

# 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 颀（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

2022年第3期（总第191期）

No.3 (Serial No. 191) 2022

商标注册号：327496

Number of Trade Mark Registration:  
327496

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



山西地震

# 山西地震<sup>®</sup>

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI

二〇二二年

第三期

总第一九一期



2022 / 3

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

2022年第3期

# 山西地震

(季刊·1973年创刊)

(总第191期)

## 目 次

### · 观测分析 ·

- 太原地震监测中心站晋7-1井水温动态变化初步分析 … 张亮娥,陈常俊,宫静芝,范 磊,魏越超,吕永青(1)  
夏县台 AlphaGUARD 测氡仪与 FD-125 水氡仪对比观测试验……………姚林鹏,樊春燕,薛 亮,李 民,李晓锐,刘国俊,穆慧敏(6)

崇州台与成都台测震观测技术对比分析 ……………… 何思源,李雪浩,刘华姣,龚 康(9)

### · 技术交流 ·

- 夏县地电场观测系统典型干扰排除方法…………… 刘国俊,李晓锐,刘垚坤,常 姣,姚林鹏(14)  
井下地电阻率观测技术应用与探讨——以天水台为例…………… 姚赛赛,赵 洁,陈雪梅,安振宁,张晓阳(18)  
基于微信平台的地震信息服务系统设计与实现 ……………… 闫晓美,张正霞,谷利国,罗 勇,王 宁,张 娜(25)  
极低频 ADU-07e 主机远程视频监控系统的设计与实现 ……………… 王向亮,丁 成(29)  
河北省地震局单机多屏地震信息展示系统的设计与实现 ……………… 魏艳旭,李振波,李红梅,崔 磊(34)  
忻州地震监测中心站 VP 型垂直摆倾斜仪典型故障及维护方法 ………………  
沈魏乾,李惠玲,高龙飞,李 晨,秦学理(39)  
基于物联网的台站智能供电管理系统在北武当地震观测站的应用研究 … 安凯杰,程冬焱,李惠玲,穆慧敏(43)  
微动探测在煤矿断层勘查中的应用…………… 郑亚迪,殷伟伟,李 峰,丁学文,赵向佳,霍 魁,任力伟(47)  
Oracle 数据库迁移方法研究及在河北地球物理台网的应用 ……………… 王加敏,马广庆,赵 鹏,李永庆(52)

本期责任编辑:张瑞芳,张正霞; 英文译校:李 訾

期刊基本参数:CN 14—1107/P \* 1973 \* q \* A4 \* 56 \* zh \* P \* ¥5.00 \* 70 \* 12 \* 2022-09

本刊电子信箱:sxdzbjb@163.com

## **CONTENTS**

**• Observation and Analysis •**

- Preliminary Analysis of Water Temperature Dynamic Change of Jin 7-1 Well in Taiyuan Earthquake Monitoring Center Station ..... ZHANG Liang-e, CHEN Chang-jun, GONG Jing-zhi, FAN Lei, WEI Yue-chao, ..... LV Yong-qing( 1 )  
Comparative Observation Test of AlphaGUARD Radon Detector and FD—125 Water Radon Detector in Xiaxian Seismic Station ..... YAO Lin-peng, FAN Chun-yan, XUE Liang, LI Min, LI Xiao-rui, LIU Guo-jun, MU Hui-min( 6 )  
Comparative Analysis of Technical Conditions of Seismological Observation at Chongzhou and Chengdu Seismic Stations ..... HE Si-yuan, LI Xue-hao, LIU Hua-jiao, GONG Kang( 9 )

**• Academic Exchange •**

- Typical Interference Elimination Method of Xiaxian Geoelectric Field Observation System ..... LIU Guo-jun, LI Xiao-rui, LIU Yao-kun, CHANG Jiao, YAO Lin-peng( 14 )  
Application and Discussion of Deep Well Geo-electric Resistivity Observation Technology — Taking Tianshui Geo-electric Station as an Example ..... YAO Sai-sai, ZHAO Jie, CHEN Xue-mei, AN Zhen-ning, ZHANG Xiao-yang( 18 )  
Design and Implementation of Earthquake Information Service System Based on WeChat Platform ..... YAN Xiao-mei, ZHANG Zheng-xia, GU Li-guo, LUO Yong, WANG Ning, ZHANG Na( 25 )  
Design and Implementation of Extremely Low Frequency ADU-07e Host Remote Video Monitoring System ..... WANG Xiang-liang, DING Cheng( 29 )  
Design and Implementation of Stand-alone With Multi-screens Seismic Information Display System of Hebei Earthquake Agency ..... WEI Yan-xu, LI Zhen-bo, LI Hong-mei, CUI Lei( 34 )  
Typical Faults and Maintenance Methods of VP Vertical Pendulum Tiltmeter in Xinzhou Earthquake Monitoring Center Station ..... SHEN Wei-qian, LI Hui-ling, GAO Long-fei, LI Chen, QIN Xue-li( 39 )  
Study on Application of Intelligent Power Supply Management System of Stations Based on Internet of Things in Beiwudang Seismic Observation Station ..... AN Kai-jie, CHENG Dong-yan, LI Hui-ling, MU Hui-min( 43 )  
Application of Microtremor Survey in Coal Mine Fault Exploration ..... ZHENG Ya-di, YIN Wei-wei, LI Feng, DING Xue-wen, ZHAO Xiang-jia, HUO Kui, REN Li-wei( 47 )  
Research on Oracle Database Migration Method and Its Application in Hebei Geophysical Network ..... WANG Jia-min, MA Guang-qing, ZHAO Peng, LI Yong-qing( 52 )

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

**E-mail: sxdzbjb@163. com**

## · 观测分析 ·

文章编号:1000-6265(2022)03-0001-05

# 太原地震监测中心站晋7-1井水温动态变化初步分析

张亮娥<sup>1,2</sup>,陈常俊<sup>1,2</sup>,宫静芝<sup>1,2</sup>,范磊<sup>1,2</sup>,魏越超<sup>1,2</sup>,吕永青<sup>1,2</sup>

(1. 山西省地震局太原地震监测中心站,山西 太原 030025;  
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:** 观测表明,太原站晋7-1井水温长趋势与水位同步同向变化,水位上升时,含水层高温水流人量增加,井水温升高;井水温日动态与温度传感器放置的位置相关,传感器放置在不同的深度段,井水温日动态表现出一定的差异性,由井孔水文地质条件、温度传感器置深和温度梯度等因素共同影响所致。

**关键词:** 井水温;日变化;背景噪声

中图分类号:P332.6

文献标志码:A

## 0 引言

对井水温度(以下简称水温)的观测始于20世纪80年代,我国高精度水温观测始于1985年,在云南省和首都圈布设区域性台网,获得一些典型震例<sup>[1-2]</sup>。1988年11月6日云南7.6级地震时,首次获得一组水温前兆异常<sup>[3]</sup>,后来,1998年1月10日河北张北6.2级<sup>[4]</sup>、2007年6月2日云南普洱6.4级<sup>[5]</sup>等多次地震前均获得多井的异常观测资料。水温观测资料在地球物理场观测与地震预测预报中发挥出重要作用。

由于水温动态复杂,一些学者开始研究水温各类动态<sup>[6-8]</sup>。井水温动态反映的是温度传感器放置点的温度波动,与其放置的位置有关。研究表明,在同一口井观测不同层位的水温,结果不同。通过研究不同深度水温动态特征,及水温动态对地壳动力作用响应能力,可为传感器的科学放置提供依据,推动水温观测的规范化。

## 1 太原站晋7-1井基本情况

晋7-1井位于太原市晋祠镇太原地震监测中心站北墙外(见第2页图1),成井于1981年,1983年11月8日,经晋、冀、吉、黑4省地下水位观测井网会议验收,正式纳入华北井网,测项为井水位。成井深度765.78 m,现井深750 m,井口标高828 m,水位观测段在480 m以下(见第2页图2)。中国地震局“十五”项目时,增加水温观测,使用仪器为中国地震局地壳应力研究所生产的SZW-1A型数字式温度计。2018年“华北仪

器更新”项目时,仪器更新为中国地震局地壳应力研究所生产的SZW-II型数字式温度计。

晋7-1井水温正式观测始于2007年,仪器安装前按照相关规范要求对井水温梯度进行测量<sup>[9]</sup>,传感器放置在背景变化较小(小于0.003 °C)的井底750 m处。2018年,仪器更新项目在测试过程中发现,传感器置于梯度较大的700 m和较小的600 m处,背景噪声变化一致。对此,台站分析人员做了不同深度的日变化观测,分析其变化特征,完善该井的基础资料。

晋7-1井处于交城断裂带晋祠段北端的下盘,明仙沟口间歇河河床中,北、西、南三面环山。含水层为奥陶系下统和寒武系上统的石灰岩、白云岩类,属碳酸岩类岩溶地下水。上覆中奥陶系厚层灰岩中的含水层均已进行止水处理。地下水的补给区为西北和西部山区,补给来源主要为大气降水和汾河上游渗漏。

## 2 井水温动态变化分析

### 2.1 井水温长期动态

井水温自观测以来,总体变化呈上升趋势。2008至2017年上升幅度为0.012 °C,与该井同期水位变化趋势一致,表明水位与水温变化具有一定的相关性。2009至2012年,水位、水温上升速率均相对较大,二者变化表现出正相关(见第3页图3)。计算出2009至2017年(2018年10月开始仪器更新、观测环境标准化改造,数据缺失),水位对水温的影响为 $4.5 \times 10^{-4}$  (°C/m);2009至2012年,水位对水温的影响为 $5.9 \times 10^{-4}$  (°C/m)。

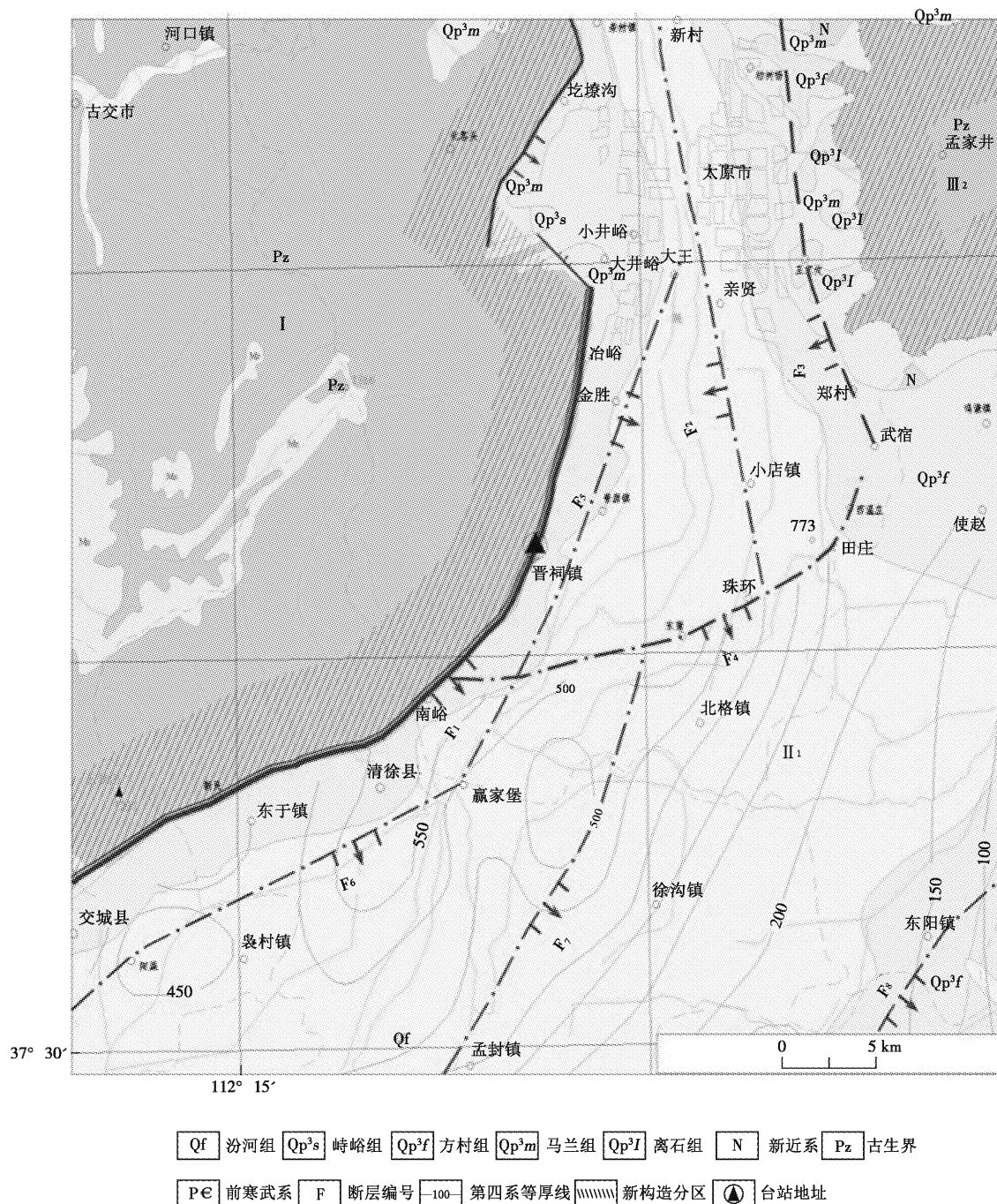


图 1 太原站晋 7-1 井地理位置图  
Fig. 1 Geographic location map of Jin 7-1 well of Taiyuan Seismic Station

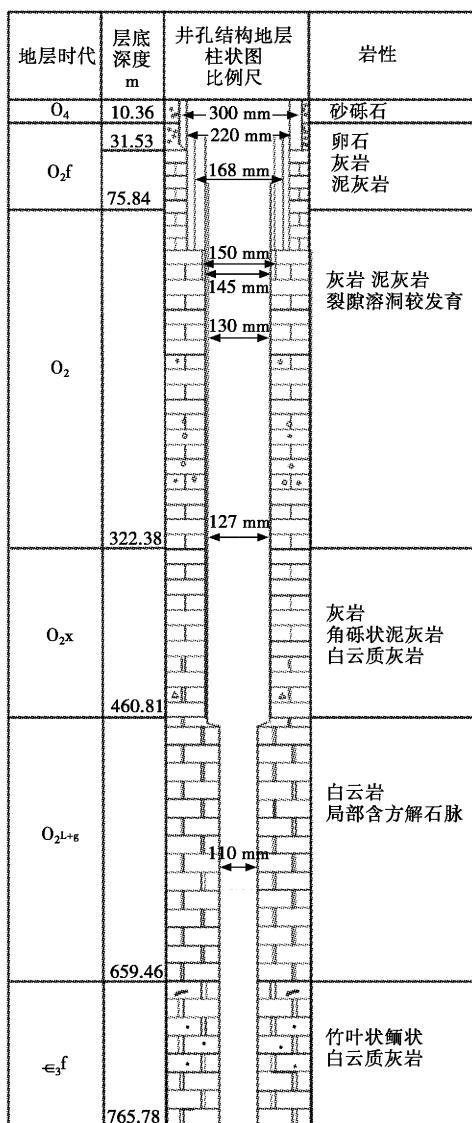


图2 井孔柱状图

Fig. 2 Borehole histogram

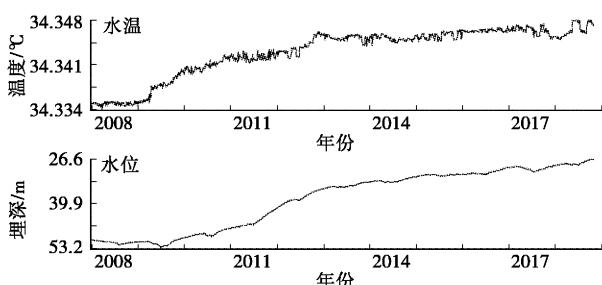


图3 井水温、水位日均值曲线图

Fig. 3 Daily average curve of well water temperature and water level

## 2.2 井不同深度水温日变化形态

水温探头的放置位置对井水温度的观测有较大影响<sup>[10]</sup>。2018年的水温梯度测试结果表明,680至700 m深度的水温梯度变化较大。将传感器放置在700 m处,记录数据背景噪声较大;放置于梯度较小的620 m处,背景噪声无明显变化;再放置在750 m处(原传感器深度),数据变化仍不稳定。为找出原因,进行不同深度日变化的测试。第4页图4为晋7-1井不同深度水温日变化曲线图,将传感器置于100 m深度,水温具有明显的类似潮汐日变化,日变幅约0.002 °C,背景噪声小于0.001 °C;在300 m、500 m、700 m的深度,水温无明显日变化,表现为某一温度范围内的稳定变化,背景变化约0.01 °C;在750 m(井底),水温无明显日变化,表现为某一温度范围内的稳定变化,背景变化小于0.001 °C。

## 3 井水温动态变化原因分析

2006年,“十五”项目仪器安装之前的深度间隔为25 m;2018年10月仪器更新之前,间隔缩短为10 m,从两次的梯度测试结果看,时间上相差12年,但测量曲线形态基本吻合,个别不吻合可能是由于每次选取的步长不一导致。第4页图5显示,140 m井段处存在一个负梯度段,150至200 m处温度梯度几乎为0。观测井柱状图显示,75至320 m裂隙溶洞发育,可能会导致该深度水上下交替剧烈,水温梯度为0。传感器投放不同深度出现日变化动态不一致的原因从以下两方面进行分析。

(1) 传感器置于100 m、750 m深度,水温日变幅小,对比水温梯度实验资料分析,该段水温梯度属变化平稳区。

(2) 传感器置于300 m、500 m、700 m深度,水温无明显日变化,在一定温度范围内振荡起伏,程度不同,随深度增加日变幅增加,在0.007~0.001 °C之间,未能反映观测井水温日变特征。参照水温梯度实验结果,250~375 m、475~525 m、650~725 m处水温梯度较大,变化幅度大是导致水温动态变化特征的主要影响因素。

车用太等根据精细测量的水温梯度实验结果认为,水温微动态特征在很大程度上取决于水温传感器所放置深度的温度梯度特征<sup>[11]</sup>。晋7-1井水温梯度实验结果表明,井200 m之下为正梯度,即随着深度的增加水温升高。2008年以来,受煤矿整合、引黄入晋等系列政策影响,区域内地下水开采减少,含水层中地下水流入井中,井水位上升,水温传感器埋深增加,导致传感器之外的水温升高,出现了近年来的井水温与水位同步上升的变化。

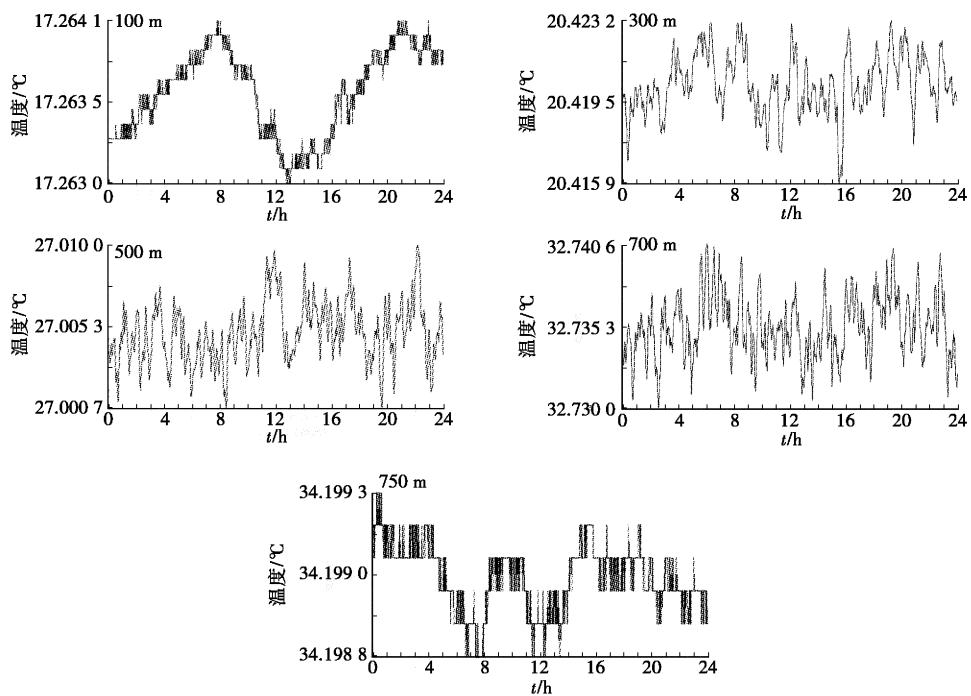


图 4 不同深度井水温日变化曲线图  
Fig. 4 Daily variation curve of well water temperature at different depths

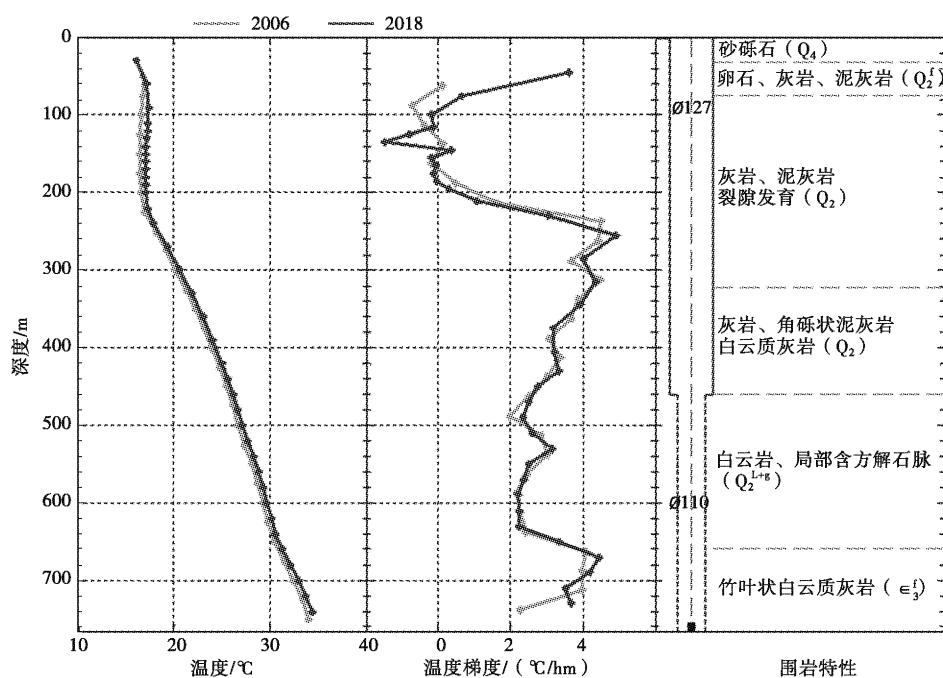


图 5 井水温梯度及井孔柱状图  
Fig. 5 Well water temperature gradient and borehole histogram

## 4 结论与讨论

通过对晋7-1井水温长趋势变化及不同深度日变化实验结果进行分析,得出如下结论:

(1) 晋7-1井水温总体是随着井深度的增加而增加,在90至200 m出现温度梯度为负或零的现象,主要原因是该井在75~320 m裂隙溶洞发育,造成该段内水补给循环加快导致温度下降。

(2) 观测井所处位置构造应力应变变化会对井的物理(水位、水温)、化学性质产生影响<sup>[12]</sup>,大气降水、地表水的渗入是影响水温动态的因素<sup>[6]</sup>,同时,也是水位上升的影响因素。晋7-1井水位2008年以来呈上升趋势,主要原因是受煤矿整合、引黄入晋等系列政策影响,区域内地下水开采减少。水位上升时,含水层高温水流人量增加,井筒中水温升高,水温、水位趋势变化呈正相关。

(3) 晋7-1井传感器置于750 m(井底)时,观测结果介于水温和地温之间,观测数据稳定,背景变化小于0.002 °C;在100 m时,背景变化小于0.002 °C,具有类似潮汐的日变化动态;其他深度观测到的日变化不明显,其原因目前暂无定论。有学者认为,水温潮汐现象明显的井多为自流井或曾经为自流井<sup>[13]</sup>,晋7-1井为非自流井,需要进一步的实验、探讨。

(4) 鉴于晋7-1井正负梯度交错及不同深度日变化不一致等现象,建议开展同井不同深度的多层次观测研究。

感谢中国地震局地壳应力研究所张彬和何案华两位老师对文章提出的宝贵意见!

## 参考文献:

[1] 付子忠. 地热动态观测与地热前兆[G]//地壳构造与地

壳应力文集(1). 北京:地震出版社,1988:1-8.

- [2] 车用太,鱼金子. 井水温观测中有待解决的若干基本问题[J]. 中国地震,2013,29(3):306-315.
- [3] 付子忠. 澜沧—耿马7.6级地震前的地热前兆异常[G]//地壳构造与地壳应力文集(4). 北京:地震出版社,1990:3.
- [4] 车用太,王基华,林元武,等. 张北—尚义地震的地下流体异常及其跟踪预报[J]. 地震地质,1998,20(2):99-104.
- [5] 刘耀伟,孙小龙,王世芹,等. 井孔水温异常与2007年普洱6.4级地震的关系分析[J]. 地震研究,2008,31(4):347-353.
- [6] 车用太. 首都圈地区井水温的动态类型及其成因分析[J]. 地震地质,2003,25(3):403-420.
- [7] 赵文忠,乔振英,谷庭瑶,等. 北京良乡井水温动态初析[J]. 地震地磁观测与研究,2006,27(4):113-117.
- [8] 谷元珠,车用太,鱼金子,等. 塔院井水温微动态研究[J]. 地震,2003,23(1):102-108.
- [9] 中国地震局.《地震及前兆数字观测技术规范》(地下流体观测)[M]. 北京:地震出版社,2001:54-55.
- [10] 何案华,汪成国,李晓东,等. 新疆温泉井水温梯度观测实验及结果分析[J]. 大地测量与地球动力学,2014,34(1):51-54.
- [11] 车用太,何案华,鱼金子,等. 金沙江水网各观测井温度梯度的精细测量结果及其分析[J]. 地震地质,2011,33(3):615-626.
- [12] 孟彩菊,杨世英,刘晓萍,等. 代县地震台体应变异常与山西地震带有感地震对应关系[J]. 地震地磁观测与研究,2017(1):96-101.
- [13] 姚宝树. 同井不同埋深地温探头的前兆观测效应[G]//地壳构造与地壳应力文集. 北京:地震出版社,2002:107-112.

## Preliminary Analysis of Water Temperature Dynamic Change of Jin 7-1 Well in Taiyuan Earthquake Monitoring Center Station

ZHANG Liang-e<sup>1,2</sup>, CHEN Chang-jun<sup>1,2</sup>, GONG Jing-zhi<sup>1,2</sup>, FAN Lei<sup>1,2</sup>, WEI Yue-chao<sup>1,2</sup>, LV Yong-qing<sup>1,2</sup>

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

**Abstract:** The rising trend of water temperature in well (Jin 7-1) of Taiyuan Seismic Station is synchronized with the water level and changes in the same direction. When the water level rises, the inflow of high-temperature water in the aquifer increases, and the well water temperature rises. The daily dynamic of well water temperature is related to the location of the temperature sensor. When the sensors are in different depth sections, the daily performance of well water temperature shows certain differences, which is caused by the combined influence of factors such as borehole hydrogeological conditions, temperature sensor placement depth and temperature gradient.

**Key words:** well water temperature; daily variation; ambient noise

# 夏县台 AlphaGUARD 测氡仪与 FD-125 水氡仪对比观测试验

姚林鹏<sup>1,4</sup>,樊春燕<sup>2</sup>,薛亮<sup>1,4</sup>,李民<sup>1,4</sup>,李晓锐<sup>1,4</sup>,刘国俊<sup>1,4</sup>,穆慧敏<sup>3,4</sup>

(1. 山西省地震局运城地震监测中心站,山西 夏县 044400;2. 中国地震台网中心,北京 100045;  
3. 山西省地震局,山西 太原 030021;4. 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:**因固体氡源运输过程中的不便及严格的放射性监管要求,影响夏县台 FD-125 测氡仪的校准工作,后引进 AlphaGUARD 测氡仪进行水氡观测试验。通过对 AlphaGUARD 测氡仪与 FD-125 水氡仪观测值误差结果的对比分析,结果表明,AlphaGUARD 测氡仪测值较稳定,与夏县台 FD-125 水氡仪测值接近,具有替代 FD-125 水氡仪观测及对其进行 K 值标定的可行性。

**关键词:**AlphaGUARD 测氡仪;FD-125 水氡仪;溶解水氡;仪器标定

中图分类号:P332.7 文献标志码:A

## 0 引言

氡是地下流体观测研究中映震能力较敏感的组分,是地震地下流体科学的研究中观测时间长、得到广泛研究的地下流体测项之一<sup>[1]</sup>。长期的观测结果表明,氡等流体的地球化学组分存在显著的震前异常变化与震后效应<sup>[2-3]</sup>。连续测量地下水水中氡含量的变化,有益于捕捉到地震孕育与发生的信息<sup>[4]</sup>。

夏县地震台(以下简称夏县台)水氡观测始于1984年,使用 FD-125 测氡仪进行水氡日常观测,观测质量较好,为山西南部及周边地震趋势分析提供参考数据。近几年,因固体氡源运输过程的不便及严格的放射性监管要求,对 FD-125 测氡仪的校准工作、水氡观测资料的可靠性均造成一定影响。为此,夏县台引进 AlphaGUARD 测氡仪。研究表明,用 AlphaGUARD P2000 测氡仪作为计量标准器开展无源量值传递实验,已在一些站点取得较好效果并在小范围内广泛应用<sup>[5]</sup>。有研究者以该测氡仪作为标准仪器,对地震系统 SD-3A 测氡仪和新入网的 BG2015R 测氡仪进行氡值响应和断电恢复实验,取得较好结果<sup>[6]</sup>;也有研究者采用水中溶解氡加标准仪器的校准技术代替氡气固体源校准的方法,基本确定了开展标准仪器校准所需条件<sup>[7]</sup>。

该文使用 AlphaGUARD 测氡仪对夏县台热水井水氡浓度进行观测试验,通过与 FD-125 测氡仪观测结果进行对比,判定 AlphaGUARD 测氡仪用于水氡

校测工作的可行性。

## 1 AlphaGUARD 测氡仪性能及观测方法

### 1.1 仪器性能简介<sup>[6]</sup>

AlphaGUARD P2000F 测氡仪是一款便携式仪器,可持续测量氡及氡子体浓度、 $\gamma$  剂量率和工作环境参数。基于成熟的脉冲电离室原理,对氡元素有高探测效率;长期使用时免于维护,在高空气湿度条件下,数据传输可靠,不会受到震动冲击的影响。AlphaGUARD P2000F 具有实时全天测量氡浓度的功能,内部集成气压、相对湿度及温度传感器,使用 DateEXPERT 软件存储和分析测量数据,是国际上公认的氡标准参照仪器(见表 1)。

表 1 AlphaGUARD 测氡仪主要技术指标

Table 1 Main technical indexes of AlphaGUARD radon detector

测量方式	脉冲电离室, HV=750 V, $\alpha$ 谱法测氡
灵敏度	计数 $\geq 5$ cpm 在 100 (Bq/m <sup>3</sup> )
稳定性	5 年刻度因子不变
不确定性	3%
测量周期	被动式 10~60 min
氡浓度测量范围	2~2 000 000 (Bq/m <sup>3</sup> )
操作环境	(-10~+50) °C, 700~1 000 mbar, (0~99)%RH
电源	电池或交流电
内置电池容量	支持 10 d 连续操作, 存储 4 个月数据
恒流泵	I 档: 1.0 (L/min)、0.5 (L/min)、0.3 (L/min) II 档: I 档流速的十分之一

收稿日期:2020-05-13

基金项目:地震星火计划项目(XH22010C)。

第一作者简介:姚林鹏(1992—),男,山西运城人。工程师,主要从事地震前兆观测工作,E-mail:1297781798@qq.com。

通讯作者:樊春燕(1985—),女,河北保定人。高级工程师,主要从事水文地球化学观测技术研究工作,E-mail:Fcyan2010@163.com。

## 1.2 AlphaGUARD 测氡仪观测原理及方法

AlphaGUARD 测氡仪的水氡观测在常压下进行, FD-125 水氡仪属负压测量;其使用原装 AlphaGUARD 500 ml 测量瓶,采用恒流泵封闭抽气循环方式,在常压下脱出水中氡气并鼓入仪器内部电离室进行观测。实验观测连接方式如图 1 所示,水中氡气自排气瓶中脱出,流经防水安全瓶后,通过恒流泵鼓入测氡仪电离室,然后再次循环,整个气路保持封闭。

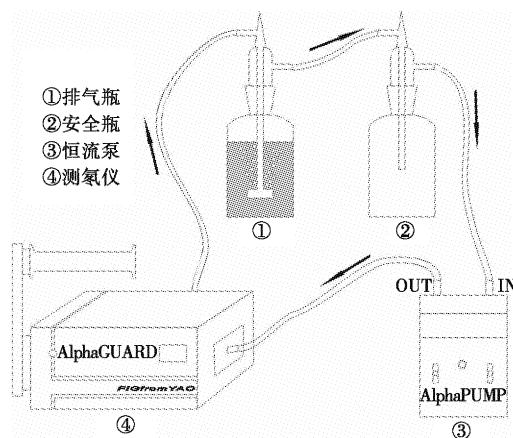


图 1 AlphaGUARD 测氡仪实验连接方式示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental connection mode of AlphaGUARD radon detector

观测时,首先打开 AlphaGUARD 测氡仪预热 30 min,待仪器本底值降到 100 (Bq/m<sup>3</sup>) 以下时,取 500 mL 待测水样与排气瓶中,恒流泵以 1.0 (L/min) 流速打开进行脱气,脱气 10 min 后,将恒流泵停止运行,使用止水夹夹紧测氡仪的进气端与出气端。测氡仪 10 min 一个读数,读取停泵后的 10 个测值进行分析。

## 2 观测结果分析

### 2.1 测值结果误差分析

AlphaGUARD 测氡仪的测量结果需进行气压与温度校正<sup>[7]</sup>,该仪器自带温度与气压测量结果,因此,测氡仪脉冲电离室气压与温度校正工作使用的是厂家提供的计算程序。采用前述 AlphaGUARD 测氡仪观测方法对夏县热水井水氡进行观测,表 2 和第 8 页图 2 为 3 次测量的校正结果及误差。可以看出,AlphaGUARD 测氡仪观测值较平稳,标准差占均值比例较小,超过一倍标准差数据个数较少。若在浓度计算中去除超过标准差后的数据再平均,其结果更可靠。

### 2.2 水氡浓度计算方法及结果

AlphaGUARD 测氡仪经过校正后的测值平均结果代表整个测量气路的氡气浓度  $C_{air}$ ,进行浓度换算,得到水氡浓度  $C_{water}$ 。已知气路氡浓度  $C_{air}$ ,气路体积

$V(1967 \text{ mL}$ ,其中 AlphaGUARD 测氡仪 680 mL+Alpha 恒流泵 18 mL+AlphaKIT 自带管路 33 mL+500 mL 鼓泡瓶 618 mL+500 mL 安全瓶 618 mL)和水样体积  $V_{water}$ ,则:

$$C_{water} = \frac{C_{air} \times (V - V_{water})}{V_{water} \times e^{-\gamma}}.$$

式中: $e^{-\gamma}$  为氡衰变函数值。通过该公式计算夏县台 30 组水氡测值(见第 8 页图 3)。可以看出,AlphaGUARD 测氡仪水氡计算结果在 23.3~27.0 (Bq/L) 之间变化,相对中值变化率为 7.4%,与夏县台水氡长期观测的波动值相当(10%左右),数据较稳定。故具备与同期 FD-125 水氡仪的测值进行对比的可行性。

表 2 AlphaGUARD 测氡仪 3 次实验测量校正值

Table 2 Correction value of three experimental measurements of AlphaGUARD radon detector

数据编号	第 1 次测值 (Bq/m <sup>3</sup> )	第 2 次测值 (Bq/m <sup>3</sup> )	第 3 次测值 (Bq/m <sup>3</sup> )
1	5 750	6 109	6 422
2	5 651	5 946	6 156
3	5 665	6 160	6 228
4	5 790	5 763	6 197
5	5 710	6 160	6 687
6	5 634	6 119	6 289
7	5 700	5 760	6 166
8	5 650	6 557	6 503
9	5 876	6 211	6 758
10	5 470	5 912	6 248
均值	5 690	6 070	6 365
标准差	101.9	225.4	207.5
占均值比(%)	1.79	3.71	3.26
超标个数	2	3	3

### 2.3 两套仪器测值对比分析

将 AlphaGUARD 测氡仪测量结果换算成水氡值后的 30 组测值,与同一天 FD-125 水氡仪的测值进行对比(见图 3)。结果表明,AlphaGUARD 测氡仪测量结果均值为 25.3 (Bq/L),FD-125 水氡仪的均值为 24.7 (Bq/L)。两种仪器测值较接近,均在 23~27 (Bq/L) 之间,相对偏差较小,平均为 2.1%。AlphaGUARD 测氡仪测值整体较 FD-125 的高,差值波动范围为 -0.9~1.7 (Bq/L),从以下四方面进行分析。

(1) 两种测氡仪的溯源不同。夏县台 FD-125 水氡仪使用 RN-150 固体氡气源进行标定,该氡源已超过其刻度期;AlphaGUARD 测氡仪由江西省地震氡观测仪检测平台定期检测与更新参数,能保证其刻度的准确性。

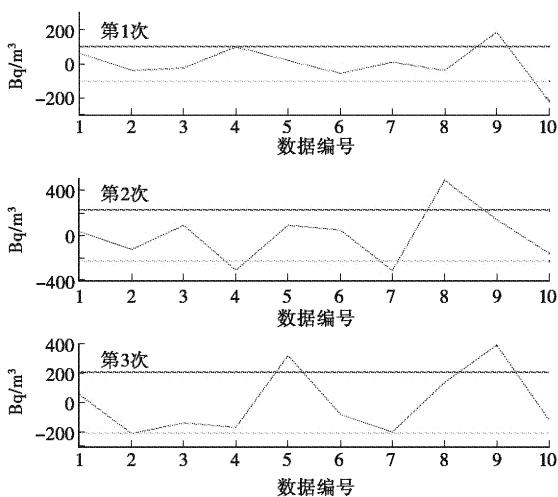


图 2 AlphaGUARD 测氡仪实验测值误差

Fig. 2 Experimental measurement error of  
AlphaGUARD radon detector

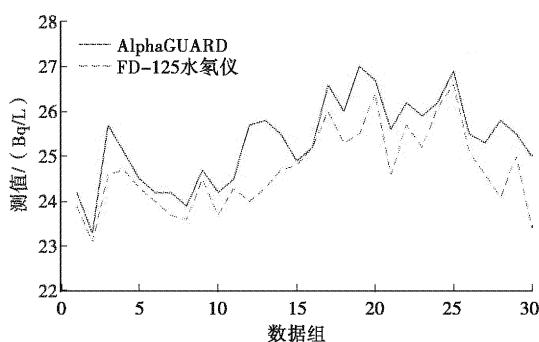


图 3 AlphaGUARD 与 FD-125 测氡仪测值

Fig. 3 AlphaGUARD and FD-125 radon detector  
measured values

(2) 标定线性差异。FD-125 水氡仪使用活度为 10 Bq 的固体氡气源标定得到校准系数 K 值, 目前, 无相关试验证明各个活度所测校准系数 K 值是线性关系, 因活度的差异, 可能造成 FD-125 水氡仪测值发生偏移<sup>[8]</sup>; AlphaGUARD 测氡仪在观测系统内氡体积活度 $>1000$  (Bq/m<sup>3</sup>) 时, 线性关系稳定。

(3) 取样及鼓泡方式的差异。两种仪器测量氡值的过程中, FD-125 使用负压取样及鼓泡; AlphaGUARD 测氡仪使用常压取样及鼓泡, 可能会造成测值的差异及波动。

(4) 系统误差。FD-125 水氡仪每日主副样差值在 8% 左右波动, AlphaGUARD 测氡仪测值稳定。

### 3 结论与讨论

通过对夏县台两套水氡观测仪的对比试验, 可得出如下结论与建议:

(1) 使用 AlphaGUARD 测氡仪观测水氡, 测值较平稳, 超标个数较少, 操作使用简单。

(2) 两种测氡仪测值接近, 具有相似的动态变化。AlphaGUARD 测氡仪具备替代 FD-125 水氡仪观测及对其进行标定的条件。

(3) 两种仪器的测值差异, 主要与标定溯源、标定线性、取样及鼓泡方式和系统误差有关。

(4) 限于试验条件, 此次使用一台 AlphaGUARD 测氡仪, 结果有一定的局限性。因固体氡源使用不便, 无法进行 AlphaGUARD 测氡仪对固体氡源的刻度比较, 建议后续研究时开展 AlphaGUARD 测氡仪对 FD-125 水氡仪的标定。

感谢山西省地震局范雪芳高级工程师为此次试验提供的指导与帮助!

### 参考文献:

- [1] 刘耀炜,任宏微,张磊,等.鲁甸 6.5 级地震地下流体典型异常与前兆机理分析[J].地震地质,2015,37(1):307-318.
- [2] 刘耀炜,施锦.震前地下流体前兆信息特征[J].地震学报,2000,22(1):69-64.
- [3] 刘耀炜,任宏微.汶川 8.0 级地震氡观测值震后效应特征初步分析[J].地震,2009,29(1):121-131.
- [4] 姚玉霞,杨晓鹏,陈兰庆,等.模拟水氡仪与数字化水氡仪对比观测实验[J].地震地磁观测与研究,2014,35(Z2):182-186.
- [5] 樊春燕,刘春国,陶志刚,等.地震地下流体氡观测现状[G]//中国地震学会地震流体专业委员会 2021 年学术年会论文摘要.北京:中国地震学会地震流体专业委员会,2021:56.
- [6] 黄仁桂,赵影,肖健,等.地震监测气氡仪响应能力实验[J].华北地震科学,2019,37(3):31-37.
- [7] 任宏微,姚玉霞,周红艳.测氡仪标准仪器校准法的条件研究[J].地震,2017,37(3):148-156.
- [8] 姚玉霞,任宏微,郭丽爽,等.AlphaGUARD 与 FD-125 测氡仪的对比观测研究[J].震灾防御技术,2016,11(3):641-646.

(英文摘要见第 24 页)

# 崇州台与成都台测震观测技术对比分析

何思源,李雪浩,刘华姣,龚康

(四川省地震局成都地震监测中心站,四川 成都 611730)

**摘要:**将采用GL-CS120甚宽频带地震计搭载EDAS-24GN数采架设于崇州地震台,选取2021年3月9日至15日的记录数据,进行背景噪声分析,并计算成都地震台对应时间段的背景噪声,将计算结果与两个台站同一时间段记录的地震波形质量进行对比分析。结果表明,崇州地震台的综合背景噪声水平较好,垂直分向优于成都地震台;崇州地震台的波形质量、信噪比及小震级地震记录能力均优于成都地震台。

**关键词:**崇州地震台;成都地震台;测震观测;背景噪声

中图分类号:P315.62

文献标志码:A

## 0 引言

成都地震台(以下简称成都台)位于龙门山构造带前沿的成都凹陷盆地内,台址所处的走石山是白垩系砾岩经风化剥蚀后形成,基岩不完整,发育多层溶洞,部分已被风化黄土充填。台址基岩属白垩系底部砾岩,摆墩处的基岩较破碎,长期存在频率范围为2~4 Hz的干扰<sup>[1]</sup>。较破碎的台基及长期存在的干扰导致台站产出的观测资料质量欠佳。为提高台站测震观测水平,需找到合适的测震观测点位。崇州地震台(以下简称崇州台)是“5·12”汶川地震后成都台原部分观测项目扩展的新建台,2011年6月开建,2014年投入观测,目前仅有前兆观测手段。距场地最近的龙门山断裂带前山断裂的次级分支——万家坪断裂,展布于场地北西侧约4.8 km,距成都台直线距离27.2 km,断裂的主断层面均倾向北西(见第10页图1,由四川省地震局工程地震研究院提供)。

为对比两台的测震观测技术,选取崇州台GL-CS120甚宽频带地震计搭配EDAS-24GN地震数据采集器2021年3月9日至15日的数据记录,及成都台同一时间段记录的地震波形。通过对比分析,明确两台站观测条件及技术的优劣势,为成都台后续的测震观测发展规划、提高观测质量提供参考。

## 1 地震计GL-CS120与JCZ-1T背景噪声的差异分析

由于崇州台与成都台使用的并非同一台地震计,

需确定不同地震计记录的数据用于背景噪声计算产生的差异情况。若采用两台地震计在同一时间同一地点记录的数据进行背景噪声计算对比,结果更具客观性。GL-CS120在2021年3月9日用于崇州台进行观测前,一直作为辅助观测手段架设于成都台测震观测室,同样搭配EDAS-24GN数采。因此,选取GL-CS120与JCZ-1T2021年2月26日至28日凌晨1点至6点的数据进行背景噪声计算及对比。

根据GB/T3241—1998的规定,用 $\frac{1}{3}$ 倍频程滤波器在1~20 Hz范围内按公式由功率谱密度计算。如,原始观测数据是速度记录得到均方根,即为环境地噪声水平。计算方法为:

$$a_{RMA} = \sqrt{2P(f_u - f_l)} = \sqrt{2Pf_0(RBW)},$$

式中:P为加速度或速度功率谱密度;f<sub>0</sub>为分度倍频程中心频率;RBW为相对带宽。

$$RBW = (f_u - f_l)/f_0 = (2^n - 1)/2^{n/2},$$

式中:f<sub>u</sub>为分度倍频程上限频率;f<sub>l</sub>为分度倍频程下限频率。在实际噪声数据分析过程中,将得到的连续波形文件进行分道,分道后的文件扩展名由台网台站序号(0、1、2)和U、E、N组成,选择三分向来测定台基噪声功率谱密度<sup>[2]</sup>。

通过GL-CS120与JCZ-1T的数据计算得到成都台三分向地噪声RMS均值。依据第11页表1可知,若以JCZ-1T的计算结果为基准,GL-CS120的计算结果总体差异在2%以内,说明两台地震计在同一观测环境下对背景噪声的计算结果影响较小,采用

收稿日期:2022-03-31

基金项目:四川省地震局地震科技专项(LY2226)。

第一作者简介:何思源(1991—),男,四川安岳人。硕士研究生,工程师,主要从事测震分析工作,E-mail:1184003037@qq.com。

GL-CS120 记录的地震数据进行背景噪声计算是可行的、客观的。

## 2 背景噪声水平对比

台站的背景噪声水平关系到其测震环境及对地震的监测能力,影响台站产出观测数据的质量<sup>[3]</sup>。为了解崇州台的背景噪声水平,将 GL-CS120 甚宽频带地震计搭配 EDAS-24GN 数采架设于台站,于 2021 年 3 月 9 日至 15 日开展观测,选取期间每日凌晨 1 至 2 点、3 至 4 点和 5 至 6 点 3 个相对平静时段的数据进行计算。

通过计算,得到成都台与崇州台三分向地噪声

RMS 均值及台基噪声功率谱密度图(见第 11 页表 2、第 12 页图 2)。由表 2 对比看出,两台站水平分向 RMS 值的差异远小于 UD 分向的;崇州台 UD 向 RMS 值总体均值不到成都台的  $\frac{1}{2}$ ,部分 UD 向 RMS 值甚至不到成都台的  $\frac{1}{3}$ 。由两个台的台基噪声功率谱密度图看出,在 1 Hz 以上的频率范围内,成都台的地噪声功率谱 dB 值均高于崇州台,有时与高噪曲线相交;崇州台地噪声功率谱 dB 值均保持在高噪曲线与低噪曲线之间。对比结果表明,成都台 UD 向存在噪声较多,与 UD 向较高的 RMS 值相一致。

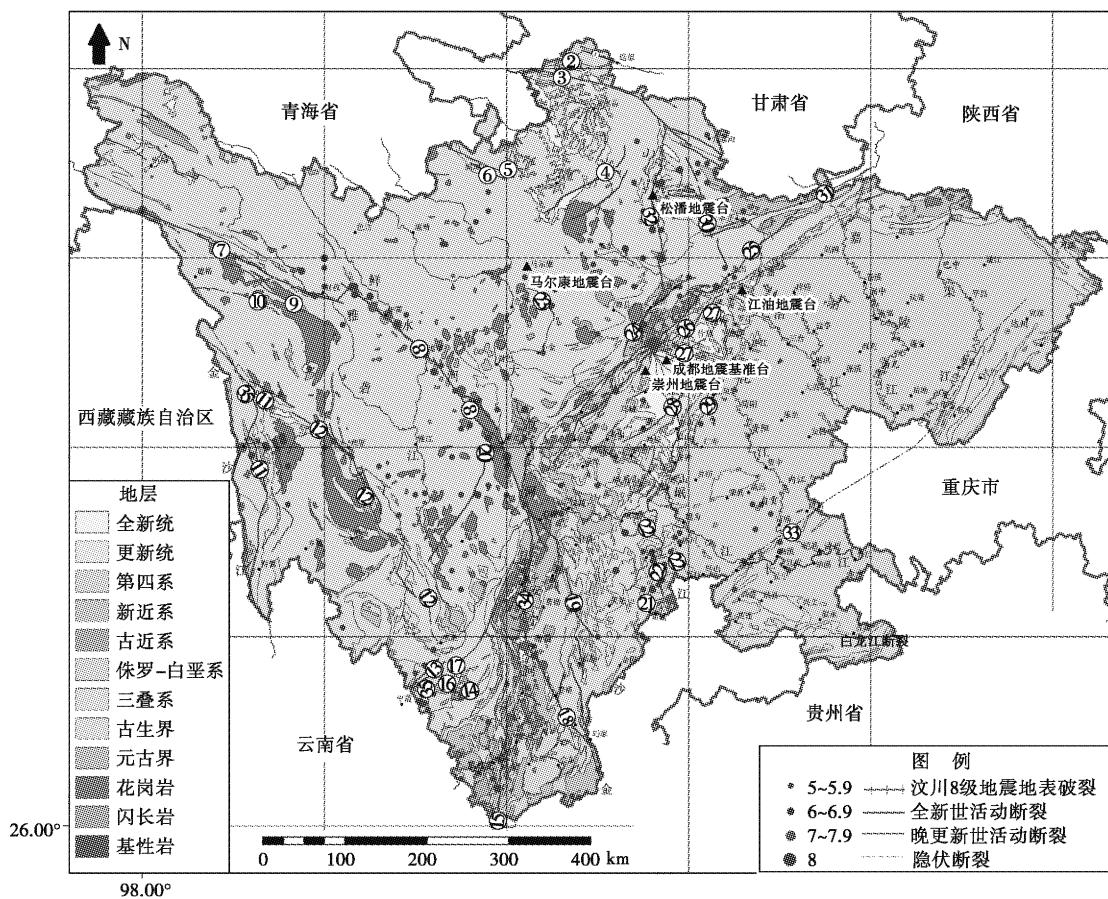


图 1 成都台及其他台站地区地质构造图

Fig. 1 Geological structure map of Chengdu Seismic Station and its station area

- ①白龙江断裂;②郎木寺断裂;③东昆仑断裂;④龙日坝断裂;⑤阿坝北断裂;⑥阿坝盆中断裂;⑦玉树—甘孜断裂;⑧鲜水河断裂;
- ⑨达郎松沟断裂;⑩麦宿断裂;⑪金沙江断裂带;⑫理塘断裂带;⑬丽江断裂;⑭盐源断裂;⑮棉垭断裂;⑯昔格达断裂;⑰锦屏山断裂;
- ⑱则木河断裂;⑲大凉山断裂;⑳玉农希断裂;㉑雷皱断裂;㉒马边断裂带;㉓抚边河断裂;㉔茂汶—汶川断裂;㉕北川—映秀断裂;
- ㉖彭县—灌县断裂;㉗龙门山前断裂;㉘蒲江—新治断裂;㉙囚龙泉山断裂;㉚虎牙断裂;㉛平武—青川断裂;㉜岷江断裂;㉝华蓥山断裂;
- ㉞安宁河断裂;㉟巴塘断裂

表1 2021年2月GL—CS120和JCZ—1T地噪声RMS值计算结果

Table 1 Calculation results of RMS value of ground noise of GL—CS120 and JCZ—1T in February 2021

观测时间 日 T 时	GL—CS120 测定地噪声 RMS 值/(E—008 m/s)			JCZ—1T 测定地噪声 RMS 值/(E—008 m/s)		
	UD	EW	NS	UD	EW	NS
26T01	10.325	8.197	10.820	9.894	7.697	9.214
26T02	8.654	7.762	9.890	8.348	7.149	9.226
26T03	9.305	7.850	11.077	9.023	7.600	10.498
26T04	10.952	7.846	10.107	10.170	7.489	10.848
26T05	6.948	8.563	12.357	7.216	8.336	12.152
27T01	11.153	7.065	7.825	11.008	7.721	9.659
27T02	11.129	7.378	9.226	10.351	7.046	9.956
27T03	10.320	7.209	9.106	10.521	6.861	9.889
27T04	11.153	7.267	8.766	11.217	6.929	8.585
27T05	6.030	6.838	8.168	6.088	6.692	8.454
28T01	9.628	6.604	8.635	9.079	6.303	8.327
28T02	11.079	6.848	8.303	11.068	6.565	8.075
28T03	10.520	7.195	9.040	10.775	6.811	9.819
28T04	11.349	7.019	9.269	11.364	6.646	9.098
28T05	12.321	7.450	9.496	12.299	7.113	9.495
分向平均值	10.058	7.406	9.472	9.895	7.131	9.553
总平均值		8.979			8.860	

表2 2021年3月崇州台和成都台地噪声RMS值

Table 2 RMS value of ground noise at Chongzhou and Chengdu Seismic Stations in March 2021

观测时间 日 T 时	崇州台地噪声 RMS 值/(E—008 m/s)			成都台地噪声 RMS/(E—008 m/s)		
	UD	EW	NS	UD	EW	NS
09T01	6.903	5.329	3.376	9.275	7.313	9.030
09T03	6.901	5.326	3.430	9.927	7.787	9.498
09T05	7.568	7.303	3.685	8.159	8.787	9.057
10T01	7.663	6.198	2.939	9.370	7.547	9.635
10T03	9.206	4.147	3.264	9.573	7.779	10.179
10T05	5.489	5.270	2.970	6.635	7.805	9.358
11T01	7.105	10.707	3.359	9.330	8.108	10.600
11T03	6.753	9.520	3.428	9.644	8.318	9.974
11T05	6.577	6.250	2.969	7.399	8.332	9.115
12T01	10.000	11.172	5.232	7.129	7.466	10.488
12T03	10.544	12.344	5.348	7.130	7.908	10.314
12T05	7.594	10.495	5.175	7.625	8.517	10.793
13T01	7.352	8.636	4.219	6.290	7.900	11.944
13T03	6.685	13.289	4.604	9.731	8.534	11.396
13T05	6.185	11.897	4.084	7.540	9.003	11.083
14T01	7.238	8.055	4.017	10.995	9.238	10.096
14T03	6.822	8.460	3.910	9.857	8.016	10.812
14T05	8.537	10.274	5.590	7.602	8.562	10.316
15T01	7.537	7.812	4.298	8.926	6.590	9.744
15T03	7.617	7.634	4.095	8.583	6.527	9.315
15T05	7.185	8.563	4.051	6.426	7.090	10.638
分向平均值	7.498	8.509	4.002	8.436	7.958	10.161
总平均值		6.670			8.851	

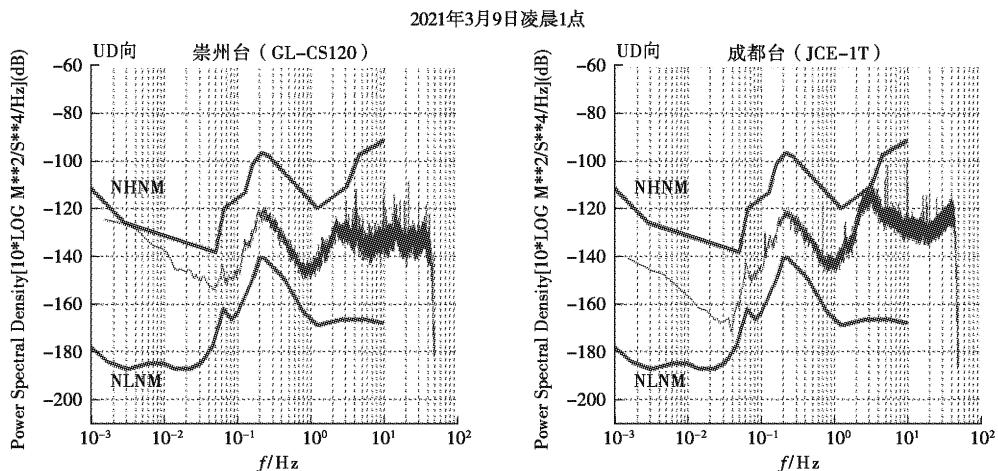


图 2 崇州台与成都台台基噪声功率谱密度图

Fig. 2 Base noise power spectral density map of Chongzhou and Chengdu Seismic Stations

### 3 地震波形质量对比

选取成都台与崇州台记录的 2021 年 3 月 13 日 19 点 11 分云南盐津  $M_L 3.3$  地震作为样例进行研究。两个台站背景噪声的差异主要来自 UD 向, 下文从 UD 向记录的地震波形进行对比。从崇州台的记录来看, 震相与背景噪声区分离明显, UD 向 20 s 附近 Pn 能准确识别, 随后 30 s 附近可识别 Pg 震相; 成都台的 UD 向中, Pn 震相因受背景噪声干扰无法直接辨认, Pg 震相混杂在背景噪声中也难以辨别。分别对两个台站 UD 向记录的地震波形求取小波时频图(见图 3)。其中, 成都台 UD 向高频信息充斥整个时间段, Pn 和 Pg 震相的信息混合于高频信息中难以识别, 表明成都台 UD 向记录的波形受到的干扰较大, 直接影响初动震相的识别。在崇州台的小波时频图中, 20 s 和 30 s 附近出现聚集性的高频信号, 两个时间点恰好对应 Pn 和 Pg 震相出现的时间, 表明崇州台 UD 向记录的信噪比高, 能准确地拾取地震初动震相。

### 4 小震级地震记录能力对比

为研究两个台站在小震级地震记录能力方面的差异, 选取 2021 年 3 月 9 日 00 点 20 分、04 点 03 分、00 点 58 分阿坝理县  $M_L 1.7$ 、四川什邡  $M_L 1.5$  及四川绵竹  $M_L 1.6$  三次地震作为研究样本。由成都台的波形记录情况可知, 3 个小震级地震波形基本被 UD 向的背景噪声掩盖, 难以辨别初动震相(见第 13 页图 4)。分别对三段地震波形求取小波时频图, 仍无法准确判定地震初动的起始点。崇州台的地震波形记录情况如第 13 页图 5 所示, 3 个小震级地震波形均被清晰、完整地记录, 地震事件与背景噪声区分离明显, 能辨别初动震相位置, 再结合小波时频图, 可确认地震初动

的起始点并拾取初动震相。结果表明, 崇州台在小震级地震记录能力方面优于成都台。

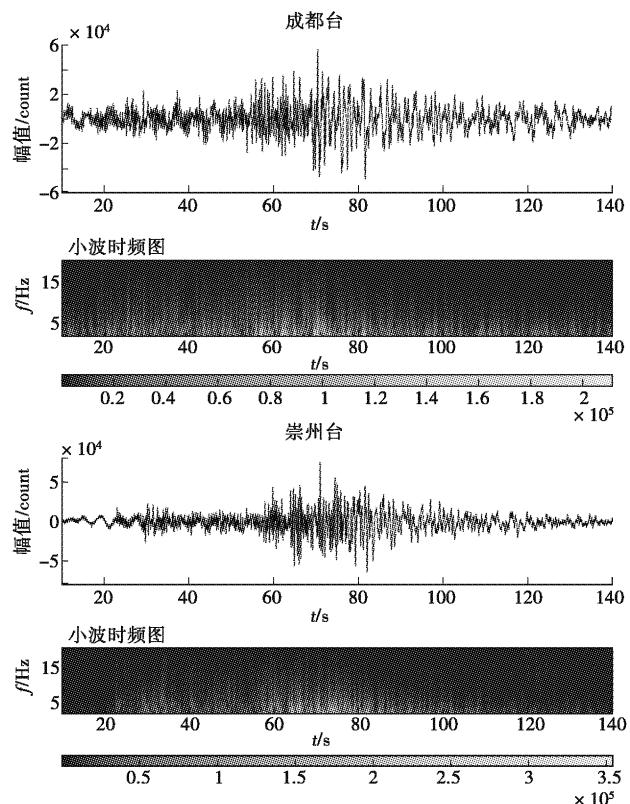


图 3 UD 分向记录的同一地震波形小波时频图

Fig. 3 Wavelet time-frequency diagram of the same seismic waveform

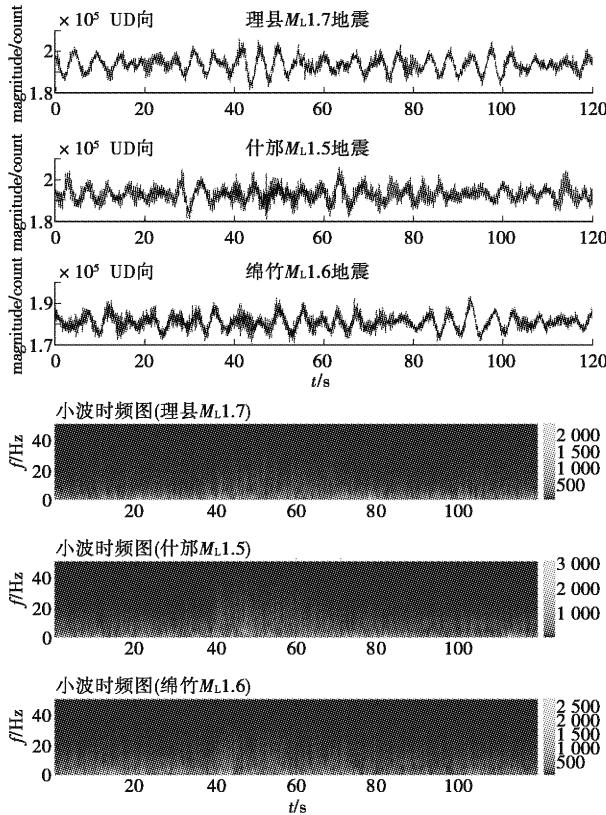


图 4 成都台记录的 3 个小震级地震波形及小波时频图

Fig. 4 Waveforms and wavelet time-frequency diagram  
of three Small-magnitude earthquakes recorded by  
Chengdu Seismic Station

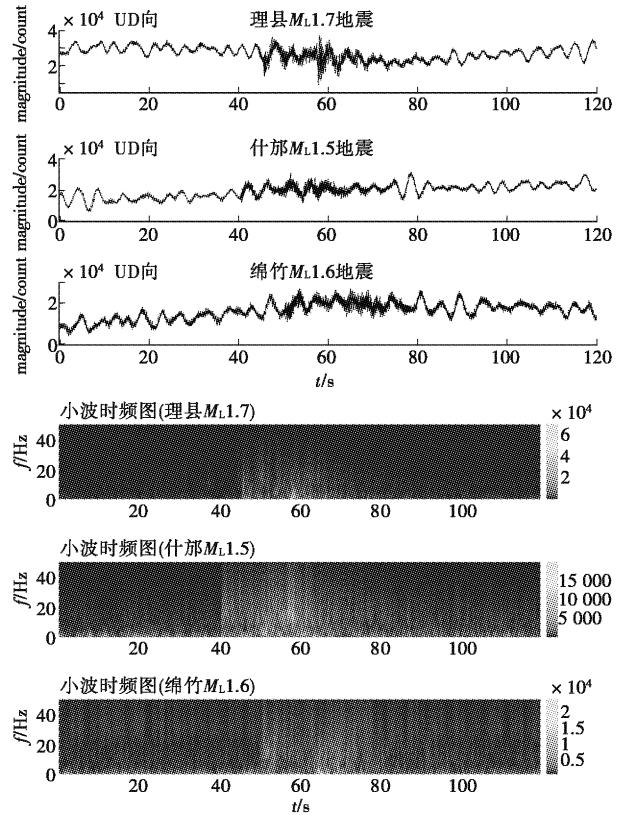


图 5 崇州台记录的 3 个小震级地震波形及小波时频图

Fig. 5 Waveforms and wavelet time-frequency diagram  
of three Small-magnitude earthquakes recorded by  
Chongzhou Seismic Station

## 5 结论与讨论

通过对崇州台与成都台在背景噪声水平及记录波形质量方面的比较,可得出如下结论:

- (1) 崇州台水平分向、垂直分向具有更低的背景噪声,综合背景噪声水平优于成都台。
- (2) 崇州台垂直分向记录的波形受到的干扰较小,信噪比高,能准确地识别地震初动震相。成都台垂直分向记录的波形受到的干扰较大,直接影响初动震相的识别。
- (3) 成都台记录的小震级地震波形易被背景噪声掩盖,崇州台具有较强的小震级地震记录能力。
- (4) 崇州台较成都台具有更好的背景噪声水平,

能较准确地记录反映地震初动震相,产出高信噪比的地震数据。若在崇州台增加测震手段并纳入测震资料分析评比,将可能弥补成都台测震观测缺陷,提高整体的观测水平,产出较多高质量的地震数据。

## 参考文献:

- [1] 何思源,李贵元.关于成都地震台测震资料中 2~4 Hz 干扰频率范围的研究[J].内陆地震,2019,32(1):80-90.
- [2] 管勇,孔军,唐淋,等.汶川地震前后各台站台基地动噪声变化分析[J].四川地震,2017(3):6-8.
- [3] 林建生,张有明,谢文杰,等.泉州地震台数字地震仪台址的地脉动噪声分析[J].华南地震,2011,31(1):18-28.  
(英文摘要见第 42 页)

**· 技术交流 ·**

文章编号:1000-6265(2022)03-0014-04

## 夏县地电场观测系统典型干扰排除方法

刘国俊<sup>1,3</sup>,李晓锐<sup>1,3</sup>,刘垚坤<sup>2,3</sup>,常 娅<sup>1,3</sup>,姚林鹏<sup>1,3</sup>(1. 山西省地震局运城地震监测中心站,山西 运城 044400;2. 山西地震局,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:**通过对夏县地电场自2018年建成以来观测数据的分析,对出现的典型干扰进行梳理,剖析其产生的原因,提出异常的判断标准和对干扰的排除、处理方法。研究结果可为地电场观测干扰排除和异常识别提供经验借鉴。

**关键词:**地电场;干扰排除;观测仪器;台阶变化中图分类号:P319.3<sup>+2</sup>

文献标志码:A

### 0 引言

地电场是重要的地球物理场之一,地电场观测主要是观测地电场的地表分量及其时空变化<sup>[1]</sup>。运城地震监测中心站(以下简称运城站)南晋地电场是“十五”数字地震观测网络项目的新增测项,自2018年投入观测以来,仪器稳定性较好,观测数据连续,精度较高,能记录到静日(地电场曲线呈峰—谷型)、扰日(轻微扰动)变化,正常日变幅度为3~5(mV/km)。观测以来,主要的干扰因素有观测环境(灌溉、雷电、高压直流)和观测系统(电极极化、仪器设备)。许多专家学者对地电场观测的干扰因素及其抑制技术进行研究。如,席继楼等针对影响地电场观测的主要工频干扰源、干扰方式、干扰机理等开展研究,对现阶段地电场观测领域抑制工频干扰的方法和技术等进行综合性分析和讨论。随着数据跟踪分析工作的推进,相关的研究也继续深入。笔者在综合分析夏县地电场观测数据和现场调查的结果的基础上,梳理出观测系统因素引起的典型干扰异常特征,对出现故障的原因进行分析与排查。

### 1 夏县地电场观测环境及观测系统

夏县大地电场在地质构造上处于祁连山、吕梁山、贺兰山“山”字形构造的东翼,新华夏系运城凹陷的北东边缘,中条山北麓断裂NE段的北部,中条山山前洪积扇上。观测场地地势较平坦,由东南向西北自高向低呈缓坡延伸,以北为大片平原,以南约10 m处有一条宽30 m,深5~6 m自然形成的河沟,再以南均为山前平原地带。经测试,该区地电场观测值变化小,视电阻率值高低主要受表土、亚黏土、砂、砂砾石及上部地

层含水量大小等因素影响。布极区主要位于农田内,测区无影响观测的金属管线。因此,运城站南晋地电场所处的电磁环境符合GB/T 19531.2—2004<sup>[2]</sup>和DB/T 18.1—2006关于地电场台站电磁环境的要求<sup>[3]</sup>(以下简称《规范》)。

夏县地电场观测系统建成于2018年7月,布极中心点距观测室约42 m,布设北南长、东西长、北45°西长、北南短、东西短、北45°西短六道测线。观测仪器采用中国地震局地壳应力研究所研制的GEF-II型地电场仪,采样率为1次/min。电极采用兰州地震研究所研制、兰州高新区大地物探研究所生产的固体不极化电极(LGB-3型),埋设深度5 m。电极布设、电极引线与仪器输入连接符合观测规范要求。信号线使用普通强度橡套软电缆,采用地埋方式,信号线与传感器线连接方式使用铜闸刀,闸刀固定在距地面30 cm不锈钢罩壁上(见第15页图1)。2018年7月1日试运行,2019年1月1日正式观测。自观测以来,观测系统运行稳定,观测数据质量较高,观测系统干扰主要可分为观测装置和观测仪器<sup>[4]</sup>。

### 2 典型干扰检测方法及处理分析

#### 2.1 观测装置典型干扰识别与处理方法

2020年8月15日至18日,地电场观测数据曲线连续出现台阶变化,最大变幅12 mV/km(见第15页图2)。根据《山西省地震异常核实管理办法》,结合《电磁学科观测资料异常变化现场核实工作报告编写要求(修订)》(中震测函〔2014〕65号)开展异常核实工作<sup>[5]</sup>。

(1) 调查核实。

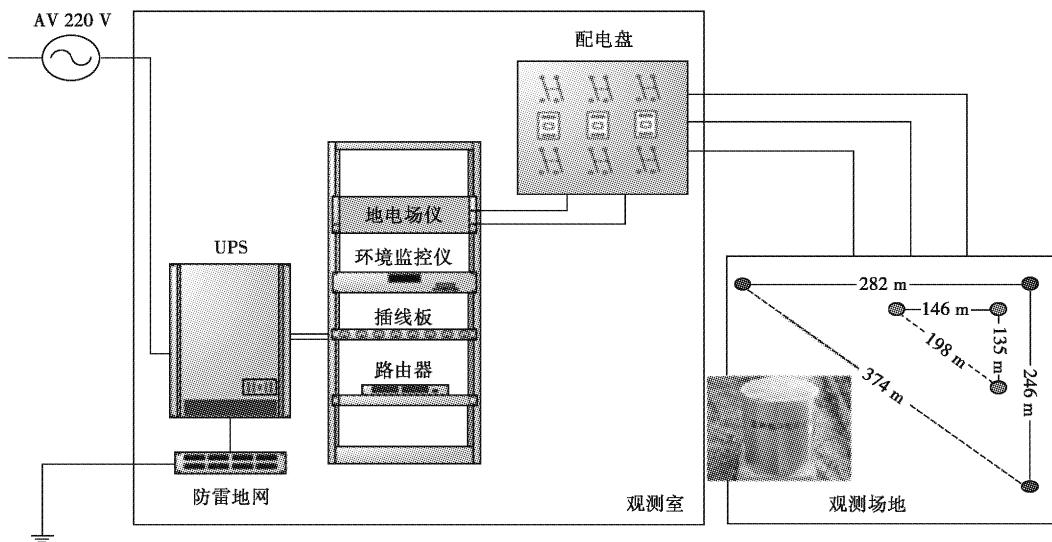


图1 夏县地电场观测系统装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of Xiaxian geoelectric field observation system device

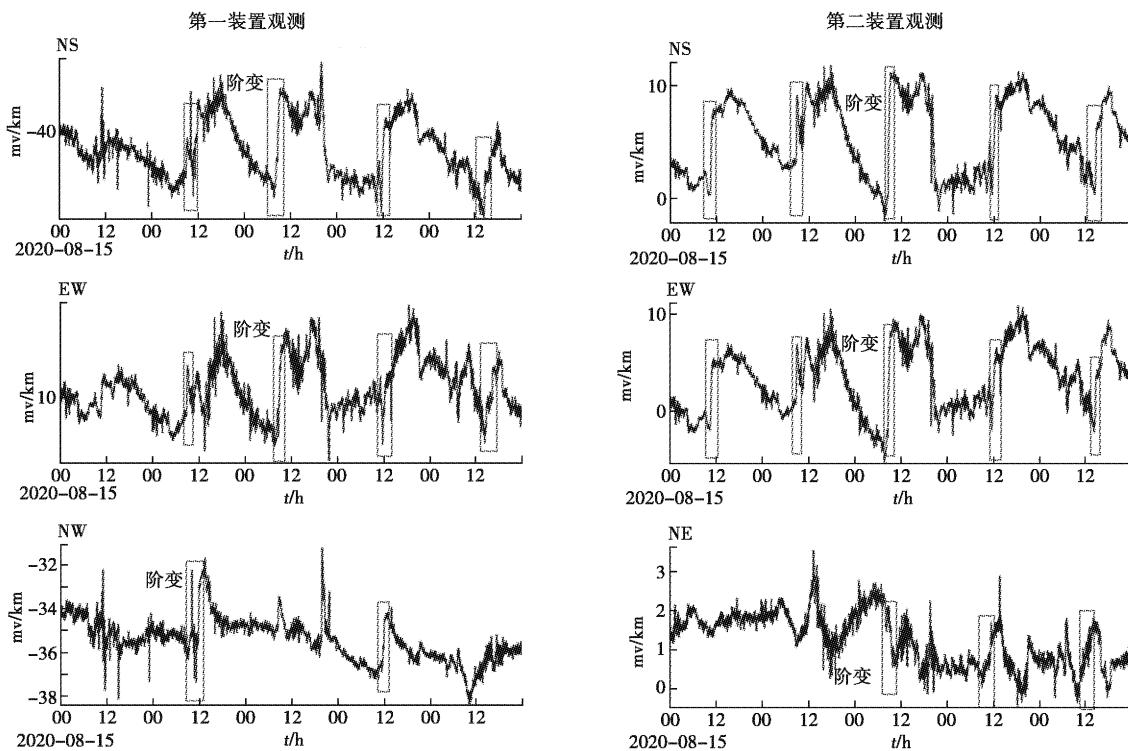


图2 运城站南晋地电场长、短极距测道数据曲线图

Fig. 2 Curve chart of long and short pole distance channel data of the Nanjin geoelectric field of Yuncheng Seismic Station

该观测场地(布极区)处于山前洪积扇,地势较平坦,布极区内地形开阔、平坦,无铁、磁管线和其他铁、磁物体,无产生工业游散电流和其他电磁信号的干扰

源。对观测环境检查后,未发现可疑干扰源,排除观测环境干扰的可能;地电场观测的供电系统使用 UPS 交流 220 V,避雷接地电阻小于  $4 \Omega$ ,地理线路绝缘电阻

为 $250\sim500\text{ M}\Omega$ ,未发现明显干扰。

### (2) 分析研判。

六个通道连续三天的观测数据同步出现阶变现象,阶变时间在08时至15时左右,NS、EW、NW长短极距相关系数和归零差值明显降低,三分向长短极距的相关系数均低于0.6,差值大于 $1.0\text{ mV/km}$ 。当两项指标超出《规范》要求的最低限时,需对地电场观测系统的工作状态和场地周边的电磁干扰状况进行检查。由于电极引线与外线路之间采用闸刀连接,用不锈钢外罩保护,闸刀距地面约30 cm,易受潮湿影响。17日下午检查发现6个外罩壁上都有水柱现象,清理后,观测数据呈下降台阶变化;查看中心站气象三要素观测数据,当18日气温发生突变时,地电场观测曲线发生台阶变化,记录曲线伴有锯齿状高频变化(见图3),推测可能是闸刀铜刀片与夹口及接线座与铜线接触之间,由于空气中水分作用形成氧化铜,氧化铜属P型半导体,有电化学效应,能产生电动势,其强度与环境温度、压力、湿度关系较大,故认为其观测数据台阶干扰变化可能与线路连接点氧化有关(《化学通信》刊登拉杰西沃的论文、《化学和工程新闻》报道提到,氧化铜产生甲醇电化学效率高达95%)。

### (3) 处置方法。

按照DB/T18.2—2006行业标准,更换铜闸刀为铜线快速接线端子方式连接(见图4)。接线端子使用加厚纯铜导电体,导电性较好,电阻率低,表面有特殊电镀处理,杜绝氧化,外壳采用优质绝缘材料,耐腐蚀、老化。将电极引线、外线路分别接入接线端子两端,每端用双螺丝固定,外表涂上凡士林油防潮防氧化,接线端子由塑料外壳包裹。

### (4) 处置结果。

对六通道接线端改造后,观测曲线阶变消失,相关系数 $>0.995$ ,差值 $<1$ ,数据质量提高。

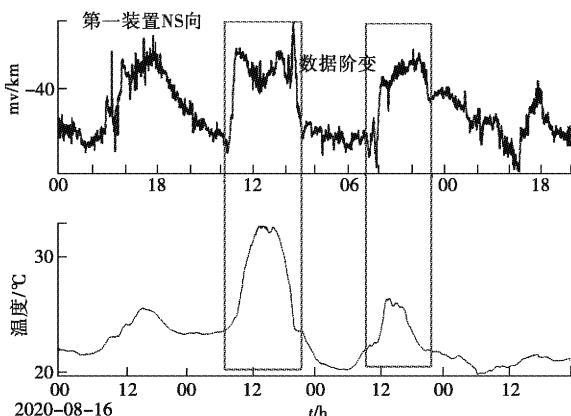


图3 夏县地电场长极距测道数据与气温数据曲线图

Fig. 3 Curve chart of long pole distance channel data and air temperature data of Xixian geoelectric field

整改前使用的闸刀

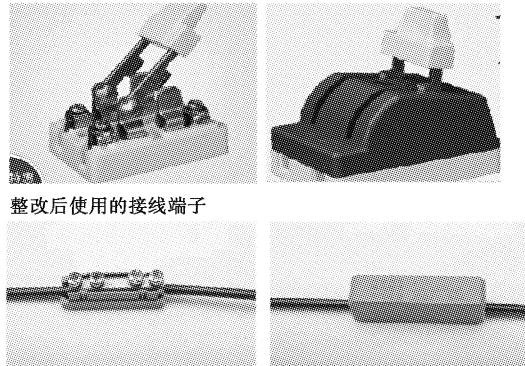


图4 运城南晋地电场信号线路整改实物图

Fig. 4 Physical map of signal route rectification of Yuncheng Nanjin geoelectric field

## 2.2 观测仪器典型干扰分析与处理方法

2020年10月31日11:17至13:12,北南向长极距出现台阶变化,变幅达 $23.59\text{ mV/km}$ ,伴有大幅脉冲振荡,其他测道均正常(见第17页图5)。结合六通道数据的相关性,初步判断该干扰非场内影响,排除共性干扰(如,供电、ARM控制板、电极),根据以往工作经验,重点检查主机内的数据采集板。现场打开机箱,发现机内有灰尘。解决方案采用替代法<sup>[6]</sup>,用第六通道与第一通道采集板交换测试,结果两块板均正常。之后,对采集板接触性进行检查,用酒精擦拭采集板及底座后,数据恢复正常。分析故障原因有两点,一是由于数据采集板插座与插板之间连接铜片氧化,形成氧化铜,导致采集板接触不良(《自然·纳米技术》刊载文章提到,当带磁性的氧化铜晶体尺寸达到纳米级时,会表现出与通常情况相反的负热膨胀现象);二是仪器机箱内灰尘会对观测数据有一定影响。

## 3 结论与讨论

通过对运城站南晋地电场观测系统典型干扰及其排除方法的分析,可得出如下结论:

(1) 电极引线与外线路连接方式若使用闸刀,闸刀铜片表面可能受地面温度、潮湿影响形成氧化铜,导致信号线路接触不良,造成观测数据质量下降。建议使用接线端子并做好防潮防氧化措施,保证信号线路接触良好,避免数据干扰。

(2) 单通道数据突变一般与数据采集板接触不良有关,应加强日常维护,清理仪器设备的散热孔,保持观测室、观测仪器内部板件清洁,防止器件老化,减少故障频次。观测系统故障多与线路有关,做好导线的绝缘和防氧化工作,有利于排除干扰源,提高地电场观测资料质量。

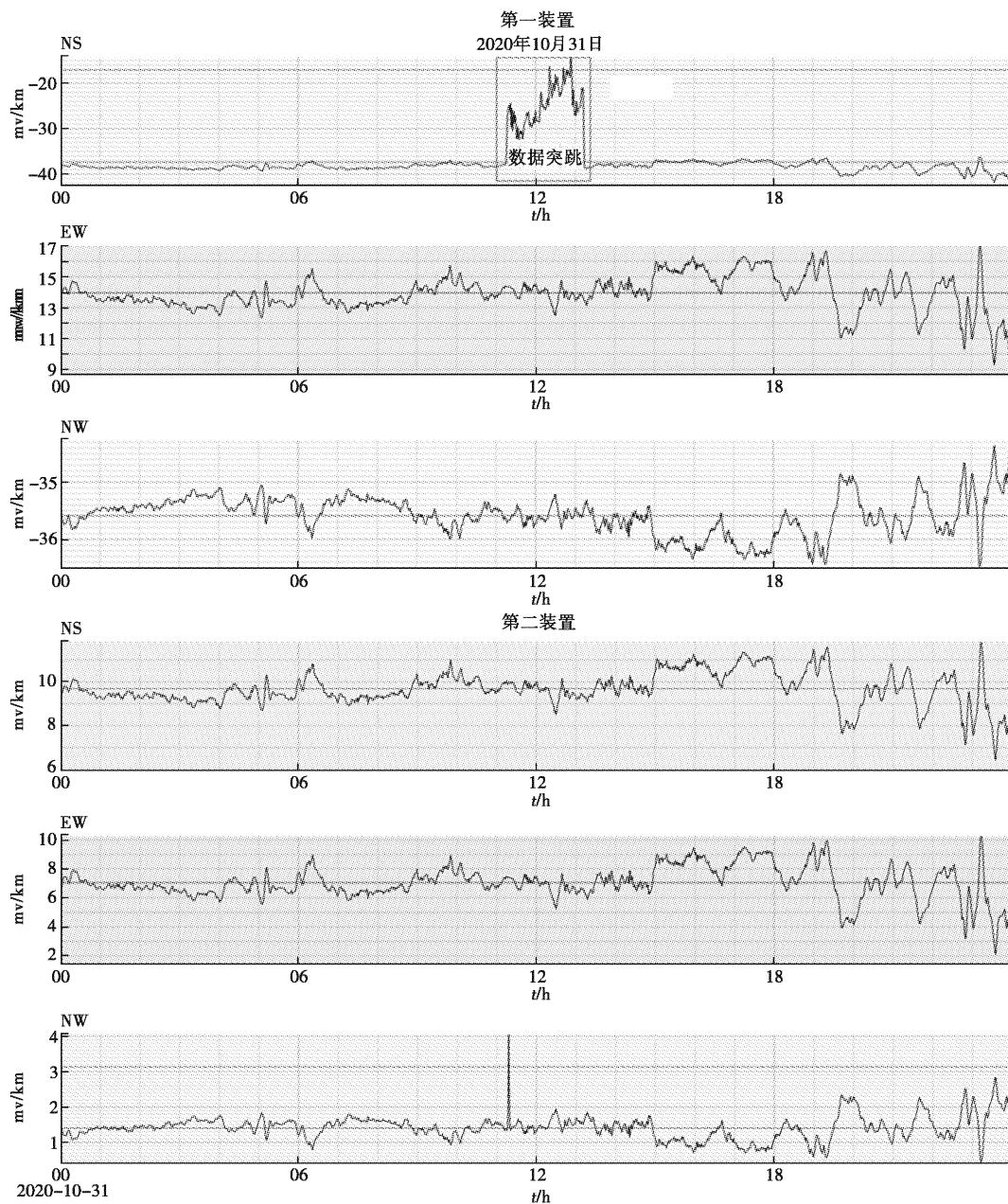


图 5 夏县地电场长、短极距测道数据曲线图

Fig. 5 Curve chart of long and short pole distance channel data of the Xiaxian geoelectric field

## 参考文献:

- [1] 高玉芬,钱家栋. 地震及前兆数字观测技术规范(电磁观测)[M]. 北京:地震出版社,2001:47-49.
- [2] 中国地震局分析预报中心,中国地震局地球物理研究所. GB/T 19531.2—2004 地震台站观测环境技术要求第 2 部分:电磁观测[S]. 北京:中国标准出版社,2004:14-29.
- [3] 中国地震局兰州地震研究所,中国地震局地震观测研究所,中国地震台网中心,等. 地震台站建设规范地电台站第 2 部分:地电场台站(DB/T18.2—2006)[S]. 北京:地

震出版社,2006:3-6,19-36.

- [4] 郭建芳,周剑青,佟 鑫,等. 地电场观测中的干扰分析[J]. 华北地震科学,2011,29(4):38-43,48.
- [5] 席继楼,赵家骝,王燕琼,等. 地电场观测技术研究[J]. 地震,2002,22(2):67-73.
- [6] 史红军. 地电场观测过程中的干扰因素分析[J]. 东北地震研究,2009,25(2):51-57.

(英文摘要见第 24 页)

# 井下电阻率观测技术应用与探讨

## ——以天水台为例

姚赛赛,赵洁,陈雪梅,安振宁,张晓阳

(中国地震局兰州地震研究所,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**以天水地电台井下地电阻率观测为例,从观测系统、台址条件及观测方式的区别,对2011—2020年井下、地表观测资料的日均值、均方根误差、年精度等数据进行对比分析。结果表明,天水地电台的台址条件、观测系统及校准标定符合《地震前兆台网运行管理细则——地电》各项要求,井下观测数据精度优于地表观测。观测期间,在邻近地区发生地震前,井下地电阻率出现明显的短临异常,对监视该区及邻区地震具有参考意义。

**关键词:**数据分析;井下地电阻率;校准标定;震例总结

中图分类号:P319.3<sup>+2</sup>

文献标志码:A

## 0 引言

井下电阻率观测作为一种能有效减少和抑制地表干扰及地表电磁干扰影响的手段,是地电阻率观测方法在抑制环境干扰、提高观测精度方面的一种有益选择<sup>[1]</sup>。为应对地表观测环境干扰,解决地电阻率地表观测用地与经济发展用地间的矛盾,2008年起,全国开始进行井下地电阻率观测试验并开展相关分析<sup>[2-5]</sup>。2010年,天水地电台(以下简称天水台)开始井下地电阻率观测手段的建设。2011年1月10日井下多极距、多通道地电阻率观测钻孔施工和仪器架设初步完工,开始井下地电阻率观测技术、方法理论方面

的研究。该文对天水台井下和地面地电阻率观测资料进行分析,对井下地电阻率观测系统进行评价,以期为该区域井下观测资料分析及前兆异常识别提供参考。

## 1 台址条件及观测系统

### 1.1 台址条件

天水台位于天水市麦积区马跑泉镇崖湾村,海拔1 153 m。测区地处崖湾村与白石村之间的永川河I、II级河谷阶地上,第四系覆盖层厚度20~30 m,其下是第三系黏土层,厚约450~500 m,基底为古生界变质岩。位于祁吕贺兰山字形前弧内缘褶带与陇西华家岭至天水旋回褶带复合部位,地势西北高、东南低(见表1)。

表1 天水台台址条件

Table 1 Site conditions of Tianshui Geo-electric Station

布极方位	信噪比/dB	地表水系距离/m	电测深方位	曲线类型	岩性
NS	50	>16	NS	H	黄土层深1至3 m, 300 m内泥砂、灰岩。
EW	50	>16	EW	KH	
N45°W	45	>16	N45°W	KH	

### 1.2 观测系统

#### 1.2.1 装置系统

布极方式采用四极对称装置,大致呈NS、EW、N45°W的近似等边直角(81°)三角形分布。NS、EW供电极距为300 m,测量极距为100 m;N45°W供电极距为390 m,测量极距为130 m(见第19页图1)。天

水台井下地电观测使用JX-2010型专用电极,电极埋深100 m,地表观测的电极埋深6 m。采用直流供电的观测系统,井下、地面观测的采样率为1次/小时。

外线路的地埋电缆线要解决鼠害噬咬、轻度机械损伤和抗腐蚀问题,保障电缆芯线的安全。基于以上要求,选用兰州众邦电缆生产的4×2.5国标铠装电

收稿日期:2022-03-14

基金项目:甘肃省地震局科技发展野外站基金资助(ZX2117004)。

第一作者简介:姚赛赛(1993—),男,甘肃天水人。助理工程师,主要从事地震监测预报工作,E-mail:995377254@qq.com。

缆,内外护套材料为聚氯乙烯,芯线的绝缘层材料为聚乙烯。线路埋深在1.0~1.5 m,避免冬季地面冻结和解冻对地理线的影响,保持线槽平缓、线路松弛,以延长线路的使用寿命。

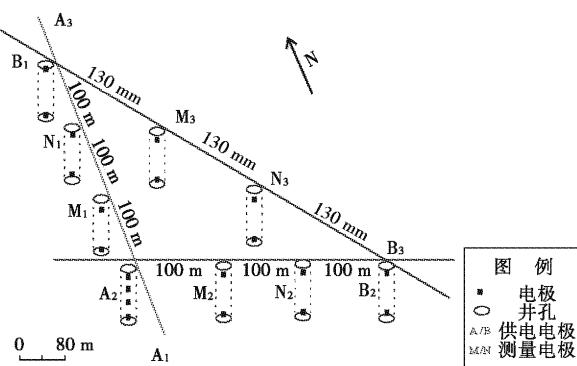


图1 天水地电台井下观测布极示意图

Fig. 1 Schematic diagram of deep well observation electrode distribution of Tianshui Geo-electric Station

室内配线和避雷系统采用测、供分离避雷箱,线路通过防浪涌保护装置后,在信号线引入观测室前接入避雷器,地电阻率供电电极、测量极分别采用 $200 \times 400 \times 600$

不锈钢机箱,独立安装电极引线的避雷器,氧化锌浪涌避雷器单元的峰压为470 V,瞬时电流40 kA。在观测室进入相应的分离挂墙箱,通过配线盒中的接线端子为仪器接输入线。

### 1.2.2 测量系统

测量仪器使用中国地震局地壳应力研究所研发的ZD8BI型,具有准确度高、动态范围大、抗干扰能力强、长期稳定性好、观测程序改动方便等优点。供电设备使用中国地震局地震预测研究所研发的WL6稳流电源,能增强观测系统运行的可靠性。

### 1.2.3 观测系统检测校准

地电台网的运行管理执行《地震前兆台网运行管理细则——地电》(2016版,以下简称《细则》)。下面从电极接地电阻、漏电电位差、仪器校准、供电电源性能四方面介绍观测系统的检测。

#### (1) 电极接地电阻测量。

电极是否稳定可靠是地电阻率观测系统的重要指标之一,主要通过测量电极的接地电阻大小来评价其性能状态。使用ZC-8型接地电阻表测量NS、EW、N45°W三道测量电极(M、N)和供电电极(A、B)的接地电阻。2016—2020年电极接地电阻变化如图2所示。可以看出,NS、EW、N45°W井下电极接地电阻变化较平稳,基本在4.12~7.46 Ω之间,室内接地电阻在2.1~3.8 Ω之间。

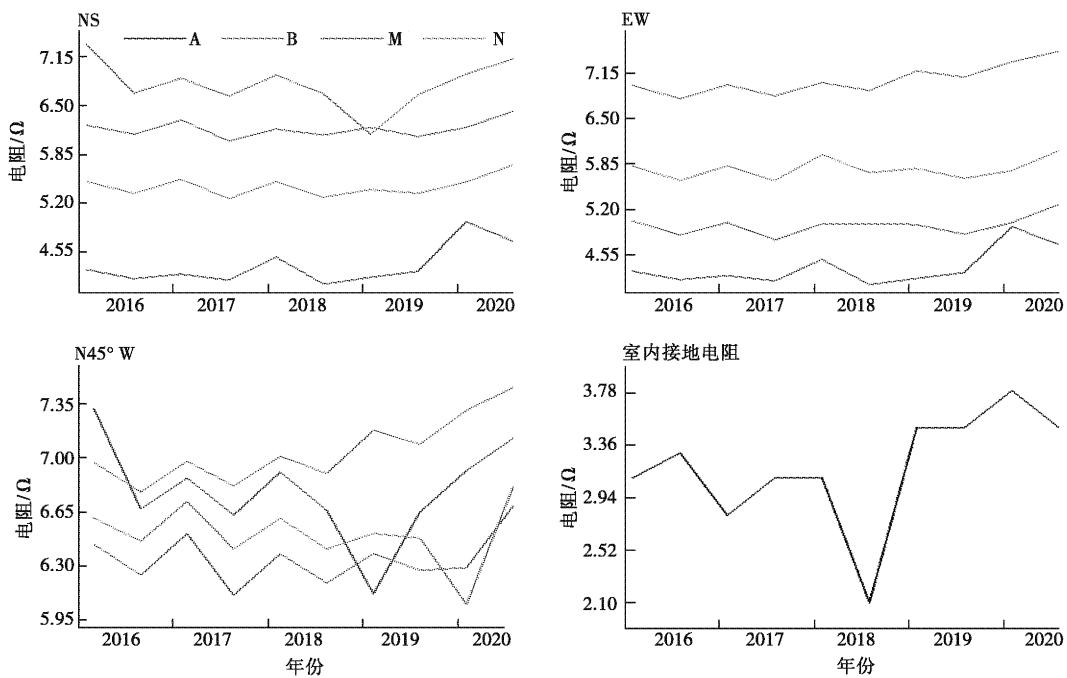


图2 电极接地电阻变化  
Fig. 2 Change of electrode grounding resistance

#### (2) 测量系统漏电电位差检查。

《细则》要求,供电回路漏电电流 $I_L$ 应不大于正常

供电电流的1%,漏电电位差 $\Delta V_L$ 应不大于正常人工电位差的5%<sup>[6]</sup>。最近一次的漏电电位差检查在2021

年12月。

### (3) 仪器检测校准。

使用标准仪器UJ34A型直流电位差计、BC3型饱和标准电池,对UJ34A进行初始化设置,对仪器进行校零点和校满度,最后分别检查在不同标准电压值下地电仪测到的观测值<sup>[7]</sup>。正向检测校准时,偏差在0.001~0.008之间;反向时,偏差在-0.001~0.006之间。

### (4) 供电电源性能检测。

《细则》要求,1 min内输出直流电流的不稳定度 $\leqslant 0.5\%$ ,输出电流纹波因数 $\gamma \leqslant 0.5\%$ 。最近一次的供电电源性能检测在2021年12月,纹波因数为0.0%。

## 2 观测资料分析

### 2.1 地表、井下地电阻率数据对比

2016年后,天水台地电测区修建麦积大道,地表

观测受到较大干扰。为比较地表与井下地电阻率观测的差异,选取2011—2015年两者同时段的观测曲线进行对比分析。

由图3看出,地表观测值具有明显的年变化,呈夏高冬低的年变形态。测值变化分别为NS道5.33~6.81(Ω·m)、EW道11.34~13.10(Ω·m)、N45°W道7.26~8.00(Ω·m)。地表观测的3道年变幅分别为24.38%、14.40%、9.71%,说明地表观测易受各种因素的干扰,数据波动幅度大,年变幅大。

井下观测年变幅小,呈现近直线变化。测值变化分别为NS道4.97~4.99(Ω·m)、EW道7.02~7.06(Ω·m)、N45°W道7.42~7.57(Ω·m)。井下观测的3道年变幅分别为0.55%、0.53%、1.98%,说明地下观测装置可减小甚至抑制干扰及降雨变化对视电阻率观测结果的影响。2011—2012年,井下N45°W测值突跳较大,原因是井下观测系统处于试运行阶段,观测装置未达到稳定状态。

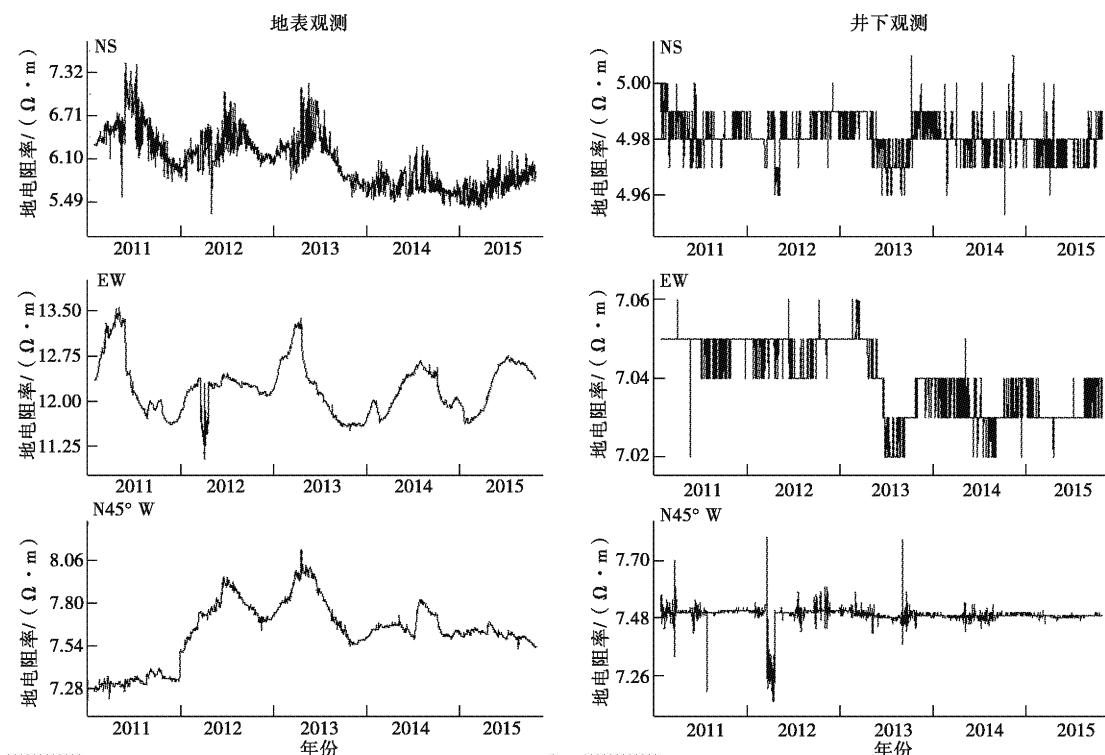


图3 地表、井下地电阻率日均值图

Fig. 3 Daily average of surface and deep well geo-electric resistivity

### 2.2 地表、井下观测值均方根误差对比

视电阻率观测精度是所测的视电阻率准确度的度量,由系统误差和偶然误差两部分组成。其中,偶然误

差是多种因素的综合作用使观测值产生某些变化,使测量值在均值附近波动,其大小用均方根误差来表示。多次观测值的均方根误差 $\sigma_{n-1}$ 由下式计算:

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_{s_i} - \bar{\rho}_s)^2}{n-1}},$$

式中: $n$ 为观测次数; $\rho_{s_i}$ 为第*i*次的观测值; $\bar{\rho}_s$ 为几个 $\rho_{s_i}$ 算术平均值。均方根误差用来衡量观测值同真值之

间的偏差,反映测量的精密度。由图4看出,井下NS、EW、N45°W测道的均方根误差均小于地表测道的,说明井下观测精度高于地表观测。两种观测的均方根误差值都较低,是由于地电阻率测区地势平坦、地形开阔、环境稳定、干扰小。

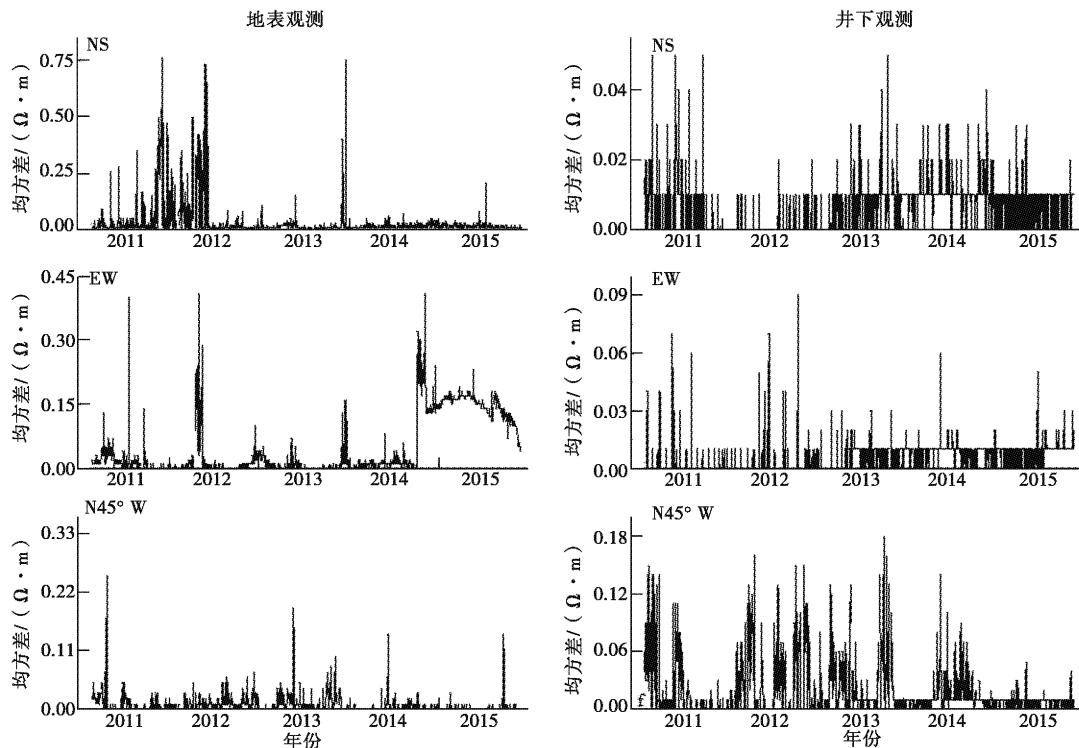


图4 地表、井下观测各测道均方差日均值图

Fig. 4 Daily mean value of surface and deep well mean square deviation of each survey track

### 2.3 井下电阻率月精度、年变化幅度

观测精度 $K_m$ 的计算公式为:

$$K_m = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{j=1}^N \left[ \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \left( \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H \frac{(\sigma_n)_{kji}}{(\rho_s)_{kji}} \right) \right] \right\},$$

式中: $N$ 为台站的测道数; $D$ 为当月的天数; $H$ 为一天中小时观测数据的个数; $(\sigma_n)_{kji}$ 是当月第*j*测道、第*i*天、第*k*小时地电阻率测值的均方差; $(\rho_s)_{kji}$ 为当月第*j*测道、第*i*天、第*k*小时地电阻率测值<sup>[7]</sup>。2014—2020年3测道月精度如第22页图5所示,可见3测道 $K_m$ 值均未超过0.2%,且以0.1%及以下居多,变化较为平稳,表明仪器的工作状态良好,数据的离散度小,干扰信息少,数据可靠度高。

2014—2020年3测道年变幅分别为NS道0.26%~0.54%、EW道0.26%~0.54%、N45°W道0.26%~0.54%(见图5),表明井下观测数据变化平

稳,年变幅低,年变形态不明显。

### 3 地震监测效能评价

2013年4月20日四川芦山发生 $M_s$ 7.0地震,震中距天水地电台540 km。地震前11 d即4月9日,天水台井下地电阻率NS、EW和N45°W测值出现同步异常,形态表现为电阻率测值高频扰动,震前2 d波动更明显。NS正常观测值为 $4.98 \pm 0.01$  ( $\Omega \cdot m$ ),震前变幅为 $\pm 0.03$  ( $\Omega \cdot m$ ),震前1 d的最大变幅达 $-0.06$  ( $\Omega \cdot m$ );EW正常观测值为 $7.05 \pm 0.01$  ( $\Omega \cdot m$ ),震前变幅 $\pm 0.03$  ( $\Omega \cdot m$ ),震前1 d的最大变幅达 $-0.04$  ( $\Omega \cdot m$ );N45°W正常观测值为 $7.5 \pm 0.1$  ( $\Omega \cdot m$ ),震前变幅为 $\pm 0.03$  ( $\Omega \cdot m$ ),震前3 h的最大变幅达 $+0.29$  ( $\Omega \cdot m$ )。此波动异常持续至5月4日结束。

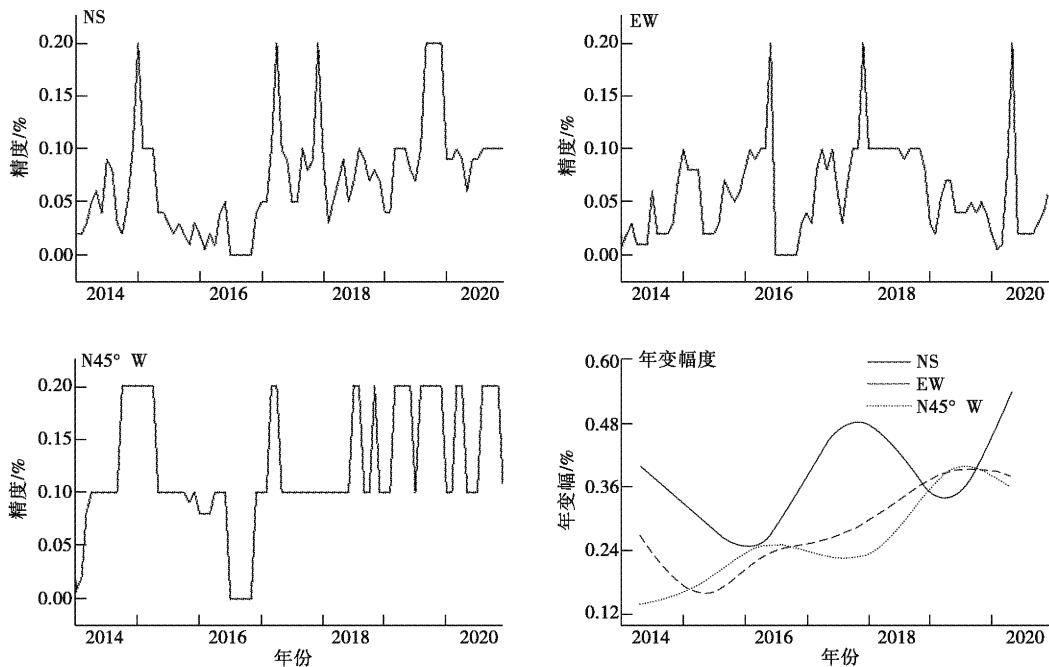


图 5 各测道月精度及年变幅度  
Fig. 5 Monthly accuracy and annual variation amplitude of each survey track

2013 年 7 月 22 日甘肃岷县—漳县发生  $M_s 6.6$  地震, 震中距天水台 155 km, 地震前约 40 d 天水台井下地电阻率出现异常。EW 在 6 月 11 日、NS 在 6 月 12 日均出现异常, 异常形态和芦山地震前的相似, 表现为明显的高频扰动; 幅度较芦山地震前的小, EW 异常时段波动变化幅度为  $\pm 0.03 (\Omega \cdot m)$ , NS 为  $\pm 0.02 (\Omega \cdot m)$ , N45°W 未显示明显异常。2013 年 6 月 17 日, 天水台结合地电阻率、流体学科资料异常, 向中国地震局和甘肃省地震局预报部门提交短临预报卡。

2017 年 8 月 8 日四川九寨沟发生  $M_s 7.0$  地震, 震中距天水台 240 km, 地震前约 5 个月, 天水台井下地电阻率出现异常。2017 年 4 月以来, 由于测区西侧修建麦积山公路, 在 7 至 11 点、14 至 18 点有大型机械间歇施工, 整点值形态受到影响, 高频扰动中夹杂有环境干扰, 日均值趋势较清晰。NS、EW 和 N45°W 均处于趋势转折阶段, 天水台地电阻率典型震例总结如表 2 所示。

表 2 地电阻率典型震例总结  
Table 2 Summary of typical earthquake cases of geo-electric resistivity

选取地震	时间指标	地点指标	震中距/km	强度指标	异常形态
四川芦山 $M_s 7.0$	异常开始距发震 11 d	四川芦山	540	7.0	NS、EW、NW 测值大幅度升高, 震后 12 d 恢复
甘肃岷县漳县 $M_s 6.6$	异常开始距发震 40 d	甘肃岷县	155	6.6	NS、EW、NW 测值波动幅度增大, 震后 3 d 恢复
甘肃天水 $M_s 4.3$ 、 甘肃临洮 $M_s 4.9$	异常开始距发震 4 个月	甘肃天水 甘肃临洮	5、 127	4.3 4.9	NS、EW、NW 测值波动幅度增大, 异常持续 4 个多月, 震后 15 d 恢复
四川九寨沟 $M_s 7.0$	异常开始距发震 5 个月	四川九寨沟	240	7.0	NS、EW、NW 测值波动幅度增大, 震后 3 d 恢复

综上分析认为, 从震前天水台地电阻率异常变化来看, 地电阻率整点值呈现高频扰动变化, 此时日均值

呈现趋势转折或趋势下降(见第 23 页图 6)。

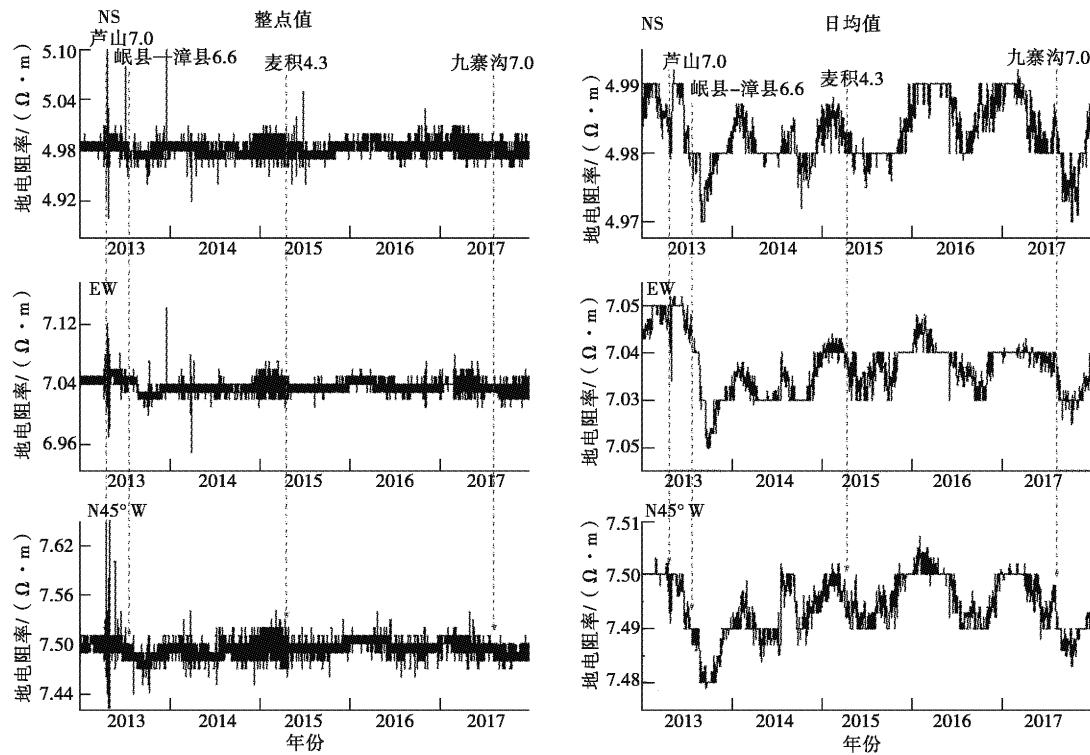


图6 各测道整点值、日均值及震例图

Fig. 6 Hourly point value, daily average value and earthquake example map of each survey track

根据地电阻率地表观测已有震例的分析和研究结果,认为地电阻率异常对7级以上大地震的检测能力较好,一般距震中300 km范围内的地电台站能记录到可辨认的较长趋势的中期或短期异常<sup>[8]</sup>。根据天水台井下地电阻率震例研究结果,2013年4月20日四川芦山M<sub>S</sub>7.0地震,天水台井下地电阻率距震中约540 km,在震前11 d出现异常。此种现象与地震的关系,需要结合其他井下地电阻率台站的已有震例做更多的研究。

#### 4 结论和讨论

通过对天水台井下地电阻率观测的分析,可得出如下结论:

(1) 天水台井下地电阻率外场地设施全部地埋,与架空线相比,在使用寿命、防风扰、防盗窃、防雷电方面有一定优势,能保证系统的长期稳定运行。自观测以来,各类校准、标定工作按《细则》进行,均符合要求。井下地电阻率测值相较地表具有测值平稳、年变幅度小、精度高的优势。

(2) 天水台井下地电阻率观测表现出较好的映震能力。震前异常表现为整点值曲线的高频扰动,日均值曲线呈趋势转折或趋势下降。

(3) 在观测期间,天水台地电测区受到麦积大道

扩建的影响,地理线遭到开挖损坏,维修成本高。因此,要做好地面标识,检查井、钢管防护等措施。观测井是一次性回填,做好井中线路、电极的连接及线路的对地绝缘是提高观测数据质量的前提。井下地电阻率在一定深度地层观测,当地表观测场地存在大型机械施工干扰时,井下地电阻率观测值会受到一定影响,在资料分析中要仔细甄别,客观科学地分析资料变化。

#### 参考文献:

- [1] 康云生,安海静,马可兴,等.天水地电阻率地表与井下多种观测方式的试验分析[J].地震,2013,35(1):190-195.
- [2] 刘君,杜学彬,陈军营,等.地表与井下地电阻率观测数据[J].地震,2015,35(1):112-122.
- [3] 赵斐,张远富,李旭升.平凉崆峒台井下地电阻率观测数据分析研究[J].山西地震,2017,(3):34-39.
- [4] 高曙德,郑卫平,安海静,等.井下地电阻率观测异常核实实例[J].地震工程学报,2016,38(S2):240-249.
- [5] 樊晓春,吴帆,袁慎杰,等.江宁地电台地表与井下地电阻率观测数据分析[J].地震地磁观测与研究,2019,40(5):63-69.
- [6] 中国地震局.《地震前兆台网运行管理细则——地电》[M].北京:地震出版社,2016;1-16.
- [7] 高曙德.井下地电观测技术在地震监测中的应用探讨[J].地球物理学进展,2016,31(5):2078-2088.
- [8] 钱家栋,陈有发,金安忠.地电阻率法在地震预报中的应

用[M].北京:地震出版社,1985:226-266.

## Application and Discussion of Deep Well Geo-electric Resistivity Observation Technology——Taking Tianshui Geo-electric Station as an Example

YAO Sai-sai, ZHAO Jie, CHEN Xue-mei, AN Zhen-ning, ZHANG Xiao-yang

(China Earthquake Administration Lanzhou Institute of Seismology, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** Taking the deep well geo-electric resistivity observation of Tianshui Geo-electric Station as an example, the daily mean value, root mean square error and annual precision data of deep well and surface observation data from 2011 to 2020 are compared and analyzed from the difference of observation system, station site conditions and observation methods. The results show that the site conditions, observation system and calibration of Tianshui Geo-electric Station meet the requirements of “Detailed Rules for the Operation and Management of Earthquake Precursor Networks-Geoelectricity”. The accuracy of the deep well observation data is better than that of the surface observation. During the observation period, before an earthquake occurs in the adjacent area, there are obvious short-term and imminent anomalies in the deep well geo-electric resistivity, which is of reference significance for monitoring earthquakes in this area and adjacent areas.

**Key words:** Data analysis; Deep well geo-electric resistivity; Calibration; Summary of earthquake cases

(上接第8页)

## Comparative Observation Test of AlphaGUARD Radon Detector and FD—125 Water Radon Detector in Xiaxian Seismic Station

YAO Lin-peng<sup>1,4</sup>, FAN Chun-yan<sup>2</sup>, XUE Liang<sup>1,4</sup>, LI Min<sup>1,4</sup>, LI Xiao-rui<sup>1,4</sup>, LIU Guo-jun<sup>1,4</sup>, MU Hui-min<sup>3,4</sup>

(1. Yuncheng Earthquake Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Xiaxian, Shanxi 044400, China;

2. China Seismic Network Center, Beijing, 100045, China; 3. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

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

**Abstract:** Due to the inconvenience in the transportation of solid radon source and strict radioactive supervision requirements, the calibration of FD—125 radon detector in Xiaxian Seismic Station was affected. The AlphaGUARD radon detector was therefore introduced for water radon observation experiment. Through the comparative analysis of the observation error results of AlphaGUARD radon detector and FD—125 water radon detector, the results show that the measurement value of AlphaGUARD radon detector is relatively stable and close to that of FD—125 water radon detector in Xiaxian Seismic Station, which is feasible to replace FD—125 water radon detector and calibrate its K value.

**Key words:** AlphaGUARD radon detector; FD—125 water radon detector; Dissolved water radon; Instrument calibration

(上接第17页)

## Typical Interference Elimination Method of Xiaxian Geoelectric Field Observation System

LIU Guo-jun<sup>1,3</sup>, LI Xiao-rui<sup>1,3</sup>, LIU Yao-kun<sup>2,3</sup>, CHANG Jiao<sup>1,3</sup>, YAO Lin-peng<sup>1,3</sup>

(1. Yuncheng Earthquake Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Yuncheng, Shanxi 044400, China;

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

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

**Abstract:** By analyzing the observation data of the Xiaxian geoelectric field since its establishment in 2018, the typical observation disturbances that have occurred are sorted out, the causes are analyzed, and the abnormal judgment standards and specific elimination and processing methods are proposed. The research results can provide experience reference for the interference elimination and anomaly identification of geoelectric field observation.

**Key words:** Geoelectric field; Interference preclusion; Observation instruments; Step change

# 基于微信平台的地震信息服务平台设计与实现

闫晓美<sup>1,2</sup>,张正霞<sup>1,2</sup>,谷利国<sup>1,2</sup>,罗勇<sup>1,2</sup>,王宁<sup>1,2</sup>,张娜<sup>1,2</sup>

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

**摘要:** 基于微信平台,采用Java语言和MySQL数据库技术,研发晋震信息服务系统。平台可为用户提供地震速报、历史地震查阅、烈度反馈及灾情上报功能,为公众获取地震信息、反馈震情、灾情提供便利,以提高地震部门的信息服务水平。

**关键词:** 地震;信息服务;微信平台

中图分类号:P315—39

文献标志码:A

## 0 引言

2022年2月25日,中国互联网络信息中心(CNNIC)第49次《中国互联网络发展状况统计报告》指出,截至2021年12月,我国网民规模达10.32亿,网民人均每周上网时长达28.5 h,使用手机上网的比例达99.7%<sup>[1]</sup>,微信的月活跃用户数提升至12.63亿。目前,微信已成为一个强大的移动服务平台,是公众获取信息、咨询服务、交流互动的重要渠道。随着用户对政务服务的迫切需求,基于微信平台开发的各类政务服务和应用程序逐渐增多。如,农业方面,开发基于微信平台的农牧业生产信息技术服务系统,为广大农牧业生产者提供能够学习农牧业科技知识,获取种养技术指导的农牧业服务平台<sup>[2]</sup>;医疗行业开发出基于微信的医疗就诊系统,实现便捷化的咨询就诊,有效提升医院管理和服务水平<sup>[3]</sup>;还有学者研究基于微信小程序的企业信息服务平台,实现企业的分类管理、信息上传、产品展示等功能<sup>[4]</sup>;地震部门通过开通微信公众号,开展科普宣传和信息服务工作。目前,山西省地震局(以下简称山西局)的信息发布主要通过门户网站、微博等新媒体,现有的公众号缺少地震实时推送功能。因此,针对山西局地震信息服务平台建设滞后、公众获取地震信息渠道受限、地震信息服务水平较低等现象,开发基于微信的地震信息服务平台,实时准确发布最新地震消息,实现地震日报查阅、烈度反馈、灾情上报等功能,为公众及时获取地震信息提供渠道,同时不断提高山西局的公共服务水平。

## 1 系统开发平台及技术

笔者基于微信公众平台,建立微信公众服务号——晋震信息服务,应用微信平台提供的二次开发接口,采用Java和MySQL数据库技术,建设后台服务系统。系统服务框架如第26页图1所示,由用户端、后台服务层、数据存储层组成。用户端主要为微信用户提供服务平台,分为地震服务、上报反馈、地震日报3个一级菜单和5个子菜单;后台服务层主要用于构建管理系统,存储、展示用户端信息,实现信息的增、删、改和查询功能;数据存储层主要依托EQIM数据库,定期采集数据并存储于地震数据库,通过网站服务器将该数据与后台管理系统进行交互,由后台管理系统将信息推送给用户端,满足用户的信息需求<sup>[5]</sup>。

## 2 系统设计思路及技术路线

### 2.1 设计思路

系统自上而下实现震情信息和地震日报推送,自下而上实现灾情上报和烈度反馈。设计思路为:搭建微信公众平台的系统后台及震情信息数据库,选择性地提取EQIM系统地震信息,通过与地震官方微信平台的一体化集成,实现震情推送、地震日报查询;用户通过服务平台前端页面提供的表单上传功能实现信息反馈,表单涵盖灾情上报、震感情况、烈度反馈等内容。

### 2.2 技术路线

系统整体技术路线如第26页图2所示。根据用户信息需求,采集地震速报、地震日报数据库的数据信

收稿日期:2022-04-10

第一作者简介:闫晓美(1984—),女,山西临汾人。硕士研究生,工程师,主要从事地震信息服务与防震减灾科普宣传工作,E-mail:37198776@qq.com。

通讯作者:张正霞(1975—),女,山西五台人。副研究员,主要从事防震减灾科普宣传及期刊编辑工作,E-mail:420617648@qq.com。

息,分析处理后,存储到 MySQL 数据库,通过地震信息服务系统反馈用户。当用户端进行灾情上报和烈度反馈操作后,首先采集用户端提交的表单信息,包括烈度反馈、灾情上报、用户基本信息、用户定位等,将信息存储到系统数据库,再通过系统查阅相关信息。

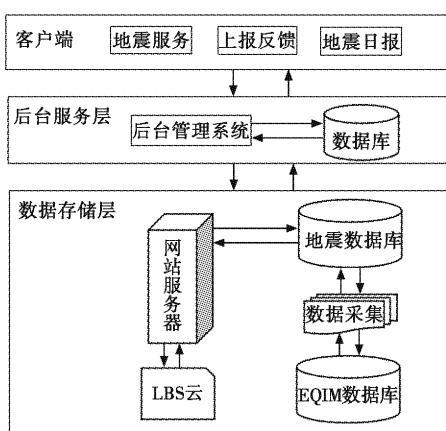


图 1 系统架构图

Fig. 1 System architecture diagram

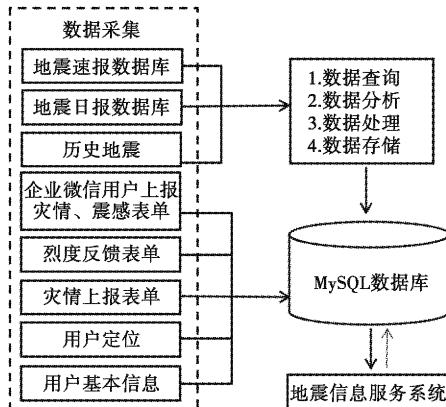


图 2 整体技术路线图

Fig. 2 Overall technical roadmap

### 3 系统功能设计

#### 3.1 用户端功能模块设计

基于微信平台的地震信息服务系统,以山西局地震信息、历史地震数据库为基础,采集生成地震速报、地震日报、历史地震等信息服务资料。用户端功能模块由地震服务、上报反馈、地震日报组成(见图 3)。

(1) 地震服务模块主要以图文形式向微信客户端用户推送震情信息(震中、发震时间、震级)。当用户点击“地震服务”,出现最新地震、附近地震、历史地震

3个子菜单;点击“最新地震”,将以图文形式显示全国发生的最新地震,并在地图上显示地震发生的具体位置及其他参数等;点击“附近地震”可查阅山西省内最新地震情况;“历史地震”以时间倒序的方式排列发生的地震,展示方式如图 4 所示。

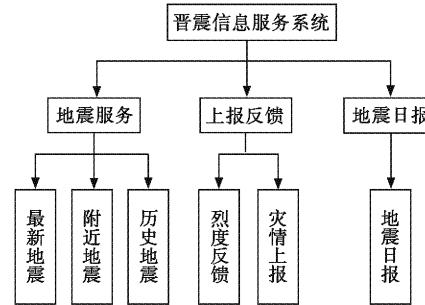


图 3 用户端系统功能模块图

Fig. 3 Functional module diagram of user terminal system



图 4 最新地震、历史地震展示

Fig. 4 Display of the latest earthquakes and historical earthquakes

(2) 上报反馈模块是为用户提供震后互动的平台,用户可及时反馈震后灾情和震感(见第 27 页图 5)。用户点击“灾情上报”,平台将自动跳转到该页面,包括用户姓名、电话、灾情、社会影响等内容。用户根据提示的灾情信息填写后,点击“上报信息”按钮,完成灾情信息的上报;“烈度反馈”主要实现用户提供震后烈度的反馈,当用户点击该选项,平台跳转至烈度选择页面,显示 12 个烈度等级,用户根据震感情况选择相应的烈度等级,最后点击“上报信息”按钮,完成烈度信息反馈。

(3) 地震日报模块为用户提供山西省内每日地震情况,以地震三要素(震中、发震时间、震级)的形式展示,配有显示地震发生位置的地图(见第 27 页图 6)。



图 5 灾情上报、烈度反馈界面

Fig. 5 Disaster reporting and intensity feedback interface

### 3.2 后台管理系统

后台管理系统用于管理、展示、存储用户端收集到的相关数据和信息。主要应用 MySQL 数据库技术建立系统数据库,对接原有 EQIM 数据库数据,完成数据的存储和传输。功能包含系统管理、系统监控、首页统计、微信管理、历史地震列表、地震日报列表等模块(见图 7)。系统管理实现菜单、用户、角色、部门的增、删、改功能;系统监控实现在线用户、操作日志、登录时间、登录名称的监控和管理;微信管理模块用于查阅微信用户的昵称、性别、身份、关注时间、取关时间等;历史地震模块可实现历史地震的查看、搜索、删除功能;地震日报模块实现省内每日地震的查看、搜索、删除功

能;烈度反馈模块实现震感情况、上报人、上报时间、上报位置及地震三要素等信息的查阅和展示;灾情上报模块实现上报人、联系方式、灾情情况、社会影响等信息的查阅和展示。

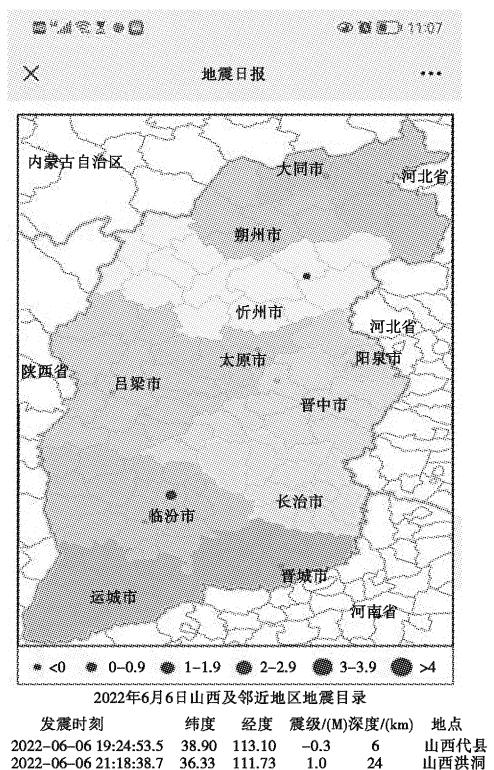


图 6 地震日报界面

Fig. 6 Seismic daily report interface



图 7 后台管理系统首页

Fig. 7 Home page of background management system

## 4 系统的运行及改进

该平台的服务功能已推广应用为企业微信,在企

业微信开发“晋震服务”的应用,添加烈度上报、灾情上报、历史地震、地震日报等功能,完成服务平台与企业微信的对接(见第 28 页图 8)。地震发生后,企业微信

用户可通过“晋震服务”，上传当地的地震破坏、受灾、伤亡情况等。系统为震后应急救援工作及时获取灾情信息提供数据支撑。

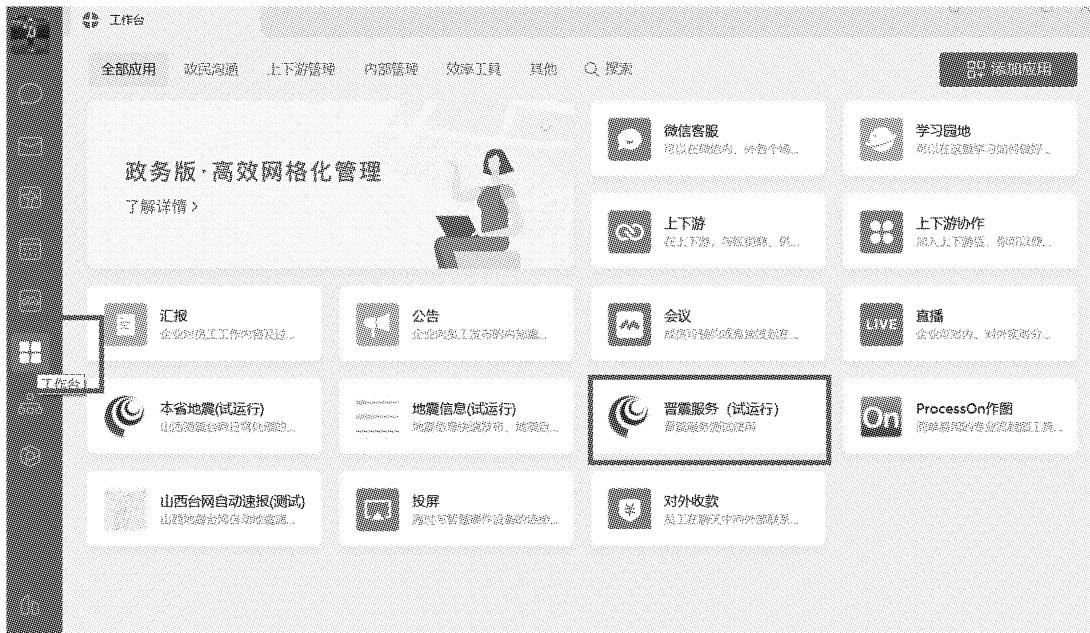


图 8 企业微信中的应用展示  
Fig. 8 Application display in enterprise WeChat

在运行过程中发现，该平台还存在一定的功能缺陷。如，只有微信关注用户才可浏览和推送震情信息或上传震情烈度；平台端未提供避震场所查询等功能。因此，还需从技术层面完善服务平台，增设避难场所查询、在线科普、地震常识学习等功能，提高平台的实用性。

#### 参考文献：

- [1] 中国互联网络信息中心·第49次《中国互联网络发展状况统计报告》[R/OL]. (2022-02-25)[2022-03-25]. <http://www.cnnic.net.cn/hlwfzyj/hlxzbg/hlwjbg/202202/>

t20220225\_71727.htm.

- [2] 任婷婷,辛庆强,吕 献,等.基于微信平台的农牧业生产信息技术服务系统设计与应用[J].畜牧与饲料科学,2020,41(6):67-71.
- [3] 李锦程.基于微信平台的医疗就诊系统设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016:1-72.
- [4] 张 睿,沈 浩,徐伟倩,等.基于微信小程序的企业信息服务系统设计与实现[J].电脑与电信,2019(12):53-56.
- [5] 魏艳杰.地震官方微博公众服务平台的设计与实现[D].石家庄:河北科技大学,2019:1-63.

## Design and Implementation of Earthquake Information Service System Based on WeChat Platform

YAN Xiao-mei<sup>1,2</sup>, ZHANG Zheng-xia<sup>1,2</sup>, GU Li-guo<sup>1,2</sup>, LUO Yong<sup>1,2</sup>, WANG Ning<sup>1,2</sup>, ZHANG Na<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** Based on WeChat platform, this paper uses Java language and MySQL database technology to develop Shanxi earthquake information service system. The platform can provide users with earthquake quick report, historical earthquake review, intensity feedback and disaster reporting, and provide convenience for the public to obtain seismic regime and feedback condition of disaster, so as to improve the information service level of the earthquake department.

**Key words:** Earthquake; Information service; WeChat platform

# 极低频 ADU-07e 主机远程视频监控系统的设计与实现

王向亮,丁成

(河北省地震局承德地震监测中心站,河北 承德 067000)

**摘要:**采用模拟Http请求、AForge.NET库、Socket通讯、Motion等技术,应用C#及python语言开发完成极低频ADU-07e主机远程视频监控软硬件系统,分为服务器端和客户端两部分。服务器端由硬件(树莓派、继电器模块和摄像头模块)及软件(Motion, tcp服务器 python程序)组成,安置于丰宁台电磁观测站极低频主机室内,响应台站客户端的远程控制请求,向台站客户端提供极低频主机视频图像信息;客户端为台站工作电脑上的极低频视频监控软件,主要包含主机状态显示异常报警、主机视频信息显示及极低频主机远程通断电控制3个模块。该系统的建成可提升地震观测资料的连续率和观测质量,节约台站运维成本,提高工作效率。

**关键词:**树莓派;视频监视;继电器

中图分类号:P315—39

文献标志码:A

## 0 引言

随着“极低频探地(WEM)工程”项目的实施,2013年丰宁台电磁观测站增设极低频GMS-07e综合电磁法仪(以下简称极低频)。观测系统主要由用于数据采集的ADU-7e主机,存储数据的DELL服务器,观测电场南、北、东、西四个方向的电极,观测磁场南北、东西、垂直三个方向的磁探头及太阳能板、蓄电池组的供电系统组成。其中,ADU-7e主机是极低频系统的核心设备。

为保证极低频系统正常工作,除进行定时巡检外,主要通过人工查看极低频主机网页来判断主机的工作状态,现有时未及时发现主机异常状态的情况。当主机死机时,一般通过现场断电重启进行恢复。位于达二营的丰宁电磁观测站距丰宁台车程20 min左右,主机的故障影响数据记录,增加台站运维成本。为保证极低频观测的连续率及数据质量,节约运维成本,笔者试图研发一种极低频ADU-07e主机远程视频监控系统。该系统可自动查询极低频主机状态,及时发现主机异常并提醒工作人员;工作人员也可应用本系统软件查看仪器面板信息状态,通过远程通断电控制功能,实现对极低频主机的远程断电重启。

## 1 系统设计

### 1.1 系统的体系结构

极低频视频监控系统采用C/S架构。其中,服务

器端由树莓派、继电器模块和摄像头模块组成,安置于丰宁台电磁观测站极低频主机室内,主要功能是响应台站客户端的远程控制请求,向台站客户端提供极低频主机视频图像信息;客户端为台站工作电脑上的极低频视频监控软件,主要包含极低频主机状态显示异常报警、极低频主机视频信息显示和极低频主机远程通断电控制3个功能模块。

当系统部署完成后,台站工作人员可通过极低频视频监控系统客户端软件查看极低频主机状态。当主机状态异常时,该客户端软件可实现弹窗报警、声音报警及向通讯录内人员发送邮件报警;通过视频监控功能,可查看当前极低频主机的指示灯状态,判断仪器工作状态;通过远程通断电控制功能,可查看当前通断电状态,当仪器主机状态异常,可进行主机断电及通电操作(相当于工作人员在现场直接进行断电重启)。极低频视频监控系统架构如图1所示。

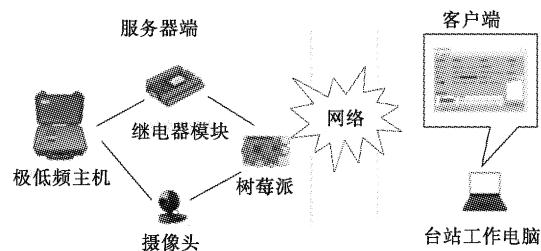


图1 系统示意图

Fig. 1 System diagram

收稿日期:2022-06-11

第一作者简介:王向亮(1972—),男,河北承德人。助理工程师,主要从事地震监测工作,E-mail:371882866@qq.com。

通讯作者:丁成(1989—),男,河北丰宁人。工程师,主要从事地震监测工作,E-mail:dingbule@126.com。

## 1.2 系统软件设计

极低频远程视频监控系统客户端软件由视频监视、主机状态显示、通断电控制、报警功能及软件配置5个功能模块组成(见图2)。

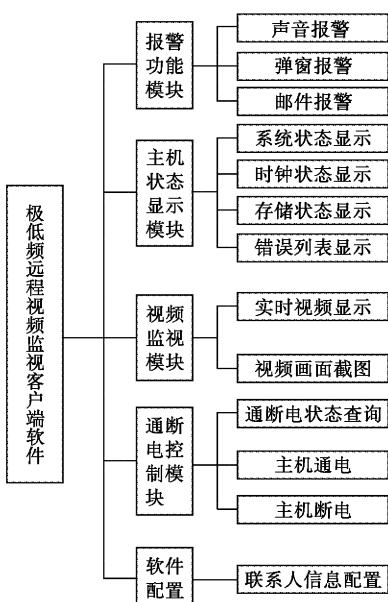


图2 软件功能架构

Fig. 2 Software functional architecture

极低频远程视频监控系统客户端软件业务流程如图3所示。客户端软件启动后,通过向主机发送查询请求,在软件主界面显示当前仪器的GPS状态、数据记录状态、主机时间、主机电压值等信息。当返回的主机状态信息中存在异常时(如,主机时间与当前时间不一致),汇集各种异常,以弹窗、声音、邮件等方式发布报警信息。当工作人员接收报警信息后,通过异常状态,结合远程视频信息,对异常进行初步判断。如,主机需要重启,可通过远程通断电控制功能实现主机的远程重启。

极低频远程视频监控系统服务器端主要基于树莓派作为服务器接收客户端的请求。服务器端的程序配置主要包括摄像头模块和继电器控制模块。树莓派是由注册于英国的慈善组织“Raspberry Pi基金会”开发的一款基于ARM的微型电脑主板,外形如信用卡片大小,使用5V/Micro USB电源输入。以TF卡为内存硬盘,操作系统采用开源的Linux系统,如,Debian、ArchLinux等;也可采用Windows系统,如,简化的Windows on Raspberry。树莓派提供WiFi、蓝牙、USB、RJ45以太网接口,可运行开源软件,满足网络服务等基本功能。用户可通过外置显示器、键盘、鼠标进

行配置操作<sup>[1]</sup>。该系统的树莓派安装的是Linux操作系统。

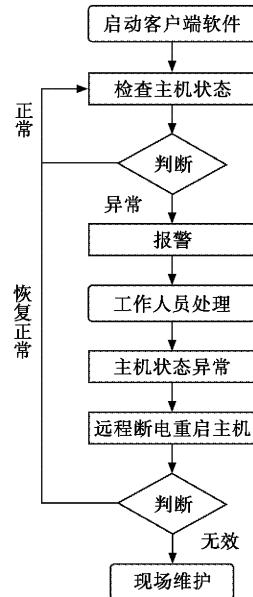


图3 客户端软件业务流程

Fig. 3 Client software business process

摄像头模块应用的是Motion软件。Motion是Linux下一款免费且开源的摄像头监控程序。通过安装配置Motion软件,在客户端软件中可查看树莓派摄像头的视频画面<sup>[2]</sup>;继电器控制模块通过在树莓派运行tcp服务器端python程序,接收并执行从客户端发来的对继电器的各种操作指令,对继电器的操作通过树莓派GPIO接口实现。GPIO(General Purpose Input Output)是树莓派的通用输入、输出接口,用户可通过GPIO接口和硬件进行数据交互(如,UART)、控制硬件工作(如,LED、蜂鸣器等)、读取硬件的工作状态信号(如,中断信号)等。GPIO接口使用广泛,编程人员可通过在程序中控制GPIO来实现控制硬件。系统服务器端python程序中继电器控制关键代码如下:

```
# 导入 GPIO 库
import RPi.GPIO as GPIO
# 设置继电器应用的引脚号
Relay_Ch1 = 26
# 设置 GPIO 的编号方式为 BCM
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
# 设置继电器所用到的引脚为输出模式
GPIO.setup(Relay_Ch1,GPIO.OUT)
# 将继电器引脚设置成高电位,此时,继电器常闭端闭合,常开端打开
```

```
GPIO.output(Relay_Ch1,GPIO.HIGH)
```

#将继电器引脚设置成低电位,此时继电器常闭端打开,常开端关闭

```
GPIO.output(Relay_Ch1,GPIO.LOW)
```

## 2 系统实现

极低频远程视频监控系统分服务器端和客户端。其中,客户端软件通过模拟 Http 请求、AForge.NET、

Socket 通信等技术实现。服务器端由硬件部分树莓派、继电器模块、摄像头及运行于树莓派中的继电器控制服务器程序和 Motion 视频监视软件组成。服务器端和客户端通过网络形成统一整体。

### 2.1 客户端

客户端软件应用 C# 语言进行开发,仪器状态界面包括系统状态区、时钟状态区、存储状态区、总体状态区、信息提示区及错误信息列表区(见图 4)。

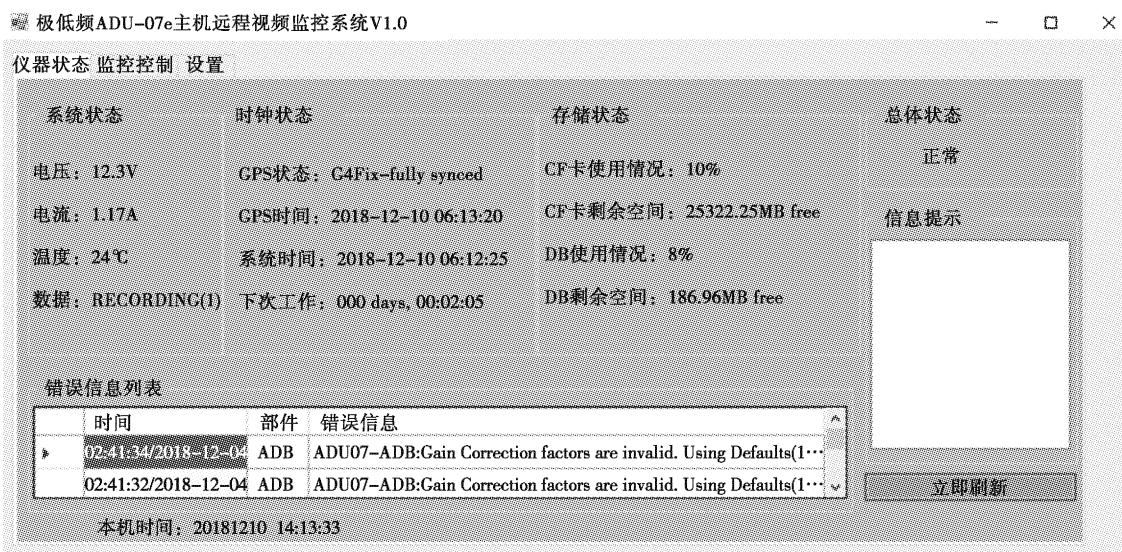


图 4 仪器状态界面

Fig. 4 Instrument status interface

监控控制界面包含视频监视区、信息显示区及重启控制区。其中,客户端的监控功能主要使用 AForge.NET 框架实现。AForge.NET 基于 C# 语言设计,在计算机视觉和人工智能方面拥有强大功能

的开源框架<sup>[3]</sup>(见图 5);设置界面提供联系人编辑功能,当出现异常时,软件向联系人列表发送邮件(见第 32 页图 6)。

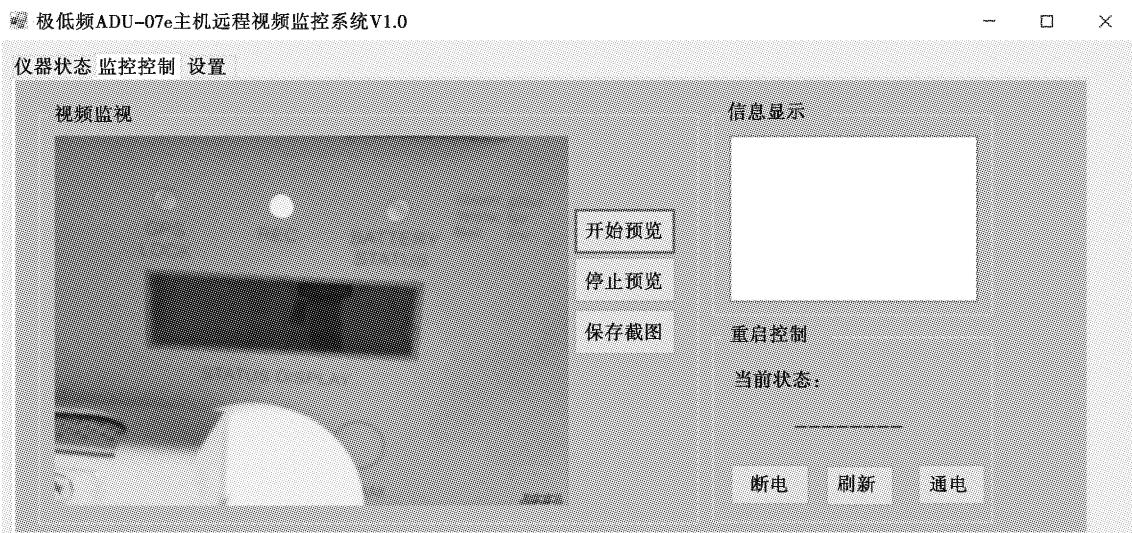


图 5 监控控制界面

Fig. 5 Monitoring control interface



图 6 设置界面及收到的报警邮件  
Fig. 6 Setting interface and received alarm mail

## 2.2 服务器端

服务器端由树莓派、继电器、摄像头组成(见图7)。树莓派型号为树莓派3B型,博通BCM2837B0芯片组,集成四核ARM Cortex-A53(ARMv8)64位@1.4GHz CPU,集成博通Videocore-IV GPU,内存为1GB LPDDR2 SDRAM;有线网络为千兆以太网(通过USB2.0通道,最大吞吐量300Mbps),无线网络为2.4GHz和5GHz双频Wi-Fi,支持802.11b/g/n/ac。摄像头选用的是树莓派摄像头,具有500万像素,感光芯片OV5647。摄像头参数CMOS,尺寸1/4英寸,光圈(F)2.9,焦距3.51mm,对角视场角(FOV)69.1度,传感器像素1080p,该摄像头可直接连接树莓派进行使用;继电器为微雪三路继电器扩展板,采用优质继电器,负载达交流250V/(5A),直流30V/(5A)。带光耦隔离,避免高压电路干扰。带继电器指示灯,方便查看继电器的工作状态。通过控制两路继电器的闭合及打开,完成主机的断电及重启。

服务器端的软件使用python编写TCP服务器程序<sup>[4]</sup>,用于接收客户端发送的控制命令。

## 3 系统测试

为减少对极低频主机的影响,采用一个工作电压12V的电灯泡进行继电器控制测试,电路连接方式与极低频主机电路方式一致(见第33页图8、图9)。正常情况下,供电电路处于闭合状态,灯泡亮(极低频主机通电中);当通过客户端点击“断电”按钮,供电线路处于打开状态,灯泡灭(极低频主机断电中)。

2018年12月7日07:25(世界时),极低频主机的GPS状态出现异常,软件开始报警。通过视频监视功能,查看到当时GPS灯处于闪烁状态,说明GPS未能完全同步(见第33页图10)。



图 7 树莓派、继电器及摄像头  
Fig. 7 Raspberry pi, relay and camera

## 4 结语

极低频ADU-07e主机远程视频监控系统可自动定时查看主机状态,出现异常时进行报警;配合网络摄像头和远程电路控制器,实现对极低频主机远程断电重启,实时观察重启后仪器面板的状态。该系统有助于提高观测资料的连续率和观测质量,节约台站运维成本,提高工作效率。

## 参考文献:

- [1] 胡松涛.树莓派开发从零开始学[M].北京:清华大学出版社,2016:4-6.
- [2] Spoony.树莓派+motion安装摄像头实现远程监控[EB/OL].[2016-09-01/2022-03-12].<http://shumeipai.nxez.com/2016/09/01/raspberry-pi-motion-cameras-for-remote-monitoring.html>.



图 8 通电界面  
Fig. 8 Power on interface

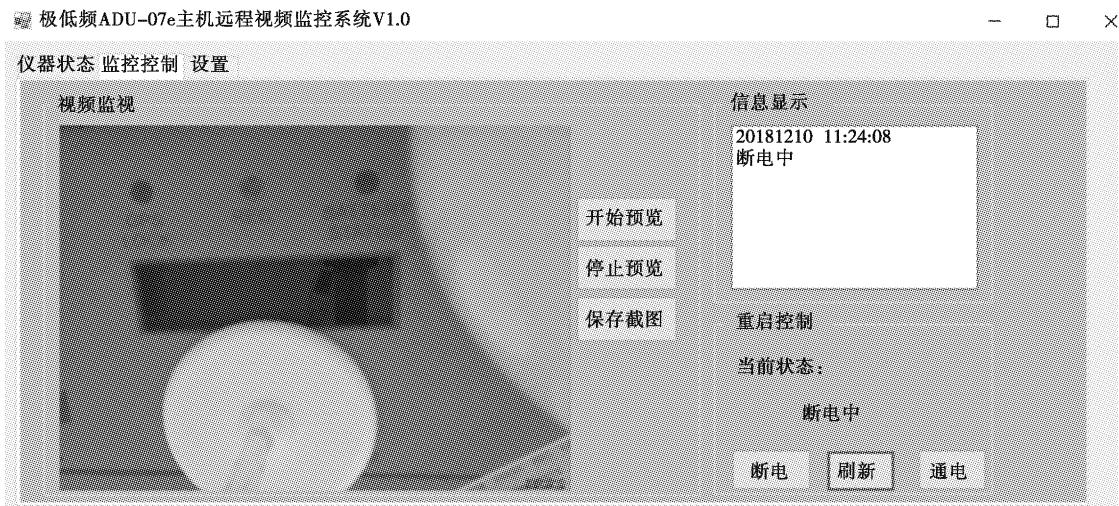


图 9 断电界面  
Fig. 9 Power off interface

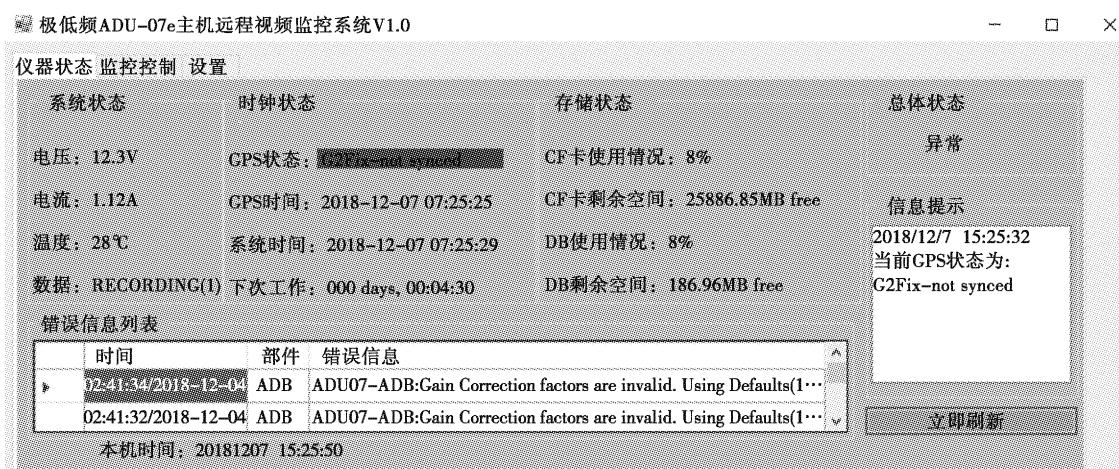


图 10 GPS 异常界面  
Fig. 10 GPS abnormality interface

# 河北省地震局单机多屏地震信息展示系统的设计与实现

魏艳旭,李振波,李红梅,崔磊

(河北省地震局,河北 石家庄 050021)

**摘要:**针对传统地震信息展示方式单一且更新方式效率低的问题,河北省地震局以单机多屏技术为基础,运用 SpringMVC+MyBatis+Jsp 语言进行软件开发,设计完善的地震信息展示系统解决方案。通过软件管理及发布文字、图片、视频等信息到大屏进行同步显示,实现多种媒体格式的信息发布。该系统的运用,可实现地震行业信息的快速发布、精准管理和高效展示,起到较好的宣传效果。

**关键词:**大屏幕;多媒体;单机多屏;地震信息

中图分类号:P315—39

文献标志码:A

## 0 引言

随着信息技术与网络技术的发展,公众对信息的质量要求更高,图像和视频成为获取信息最直观便捷的形式。当前,各行业采用大屏幕进行多媒体信息展示得到普及,已应用于交通、医院、展馆等公共服务领域<sup>[1-2]</sup>。基于大屏幕的多媒体信息展示,画面丰富清晰,集图像与声音于一体,能满足听觉及视觉的感受,产生较好的宣传效果。同时,LED 电子显示屏集微电子技术、计算机技术、信息处理于一体,具有色彩鲜艳、动态范围广、亮度高、寿命长、工作稳定可靠等优点<sup>[3-5]</sup>。

河北省地震局早期采用液晶屏幕进行地震信息宣传,展示的内容和更新方式受到局限,仅展示文字格式信息,且文字内容需要人工手动更新。对于地震速报信息不能实时更新,信息传播效果较差。因此,亟须建设一套自动化的多媒体信息综合展示平台。该展示平台通过实时自动更新和人工上传两种方式,实现单台服务器控制两台大屏幕展示不同内容的多媒体信息。该研究从硬件和软件层面对单机多屏信息展示系统方案进行探讨,研发出基于 B/S 架构的单机多屏地震行业信息展示系统,实现大屏展示信息的灵活多样。

## 1 系统硬件构成

在硬件方面,系统配置一台高性能主机及两台大屏幕、一台显示器。两台大屏幕用于宣传展示,一台显示器用于日常管理及更新等操作。大屏幕显示系统硬件主要包括 LED 显示屏体、LED 大屏控制系统、视频

服务器、光纤收发器、音箱及线缆辅材等。针对两个大屏幕不同的环境及显示需求,一台大屏采用屏幕像素点距为 P1.53 mm 的小间距 LED 拼接屏,另一台大屏采用 2.5 mm 的小间距 LED 拼接屏。服务器运用多接口独立显卡技术,采用华硕 ASUS GT710—4H—SL—2GD5 四个 HDMI 接口多屏显示单插槽显卡,实现一台计算机连接多台屏幕,使多个窗口以全屏的方式在不同的屏幕上显示。鼠标可在多个屏幕间任意移动,用户可按序将光标由一个屏幕移动到另一个任意屏幕上,LED 显示系统拓扑图如第 35 页图 1 所示。另外,增加配套的多功能卡,安装在配电柜中,通过使用 u 口连接到 LED 大屏控制系统,运用软件来控制大屏幕的定时开关机。

## 2 系统功能架构

### 2.1 系统整体架构

大屏幕信息管理系统软件采用 B/S 架构,应用 MySQL 数据库存储地震信息等数据,基于 SpringMVC+MyBatis+JSP 进行软件开发,采用 Tomcat 作为 Web 服务器中间件,使用 AJAX 技术实现异步交互、CSS 样式制作 HTML 前台网页。

系统由表现层、应用层和数据层 3 个层次构成(见第 35 页图 2)。数据层管理地震信息数据,通过 Web 中间件与 Web 服务器进行交互;应用层接收处理表现层用户发送的请求,生成动态网页,大屏幕管理系统的功能均在服务器端实现;表现层是用户访问系统的公共接口,用户通过 Web 浏览器将请求发送到 Web 服务器,访问大屏幕管理平台,实现信息上传,通过浏览

器在前端大屏幕展示。各层分别完成不同的功能服务,实现资源的合理配置,提高系统稳定性,便于维护和更新。

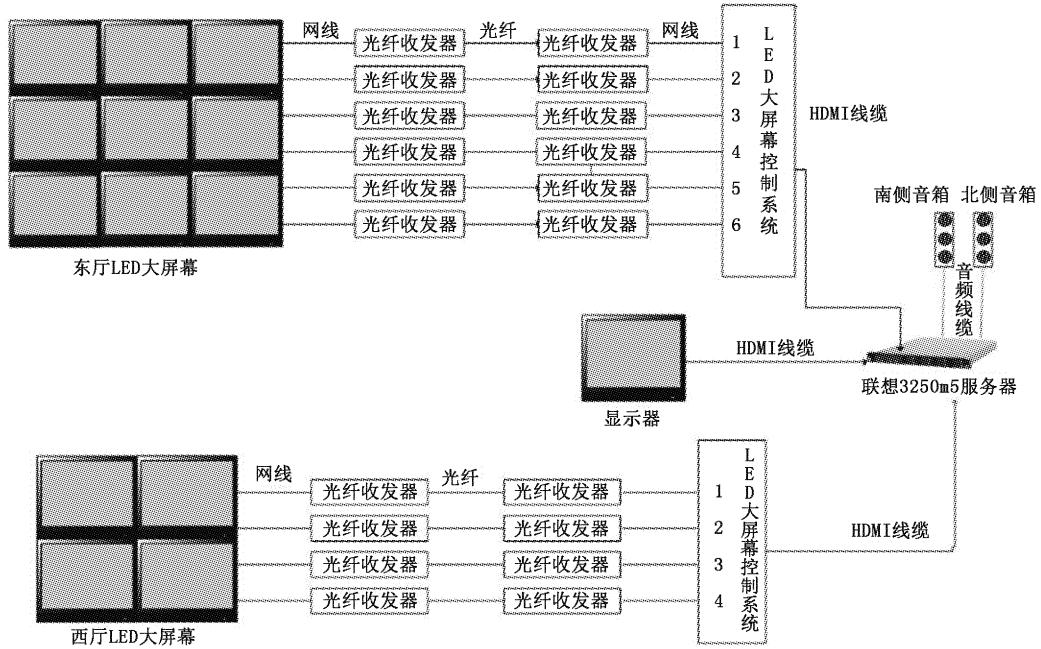


图1 大屏幕显示系统拓扑图  
Fig. 1 Large screen display system topological diagram

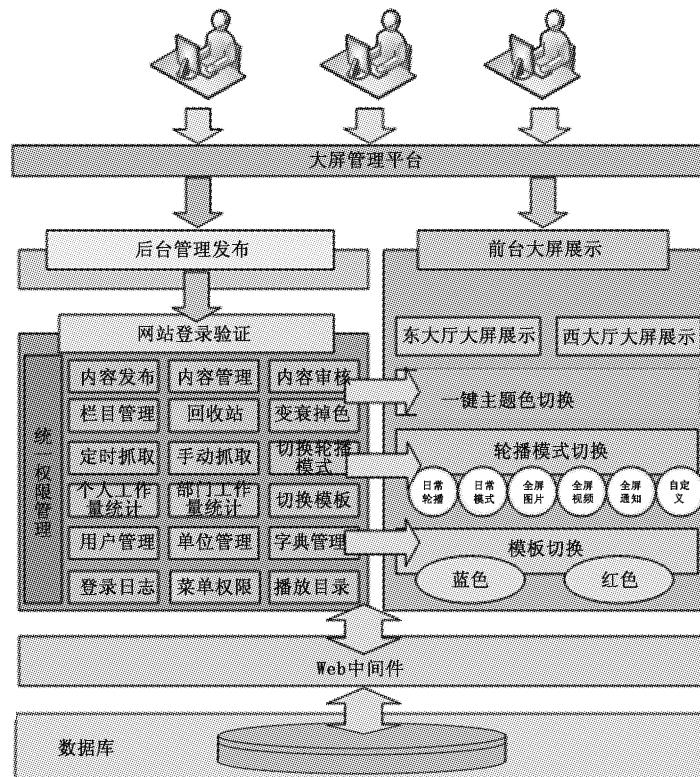


图2 软件总体架构  
Fig. 2 Overall software architecture

## 2.2 信息展示模式

根据大屏幕展示的需求及内容特点,展示模式分为日常模式、全屏图片模式、全屏视频模式、全屏通知模式四种。日常模式展示首页工作图片、冀震要闻、地震速报、首页滚动通知或宣传标语、天气和日期栏目。其中,冀震要闻、地震速报栏目设置为自动从门户网站实时抓取信息,首页图片及首页通知可通过管理系统后台上传及发布;全屏通知模式用于播放重要通知;全屏图片模式用于展示重要宣传节点及活动海报;全屏视频模式用于播放宣传短片。大屏幕播放海报或视频可用于节目表演的舞美布景,操作便捷灵活,屏幕亮度也可作为光源补充,提高视觉效果和体验感。首页图片、冀震要闻展示关键代码为:

```
public static List<CmsArticle> getDaping1_picAndVideo(){
    List<CmsArticle> list = null;
    int size = 0;
    String barid="";
    barid = "5,6";size=10;
    //先查找3天内的数据进行展示
```

```
list = WebArticleUtils_Three.getArticleList2
(barid,1000);
```

//如果3天内的数据小于10条,往前不限时间取10条数据

```
if(list==null || list.size()<10) {
```

```
list = WebArticleUtils_ALL.getArticleList2
(barid, size);
```

```
}
```

```
return list;
```

```
}
```

```
public static List<CmsArticle> getDaping1_news_dzsb(){
```

```
List<CmsArticle> list = null;
```

```
int size = 0;
```

```
String barid="";
```

```
barid = "2";size=11;
```

```
list = WebArticleUtils.getArticleList (barid,
size);
```

```
return list; }
```

日常模式展示效果如图3所示。

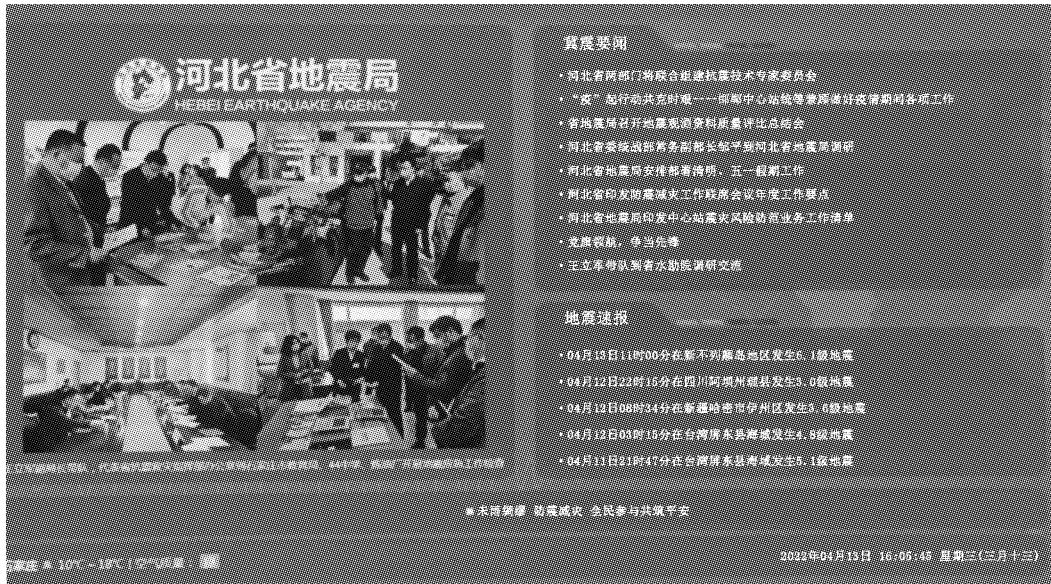


图3 东厅大屏幕日常模式效果图

Fig. 3 Daily mode renderings of the large screen in the east hall

## 2.3 信息获取方式

实现地震信息的自动获取,日常模式中“地震速报”为每5 min抓取一次信息,“冀震要闻”栏目设置为每天早七点和中午十二点自动抓取信息。除此之外,也可登录管理系统后台,点击相应按钮对两个栏目的

信息进行手动抓取,关键代码为:

```
List<CmsArticle> list = new ArrayList<CmsArticle>();
```

```
String url = HOST+LIST_URL;
```

```
trustAllHttpsCertificates();
```

```

HttpsURLConnection.setDefaultHostname-
Verifier(hv);
Document doc = Jsoup.connect(url).get();
Elements divs = doc.select("div.tt > div.file
> ul > li > a");
int i=0;
for (Element element : divs) {
    String href = element.attr("href");
    String title = element.attr("title");
    Element label = element.parent().select("la-
bel").first();
    String pubdate = label.text();
    pubdate = pubdate + " 00:00:00";
    String id = getId(href);
    String outurl = HOST+LIST_URL+href.re-
placeFirst(localFlag,"");
    if(href.startsWith(localFlag2)){
        outurl = HOST+LIST_URL+href;
    }
    if(! (href.startsWith(localFlag)|| href.star-
tsWith(localFlag2))){
        outurl = href;
    }
    log("%s\n\t%s", title, href);
    CmsArticle detail = new CmsArticle();
    detail.setId(id);
    detail.setTitle(title);
    detail.setBarid(BARID);
    detail.setOuturl(outurl);
    detail.setPubdate(pubdate);
    detail.setInfo_from(INFO_FROM);
    list.add(detail);
    i++;
    if(i==LIST_SIZE){
        break;
    }
}

```

#### 2.4 多用户在线操作

系统支持多用户登录操作,角色分为管理员、审核员、普通用户。普通用户登录后台管理系统,上传信息,由所在部门的审核员审核,审核通过后,显示到大屏上。审核员或管理员可直接上传并发布信息。

#### 2.5 多模式自动切换

大屏幕日常轮播模式为日常、全屏图片、全屏视

频、全屏通知四种模式按页面顺序循环播放。其中,日常、全屏图片、全屏通知页面保持 3 min 后切换下一屏页面;全屏视频在全部视频播放完毕后切换,当切换下一屏时,如果跳转到“全屏图片”或“全屏视频”或“全屏通知”页面,该页面无展示内容,会自动跳过该页面展示下一模式。如无特殊要求,平时采取日常轮播模式即可。管理员可根据不同情况,在后台设置单独播放一种模式的内容,也可进行不同模式的组合设置,即自定义模式,可采取“日常、全屏图片、全屏视频、全屏通知”四种模式任意组合轮播的模式。屏幕切换规则如第 38 页图 4 所示。自定义模式的部分代码如下:

```

if(StringUtils.isNotBlank(site_dp_zdy_style)){
    String[] zdys = site_dp_zdy_style.split(
        ",");
    boolean isHasThisPage = false;
    boolean isHasNextPage = false;
    String firstPageIndex = "";
    String firstPage = "";
    if(zdys!=null && zdys.length>0){
        firstPageIndex = zdys[0];
        if(firstPageIndex.equals("1")){
            firstPage = "daping1.jsp";
        }else if(firstPageIndex.equals("2")){
            firstPage = "daping2.jsp";
        }else if(firstPageIndex.equals("3")){
            firstPage = "daping3.jsp";
        }else if(firstPageIndex.equals("4")){
            firstPage = "daping4.jsp";
        }
    }
}

```

### 3 结语

河北省地震局建立的单机多屏信息展示系统,采用单台计算机控制两块大屏幕,方便、易用、维护成本低。通过基于 B/S 架构的软件管理系统进行信息管理,分别把不同的页面输出到两块屏幕进行播放,系统自动抓取“地震速报”“冀震要闻”等无须加工的信息,后台支持多用户上传并发布文字、图片、视频等多种格式信息,快捷、灵活,提高了工作效率。该系统发挥不同场所大屏幕的宣传展示功能,方便大家及时、直观地了解地震活动及防震减灾工作动态,有较强的表现力和影响力。大屏幕展示系统具有广阔的应用前景,适用于企事业单位、展馆、服务行业等领域。通过开展对该系统的应用研究,对单机多屏信息展示的研究具有一定的参考意义。

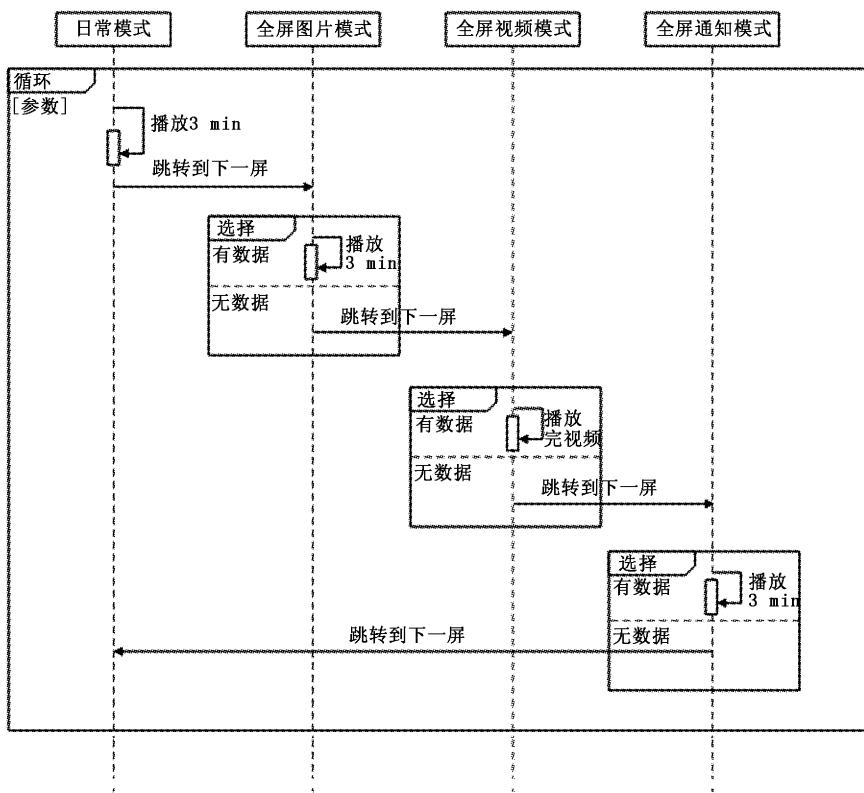


图4 屏幕切换规则  
Fig. 4 Screen switching rules

## 参考文献：

- [1] 陈 烨. B/S 结构的单机多屏联动技术在交通展示系统的实现与应用[J]. 信息系统工程, 2017, 8(8): 14-15.
- [2] 李建新, 郭 星, 刘政怡, 等. 大屏幕多媒体互动展示系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(10): 246-249.

- [3] 李建新. 大屏幕多媒体互动展示系统实现技术与设计[D]. 合肥: 安徽大学, 2012: 1-63.
- [4] 李厚恩, 余里程, 廖耀隆. 整合多种可视化技术的大屏幕展示系统设计与应用[J]. 现代信息科技, 2019, 3(4): 48-51.
- [5] 刘 氢. 大屏展示系统的设计与实现[J]. 电子技术与软件工程, 2021(9): 43-44.

## Design and Implementation of Stand-alone With Multi-screens Seismic Information Display System of Hebei Earthquake Agency

WEI Yan-xu, LI Zhen-bo, LI Hong-mei, CUI Lei

(Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang, Hebei 050021, China)

**Abstract:** In view of the problem that the traditional seismic information display mode is single and the update mode is inefficient, Hebei Earthquake Agency, based on the stand-alone with multi-screens technology, uses SpringMVC+ MyBatis+ Jsp language to develop software, and designs a perfect seismic information display system solution. Manage and release text, pictures, videos and other information to the large screen for synchronous display, and realize information release in multiple media formats. Since the application of the system in Hebei Seismological Bureau, it has achieved rapid release, accurate management and efficient display of seismic industry information, and played a good publicity effect.

**Key words:** Large screen; Multimedia; Stand-alone with multi-screens; Seismic information

# 忻州地震监测中心站 VP 型垂直摆倾斜仪典型故障及维护方法

沈魏乾<sup>1,4</sup>,李惠玲<sup>2,4</sup>,高龙飞<sup>3,4</sup>,李晨<sup>1,4</sup>,秦学理<sup>1,4</sup>

(1.山西省地震局忻州地震监测中心站,山西代县034200;2.山西省地震局,山西太原030021;  
3.山西省地震局大同地震监测中心站,山西大同037008;4.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:**通过对忻州地震监测中心站VP型垂直摆倾斜仪典型故障的梳理和分析,提出相应的解决措施。经维护,仪器正常运行,提升了观测数据的连续率、完整率和内在质量,同时也为台站仪器维护人员解决类似故障提供参考。

**关键词:**VP型垂直摆倾斜仪;典型故障;维护技术

中图分类号:P315.72<sup>+5</sup>

文献标志码:A

## 0 引言

VP型垂直摆倾斜仪(以下简称VP倾斜仪)是用于监测地倾斜固体潮与地震前兆信息的地形变观测设备,该仪器是近年来由中国地震局地震研究所,在VS摆式倾斜仪基础上研发的一种新型垂直摆倾斜仪<sup>[1]</sup>。相比传统的摆式倾斜仪,VP倾斜仪在映震能力、观测精度、灵敏度及抗干扰能力方面具有显著优势。

忻州地震监测中心站(以下简称忻州站)于2012年初安装VP倾斜仪,2013年1月1日正式入网。仪器安装初期存在机械漂移现象,运行一段时间后,漂移现象逐渐减弱,此后运行稳定,干扰较小。现对忻州站VP倾斜仪日常运行中出现的典型故障进行分析,提出运维改进措施,为台站仪器维护人员进行故障处理提供借鉴,为产出完整率高、可靠性强的地形变观测数据服务。

## 1 台址及测点概况

### 1.1 台站地理位置及地质条件

忻州站隶属山西省地震局,位于山西省代县峪口乡峪里村,地处五台山区边缘隆起区,滹沱河支流峪口河北岸二级阶地上,东邻忻定盆地南缘的五台山北麓断裂,西北距代县县城9 km,北部以恒山断块与大同盆地相隔,南部以石岭关横向隆起与太原盆地分开,自北向南由代县、原平、定襄3个凹陷组成,历史上曾发生过3次7级以上地震。

### 1.2 垂直摆测点

垂直摆测点位于忻州站的代县山洞内,山洞覆盖层厚度大于40 m。洞内安装水管倾斜仪、伸缩仪、BSQ倾斜仪及VP倾斜仪等多套形变仪器。其中,垂直摆倾斜仪安装在山洞尽头的观测室内,距离洞口约32 m,有3道船舱门密封(未浇筑水泥)。观测基墩建在基岩之上,长2 m,宽1.2 m(见图1)。

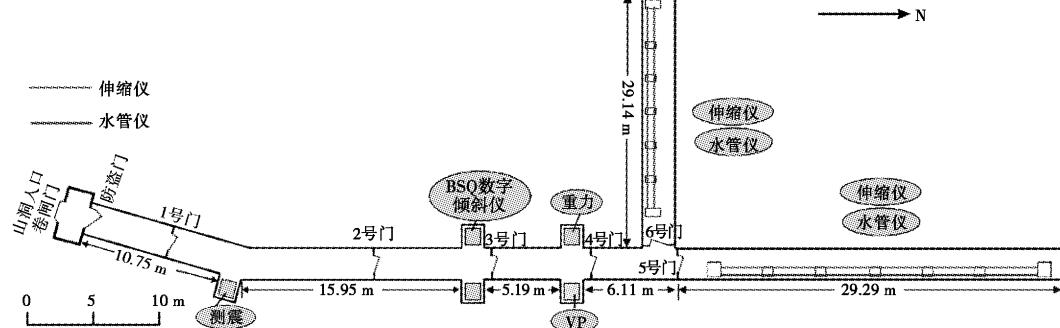


图1 代县地震台山洞测点分布图

Fig. 1 Distribution map of mountain cave survey points of Daixian Seismic Station

收稿日期:2021-09-25

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-2108)。

第一作者简介:沈魏乾(1994—),男,山西太原人。助理工程师,主要从事地球物理观测工作,E-mail:245616419@qq.com。

通讯作者:李惠玲(1980—),女,山西应县人。高级工程师,主要从事地震前兆监测工作,E-mail:king\_ling@126.com。

## 2 仪器结构及工作原理

VP 倾斜仪由垂直摆摆体、主机和数据采集器三部分组成<sup>[2]</sup>。其中,图 2a 为 VP 倾斜仪实物图,图 2b 为垂直摆摆体结构示意图,图 2c 为摆系示意图。

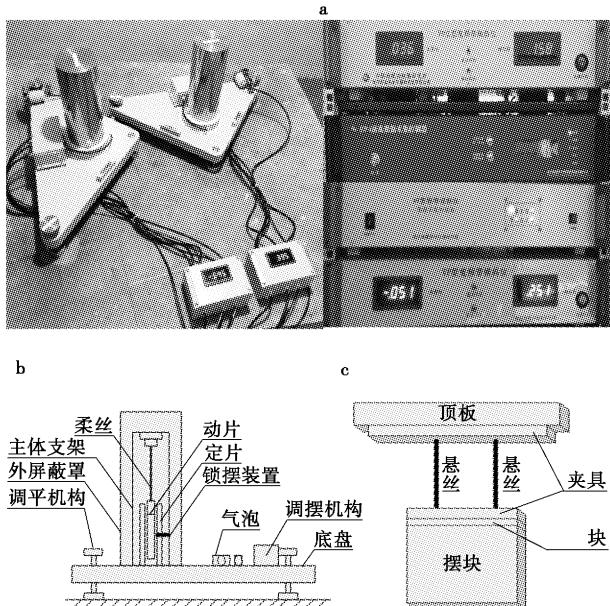


图 2 VP 垂直摆倾斜仪结构图

Fig. 2 Structure diagram of VP vertical pendulum tiltmeter

工作原理为:摆体内动片在未受外力作用时处于铅锤状态,当地面在潮汐、地震、振动等作用下发生倾斜变化时,动片与定片之间相对位置发生改变<sup>[3]</sup>,相对偏移量转换成电信号输出,经过放大、整形、滤波等电路进行信号调理,传输到数据采集器<sup>[4]</sup>(见图 3)。其计算公式为:

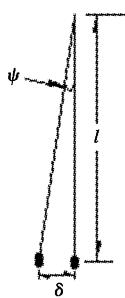


图 3 VP 垂直摆倾斜仪工作原理示意图

Fig. 3 Working principle diagram of VP vertical pendulum tiltmeter

$$\delta = l \cdot \sin\psi ,$$

$$\psi = \frac{206265}{l} \cdot \delta ,$$

式中: $l$  为摆长(单位:m); $\psi$  为地倾斜角(单位:"); $\delta$  为摆的相对位移。

## 3 VP 垂直摆倾斜仪常见故障及解决方法

### 3.1 摆系信号引丝受潮

信号引丝结构如图 4 所示,动片与前置放大器由直径为 0.001 mm 的钨丝进行连接<sup>[5]</sup>。若山洞长期处于潮湿状态,潮气进入摆体内部,摆系信号引丝受潮引起数据曲线固体潮畸变。

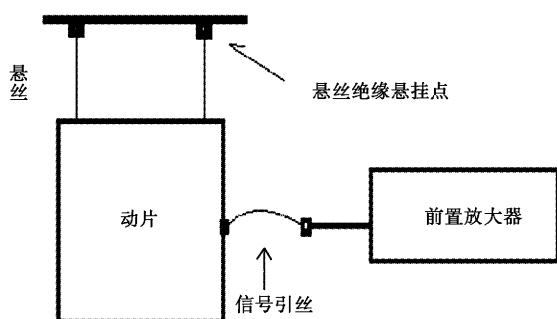


图 4 摆系信号引丝示意图

Fig. 4 Schematic diagram of swing system signal lead wire

以忻州站代县地震台 VP 倾斜仪为例,2020 年 9 月 1 日至 2 日 NS 分量未记录到双峰双谷型固体潮形态,曲线持续向南漂移,并伴有小幅突跳、畸变;EW 分量固体潮形态正常(见第 41 页图 5)。维护人员通过排查,发现供电线路、传感器连接处均正常,使用示波器检测振荡信号正弦波峰值在 0.5 V 附近,低于正常峰值(1.2 V),初判为摆体故障。开摆后发现摆体内及信号引丝上存在细水珠,清除水珠并做防潮处理,后续的标定及调零显示,NS 分量固体潮曲线恢复正常(见第 41 页图 6)。

### 3.2 放大盒故障

放大板的作用是将摆体内部动片和定片之间产生的微弱位移量电信号进行调理。放大板发生故障时,会造成前置放大电路无信号输出或输出错误信号,表现为数据曲线无固体潮或出现无规律突跳、畸变、台阶等。图 6 为忻州站 VP 倾斜仪 NS 分量放大板元器件受潮,观测曲线无固体潮,多次产生较大幅度的台阶,同震响应模糊。维护人员在确认放大盒故障后,通过更换放大盒内部元件,曲线形态恢复正常,能记录到清晰的同震响应(见第 41 页图 7、图 8)。

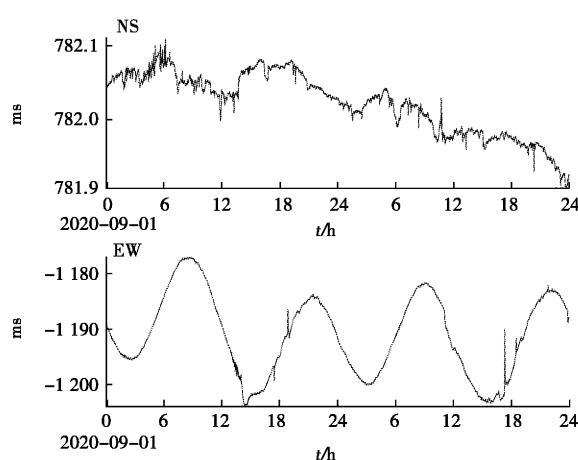


图 5 2020 年 9 月 1 日至 2 日 VP 倾斜仪固体潮曲线图

Fig. 5 VP vertical pendulum solid tide diagram of curves from September 1 to 2, 2020

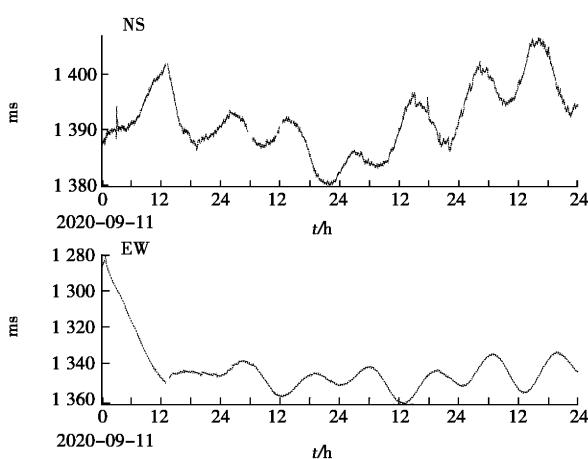


图 6 2020 年 9 月 11 日—14 日 VP 倾斜仪固体潮曲线图

Fig. 6 VP vertical pendulum solid tide diagram of curves from September 11 to 14, 2020

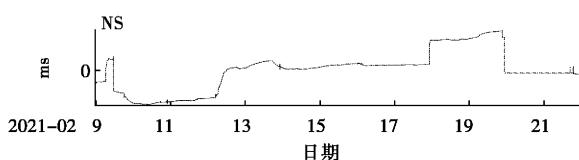


图 7 2021 年 2 月 9 日—21 日 VP 倾斜仪固体潮曲线图

Fig. 7 VP vertical pendulum solid tide diagram of curves from February 9 to 21, 2021

### 3.3 仪器调零故障

根据倾斜应变台网观测与运行工作细则要求,垂直摆摆体通过放大盒输出电压不得超过量程的 90%,对于±2 V 的量程,当电压读数超过±1 800 mV 时,需通过步进电机进行调零。若通过软件操作无法完成调零,可能是齿轮卡死或脱开,也可能是步进电机损坏或供电故障。具体解决措施如下。

(1) 齿轮卡死或脱开时,通过调节电机上的螺丝及齿轮位置进行修复(见图 9)。具体操作步骤为:网页上点击“自动调零”,进山洞观察轴①(以下数字均代表图 9 中的配件)马达是否转动,若转动,检查轴①是否带动齿轮②转动,若齿轮②不转动,检查③处螺丝是否松动;以上均正常时,检查齿轮②是否带动齿轮④转动,无转动则判定齿轮②和齿轮④间距变大而脱开;松动固定马达的 3 个螺丝,使齿轮②和④间距变小即可;若正常转动,检查齿轮④是否带动轴⑤转动,若不转动,拧紧固定齿轮④的螺丝即可;若正常转动,检查轴⑤是否带动齿轮⑥转动,即查看轴⑤和齿轮⑥是否啮合,若未啮合,轴⑤转动而齿轮⑥不转动,需松开⑦,把⑧往下方靠,使得轴⑤和齿轮⑥靠近,拧紧⑦;若轴⑤无转动,可能是轴⑤和齿轮⑥卡得太紧,需松开⑦,将轴⑤和齿轮⑥分开即可。

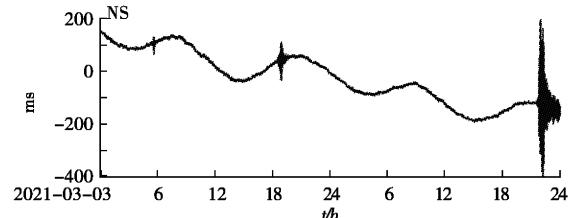


图 8 2021 年 3 月 3 日至 4 日 VP 倾斜仪固体潮曲线图

Fig. 8 VP vertical pendulum solid tide diagram of curves from March 3 to 4, 2021

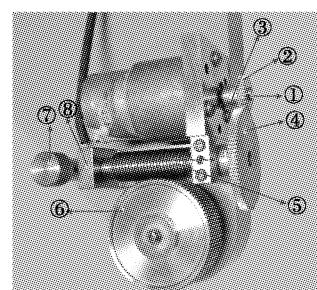


图 9 调零电机图

Fig. 9 Diagram of zero-adjustment motor

(2) 步进电机损坏时,使用万用表测量电机阻值,在 $30\Omega$ 左右则正常,远高于 $30\Omega$ 则为内部断路,远低于 $30\Omega$ 则是内部短路,需对内部线路进行修复或更换新的调零电机<sup>[4]</sup>。

(3) 步进电机供电故障表现为供电线路断路或供电芯片损坏时,造成电机无法正常工作,需对供电线路进行检查判断有无断路、虚焊等问题,并测量供电芯片是否为5V直流,再根据具体的故障情况,选择电路修复或更换供电芯片。

### 3.4 信号引丝或悬丝断裂

信号引丝或悬丝受大震或外部作用力影响时,可能发生断裂,故障表现为摆体无输出信号,数据曲线为直线,解决办法为更换信号引丝或悬丝。

### 3.5 外界强电干扰

仪器受外界强电干扰或出现静电时,观测数据出现毛刺,将仪器外壳接地即可解决。

## 4 结语

通过对VP倾斜仪典型故障进行梳理和总结,针

对典型故障提出相应的解决措施,确保仪器的正常运行。上述的仪器维护经验在提高观测数据的连续率、完整率和内在质量方面有一定的作用,同时也可为其他台站解决类似故障问题提供参考。

## 参考文献:

- [1] 马武刚,胡国庆,谭业春,等.新型宽频带垂直摆倾斜仪的设计及应用[J].测绘信息与工程,2010,35(5):28-29.
- [2] 刘其寿,杨佩琴,张年明,等.龙岩台VS型垂直摆倾斜仪出现的常见故障进行分析[J].华南地震,2010,30(3):81-85.
- [3] 格桑尼玛.狮泉河地震台VP垂直摆倾斜仪故障解决方法[J].西藏科技,2018(11):6-8.
- [4] 李晓东,韩静,高守全,等.VP型宽频带倾斜仪常见故障诊断及维修[J].内陆地震,2018,32(1):70-75.
- [5] 中国地震局监测预报司.地形变测量(试用本)[M].北京:地震出版社,2008:183-190.

## Typical Faults and Maintenance Methods of VP Vertical Pendulum Tiltmeter in Xinzhou Earthquake Monitoring Center Station

SHEN Wei-qian<sup>1,4</sup>, LI Hui-ling<sup>2,4</sup>, GAO Long-fei<sup>3,4</sup>, LI Chen<sup>1,4</sup>, QIN Xue-li<sup>1,4</sup>

- (1. Xinzhou Earthquake Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Daixian, Shanxi 034200, China;
- 2. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;
- 3. Datong Earthquake Monitoring Center Station, Shanxi Earthquake Agency, Datong, Shanxi 037008, China;
- 4. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** By combing and analyzing the typical faults of VP vertical pendulum tiltmeter in Xinzhou Earthquake Monitoring Center Station, the corresponding solutions are put forward. The maintenance method can improve the continuity, integrity and internal quality of observation data, and provide reference for station maintenance personnel to solve similar fault problems.

**Key words:** VP vertical pendulum tiltmeter; Typical fault; Maintenance technology

(上接第13页)

## Comparative Analysis of Technical Conditions of Seismological Observation at Chongzhou and Chengdu Seismic Stations

HE Si-yuan, LI Xue-hao, LIU Hua-jiao, GONG Kang

(Chengdu Seismic Station, Sichuan Earthquake Administration, Chengdu, Sichuan 611730, China)

**Abstract:** The GL-CS120 very wide band seismometer with EDAS-24GN data acquisition frame is installed at Chongzhou Seismic Station. The observation data is recorded for a week from March 9 to 15, 2021, and the ambient noise is analyzed. At the same time, the ambient noise of the corresponding time period of Chengdu Seismic Station is calculated. The calculation results are compared with the seismic waveform quality recorded at the same time period of the two stations. The results show that the comprehensive ambient noise level of Chongzhou Seismic Station is better, and the vertical direction is better than that of Chengdu Seismic Station. The waveform quality, signal-to-noise ratio and small magnitude earthquake recording ability of Chongzhou Seismic Station are better than those of Chengdu Seismic station.

**Key words:** Chongzhou Seismic Station; Chengdu Seismic Station; Seismological observation; Ambient noise

# 基于物联网的台站智能供电管理系统在北武当地震观测站的应用研究

安凯杰<sup>1,3</sup>,程冬焱<sup>2,3</sup>,李惠玲<sup>2,3</sup>,穆慧敏<sup>2,3</sup>

(1. 山西省地震局太原地震监测中心站,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:**通过对离石北武当地震观测站供电系统改造前后观测数据的分析,对比各套形变仪器在运行稳定性、数据连续率、有效率及观测数据质量等方面差异得出,改造后的仪器系统整体优于改造前,能明显提高仪器运行连续率及数据稳定性,具备远程控制等功能。供电系统改造经验可为无人值守台站在供电方案改进方面提供参考。

**关键词:**地震台站;供电系统;太阳能;智能电源

中图分类号:P315.62

文献标志码:A

## 0 引言

供电系统的连续稳定运行和远程管理对地震观测仪器来说至关重要<sup>[1]</sup>,运行不稳定会影响观测数据的连续性、可靠性和准确性。针对北武当地震观测站(以下简称北武当站)供电稳定性存在的隐患和目前尚未实现远程管理的现状,2020年山西省地震局安排“台站智能电源及太阳能远程供电系统推广应用项目”,完成北武当站智能电源及太阳能远程供电系统安装任务,解决观测系统供电不稳定、续航时间短、易遭雷击、无法远程控制等问题,提升了专业设备的远程自动化运维水平,降低台站运维成本,为今后地震台站改革运维模式,实现从人工到自动化运维提供参考<sup>[1-4]</sup>。

## 1 测点概况

北武当站于2011年正式投入使用,位于吕梁市方山县北武当镇曹家沟村东北1.2 km处的北武当山脚下,距吕梁市区45 km,远离城镇,观测环境较好,海拔高程1 475 m,洞深201 m,洞体平均覆盖厚度60多米。北武当观测站布设有区域测震、水管倾斜仪、伸缩仪、数字水平摆倾斜仪、气象三要素等观测仪器,主要以形变观测为主。

## 2 基于物联网的台站智能供电管理系统框架及功能

基于物联网云平台的台站智能供电管理系统主要

由台站智能电源、大气电场传感器、多比云平台、手机App等组成。台站智能电源实时接收大气电场传感器发送的数据,实时采集市电状态、太阳能状态、输出1至5路电压及电流、蓄电池电压及雷电状态数据,通过物联网模块发送到多比云平台和手机App。当检测到雷电后,会自动关闭市电和太阳能输入,保护仪器室专业设备。通过云平台和手机APP可远程单独控制市电输入、太阳能输入及1至5路输出。系统框架如图1所示,软件界面如第44页图2所示。

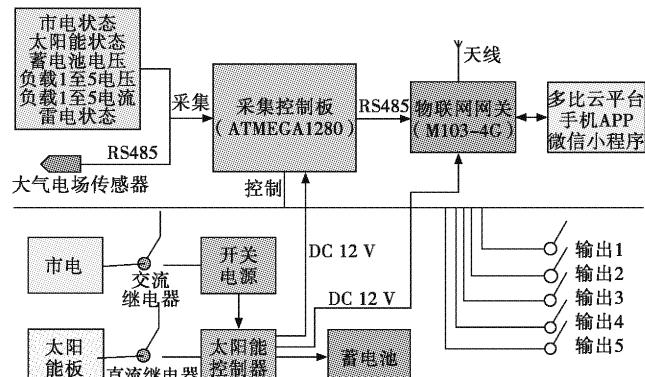


图1 系统框架  
Fig. 1 System framework

收稿日期:2021-11-11

第一作者简介:安凯杰(1990—),男,山西吕梁人。助理工程师,主要从事地震监测工作,E-mail:402731086@qq.com。

通讯作者:程冬焱(1968—),男,山西灵石人。高级工程师,主要从事地震监测工作,E-mail:412763224@qq.com。



图 2 远程监控软件界面  
Fig. 2 Remote monitoring software interface

### 3 改造前后观测数据对比分析

#### 3.1 运行率对比

北武当站属无人值守台站,建成时主要采用市电

十 UPS 的供电方式,改造后采用市电十太阳能十智能电源供电方式。现对改造前后水平摆、水管仪、伸缩仪 3 套仪器的运行率、连续率及有效率进行统计(见表 1)。

表 1 观测仪器供电改造前后运行率、连续率、有效率统计

Table 1 Statistics of operation rate, continuity rate and effective rate before and after power supply transformation of observation instruments

观测仪器	测项	改造前(2019-08—2020-07)			改造后(2020-08—2021-07)		
		运行率(%)	连续率(%)	有效率(%)	运行率(%)	连续率(%)	有效率(%)
水平摆	NS	99.981	99.956	99.924	99.962	99.938	99.898
	EW	99.981	99.956	99.913	99.962	99.938	99.877
水管仪	NS	99.893	99.87	99.636	99.797	99.771	99.621
	EW	99.893	99.87	99.639	99.797	99.771	99.495
	NE	99.893	99.87	99.633	99.797	99.771	99.449
伸缩仪	NS	99.613	99.598	99.254	99.873	99.868	99.739
	EW	99.581	99.566	99.372	99.873	99.868	99.766
	NE	99.613	99.598	99.369	99.873	99.868	99.753

由表 1 看出,改造后水平摆、伸缩仪和水管仪的运行率、连续率、有效率均高于改造前(水管仪 2021 年 1 月 1 日因数采 EP-3 故障,缺记 14 小时,数据低于改造前),减小了因市电中断、UPS 供电不足造成的仪器断记,为观测数据长期稳定、连续运行提供保障。

#### 3.2 稳定性对比

UPS 交流输出不稳定也会造成形变固体潮观测

曲线畸变,UPS 交流供电影响分值如第 45 页图 3 所示,统计供电改造前后交流供电的影响情况(见第 45 页表 2),可以看出,在供电改造后,观测仪器由于采用直流供电,各测项均未出现畸变、曲线抖动变粗现象,表明太阳能供电可较好地解决交流供电造成数据畸变影响的问题,提高仪器产出数据的稳定性。

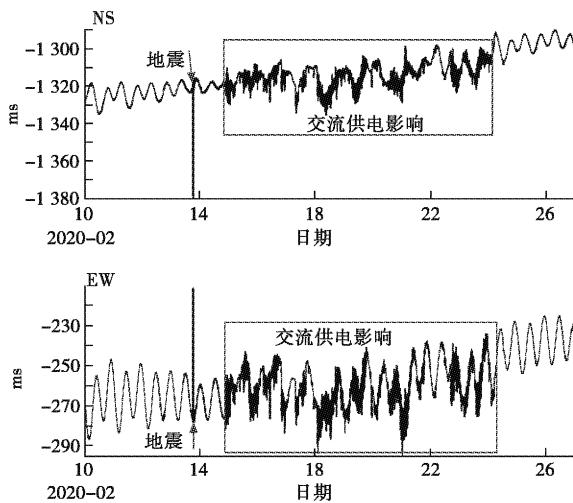


图3 水平摆交流供电影响分值图

Fig. 3 Influence score map of AC power supply of horizontal pendulum

### 3.3 数据质量对比

参照地壳形变学科组拟定的有关技术指标,采用全国形变台站资料评比软件,对数字化形变观测资料进行数据检验和评价分析。根据学科组每月的评比结果和台站观测日志,倾斜资料以调和分析波潮汐因子均方差值及相对噪声水平作为质量评定标准;应变观测资料以调和分析波潮汐因子相对中误差和相对噪声水平作为评定内精度指标。

采用 Venedikow 调和分析方法<sup>[5]</sup>,对水平摆、水管仪、伸缩仪倾斜应变观测资料整点值进行调和分析,求得各测项的潮汐因子、倾斜测项的潮汐因子中误差值和应变测项的潮汐因子相对中误差  $\sigma_a/\alpha$ 。北武当站 3 套数字化倾斜观测仪器改造前后观测资料潮汐因子及中误差如表 3 所示。

表2 供电改造前后交流电源影响统计

Table 2 Influence statistics of AC power supply before and after power supply transformation

测项	统计时间 年-月-日 T时:分	改造前	改造后
		(2019-08—2020-07)	(2020-08—2021-07)
水平摆	2020-02-14 T22:02—2020-02-24 T05:32	二分量固体潮曲线同步出现台阶、扰动、畸变现象,固体潮数据形态噪声变大	无影响
	2020-02-29 T07:21—2020-02-29 T19:55		
	2020-03-04 T02:07—2020-03-04 T15:10		
	2020-03-17 T22:58—2020-03-24 T23:59		
	2020-03-26 T14:23—2020-03-27 T01:16		
伸缩仪	2020-03-23 T23:46—2020-03-25 T10:56	NS、NE 分量固体潮曲线噪声大,出现突跳和扰动	无影响

表3 形变仪器各分量潮汐因子及中误差

Table 3 Tide factor and root mean square error of each component of deformation instrument

观测仪器	分量	改造前(2019-08—2020-07)		改造后(2020-08—2021-07)	
		潮汐因子	中误差	潮汐因子	中误差
水平摆	NS	0.426 1	0.006 7	0.393 6	0.004 1
	EW	0.652 5	0.006 9	0.647 1	0.005 8
水管仪	NS	0.480 1	0.001 9	0.481 3	0.002 3
	EW	0.652 1	0.004 6	0.649 2	0.004 3
	NE	0.632 7	0.002 4	0.642 9	0.004 2
伸缩仪	NS	0.558 1	0.009 3	0.603 8	0.011 1
	EW	0.537 0	0.021 9	0.614 9	0.026 7
	NE	0.659 6	0.010 8	0.778 6	0.009 8

相对噪声水平  $M_1$  是衡量倾斜潮汐形变观测资料稳定性的质量指标。应用契比雪夫多项式,即一个年度观测资料的 73 个 5 日均值作 30 阶拟合,计算公式为:

$$F(X) = \frac{1}{2}C_0 + \sum_{n=1}^m C_n T_n(X) ,$$

式中:  $T_n(X) = \cos(n\pi \arccos X)$  ( $n=1, 2, 3, \dots, m$ );  $T_n(X)$  为契比雪夫多项式;  $X$  为五日均值;  $C_0$  为常数;  $C_n$

为拟合系数;  $n$  为系列号;  $m$  为提取的五日均值总个数。通过计算得到北武当站 3 套仪器的相对噪声水平

$M_1$ (见表 4)。

表 4 形变仪器各分量相对噪声水平  
Table 4 Relative noise level of each component of deformation instrument

观测仪器	分量	相对噪声水平	
		改造前(2019-08—2020-07)	改造后(2020-08—2021-07)
水平摆	NS	0.032 3	0.080 2
	EW	0.030 7	0.013 5
水管仪	NS	0.005 4	0.023 9
	EW	0.001 5	0.039 7
	NE	0.001 5	0.043 7
伸缩仪	NS	0.020 6	0.013 4
	EW	0.051 3	0.118 8
	NE	0.038 8	0.060 4

由表 3、4 看出,水平摆、水管仪、伸缩仪改造后的潮汐因子与改造前的差别不大,仅水平摆两分量的潮汐因子中误差  $M_1$  值和水平摆 EW 分量、伸缩仪 NS 分量的相对噪声水平低于改造前,表明供电系统改造后,北武当站形变仪器观测数据质量未明显改善。

#### 4 远程故障处置

据维修经验,数字化观测设备死机较为常见<sup>[1]</sup>。近年来,北武当站仪器的主要故障为死机。当发现仪器死机后,维护人员需到现场对设备进行断电重启,维护成本较高,维修效率较低,仪器断记时间较长。在进行供电系统改造后,安装智能电源,实现对观测仪器供电输入的远程监控。2020 年 10 月 16 日 09:00,北武当站水管仪数采出现死机,无法 ping 通仪器。水管仪数采接入台站智能供电管理系统,通过操作软件实现远程对水管仪数采进行断电重启,数采恢复正常。

基于物联网的台站智能供电管理系统投入运行后,状态稳定,在无人值守台站设备远程维护中发挥出重要作用。与传统的现场维护方式相比,通过该系统,可对仪器的运行状态进行远程监控。当仪器出现死机时,通过远程断电重启即可解决,降低了维护成本,减少工作量,提高数据连续率;同时,实现对远程设备电压及环境的监测,为观测数据异常核实工作提供数据支撑。

#### 5 结论与建议

基于物联网的台站智能供电管理系统在北武当站使用后,取得如下效果:

(1) 有效解决因交流供电中断或不稳定产生的干

扰问题,提高仪器运行率及数据稳定性。

(2) 具备直流输入、输出电压和电流的监控功能,支持远程控制负载供电通断,智能控制电池组充放电等功能,降低台站维护成本,提高维护人员工作效率,建议在其他观测站推广应用。

(3) 通过统计雷电影响固体潮曲线次数和对仪器观测数据质量的分析发现,供电系统改造对仪器产出数据的稳定性、内在质量无明显改善和提升。

(4) 改造后,观测站出现两次较长时间的停电,且均发生在晚上,造成仪器缺记。主要原因是太阳能供电系统蓄电池数量较少,使用年限长,续航能力较差,直接影响仪器运行率、连续率。因此,建议配备足量高性能蓄电池,保证续航时间,减少因停电造成的仪器断记。

#### 参考文献:

- [1] 穆慧敏,胡玉良,李惠玲,等.远程电源监测及控制系统设计及应用[J].地震地磁观测与研究,2018,39(5):195-199.
- [2] 郭德顺,李敬,赖细华,等.地震台站新型太阳能供电系统设计[J].华南地震,2014,34(1):103-107.
- [3] 马世虎,袁志祥,徐仙鹏,等.陕西地震台网值守地震台站运维管理[J].地震地磁观测与研究,2014(Z2):239-243.
- [4] 刘其寿,廖春奇,郑永通,等.无人值守地震台站通信设备电源改造[J].华北地震科学,2015,33(4):59-61.
- [5] 卢双苓,林秀娜,刑伟伟,等.泰安地震台伸缩仪运行分析[J].地震地磁观测与研究,2011,32(4):83-89.

(英文摘要见第 51 页)

# 微动探测在煤矿断层勘查中的应用

郑亚迪<sup>1,3</sup>,殷伟伟<sup>1,3</sup>,李峰<sup>2</sup>,丁学文<sup>1,3</sup>,赵向佳<sup>1,3</sup>,霍魁<sup>1,3</sup>,任力伟<sup>1,3</sup>

(1. 山西省地震局,山西 太原 030021;2. 冀中能源邯郸矿业集团,河北 邯郸 056082;  
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:** 煤矿的安全生产受到矿区内地质构造的影响,微动探测技术应用于矿山开采运输造成的干扰环境和矿区复杂的场地条件。该文应用基于空间自相关方法的微动探测法,以山西介休鑫峪沟煤矿为例,反演得到观测点地下视S波速度结构,推断地下介质分布信息,研究其对煤矿断层的探测效果。结果显示,此次微动探测工作对矿区内的断层勘探具有较高的分辨率,对断层的空间位置、断距,显著地层分界面有较好的反应。研究结果可为该区域的后续开采提供参考依据。

**关键词:** 微动探测;视S波速度结构;断层勘查

中图分类号:P315.2

文献标志码:A

## 0 引言

我国大多数煤田地质构造复杂,煤矿采掘过程中会遇到断层构造,对安全生产造成威胁<sup>[1]</sup>。探明矿区隐伏断层等地质构造,可防范采煤过程中因断层造成的井巷围岩失稳、矿井突水等隐患,是煤矿安全生产的重要保障。常用的探测煤矿断层等地质构造的物探方法有三维地震勘探法<sup>[2]</sup>、探地雷达法<sup>[3]</sup>、瞬变电磁法<sup>[4]</sup>和直流电法<sup>[5]</sup>等。这些方法探测深度浅,受地形影响大,受环境干扰严重,信噪比、分辨率低。微动探测是应用环境噪声中的面波信号,研究地下速度结构的一种技术。作为矿山勘查的一种方法,在识别煤矿隐伏断层构造<sup>[6]</sup>、陷落柱<sup>[7]</sup>、采空区<sup>[8]</sup>及岩性差异较大的地质界面等方面有较好效果,不受各种场地限制,抗干扰能力强,可把不同的振动源化为自身的场源<sup>[8]</sup>。该文以山西介休鑫峪沟煤矿为例,采用微动探测方法,对研究区断层构造和地层分层进行探测研究。

## 1 微动探测原理

微动本质上是一种复杂振动,由体波(P波、S波)和面波(瑞雷波、拉夫波)组成,垂直方向上面波的能量大,为信号总能量的70%以上<sup>[9]</sup>。微动探测方法是从微动信号提取瑞雷波面波的频散曲线,通过对频散曲线的反演,获取地下速度结构信息的地球物理探测方法<sup>[8]</sup>。提取微动信号中的瑞雷波频散曲线的常用方法有空间自相关方法(SPAC法)<sup>[10]</sup>、频率波数法(F-

K法)<sup>[11]</sup>。此次研究通过圆形台阵进行数据采集,采用空间自相关方法提取频散曲线,反演出研究区地下视S波速度结构。

## 2 山西介休鑫峪沟矿区微动探测

### 2.1 测区概况

研究区位于介休市张兰镇沟口村,地处华北地台山西断隆之沁水台凹西缘。研究区内地表大多被第四系全新统及中、上更新统覆盖,中部沟谷地带出露二叠系上统上石盒子组,东部、中部出露二叠系上统上石盒子组、二叠系下统下石盒子组。其中,第四系全新统为张涧河及主要支沟沟谷冲、洪积物,由卵石、砾石和砂土等组成,厚度0~35 m,平均厚度12 m。第四系中、上更新统为浅棕黄、浅棕红色砂质黏土,底部为厚层砂土和碎石土,厚度0~175 m,平均厚度35 m左右。区域构造多为断裂,褶曲不甚发育,总体上呈向北西缓倾斜的单斜构造。存在影响区域煤层赋存和水文地质特征的区域性断裂构造,如,化家窑地垒和F3正断层。井田总体构造为背斜,轴部位于井田东侧,走向北段近NS向,南段为ES向,地层倾角一般为5°~13°,局部可达30°。断裂构造发育,井田构造属中等类型。F5正断层位于井田中部,走向NE,倾向NW,倾角70°,落差15~20 m。通过钻孔煤岩层对比和井巷工程控制,井田内延伸长度2 200 m。微动测线选定在县道边沿路的方向布设(见第48页图1)。

收稿日期:2022-04-28

基金项目:山西省应用基础研究计划面上青年基金项目(201801D221044、201901D211549),2022年度震情跟踪定向工作任务(2022010118),山西省地震局科研项目(SBK-2208)。

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

通讯作者:殷伟伟(1988—),男,山西太原人。硕士研究生,工程师,主要从事天然地震层析成像分析研究,E-mail:wwyin\_sx@163.com。

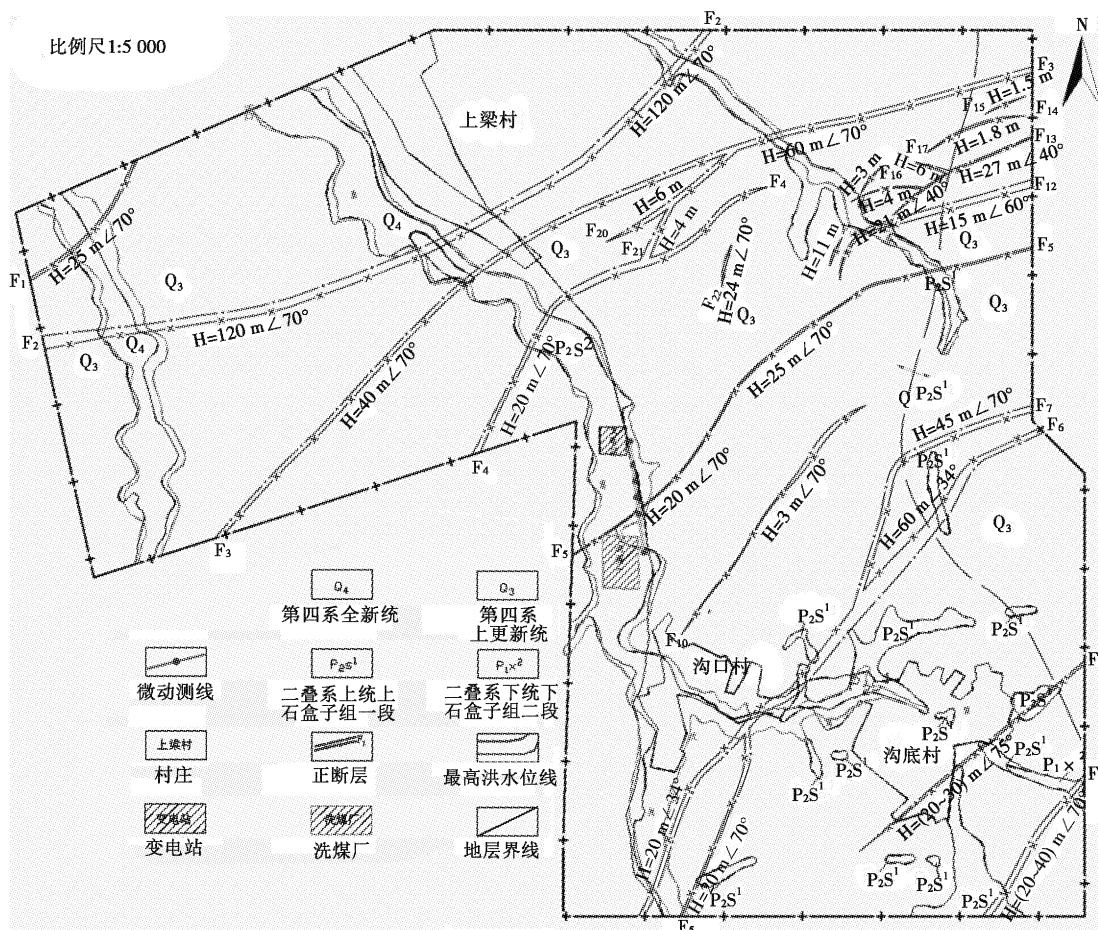


图 1 研究区地质构造及微动探测测线布设

Fig. 1 Geological structure map of the study area and the layout of the microtremor survey line

## 2.2 微动数据采集

此次微震探测的目的是探测洗煤厂附近的 F5 断层构造(见图 1),分析研究区已有的工程地质勘查资料,结合地形条件选定在县道边沿路方向布设测线。为便于研究微动探测技术对断层的探测效果,设计微动测线 1 条,微动勘探物理点 6 个,测线为 NNW 向,经过 F5 断层。由于矿区大型重车较多,测线一侧的洗煤厂工作时会有持续较强震动,现场人为干扰较多。采用三重圆台阵进行数据采集,根据探测深度,经试验并结合现场地形条件,选择 30 m、60 m、120 m 半径的三重圆形观测台阵(见图 2)。为适应地形条件,探测点距设置为 30~90 m 不等的微动剖面观测系统。采用 GN309 微动探测系统,主频为 2 Hz 的垂直分量宽频带拾震器进行数据采集(见第 49 页图 3),采集站参数如第 49 页表 1 所示。观测台阵由 10 个台站组成一个探测点,每次观测时间为 1 h,观测结束后将仪器移

至下一探测点,逐点观测。现场采用 4G 数据实时监控系统,实时传输数据,确保采集到有效数据(见第 49 页图 4)。

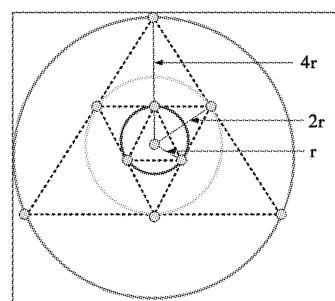


图 2 三重圆台阵布设

Fig. 2 The layout of the triple circle array

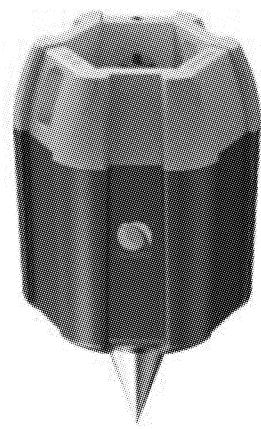


图3 GN309 微动探测系统仪器外观  
Fig. 3 Instrument appearance of GN309 microtremor survey system

表1 采集站参数

Table 1 Acquisition station parameters

单站通道数	3道
自然频率	2 Hz
灵敏度	260 (V/m/s)
频响范围	0.2~200 Hz
AD转换器	32位
采样间隔	4 ms, 2 ms, 1 ms, 0.5 ms, 0.25 ms
动态范围	123 dB(1 ms 采样间隔)
续航时间	内置电池典型工作条件续航 15 d
工作温度	-40~85 °C

为确保采集的数据真实有效,在正式采集数据前,进行仪器的一致性测试<sup>[9]</sup>。将所有仪器放在一起,进

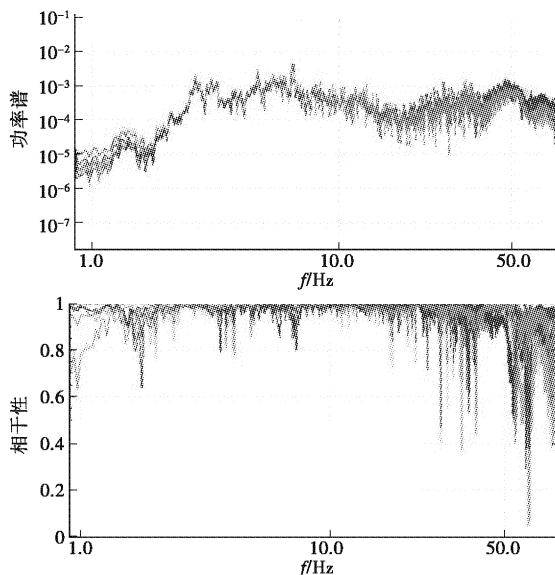


图6 一致性测试结果  
Fig. 6 Conformance test results

行20 min的同步采集,得到的一致性测试波形记录、计算获得的各台仪器功率谱、功率谱之比、相干系数和相位差如图5、图6所示,所有台站采集数据波形同步,各仪器一致性达到微动探测要求。

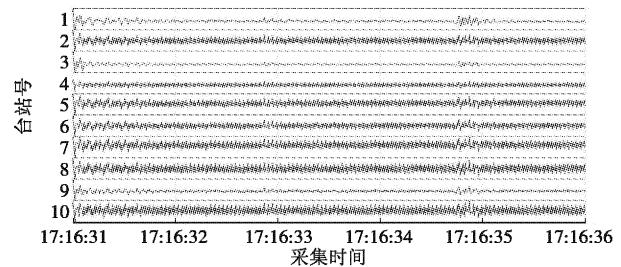


图4 数据采集过程中实时数据监控系统部分界面  
Fig. 4 Partial interface of real-time data monitoring system during data acquisition

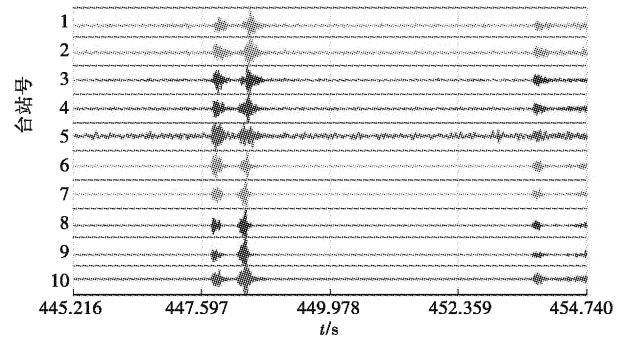
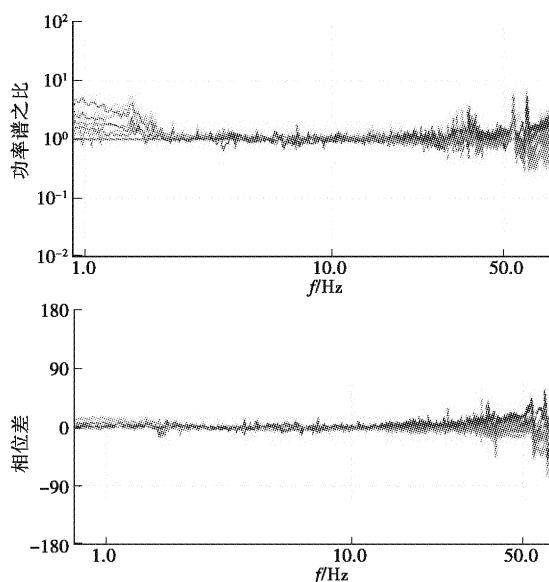


图5 仪器一致性测试部分波形  
Fig. 5 Partial waveforms of instrument consistency test



### 2.3 数据处理

微动探测数据处理,是从测点时序数据中提取瑞雷波频散曲线来计算视S波速度(见图7),得到二维视S波速度剖面,反映地下速度结构变化。采用上述方法从实测微动数据中提取频散谱,如图8所示,频散谱中相速度与频率的变化特征反映出地下波速总体上与深度呈正比的趋势。频散谱能量分布跃变反映出地下岩性的不均匀。

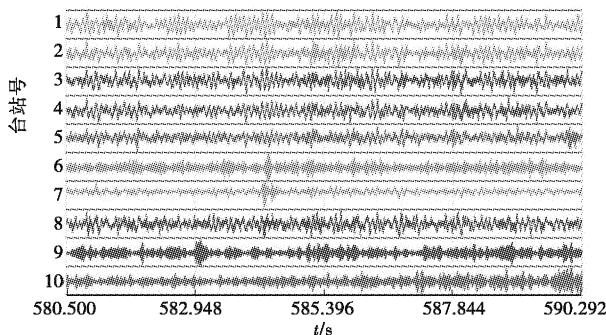


图7 微动单点原始波形

Fig. 7 Single point original waveform of microtremor

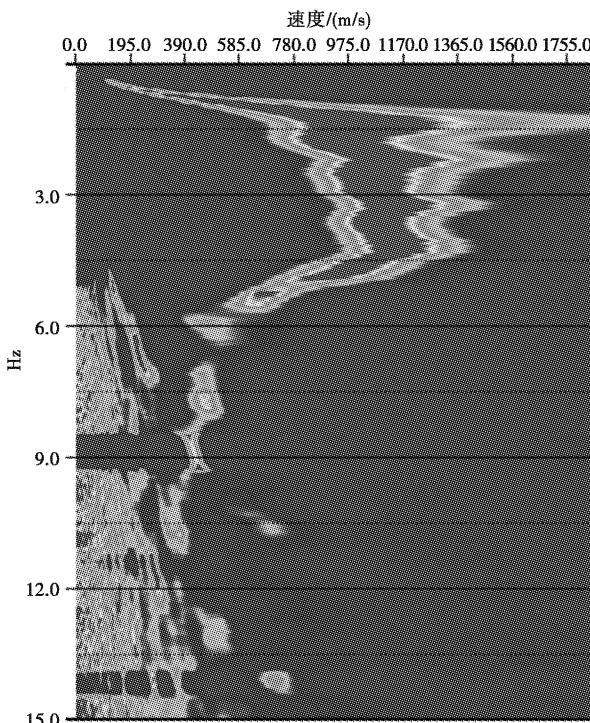


图8 单点频散谱

Fig. 8 Single point dispersion spectrum

对于地下断层的识别,只需计算剖面上S波速度的相对变化。将实际微动信号中提取的瑞雷波频散谱通过半波法经验公式进行反演,得到地下视S波速度

结构信息。半波法经验公式为:

$$v_{s,i} = \left[ \frac{t_i \cdot v_{r,i}^4 - t_{i-1} \cdot v_{r,i-1}^4}{t_i - t_{i-1}} \right],$$

式中: $V_s$ 为视S波速度(m/s); $V_r$ 为瑞雷波相速度(m/s); $t_i$ 为周期(s),对应的深度一般取半波长<sup>[8]</sup>。

### 2.4 成果资料解释

如图9所示,微动探测视S波速度剖面图从测点1到测点6的方向即为由北至南沿测线布设的方向。可以看出,从地表至埋深45~70 m左右为第一层,波速分布均匀,表明该地层较均匀、平缓,对应地质勘查资料,该层为第四系土层;埋深45 m~70 m至100 m左右为第二层,北侧相对较薄,南侧较厚,呈北低南高走势,从第5个测点开始该层与向下的低速异常通道连接;埋深80 m至180 m处,存在一个高速夹层,夹层北侧较致密,南侧较松散,呈北低南高走势。在北侧第5个测点埋深80 m处,开始存在向下、向北侧倾斜的低速异常通道,延伸至第3个测点下埋深至400多米,推测这一低速异常通道为断层构造发育区域。该断层为正断层,断距约20 m,与矿区前期地质勘查资料中F5断层的位置、产状、断距等结果的显示一致(图9中直线为推断构造走向及位置)。

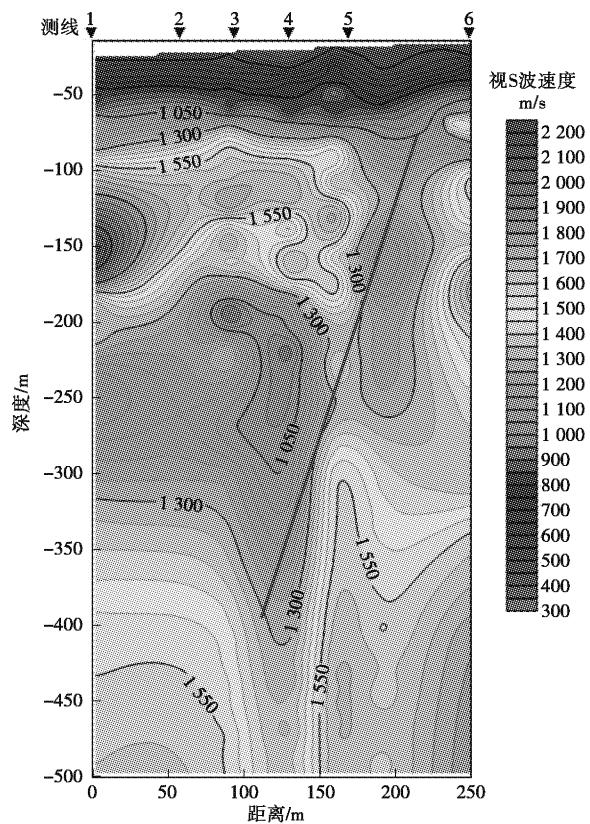


图9 微动探测视S波速度结构

Fig. 9 Velocity structure of apparent S-wave in microtremor survey

### 3 结语

此次微动探测通过采集矿山微震动信号,提取面波频散曲线,反演得到地下视 S 波速度结构。探测结果表明,在测点下方,地层存在明显错动和低速异常通道,推测该处存在一断距约 20 m 的正断层。此次微动探测工作抗干扰能力强,受场地影响小,对矿区内的断层勘探具有较高的分辨率,对断层的空间位置、断距,显著地层分界面均有较好的反应。此次微动探测结果为该区域的后续开采提供参考依据。

### 参考文献:

- [1] 薛洪来,温哲. 煤矿隐伏小断层的瓦斯抽采钻孔探测方法[J]. 煤田地质与勘探,2021,49(3):69-77.
- [2] 杜文凤,彭苏萍,师素珍. 深部隐伏构造特征地震解释及对煤矿安全的影响[J]. 煤炭学报,2015,40(3):640-645.
- [3] 梁庆华,吴燕清,宋劲,等. 探地雷达在巷道掘进中超前探测试验研究[J]. 煤炭科学技术,2014,42(5):91-94.
- [4] 刘最亮,王鹤宇. 大定源瞬变电磁法在含水断层构造探
- [5] 韩德品,李丹,程久龙,等. 超前探测灾害性含导水地质构造的直流电法[J]. 煤炭学报,2010,35(4):635-639.
- [6] 徐佩芬,李世豪,杜建国,等. 微动探测:地层分层和隐伏断裂构造探测的新方法[J]. 岩石学报,2013,29(5):1841-1845.
- [7] 徐佩芬,李传金,凌甦群,等. 利用微动勘察方法探测煤矿陷落柱[J]. 地球物理学报,2009,52(7):1923-1930.
- [8] 张星,丁志军,连伟章. 微动探测在矿山采空区勘查中的应用[J]. 世界有色金属,2021(12):110-112.
- [9] 杜亚楠,徐佩芬,凌甦群. 土石混合滑坡体微动探测:以衡阳拜殿乡滑坡体为例[J]. 地球物理学报,2018,61(4):1596-1604.
- [10] Aki K. Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors[J]. Bulletin, Earthquake Research Institute, 1957:35.
- [11] Capon J. High—Resolution Frequency—Wavenumber Spectrum Analysis[J]. Proceedings of the IEEE, 1969, 57(8):1408-1418.

## Application of Microtremor Survey in Coal Mine Fault Exploration

ZHENG Ya-di<sup>1,3</sup>, YIN Wei-wei<sup>1,3</sup>, LI Feng<sup>2</sup>, DING Xue-wen<sup>1,3</sup>, ZHAO Xiang-jia<sup>1,3</sup>, HUO Kui<sup>1,3</sup>, REN Li-wei<sup>1,3</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China; 2. Jizhong Energy Handan MIG, Handan, Hebei 056082, China;  
3. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** The safety production of coal mine is affected by the fault structure in the mining area. The microtremor survey technology is applied to the interference environment caused by mining and transportation and the complex site conditions in the mining area. In this paper, the microtremor survey method based on spatial autocorrelation method is applied. Taking Xinyugou coal mine in Jiexiu, Shanxi Province as an example, the apparent S-wave velocity structure of the observation point is inverted, the distribution information of the underground medium is inferred, and the detection effect on the coal mine fault is studied. The results show that the microtremor survey work has a high resolution for fault exploration in the mining area, and has a good response to the spatial position, fault distance and significant stratigraphic interface of the fault. The study can provide reference for the subsequent mining in this area.

**Key words:** Microtremor survey; Apparent S-wave velocity structure; Fault exploration

(上接第 46 页)

## Study on Application of Intelligent Power Supply Management System of Stations Based on Internet of Things in Beiwudang Seismic Observation Station

AN Kai-jie<sup>1,3</sup>, CHENG Dong-yan<sup>2,3</sup>, LI Hui-ling<sup>2,3</sup>, MU Hui-min<sup>2,3</sup>

(1. Taiyuan Earthquake Monitoring Center 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:** By analyzing the observation data before and after the transformation of the power supply system of Lishi Beiwudang Seismic Observation Station, and comparing the differences of each set of deformation instruments in operation stability, data continuity rate, data efficiency and observation data quality, it can be concluded that the transformed instrument system is better than that before the transformation, can significantly improve the operation continuity rate and data stability of the instrument, and has the functions of remote control. The experience of power supply system transformation can provide reference for the improvement of power supply scheme of unattended stations.

**Key words:** Seismic stations; Power supply system; Solar energy; Intelligent power supply

# Oracle数据库迁移方法研究及在河北地球物理台网的应用

王加敏<sup>1,2</sup>,马广庆<sup>1,2</sup>,赵鹏<sup>1,2</sup>,李永庆<sup>1,2</sup>

(1. 河北省地震局,河北 石家庄 225000;2. 河北红山巨厚沉积与地震灾害国家野外科学观测研究站,河北 邢台 055350)

**摘要:** 地球物理 Oracle 数据库安全、稳定的运行是开展地震数据分析研究的基础,服务器出现系统故障会影响数据的汇集和处理。在台站节点无备用数据库时,出现故障容易造成数据丢失。数据迁移是数据库备份与恢复的过程。基于 Oracle 的地球物理节点数据库备份主要有冷备份、在线热备份和逻辑备份三种方式。该文结合地球物理台网的日常工作,介绍几种不同方式数据迁移的实例。结果表明,逻辑备份和物理备份的有效结合可提高地球物理台网 Oracle 数据库运行的稳定性。

**关键词:** 数据迁移;Oracle 数据库;冷备份;Exp/Imp;数据泵

中图分类号:P315—39

文献标志码:A

## 0 引言

随着观测技术的提升,地震观测数据及产品数据日益丰富。河北地球物理台网是全省地球物理观测及产品数据的汇集和存储中心,先后建成地球物理 Sql Server“九五”数据库、Oracle“十五”数字化数据库。“十五”数字化后,全国地球物理台网部署中国地震地球物理台网数据管理系统(以下简称管理系统),该系统是基于 Oracle 数据库开发的数据管理技术平台,可实现不同节点数据库数据的层层交换<sup>[1]</sup>,可将全国地球物理观测数据汇集于国家中心<sup>[2-3]</sup>。

河北地球物理台网作为区域中心,承担河北省数据汇集、管理和上报等职能,省内共架设 1 个区域中心、8 个台站节点地球物理 Oracle 数据库。其中,区域中心 Oracle 数据库置于河北省地震局核心机房,由专人维护;台站节点 Oracle 数据库部署于辖区内的 8 个中心站,部分台站的服务器已运行数十年。台站节点数据库是管理系统数据汇集的源头,台站人员通过各种地球物理专业软件进行数据的采集、预处理和产品产出<sup>[4]</sup>。因此,台站节点数据库如出现故障,会影响数据的汇集和处理。为保障 Oracle 数据库数据的安全,在管理系统热备份的基础上,区域中心每月对地球物理 Oracle 数据库进行一次冷备份。由于台站软硬件条件及技术力量参差不齐,台站节点的地球物理 Oracle 数据库未进行冷备份,同时因设备老化出现系统故障,造成数据丢失,对台站的数据产出造成影响。因

此,台站节点 Oracle 数据库的稳定运行至关重要。

地球物理服务器大部分已运行数十年,配置低,易出现故障,因此,系统维护人员需熟练掌握 Oracle 数据库的备份及还原操作<sup>[5]</sup>。该文综合分析几种 Oracle 数据迁移方法,结合实例介绍台站节点数据库的备份和恢复过程,以期为地球物理 Oracle 数据库的运维工作提供参考。

## 1 数据迁移技术介绍

数据迁移是数据库备份与恢复的过程,Oracle 的备份可分为物理备份和逻辑备份两种方式。其中,物理备份主要是对控制文件、数据文件、日志文件及参数文件等物理文件进行备份。根据数据库工作模式(归档模式和非归档模式),物理备份分为热备份(又称联机备份,归档模式)和冷备份(又称脱机备份,非归档模式);逻辑备份主要是指应用可执行文件 EXPDP 或 EXP 将数据库数据导出,以文件格式保存。

基于 Oracle 的地球物理节点数据库备份主要有冷备份、在线热备份和逻辑备份 3 种方式。其中,冷备份是地球物理台网区域中心常用的数据迁移方式,即对地球物理 Oracle 数据库 oradata 目录下的文件进行压缩拷贝。此操作相对简单,需关闭数据库,但不能按照所需要的对象进行数据迁移;逻辑备份是按照表空间、段等进行导出,能针对对象进行备份,不需关闭数据库,操作相对灵活<sup>[6]</sup>;在线热备份是指在地球物理 Oracle 数据库不关闭的情况下,管理系统自动实现增

收稿日期:2022-04-19

基金项目:河北省地震科技星火计划项目(DZ2021121800003),河北省防震减灾信息服务平台(2018-130000-74-01-001627)。

第一作者简介:王加敏(1986—),女,山东临沂人。硕士研究生,工程师,主要从事电磁监测、系统运维工作,E-mail:wangjm2015@qq.com。

量备份,主要是基于应用级别进行数据备份,无法完全镜像复制数据<sup>[7]</sup>,管理系统的在线热备份也是逻辑备份。

随着技术的发展,基于 Oracle 数据库的迁移工具也较多。地球物理台网通常使用 Oracle 数据库自带的备份和恢复工具,操作方便、快捷;Exp/Imp 是 Oracle 比较早的数据迁移方式,可实现对全库、特定的表空间及特定表的逻辑备份。该方式较灵活、便捷,但存在速度慢、效率低的缺陷,适合中小数据库的数据迁移。数据泵技术是 Oracle 基于 Exp/Imp 备份与恢复工具的升级,支持暂停和远端操作,该技术在数据的并行处理方面有提升,可提高数据的迁移速度和效率,在跨平台数据迁移时较方便;PLSQL Developer 是第三方公司开发的集成工具,功能齐全,可视化界面,方便对 Oracle 数据库进行开发、测试、调试和优化操作,常用的导入、导出文件格式有.dmp、.sql 和.pde。

RMAN 是 Oracle 数据库第 8 版之后提供的外部数据迁移工具,可实现数据文件、控制文件、归档日志及参数文件的备份还原。该技术既能进行冷备份又能做热备份,一般情况下都是进行热备份,执行时数据库需处于归档模式。数据库故障时,RMAN 技术能恢复到故障点或离故障点最近的时间,解决物理冷备份和逻辑备份只能恢复到备份点,不能恢复到故障点的问题<sup>[8]</sup>。

## 2 河北地球物理 Oracle 数据库数据迁移

### 2.1 物理备份

#### 2.1.1 物理冷备份

地球物理 Oracle 数据库冷备份操作相对简单,对 oradata 目录下的文件进行压缩拷贝即可<sup>[9]</sup>,此过程中,必须保持数据库的关闭状态。根据《区域地震前兆台网运行管理技术要求》,河北地球物理台网区域中心每月进行一次冷备份。为不影响正常工作,区域中心在冷备份时,一般选择数据库相对空闲的状态进行。

地球物理 Oracle 数据库的冷备份步骤包括管理系统及数据库的关闭、数据压缩及拷贝、数据库及管理系统的运行等<sup>[5]</sup>(见图 1)。通常在进行数据冷备份前,为确保备份数据的完整性,需先查询数据文件、日志文件及控制文件所在位置。数据备份操作步骤如下:

(1) 以 root 登录服务器,进入管理系统目录,执行关闭管理系统命令。

```
cd /install  
. /stoprun.sh
```

(2) 关闭数据库、停止监听。

```
shutdown immediate  
lsnrctl stop
```

(3) 执行数据压缩命令,形成的压缩文件 orabak.

tar.gz 存放于 /opt/backup 目录下。

```
tar cvfzP /opt/backup/orabak.tar.gz /opt/oracle/oradata
```

(4) 压缩完毕可通过 ftp 将备份文件下载到其他移动介质,或使用文件传输命令传输至备份库。

```
scp orabak.tar.gz root@10.13.x.x:/opt/oracle
```

(5) 启动数据库监听、启动数据库。

```
lsnrctl start
```

```
startup
```

(6) 启动管理系统。

```
cd /install
```

```
. /run.sh
```

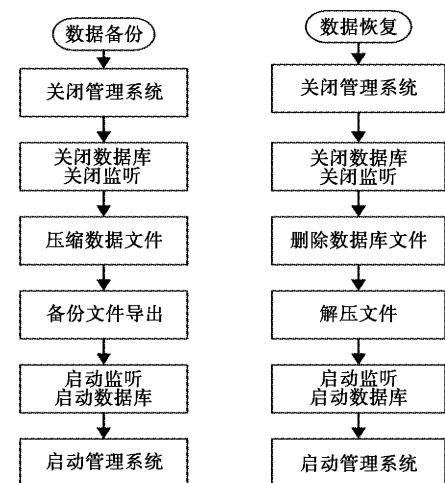


图 1 地球物理台网 Oracle 数据库冷备份及恢复流程图

Fig. 1 Flow chart of cold backup and recovery of Oracle database of geophysical network

数据恢复时,管理系统和数据库的关闭与数据备份过程一致,在解压备份文件时,先删除 /opt/oracle/oradata 目录下所有文件,通过解压缩命令 tar xvfp /opt/oracle/orabak.tar.gz 恢复数据库数据。备份文件数据恢复后,通过查验数据条目数来校验数据完整性。在主库正常运行情况下,一般在备份库中进行数据恢复,需始终保持管理系统的关闭状态。数据恢复前,备份库需建立与主库完全相同的环境。

河北区域地球物理台网服务器是在 Suse Linux11 SP3 操作系统下安装的 Oracle10g 数据库,其数据库文件均在 /opt/oracle/oradata 目录下。目前,河北地球物理数据库冷备份数据量约 65 GB,备份文件存储于备份服务器上,备份数据库与主库运行环境、表结构等完全一致。由于备份服务器管理系统配置与主服务器相同,为防止台站节点数据同步出现异常,备份服务器需保持管理系统的关闭状态。

### 2.1.2 基于 RMAN 技术的物理备份

RMAN 可实现数据库的全备份、累积增量备份和差异增量备份。全备份是指完全备份 Oracle 数据文件中所有数据块;增量备份只备份上次增量备份后被修改的数据库,需做一次 0 级备份为基础。0 级备份与数据库全备份内容相同,但全备份不能作为其他备份的基础;累积增量和差异增量备份都是在 0 级备份的基础上实现,但前者是备份上级备份以来所有变化的数据块,后者是在上一次同级或高一级(0 级>1 级)备份的基础上有改动的数据块。

根据 RMAN 的运行模式,RMAN 备份分为 NO-CATALOG 和 CATALOG 两种方式。NOCATALOG 模式下,备份信息存储于主库的控制文件中;CATALOG 模式的 RMAN 备份需单独创建 ORACLE 数据库,用来存放备份数据。因此,CATALOG 模式的 RMAN 备份更安全。基于 CATALOG 模式的 RMAN 备份具体步骤包括目录数据库的配置、参数设置、创建备份脚本及部署备份策略,过程如下:

- (1) 目录数据库配置。使用 create catalog 命令创建恢复目录,在该目录中注册数据库 register database,目标数据库为需要备份数据的数据库。

- (2) 参数设置。根据数据库情况设置归档模式、归档路径及归档文件命名。

- (3) 创建备份脚本及部署备份策略。RMAN 备份周期为七天,一般在周日进行 0 级备份,其他时间进行 1 级和 2 级的增量备份。其中 0 级备份脚本如下:

```
run {
    allocate channel dl type disk;
    backup incremental level=0 database format '/opt/backup/RMAN/db_%d_%s_%p_%t'
    tag = 'WHOLE_INC0';
    sql 'alter system archive log current';
    backup archivelog all format '/opt/backup/RMAN/archive/arch_%d_%t_%s' delete input;
    Release channel d1;
}
```

在 NOCATALOG 模式下,备份信息存储在控制文件中,如果控制文件损坏或丢失,会造成数据无法恢复。因此,基于 NOCATALOG 模式的 RMAN 备份需要将控制文件迁移。相较于 RMAN 备份,基于 RMAN 的数据库恢复过程较简单,主要步骤为关闭数据库、启动数据库到 MOUNT 状态、数据恢复及启动数据库。如备份模式为 NOCATALOG,恢复数据库时需恢复控制文件,且数据库需保持 NOMOUNT 状态。RMAN 恢复命令脚本如下:

```
run{
    shutdown abort;
    startup nomount;
```

```
restore controlfile from autobackup;
alter database mount;
restore database;
recover database;
alter database open;
}
```

### 2.2 逻辑备份

#### 2.2.1 基于 Exp/Imp 的数据迁移

PLSQL Developer 中基于 Oracle Exp/Imp 的数据迁移可在数据库不关闭的状态下完成,实现表级的备份和恢复,通过条件筛选可自定义备份和恢复数据,不受 Oracle 数据库归档的限制<sup>[10]</sup>。在台站节点数据库无法恢复时,可使用 PLSQL Developer 工具的 Oracle Exp/Imp 进行数据迁移,通过区域中心节点数据库筛选表内数据,恢复台站数据库。

2020 年 1 月,河北石家庄中心站 Oracle 数据库出现系统故障,由于台站节点无备用数据库,为确保当天数据及时入库,台站工作人员重装系统,造成数据丢失。为尽快恢复数据,区域中心制定数据迁移方案,数据迁移流程如图 2 所示。

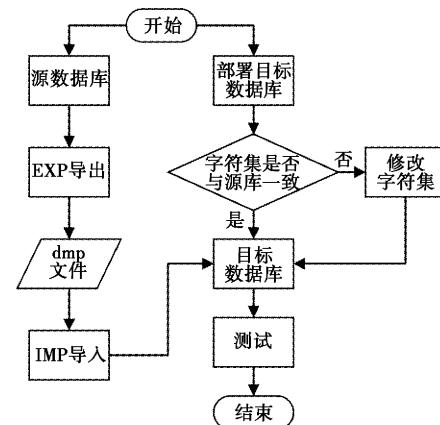


图 2 基于 Exp/Imp 的数据迁移流程图

Fig. 2 Data migration flow chart  
based on Exp/ Imp

(1) 源数据库为省局地球物理 Oracle 数据库,通过筛选表内石家庄中心站所辖数据,导出源数据。

(2) 部署目标数据库时,数据库为 Oracle10g,在数据导入前,目标数据库配置须与源数据库完全一致。目标库中管理系统为台站节点,Oracle 数据库可通过安装管理系统,设置相关参数,建立与源数据库完全一致的用户和数据结构。在目标机上部署 Oracle 数据库后,检测 Oracle 版本、字符集、系统环境变量等是否与源数据库一致。

(3) 源数据导出。通过 PLSQL Developer 工具中的 Oracle 导出功能,将石家庄中心站的数据全部导出。在导出数据时,选定石家庄中心站节点所包含的测项表,筛选条件为石家庄中心站包含的台站(where stationid='13024' or stationid='13025' or stationid='13103' or stationid='13104' or stationid='13105' or stationid='13106' or stationid='13109' or stationid='13148' or stationid='13149')。导出的可执行文件为本地 Oracle 的数据迁移工具 EXP,导出的数据文件为.dmp 文件。

(4) 数据导入。打开 PLSQL Developer 工具的 Import Table,通过 Oracle 导入界面,加载可执行文件 IMP.EXE,选择源数据导出的.dmp 文件,点击 Import 导入数据。

(5) 测试。为确保数据迁移的完整性,通过 count 查验两端数据记录的条目数,检测源数据库与目标数据库两端数据量是否一致。在数据记录条目一致时,抽检数据的一致性。分别绘制两端数据库中相同时段的观测数据,通过对比曲线的一致性,查验数据迁移是否出错。

## 2.2.2 基于数据泵的数据迁移

数据泵技术是基于 Oracle9i 及前期版本的 Exp/Imp 逻辑备份技术。相对于冷备份长时间的停库状态,数据泵可实现数据库的逻辑备份,提高数据的迁移速度和效率。基于数据泵的数据迁移,备份库需建立与主库完全一致的用户及数据结构。备份数据库在安装管理系统时,已创建与主库完全一致的数据表,备份库中 Oracle 安装时的用户设置与主库一致。基于数据泵的数据迁移流程与 Exp/Imp 数据迁移大致相同,数据备份由以下 3 个步骤组成。

(1) 定义 directory 参数,指定路径。在主、备数据库创建目录对象,用于存放数据迁移及日志文件在系统中的位置,通过 SSH 使用以下命令创建:

```
create directory pdb_qz as 'C:\bak'.
```

(2) 从主库中导出全部数据,导出命令为:

```
Expdp qzdata/xx@10.13.x.x/pdbqz directory=qztest dumpfile=xx.dmp schemas=qzdata logfile=xx.log full=n.
```

(3) 将备份.dmp 文件传输至备份数据库对应目录,进行数据泵全库的导入:

```
Impdp qzdata/xx@10.13.x.x/pdbqz directory=qztest dumpfile=xx.dmp schemas=qzdata logfile=xx.log full=n.
```

## 2.2.3 注意事项

逻辑备份通常用于恢复台站节点数据,由于数据从上级数据库中获得,部分字段标识和交换标志需重新设置。在数据迁移过程中,注意以下几点内容。

(1) 导入.dmp 文件时,会删除原有数据,如目标

数据库有数据,需确认源数据是否包含此数据。

(2) 从目标数据库导出数据时,oracle 客户端版本必须与服务器端一致,或低于服务器端 oracle 版本,否则使用 PLSQL Developer 工具中的 Oracle export 导出时,无法导出 blob 长数据流。

(3) 数据导入目标数据库前,须先删除原有表,否则报错,服务器拒绝执行导入;用 delete 删除表时,需执行 commit 命令,否则,在执行导入命令时处于等待状态。

(4) 下级节点导入数据后,为防止再次交换到源数据库,需修改导入表的 date\_index 字段;同时为保证新数据交换到上级服务器,注意表 table\_bak\_flg 中 upperindex 字段和相应表的 Next number 是否对应。

## 3 字符集设置

数据迁移时,Oracle server 端、Oracle client 端及 PLSQL Developer 三者应保持字符集的一致性,否则迁移的数据有可能出现乱码等情况。数据迁移前,首先查询 Oracle server 端的字符集,查看服务器端编码 select userenv('language') from dual; 再查询 Oracle client 端字符集,执行语句 select \* from V\$NLS\_PARAMETERS,查看第一行中 PARAMETER 项中为 NLS\_LANGUAGE 对应的 VALUE 项中是否和服务器端一致。如不是,需设置环境变量,环境变量 NLS\_LANG 设为服务器端查询的值。PLSQL Developer 客户端使用的字符编码和服务器端不一致,数据迁移会出现乱码。

在部署服务器时,Oracle 数据库字符集一旦创建,所存储的字符会受到限制。如出现字符集不一致时,通常修改 Oracle client 端、PLSQL Developer 字符集,使其与 Oracle server 端保持一致。

## 4 结语

地球物理 Oracle 数据库安全、稳定的运行是开展数据分析的基础,数据迁移工作能保障数据的安全,备份现有数据,又可提取数据部署到其他平台,提供数据服务,数据迁移是地球物理台网数据管理的一项重要工作。该文结合日常工作,介绍几种不同方式的数据迁移和实例,根据数据库部署节点属性及故障程度,可选择不同的方式进行数据恢复。在进行物理备份时,备份文件需异地存放,可防止服务器出现硬盘故障,造成数据丢失。实践表明,逻辑备份和物理备份的有效结合,可提高地球物理 Oracle 数据库运行的稳定性。目前,河北地球物理台网台站节点的 Oracle 数据库备份自动化程度低,需加强软件开发,提高省局运维工作的自动化管理。

## 参考文献:

[1] 周克昌,蒋春花,纪寿文,等. 地震前兆数据库系统设计

- [J]. 地震, 2010, 30(2): 143-151.
- [2] 刘高川, 滕云田, 王晨, 等. Oracle 复制技术在地震前兆元数据交换中的应用 [J]. 中国地震, 2008(2): 142-149.
- [3] 王军, 李正媛, 黄经国, 等. 地震前兆数据库系统共享接口设计与实现 [J]. 震灾防御技术, 2018, 13(3): 709-717.
- [4] 裴红云, 陈俊, 谢庆, 等. 地震台站前兆数据库备份管理 [J]. 四川地震, 2018(4): 29-32.
- [5] 胡玉良, 程冬焱, 穆慧敏, 等. 山西地震前兆台网系统运行维护 [J]. 山西地震, 2013(3): 44-48.
- [6] 裴红云, 刘川琴, 李发, 等. 区域台网地震前兆数据库故障应对初探 [J]. 内陆地震, 2015, 29(3): 274-279.
- [7] 王军, 黄经国, 纪寿文. 地震前兆 Oracle 数据库备份策略与应用 [J]. 地震地磁观测与研究, 2017, 38(2): 143-147.
- [8] 穆慧敏, 胡玉良, 王鹏伟, 等. 地震监测数据容灾备份程序设计与实现 [J]. 地震地磁观测与研究, 2019, 40(2): 146-149.
- [9] 陈传华, 曲保安, 朱荣, 等. 前兆管理系统数据库冷备份及恢复方法实现 [J]. 地震地磁观测与研究, 2010, 31(4): 135-139.
- [10] 王莉森, 殷金平, 张云昌. 河北省地震前兆观测数据备份与恢复 [J]. 地震地磁观测与研究, 2018, 39(1): 159-165.

## Research on Oracle Database Migration Method and Its Application in Hebei Geophysical Network

WANG Jia-min<sup>1,2</sup>, MA Guang-qing<sup>1,2</sup>, ZHAO Peng<sup>1,2</sup>, LI Yong-qing<sup>1,2</sup>

(1. Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang, Hebei 225000, China;

2. Hebei Hongshan National Observatory on Thick Sediments and Seismic Hazards, Xingtai, Hebei 055350, China)

**Abstract:** The safe and stable operation of geophysical Oracle database is the basis for seismic data analysis and research. System failure of the server will affect data collection and processing. There is no standby database at the station node, and data loss is easily caused by failure. Data migration is the process of database backup and recovery. The database backup of geophysical nodes based on Oracle mainly includes cold backup, online hot backup and logical backup. Combined with the daily work of geophysical network, this paper introduces several examples of data migration in different ways. The results show that the effective combination of logical backup and physical backup can improve the stability of Oracle database in geophysical network.

**Key words:** Data migration; Oracle database; Cold backup; Exp/Imp; Data pump

(上接第 33 页)

### 参考文献:

- [3] Shao Meng. 使用 AForge.NET 做视频采集 [EB/OL]. [2016-03-23]. <http://www.cnblogs.com/shaomeng/article/4999816.html>.
- [4] Three-co. 关于 Python 基于 TCP 的服务器端和客户端编程 [EB/OL]. [2017-10-25]. <https://blog.csdn.net/three-co/article/details/78347385>.

## Design and Implementation of Extremely Low Frequency ADU-07e Host Remote Video Monitoring System

WANG Xiang-liang, DING Cheng

(Chengde Earthquake Monitoring Center Station, Hebei Earthquake Agency, Chengde, Hebei 067000, China)

**Abstract:** Using the simulated Http request, AForge. Net library, Socket communication, Motion and other technologies, and C# and python language are used to develop and complete the remote video monitoring software and hardware system of the extremely low frequency ADU-07e host, which is divided into two parts: server and client. The server side is composed of hardware (raspberry pi, relay module and camera module) and software (Motion, tcp server python program). It is deployed in the extremely low frequency host room of electromagnetic observation station of Fengning Seismic Station to respond to the remote control request of the station client and provide the video image information of the extremely low frequency host to the station client. The client is the extremely low frequency video monitoring software deployed on the working computer of the station, which mainly includes three functional modules, namely, the abnormal alarm module of the host state display, the host video information display module and the remote power on / off control module of the extremely low frequency host. The completion of the system can improve the continuity and observation quality of seismic observation data, save the operation and maintenance cost of the station, and improve the work efficiency.

**Key words:** Raspberry pi; Video monitoring; Relay