艳,陈向军,刘建明,等. 2016 年 12 月 8 日呼图壁 $M_s 6.2$ 地震余震序列精定位研究[J]. 内陆地震, 2017 (3): 237-241.
- [14] 孔祥艳,陈向军,钟世军,等. 2016 年 11 月 25 日阿克陶 $M_s 6.7$ 地震机器余震序列精定位[J]. 内陆地震, 2017, 31(2): 110-114.
- [15] 冉慧敏,上官文明,刘东亚. 2020 年 1 月 19 日新疆伽师 $M_s 6.4$ 地震及余震序列定位研究[J]. 内陆地震, 2020, 34(1): 56-62.
- [16] 郑圻森,朱介寿,宣瑞卿,等. 华南地区地壳速度结构分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(4): 9-13.
- [17] 邓阳凡,李守林,范蔚茗,等. 深地震测深揭示的华南地区地壳结构及其动力学意义[J]. 地球物理学报, 2011, 54(10): 2560-2574.
- [18] 王小娜,刘 锦. 广东新丰江库区波速比变化特征研究[J]. 防灾减灾学报, 2017, 33(4): 16-22.

Study on Precise Location of Earthquakes in Coastal Areas of Southeast China

WANG Peng^{1,2}, SUN Dong-jun^{1,2}, WANG Cheng-rui^{1,2}, FENG Ce^{1,2}, PAN Guo-yong^{1,2}

(1. Shanghai Earthquake Agency, Shanghai 200062, China;

2. Shanghai Sheshan Geophysics National Field Observation and Research Station, Shanghai 200062, China)

Abstract: Based on the body wave travel time data of 9826 seismic events recorded by 229 stations of China seismic network from 2008 to 2017, the seismic location in the coastal areas of Southeast China is inverted by using seismic double difference location method. The results show that tectonic activity in the southeast coastal area has a controlling effect on seismic activity. At the edge of the block with strong activity, the seismic activity is concentrated in a strip linear distribution, and the dominant direction is consistent with the direction of the tectonic belt; within the block with weak activity, the seismic distribution is discrete or sparse, and there is no zonal distribution. There are two places with linear distribution of earthquakes in the north of Nan'ao Island, Guangdong Province. The length is about 200 km and 40 km respectively, and the strike is 70° north by East. The location of the fault is consistent with the position of the fault inferred by predecessors according to the gravity data. Since there is no known fault structure corresponding to it, it may be an undiscovered hidden fault. At the intersection of Bashi fault and Binhai Fault in the southern sea area of Nan'ao Island, a large number of earthquakes gather along the fault. The profile shows that the Binhai Fault tends to the southeast and has a large dip angle. The seismic depth of Xinfengjiang reservoir is within 12 km, which is shallower than that of tectonic earthquake.

Key words: Double difference location; Coast of southeast China; Nan'ao Island fault

基于双差定位法的鄂尔多斯块体西北缘地震精定位研究

郭伟^{1,2}, 刘甜甜¹, 范玲玲¹, 李贵明¹

(1. 内蒙古自治区地震局乌加河地震台, 内蒙古 巴彦淖尔 015331; 2. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

摘要: 针对鄂尔多斯块体西北缘地震活动的复杂性及目前台网定位方法存在偏差的问题, 采用双差定位法对2009—2019年发生在鄂尔多斯块体西北缘的地震事件进行重新定位。经研究表明, 双差定位之后地震分布更集中, 鄂尔多斯块体西缘的地震沿银川—吉兰泰断陷带分布, 北缘的地震沿河套断陷带分布, 地震定位精度明显提高, 这与块体周缘复杂的地质构造背景和动力学过程密切相关。定位结果可为进一步研究该区域的地震活动性等提供参考。

关键词: 双差定位法; 鄂尔多斯块体; 银川—吉兰泰断陷带; 河套断陷带

中图分类号: P315.73

文献标志码: A

0 引言

地震定位是用各个台站观测到的地震波到来时来反演地震的空间位置, 地震精定位是开展地震学相关研究的基石。1912年, 地震学家 Geiger 率先提出经典地震定位方法^[1], 但考虑到各个地区的地质构造不同、速度模型尚未完善及地震绝对到时拾取误差较大等因素的影响, 经典地震定位法未能适用于所有地区。近年来, 国内外地震学者一直致力于提高地震定位精度的研究, 传统的定位方法有 S-P 到时差、单台定位法、多台定位法等。相对定位法主要是应用时间之间的相互关系, 常用的有主事件法和双差定位法。2000年, Waldhauser 和 Ellsworth 提出了双差地震定位法^[2], 应用震源之间的相对位置消除速度模型对定位结果的影响。张海江在此基础上提出了 TomoDD 方法^[3], 实现了同时反演地震位置和速度结构; 杨智娴等研究了双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用^[4]; 赵翠萍对 1997—2003 年新疆伽师震源区 150 多个地震进行精定位, 发现地震空间分布图像显著改善^[5], 在空间上表现出较好的丛集; 张广伟等采用双差定位法, 对云南鲁甸 $M_s 6.5$ 地震序列重新定位, 结果显示, 主震的震源深度与破裂过程显示的初始破裂深度较为接近, 余震序列呈现出近东西—北西向的不对称共轭状分布^[6]; 张帆对岱海断陷带及周边地区地震事件进行双差重定位后发现地震在空间分布上更加集中^[7]; 李翠平等对 2017 年 11 月 23 日重庆武隆 $M_s 5.0$ 地震序列进行重定位, 发现余震集中分布在主震 SW

方向^[8]; 阎春恒等采用双差定位法对 2019 年广西北流 $M_s 5.2$ 地震序列进行重新定位, 发现地震分布呈北西向优势展布^[9]; 王恩惠等对盐城地区近 10 年的小震进行重新定位, 发现精度大幅提高^[10]; 李彬^[11]、尹占军^[12]分别对内蒙古阿拉善左旗 5.8 级地震序列和内蒙古中部地区符合条件的地震事件进行双差定位, 均得到较准确的震源深度。

双差定位法在实际应用中要注意以下几点: 不需要主事件, 适用于较大的丛集地震空间跨度; 适用于震中分布集中的、相邻地震间距离几百米甚至更小的地震群; 双差定位算法的主要局限性在于台站的几何分布和可用性; 近台对双差定位结果有较大的影响。

研究选取 2009—2019 年发生在鄂尔多斯块体附近(北纬 $34^\circ \sim 42^\circ$, 东经 $104^\circ \sim 114^\circ$) 的地震数据, 重新量取地震波形, 采用双差定位法进行重新定位, 为进一步研究该区域的地震活动性等奠定基础。

1 地震地质构造背景

鄂尔多斯块体位于华北克拉通块体内部, 块体内部构造活动微弱, 周缘地震活动强烈, 历史地震较多^[13]。鄂尔多斯块体北缘主要位于内蒙古中西部地区, 在阴山隆起和鄂尔多斯隆起之间, 东西走向^[14], 中强地震较为活跃, 主要包括河套断陷系(有呼包凹陷、白彦花凹陷和临河凹陷, 这 3 个凹陷的北缘分别是大青山山前断裂、乌拉山山前断裂和狼山—色尔腾山山前断裂)和山西断陷系北部(主要有大同盆地, 边界断裂有口泉断裂、六棱山北麓断裂和衡山北麓断裂)^[15];

收稿日期: 2020-04-26

基金项目: 内蒙古自治区地震局局长基金课题(2019JC15)。

第一作者简介: 郭伟(1990—), 女, 内蒙古丰镇市人。在读硕士研究生, 助理工程师, 主要从事地震震源的相关研究工作, E-mail: 977963563@qq.com。

鄂尔多斯块体西缘位于南北地震带北端,是青藏地块、阿拉善地块和鄂尔多斯地块的交汇部位,新生代以来区域内构造活动强烈、南部弧形构造带以挤压、走滑为特征,北部盆岭构造带构造活动以拉张为主,发育有规模较大的张性—扭性正断层^[16]。

2 资料选取

选取 2009—2019 年发生在鄂尔多斯块体附近(北纬 34°~42°,东经 104°~114°)的地震事件为研究对象,采用双差定位法重新定位。研究区域内台站和地震观测报告中的地震分布如图 1 所示。可以看出,地震基本上都分布在鄂尔多斯块体西北缘,块体内部较少。

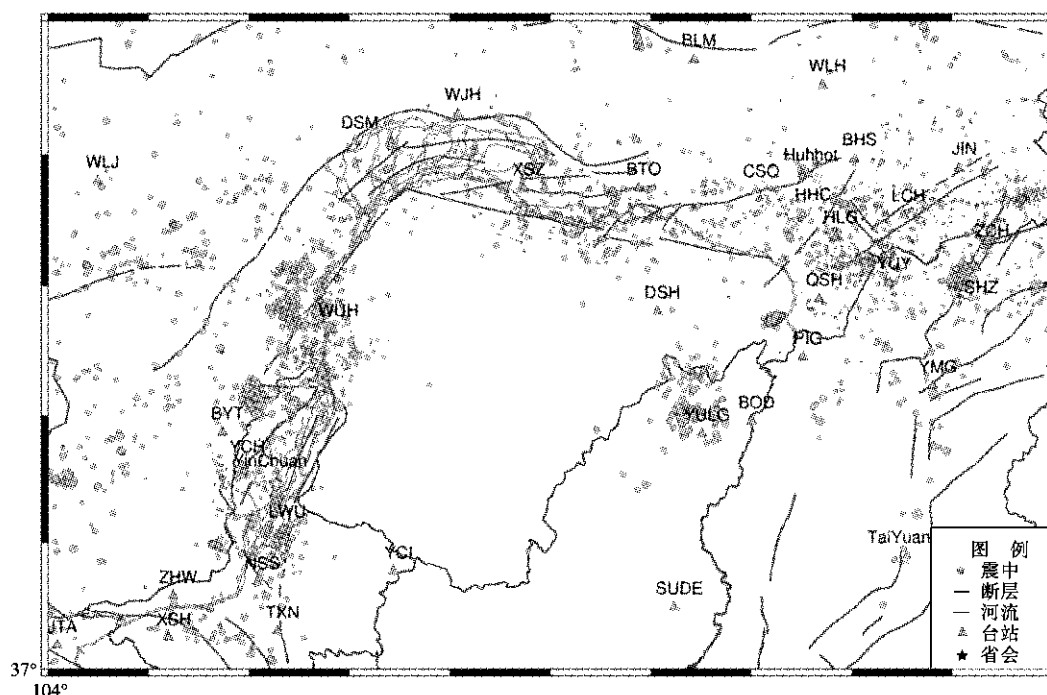


图 1 鄂尔多斯块体西北缘台站及地震分布

Fig. 1 Stations and earthquake distribution in the northwest margin of Ordos block

3 原理方法

双差定位算法是调整事件对的相对位置,使得观测值和理论值的到时差最小。对于台站 k ,记录到的第 i 个地震的体波走时 t 满足:

$$t_k^i = \tau^i + \int u ds,$$

式中: τ^i 为事件的初始时刻; u 为慢度; ds 为积分路径长度。

假设地震事件 i, j 相距足够近,这两个地震事件到同一台站 k 的路径几乎相同,则:

$$dr_k^{ij} = r_k^i - r_k^j = (t_k^i - t_k^j)^{ds} - (t_k^i - t_k^j)^{al},$$

式中: $(t_k^i - t_k^j)^{ds}$ 为事件 i, j 的观测到时差,可由地震目录直接计算得出; $(t_k^i - t_k^j)^{al}$ 为事件 i, j 的理论到时差; dr_k^{ij} 为双差,即台站 k 记录到的事件 i, j 的观测到时差和理论到时差之差。

4 双差定位结果及分析

4.1 速度模型

地震学中经典的一维速度模型有 J-B 模型、

PREM、IASP91 和 AK135 模型。考虑到不同区域的地质构造不同,多年来学者们对不同区域分别开展了相应的速度模型研究。

刘芳^[17]建立了内蒙古地区地壳速度模型(简称“2015 模型”),赵艳红^[18]在“2015 模型”的基础上分别建立了内蒙古西部、中部和东部 3 个区域的地壳速度模型。贾昕晔^[19]在刘芳、赵艳红研究的基础上开展了内蒙古中西部地区一维速度模型检验,结果显示,分区速度模型更符合内蒙古区域构造特征,所以,该文采用的速度模型是贾昕晔的研究结果(见表 1)。其中: H 表示地壳厚度, V_p 表示 P 波的速度, V_s 表示 S 波的速度。

表 1 内蒙古中部地区水平层状速度模型
Table 1 Horizontal layered velocity model in central Inner Mongolia

H/km	$V_p/(km/s)$	$V_s/(km/s)$
0~27	6.07	3.50
27~41	6.59	3.81
41~50	8.08	4.67

4.2 结果分析

应用双差定位法,对鄂尔多斯块体附近的地震进行重新定位,定位前后的地震分布如图 2 所示。可以看出,地震基本上都分布在鄂尔多斯块体西北缘,块体内部较少。由于内蒙古地区地域辽阔且地质构造背景复杂,台站分布不均匀,西部地区台站分布较稀疏。双差定位对于包围较好的地震丛集有优势,在图 2 的基

础上考虑构造背景分区,分别对银川吉兰泰断陷带(鄂尔多斯块体西缘)和河套断陷带(鄂尔多斯块体北缘)的地震进行重新定位,结果如第 13 页图 3、4 所示。双差定位后的地震分布更集中,西缘和北缘均呈条带状分布,朝断裂带走向聚集,基本上与断层走向一致,块体西缘的地震沿银川吉兰泰断陷带分布,块体北缘的地震沿河套断陷带分布,显示出研究区内地震活动与

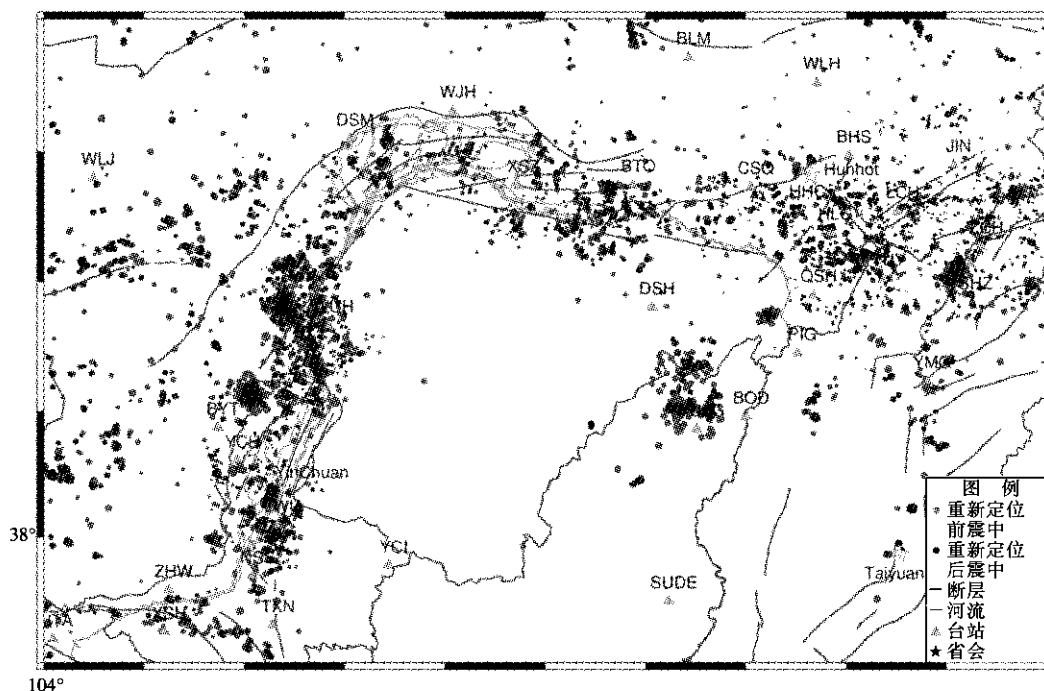


图 2 鄂尔多斯块体双差定位前后地震分布

Fig. 2 Seismic distribution before and after double difference location in Ordos block

活动构造的密切关系。

进行双差定位前后鄂尔多斯块体及其西缘、北缘的均方根残差如第 13 页表 2 所示,可以看出,双差定位后均方根残差较之前降低了一个数量级。由于台站密集,地震分布集中的区域丛集事件的残差较小,反演过程组成丛集事件较多,说明双差定位的精度较目前测震台网的定位精度有提高。

第 13 页表 3 是双差定位后震源位置三分向误差,可以看出,双差定位后三分向误差基本均在 1 km 以内。

从第 13 页图 5、6、7(a 图均为重新定位前, b 图均为重新定位后)可以看出,重新定位前震源深度分布主要集中在 5~20 km,定位后基本呈正态分布。尹占军^[12]对内蒙古中部地区地震事件进行双差定位,结果表明,震源深度分布在 6~10 km。张帆^[20]通过 Pn-Pg 走时差计算内蒙古地区地震震源深度发现,原始地震目录深度在 10 km 以内,重新测定的深度分布在 5~

40 km 范围内。为此,研究了鄂尔多斯块体重新定位前后震源深度随经纬度变化的情况,结果如第 14 页图 8 所示。可以看出,重新定位前(见图 8a、8b)震源深度在 5~10 km 范围内,水平分层现象明显,这与我国地震目录的处理方式有关。目前,测震台网多采用人工分图方式,有些震源由于台站记录到的震相不足等导致无法获得准确的震源深度,从而根据以往的分图经验人为设定一个震源深度(采用“地区优势”深度代替实际的震源深度^[21]),与实际的深度存在误差,进一步说明对地震进行重新定位是必要的。

鄂尔多斯块体重新定位后(见图 8c、8d)震源深度随经纬度变化情况显示,重定位后消除了水平分层现象,与张帆^[20]通过 Pn-Pg 走时差重新测定的内蒙古地区地震震源深度分布结果相吻合。在垂直方向震源呈条带状分布,地震优势分布在断裂带附近,说明双差定位算法可以较好地应用震源的相对位置,对深度有一定的约束力,能够更真实地反映当地的地质构造情况。

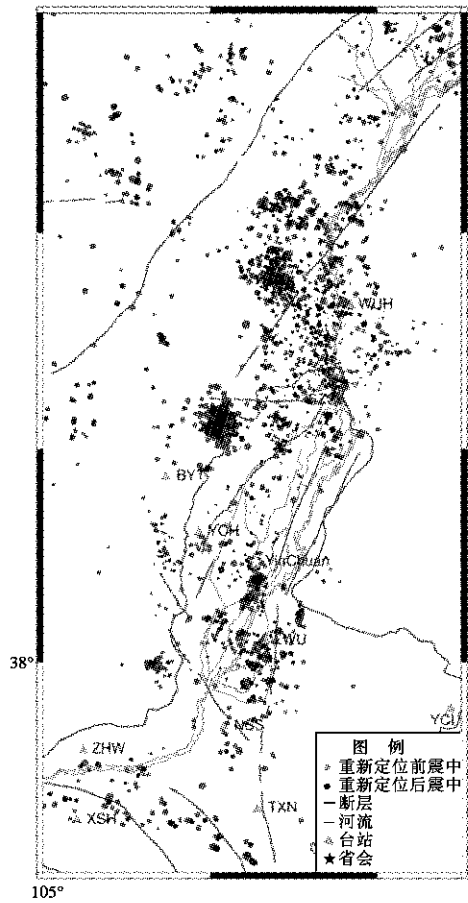


图 3 鄂尔多斯块体西缘双差定位结果
Fig. 3 Double difference location results of the western margin of Ordos block

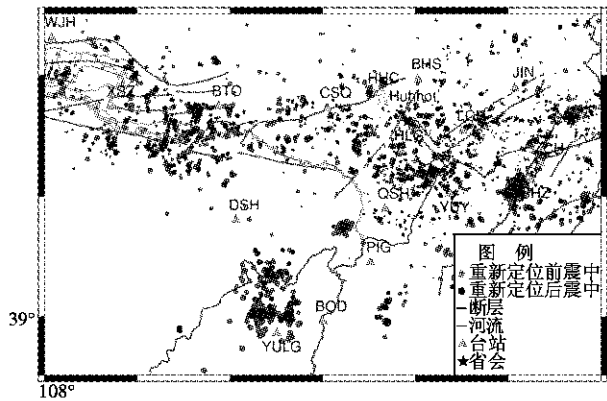


图 4 鄂尔多斯块体北缘双差定位结果
Fig. 4 Double difference location results of the northern margin of Ordos block

表 2 双差定位前后均方根残差
Table 2 Root mean square residual before and after double difference location 单位:s

均方根残差	鄂尔多斯块体	鄂尔多斯块体西缘	鄂尔多斯块体北缘
双差定位前	2.04	2.01	1.79
双差定位后	0.11	0.06	0.15

表 3 双差定位后震源位置三分向误差
Table 3 Tri directional error of source position after double difference location 单位:km

三分向误差	鄂尔多斯块体	鄂尔多斯块体西缘	鄂尔多斯块体北缘
EW 向	0.67	0.34	0.72
NS 向	0.70	0.33	0.75
垂直向	0.95	0.42	1.01

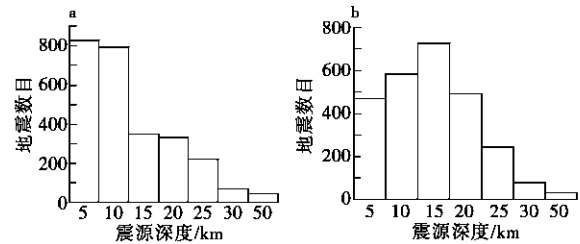


图 5 鄂尔多斯块体重新定位前后震源深度分布
Fig. 5 Focal depth distribution before and after relocation of Ordos block

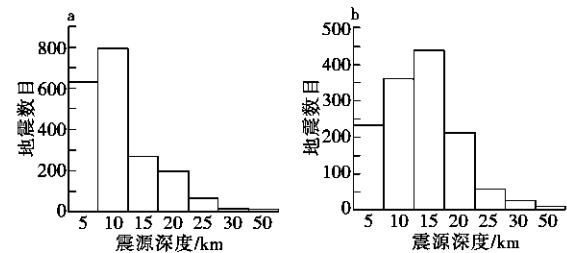


图 6 北缘重新定位前后震源深度分布
Fig. 6 Distribution of focal depth before and after relocation in the northern margin

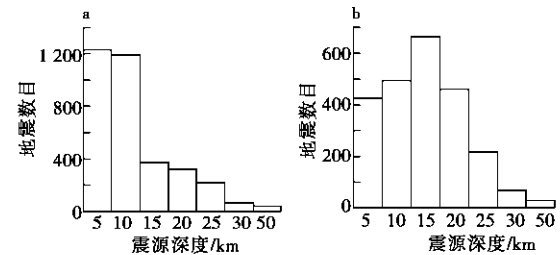


图 7 西缘重新定位前后震源深度分布
Fig. 7 Focal depth distribution before and after relocation of the western margin

5 结论与讨论

采用双差定位法对 2009—2019 年发生在鄂尔多斯块体西北缘的地震事件进行重新定位,结果表明:

(1) 双差定位的精度较高。双差定位后均方根残差平方和 RMS 显著降低,从精定位前的 1.79~2.04 降到 0.06~0.15,精定位后震源位置三分向误差基本

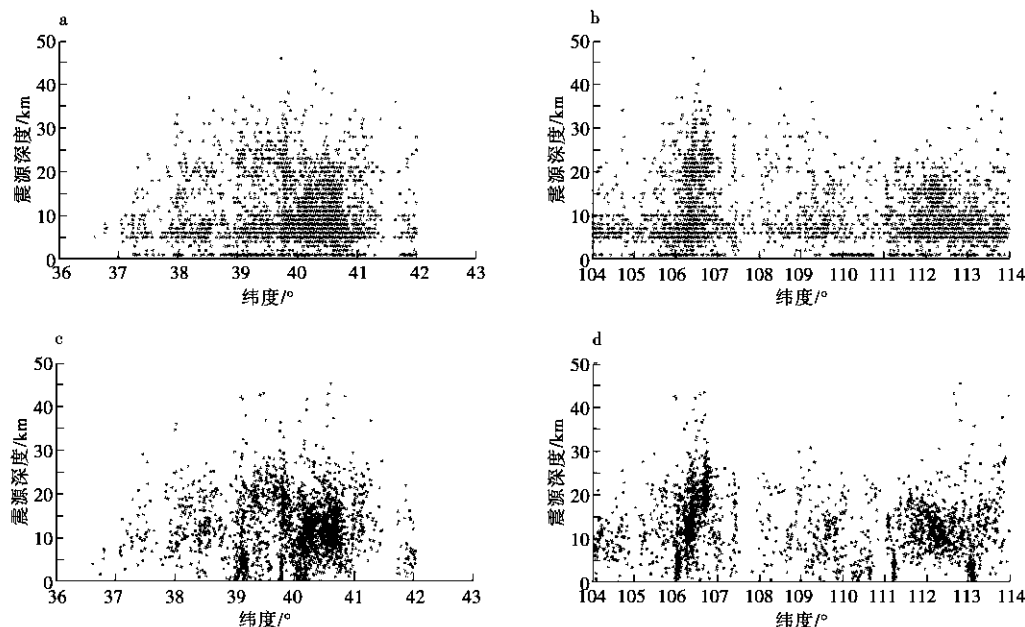


图8 震源深度随经纬度分布图

Fig. 8 Distribution of focal depth with latitude and longitude

都在 1 km 以内,垂直定位误差略高于水平误差。

(2) 震源深度有所改善。消除了重新定位前震源深度水平分层的现象,重新定位后震源深度基本呈正态分布,在垂直方向上地震呈条带状分布。

(3) 震中分布更集中。定位精度明显提高,鄂尔多斯块体西缘的地震沿银川吉兰泰断陷带分布,北缘的地震沿河套断陷带分布,与块体周缘复杂的地质构造背景和动力学过程密切相关。

经过双差定位的地震精度、震源位置及深度都有改善,为研究该区域的地震活动性等奠定基础,震源深度的精确测定在今后的研究中仍需不断完善。

参考文献:

- [1] Geiger I. Probability method for the determination of the earthquake epicenters from the arrival time only[J]. Bull. St. Louis, 1912, 8(1): 60-71.
- [2] Waldhauser F, Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward Fault, California[J]. Bull. Seism. Soc. Am., 2000, 90(6): 1353-1368.
- [3] Haijiang Zhang, Clifford H. Thurber. Double-Difference Tomography: The Method and Its Application to the Hayward Fault, California[J]. GeoScienceWorld, 2003, 93(5): 1875-1889.
- [4] 杨智娴,陈运泰,郑月军,等. 双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2003(S1): 129-134, 212-213.
- [5] 赵翠萍. 1997—2003 年新疆伽师震源区特征的地震学方法研究[D]. 北京: 中国地震局地球物理研究所, 2006: 1-156.
- [6] 张广伟,雷建设,梁姗姗,等. 2014 年 8 月 3 日云南鲁甸 $M_s 6.5$ 地震序列重定位与震源机制研究[J]. 地球物理学报, 2014, 57(9): 3018-3027.
- [7] 张帆,刘芳,张晖. 岱海断陷带地区地震重新定位研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2014, 35(Z1): 69-74.
- [8] 李翠平,唐茂云,郭卫英,等. 2017 年 11 月 23 日重庆武隆 $M_s 5.0$ 地震序列重定位及发震断层分析[J]. 地震地质, 2019, 41(3): 603-618.
- [9] 阎春恒,向巍,苏珊,等. 广西北流 $M_s 5.2$ 地震序列重新定位及其发震构造分析[J]. 华北地震科学, 2019, 37(S1): 12-16, 42.
- [10] 王恩惠,张广伟,谢卓娟,等. 盐城地区小震精定位及构造意义[J]. 地球物理学进展, 2019(3): 1-10.
- [11] 李彬,魏建民,张浩鸣,等. 2015 年内蒙古阿拉善左旗 5.8 级地震序列震源深度对比分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2018, 39(4): 38-46.
- [12] 尹战军,张帆,郝美仙,等. 利用双差定位方法研究地震震源深度[J]. 山西地震, 2018(1): 4-6.
- [13] 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.
- [14] 彭浩,彭美焯,吸永清. 鄂尔多斯周缘地震活动性和近期地震趋势分析[J]. 东北地震研究, 2001(3): 7-14.
- [15] 高立新,戴勇,陈立峰,等. 鄂尔多斯地块北缘动力背景和现今地震活动特征[J]. 大地测量与地球动力学, 2017, 37(7): 668-674.
- [16] 李新艳,崔月菊,马禾青,等. 2015 年 4 月 15 日内蒙古阿拉善左旗 $M_s 5.8$ 地震前后 CH_4 和 CO 变化[J]. 地震, 2019, 39(4): 54-62. (下转第 19 页)

· 地震地质 ·

文章编号:1000-6265(2021)01-0015-05

口泉断裂郊城段断裂展布特征及其活动性研究

丁学文^{1,2}, 霍 魁^{1,2}, 冯凯宇^{1,2}, 高树义^{1,2}, 李 申^{1,2}

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

摘要: 通过地质调查、联合钻孔勘察、断层露头剖面实测、光释光年龄测试等综合手段, 对口泉断裂郊城段准确位置、断裂展布特征和活动性进行详细研究。结果表明, 断裂在该地段由2条断裂组成, 呈平行阶梯状, 间距30 m, 山区侧断裂断距1.4 m, 盆地侧断裂断距1.9 m, 两断裂断至地表属全新世活动断裂, 为同期黏滑所致。晚更新世晚期(20.3~27.8 ka)地层平均沉积速率约为0.17 mm/a。沿断裂无明显的地貌陡坎, 基岩山体剥蚀后退400~600 m。研究得出的断裂准确位置、展布特征及活动性结果, 对口泉断裂形成历史、盆地的形成演化及对沿线工程规划和灾害评估有较大的参考意义。

关键词: 口泉断裂; 断裂展布特征; 断裂活动性; 山体后退

中图分类号: P315.2¹ 2

文献标志码: A

0 引言

口泉断裂为大同盆地的西北边界断裂, 其东南侧为盆地区, 西北侧为口泉山地。断裂南起山阴县上神泉, 向东北经大峪口、鹅毛口、口泉、上皇庄, 止于丰镇市官屯堡, 总长约108 km, 总体走向NE35°~45°, 倾向SE, 倾角一般45°~70°, 局部地段陡立。在中生代, 该断层为压性逆断层, 新生代为张性右旋平移正断层^[1]。根据断裂几何结构、地貌特征, 将口泉断裂从南西往北东划分为三段^①, 即上神泉—大峪口南部弱活动段、大峪口—上皇庄中部较强活动段、上皇庄—官屯堡北部弱活动段, 活动时代分别为第四纪晚更新世、全新世和晚更新世, 研究区郊城段位于口泉断裂中段的鹅毛口—口泉段(见第16页图1)。口泉断裂新生代以来新构造活动强烈, 在杨家窑—拖皮一带形成沉降中心, 研究区位于沉降中心部位, 新生界、第四系沉积厚度分别达2 000 m、400 m, 形成西北侧陡深、东南侧缓浅的箕状掀斜构造。众多学者对口泉断裂中段活动性进行过研究, 王霞等^[2]利用震源位置和速度结构联合反演方法, 对1981—2013年山西北部地区的地震进行重新定位, 反演得到的三维速度结构结果显示, 口泉断裂中北段地震集中, 南北两端地震少, 反映了中北段断裂活动强, 南北两端活动弱, 存在基底拆离带, 表明

存在深部证据; 王贞海^[3]、齐浪^[4]通过地质调查、浅层地震及电阻率CT勘探、钻孔勘察、探槽开挖分别对口泉断裂中段上窝寨、口泉一带断裂展布特征及活动性进行研究, 结果表明, 断层在上窝寨一带位于山前100~200 m, 断层两盘地层垂直落差大于380 m, 在口泉一带地层最大错距达70 m, 近地表垂直断距3 m, 破碎带宽1.2 m, 皆表现单条断层结构, 活动时代为全新世; 谢新生等^[5]根据野外调查、探槽开挖及¹⁴C、释光龄测定对口泉断裂全新世地震活动进行研究, 发现在距今1.23万年以来断裂曾发生过4次古地震事件, 平均间隔约3.74 ka, 各次事件的平均最小同震垂直位移为1.8 m, 与此相应的古地震震级在7级以上; 徐伟等^[6]对口泉断裂上神泉—杨家窑段晚第四纪以来断错地貌及活动速率确定研究表明, 禅房以北段断层活动呈现中间强、两侧弱的特点, 最强段位于小峪口至楼子口段, T₁阶地断错不小于3 m, T₂阶地断错不小于17.5 m, T₂阶地形成以来滑动速率不小于0.53 mm/a。大峪口T₁阶地断错0.5 m, 大峪口—禅房段活动速率为0.17 mm/a。石井—鹅毛口段T₁阶地断错0.25~0.3 m, 活动速率为0.4 mm/a。自历史地震记载、记录以来, 地震主要集中在断裂中北段, 最大地震为1582年大同阳和坡一带的5级地震^[7-8], 地震分布与断裂活动性关系密切。

收稿日期: 2020-12-21

基金项目: 山西省地震局科研项目(SBK-2037)。

第一作者简介: 丁学文(1964—), 男, 山西省清徐县人。硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地震地质、矿山地震研究工作, E-mail: sxtxdxw88@163.com。

① 张世民, 刘旭东. 我国重点监视防御区活断层地质危险性评价项目专题报告《口泉断裂1:5万地质填图》, 2011.

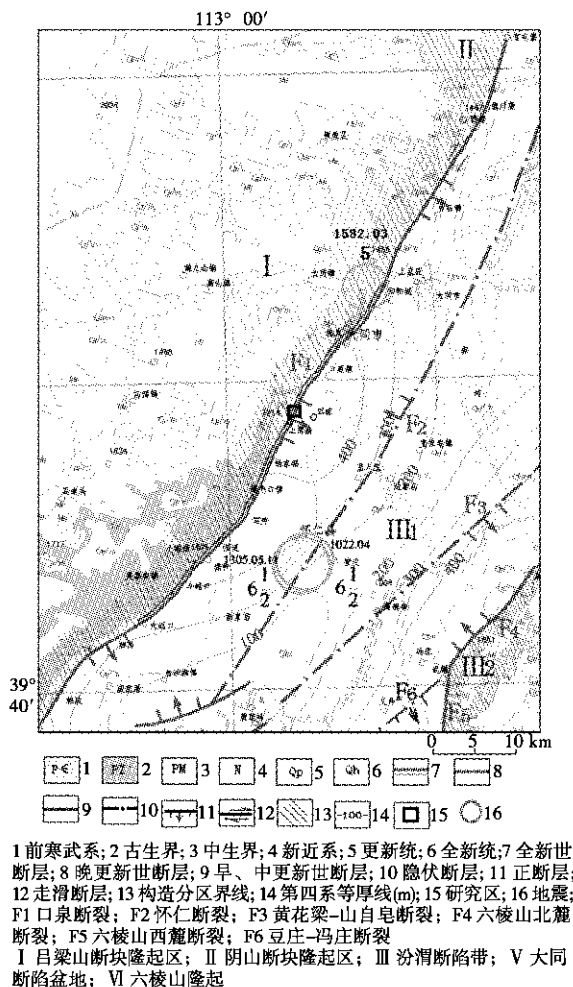


图 1 口泉断裂及邻区地震构造图
Fig. 1 Seismotectonic map of Kouquan fault and its adjacent area

野外采用联合钻孔勘察、断层露头剖面实测、光释光年龄测试等综合手段(见图 2),对口泉断裂中段郊城一带断裂展布特征及其活动性进行详细研究^②,确定断裂位置、展布特征及其活动性。

1 地质调查

研究区地处七峰山山前洪积台地区,总体地形西北高、东南低,发育纵向黄土冲沟,沟深 1~15 m,边坡坡角 20°~70°。为了解研究区一带地层、断裂展布特征,野外在研究区东北沟谷内 I I' 段进行了实地地貌、地层追踪调查,沟谷壁高 5~15 m,沟壁近于直立,地层从上至下可分为 3 层,即次生黄土(Q_4^{pl-dl})、砂砾石(Q_4^{sl-pl})、砂土(Q_4^{sl-pl}),地层连续、稳定,水平层理发育,未有断层分布(见图 3)。

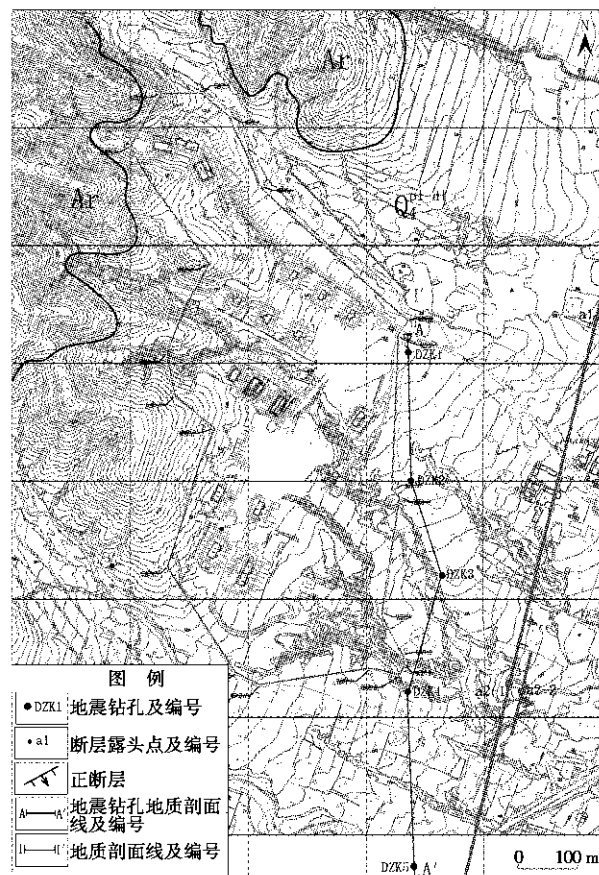


图 2 研究区工程布置及断裂位置图
Fig. 2 Engineering layout and fracture location map in research area

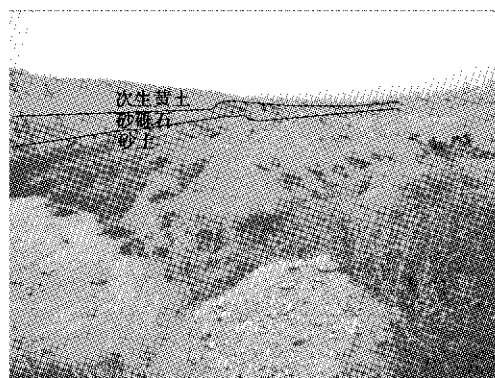


图 3 研究区东北冲沟 I I' 线北东壁地层(镜向 SE)
Fig. 3 Stratum in the Northeast wall of the II' line of the Northeast gully in the study area (mirror SE)

通过野外实地地层、地貌调查及断层追踪对比,在研究区发现两处断层露头 a1、a2。a1 露头点如第 17 页图 4、图 5 所示,位于研究区东堆煤渣场南壁,陡壁高约

② 山西省地震工程勘察研究院. 大同煤矿集团有限责任公司化工厂总仓库库房改造项目工程场地地震安全性评价报告, 2014.

5 m, 地层不连续, 具牵引、拖曳现象, 为正断层。断层清晰, 断面平直、光滑, 上陡下缓, 呈弧形, 断面中部产状 $130^{\circ} \angle 67^{\circ}$, 垂直断距 1.4 m, 断层断至近地表, 上部呈花状裂开, 裂缝宽 1~2 cm, 裂缝面反倾, 倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。从上至下地层依次划分为: 黄土, 褐黄色, 质均匀, 无层理, 具孔隙, 疏松, 含零星小石块, 砾径 0.5~1 cm, 顶部 10~20 cm 为褐色耕植土; 砂砾, 砾石呈次棱角状, 砾径 1~10 cm, 片麻岩成分, 具有微斜层理; 粉土, 褐黄色, 质均匀, 具有虫孔, 疏松, 无层理, 夹碎石层; 砾石, 砾径 2~10 m, 片麻岩成分, 棱角状, 具水平层理。

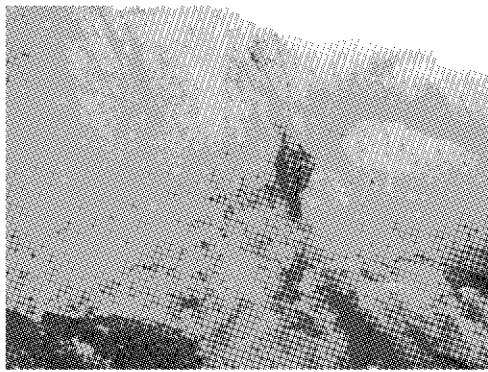


图 4 断层露头 a1 点 (镜向 NW)

Fig. 4 a1 point of fault outcrop (mirror NW)

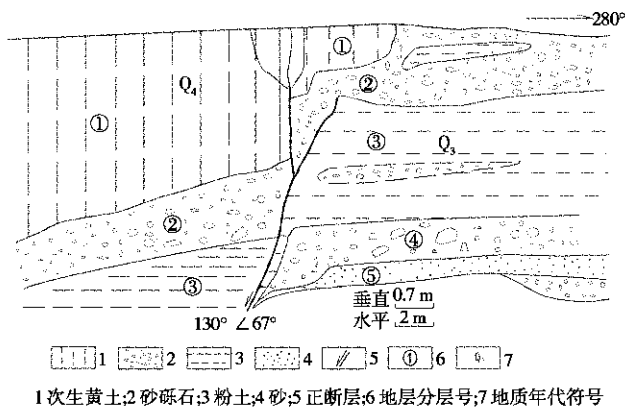


图 5 断层露头 a1 点地质剖面图

Fig. 5 Geological profile of a1 point of fault outcrop

a2 露头点如图 6、7 所示, 沟谷内路边陡壁, 陡壁高约 5 m, 出露一断裂带, 由 2 条断层 f1 (西北条, 露头 a2-1)、f2 (东南条, 露头 a2-2) 组成, 间距 30 m。断层 f1 产状下部 $150^{\circ} \angle 66^{\circ}$, 上部缓, 倾角约为 50° , 倾斜滑距 2.1 m, 垂直断距 1.4 m; f2 产状 $158^{\circ} \angle 77^{\circ}$, 倾斜滑距 2.2 m, 垂直断距 1.9 m。断层断至地表, 断面平直, 错断第四系全新统地层。地层从上至下依次划分为: 耕植土, 褐黄色, 质疏松, 含草根, 厚约 0.2~

0.5 m; 含角石粉土, 褐黄色, 质疏松, 角石约占 5%~10%, 粒径 1~3 cm, 棱角状, 片麻岩成分, 层理不清; 粉土, 褐黄色, 质疏松, 含角砾, 片麻岩成分; 碎石, 由 6 层组成, 每层厚 0.1~0.3 m, 层间距 0.2~0.4 m, 碎石粒径 1~5 cm, 棱角状, 片麻岩成分, 地层稳定, 呈近水平状分布; 粉砂土, 褐黄色, 质疏松、均匀, 具孔隙, 无层理, 含零星碎石, 粒径 0.5~1 cm, 棱角状, 片麻岩成分; 碎石, 厚度 0.4~0.7 m, 粒径 0.5~3 cm, 大可见 6 cm, 棱角状, 片麻岩成分, 水平状分布; 粉砂土, 褐黄色, 质疏松, 具孔隙, 含零星角砾, 粒径 0.2~0.5 cm, 棱角状, 片麻岩成分。为确定断层活动时代及地层沉降速率, 在 a2 露头点陡坎下部 f1、f2 两侧近断层处同一高度各取两个光释光样, f1 两侧样编号为 osl-3 (上盘)、osl-4 (下盘); f2 两侧样编号为 osl-1 (上盘)、osl-2 (下盘)。osl-1、osl-2、osl-3、osl-4 光释光年龄测试结果分别为 $(27.5 \pm 3.0) \text{ ka}$ 、 $(27.8 \pm 2.3) \text{ ka}$ 、 $(20.3 \pm 2.7) \text{ ka}$ 、 $(37.3 \pm 3.6) \text{ ka}$ 。样品光释光年龄测试由南京师范大学地理科学学院完成。

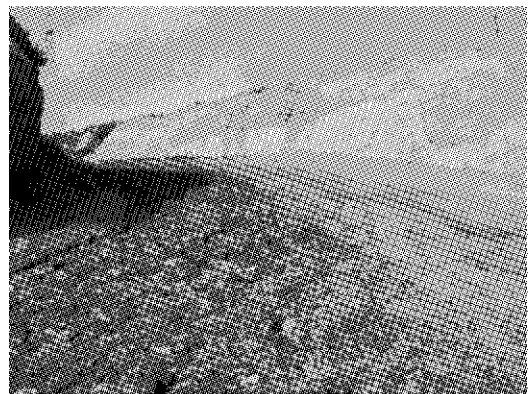


图 6 断层露头 a2 点 (镜向 N)

Fig. 6 a2 point of fault outcrop (mirror N)

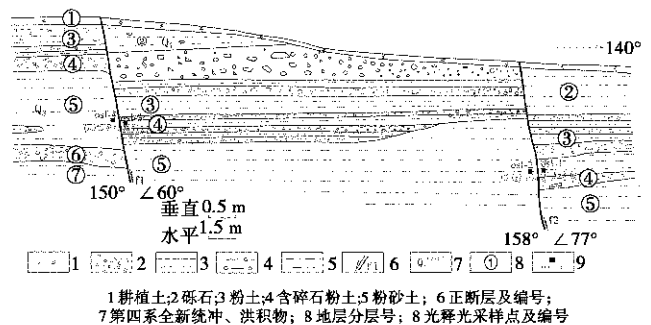


图 7 断层露头 a2 点地质剖面图

Fig. 7 Geological profile of a2 point of fault outcrop

2 钻孔勘察

在野外地质调查工作的基础上, 为了解场地地层

结构、查明断裂位置、活动性及断裂展布特征,在研究区近南北向布置了5个钻孔 DZK1-DZK5,孔间距分别约 240 m、143 m、190 m、225 m,孔深皆为 65 m,基岩埋深分别为 14.1 m、16.8 m、34.2 m、31.2 m、55.6 m。钻孔涉及全新统一上更新统粉土、角砾及下伏太古界片麻岩地层,基岩山体剥蚀后退 400~600 m。为对比地层,根据钻孔编制了钻孔地质剖面 AA'(见图 8)。

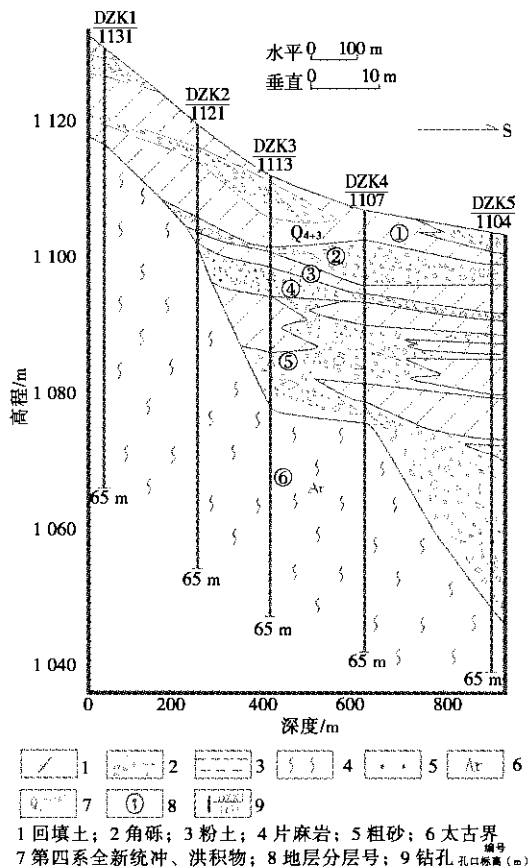


图 8 联合钻孔 AA'线地质剖面图

Fig. 8 Geological profile of AA' line of combined borehole

通过对研究区地质调查、钻孔勘察进行综合分析,发现基岩出露区边线向东南至断层线间地面呈缓状向山前倾斜,地面坡角约介于 $4^{\circ} \sim 6^{\circ}$,平均坡降为 95/1 000。DZK1-DZK5 间基底似坡角介于 $1^{\circ} \sim 9^{\circ}$,平均倾角为 5° ,平均坡降为 83/1 000,地面坡角和基底似坡角近于一致,基岩出露区与出露断裂间范围内无隐伏活动断裂存在。

3 结论与讨论

此次确定的断点位于盆地侧,地表无明显陡坎,断裂位置位于前人确定的位置东南约 360~500 m 处,与山体后退距离相近。这是由于断层活动形成断层崖后,在外力长期剥蚀下,断块山地被侵蚀降低,断层崖

被侵蚀形成断层三角面,断层三角面形成缓缓的山坡,山边线向山地方向后退并和断层线有一定的距离^[9]。

通过地质调查、联合钻孔勘察、断层露头剖面实测、光释光年龄测试等综合手段对口泉断裂郊城段准确位置、断裂展布特征和活动性进行详细研究,可得到如下认识:

(1) 口泉断裂带由 2 条断层 f1、f2 组成。f1 位于山区侧,断距 1.4 m; f2 位于盆地侧,断距 1.9 m; 呈阶梯状正断层,间距 30 m,断裂带具有阶梯状几何结构特征。断层错断第四系全新统一上更新统冲洪积层,为全新世活动断裂。两断层为同期黏滑形成,反映第四纪全新世以来断裂有过明显错动。

(2) 断裂出露处地貌上无明显陡坎,山前地面、基底面呈缓倾斜下降,地面平均坡角约 5° 。断层与山体区距离约 400~600 m,其间都上覆第四系冲洪积松散层,为正断层形成后基岩区抬升、盆地区下降,基岩剥蚀、后退,冲洪积、风积堆积而成,20.3~27.8 ka 期间冲洪积地层沉积速率约 0.17 mm/a。

(3) 山前断层位置确定应根据出露岩性、地质时代及断裂形成年代、活动强度等结合地貌、钻孔岩性、断层露头综合确定。与前人在此段研究成果相比,此次研究中确定的断裂活动时代同为第四纪全新世,断距与最近的鹅毛口探槽断距 1.8 m、发生于 7.71~17.59 Ka 的地震事件研究结果相近。

a1 露头出露 1 条断层,断距 1.4 m,发育崩积楔,为黏滑所致。由于陡坎未向东南延伸未出露另一条断层; a2 露头出露两条断层,即 a2-1 露头 f1、a2-2 露头 f2,两断层呈平行阶梯状,间距 30 m, f1 断距 1.4 m, f2 断距 1.9 m,两断层最新错断为第四系全新统同时代地层,上、下盘同期地层厚度近于一致,推测为黏滑所致。断层错断耕植土,为断层蠕动所致。a1、a2-1 露头断距皆为 1.4 m,为同一条断层。根据 a2 露头 f1、f2 两断层间同盘 osl-2、osl-3 样年龄计算出 20.3~27.8 ka 期间,地层沉积速率约 0.17 mm/a。

基岩为太古界五台群片麻岩,中等变质,变质年龄为 20.5 亿年^[10],形成后受多期构造旋回的影响及风化、剥蚀。喜山运动晚期晚第三纪时期,由于区域应力场发生改变,山西断隆中部沿燕山期逆断裂发生解体,转为正倾滑运动为主的断陷沉降,形成统一的汾渭断陷带^[11]。晚第三纪后,由于基岩区抬升、盆地区下降,基岩剥蚀加剧,山体后退,且距离达到 400~600 m,在交城断裂晋源姚村段、交城县城段^[12]均显示出断裂形成后山体的后退现象。

感谢张世民研究员对文章提出的修改意见与建议!

参考文献:

- [1] 王乃樑,杨景春,夏正楷,等. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌[M]. 北京:科学出版社,1996:220-221.

- [2] 王霞,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.
- [3] 王贞海.口泉断裂带中段断裂组合特征及活动性研究[J].山西建筑,2008,34(35):124-125.
- [4] 齐浪,刘巍,刘轩,等.口泉断裂口泉村段断裂特征研究[J].华北地震科学,2012,30(1):44-47.
- [5] 谢新生,江娃利,王瑞,等.山西大同盆地口泉断裂全新世古地震活动[J].地震地质,2003:359-374.
- [6] 徐伟,刘旭东,张世民,等.口泉断裂中段晚第四纪以来断错地貌及活动速率确定[J].地震地质,2011,33(2):335-346.
- [7] 国家地震局震害防御司.中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)[M].北京:地震出版社,1995:128.
- [8] 山西省地震局.地震历史资料汇编[M].北京:地震出版社,1991:222-224.
- [9] 杨景春,李有利.地貌学原理[M].北京:北京大学出版社,2001:187-189.
- [10] 昆明地质学校.地层学[M].北京:地震出版社,1980:47-49.
- [11] 王鸿祯.中国古地理图集[M].北京:地图出版社,1985:122-138.
- [12] 徐杨,赵晋泉,张大卫,等.交城断裂交城县段的位置及其与地裂缝的关系[J].山西地震,2006(1):1-5.

Study on Fault Distribution Characteristics and Activity of Jiaocheng Section of Kouquan Fault

DING Xue-wen^{1,2}, HUO Kui^{1,2}, FENG Kai-yu^{1,2}, GAO Shu-yi^{1,2}, LI Shen^{1,2}

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

2. Taiyuan national field scientific observation and research station of continental rift dynamics, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

Abstract: Through comprehensive means such as geological survey, joint borehole investigation, actual measurement of fault outcrop profile and optically stimulated luminescence (OSL) age test, the exact location, fault distribution characteristics and activity of the Jiaocheng section of Kouquan fault are studied in detail. The results show that the fault is composed of two parallel faults in this section, with a distance of 30m. The fault distance of the mountain side is 1.4m, and the fault distance of the basin side is 1.9m. The two faults break to the surface, which belongs to Holocene active fault, is caused by stick slip in the same period. The average sedimentary rate of late Pleistocene (20.3—27.8ka) formation is about 0.17mm/a. There is no obvious geomorphic steep ridge along the fault, and the bedrock mountain body is eroded back 400—600 m. The accurate location, distribution characteristics and activity determination of the faults obtained by the study are of great reference significance to the formation history of the Kouquan fault, formation and evolution of the basin and the engineering planning along the line and disaster assessment.

Key words: Kouquan fault; Fault distribution characteristics; Fault activity; Mountain retreat

(上接第 14 页)

- [17] 刘芳,宋秀青,张帆,等.内蒙古地区地壳速度模型研究[J].地震地磁观测与研究,2016,37(2):26-34.
- [18] 赵艳红,舒雷,刘永梅,等.内蒙古分区地壳速度模型的建立及应用分析[J].中国地震,2018,34(4):731-744.
- [19] 贾昕晔,王鑫,王树波,等.内蒙古分区地壳一维速度模型的检验[J].中国地震,2019,35(4):738-752.
- [20] 张帆,徐岩,宋晓燕,等.用 Pn-Pg 走时差计算内蒙古地区地震震源深度[J].地震,2019,39(1):81-89.
- [21] 罗艳,曾祥方,倪四道.震源深度测定方法研究进展[J].地球物理学进展,2013,28(5):2309-2321.

Precise Seismic Location of the Northwest Margin of Ordos Block Based on Double Difference Location Method

GUO Wei^{1,2}, LIU Tian-tian¹, FAN Ling-ling¹, LI Gui-ming¹

(1. Wujiahe Seismic Station, Seismological Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Bayannaoer, Inner Mongolia 015331, China;

2. Institute of earthquake prediction, Seismological Bureau of China, Beijing 100036, China)

Abstract: In view of the complexity of seismic activity in the northwest margin of Ordos block and the deviation of current network positioning method, the double difference location method is used to relocate the seismic events occurred in the northwest margin of Ordos block from 2009 to 2019. The study shows that the distribution of earthquakes is more concentrated after double difference location. The earthquakes in the western margin of Ordos block are distributed along the Yinchuan Jilantai fault depression belt, and the earthquakes in the northern margin are distributed along the Hetao fault depression belt. The accuracy of seismic location is significantly improved, which is closely related to the complex geological structure background and dynamic process around the block. The location results lay a foundation for further study of seismicity in this area.

Key words: Double difference location method; Ordos block; Yinchuan Jilantai fault depression belt; Hetao fault depression belt

· 观测分析 ·

文章编号:1000-6265(2021)01-0020-06

小波分析法在海拉尔地震台前兆数据处理中的应用研究

曲浩鑫,王 怡,堵伟鹏

(内蒙古自治区地震局海拉尔地震台,内蒙古 海拉尔 021000)

摘要:应用小波变换法可对不同频率成分进行分解的特性,选取 db4 小波基函数,尺度为 1~8 阶,对海拉尔地震台前兆资料进行分析研究。结果表明,应用小波变换方法可较容易地识别和剔除气压、场地环境干扰等影响海拉尔地震台伸缩仪观测资料精度的诸多因素,气压和场地环境干扰在小波细节分解 $d_3 \sim d_6$ 部分异常显著;小波变换法对同震效应的识别、提取和去除具有良好效果,远震在小波细节分解 $d_3 \sim d_5$ 部分异常显著,近震在小波细节分解 $d_1 \sim d_3$ 、 $d_6 \sim d_8$ 部分明显;爆破信号在小波分解 $d_1 \sim d_8$ 部分中均清晰可见,异常的宽度和幅度变化不大。因此,应用小波分解法能有效识别无法判断的干扰源。

关键词:前兆异常;小波变换;小波分析

中图分类号:P315.63

文献标志码:A

0 引言

小波分析是一种包含尺度伸缩和时间平移的双参数函数分析方法,能将一个信号分解成对空间和尺度的独立结果,同时又保留原信号所包含的信息^[1]。基于小波变换能分离出不同频带的信号,目前,小波分析法广泛应用于天然地震震相识别、重力、大面积形变测量和定点形变测量等地震异常分析中^[2-7]。宋治平等研究表明,小波分析法对形变数字化资料中的干扰识别与消除、不同频率潮汐波的分离、趋势异常与短期异常的提取等方面都具有较强的功能^[8];张军等应用小波分析法对地下流体资料进行研究,得出较好抑制流体数据中随机噪声的方法,并通过重构小波系数达到消除降雨干扰的目的^[9];刘建明等研究得出小波分析可作为提取定点形变异常的一种有效方法,通过将定点形变观测数据分解成不同频段,对提取异常信号有较好的效果,提高了识别地震信息的能力^[6];倪友忠等通过小波变换法对面应变日均值进行分析,发现在海域大震前,小波变换第三阶细节部分在震前出现持续数月以上的高频脉冲,且面应变有鼓包现象^[10]。

因此,在小波变换理论基础上,运用小波分析法对海拉尔地震台(以下简称海拉尔台)前兆数据进行处理,总结小波分析在前兆资料中的应用经验,以期为识别、提取及去除前兆异常信息提供新思路。

1 小波分析理论基础

小波变换是一种信号的时间—尺度分析法,具有多分辨率分析的特点,在时、频两域都具有表征信号局部特征的能力,拥有窗口大小固定不变但形状、时间窗和频率窗均可改变的特点。小波变换的基本原理如下^[11],设 $\Psi(t) \in L^2(R)$,其傅里叶变换为 $\hat{\Psi}(\omega)$,当 $\hat{\Psi}(\omega)$ 满足允许性条件(完全重构条件或恒等分辨条件)时,则:

$$C_{\Psi} = \int_R \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty.$$

此时称 $\Psi(t)$ 为一个基本母小波,将母函数 $\Psi(t)$ 经伸缩和平移后得到如下公式:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), (a, b \in R; a \neq 0)$$

式中: a 为伸缩因子; b 为平移因子。称其为一个“小波”序列。在实际运用中,连续小波必须加以离散化。任意函数 $f(t)$ 的离散小波变换可表示为:

$$WT_f(m, n) = \int_R f(t) \overline{\Psi_{m,n}(t)} dt.$$

为区分不同分量信息,引入构造正交小波的方法和小波变换的快速算法—Mallat。应用 Mallat 算法不必知道具体的小波函数,同时,也使小波变换在计算上变得可行。Mallat 一维分解算法可表示为:

收稿日期:2020-10-12

基金项目:内蒙古自治区地震局 2020 年度局长基金(2020YB20)。

第一作者简介:曲浩鑫(1995—),女,内蒙古自治区呼伦贝尔市人。助理工程师,主要从事台站前兆、台阵监测分析工作,E-mail:511839990@qq.com。

$$\begin{cases} C_{j+1} = [H_{m,k}]_{m,k=-\infty}^{\infty}, (j = 0, 1, \dots, J) \\ D_{j+1} = [G_{m,k}]_{m,k=-\infty}^{\infty} \end{cases}$$

式中: $C_{j+1}f$ 与 $D_{j+1}f$ 是在分辨率为 j 时的近似部分和细节部分。对于 Mallat 一维重构算法可表示为:

$$C_{j-1}[n] = \sum_k h(n-2k)C_j[k] + \sum_k g(n-2k)D_j[k],$$

式中: $C_j[k]$ 为低频系数; $D_j[k]$ 为高频系数; h, g 分别为低通和高通滤波器。

2 小波基函数的理论选取

在 Mallat 算法中小波基函数的选择不是唯一的, 所有满足小波条件的函数都可作为小波函数, 不同的小波基函数使信号的分解和重构有不同的结果。因此, 选取合适的小波基函数就显得较重要。目前, 常用的小波基函数有: Haar 小波、Daubechies (dbN) 小波系、Biorthogonal (biorNr, Nd) 小波系、Coiflet (coifN) 小波系、SymletsA (symN) 小波系、Morlet (morl) 小波、Meyer 小波等。常用小波基函数的主要特点如表 1 所示, 选取的小波基函数既能突出异常信号又能最大限度地保留前兆资料的固体潮信息。

表 1 常用小波基的主要特点

Table 1 Main characteristics of commonly used wavelet bases

小波基	主要特点
Haar 小波	紧支撑性、正交、不连续、对称、具有一阶消失矩
Daubechies (dbN) 小波系	紧支撑性、正交、正则性随着序号 N 的增加而增加
Biorthogonal (biorNr, Nd) 小波系	双正交性、具有线性相位
Coiflet (coifN) 小波系	紧支撑性、大多连续、对称、支集长度为 $6N-1$ 、消失矩为 $2N$
SymletsA (symN) 小波系	紧支撑性、最小非对称性、尺度函数具有 N 阶消失矩
Morlet (morl) 小波	不具有尺度函数和正交性, 具有较好的时频局部性
Meyer 小波	具有紧支撑性的正交小波和任意正则性

根据小波函数的定义和常用小波基的特点, 结合前兆信号资料的特征及研究目的, 综合考虑小波基函数的对称性、正则性、紧支撑性及消失矩的阶数^[6, 12-16]。理论上, Daubechies (dbN) 小波系中的 db4 小波基函数能满足前兆资料处理的要求。db4 小波的尺度函数和小波函数如图 1 所示, 较好地兼顾了紧支撑性和正则性, 同时, 消失矩的阶数也较合适, 能在保留固体潮信息的基础上较好地反应异常信号。

为检验 db4 小波在实际前兆数字化资料处理中的效果, 选取 2020 年 1 月 24 日海拉尔台垂直摆 NS 分量数据进行小波变换, 图 2 为应用 db4 小波基函数进行离散小波变换的结果。可以看出, 2020 年 1 月 24 日 15 点 09 分塔吉克斯坦 5.6 级地震的信号在高频分

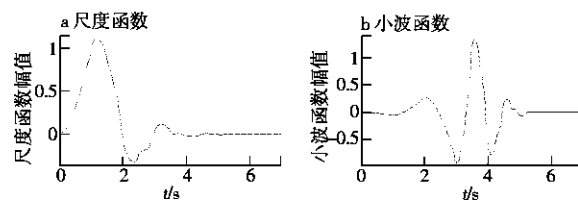


图 1 db4 小波尺度函数及小波函数

Fig. 1 db4 wavelet scaling function and wavelet function

解中变得突出, 同时, 应用近似 5 阶小波重构消除了该地震波对垂直摆正常波形的影响, 垂直摆的固体潮信息被较好地保留。由此可见, 应用 db4 小波基函数进行离散小波变换对海拉尔台前兆异常信号的识别、提取及消除是适用的。

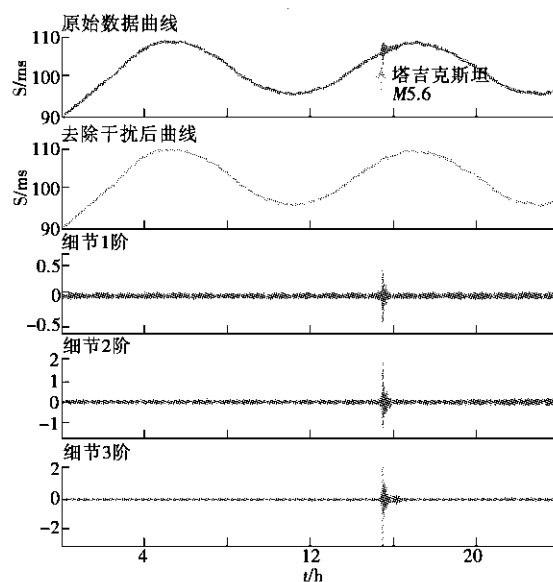


图 2 垂直摆 NS 分量曲线

Fig. 2 NS component curve of vertical pendulum

3 小波分析剔除干扰

海拉尔台目前共有 5 套数字化前兆观测仪器, 前兆资料信息量大且不同仪器会受到不同程度干扰, 在原始曲线中不易识别和区分。小波变换理论具有较强的干扰识别和排查能力, 因此, 选取海拉尔台受气压干扰和场地环境影响的典型事件, 采用小波分析法进行识别和消除干扰。

3.1 气象干扰

第 22 页图 3a 为 2020 年 8 月 2 日至 12 日伸缩仪 NS 分量原始数据曲线, 第 22 页图 4a 为 2020 年 7 月 1 日至 3 日水管仪 NS 分量原始数据曲线, 从图中难以识别出具体的干扰时段。应用小波变换法对图 3a、

图 4a 原始数据曲线进行细节 8 阶分解, 分解细节部分如图 3d、图 4d 所示。可以看出, d_1-d_2 未见明显异常, 从 d_3 开始曲线出现明显异常(图中方框部分), 上下波动幅度超过 2 倍中误差。通过与同时段气压变化曲线进行对比发现, d_3-d_6 明显的上下阶跃部分与气压异常波动时段一一对应, 因此, 可以判定伸缩仪和水管仪的异常变化由气压突变引起。

在小波分解 d_1-d_8 中, d_1-d_4 主要是高频信号段

部分, d_5-d_8 为低频信号段部分, 气压影响在 d_3-d_6 部分清晰显示, d_8 频带部分明显过滤了异常变化, 显示的是固体潮信息。综上所述, 海拉尔台形变仪受气压干扰在小波分解 d_3-d_6 部分较明显。

图 3c 为通过小波重构剔除受气压影响后的曲线, 与原始曲线图 3a 相比, 在保留原始信息的情况下, 较好地去除了气压影响造成的固体潮畸变, 证明小波分析法对排除气压干扰具有较好效果。

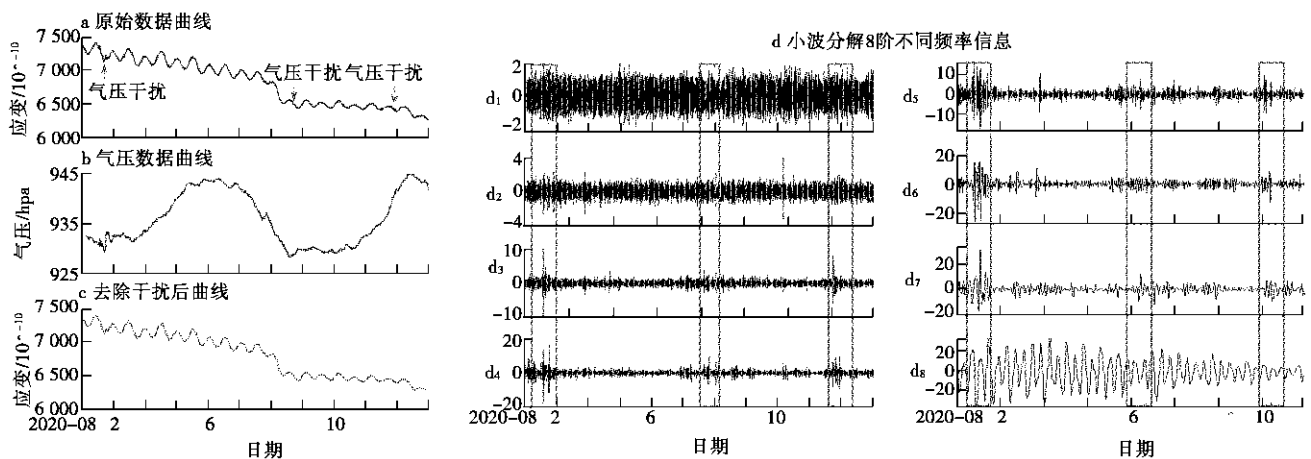


图 3 伸缩仪 2020 年 8 月 2 日至 12 日 NS 分量曲线

Fig. 3 NS component curve of extensometer from August 2 to 12, 2020

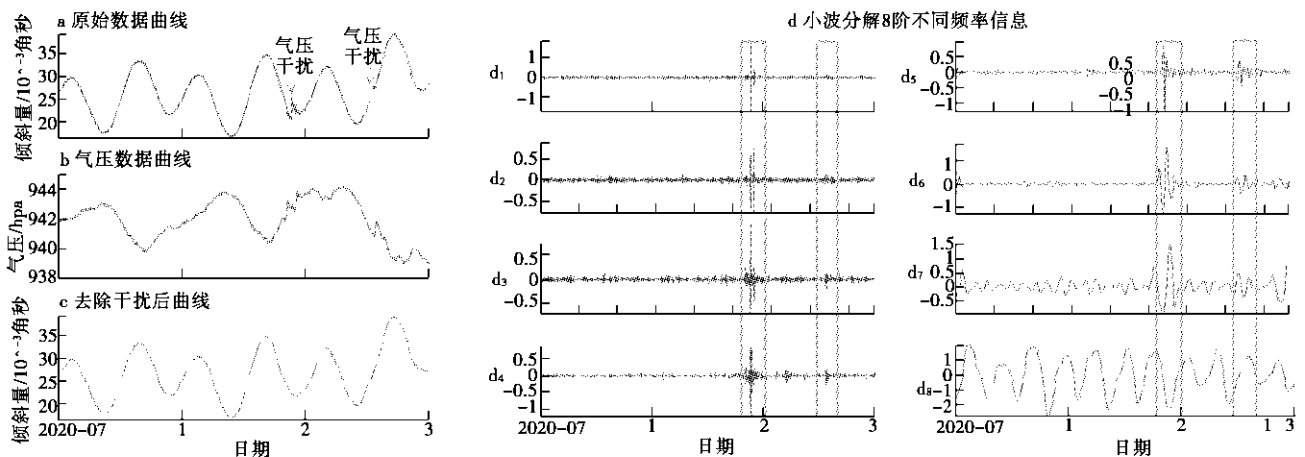


图 4 水管仪 2020 年 7 月 1 日至 3 日 NS 分量曲线

Fig. 4 NS component curve of water tube instrument from July 1 to 3, 2020

3.2 场地环境干扰

由第 23 页图 5a 看出, 从 2018 年 10 月 25 日 10 时 30 分左右至 27 日 8 时 30 分左右, 伸缩仪受干扰出现固体潮畸变, 经核查为体应变钻井工程影响所致, 属于典型的场地环境干扰。通过小波细节 8 阶分解显示有 3 个异常时间段(见图 5c), 分别为 25 日 10 时至 16 时、26 日 13 时至 22 时、27 日 7 时至 8 时, 三个时

间段与三次钻井时间相吻合。从图 5a 原始曲线中较难判断出具体受干扰的时段, 小波分解 d_3-d_6 部分压制了其信息, 将场地环境干扰凸显出来, 其中细节 5 阶最为明显。将场地环境干扰信息提取之后对原始曲线进行干扰剔除, 剔除结果如图 5b 所示。与原始曲线相比, 曲线光滑度高, 高频干扰信号基本被抑制。

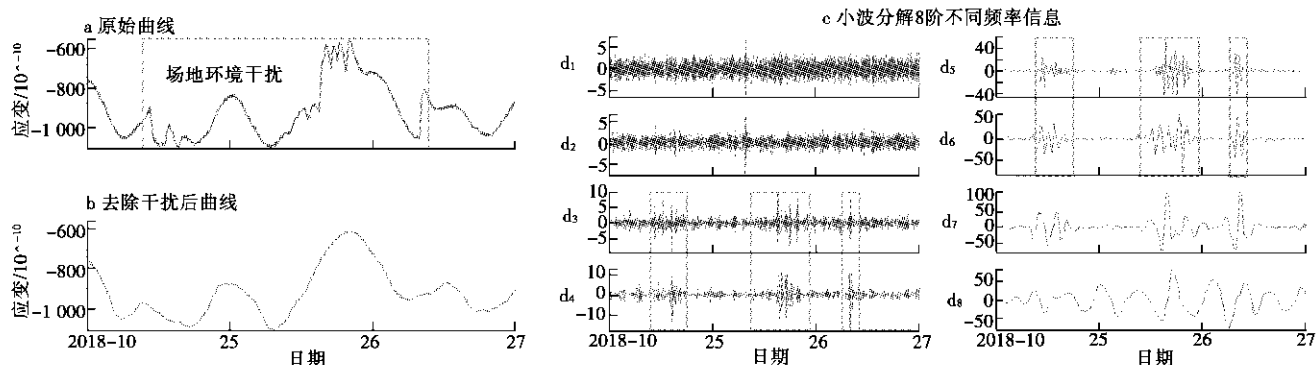


图 5 伸缩仪 2018 年 10 月 25 日至 27 日 NS 分量曲线

Fig. 5 NS component curve of extensometer from October 25 to 27, 2018

4 小波分析地震与爆破

4.1 小波分析近震与远震

海拉尔台不同前兆仪器识别地震的能力不同,多种手段互补观测可以清晰地记录到远震、近震以及地方震的同震效应^[8,10]。对于前兆分析来讲,这种同震效应幅度大,夹杂在观测曲线中,过大的振动幅度会压制前兆仪器正常的固体潮信息,也属于一种干扰。因此,采用小波分析法对同震效应造成的突跳进行识别和处理是必要的。

图 6a 为海拉尔台 2017 年 5 月 12 日重力潮汐观测值原始曲线,可以看出,呼伦贝尔市鄂伦春旗 3.7 级地震明显,中美洲沿岸远海 6.2 级地震难以辨别。从图 6c 中看出, d_1-d_8 中有两处明显异常,是由 19 时 11 分的中美洲沿岸远海 6.2 级远震和 22 时 19 分的呼伦贝尔市鄂伦春旗 3.7 级近震造成的,在原始曲线上难以辨别的中美洲沿岸远海地震经过小波变换后清晰可见。第 24 页图 7a 为海拉尔台 2019 年 9 月 30 日垂直摆 EW 分量原始曲线,其中,智利中部沿岸近海地震为远震,呼伦贝尔市新巴尔虎右旗地震为近震,近震在原始曲线中不明显,经过小波变换后可轻易识别。

由图 6c、图 7c 看出,近震和远震在小波变换细节分解中具有完全不同的特征,远震在 d_3-d_5 阶中异常明显;近震在 d_1-d_3 、 d_6-d_8 阶中较明显, d_1-d_3 阶异常幅度逐渐减弱, d_6-d_8 阶异常范围的宽度逐渐增加。图 6b、图 7b 为去除干扰后的重力潮汐观测曲线,比原始数据曲线清晰,日变形态正常显现。通过以上分析可以得出,小波分析对同震效应的识别、提取及干扰消除均具有较好的效果。

4.2 小波分析爆破

第 24 页图 8a 为海拉尔台垂直摆 NS 分量 2019 年 6 月 10 日原始数据曲线,可以看出,11 时左右北南分量数据形态表现为上下阶跃,难以判断此阶跃是由地

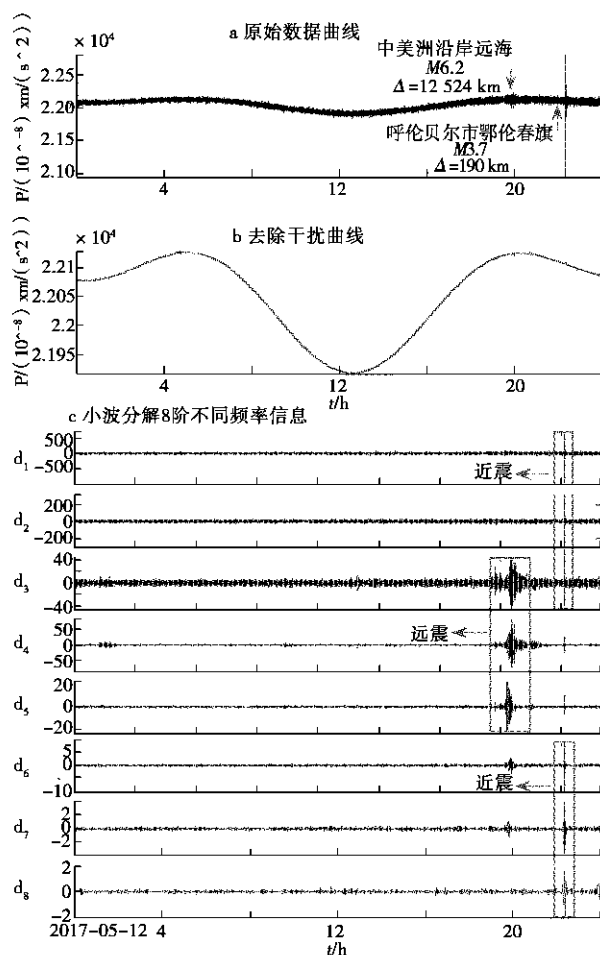


图 6 2017 年 5 月 12 日重力仪曲线

Fig. 6 Gravimeter curve of May 12, 2017

震还是爆破引起。因此,对曲线进行小波细节 8 阶分解,结果如图 8b 所示。对比图 8b、8c 发现,爆破与地震两种信号在小波细节分解上有明显区别。爆破信号在小波分解 d_1-d_8 阶中均清晰可见,异常的宽度和幅

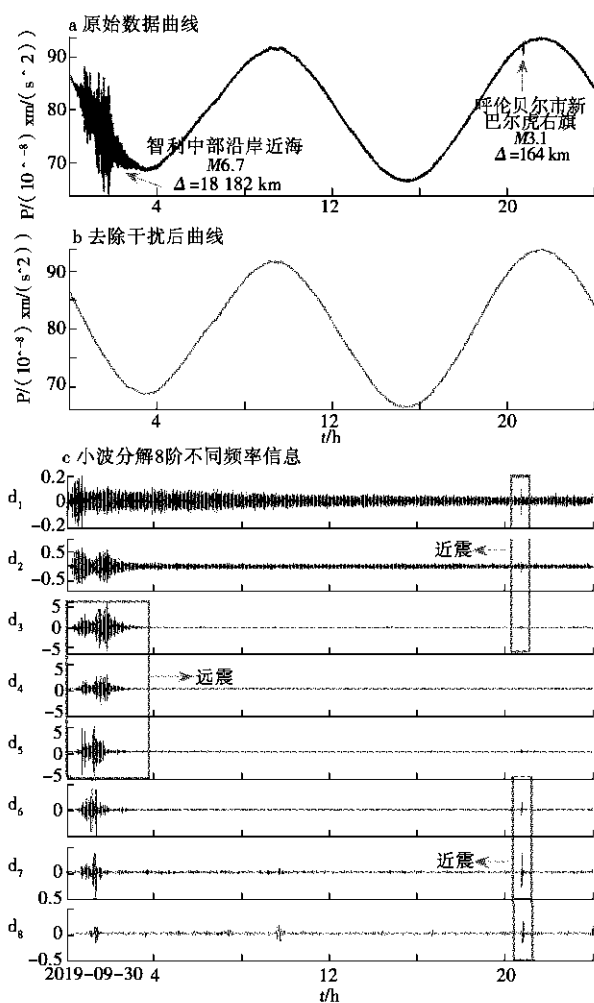


图7 2019年9月30日垂直摆曲线

Fig. 7 Vertical pendulum curve on September 30, 2019

度变化不大;地震信号在 d_1-d_8 阶中的某几部分异常明显,同时,地震类型的不同,异常的宽度和幅度变化呈现不同的态势。这是由于地震信号比爆破信号复杂,信号的频带范围更宽所致。第25页图9为海拉尔台2020年4月7日垂直摆EW分量记录到的爆破,通过做小波分解发现与图8具有相同的规律,即在小波分解 d_1-d_8 阶中爆破信号的宽度和幅度变化不大。由此可见,利用小波细节分解辨别原始信号异常是由地震还是爆破引起具有较好的效果。

5 结论与讨论

通过以上分析,得出如下认识:

(1) 小波变换可将不同频带的信号较好地分离,实现对各频段小波系数的逐一分析,从而达到提取前兆异常、去除特定频段干扰的目的。

(2) 通过对不同小波基函数特征的归纳分析,并对前兆资料进行处理,验证了 db4 小波是海拉尔台前

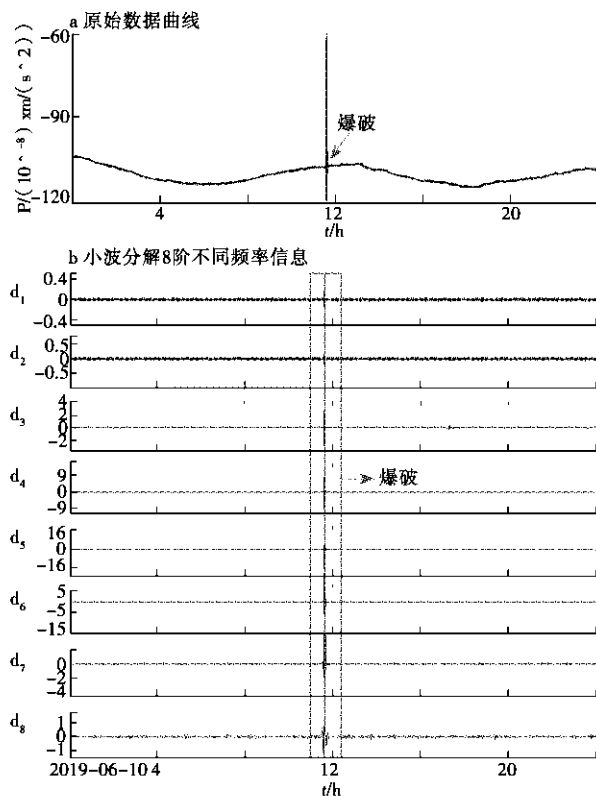


图8 垂直摆2019年6月10日NS分量曲线

Fig. 8 NS component curve of vertical pendulum on June 10, 2019

兆数字化资料处理较适合的小波基函数,能满足在保留固体潮信息的基础上检测前兆异常。

(3) 由海拉尔台形变仪器小波分析结果可知,小波分析法对气压、场地环境干扰的识别和剔除具有较好效果。气压、场地环境干扰均在小波细节分解 d_3-d_6 部分异常显著,其中 d_5 阶最明显, d_8 阶表征的基本是固体潮信息。应用小波变换重构信号基本去掉了气压、场地环境对原始信号的影响,去噪效果显著,信号曲线光滑度高,基本抑制了噪声信号。

(4) 小波变换法在海拉尔台同震效应的识别、提取和去除具有较好效果。通过对比远震和近震小波变换结果得出,远震在小波细节分解 d_3-d_5 部分异常显著,近震在小波细节分解 d_1-d_3 、 d_6-d_8 部分明显,且 d_1-d_3 部分异常幅度逐渐减弱, d_6-d_8 部分异常范围的宽度逐渐增加。

(5) 利用小波细节分解法可对原始异常相似的地震和爆破信号进行辨别。地震信号只在小波细节分解 d_1-d_8 阶中的某几部分异常明显,同时,地震类型的不同,异常的宽度和幅度变化呈现不同的态势;爆破信号在小波细节分解 d_1-d_8 阶中均清晰可见,异常的宽度和幅度变化不大。

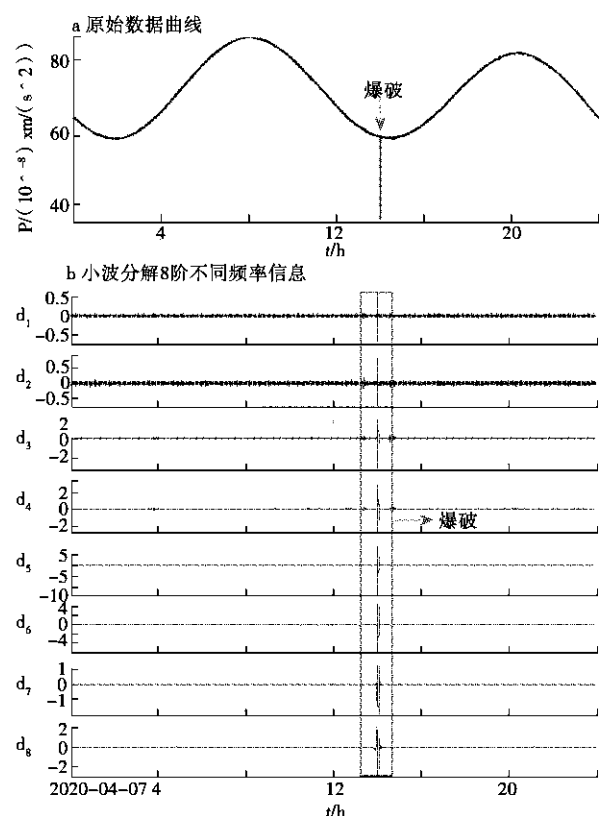


图 9 2020 年 4 月 7 日垂直摆 EW 分量曲线
Fig. 9 EW component curve of vertical pendulum
on April 7, 2020

参考文献:

- [1] 秦叶,陈新度,冯文贤.小波基的选择与振动信号分析[J].广东工业大学学报,1997(4):61-64.
- [2] 刘希强,周蕙兰,李红.基于小波包变换的地震数据时频分析方法[J].西北地震学报,2000(2):40-43,73.
- [3] 张燕,吴云,刘永启,等.小波分析在地壳形变资料处理中的应用[J].地震学报,2004(S1):103-109,175.
- [4] 刘冠中,王建军,王在华,等.小波多尺度熵在新疆跨断层形变资料中的应用[J].地震地质,2009,31(3):501-514.
- [5] 张燕.基于定点形变观测的地震预测方法研究[J].国际地震动态,2011(3):40-41.
- [6] 刘建明,李志海,孙甲宁,等.基于小波分析提取地倾斜异常特征[J].地震,2016,36(1):33-48.
- [7] 李宏伟,闫伟.时间序列的趋势转折点提取算法及应用研究[J].大地测量与地球动力学,2020,40(12):1242-1247.
- [8] 宋治平,武安绪,王梅,等.小波分析方法在形变数字化资料处理中的应用[J].大地测量与地球动力学,2003(4):21-27.
- [9] 张军,陈宇卫,刘泽民,等.小波分析在前兆数据处理中的应用[J].地震地磁观测与研究,2005(2):43-47.
- [10] 倪友忠,吴珊珊,教聪聪,等.小波分析方法在钻孔应变数字化资料处理中的应用[J].山西地震,2019(4):22-26.
- [11] 文鸿雁.基于小波理论的变形分析模型研究[J].测绘学报,2005(2):186-187.
- [12] 张华,陈小宏,杨海燕.地震信号去噪的最优小波基选取方法[J].石油地球物理勘探,2011,46(1):70-75,164,170-171.
- [13] 金解放,赵奎,王晓军,等.岩石声发射信号处理小波基选择的研究[J].矿业研究与开发,2007(2):12-15.
- [14] 柳建新,韩世礼,马捷,等.小波分析在地震资料去噪中的应用[J].物探化探计算技术,2005(3):205-208,180.
- [15] 李杰,刘希强,李红,等.利用小波变换方法分析形变观测资料的正常背景变化特征[J].地震学报,2005(1):33-41,119.
- [16] 张维辰.基于小波变换的钻孔应变地震前兆观测数据分析[D].长春:吉林大学,2018:1-76.

Research on the Application of Wavelet Analysis Method in Precursor Data Processing at Hailaer Seismic Station

QU Hao-xin, WANG Yi, DU Wei-peng

(Hailar seismic station, Seismological Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Hailar, Inner Mongolia, 021000, China)

Abstract: According to the characteristics that different frequency components can be decomposed by wavelet transform, db4 wavelet basis function with scale of 1-8 order is selected to analyze the precursor data of Hailaer seismic station. The results show that the application of wavelet transform method can easily identify and eliminate many factors that affect the accuracy of the extensometer observation data at Hailaer seismic station, such as air pressure and site environment interference. The disturbance of air pressure and site environment is significant in d_3 - d_6 part of wavelet detail decomposition. Wavelet transform has a good effect on the identification, extraction and removal of coseismic effect. The remote earthquake is remarkable in the d_3 - d_6 part of wavelet detail decomposition, and the near earthquake is obvious in the d_1 - d_3 and d_6 - d_8 parts of wavelet detail decomposition. The blasting signal is clearly visible in the d_1 - d_8 part of wavelet decomposition, and the width and amplitude of the anomaly change little. Therefore, the application of wavelet decomposition method can effectively identify the interference source that can not be judged.

Key words: Precursor anomaly; Wavelet transform; Wavelet analysis

张家口地震台连续重力异常分析

屈曼¹, 侯晓真¹, 陈建国¹, 王曰风², 朱振兴², 周亚², 刘仲韬²

(1. 河北省地震局, 河北 石家庄 050021; 2. 河北省地震局张家口中心地震台, 河北 张家口 075000)

摘要: 张家口地震台 gPhone 连续重力观测仪潮汐因子自 2016 年 6 月出现持续下降的趋势变化, 累计变化量达到 7×10^{-3} 。分析重力残差曲线, 异常出现时同期残差数据未出现同步变化; 将去零漂前后潮汐因子的变化情况进行对比分析, 发现潮汐因子变化趋势一致, 排除仪器调零影响; 针对新建楼房可能引起的重力变化, 建立了重力正演模型, 计算结果显示, 新建楼房的荷载变化仅能引起 0.31 微伽的重力变化, 表明新建楼房对重力观测的影响较弱。综合分析认为, 此次出现的重力潮汐因子下降趋势异常可能为前兆异常, 需加强跟踪分析。

关键词: 连续重力; 潮汐因子; 干扰因素; 趋势异常

中图分类号: P315.72¹6

文献标志码: A

0 引言

在地壳运动中, 由于各种原因, 中国大陆构造应力场发生强弱变化, 重力场图像也会跟着出现时空变化, 重力场变化与活动断裂构造密切相关^[1]。连续重力观测可以得到三方面的信息, 即重力场缓慢变化、重力潮汐变化和叠加在潮汐曲线上的高频信息^[2], 其能精确探测到地球内部物质迁移引起的重力变化效应^[3]。连续重力观测精度远高于流动观测, 从理论上讲, 流动重力能观测到的震前重力变化信号, 连续重力也可观测到。许多学者利用连续重力数据对震前异常进行分析论证^[4]。王新胜等^[5]分别对苍梧 Ms5.4 地震和呼图壁 Ms6.2 地震震前的连续重力观测数据进行分析研究, 发现震前重力数据出现了一定的异常

现象。喻节林等^[6]根据 M2 波潮汐因子的月变化曲线及加卸载响应比, 讨论了印尼 Ms8.7 地震可能引起的重力趋势性变化。黄雅等^[7]以 2013 年芦山 7.0 级地震为例, 探讨了重力固体潮参数的时空分布特征与地震孕育的关系, 发现芦山地震前 M2 波潮汐因子趋势变化空间分布大体呈现上升与下降趋势的四象限分布。

张家口地震台(以下简称张家口台)gPhone 连续重力观测仪 M2 波潮汐因子自 2016 年 6 月出现持续下降的趋势变化, 累计下降变化量达到 7×10^{-3} 。相同时间段内, 重力时序变化和重力非潮汐变化均比较平稳, 未出现明显的同步异常变化(见图 1)。为更准确地判定张家口重力潮汐因子异常的性质, 从观测数据可靠性、观测环境干扰等方面进行分析论证。

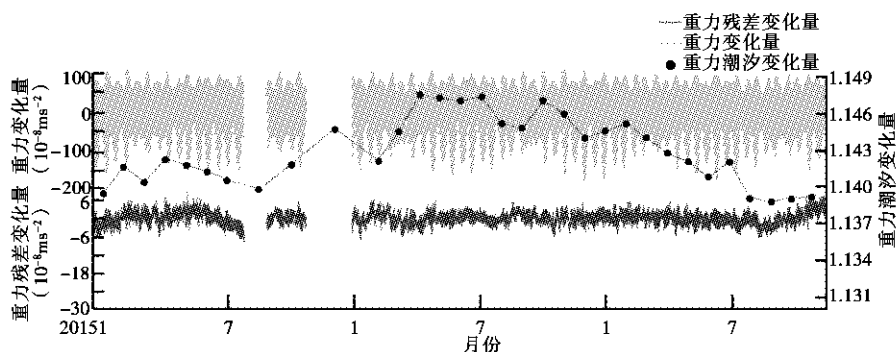


图1 2015—2017年M2波潮汐因子时间序列图

Fig. 1 Time series map of M2 tidal factor from 2015 to 2017

收稿日期:2020-07-27

基金项目:河北省地震局地震科技星火计划项目(DZ20200325037)。

第一作者简介:屈曼(1986—),女,河北省石家庄市人。工程师,硕士研究生,主要从事地壳形变与地震预测方面的研究,Email:1017063249@qq.com。

1 重力观测背景资料

张家口重力测点处在阴山东西向构造带与山西地震带北段、张渤地震带西北段的交汇部位,地质构造复杂,断裂较多。主要断裂有 NE 向蔚县山前大断裂、桑干河断裂、怀安—宣化断裂等。连续重力观测属洞室

型连续重力观测站,洞室深度 65 m,通道近似“W”形(见图 2),覆盖层达 30 m 以上,观测室内干燥、整洁、无渗水返潮现象。台基岩性属侏罗纪石英粗面岩和石英角砾岩。重力观测墩完好,未出现下沉、开裂等现象,仪器和观测墩表面洁净。

连续重力观测站 2009 年 9 月始建;2010 年 8 月开

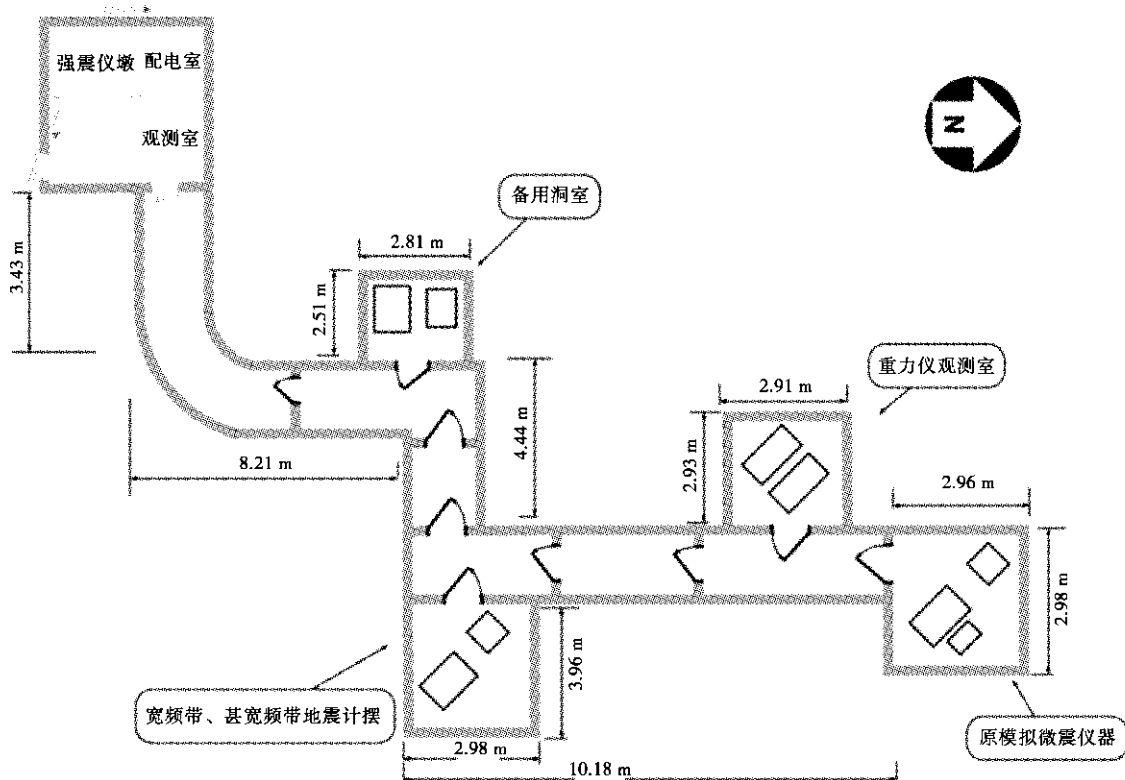


图 2 重力观测仪器布设示意图

Fig. 2 Layout of gravity observation instruments

始观测,同年张家口重力仪处于稳定阶段;2011 年仪器处于试运行阶段,数据可信度较低;2012—2013 年重力观测质量较好,在全国观测质量评比中获奖;2015 年重力观测仪出现故障,9 月 4 日更换新的 CF 卡,11 月 23 日工程中心进行远程调试。调试之后重力观测曲线出现大幅下降变化,一直持续到 2016 年 4 月,目前仪器运行正常。

2 重力潮汐因子数据分析

2.1 数据处理

采用 VAV 调和分析法,以 30 d 为计算周期,应用 30 d 的滑动步长对重力数据进行潮汐因子计算。VAV 调和分析采用长度为 48 阶带通奇偶滤波器,分别滤出日波、半日波和 $\frac{1}{3}$ 日波的潮汐分量,然后进行最

小二乘法估计,确定潮汐因子 δ 和相位滞后。主要波群的分离公式为:

$$\begin{aligned} M_i &= \sum_{j=1}^{363} \bar{C}_j h_j [\xi_j \cos \varphi_j(T_i) + \eta_j \sin \varphi_j(T_i)], \\ N_i &= \sum_{j=1}^{363} \bar{S}_j h_j [-\xi_j \sin \varphi_j(T_i) + \eta_j \cos \varphi_j(T_i)], \\ \xi &= \delta \cos \Delta \varphi, \\ \eta &= \delta \sin \Delta \varphi, \end{aligned}$$

式中:363 为可分离的潮波分量群数; $\bar{C}_j$ 和 $\bar{S}_j$ 为滤波器 C 和 S 对不同波的选择因子或振幅因子; T_i 为第 i 个 48 h 段的中央时刻。VAV 调和分析法适用于分析有间断的观测数据,较符合所研究的数据特点。

2.2 数据质量分析

通过重力残差时间序列的数据变化情况,可佐证重力观测数据的稳定性。图 1 是由中国地震局重力台网中心提供的数据结果,可以看出,在 2016 年 6 月重

力潮汐因子异常出现期间,残差变化曲线变化平稳,未出现明显的同步趋势下降异常变化,说明张家口重力观测数据比较可靠,反映出潮汐因子的异常变化是比较真实的。表1为张家口重力数据质量评价统计表,该表统计时间为2015年1月至2017年12月,对张家口重力进行了月尺度的M2波潮汐因子中误差计算。结果显示,M2波潮汐因子中误差均小于0.001,说明张家口重力观测质量较好,数据较可靠。

表1 张家口台重力数据质量评价统计表

Table 1 Statistical table for quality evaluation of gravity data of Zhangjiakou station

时间 年-月	M2 中误差	时间 年-月	M2 中误差
2015-01	0.000 69	2016-09	0.000 78
2015-02	0.000 56	2016-10	0.000 59
2015-03	0.000 59	2016-11	0.000 72
2015-04	0.000 63	2016-12	0.000 52
2015-05	0.000 78	2017-01	0.000 52
2015-06	0.000 50	2017-02	0.000 46
2015-07	0.000 43	2017-03	0.000 55
2015-10	0.000 66	2017-04	0.000 46
2015-12	0.000 52	2017-05	0.000 68
2016-01	0.000 60	2017-06	0.000 41
2016-02	0.000 59	2017-07	0.000 62
2016-03	0.000 55	2017-08	0.000 61
2016-04	0.000 67	2017-09	0.000 67
2016-05	0.000 69	2017-10	0.000 57
2016-06	0.000 45	2017-11	0.000 63
2016-07	0.000 46	2017-12	0.000 56
2016-08	0.000 52		

2.3 仪器调零对潮汐因子的影响分析

从张家口台2015—2017年重力观测原始曲线对比图来看(见图3),2015年11月工程中心对重力仪进行远程调试之后,数据出现快速下降变化,可能是仪器调零后的零漂现象,该下降变化一直持续到2016年4月,5月以后数据缓慢上升,逐渐恢复到调零前的变化趋势。

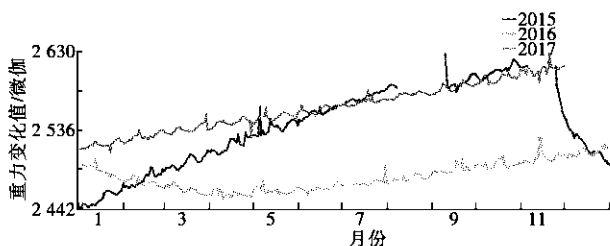


图3 张家口地震台2015—2017年重力观测原始曲线对比图

Fig. 3 Comparison of gravity observation original curves from 2015 to 2017 of Zhangjiakou station

2015年11月调零后重力观测数据出现的大幅变化可能会对潮汐因子产生一定程度的影响,为排除此影响,分别计算了去零漂前后潮汐因子的变化情况(见图4)。虽然去零漂前后两条曲线结果数值不是完全相同,但数据变化基本相差不大,变化趋势较一致。在2016年6月之后均出现同步下降变化,所以认为此次异常并非由仪器调零后的零漂造成。

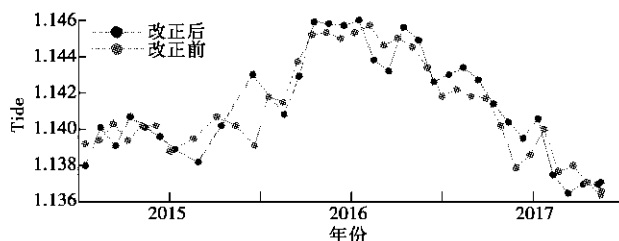


图4 2015年—2017年零漂改正前后潮汐因子对比图

Fig. 4 Comparison of tidal factors before and after zero drift correction from 2015 to 2017

2.4 新建楼房对重力观测的影响分析

经过现场调查发现,在重力观测山洞周围存在一项明显的环境变化。在山洞的西南方向400 m左右,有一处新建办公楼施工的工程。该工程2017年5月6日开工,6月4日做地基处理,7—8月施工盖楼。在施工过程中,地基处理进行了少量的挖方,建楼房的过程中造成大量荷载增加。相对于挖方,建楼房引起的荷载增加量远大于挖方量,所以,对于此项干扰可以大致认为新建楼房的荷载增加量为主要因素。重力潮汐因子异常出现的时间为2016年6月,工程施工的时间在异常出现之后,为更确切地排除此项干扰,进行新建楼房荷载引起重力变化的定量计算。根据王谦身(2003年)编写的重力学中的正演模拟任何形状的外重力影响公式:

$$\Delta g(p) = g \iiint_V \frac{\rho(q)(\xi - z)}{r_{pq}^{3/2}} d\xi d\eta d\zeta.$$

建立新建楼房引起的重力变化模型。新建楼房距离重力观测室400 m左右,所处山体距新建楼房的高差为70 m左右,楼房的长宽高分别为14 m、40 m、27 m,钢筋混凝土密度为2 551 kg/m³。如果楼房是实心的,楼房总体质量约为3.86×10⁷ kg,实际上楼房是空心物体。将楼房的总质量近似看成是实心楼房的三分之一,则楼房的实际质量约1.29×10⁷ kg。楼房的底面积为560 m²,可以粗略地将楼房看成高度为9 m、底面积依然为560 m²的实心物体。可以将其归结为长方体重力正演模型(见图5)。对x₁, x₂, y₁, y₂, z₁和z₂为边界的长方体重力正演,结果方程式为:

$$\Delta g = G\Delta\rho \left[-x \ln(y+r) - y \ln(x+r) + \right. \\ \left. z \arctan \frac{xy}{zr} \right] \frac{1}{z_1^2} \frac{1}{z_2^2} \frac{1}{z_3^2}.$$

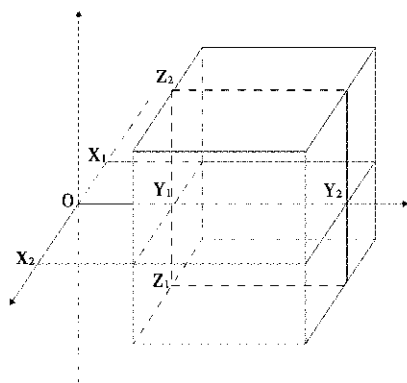


图 5 楼房模型和台站相对位置示意图

Fig. 5 Schematic diagram of relative position of building model and station

将新建楼房看成一个立方体,其中心距离重力观测室 400 m,立方体的长宽高分别为 14 m、40 m、9 m。根据 `cuboids_gravity(x1, x2, y1, y2, z1, z2, density)` 程序计算参数如下: $x_1 = -7$, $x_2 = 7$, $y_1 = 400$, $y_2 = 440$, $z_1 = 0$, $z_2 = 70$, $\rho = 2\,551 \text{ kg/m}^3$ 。计算结果 Δg 为 0.31 微伽,说明新建楼房的荷载变化仅能引起 0.31 微伽的重力变化,从量级上来看,新建楼房对于重力观测的影响较弱。图 6 为重力残差曲线图,黑框内曲线为楼房干扰时段的曲线变化情况,施工期间变化幅度约 5 微伽,从数据变化量级来看,施工干扰较小,不足以对重力观测造成明显影响。此外,新建楼房施工干扰与重力异常的时间相关性较差,异常出现的时间为 2016 年 6 月至 2017 年 7 月,施工时间主要为 2017 年 5—8 月,异常出现在施工之前。故从影响量级和时间相关性上,均判定新建楼房施工并非重力异常的主要原因。

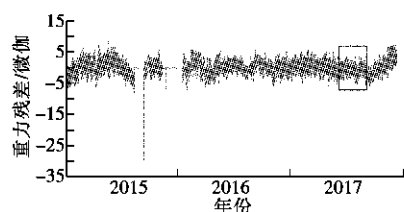


图 6 重力残差曲线图

Fig. 6 Gravity residual curve

3 结语

张家口重力潮汐因子异常出现之后,经过现场异常核实,仪器工作状态稳定可靠,气象三要素未出现大幅同步变化。从观测数据可靠性、重力残差曲线图分析,异常出现时同期残差数据稳定,未出现同步异常变化。从去零漂前后潮汐因子的变化情况进行对比分析,发现潮汐因子变化趋势一致,排除仪器调零影响,说明观测曲线比较可靠。

通过核实台站附近环境干扰,发现新办公楼工程的施工时间在异常出现之后,时间相关性较差;通过定量计算,新建楼房的荷载变化仅能引起 0.31 微伽的重力变化,说明新建楼房对重力观测的影响较弱。故从影响量级和时间相关性上可排除周围环境荷载变化、施工干扰对此次异常造成的影响。综合分析认为,张家口重力潮汐因子的下降趋势异常有可能为前兆异常,需要加强跟踪分析。

张家口连续重力观测自 2011 年试运行以来,无较好的震例对应情况。自安装重力仪以来,河北地区未发生过 5 级以上地震,故很难应用重力潮汐因子的变化情况对河北及邻近地区地震进行相关的预测研究,还需不断积累资料,继续探索。对于张家口重力潮汐因子的异常情况仍需要加强关注和深入研究,进一步判定其异常性质。

感谢中国地震局重力台网中心提供的部分数据产品!

参考文献:

- [1] 祝意青,梁伟锋,李 辉,等. 中国大陆重力场变化及其引起的地球动力学特征[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007(3): 246-250.
- [2] 陈益惠,雷雨田,朱涵云,等. 重力仪高频信息和地脉动的观测研究[J]. 地球物理学报, 1998, 31(5): 527-539.
- [3] 韦 进,李 辉,刘子维,等. 武汉九峰地震台超导重力仪观测分析研究[J]. 地球物理学报, 2012, 55(6): 1894-1902.
- [4] 韦 进,郝洪涛,胡敏章,等. 利用 EOF 分析方法研究康定 Ms6.3 地震前后重力时空分布异常特征[J]. 大地测量与地球动力学, 2017(8): 864-869.
- [5] 王新胜,韩宇飞,韦 进. 苍梧 Ms5.4 地震和呼图壁 Ms6.2 地震震前重力非潮汐变化特征[J]. 大地测量与地球动力学, 2017, 37(12): 1211-1213, 1262.
- [6] 喻节林,王晓权,张新林,等. 从中国大陆重力潮汐观测看印尼 Ms8.7 地震的重力效应[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(Z1): 67-69.
- [7] 黄 雅,申重阳,韦 进,等. 2013 年芦山 7.0 级地震前重力固体潮参数时空变化研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2020, 40(2): 165-169, 197.

(英文摘要见第 49 页)

怀来地震台定点形变观测转折异常的调查与分析

王曰风¹,张秀萍¹,张珊珊¹,屈 曼²,宋晓煜¹,池海江³,只 楠³,周 亚¹

(1. 河北省地震局张家口中心地震台,河北 张家口 075000;2. 河北省地震局预测研究中心,河北 石家庄 050021;
3. 河北省地震局怀来地震台,河北 怀来 075400)

摘要:2020年3月12日河北省怀来地震台伸缩仪、水管仪、垂直摆和水平摆同步出现快速转折破年变的变化,针对这些异常,从观测和供电系统、洞室环境、气象因素等方面开展现场实地调查与异常核实工作。通过对观测环境的勘查,发现3月10日在观测山洞西侧约80 m处,原有的2排平房因拆迁被拆除。应用点载荷模型对拆迁房屋引起的形变理论值进行计算分析发现,应变、倾斜受载荷干扰的理论值与仪器记录异常幅度在量级上一致。因此,此次形变异常为非地震前兆异常,与房屋拆迁引起的荷载变化有关。

关键词:定点形变测量;异常幅度;破年变;载荷模型

中图分类号:P315.73

文献标志码:A

0 引言

怀来地震台(以下简称怀来台)形变观测山洞位于河北省怀来县城北7.5 km处的存瑞乡东良村附近,高程650 m。形变山洞洞体岩性为太古界桑干群混合岩化花岗片麻岩,观测墩为蛇纹石化大理岩,洞体顶部黄土层覆盖厚度为30~50 m。洞室的引洞长70 m,洞内安装了6道水泥密封门,2道塑钢门,观测仪器采用聚乙烯泡沫板罩和塑料薄膜密封,以降低外界“小气候”变化带来的影响,洞室保温条件良好,年温差小于0.3℃,日温差小于0.1℃。台站观测技术经过2001年“首都圈示范工程”、2008年数据传输网络通讯专线、“九五”“十五”和2018年进行“规范化标准化”等建设改造后,目前初步建成了一个观测项目较为齐全的综合形变观测台^①。

怀来台伸缩仪EW、NE分量,水管仪、垂直摆和水平摆NS、EW分量于2020年3月12日开始出现快速转折的破年变变化,针对此异常,从观测系统、供电系统、洞室环境、气象因素等诸多方面开展现场实地调查与数据异常跟踪分析工作^②。在此基础上,对观测资料的异常进一步深入分析,对异常性质做出准确判定^[1]。

1 异常特征简述

2020年3月12日,怀来台伸缩仪EW、NE分量

观测曲线出现快速转折的变化,打破2019年的年变规律,截至16日的EW、NE分量变化幅度、方向统计结果如表1所示。NS分量变化形态与2019年基本一致(见第31页图1)。

表1 怀来台形变异常统计

Table 1 Statistics of deformation anomalies at Huailai Seismic station

观测名称	变化量	变化方向
SS-Y型伸缩仪EW分量	0.436×10^{-7}	张性
SS-Y型伸缩仪NE分量	0.8×10^{-7}	压性
DSQ型水管仪EW分量	$7.3 \times 10^{-3} (")$	W倾
DSQ型水管仪NS分量	$12.2 \times 10^{-3} (")$	N倾
SQ-70DSI型水平摆EW分量	$10.51 \times 10^{-3} (")$	W倾
SQ-70DSI型水平摆NS分量	$7.1 \times 10^{-3} (")$	N倾
VP型垂直摆EW分量	$12.4 \times 10^{-3} (")$	W倾
VP型垂直摆NS分量	$12.3 \times 10^{-3} (")$	N倾

水管仪、垂直摆、水平摆EW分量改变原来的E倾趋势变化,同步呈现转折W倾的加速变化;NS分量改变原来的S倾趋势变化,同步呈现转向N倾的加速变化(见图1)。

2 异常调查分析

2.1 观测系统检查^[2]

首先,对观测室的内部环境、观测技术和供电系统

收稿日期:2020-03-30

第一作者简介:王曰风(1974),男,甘肃省民勤县人。高级工程师,主要从事定点形变观测与数据分析、地震预测预报工作,E-mail:wyzxp@126.com。

① 河北省地震局,河北省地震台志,2002.

② 中国地震局监测预报司,形变学科观测资料异常变化现场核实工作报告编写要求(修订),2014.

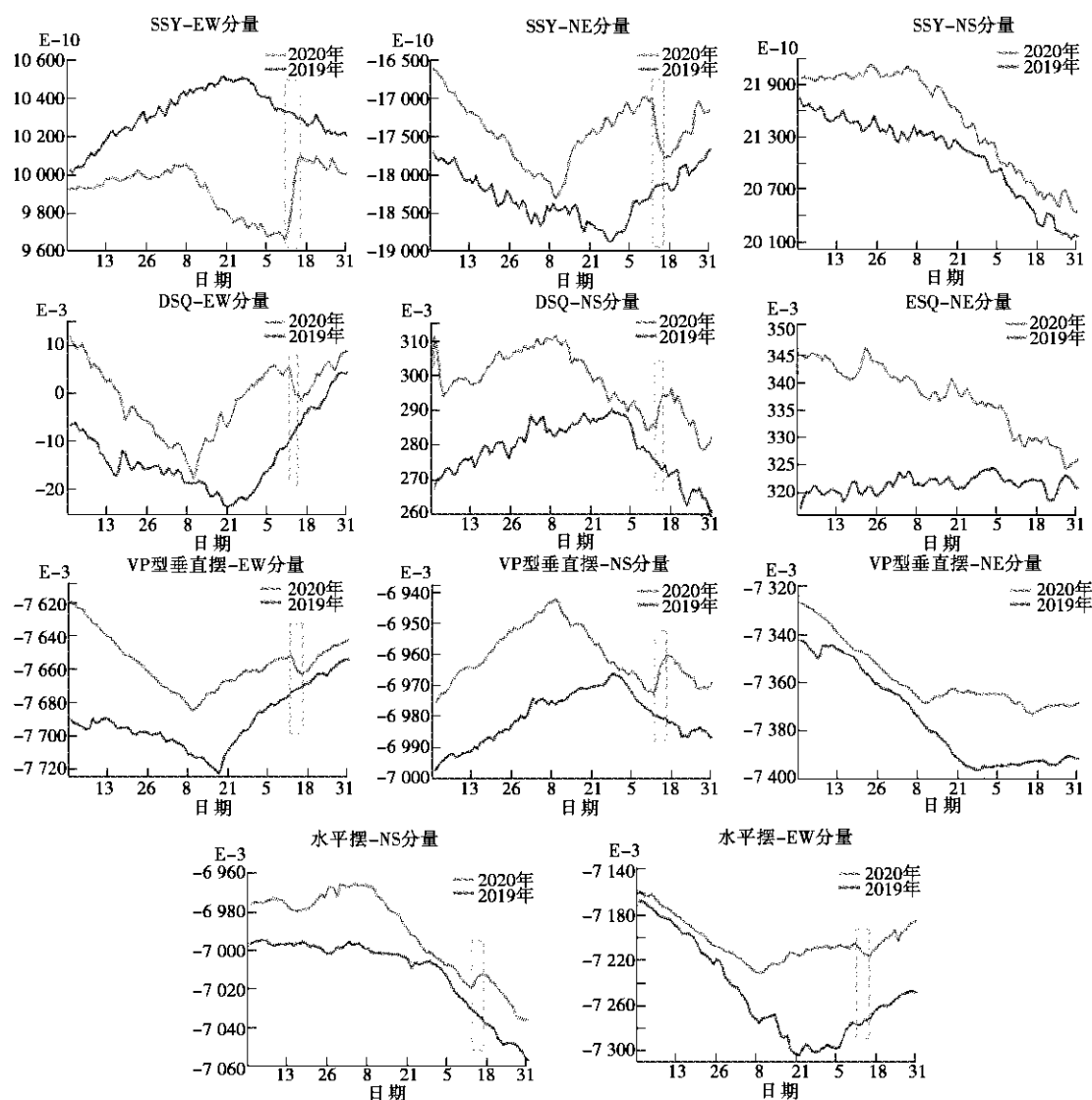


图 1 形变测项 2019 年与 2020 年 1 月至 3 月同期观测对比曲线

Fig. 1 Comparison curve of deformation observation items in the same period from January to March of 2019 and 2020

进行检查,包括主机箱的 220 伏外电压、传感器直流供电电压的稳定性、仪器工作状态指示灯、面板显示的通道参数、转换参数等,检查结果均正常;其次,查看观测日志、标定记录表,未发现异常出现前 2 个月内在的仪器校准事件,且最近一次仪器校准结果的误差符合规范要求,倾斜、应变观测仪潮汐因子与均方差均符合观测技术的指标要求;最后,梳理异常出现前 3 个月观测日志、数据跟踪分析记录、值班日志,查阅人为进洞干扰事件,主要有仪器校准、进洞仪器调零。期间于 2020 年 3 月 12 日 14:58 至 13 日 20:11 因 UPS 故障,人工复位等造成高频瞬时干扰。上述人为干扰事件属于常态性事件,每年每月均有发生,对观测造成的干扰是短期、瞬时的高频率干扰,不会带来趋势性的转折变

化。综上所述,排除了仪器自身、观测系统、供电系统、洞室环境等因素对形变观测数据的影响。

2.2 气象因素干扰排查

通过绘制 2020 年 1 月 1 日至 3 月 16 日怀来台气温、气压、洞温的观测值曲线,并与此次出现异常的主测项曲线进行对比,分析其在时间、变化幅度、特征等方面是否有关联性。第 32 页图 2 中方框表示异常出现时间段内各个测项的同期变化,形变山洞内的洞温变化基本处于恒温状态,气温、气压辅助观测符合正常的年变形态,且无较大幅度突升骤降的情况发生,表明在异常发生的时间段内,各辅助测项的数据变化平稳,因此,可以排除出现的群体异常是受洞温、气温、气压等因素的影响。

2.3 测点观测环境调查

围绕观测山洞 4 km 范围内展开观测环境巡检,结合之前出现过的典型干扰源进行实地走访勘查,主要包括工程施工、开山采石、农田抽水、砖厂取土等(见图 3)。

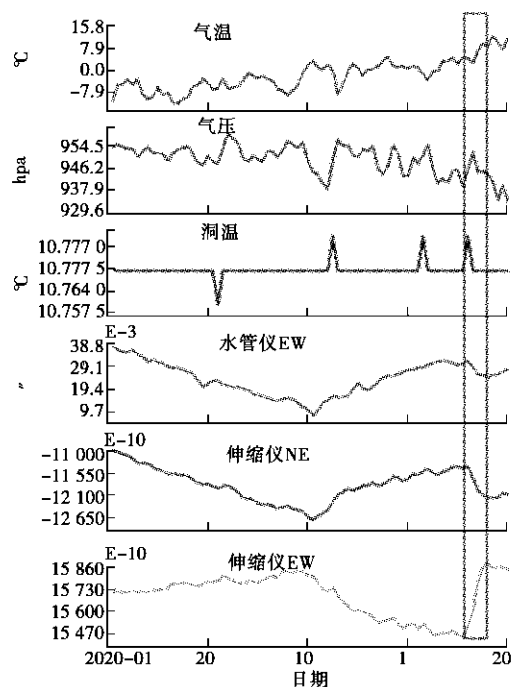


图 2 水管仪、伸缩仪与辅助测项对比曲线图

Fig. 2 Comparison curve of water tube instrument, extensometer and auxiliary measuring items

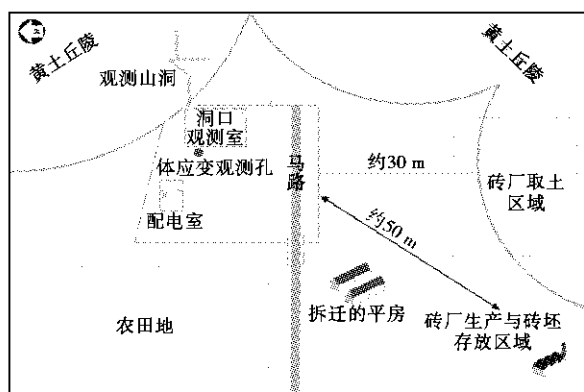
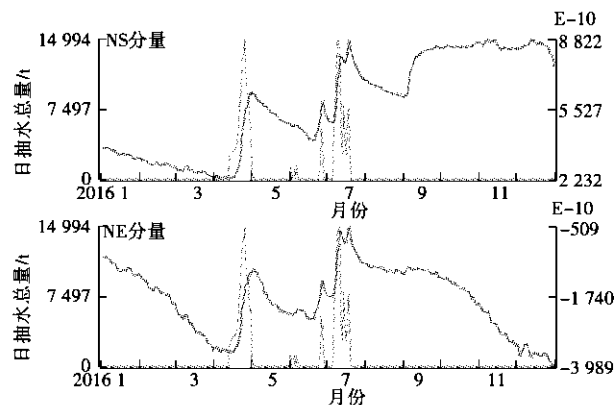


图 3 形变山洞周围环境平面示意图

Fig. 3 Plan sketch of environment around deformation cave

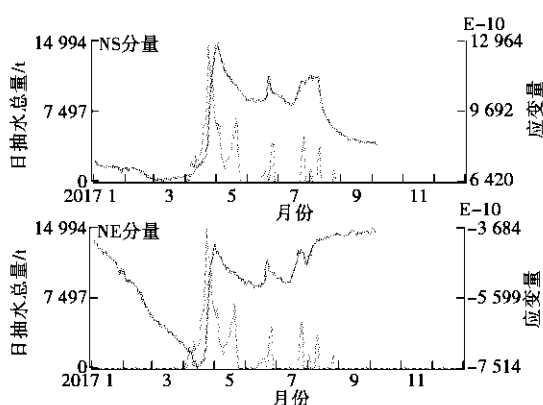


图 4 2016—2017 年伸缩仪日均值与日抽水总量对比曲线

Fig. 4 Comparison curve between daily mean value of extensometer and daily pumping volume from 2016 to 2017

2.3.3 新增观测环境干扰

在此次观测场地周边环境的现场勘查中发现,距离怀来台形变观测山洞洞口西侧约 80 m 的点位处之前的 2 排平房被拆迁移走,经与相关人员核实,拆除时

2.3.1 山洞西南侧砖厂

怀来台伸缩仪观测曲线在 2010—2012 年年变形态的改变主要是由于观测山洞附近 80 m 处砖厂大规模取土造成,2014 年该砖厂因取土破坏自然环境被政府部门责令停建,生产设备、工人等均已全部撤离现场。因此,排除此干扰源与此次异常的相关性。

2.3.2 群井抽水干扰

根据王曰凤等^[8]对怀来台线应变观测中抽水干扰分析的研究结果,调查台站周边的农田抽水井,由于春耕春种时节未到,所有井均处于关闭状态。每年的两次集中抽水时段分别为 4 月 10 日至 20 日、7 月 1 日至 9 月 1 日,同时,联系周边农田机井管理人员,进一步确认尚未开始抽水灌溉(见图 4)。

间为 2020 年 3 月 10 日,拆除的砖块已被转移运走,每块砖的重量约 2.5 kg,砖的总量约 8 万块,总重量 200 t,相当于该点位卸载载荷重量约为 200 t。拆迁的平房位置、形变山洞位置、周边环境等如图 3、5 所示。

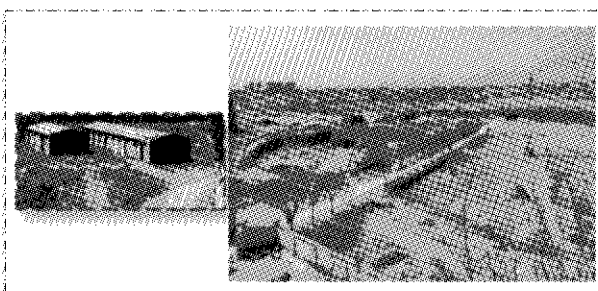


图 5 山洞附近新增干扰源位置实景图

Fig. 5 Location of new interference sources near the cave

3 异常分析

根据高亚辉等^[4]《集中荷载下的岩体流变变形解析及应用》,在弹性力学中,半空间体在边界上受集中荷载下的布西内斯克解为:

$$\begin{cases} U_{\rho} = \frac{(1+\mu)F}{2\pi ER} \left[\frac{\rho^2}{R^2} - \frac{(1-2\mu)\rho}{R+Z} \right] \\ U_z = \frac{(1+\mu)F}{2\pi ER} \left[2(1-\mu) + \frac{Z^2}{R^2} \right] \end{cases},$$

$$R = \sqrt{(\rho^2 + Z^2)},$$

式中: U_{ρ} 为水平径向位移; U_z 为垂直向位移; ρ 为半空间体内任一深度 Z 处的水平径向距离; R 为半空间体内任一深度 Z 处至 O 点的距离。

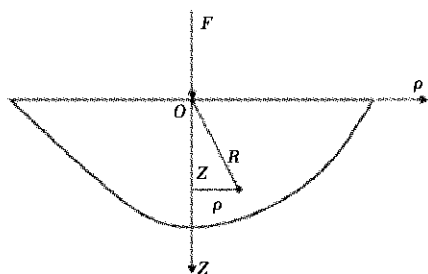


图 6 半空间体在边界上受法向集中荷载

Fig. 6 A half space body is subjected to a concentrated normal load on its boundary

怀来台形变观测山洞的台基岩性为花岗片麻岩,弹性模量 E 为 5.2×10^4 MPa,泊松比 μ 为 0.17^[5],观测点和载荷卸载点处于同一水平面内,深度近似为 0 m,载荷卸载位置与观测点直线距离约 80 m,载荷卸载位置位于观测点西西南方位,由载荷模型公式计算点荷载径向 80 m 处圆边界点位所受的垂直位移 U_z 、水平位移变化量 U_{ρ} 如表 2 所示。

表 2 模型计算结果

Table 2 Model calculation results

测项名称	变化量	变化方向
径向线性应变 U_{ρ}	0.46×10^{-7}	张性
垂直向位移 U_z	$24.1 \times 10^{-3} (")$	抬升

由表 1 的实际观测结果与表 2 的模型计算结果对比可知,卸载引起的水平径向 U_{ρ} 理论计算结果与伸缩仪 EW、NE 实测结果在数量级上是一致的;卸载引起的垂直向 U_z 理论计算结果与水管仪 NS、EW、垂直摆 EW、NS,水平摆 NS 和 EW 的实测结果在数量级上也是一致的。

根据上述的观测环境干扰源调查情况,选用点荷载模型对周边一定距离与范围的任意点位垂直向、水平向的位移、应变进行计算,发现利用模型计算的理论与出现的异常幅度在数量级上基本一致,且与事件的发生时间也吻合,说明怀来台此次形变异常的出现可能与附近平房拆迁移除引起地面载荷卸载有关。

4 结语

通过对怀来台形变观测系统、洞室环境、气象因素、测点周边环境情况等实地调查,并对各种可能的影响因素从时间、干扰机理等进行逐一分析与排除,发现距离山洞洞口西西南方位约 80 m 远的点位处搭建的平房拆除卸载可能与此次出现的异常有关。首先,在事件发生的时间上吻合;其次,进一步选用点荷载模型对周边一定范围内的任意点位垂直向、水平向的应变、位移进行计算,模拟计算结果与出现的群体异常幅度在数量级上一致,说明怀来台此次群体异常的出现与该点位的平房拆除移走有关。

参考文献:

- [1] 李宏伟,闫伟. 时间序列的趋势转折点提取算法及应用研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2020, 40(12): 1242-1247.
- [2] 屈曼,马栋,侯晓真,等. 永年地震台伸缩仪 EW 向张性异常分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2017(2): 132-137.
- [3] 王曰风,张秀萍,张珊珊,等. 怀来地震台线应变测项群并抽水干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2018(5): 136-142.
- [4] 高亚辉,胡福祥,陈柏林. 集中荷载下的岩体流变变形解析及应用[J]. 现代矿业, 2014(6): 92-94.
- [5] 马栋,屈曼,侯晓真,等. 载荷对地形变观测干扰的数值模拟研究[J]. 国际地震动态, 2015(9): 99.

(英文摘要见第 53 页)

河北冀16井水温动态分析

张明哲,王 静,罗 娜,凌 燕,张朋杰

(河北省地震局红山基准地震台,河北 邢台 054000)

摘要:对河北冀16井2018—2019年水温动态特征、同震效应及干扰因素等方面进行分析,结果表明,水温整体呈趋势性下降变化,年、月、日动态规律清晰,对人为干扰、自然环境等干扰因素反应灵敏;该井水温固体潮效应明显,与水位呈反向变化,滞后水位1~2 h;水温对远场大震有同震响应,能记录到全球7级以上地震,响应特征为振荡后逐渐恢复正常。

关键词:水温动态;水温固体潮;河北冀16井

中图分类号:P315.72+3

文献标志码:A

0 引言

近年来,国内许多地震学者对水温动态特征、形成机理及影响因素进行大量研究。车用太、杨竹转、张子广等对井水温潮汐方面的研究表明,水温潮汐为次生效应,是在潮汐力作用下含水层发生变形,并一含水层间及井筒内水流引起热对流运动的结果^[1-3];杨竹转等认为水温固体潮效应是水温对地壳应力应变信息最直接的响应,具有连续性的特点。研究水温固体潮效应,对解释水温映震机制具有重要的指示意义^[2,4]。陈大庆等对远场大震的水温同震响应及其机理进行研究^[5],车用太等认为地下水水温动态变化是地下水动态变化的一个重要方面,其变化特征可在一定程度上揭示地下介质构造的变化^[6]。

河北冀16井(以下简称冀16井)数字化水温观测是2018年新增测项,观测资料显示其具有清晰的潮汐效应。目前,对该井水温的动态特征及成因机理研究较少,笔者基于2018至2019年的观测资料,从水温动态、影响因素及水温潮汐形成机理等方面进行分析。

1 冀16井概况

冀16井位于衡水市深洲大屯乡陈家口村南,地势自西南向东北缓慢倾斜,海拔高度12~30 m,井口终孔深度1700.41 m。该井属岩溶裂隙承压水,不受大气降雨、地表水直接渗入补给,构造部位位于华北平原沉降带冀中新河凸起高点上,属邢台—河间地震带(见图1)。观测段为1500.44 m至1700.41 m(见第35页图2)。

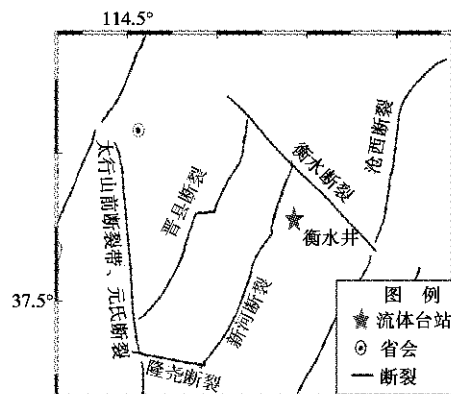


图1 河北冀16井地质构造图

Fig. 1 Geological tectonic map of well

2 水温动态特征

冀16井采用北京中科光大自动化技术有限公司生产的ZKGD3000—NT型水温仪进行观测,水温传感器分辨率优于0.000 1℃,数据采样率为1次/min。

2.1 水温年动态

水温年动态以日均值为基础,反映井水温度随季节变化的特征。冀16井水温测项自正式观测以来数据稳定,由2018—2019年水温动态变化曲线看出,年动态为下降型。2018年下降幅度为1.7℃,2019年为1.3℃(见第35页图3a)。车用太等在对首都圈地区井水温度的动态类型研究中指出,此类动态形成与自流井断流之后井筒中水的冷却作用有关^[7]。冀16井断流前水温高达79.5℃,属于高温高压自流井。2016年发

收稿日期:2019-12-05

基金项目:河北省地震局星火计划青年基金项目(DZ20190422043)。

第一作者简介:张明哲(1988—),男,河北省元氏县人。助理工程师,主要从事地下流体监测工作,E-mail:vincent1g@qq.com。

生自然断流,断流后由于压力降低,水位呈现快速下降趋势,水温也逐年下降。

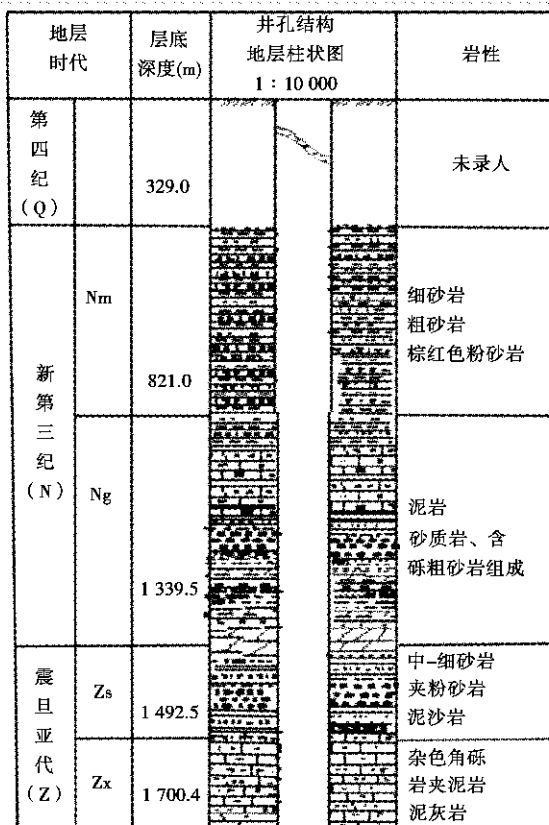


图 2 井孔柱状图

Fig. 2 Borehole bar chart

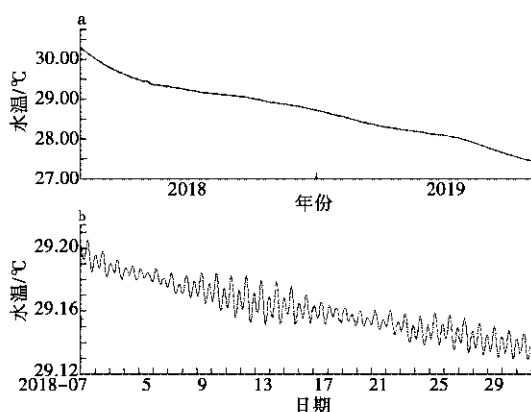


图 3 水温动态变化

Fig. 3 Dynamic change of water temperature

2.2 水温月动态

水温月动态以小时值为基础建立,以月时间尺度反映井水温度的变化特征。由图 3b 看出,水温月动态类型为下降一起伏型,整体呈下降趋势,叠加有起伏。起伏中出现一定的规律,月变幅为 0.3~0.4 °C。

2.3 水温日动态

水温日动态以小时值为基础,以多日时间尺度反映井水温度的变化特征。从图 4 可以看出,冀 16 井日动态具有显著的潮汐效应,呈现明显的波峰波谷起伏,日起伏同理论固体潮的波动吻合,与井水位潮汐变化反向对应,日变幅为 0.01~0.02 °C。

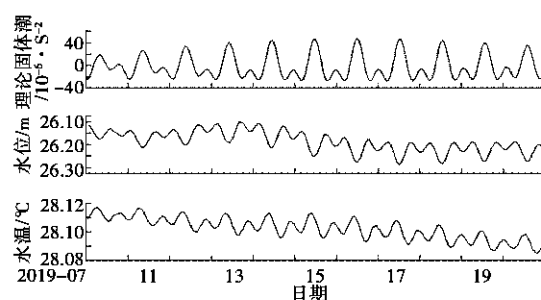


图 4 水温潮汐效应

Fig. 4 Tidal effect of water temperature

3 水温动态主要影响因素分析

3.1 自然环境干扰

自然环境因素对冀 16 井水温度的影响主要体现在大气压强上,气温、降雨、地下水开采等因素对井水温度影响不明显。水位对气压的响应机理前人已有成熟的理论,刘国俊等指出气压变化引起井孔水位变化是通过井孔和含水层间渗流来实现的。当大气压变化时,井孔中的水流向含水层或含水层中的水流向井孔^[8]。如第 36 页图 5a 所示,2018 年 5 月 12 日 16 时 04 分至 20 时 45 分气压出现大幅波动,水位在同一时段也出现波动,幅度为 0.065 7 m;水温也出现相应波动,幅度为 0.023 5 °C,表明水温、水位受气压影响时间基本一致。马玉川等对本溪井水温的研究指出,气压升降时水位与水温均反向变化,气压的变化对水位有影响,水位的变化影响水温。因此,气压的变化间接地影响水温的变化^[9]。

3.2 人为因素干扰

2018 年 3 月 19 日 10 时 19 分至 33 分水温数据出现急剧下降,变化幅度为 0.087 6 °C,由人为从井孔中采集水样造成。水样采集结束后,18 时 33 分水温恢复至正常观测水平(见图 5b)。影响机理为采集水样时引起井水位突然下降,破坏了井—含水层之间原有的水动力平衡,使含水层中的水补入井中,含水层中水的温度低于井筒中的水温,导致井水温度突然下降。

3.3 供电干扰

冀 16 井数字化水温仪器设备自 2018 年 1 月 1 日正式投入观测以来,多次出现不明原因的单点突跳。通过断开交、直流及电压等测试,发现当电压出现较大波动时,水温便出现上述突跳,由此认为,此类突跳是

仪器供电干扰造成的(见图 5c)。

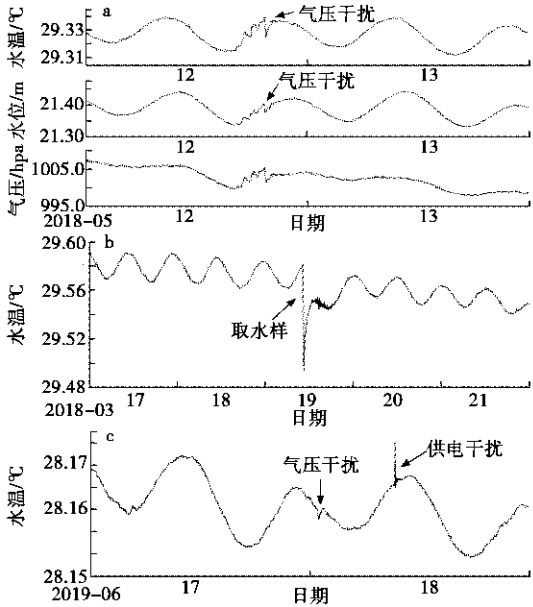


图 5 水温受干扰曲线
Fig. 5 Water temperature disturbed curve

3.4 同震影响

据中国地震信息网地震目录统计,2018 年 1 月至 2019 年 12 月全球发生 7 级以上地震 26 次。冀 16 井水温记录到同震响应 17 次,响应率达 65%,能记录到大多数 7 级以上地震,同震响应如表 1 所示。从表中看出,该井对 7 级以上地震的映震能力强,记录振幅大小与持续时间受震中距及震级大小的直接影响。冀 16 井水温记录到的同震效应均为振荡型,振荡过后水温曲线形态仍按正常潮汐形态变化。如第 37 页图 6 所示,水温记录到的 2018 年 1 月 23 日 17 时 31 分 41 秒阿拉斯加湾发生的 M8.0 远震,井水温同震变化明显,于 17 时 47 分至 20 时 12 分记录到同震,振荡持续时间达 145 min,最大变幅为 0.028 5℃。

4 水温潮汐特征分析

4.1 水温梯度特征

井水温度仪器安装通常是先进行温度梯度测量,获得最佳观测位置,从地下水温观测资料中提取较为可靠的地震前兆信息。冀 16 井采用分段测量法,以 10 m 为步长逐步上提温度传感器,提至 10 m 处结束,

表 1 河北冀 16 井水温同震响应
Table 1 Coseismic response of water temperature

发震时间 年-月-日	震级/M	震中位置	振荡起始时刻	振荡结束时刻	同震效应	同震效应水温变化幅度/℃
			时:分	时:分		
2018-01-10	7.6	洪都拉斯北部海域	11:40	12:08	振荡	0.002 7
2018-01-23	8.0	阿拉斯加湾	17:47	20:12	振荡	0.028 5
2018-02-26	7.5	巴布亚新几内亚	01:57	02:16	振荡	0.001 6
2018-08-19	8.1	斐济群岛	08:38	16:26	振荡	0.010 2
2018-08-22	7.3	委内瑞拉沿岸近海	06:30	06:44	振荡	0.018 2
2018-09-06	7.8	斐济群岛地区	00:20	00:46	振荡	0.002 2
2018-09-28	7.4	印度尼西亚	18:17	21:32	振荡	0.005 0
2018-10-11	7.1	巴布亚新几内亚	05:10	05:26	振荡	0.001 8
2018-12-01	7.2	美国阿拉斯加	01:50	02:04	振荡	0.001 2
2018-12-21	7.4	科曼多尔群岛地区	01:18	01:27	振荡	0.003 3
2019-02-22	7.5	厄瓜多尔	19:26	19:33	振荡	0.0034
2019-05-07	7.1	巴布亚新几内亚	05:45	05:50	振荡	0.002 3
2019-05-14	7.5	新不列颠岛地区	21:15	21:30	振荡	0.002 8
2019-05-26	7.8	秘鲁北部	16:19	17:38	振荡	0.011 2
2019-06-24	7.3	班达海	11:15	11:52	振荡	0.002 3
2019-07-14	7.1	印度尼西亚	17:25	17:40	振荡	0.002 5
2019-11-15	7.2	印尼马鲁古海北部	00:30	00:43	振荡	0.001 7

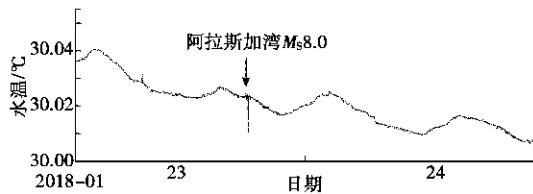


图 6 水温同震曲线
Fig. 6 Coseismic curve of water temperature

共 38 个深度测点。首先,将调整水温传感器深度的短时波动数据处理掉;然后,计算每次调整传感器深度后静置观测时间内的平均值及对应梯度值,水温梯度测量结果如第 37 页图 7 所示。测试的变化范围为-82.0~59.9℃/hm,存在多处负梯度,在深度为60~100 m 范围梯度值变化较大,由 54.258℃/hm 下降到-82.01℃/hm,又转折上升至 28.648℃/hm;在深度 150~200 m 间变化相对剧烈,变化范围为-53.8~

59.9 °C/hm;在深度310~330 m处出现显著负梯度,整体呈现显著不稳定性。关于温度探头放置位置的选择在《地震地下流体观测方法:井水和泉水温度观测》(DB/T49—2012)中已有说明^[10]。参考水温梯度测量结果及观测规范,认为320 m位于含水层负梯度变化大的区段,背景噪声较小,最终将水温传感器放置在320 m深度。

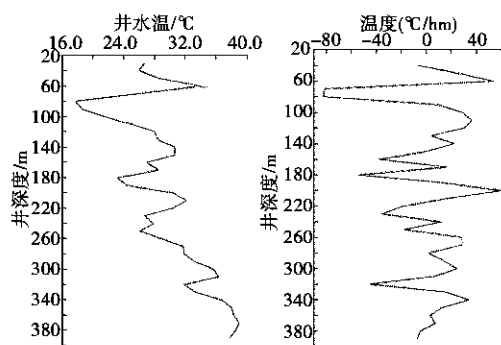


图7 井水温度梯度图
Fig.7 Temperature gradient map of well

4.2 水温潮汐形态

冀16井水温日变观测数据具有双峰双谷形态,水温潮差变幅为0.020 6~0.037 2 °C,有明显的潮汐效应,能记录到清晰的潮汐动态,表现出与水位反向变化的形态,且滞后于水位变化,滞后时间为1~2 h(见图8)。

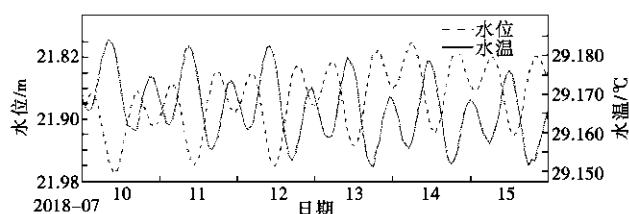


图8 水温与水位对比图
Fig.8 Comparison of water temperature and water level

4.3 水温潮汐效应形成机制

水温固体潮的形成机制已有许多学者进行研究,并提出多种观点。赵刚等从体应变原理方面建立模型,认为体应变变化是引起水温变化的原因^[11]。马玉川等认为固体潮引起地下水流量的潮汐变化,流量变化又导致水温的潮汐变化^[9]。鱼金子、车用太、张子广等先后提出水动力学模式,认为当含水层受力作用时,导致井—含水层内水流状况的变化,由于井孔内两个水温梯度的作用,水体热量随水流量的变化导致井水温度的升降变化^[1,3,6,12]。刘耀炜认为水温固体潮效应是由含水层固体变形引起井孔内部排水与吸水,使得上下层不同温度水混合形成温差效应的结果^[13]。

冀16井系油田部门勘探井,非专门的地震观测井,对于329 m以上第四系覆盖层的钻孔岩性未进行详细编录。笔者认为,冀16井井水温潮汐效应的响应条件主要是井—含水层系统的水动力条件,其影响机制为:当含水层受到潮汐引力作用而膨胀变形时,井筒内的水流向含水层,导致水位下降,使井筒中的水回流到含水层,造成井筒中水温升高;当含水层受到潮汐引力作用而压缩变形时,含水层中的水渗入井筒,导致水位上升,含水层的水流向井筒,低温水补充造成水温下降^[12-14]。因缺少观测段详细的水文地质资料,对冀16井潮汐形成机理、水温滞后性仍需继续研究分析。

5 结论与讨论

通过对水温动态特征进行分析,得出以下结论:

冀16井水温呈现趋势性下降特征,年变幅为1.3~1.7 °C,月变幅为0.3~0.4 °C,日变幅一般为0.01~0.02 °C;水温具有明显的潮汐变化特征,日变具有双峰双谷形态,在形态上与水位表现为反向变化,且滞后水位1~2 h;影响冀16井水温动态的因素主要为环境和观测系统设施,自然因素主要为大气压强,与同井水位变化基本一致,是水位受影响的次生效应;该井水温较灵敏,同震效应显著,对强震具有一定的响应能力。由于缺少观测段详细的水文地质资料,水温滞后性及形成机理仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 车用太,何案华,鱼金子.水温微动态形成的水热动力学与地热动力学机制[J].地震学报,2014,36(1):106-117.
- [2] 杨竹转,邓志辉,杨贤和,等.井孔水温动态变化的影响因素探讨[J].地震,2010,30(2):71-79.
- [3] 张子广,张素欣,李微,等.昌黎井水温潮汐形成机理分析[J].地震,2007,27(3):34-40.
- [4] 杨竹转.地震波引起的井水位水温同震变化及其机理研究[D].北京:中国地震局地质研究所,2011:70-76.
- [5] 陈大庆,刘耀炜.我国在井—含水层系统对地震波同震响应方面的研究进展[J].国际地震动态,2006(7):27-31.
- [6] 车用太,刘成龙,鱼金子.井水温动态及其形成机制[J].地震,2008,28(4):20-28.
- [7] 车用太,刘喜兰,姚宝树,等.首都圈地区井水温度的动态类型及其成因分析[J].地震地质,2003(3):403-420.
- [8] 刘国俊,杨海祥,黄春玲,等.山西流体观测井水位与气压相关性分析[J].山西地震,2009(2):7-10.
- [9] 马玉川,刘耀炜,任宏微,等.自流井水温固体潮效应及其应变响应能力[J].中国地震,2010,26(2):172-182.
- [10] 中国地震局.地震地下流体观测方法:井水和泉水温度观测(DB/T49—2012)[S].北京:地震出版社,2012:4.
- [11] 赵刚,王军,何案华,等.地热正常动态特征的研究[J].地震,2009,29(3):109-116.

(下转第56页)

· 技术交流 ·

文章编号:1000-6265(2021)01-0038-04

山西测震台网地震计工作状态检测及故障原因分析

刘林飞^{1,2}, 宫卓宏^{1,2}, 梁向军^{1,2}, 殷伟伟^{1,2}, 高云峰^{1,2}

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

摘要: 以山西省测震台网部分台站使用的地震计为研究对象, 选取一段时间的脉冲标定波形数据进行计算, 根据脉冲标定处理结果分析得出地震计工作周期和阻尼变化的特点及原因, 结合测震台网运行与维护实际工作经验, 提出了检测地震计工作状态的思路和方法。实践证明, 采用定期检测地震计周期和阻尼的变化可以在一定程度上反映出测震台站地震计运行的工作状态。

关键词: 地震计; 检测; 标定; 周期; 阻尼

中图分类号: P315.62

文献标志码: A

0 引言

地震观测仪器的运行状态直接影响产出数据的连续性与可靠性。山西数字测震台网已运行多年, 台站观测设备老化, 仪器故障逐年增多, 要求提高维护人员对仪器设备故障的早期判断力, 以便及时排除故障, 减少观测仪器的断记率, 保证仪器设备的正常运转。

在地震观测系统中, 地震计是检测地震信号的关键设备, 其工作性能、状态直接影响地震观测数据的质量。地震计作为机电一体化的高精密仪器, 经过长时间连续工作及受工作环境等外界因素的影响, 设备内部的机械部分易出现弹簧变形、电子元器件老化和线圈的灵敏度改变, 对地震计工作周期和阻尼等各项性能参数造成不同程度的变化, 影响其性能。在仪器日常维护中, 必须定期对地震计进行脉冲标定检测, 将标定结果与出厂标准参数作对比分析, 检查地震计的工作稳定性, 及时发现异常状态, 做好测震台网运行维护保障工作, 为地球物理学研究和地震监测预测提供可靠的观测数据。

1 地震计工作周期和阻尼的测定原理^[①, 1-2]1.1 地震计阻尼常数的测定^[1-2]

地震计阻尼常数的测量方法是应用地震计的阶跃响应记录脉冲标定波形, 通过测量脉冲标定波形的幅度来计算地震计阻尼。由摆的自由衰减过程可以知道,

摆自由衰减振动的幅度 y 和系统阻尼 D 的关系, 可以用半个周期(即 $T/2$ 时间)中 2 个相邻的振幅比 v 来表示:

$$v = \frac{y_k}{y_{k+1}} = \exp\left(\pi \frac{D_s}{\sqrt{1-D_s^2}}\right), \quad (1)$$

式中: y_k 为自由衰减振动第 k 个峰值幅度; y_{k+1} 是第 $k+1$ 个峰值幅度。为便于计算, 做如下的变换:

$$\lambda = \ln v = \pi \frac{D_s}{\sqrt{1-D_s^2}}. \quad (2)$$

从(2)式得出:

$$D_s = \frac{\lambda}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}}. \quad (3)$$

用以 10 为底的对数计算, 引入

$$\lambda_{10} = \lg v = \lambda \lg e, \quad (4)$$

得出地震计系统的阻尼为:

$$D_s = \frac{0.733\lambda_{10}}{\sqrt{1+0.537\lambda_{10}^2}}. \quad (5)$$

从第 39 页图 1 中脉冲标定波形看出, 随着阻尼的变大, y_2 值在变小。在数字地震波形记录上, 可以较准确地测量 y_1 和 y_2 的值, 并计算出阻尼值 D_s 。

1.2 地震计周期的测定原理^[1-2]

地震计周期分为工作周期和固有周期(自振周期), 工作周期的测定可以采取直接测量 $T_{1/2}$ 的周期(见图 1)。从摆的运动方程可以知道衰减振动的阻尼 $D_s < 1$, 衰减运动的周期是:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_s \sqrt{1-D_s^2}} = \frac{T_s}{\sqrt{1-D_s^2}}, \quad (6)$$

收稿日期: 2019-01-03

基金项目: 山西省地震局科研项目(SBK-1809, SBK-1804)。

第一作者简介: 刘林飞(1977), 男, 山西省灵丘县人。工程师, 主要从事地震仪器监测和维护工作, E-mail: liulif2013@126.com。

① 北京港震机电技术有限公司, 数字地震仪参数测定软件使用说明书, 2008。

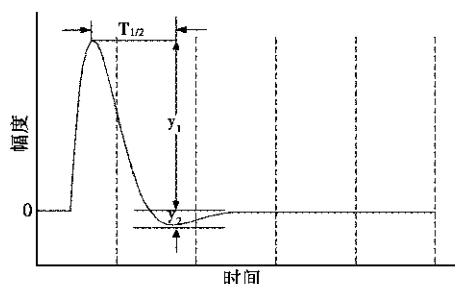


图 1 脉冲标定响应曲线图

Fig. 1 Pulse calibration response curve

$$T_s = T_1 \sqrt{1 - D_s^2}, \quad (7)$$

式中: $T_s = 2\pi/\omega$ 为摆的固有周期。从式(6)可以看出,有阻尼衰减运动的周期 T_1 要比摆的固有周期(自振周期)大,即在 $0 < D_s < 1$ 时, $T_1 > T_s$ 。只有当 $D_s = 0$ 时,摆的自由振动是无衰减的,即 $T_1 = T_s$ 。所以,可通过测量有阻尼衰减运动的周期,用上述公式计算出摆的固有周期 T_s 。

1.3 地震计周期和阻尼变化率的计算

$$\text{周期变化率} = \frac{\text{实测周期 } T_s - \text{标称周期 } T_s}{\text{标称周期 } T_s} \times 100\%, \quad (8)$$

$$\text{阻尼变化率} = \frac{\text{实测阻尼 } D_s - \text{标称阻尼 } D_s}{\text{标称阻尼 } D_s} \times 100\%。 \quad (9)$$

2 地震计工作周期和阻尼的年度变化分析研究

2.1 台站标定资料选取

山西数字测震台网由 32 个台站组成,其中,28 个台站采用宽频带地震计,4 个台站采用甚宽频带地震计,配套使用 24 位 CMG-DM24、EDAS-24GN 和 EDAS-24IP 数据采集器。选取时间范围从 2016 年 1 月至 2018 年 11 月的脉冲标定波形数据进行归纳分析,32 个观测台站场地台基类型、地震计和数采配置等情况如表 1 所示。

2.2 脉冲标定方法计算结果统计分析

测震台站脉冲标定采用地震计和数据采集器等设备来实现。通常的方法是由数据采集器产生标定电流信号,输入到地震计的标定线圈产生模拟地面运动的信号,对记录到的信号通过传递函数求解得到地震计的周期和阻尼。通常采用地震计仪器厂家配套的标定软件对表 1 各台站进行脉冲标定,使用国内常用的 EDSP-1AS 或 MSDP 波形处理软件检查波形是否符合规范,再通过北京港震公司标定软件 EDSP-CAL 对截取的脉冲标定波形数据进行计算,统计分析标定结果,结合实际维护经验对各台站地震计的周期和阻尼值变化情况做细致研究。

表 1 测震台站基本情况表

Table 1 Basic information of seismic stations

台站名称	台站代码	场地台基类型	地震计型号	数采型号	周期/s
大同	SHZ	地表灰岩	BBVS-120	EDAS-24IP	120
恒山	HSB	地表麻粒岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
山自皂	SZZ	地表灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
雁门关	YMG	地表片麻岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
阳原	YAY	地表片麻岩	BBVS-120	EDAS-24IP	120
右玉	YUY	地表片麻岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
镇川	ZCH	地表岩浆岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
代县	DAX	山洞灰岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
宁武	NIW	地表灰岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
岢岚	KEL	地表片麻岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
保德	BOD	地表砂岩夹泥岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
偏关	PIG	地表灰岩	BBVS-60	EDAS-24GN	60
定襄	TIY	山洞灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
东山	DOS	地表砂岩	GL-S60	EDAS-24GN	60
娄烦	LOF	地表灰岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
晋祠	JIC	山洞石灰岩	BBVS-120	EDAS-24IP	120
昔阳	XIY	地表灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
太谷	TAG	地表片麻岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
左权	ZOQ	地表砂岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
离石	LIS	山洞石灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
临汾	LIF	山洞石灰岩	CTS-1	EDAS-24IP	120
隰县	XIX	地表片麻岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
安泽	ANZ	地表石灰岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
霍州	HZH	地表砂岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
侯马	HMA	山洞灰岩	CMG-3ESPC-60	CMG-DM24	60
夏县	XAX	山洞灰岩	BBVS-120	EDAS-24IP	120
永济	YJI	山洞石灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
长治	CHZ	地表灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
襄垣	XAY	地表石灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
阳城	YAC	地表灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
陵川	LIC	地表石灰岩	BBVS-60	EDAS-24IP	60
灵丘	LNQ	山洞花岗岩片麻岩	BBVS-60	EDAS-24GN	60

为分析各台站地震计近几年的整体工作运行状况,研究各台站从 2016 年 1 月至 2018 年 11 月地震计的周期和阻尼年变化情况。选取安泽、代县、灵丘、太谷 4 个台站,对三年的脉冲标定波形进行计算,并绘制变化图(见第 40 页图 2、图 3)。从图中看出,周期和阻尼变化不大,周期稳定在 60 s,阻尼稳定在 0.707 附近,符合仪器生产厂家的设定参数,表明地震计仪器运行状态稳定。

下面主要针对部分台站地震计存在的异常状态,选取具有代表性的故障进行举例,分析说明(见第 40 页图 4~第 41 页图 9)。

襄垣台属于地表型基岩观测场地,日温差变化大,从图 4 和图 5 看出,襄垣台 BBVS-60 宽频带地震计在此时间段的运行状态,地震计 NS 向周期值和阻尼值从 2016 年 1 月开始出现波动较大的现象,11 月标定

时地震计 NS 向数值异常,周期明显偏大,变化率最大达到 13.48%;阻尼明显偏小,变化率最大达到 19.60%。同时,UD 向周期也明显偏小。NS 向和 UD 向均超出规范要求,维护人员多次对地震计进行现场断电、重新加电、调零、锁摆、开摆、更换数采等操作后仍不能解决问题。于 12 月更换地震计,目前地震计工作状态稳定。通过与厂家维修人员联系,得知地震计故障由内部调零马达损坏及簧片老化等因素造成。

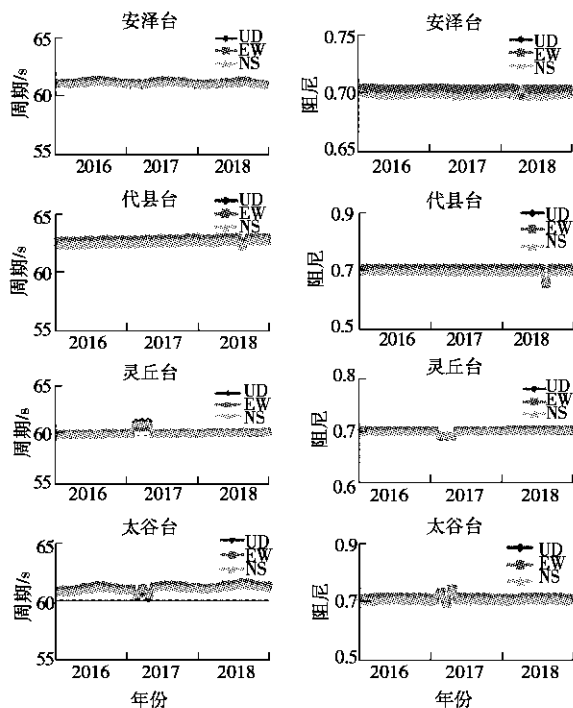


图 2 周期年变化曲线图

Fig. 2 Cycle annual change rate chart of Xiangyuan station

图 3 阻尼年变化曲线图

Fig. 3 Annual change rate of damping at Xiangyuan station

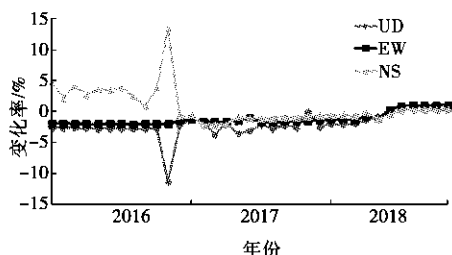


图 4 襄垣台周期年变化率图

Fig. 4 Cycle annual change rate chart of Xiangyuan station

长治台为地表型基岩观测场地,观测仪器配置 BBVS-60 宽频带地震计,受温度变化影响较大。地震计工作周期和阻尼年变化如图 6、图 7 所示,在 2016 年 1 月开始出现三个分向标定周期偏大,变化率最大达到 3.6%,周期和阻尼变化在正常范围之内。在 2017 年 1 至 2 月脉冲标定时,三个分向阻尼变化率最

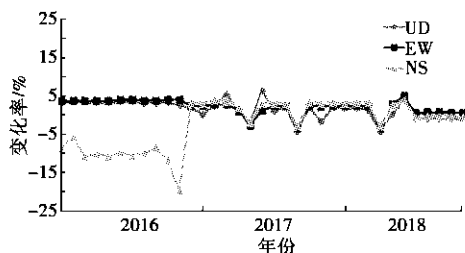


图 5 襄垣台阻尼年变化率图

Fig. 5 Annual change rate chart of Xiangyuan station damping

大达到 6.65%,周期虽处在正常变化范围,分析认为仪器处于隐形带病工作的不稳定状态。3 月后脉冲标定结果正常,表明仪器暂时工作正常,但处于非稳定状态,因备件库无同型号的地震计,所以继续使用。当备件库有该型号的地震计后,在 2018 年 5 月进行更换,脉冲标定计算结果显示周期和阻尼变化明显变小,地震计运行状态稳定。目前拆卸的地震计已寄回华北片区维修中心。

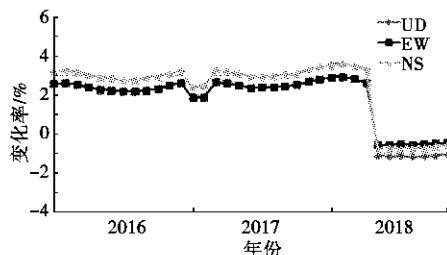


图 6 长治台周期年变化率图

Fig. 6 Periodic annual change rate chart of Changzhi station

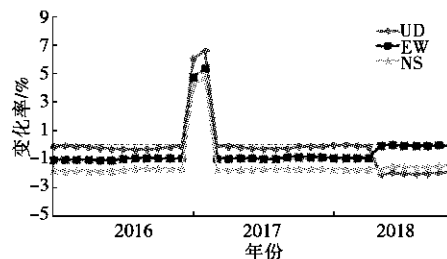


图 7 长治台阻尼年变化率图

Fig. 7 Annual change rate of damping at Changzhi station

霍州台地震观测仪器配置 CMG-3ESPC-60 宽频带地震计,分别绘制周期和阻尼年变化图,从图 8、图 9 看出,在 2016 年 9 月,地震计三个分向同步出现标定周期明显偏小,变化率最大达到 15.02%;阻尼明显偏小,变化率最大达到 40.30%,超出了规范要求。维护人员多次尝试对地震计进行现场断电、重新加电、调零、锁摆、开摆、更换新数采和通信单元等操作后,仍不能解决上述问题。有了备件后,在 2017 年 4 月更换地震计,目前地震计工作状态稳定。综合分析认为,台站周

期和阻尼单方向漂移的原因可能为地震计使用时间较长,内部关键电子元器件老化。在 2017 年 5 月寄回华北片区维修中心,从英国仪器厂家反馈的维修记录来看故障原因基本一致。

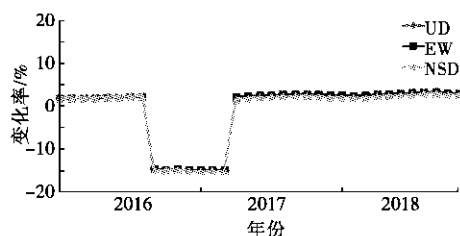


图 8 霍州台周期年变化率图

Fig. 8 Cycle annual change rate chart of Huozhou station

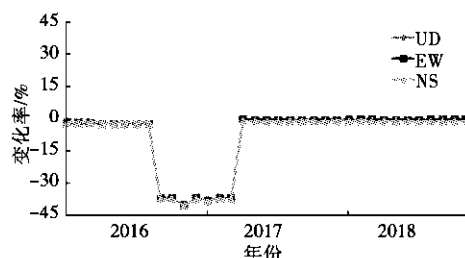


图 9 霍州台阻尼年变化率图

Fig. 9 Annual change rate chart of Huozhou station damping

2.3 引起周期和阻尼变化的原因分析

山西数字测震台网的大部分台站建在山区且为地表型,观测室日温差变化较大,少数台站湿度较大。为解决地震计的保温和隔潮,定制了一批密封保温桶安装在台站,在一定程度上缓解了外界环境变化对仪器的影响,但仍有部分台站的地震计工作周期和阻尼出现在正常范围内的动态变化,个别台站的地震计工作周期和阻尼有上下突跳。少部分台站观测场地建在山洞中,基本不受外界环境影响,日温差较小,地震计工作状态相对稳定,周期和阻尼变化小。

山西数字测震台网使用力平衡电子反馈式地震计,反馈地震计阻尼主要由两部分组成^[1-2],即机械结构和反馈网络阻尼。机械阻尼的变化一方面受摆的具体结构因素影响,在地震计制造商组装过程中存在技术问题和元件参数不过关^[1-2]。如,地震计弹性簧片的温度系数变化大;机械阻尼另一方面易受外部环境的影响,表现为双向漂移。反馈网络产生的阻尼主要取决于内部电子元件的质量,通常对总阻尼变化的影响概率较小,且变化是单向漂移。如果发生关键电子元件(特别是反馈网络的温度补偿电路)的损坏,工作周期和阻尼偏差也会较大。一般认为,机械阻尼的变化是导致工作周期和阻尼偏移的主要原因^[1-2]。

3 结论与讨论

通过对台站脉冲标定波形计算结果的统计分析,得出外部环境温湿度的变化和内部元件的老化会导致地震计周期和阻尼的变化。地表基岩台站受到的影响大于山洞台站。在平时脉冲标定中,如发现周期和阻尼存在双向漂移变化,则粗略地确定地震计故障是由外部环境的变化引起;如属于单向漂移变化,则考虑内部电子元器件老化和地震计机械部件等原因。

通过分析几次典型故障产生的原因,提出用定期脉冲标定方法来检测地震计工作思路。在日常台网仪器运维中,使用此方法对台站地震计的工作状态进行预评估,可及时发现存在异常的地震计,减少由突发故障导致观测数据断记,提高台网运行率,产出高质量的观测数据。同时,研究结果也为测震台站维护人员提供一些可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 刘新,毛国良,李小军,等.河北遥测台网 FBS-3B 地震计工作周期和阻尼变化的特点和原因分析[J].华北地震科学,2012,30(4):58-60.
- [2] 张明,俞铁宏,刘洋君,等.用标定方法检测地震计的异常状态[J].山西地震,2014(3):34-37.

Working State Detection and Fault Analysis of Seismometer in Shanxi Seismic Network

LIU Lin-fei^{1,2}, GONG Zhuo-hong^{1,2}, LIANG Xiang-jun^{1,2}, YIN Wei-wei^{1,2}, GAO Yun-feng^{1,2}

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

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

Abstract: Taking the seismometers used in some stations of Shanxi seismic network as the research object, the pulse calibration waveform data for a period of time are selected for calculation, and the characteristics of the working period and damping variation of the seismometers and the fault causes are analyzed. Combined with the practical work experience of operation and maintenance of seismic network, this paper puts forward the idea and method of detecting the working state of seismometer, and proves that the working state of seismometer can be reflected to a certain extent by regularly detecting the change of period and damping of seismometer.

Key words: Seismometer; Detection; Calibration; Period; Damping

基于CWQL的山西测震台网准实时背景噪声计算分析

高伟亮^{1,2},殷伟伟^{1,2},王卓君^{1,2},张娜^{1,2},梁永辉^{1,2},吕睿^{1,2}

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

摘要:以山西省测震台网为例,利用CWQL软件调取JOPENS5.2系统台站实时波形数据与对应台站参数,计算台基环境地噪声水平。分析认为,CWQL软件可用于日常测震观测系统数据质量检测,得到各测震台站各分向PSD功率密度函数分布及RMS值。研究结果实现了对山西数字测震台网连续波形数据质量、JOPENS系统台站配置参数的准实时监控及台站观测环境背景噪声功率谱密度的对比分析。

关键词:测震台网;JOPENS5.2系统;背景噪声;CWQL软件;仪器参数

中图分类号:P315-39

文献标志码:A

0 引言

山西测震台网由1个台网中心和57个测震台站组成,台网中心采用JOPENS系统对台站数据进行接收、存储及处理。因台站配置仪器种类多,造成地震台站的背景噪声计算流程繁杂,需花费大量的时间。为此,应用JOPENS系统和CWQL工具软件,完成山西测震台网57个台站背景噪声功率谱的统一计算、对比分析等,实现对数字测震台网波形数据质量、背景噪声变化的监控及各频段噪声特性的对比分析。

在宽频带数字测震观测系统中,系统故障、波形数据的突跳阶跃、传输信道的短时中断及观测环境强噪声源的出现,这些都是影响测震波形数据质量的主要因素^[1]。及时监控数字测震台网波形数据质量及识别台站观测环境干扰源,成为山西数字测震台网数据质量监控技术中的重要研究课题之一。

1 CWQL软件功能

CWQL是工具性软件,能从数字测震台网的JOPENS波形数据流服务器上读取连续波形数据及测震台站仪器配置参数,并对波形数据进行计算分析。软件主要采用Matlab语言进行开发,与目前各区域地震台网所运行的JOPENS5.2系统实现无缝连接。通过对连续波形数据进行背景噪声功率谱密度和台基环境地噪声水平RMS值的计算,画出PSD曲线,实现对山西测震台网数据记录质量和台站环境背景噪声水平的准实时监控^[2]。

2 数据处理方法

JOPENS5.2系统在地震分析处理中,需准确使用JBOSS控制台中测震台站的仪器配置参数。测震系统记录的波形数据是无量纲数值,传递函数反褶积扣除仪器响应才能得到地动速度。JOPENS5.2系统测震仪器的配置参数需与仪器出厂参数相同。其中,地震仪输出电压和数采灵敏度的正确输入较重要。如配置数值不准确,会使地震处理中出现震级偏差。准确了解并评估JOPENS5.2系统测震仪器配置参数,成为山西数字测震台网迫切需要解决的问题。CWQL软件可实现对波形数据背景噪声功率谱密度的计算,通过各频段噪声功率谱的对比分析,可有效判断JOPENS5.2系统仪器参数配置的准确性^[2]。

2.1 环境地噪声水平RMS计算

实测地脉动速度值计算公式为:

$$V = \frac{N \times D}{S} = \frac{N \times U}{R \times K \times S}, \quad (1)$$

式中: V 为观测地脉动速度值(单位:m/s); N 为实际记录背景噪声值(单位:counts); D 为数据采集器电压转换因子(单位:V/count); S 为地震计输出电压灵敏度(单位:V·s/m); U 为输入峰值电压(单位:V); K 为数据采集器正常运行时的增益; R 为仪器分辨率(单位:counts)^[3]。

地脉动噪声均方根值RMS可以衡量地震台台基背景噪声水平,即:

收稿日期:2020-05-15

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-2025)。

第一作者简介:高伟亮(1987—),男,山西省吕梁市人。硕士研究生,工程师,主要从事测震速报系统运维工作,E-mail:gaoweiliang886@163.com。

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - V^2)}{n}}, \quad (2)$$

式中: $V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$; V_i 为某点实测地脉动速度值(单位: m/s)^[3]。

2.2 背景噪声功率谱 PSD 计算

设时间函数 $v(t)$ 为地震记录中速度表示式, 应用傅立叶变换得到频率域, 即, $F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} v(t) \cdot e^{-i\omega t} dt$, 其中, $|F(\omega)|^2$ 叫作速度功率谱概率密度, 也就是 PSD_v , 与加速度功率谱概率密度 PSD_a 的转换公式为:

$$\text{PSD}_a(\omega) = \omega^2 \text{PSD}_v(\omega), \quad (3)$$

式中: $\omega = 2\pi f$; PSD_a 的单位为 $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$; $\text{PSD}_v(\omega)$ 的单位为 $(\text{m/s})^2/\text{Hz}$ ^[3]。

3 成果分析应用

3.1 测震波形质量准实时评估结果的服务界面

在山西测震台网安装 CWQL 工具软件并进行参数配置, 开展运行调试, 连续波形质量准实时评估结果的服务界面为 <http://10.14.XX.XX:8080/CWQL/CWQL.html>, 实现了对台网所属的 57 个测震台站连续波形数据质量、JOPENS 系统台站配置参数的准实时监控及台站观测环境背景噪声功率谱密度的对比分

析, 辅助测震速报和系统维护人员能及时发现测震台网运行中出现的故障信号, 以便快速修复仪器故障, 保证测震台网的正常运行。

3.2 台基背景噪声分析

及时发现测震台站观测环境变化, 实现山西测震台网的 57 个台站背景噪声水平 RMS 和背景噪声功率谱密度 PSD 的统一计算、对比分析等问题, 可显著提高工作效率。

例如, 对台网 57 个台站 2020 年 4 月 14 日 17:00 至 24 日 17:00 的波形进行背景噪声功率谱计算分析(共 233 条功率谱结果)。图 1a 为霍州台 BHZ 分向的背景噪声功率谱概率密度曲线, 属于台基状态较好的曲线形态, 白天和夜间的差别较小, 且在低频段和高频段都贴近 Peterson 的地球低噪声新模型; 在图 1b 神池台 BHZ 分向的背景噪声功率谱概率密度曲线中, 存在 3~5 Hz 的干扰源, 经现场勘察, 分析认为是台站周围正在运行的风电机组造成; 在图 1c 太谷台 BHZ 分向的背景噪声功率谱概率密度曲线中, 存在 1 个 3~4 Hz 的干扰源, 分析认为是由台站周围村庄施工造成; 图 1d 为寿阳台 BHE 分向的背景噪声功率谱概率密度曲线, 可以看出, 低频段干扰严重, 分析认为是台站仪器受气流扰动或是地震计摆线受潮等原因造成。

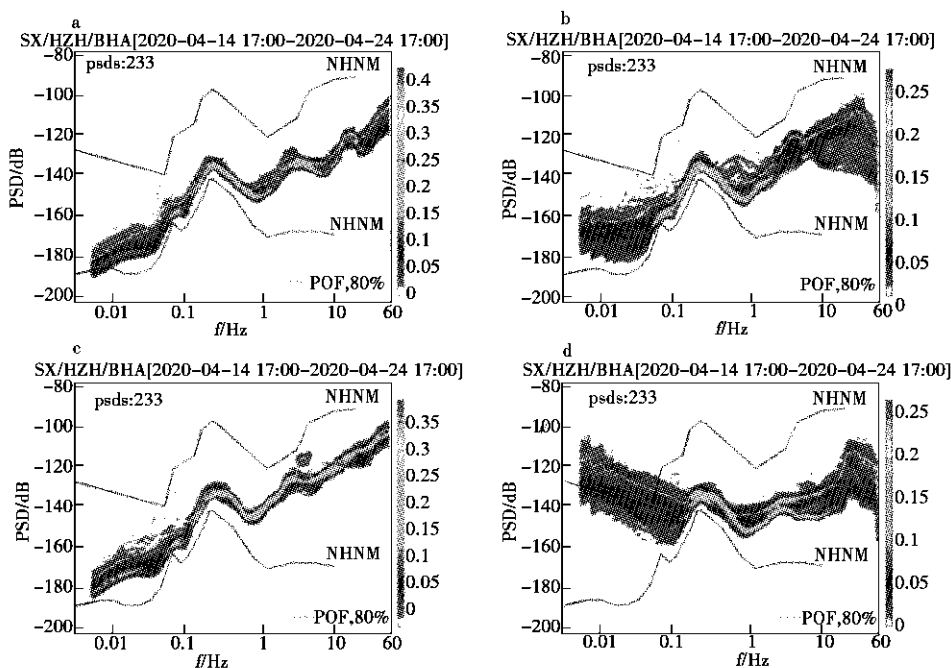


图 1 台站功率谱概率密度曲线对比图

Fig. 1 Comparison of power spectrum probability density curves of stations

3.3 追踪地震计故障

当测震观测系统数采正常运行, 地震计出现故障时, 测震速报和系统维护人员通常情况下浏览连续波

形难以直观地发现。经计算后, 可从台站背景噪声功率谱密度图中直观地辨别记录波形中不同频率信号间的细微差异。

图2d是左权台2020年5月8日10时的三分向连续波形,可以看出,三分向的连续波形数据形态相差不大,不能直观地通过浏览连续波形发现BHN和BHE分向的数据中存在的故障信息,但通过台站噪声功率谱密度曲线图分析得出,当天在9时至9日10时(24条功率谱结果)期间,左权台三分向功率谱概率密度函数的变化过程。通过比较图2a、2b、2c看出,EW和

NS两个分项的噪声功率谱概率密度曲线形态呈斜线型,与BHZ正常分向的噪声概率密度曲线形态不一致。测震台站维护人员通过检测确定为地震计BHN和BHE分向摆锤机械零点故障。通过对测震波形数据进行背景噪声功率谱计算分析,可了解测震台站仪器的运行状态。

3.4 JOPENS系统参数配置异常分析

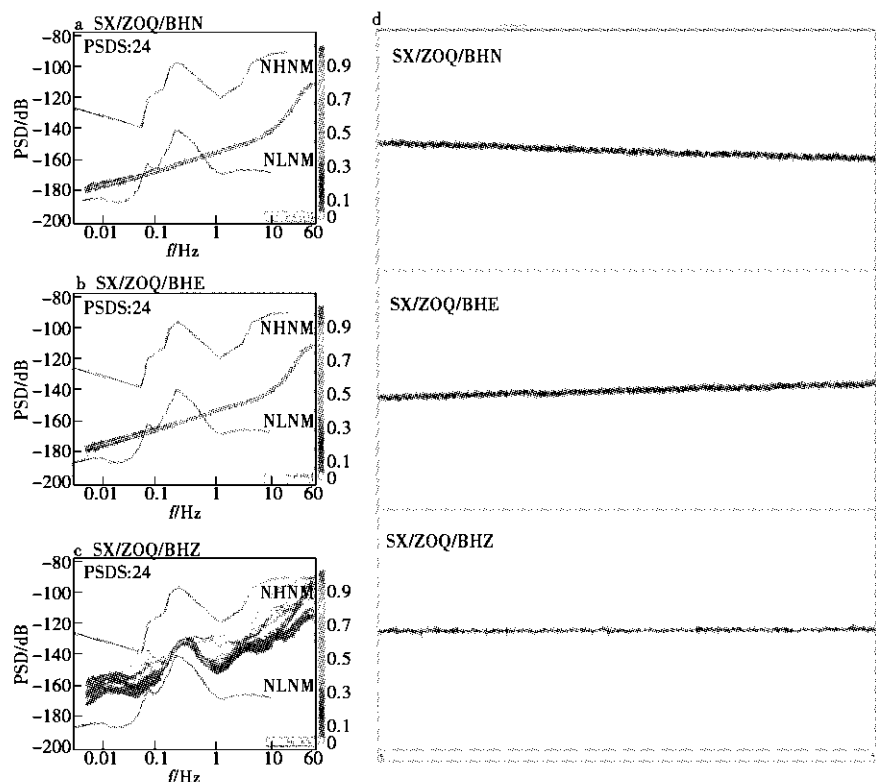


图2 左权台功率谱密度函数及相应的连续记录波形

Fig. 2 Power spectral density function of left weight station and its continuous recording waveform

当JOPENS5.2系统JBOSS控制台中的台站观测仪器配置参数输入错误时,测震速报人员在时域浏览连续波形显示不能发现系统异常,但是在频域,对比分析台站噪声功率谱密度曲线图可以发现配置参数错误和模板使用的不准确。运用CWQL软件计算山西测震台网57个测震台站背景噪声功率谱概率密度函数,既可及时快速检测测震观测系统故障,又可发现JOPENS5.2系统台站观测仪器配置参数的异常,保证观测系统正常运行及观测数据的可靠产出^[2]。

数据修复前PSD曲线如第45页图3a、3b、3c所示,可以看出,图3c展示的UD向功率谱概率密度曲线幅度比图3a中的EW向和图3b中的NS向约低20dB,UD向功率谱概率密度曲线在0.05~1Hz,低于全球低噪声新模型(NLNM),表明UD向功率谱概率密度曲线异常。

同一个台站测震仪器正常运行时的三分向连续波形背景噪声功率谱值可认为数值相似。通过分析,造

成UD向的PSD比EW和NS向偏差大的原因有:仪器发生故障和JOPENS5.2系统JBOSS控制台中的观测仪器配置参数与仪器出厂参数不一致。通过对仪器进行脉冲标定,仪器恢复正常。分析UD向连续波形数据功率谱密度曲线异常是由于JOPENS5.2系统JBOSS控制台中的台站观测仪器参数配置错误造成。通过JBOSS控制台检查JOPENS系统中阳高地震计和数据采集器的配置参数,发现UD向数据采集器的灵敏度配置数值(6711409.396 count/V)与实际正确数值(838861 count/V)不一致,即公式(1)中参数D(数采灵敏度=1/D)的配置不正确。

登陆JOPENS5.2系统JBOSS控制台,在阳高台仪器配置参数中的UD通道响应里更新为数据采集器正确的灵敏度,SSH登录JOPENS5.2系统服务器,在目录/etc/init.d下输入./memcached restart命令行更新台站仪器配置参数。使用CWQL软件读取更新后的阳高台

观测仪器参数并计算 RMS 和 PSD 值。阳高台 UD 向 PSD 曲线如图 3d 所示,相比图 3c,功率谱密度曲线高约

20 dB,与 EW、NS 向功率谱密度曲线特征形态一致,且落在 Peterson 模型之间。

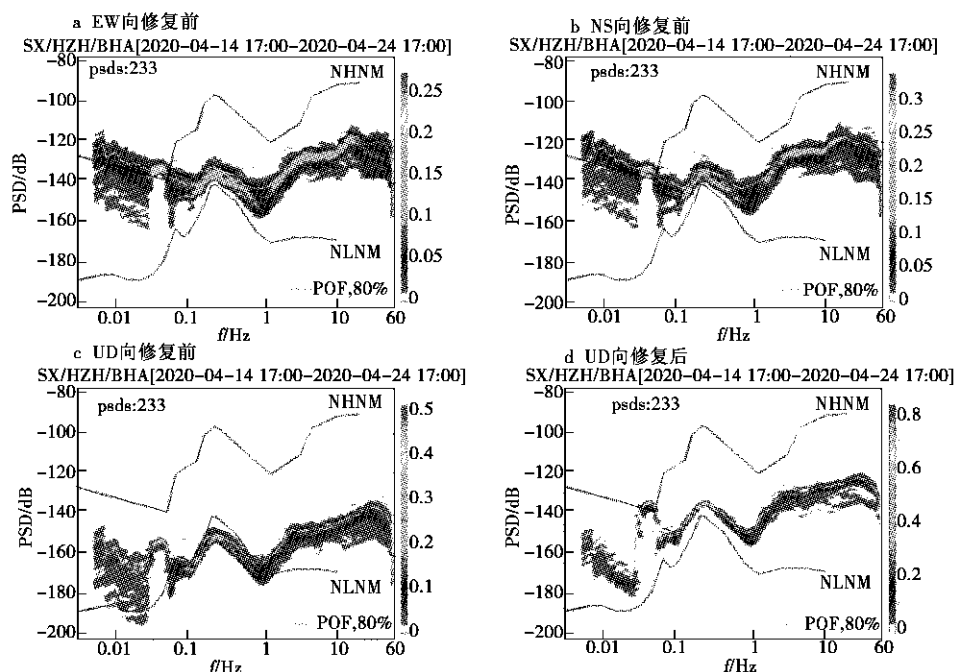


图 3 阳高台功率谱密度曲线

Fig. 3 Power spectral density curve of Yanggao station

4 结语

运用 CWQL 软件实现对山西测震台网的 57 个台站背景噪声水平的准实时监控,给出观测数据质量评估结果,可辅助系统维护人员及时发现测震台站环境干扰和有效检测 JOPENS5.2 系统台站观测仪器配置参数的准确性,保证山西测震台网的正常运行。研究结果实现了对山西数字测震台网连续波形数据质量、JOPENS 系统台站配置参数的准实时监控及台站观测环境背景噪声功率谱密度的对比分析。

参考文献:

- [1] 王 俊,缪发军,詹小艳,等.基于 MATLAB 的准实时背景噪声计算分析软件研制[J].地震研究,2013,36(2): 231-237.
- [2] 安 全,张建中,苏日亚,等.利用 CWQL 检测 JOPENS5.2 系统仪器参数正确性[J].地震地磁观测与研究,2017, 37(2):138-142.
- [3] 曾宪军,于林民,吴 坤,等.蒙城数字地震台台基噪声分析[J].科技资讯,2014(3):248-249.

Calculation and Analysis of Quasi Real Time Background Noise of Shanxi Seismic Network Based on CWQL

GAO Wei-liang^{1,2}, YIN Wei-wei^{1,2}, WANG Zhuo-jun^{1,2}, ZHANG Na^{1,2}, LIANG Yong-ye^{1,2}, LV Rui^{1,2}

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

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

Abstract: Taking the Shanxi seismic network as an example, the real-time waveform data and corresponding station parameters of Jopens 5.2 system station are obtained by using CWQL software to calculate the environmental noise level of the station. The analysis shows that CWQL software can be used to detect the data quality of daily seismic observation system, and obtain PSD power density function distribution and RMS value in each direction of each seismic station. The quasi real-time monitoring of the continuous waveform data quality of Shanxi digital seismic network, the station configuration parameters of Jopens system and the comparative analysis of the background noise power spectral density of the observation environment are realized.

Key words: Seismic network; Jopens 5.2 system; background noise; CWQL software;

河北省地震局行政值班管理系统的设计与实现

茅远哲,马旭东,李振波

(河北省地震局,河北 石家庄 050000)

摘要:近年来,各级党委政府全面推进机关事业单位值班工作制度化和规范化、标准化,地震系统行政值班人员数量、频次、要求越来越高,责任越来越大。针对河北省地震局行政值班工作的人工管理现状,科研人员结合当前值班规则与工作要求,设计开发一套河北省地震局行政值班管理系统,通过模块实现在线自动排班换班、实时更新排班情况与值班次数统计等功能,运用网络服务推动值班值守工作数字化管理与在岗信息资源整合,充分发挥值班室在常规值班与地震事件应急过程中的协调督导作用,推进机关值班工作科学化、便捷化和高效化,为广大职工提供更优质的服务。

关键词:地震;行政值班;管理系统;自动排班

中图分类号:P315-39

文献标志码:A

0 引言

随着计算机信息技术应用范围的扩大,以网络数字管理技术为基础的各类政务系统在党政机关、企事业单位及其子领域中的应用越来越广泛^[1]。以成熟的计算机软、硬件集成和网络技术为基础,使用先进的编程语言设计满足实际需求的工作流,利用数据库实现对数据信息的集中管理,可有效提高各行业实际工作中信息资源的流转效率与管理工作的科学规范程度^[2]。

目前,河北省地震局行政值班工作由局办公室牵头,值班室具体负责,全体参公在职人员参与执行。根据有关文件要求,局机关行政值班分为行政值班与政务值守两个工作组,实行每班1名局领导、1名行政值班人员和1名政务值守人员在岗值班制度,同时,在国家法定节假日、重要敏感时期和其他特殊时期,按照有关要求加强值班力量。

随着值班要求的愈加严格和值班频率的大幅加快,机关沿用的传统排班值班管理方法已不能适应当前的值班工作要求。为落实省委省政府值班工作的有关要求,进一步发挥值班室在常规值守与地震应急事件过程中的协调督导作用,值班管理部门急需一套数字值班管理系统,以推进机关值班工作科学化、现代化和高效化。

1 系统结构

1.1 总体架构

河北省地震局行政值班管理系统选用 PHP 语言与 Mysql 关系型数据库管理系统进行开发,采用三层

B/S 模型结构,即:表示层(用户接口层)、应用层(业务逻辑层)和数据管理层,应用三者之间的关系完成人工管理规则到智能化管理模式的转换^[3](见图1)。



图1 系统结构示意图

Fig. 1 The system structure diagram

PHP 代码封装在 Web 页面里,具有较强的可移植性。系统设计方案以 PHP 开发技术为基础,结合数据库技术阐述值班系统的设计与实现过程。在这种结构下,用户值班工作操作界面通过浏览器来实现,主要的事务逻辑在服务器端实现,减轻了客户端电脑的负担,减少了系统维护的成本和工作量。

1.2 数据库与语言的选择

系统选择关系型数据库管理系统(简称 RDBMS)来存储和管理大量数据。在 Web 应用方面,MySQL 是最好的关系数据库管理系统应用软件之一,也是一种关联数据库管理系统,具有诸多优点与特性,也与该系统所使用的开发语言 PHP 有着较好的支撑。PHP 独特的语法混合了 C、Java、Perl 以及 PHP 自创新的语法,几乎支持所有流行的数据库以及操作系统^[4];PHP 是将程序嵌入到 HTML 文档中去执行,执行效

率比完全生成 HTML 标记的 CGI 要高;同时,PHP 语言的快捷性优势明显,可被嵌入于 HTML 语言,其相对于其他语言编辑简单,实用性强,运行在 UNIX、LINUX、WINDOWS、Mac-OS 等多种操作系统下。

2 功能设计

通过长期调研地方党委、政府与上级领导部门关

于机关值班值守的文件与工作要求,结合当前机关行政值班、政务值守工作的需求,河北省地震局行政值班管理系统整体设计为五大功能模块,即用户管理、排班管理、值班管理、应急管理和数据管理(见图 2)。

(1) 用户管理模块。

主要用于管理用户功能类别与录入基本信息,包括管理系统角色分配、权限管理及建立值班人员库、采

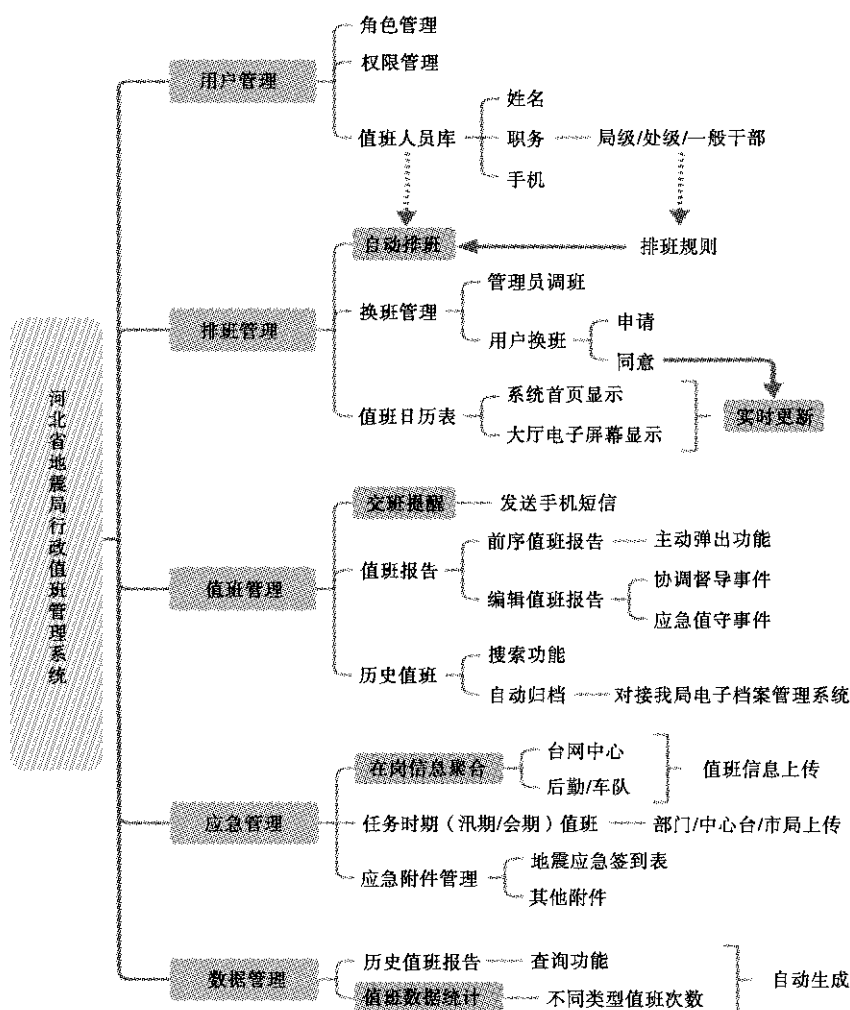


图 2 行政值班管理系统研发模块示意图

Fig. 2 Schematic diagram of R & D module of administrative duty management system

集排班规则、值班人员基本信息(姓名、部门岗位、职务级别、手机号码)。

(2) 排班管理模块。

用于完成值班人员的排班管理,包括根据有关要求自动进行排班,完成调班、换班申请与同意,实时更新、公布值班日历表。

(3) 值班管理模块。

用于实现值班期间具体岗位工作的各项操作,具

备交接班提醒功能,编辑生成值班报告及查询历史值班报告。

(4) 应急管理模块。

用于提供全系统值班在岗信息与应急事件所需的电子附件,支持查询与下载。

(5) 数据管理模块。

用于存储值班报告与历史值班记录数据,实现人员的不同类型值班任务的数量统计,可用于个人工作

报表与值班室相关统计工作。

3 关键技术代码

3.1 自动排班

实现自动排班功能是系统研发核心内容。值班工作管理人员可通过从不同类型值班组别内选择从任意值班人员开始顺次排班,实现一键自动排班,生成值班表,值班表中体现每天各个值班组别的值班人员信息,上述功能可由以下代码实现。

某一值班岗位值班员的自动排序生成:

```
$uarrinfo = $this->db->getall("select id,
name,sort from xinhu_admin where deptid='3' and id
=' $dutyid'");
if(! empty($uarrinfo)){
unset($sortarray);
$sortarray = $uarrinfo[0]['sort'];
$zhibaninfo[$i] = $daysinfo.'.' . $uarrinfo[0]
['name'];
```

3.2 值班统计

为了实现值班管理人员对各组别中每位值班员在自然月内不同类型值班(夜班或工作日班、非工作日白班)数量的统计,研发以下功能代码实现:

```
if($sign==0){
//得到当前月的下一个月
return $fm_next_month=date("Ym",$tmp_
nextmonth);
}else{
//得到当前月的上一个月
$date=$fm_forward_month=date("Y-m-
d",$tmp_forwardmonth);
$firstday=date('Y-m-01',strtotime($date));
$datatime=date('Y-m-d',strtotime("$first-
day+1 month-1 day"));//上个月最后一天的日期
$datetime=strtotime(date('Y-m-d',strtotime("$
firstday +1 month-1 day")));//上个月最后一
天的日期
$firstday=strtotime($firstday);
$arr['checkmonth']=date('Y-m-01',strtotime
($date)).'至'. $datatime;
$where="and UNIX_TIMESTAMP(dt)>='
$firstday' and UNIX_TIMESTAMP(dt)<=' $data-
time";
//上月的月份
$premonth=date('Y-m',strtotime($date));
$where1="and month=' $premonth";
$where2="and dutymonth=' $premonth";
}
```

```
foreach($all_users as $key=>$rs){
$arr['deptname']=$rs['deptname'];
$arr['username']=$rs['name'];
$deptid=$rs['deptid'];
$zname=$rs['name'];
```

4 系统测试与界面实现

4.1 系统测试

研发完成后,将其部署在 CentOS Linux 7.6 操作系统的服务器中,针对系统的五大功能模块,管理部门在值班人员中开展了范围性功能测试。测试结果显示,系统实现了排班自动化、值班信息数字化、消息提醒实时化的效果,各项功能可正常操作运行,可随时由管理部门投入运维使用,测试进一步提高了系统运行的稳定性和数据信息的可靠性。

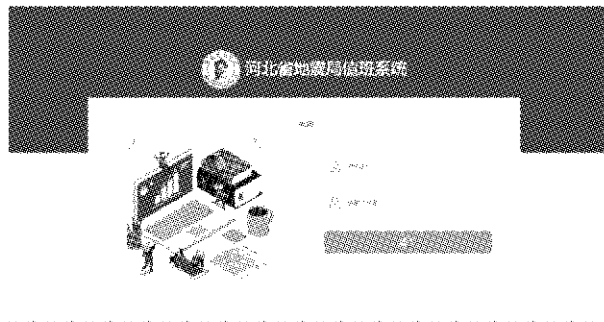


图3 值班管理系统登录界面

Fig. 3 Login interface of duty management system

4.2 系统界面与操作

系统登录界面由名称、登录界面组成,包括河北省地震局 logo、“河北省地震局值班系统”字样、用户名、密码输入栏;操作首页界面由顶部功能模块栏、左侧个人办公栏与中部主要功能快捷键及值班信息职责等组成。其中,中部分布以河北省地震局 logo 为表盘的时钟与当前值班序列人员信息,右侧展示不同值班值守岗位的职责分工,用以明确各岗位的工作任务,精确划分工作内容,提升工作效率。

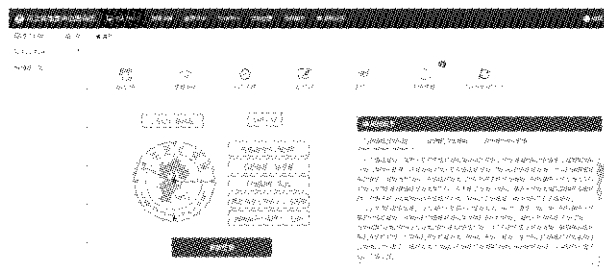


图4 值班管理系统操作首页界面

Fig. 4 Operation home page interface of duty management system

5 结语

河北省地震局行政值班管理系统于 2019 年 12 月投入使用。管理系统通过程序应用、网络服务提升了值班值守工作速度与效率,充分发挥值班室上情下达、下情上报的重要枢纽作用;提高了单位值班值守信息共享的交换能力,通过模块功能实现子单位值班信息的上传与查阅;整合全系统有关值班值守数据资料,能及时准确地掌握单位实时值班情况;进一步发挥值班室在地震事件应急过程中的协调督导作用;提高了管理部门为广大职工提供服务的水平^[5]。

通过管理系统的研发为值班工作者创造便捷高效的网络在线工作环境,实现交接班和换班安排的提醒并及时发布至值班人员计算机终端,实现值班管理员

操作一键化及管理工作的科学化、规范化和规范化。

参考文献:

- [1] 朱 灵.我国电子政务建设现状及发展路径[J].科技经济市场,2010(10):100-101.
- [2] 于施洋,王建冬,童楠楠.国内外政务大数据应用发展述评:方向与问题[J].电子政务,2016(1):2-10.
- [3] 胡建理,周 瑜,周 斌,等.基于 ASP.NET 值班管理系统的设计与实现[J].微型电脑应用,2010,26(12):62-64,3.
- [4] 易 竞.PHP 访问 MYSQL 数据库的实现[J].保险职业学院学报,2008(3):79-81.
- [5] 闫晓美,杨顺达,张瑞芳.基于层次分析法的地震微信公众平台综合评价研究[J].中国地震,2019,35(4):762-770.

Design and Implementation of Administrative Duty Management System of Hebei Earthquake Agency

MAO Yuan-zhe, MA Xu-dong, LI Zhen-bo

(Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang, Hebei 050000, China)

Abstract: In recent years, party committees and governments at all levels have comprehensively promoted the institutionalization, standardization and standardization of on-duty work in institutions and institutions and, and the number, frequency and requirements of the administrative duty personnel of the seismic system have become higher and higher, and their responsibilities have become more and more important. In view of the current manual management of the administrative duty work of the Hebei Earthquake Agency, scientific researchers combined the current duty rules and work requirements to design and develop a set of administrative duty management system of the Hebei Earthquake Agency, which realizes online automatic scheduling shift and real-time update of the schedule and the number of duty statistics and other functions. Moreover, the management system uses network services to promote the digital management of on duty work and the integration of on duty information resources, gives full play to the coordination and supervision role of the duty room in the regular duty and earthquake emergency response process, and promotes the scientific, convenient and efficient duty work of the agency to provide employees with better service.

Key words: Earthquake; Administrative duty; Management system; Automatic scheduling

(上接第 29 页)

Analysis of Continuous Gravity Anomaly at Zhangjiakou Seismic Station

QU Man¹, HOU Xiao-zhen¹, CHEN Jian-guo¹, WANG Yue-feng², ZHU Zhen-xing², ZHOU Ya², LIU Zhong-tao²

(1. Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang, Hebei 050021, China;

2. Zhangjiakou Center Seismological Station, Hebei Earthquake Agency, Zhangjiakou, Hebei 075000, China)

Abstract: Tidal factor of gPhone continuous gravity observatory at Zhangjiakou Seismic Station has been declining continuously since June 2016, with a cumulative decrease of 7×10^{-3} . Analyzing the gravity residuals curve, the residuals data do not change synchronously when the anomaly occurs. Comparing and analyzing the change of the tidal factor before and after de-zero drift, it is found that the trend of the change of the tidal factor is the same, excluding the influence of zero adjustment of the instrument. A gravity forward model is established for the gravity variation that may be caused by a new building. The calculation results show that the load variation of the new building can only cause $0.31 \mu\text{Gal}$ gravity variation. The influence of the new building on gravity observation is relatively weak. Comprehensive analysis shows that the trend anomaly of decline of gravity tidal factor may be a precursor anomaly, so it is necessary to strengthen tracking and analysis.

Key words: Continuous gravity; Tidal factor; Disturbing factors; Trend anomaly

山西省地震局绩效管理系统的设计与实现

魏越超^{1,3},穆慧敏^{2,3},范磊^{1,3},陈常俊^{1,3},杨世英^{1,3},张亮娥^{1,3}

(1.山西省地震局太原基准地震台,山西太原 030025;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:山西省地震局绩效管理系统是根据目前绩效考核统计方面存在的不足和实际需求,运用PHP作为开发语言,MySQL作为后台数据库,开发出的一款通过使用浏览器端线上进行网络绩效填报和审批的软件。该软件主要采用B/S架构,使用HTML技术编写网页,各个浏览器IE、360安全浏览器、Mozilla Firefox等均可访问系统。PHP组件和WEB技术等有机结合,使软件具有较好的可扩展性。该软件在山西省地震局应用以来,实现了减少人为失误、便捷高效的目的。

关键词:绩效管理;PHP;MySQL;应用程序

中图分类号:P315-39

文献标志码:A

0 引言

2018年山西省地震局绩效工资改革试行,印发绩效考核与绩效工资分配办法。新政策出台后,绩效管理工作还停留在纸介质审核和手动Excel制表的基础上,存在每季度报送材料多、报送时间不统一、材料零散等问题,导致工作效率低下,易出错。因此,急需一款软件来解决绩效管理工作中存在的问题,但购买社会上产品化的绩效管理软件无法满足单位个性化的业务需求和管理模式。为此,设计了山西省地震局绩效管理系统,实现突破传统纸质化办公思维,采用全新的审核流程,将不同人员的操作交至某个或数人完成,同时每一次的操作都有记录,提供查找依据。该系统审核原理与现实 workflow 方式原理相近。

1 系统整体架构

系统主要采用B/S架构,即浏览器/服务器模式(见第51页图1)。用户或管理员可通过浏览器使用授权账号进行系统登录。通过分析系统具体业务场景,在满足功能性需求外还应具有数据服务稳定、高效及系统架构能有效处理高负载的情况。选取Yii框架作为系统框架载体,用MySQL数据库作为平台数据服务承载。其中,Yii框架是基于面向对象的编程框架,当前最新版本为Yii2.0。框架的架构设计采用的是MVC设计模式(模型—视图—控制器),作为一个轻量级的PHP框架,其采用了基于组件的框架架构及独有的缓存实现,成功将用户访问页面与业务处理进行分析,使得系统各部件成功解耦,在进行业务修改

时不会相互影响。MySQL是一种与数据库程序协同工作的管理系统软件,是世界三大关系型数据库之一,主要采用结构化查询语言,可以在数据库中进行查询、获取、添加、删除及更新数据等一系列操作。其底层基于C/C++实现,可移植性良好且自带多线程方式运行,有效提高系统资源利用率。系统的整体框架采用Yii2.0,数据层使用该模型,数据存储使用MySQL。业务层主要包括人事管理、后台用户管理等,框架还集成了很多前端插件,如Bootstrap、EChart、jQuery等,便于与Web客户端进行数据交互^[1]。

2 系统功能介绍

通过实地调研,主要通过四大模块来完成山西省地震局绩效管理工作,分别为人事管理、绩效管理、后台用户管理、其他模块,每个大模块下又分为若干子模块,用以实现系统的其他功能。

2.1 人事管理模块

分为部门管理、人员管理、岗位级别管理3个子模块。部门管理模块包括部门组织机构设定、修改和删除;人员管理模块参与考核人员的管理,包括人员的新增、部门调动和岗位级别的划定;岗位级别管理模块包括岗位级别和基础奖励绩效的设定与维护。

2.2 绩效管理模块

分为月值班奖励、季度值班奖励、兼职司机奖励绩效、奖励绩效花名表4个子模块。月值班奖励模块是各部门的绩效员负责录入每月的值班奖励绩效,由各部门负责人进行审核、退回;季度值班奖励绩效模块是已审核的月值班奖励绩效会统计到季度值班奖励绩效

收稿日期:2020-11-03

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-2002)。

第一作者简介:魏越超(1989),男,山西省晋城市人。助理工程师,主要从事地震监测工作,E-mail:348588669@qq.com。

表中,由人教处进行审核、退回。在月值班奖励模块中,绩效员有录入、修改、删除未审核状态数据的权限,绩效员如需修改、删除已审核的数据,需要由部门领导退回为未审核状态;兼职司机奖励绩效表是绩效员负责录入驾驶员姓名、车辆牌号、年月、填报单位、起始里程、终止里程、上传里程图片,由人教处进行审核;奖励绩效花名表模块主要实现绩效的运算、考核信息和录入考核记录。

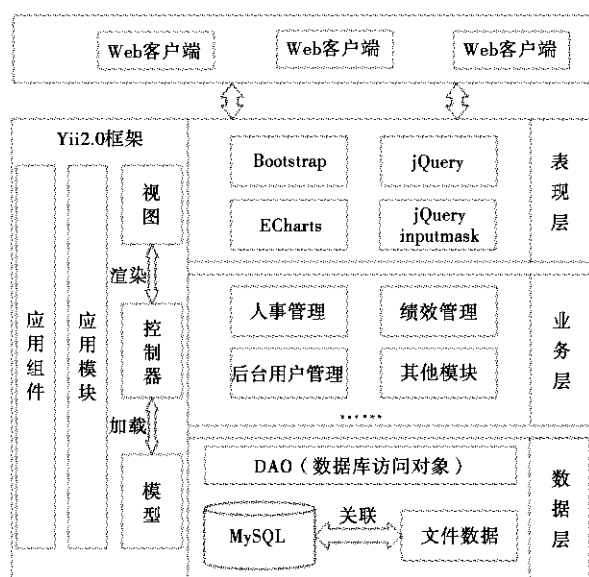


图1 系统整体架构

Fig. 1 Overall system architecture

2.3 后台用户管理模块

分为账号管理、角色管理和权限管理3个子模块(见图2),均针对后台系统设计,面向的用户也是单位内部人员,遵守规范、标准和流程化的设计理念。这3个子模块紧密关联,每个账号都被赋予特定的角色,每个角色都有其对应的权限信息。账号管理模块是管理员最常用到的功能,对单位内部人员的信息进行管理,具备新增、删除、修改、禁用和启用的操作功能。账号列表可以查看每个账号的ID、用户名、真实姓名、电子邮箱、电话号码、所属省局、所在部门、职位、账号状态、注册时间、最后登录时间、登录IP地址;角色管理模块是用来管理内部用户的角色信息,具备新增和删除功能。角色是对具有共同特征的某一类人群的身份归纳,让管理员能够轻松识别角色的特质,为不同的用户赋予对应的角色身份。该系统针对16个部门,共设立了33个不同的角色,已完成绩效的录入和审批工作;权限管理模块是为不同的角色划定操作(增删、改查、审批、退回)权限和基础菜单查看权限,设计这个模块的目的就是让不同角色的用户看到不一样的界面。

2.4 其他模块

分为出车情况统计、绩效统计、考勤管理、档案管理、个人设置5个子模块。出车情况统计模块针对省局纸质化的出车情况统计表设计电子版,主要功能是每季度让司机录入出车地点、时间和次数;绩效统计表是统计各季度基础绩效、定额定标奖励绩效、绩效总量等信息;考勤管理模块针对省局纸质化的因公外出、请(休)假和缺勤登记表设计电子版,主要有录入、审核、查询、导出Excel等功能;档案管理模块包含新建、修改、删除、查询、上传功能,支持上传Excel、Word、PDF格式文件,可以根据档案名称、年代、月份、单位、档案类型进行查询,档案类型分为奖励绩效花名表、值班表、专(兼)职司机奖励绩效表、出车情况统计表、因公外出请假缺勤登记表;个人设置模块中用户可以修改账号密码、手机号码、电子邮箱等基础信息。

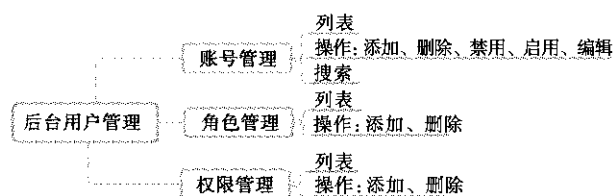


图2 后台用户管理模块

Fig. 2 The background user management module

3 数据库概念模型设计

数据库概念模型即系统的实体—关系模型,一般采用E—R图来表示(见第52页图3)。其中,实体表示用户工作环境中涉及的事物,属性表示对实体特征的描述。用户是该系统的实际使用者,主要分为管理员和其他用户,管理员的权限最高,其他用户按所处级别的不同拥有不同权限,但均为同一个实体,都可看作是用户^[2]。

4 系统实现

4.1 登录模块的实现

系统的用户登录验证流程如第52页图4所示,为保障登录者的合法性,必须正确输入用户名、密码以及验证码。通过新建LoginForm对象,将用户输入的上述信息用textInput文本框进行保存,通过findBy-UserName方法执行与后台数据库进行交互,取出数据后调用validatePassword方法进行验证,并且通过Captcha模块进行验证码验证,全部验证通过后,将登录状态保存在浏览器cookie中避免重复登录。如果验证不通过即密码错误或者验证码不正确,将拒绝登录请求并返回原界面进行二次登录验证;如果验证通过,则当前用户名及密码均正确,再对用户角色进行判定,而后返回系统主界面,进行下一步操作。

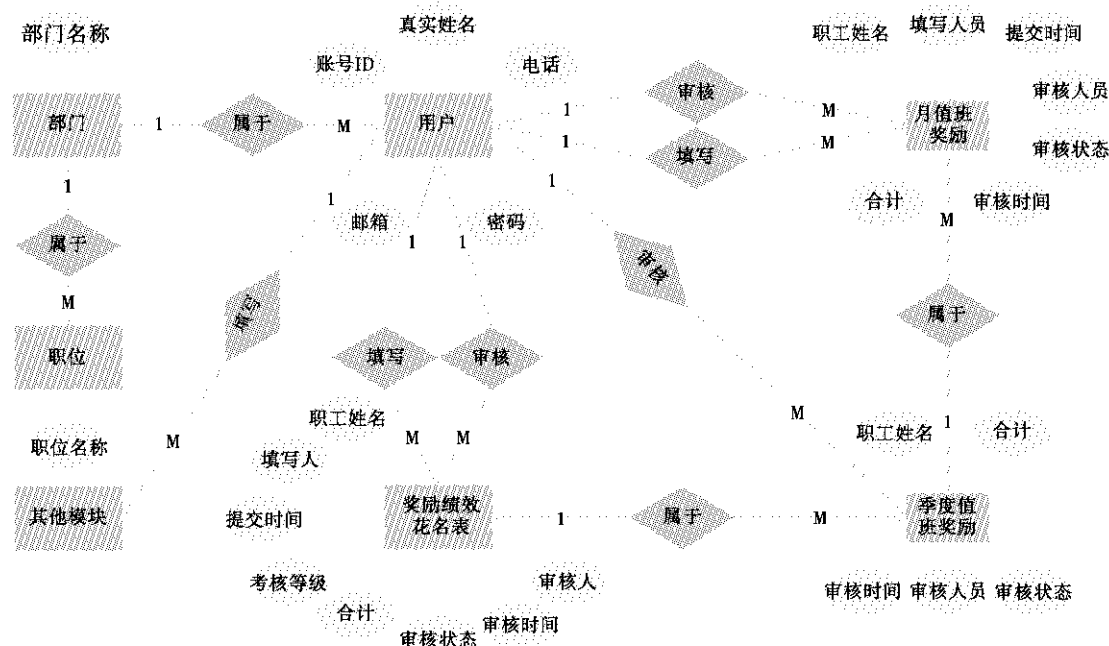


图 3 系统的数据库 E-R 图
Fig. 3 Database E-R diagram of the system

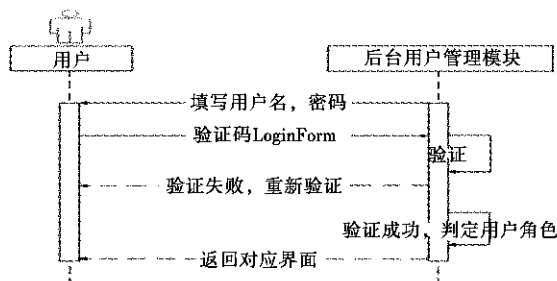


图 4 用户登录流程设计
Fig. 4 The user login process design

4.2 考勤模块的实现

进入系统的首页界面(见图 5),左侧菜单导航栏可以选择不同的功能模块,右边为系统的操作界面。点击考勤管理按钮,之下有外出审批、外出登记、考勤表等不同模块。点击 outCheckButton 按钮即可进行 outCheck 方法进而触发外出审批模块链接/outregistration/index,进入外出审核界面,对有需求外出的进行审核,点击审核按钮即可使用 post 方法与数据库进行交互。首先,判断当前用户的权限是否满足,然后将审核结果写入后台数据库中,以先操作数据库后操作缓存的方式进行信息的更新,避免缓存出现不一致等意外情况引起系统崩溃甚至宕机;然后,自动刷新界面,对当前界面进行数据请求,经过 HTML 界面渲染后可看到最新外出审核的页面。同样,点击外出登记按钮 outButton2 触发 outRecord 方法触发链接/

outregistration/index2,对外出登记情况进行管理等,其他模块也类似。



图 5 首页界面
Fig. 5 The home page interface

4.3 月值班奖励模块的实现

进入系统的首页界面可选择不同的功能模块。点击月值班奖励模块按钮,触发链接/duty/index,进入不同地区地震台;点击太原基准地震台按钮,触发链接/tytduty/index,进入太原基准地震台,下有不同年份及不同月份值班表。以选取四月值班表为例,浏览器首先触发链接/tyt202004duty/index,进入四月值班表界面,调用 actionDumpExcel 函数生成 Excel,同时向后台数据库请求太原基准地震台 2020 年四月的值班数据,并在填充报表头及表格头后将值班数据按照列表名进行填入,最后返回当前界面的右侧中显示。月值班奖励模块部分代码如第 53 页图 6 所示。

```

//生成excel功能
public function actionDumpExcel()
{
    $objectPHPExcel = new \PHPExcel();
    $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0);
    $page_size = 10;
    $size = Type201004duty::find()->count();
    $data = $this->make($size);
    $count = Type201004duty::find()->count();
    $page_count = (int)($count/$page_size) + 1;
    $current_page = 0;
    $n = 0;
    foreach ($data as $key)
    {
        if ($n % $page_size == 0)
        {
            $current_page = $current_page + 1;
            //生成excel
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->mergeCells('A1:A2');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setCellValue('A1', '2010年4月太原地震局值班情况');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A1')->setFont()->setSize(12);
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A1')->setFont()->setWeight('bold');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A1')->setFont()->setColor('red');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->mergeCells('A3:A4');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setCellValue('A3', '值班名称:');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setCellValue('A4', '太原地震局值班');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A3')->setFont()->setSize(12);
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A3')->setFont()->setWeight('bold');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A3')->setFont()->setColor('red');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A4')->setFont()->setSize(12);
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A4')->setFont()->setWeight('bold');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A4')->setFont()->setColor('red');
            //生成excel
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->getColumnDimension('A1')->setWidth(15);
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A1')->setFont()->setSize(12);
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A1')->setFont()->setWeight('bold');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A1')->setFont()->setColor('red');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->getColumnDimension('A3')->setWidth(15);
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A3')->setFont()->setSize(12);
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A3')->setFont()->setWeight('bold');
            $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setStyle('A3')->setFont()->setColor('red');
        }
        $n = $n + 1;
        $objectPHPExcel->setActiveSheetIndex(0)->setCellValue('A' . ($n + 1), $key->name);
    }
}

```

图6 月值班奖励模块代码

Fig. 6 On duty month reward module code

5 结语

山西省地震局绩效管理系统是根据单位个性化业务需求和管理模式定制研发的,为单位绩效管理工作提供针对性的服务,相对于市场上的产品软件可以更好地满足单位的业务需求,而且拥有良好的扩展性、集成性和可维护性。依托绩效管理系统来进行绩效录入和管理,相对于传统管理方式具有便捷高效、操作简易化、数据直观化的优势。目前,软件已应用于山西省地震局各部门的绩效管理工作中,投入使用期间会根据用户需求增加新的处理功能,不断对软件进行完善性维护,提升软件系统的功能和质量。

参考文献:

- [1] 顾 问,樊德平,王 尧.基于Yii框架的创新创业训练项目管理平台的设计[J].科技视界,2019(29):14-17.
- [2] 薛 蛟,杜钦生,李 莲.某分公司绩效考核管理系统[J].经济研究导刊,2020(15):90-93.

Design and Implementation of Performance Management System of Shanxi Earthquake Agency

WEI Yue-chao^{1,3}, MU Hui-min^{2,3}, FAN Lei^{1,3}, CHEN Chang-jun^{1,3}, YANG Shi-ying^{1,3}, ZHANG Liang-e^{1,3}

(1. Taiyuan standard seismic station, Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030025, China;

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

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

Abstract: The performance management system of Shanxi Earthquake Agency was developed aiming at the current deficiencies and actual needs in performance appraisal statistics and by using PHP as the development language and MySQL as the back-end database. It is a software that uses the browser to perform online performance reporting and approval. The software mainly adopts the B/S architecture and uses HTML technology to compile web pages, each browser such as IE, 360 security browser, Mozilla Firefox, etc. can access the system. The organic combination of PHP components and WEB technology makes the software more scalable. Since the application of the software in the Shanxi Earthquake Agency, it has achieved the purpose of reducing human error and being convenient and efficient.

Key words: Performance management; PHP; MySQL; Application program

(上接第33页)

Investigation and Analysis of Turning Anomalies in Fixed-point Deformation at Huailai Seismic Station

WANG Yue-feng¹, ZHANG Xiu-ping¹, ZHANG Shan-shan¹, QU Man², SONG Xiao-yu¹, CHI Hai-jiang³, ZHI Nan³, ZHOU Ya¹

(1. Zhangjiakou central seismic station, Hebei Earthquake Agency, Zhangjiakou, Hebei 075000, China;

2. Prediction research center, Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang, Hebei 050021, China;

3. Huailai Seismic Station, Hebei Earthquake Agency, Huailai, Hebei 075400, China)

Abstract: On March 12, 2020, the extensometer, the water tube meter, the vertical pendulum and the horizontal pendulum at Huailai Seismic Station in Hebei Province simultaneously appeared a rapid turning, breaking the annual variation. In view of these anomalies, field investigation and anomaly verification were carried out from the aspects of observation and power supply system, chamber environment, meteorological factors, etc. Through investigation of observation environment, it was found that 2 rows of old bungalows located about 80 meters west of observation cave on the 10th day were demolished due to demolition. The theoretical values of deformation caused by house demolition were calculated with the point load model. It was found that the theoretical values of strain and inclination disturbed by load were in agreement with the abnormal amplitude recorded by the instrument. Therefore, this deformation anomaly is a non-seismic precursor anomaly and is related to the load changes caused by house demolition.

Key words: Fixed-point deformation measurement; Abnormal amplitude; Breaking annual variation; Load model

· 工作论坛 ·

文章编号:1000-6265(2021)01-0054-03

太原市防震减灾科普宣传现状及改进对策

卫露媛

(太原市防震减灾中心,山西 太原 030082)

摘要:以太原市防震减灾中心开展的防震减灾科普宣传工作为基础,分析太原市防震减灾科普宣传工作的现状、存在的问题,并提出要适应新时代防震减灾工作的需求,发挥新媒体宣传的优势、创新科技成果等方面进行改进,通过科普宣传更大程度地提升公众防震减灾意识和应对灾害的能力。

关键词:防震减灾科普宣传;现状;改进对策

中图分类号:P315.99

文献标志码:A

0 引言

太原盆地地处山西地震带中部,地质结构复杂,地下断裂纵横交错,地震活动较为活跃。有文字记载以来,太原市发生过破坏性地震23次,其中,破坏烈度在Ⅵ度以上的达13次之多,且易受周边地区地震波及造成严重灾害^①。

面对震情形势,太原市防震减灾中心在防震减灾科普宣传教育工作中,紧紧围绕服务工作大局,始终贯彻“以防为主、防抗救相结合”的方针,坚持“因地制宜、因时制宜、经常持久、科学求实”的原则开展防震减灾科普宣传教育工作,并在《太原市“十三五”防震减灾规划》中明确提出:完善基层防震减灾科普知识宣传网络体系,将防震减灾纳入公民基本素质教育,进一步创新防震减灾科普教育的活动形式,拓宽宣传教育活动的覆盖面,增强全民防震减灾意识,普及防震减灾科普知识。

1 太原市防震减灾科普宣传工作现状

“十三五”期间,在市委、市政府的领导和山西省地震局的支持下,太原市防震减灾中心认真贯彻落实国家、省、市防震减灾工作精神,坚持因地制宜,优势互补,大力推进防震减灾宣传工作,全市的防震减灾宣传工作呈现良好的发展态势。

1.1 以防震减灾科普教育为龙头,多维度开展防震减灾宣传工作

一是重要时段集中宣传规模化。完善基层防震减灾科普知识宣传网络体系,将防震减灾科普纳入公民基本素质教育。在“5·12”“7·28”主题宣传周和“平

安中国宣导系列”活动中,构建统一部署、市县联动、全面推进的宣传网络体系,增强公众的防震减灾意识,提升公众防震减灾能力,达到全社会共同参与的目的;二是多渠道宣传常态化。常年开展报纸、展板、电视等传统媒体宣传,拓展大型公共场所LED屏、互联网、微博、微信等新媒体宣传;三是校园防震减灾宣传制度化。防震减灾宣传教育在全市中小学校实现制度化,防震减灾知识成为中小学生的“开学第一课”,在全市中小学校大力开展“三个一”教育活动,即组织收看《地震科普知识一节课》、组织一次地震应急演练、开展一次防震减灾知识家庭小教员活动,达到“教育一个孩子,影响一个家庭,带动整个社会”的效果;四是防震减灾宣传阵地化。充分利用新型媒体、电视、报纸、公共电子屏和宣传橱窗等,开展常态化的防震减灾科普宣传教育。在全国防灾减灾日期间,面向全市260个社区、公共场所设立600余块防震减灾宣传橱窗,让防震减灾知识走进千家万户。“十三五期间”,有针对性地开展防震减灾科普知识“进学校、进机关、进社区、进乡村、进企业、进家庭”的宣传教育活动,宣传覆盖率达到85%。

1.2 以示范创建工作为抓手,开展防震减灾阵地建设

积极组织开展国家级、省级防震减灾科普教育基地、科普示范学校创建工作,根据国家、省、市创建标准,加强组织、督导各项创建工作的开展,从2017年《中小学防震减灾示范学校评价规范》出台以来,太原市经省地震局认定的省级防震减灾示范校51所,建成国家级防震减灾科普教育基地1所、省级防震减灾科普教育基地5所。以社区党群服务中心为依托,在全

收稿日期:2021-01-14

第一作者简介:卫露媛(1983—),女,山西省运城市人。工程师,主要从事防震减灾科普宣传、震害防御等工作,E-mail,420246675@qq.com。

① 太原市防震减灾局.《太原市防震减灾“十三五”(2016—2020年)规划》,2016。

市开展社区防震减灾安全知识宣传点试点工作,提供安全教育宣传台、家庭地震应急物资清单与地震应急包展示台、防震减灾知识专题讲座、防震减灾应急演练等功能。形成从学校到家庭,防震减灾知识宣传无缝连接的强大阵地。

1.3 以防震减灾文化建设为基础,繁荣防震减灾科普作品

创新防震减灾科普文化作品,有针对性地编印满足不同年龄层次和受众群体的防震减灾科普作品。截至2020年,创作防震减灾科普教育文化作品30余部,其中,有视频资料《防震减灾科普动漫小提示》等10余部作品,科普类图书宣传品《关爱生命小学生防震减灾安全读本》《防震减灾知识百分点》等20余部;组织开展防震减灾科普知识竞赛、科普作品大赛、优秀作品推荐等活动,丰富科普作品的内容及形式。

1.4 以大众媒体和新型媒体为手段,增强防震减灾科普传播能力

太原市防震减灾中心在运用新媒体开展防震减灾宣传工作方面也有一些尝试,主要有以下几方面:一是利用山西移动电视《城市生活》频道在全市3000辆公交移动电视进行防震减灾科普宣传,每天分六个时段滚动播出防震减灾科普公益视频短片,每日受众200万人次(该数据由山西移动电视《城市生活》频道提供数据并签署合作合同);二是自2012年至今,在《太原日报》《太原广播电视报》开辟防震减灾科普知识专栏,共编辑刊登文稿400余期;三是利用官方网站、官方微信、官方微博进行了图文并茂的防震减灾知识宣传^[1]。在新浪微博联合人民日报综合整理发布的《2017年第三季度政务微博报告》中,原太原市防震减灾局官方微博“晋阳震事”登上全国十大地震微博榜,位列全国地震微博第八名、全国地市级地震微博第一名的好成绩(该数据由新浪微博对外公开发布)。

1.5 以防震减灾科普队伍建设为保障,多层次开展防震减灾科普知识宣讲

全面推进“六进”活动,积极开展防震减灾科普千场讲座。组织制作机关、社区、学校、农村、企业防震减灾宣讲专题课件,根据特定人群、特殊领域,针对性地开展防震减灾科普服务,为公众解读防震减灾科学知识。如,针对学校开展防震减灾基础知识、应急避险及疏散等相关内容宣讲;针对企业职工特点,开展相关地震基本常识及企业如何防震和应急避险、自救互救方法等方面的宣讲;针对社区、农村群测群防工作进行“三网一员”专业技术培训等。充分发动社会力量,从被动到主动,提升公众参与防震减灾宣传的积极性。

2 存在的问题

从目前防震减灾科普宣传工作的发展现状来看,

主要的宣传形式还是以传统的方式为主,新媒体等的宣传模式运用上还有待进一步提升,主要表现在:

(1) 防震减灾宣传的受众面不均衡,针对性的宣传还需进一步加强,对农村、机关、企业人员的防震减灾知识宣传相对薄弱。

(2) 防震减灾科普宣传工作在形式、内容、效果及服务方式等方面创新不足,利用新媒体方面有待进一步加强。

(3) 防震减灾科普作品相对匮乏,科普作品形式单一,科普展品设计水平较落后,科普图书和影视作品创作的原始创新能力相对较弱。

(4) 新媒体应用推广方面存在宣传渗透不够、推送不够等问题。

3 科普宣传工作对策

防震减灾宣传是一项深入、持久、广泛的普及教育工作,通过多种途径开展防震减灾科普宣传工作,在传统媒体宣传的基础上,适应新时代防震减灾工作新要求,充分发挥新兴媒体宣传优势,深入开展防震减灾科普宣传。

(1) 深化防震减灾主题宣传时段活动。在全国防震减灾日、防震减灾科普宣传周等重要时段,加强宣传工作的力度,创新宣传形式,充实宣传内容,弘扬防震减灾宣传文化^[2]。

(2) 创新防震减灾科技成果。加大防震减灾科普作品创作力度,推新创作形式、丰富创作内容、提升创作水平,注重防震减灾创作的优秀文化作品在基层的推广,更好地服务大众。

(3) 加强防震减灾科普队伍建设。定期组织防震减灾科普宣讲人员进行专业知识培训,提升防震减灾宣传人员的专业素养^[3]。组织宣讲队伍深入基层,走进社区、机关、学校、乡村、企业开展针对性的防震减灾科普宣讲,传播防震减灾科普知识,提升公众防震减灾意识与防震避险、自救互救技能。

(4) 深入推进防震减灾示范创建工作。积极开展国家级、省级防震减灾先进县(市、区)、防震减灾科普教育基地、防震减灾科普示范校、综合减灾示范社区的创建工作,把组织领导与基层创建相结合,把日常创建与防震减灾重要时段宣传教育相结合,将防震减灾示范创建工作常态化、制度化、规范化。

(5) 拓宽防震减灾科普宣传渠道和覆盖面。在继续抓好报刊、广播、电视等传统媒体宣传的同时,发挥主流媒体优势,着力打造防震减灾文化宣传新载体,通过快手APP—“防震减灾普乐乐”、抖音APP—“防震减灾随我行”定期上传制作的科普知识视频;通过微信公众平台—“经贸世界”发布防震减灾科普公益广告;通过《中国经贸》官网定期发布防震减灾科普相关知识;通过户外广告媒体将防震减灾知识植入酒店、银

行、楼宇广告屏等进行宣传。

(6) 推进群测群防队伍建设。建立群测群防工作机制,完善市、县、乡、村联动的防震减灾群测群防网络体系,强化群测群防骨干力量培训,提升群测群防工作人员业务能力。

(7) 普及推广社区防震减灾安全知识宣传点。防震减灾地震安全宣传点的建立要以社区党群服务中心场所为依托,在全市开展试点工作的基础上,总结经验、树立典型、以点带面、全面推广,营造良好的防震减灾宣传氛围,打造社区防震减灾宣传阵地。

参考文献:

- [1] 闫晓美,杨顺达,张瑞芳. 基于层次分析法的地震微信公众平台综合评价研究[J]. 中国地震, 2019, 35(4): 762-770.
- [2] 张正霞,闫远芳,刘康廷. 我国防震减灾官方微信作品评价体系建设研究[J]. 今传媒, 2021(1): 30-33.
- [3] 张正霞,张馨怡. 官微互动在防震减灾宣传工作中的应用及策略分析——以山西省地震局官方微信为例[J]. 防震减灾学报, 2020, 36(2): 82-87.

Current Situation and Improvement Countermeasure of Popular Science Propaganda for Earthquake Prevention and Disaster Reduction in Taiyuan

WEI Lu-yuan

(Taiyuan Earthquake Prevention and Disaster Reduction Center, Taiyuan, Shanxi 030082, China)

Abstract: Based on the science popularization for earthquake prevention and disaster reduction carried out by Taiyuan Earthquake Prevention and Disaster Reduction Center, this paper analyzed the current situation and existing problems of popular science propaganda for earthquake prevention and disaster reduction in Taiyuan, and put forward some improvements such as adapting to the needs of earthquake prevention and disaster reduction in new era. It is to exert the advantages of new media publicity and innovate scientific and technological achievements to promote the public's awareness of earthquake prevention and mitigation and ability to respond to disasters through popular science propaganda.

Key words: Popular science propaganda for earthquake prevention and disaster reduction; Current situation; Improvement countermeasure

(上接第 37 页)

[12] 鱼金子,车用太,刘五洲. 井水温度微动态形成的水动力学机制研究[J]. 地震, 1997, 17(4): 389-396.

[13] 刘耀伟. 动力加载作用与地下水物理动态过程研究[D].

北京:中国地质大学(北京), 2009: 1-139.

[14] 韩孔艳,邢成起,杨明波,等. 大兴黄村井水温动态分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2016, 37(5): 84-88.

Dynamic Analysis of Water Temperature in Ji 16 Well of Hebei Province

ZHANG Ming-zhe, WANG Jing, LUO Na, LING Yan, ZHANG Peng-jie

(Hongshan seismic station of Hebei Earthquake Agency, Xingtai, Hebei 054000, China)

Abstract: The analysis of the dynamic characteristics, co-seismic effect and interference factors of water temperature in Hebei province Ji 16 wells from 2018 to 2019 shows that the overall water temperature is trending downwards, the dynamic laws of year, month and day are clear, and the response to interference factors such as man-made interference and natural environment is sensitive. The solid tide effect of water temperature in the well is obvious, which changes inversely with the water level and lags behind the water level for 1~2h. The water temperature has coseismic response to the far-field strong earthquake, earthquakes with $M \geq 7$ can be recorded all over the world, and the response characteristics are gradually restored to normal after oscillation.

Key words: Water temperature dynamic; Water temperature solid tide; Hebei Ji16