

《四川地震》 第6届编辑委员会

主 编：雷建成

副主编：杜 方 易桂喜 周荣军

编 委：（按姓氏笔画排序）

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

四川地震 二〇二一年 第一期 总第一七八期

四川地震

Sichuan Dizhen EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN



四川地震 Sichuan Dizhen
(季刊, 1977年创刊)
2021年第1期 (总第178期) 2021年3月

EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN
(Quarterly, Started in 1977)
No.1, (Series No.178) March 2021

主办单位：四川省地震局
编辑出版：《四川地震》编辑室
主 编：雷建成
发行订购：《四川地震》编辑室
地 址：成都市人民南路3段29号
邮政编码：610041 电话号码：028-85436543
国外发行：中国国际图书贸易集团有限公司
100048北京海淀区车公庄西路35号
国外发行代号：QR733
排版印刷：成都金龙印务有限责任公司

Sponsor: Sichuan Earthquake Agency
Editor: 《Earthquake Research in Sichuan》 Edit Office
Editor-in-chief: LEI Jiancheng
Printer and Distributor: Edit Office of ERS
Address: No.29, 3rd Section of South Renmin Road,
Sichuan Chengdu 610041, China
Distributor Abroad: China International Publishing
Group Ltd.Co.
Printer: Chengdu Golden Dragon Printing Ltd. Co.

公开发行 中国标准连续出版物号：ISSN 1001-8115
CN 51-1163/P

国内定价：10.00元/册



2021.1

四川省地震局 主办

《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊
《中国学术期刊综合评价数据库》源期刊
《中国学术期刊(光盘版)》入编期刊

《中国期刊全文数据库》收录期刊
《中文科技期刊数据库》入编期刊
《万方数据数字化期刊群》入编期刊

2021 年第 1 期

四川地震

(季刊)

总第 178 期

目 次

- 基于 GPS 和强震资料反演汶川 8.0 级地震的同震滑动模型 陈 聪,何福秀,张 澜(1)
- 甘孜—玉树断裂南段浅层地震反射波法探测 赵 航,李大虎,赵 晶,张 理,陈学芬(6)
- 闽侯旗山井数字化水温异常干扰分析 朱继承,郑辰禾,邓 聪,杨佩琴(12)
- 冕宁地震台深井地电阻率观测系统简述及典型干扰数据特征分析
..... 杨志鹏,缪素秋,陈秀清,徐建明,张御阳,杨贤和,巫萌飞(18)
- 新媒体视域下四川地震灾后新闻报道分析——以 2019 年“6·17”长宁 6.0 级地震为例
..... 孙 思,罗 松(25)
- 地震应急信息产品服务需求分析——以四川青白江 5.1 级地震为例
..... 周 妍,张 翼,王 悦,许 娟,陈维锋(30)
- MISFIT 及 MISFIT-GOODNESS 在同址记录一致性中的应用研究 李冬圣,李小军,贾 炯,蔡玲玲(33)
- 江苏常熟台 VS 与 VP 型倾斜仪观测数据对比分析 刘冬冬,陆德明,狄 樑,钱文杰,丁建国(39)
- 云南楚雄 M4.7 地震震源机制解分析..... 杨云存,王华柳,段 毅,孙自刚(44)

主 编 雷建成
责任编辑 吴 江
编 辑 魏娅玲 周文英 梁明剑

期刊基本参数:CN 51 - 1163/P * 1977 * q * A4 * 48 * zh * P * ¥10.00 * 1000 * 9 * 2021 - 3
电子信箱:scdz@scdzj.gov.cn(备用邮箱:scdzbjb@163.com)

EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN

(Quarterly, Started in 1977)

No. 1 2021 Series 178

CONTENTS

Inversion of Wenchuan 8.0 Earthquake Based on GPS and Strong Earthquake Data Coseismic Sliding Model	CHEN Cong, HE Fuxiu, ZHANG Lan(1)
Exploration for the Southern Segment of the Ganzi-Yushu Fault Zone Using Shallow Seismic Reflection Method	ZHANG Hang, LI Dahu, ZHAO Jing, ZHANG Li, CHEN Xuefen(6)
Discussion on the Interferences of Digitalized Observation Data of the Groundwater Temperature of Qishan Well in Minhou County	ZHU Jicheng, ZHENG Chenhe, DENG Cong, YANG Peiqin(12)
Introduction the Mianning Deep Well Geoelectrical Observation System and Analysis its Typical Interference Characteristics	YANG Zhipeng, MIU Suqiu, CHEN Xiuqing, XU Jianming, ZHANG Yuyang(18)
News Reports From New Media Prespective After The Earthquake in Sichuan——Take “6·17” Changning $M_s6.0$ Earthquake as an Example	SUN Si, LUO Song(25)
Analysis of Earthquake Emergency Information Product Service Needs——Taking Sichuan Qingbaijiang $M_s5.1$ Earthquake for Example	ZHOU Yan, ZHANG Yi, WANG Yue, XU Juan, CHEN Weifeng(30)
The Application of Misfit and Misfit-Goodness for the Co-location Record	LI Dongsheng, LI Xiaojun, JIA Jiong, CAI Lingling(33)
Comparative Analysis of the Observation data of VS Vertical Pendulum Tiltmeter and VP Broadband Vertical Pendulum Tiltmeter	LIU Dongdong, LU Deming, DI Liang, QIAN Wenjie, DING Jianguo(39)
Analysis the Focal mechanism solution of the Chuxiong $M4.7$ earthquake in Yunnan Province	YANG Yuncun, WANG Hualiu, DUAN Yi, SUN Zigang(44)

Managing Editor for this issue : WEI Yaling and ZHOU Wenyong and LIANG Mingjian

Translator for English Abstract : DU Fang

E-mail : scdz@scdzj.gov.cn

基于 GPS 和强震资料反演汶川 8.0 级地震的同震滑动模型

陈 聪,何福秀,张 澜
(四川省地震局,四川成都 610041)

摘 要:通过震中附近 GPS 同震位移资料,采用 SDM 反演法,应用均匀介质模型和分层地壳结构模型分别反演汶川 8.0 级地震的同震滑动,并加入强震资料进行反演对比分析,结果表明:两种模型反演的同震滑动分布与发震断层的科考结果吻合,分层地壳结构模型的反演结果整体上要优于均匀地壳结构模型的反演结果;GPS 与强震数据分别反演得到的同震位移方向、幅度和断层错动方式基本一致,GPS、强震单一数据反演和联合反演结果得到的矩震级、平均滑动量具有很好的一致性。总体而言,强震模型的最大滑动量和最大应力降较 GPS 模型的结果更为显著,可能与强震数据中出现较大水平位移的站点与断层更为接近有关。

关键词:汶川地震;同震位移;GPS;强震;同震滑动模型

中图分类号:P315.7 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2021)01-0001-05

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.001

2008年5月12日,青藏高原东缘龙门山断裂带发生 $M_s 8.0$ 强烈地震并引发了巨大的地质灾害。地质考察结果表明,本次地震造成的最大垂直破裂错距和右旋水平错距分别达 6.2 m 和 4.9 m(徐锡伟等,2008)。地震波反演结果表明,本次地震引起的断层面上的最大位错 7~12 m(王卫民等,2008)。此外,国内外很多学者也通过地质调查、地震波联合反演等方法,给出了类似的汶川地震断层破裂模型(WANG et al.,2008;HASHIMOTO et al.,2008;GE et al.,2008;Shen et al.,2009;许才军等,2010;孙建宝等,2008)。然而,作为迄今为止地表破裂结构最复杂、破裂长度最长的一次特大地震事件,一方面,地质考察的结果很难提供全面、精确的地表位错结果且不能触及破裂断层的深处;另一方面,地震波数据一般位于远场或中远场,反演因缺乏对断层破裂宽度等几何参量的精准约束能力(王敏,2009),其结果的可靠性也需要独立的手段进行印证。近年来,随着 GPS 等大地测量手段的不断发展,毫米级的地表位移监测能力为地震发震断层的几何参量(如,位置、破裂长度、宽度等)的精准约束提供了新的独立的学科支撑(Segall et al.,1997)。

本文以汶川地震前、后 100 个 GPS 观测站点获得的地震同震形变场为约束,采用 SDM(Steepest Decent Method)方法,计算了本次地震在不同地壳速度结构模式下的断层滑动分布,同时,为了进行对比分析,还加入断层周边 34 个强震台数据,联合反演了此次地震的同震位错模型。

1 数据及模型建立

结合已有地质考察结果(徐锡伟等,2008),本文确定了一个长度为 240 km 的主震破裂带模型,对应的几何参数见表 1。反演涉及的 100 个 GPS 观测站点数据包括位于断裂下盘的连续站和断裂上盘的流动站数据,国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络”项目(2008)对其同震位移的获取方法进行了详细介绍。图 1 显示了 GPS 站点观测到的不同位置的水平同震位移分布,其揭示的最为显著的特征是,以主发震断裂(映秀—北川)为中心,两侧站点存在相向运动和强烈的水平缩短,表明汶川地震是一次以逆冲为主的地震,与震源机制解结果相符。由于 GPS 观测点在主断层附近分布较密集,34 个强震点沿着断层两侧分布,且离断层线较近(见图 1),因此,两种数据为反演地震破裂过程提供了很好的数据基础和约束条件。

收稿日期:2020-11-30;修回日期:2020-12-09

基金项目:四川省地震局科技专项(LY1908)和“川滇区域 GNSS 大地构造物理及壳幔动力研究”科技创新团队(201803)资助。

作者简介:陈聪(1983-),女,四川威远人,高级工程师,主要从事 GNSS 数据分析工作。E-mail:24947542@qq.com.

表1 汶川地震主震发震断层参数(徐锡伟等,2008)

经度 /(°)	纬度 /(°)	长度 /km	宽度 /km	走向 /(°)	倾向 /(°)	滑动角 /(°)
104.8	32.16	240	40	224.0	65~20	80~180

2 反演方法及原理

采用 Wang 等(2013)根据约束条件下最小二乘原理及最速下降法程序进行反演。在断层的位置和几何参数确定后,断层面的滑移量和观测值之间可以用线性关系表示:

$$y = Gb + \varepsilon \quad (1)$$

其中, y 表示GPS观测值; G 为格林函数,是运用位错理论根据弹性半无限空间或分层地球模型计算的,与断层的走向、倾角、长度、宽度、深度和位置有关,同时 G 也与选取的介质模型有关; b 表示每个子断层上的滑移量,分为走向和倾向两个方向的分量; ε 表示观测误差及与模型构建有关的误差。一般情况下,为获得整个断层的位错分布,需把断层离散化为一些形状规则的矩形子断层,然后求每个子断层的滑移量。但是,离散化会造成待反演参数数量的明显增加,当待求断层滑移参数大于地表观测值的数量或者观测方程存在较强相关性时,方程解算就存在不稳定性。另外,地表观测点的不均匀分布也可能会引起解的不稳定性,为了获得稳定且合理的解,一般需要赋予方程一定的约束条件,如:断层位错或断层面应力降的平滑性条件。如此,方程(1)的解就变成了求如下目标函数最小值的解(Wang et al., 2009):

$$F(b) = \|Gb - y\|^2 + \alpha^2 \|H\tau\|^2 \quad (2)$$

式中, H 表示拉普拉斯算子的有限差分近似,用于计算断层滑移的粗糙程度, τ 表示断层面上的应力降, α 是平滑因子,用来控制断层滑动的粗糙程度和模型预测值与观测值的吻合程度,可从基于残差和模型粗糙度之间的折中曲线获得。上式是考虑断层面应力降的平滑性条件,若考虑位错分布的平滑性条件,则式中 τ 变为 s ,即断层面上每个子断层的滑移量。

3 结果与分析

计算中分别运用了均匀地壳速度结构模型与分层地壳速度模型来反演断层的滑动分布。两种模型的区别在于,均匀地壳速度模型通过泊松比值,计算均匀半空间模型下位错面上单位滑移量在地表观测点产生的位移值大小,即相应的格林函数;分层地壳速度模型给出了不同深度P波、S波、密度等信息,计算的是分层地壳结构模型下错位面上单位滑移量在地表观测点产生的位移值大小,还计算不同层面上的剪切模量及格林函数。

3.1 两种模型反演的地震滑动分布

基于均匀地壳速度结构模型获取的反演结果如图2a所示。反演得到的本次地震矩震级为 $M_w 7.8$,最大同震位错7.2 m,位于震中附近区域3.5 km深度;平均滑动量1.2 m,平均滑动角 132° ;2 m以上的位错主要发生在3~10 km深度。反演的断层模型可以较好地解释观测数据(图3a),数据拟合残差在南北、东西2个方向分别为1.94 cm和1.88 cm。

虽然均匀半空间滑动分布反演模型能够较好地拟合GPS观测值,但已有研究表明,地球介质的分层对同震形变场有一定的影响(Du et al., 1994; Hearn et al., 2002),位于青藏高原东缘的龙门山断裂带区域地壳结构复杂,存在明显的介质分层现象(宋鸿彪, 1994; Xu et al., 2008),为此,进一步进行顾及地壳结构的滑动分布反演,分层介质模型参数来自

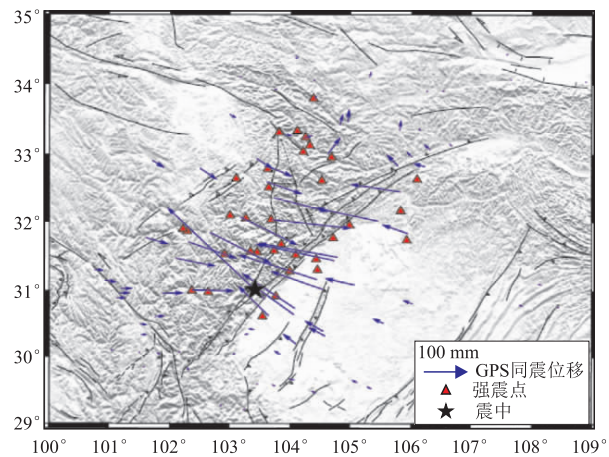


图1 GPS观测到的汶川地震同震位移场

表2 分层地壳模型参数表

层数	厚度 /km	V_p /(km/s)	V_s /(km/s)	密度 /(kg/m^3)
1	0.0	2.50	1.20	2100
2	1.5	4.50	2.60	2500
3	8.0	6.20	3.60	2800
4	17.0	6.40	3.60	2850
5	29.0	6.80	3.80	2950

CRUST1.0 模型的结果 (Mooney et al., 1998), 如表 2 所示。分层地壳结构模型反演得到的同震滑动分布如图 2b 所示。反演得到的矩震级为 M_w 7.9, 最大同震位错 8.6 m, 发生在震中附近区域约 3.5 km 深度处; 平均滑动量 1.8 m, 平均滑动角 126° 。该结果与地震学、InSAR 等结果相当 (张勇等, 2008; 王卫民等, 2009), 与震后野外考察结果较为一致 (黄媛等, 2008)。该模型整体上与实际 GPS 观测结果符合较均匀模型有微弱改进 (图 3b), 数据拟合平均残差在南北、东西方向分别为 1.73 cm 和 1.57 cm。

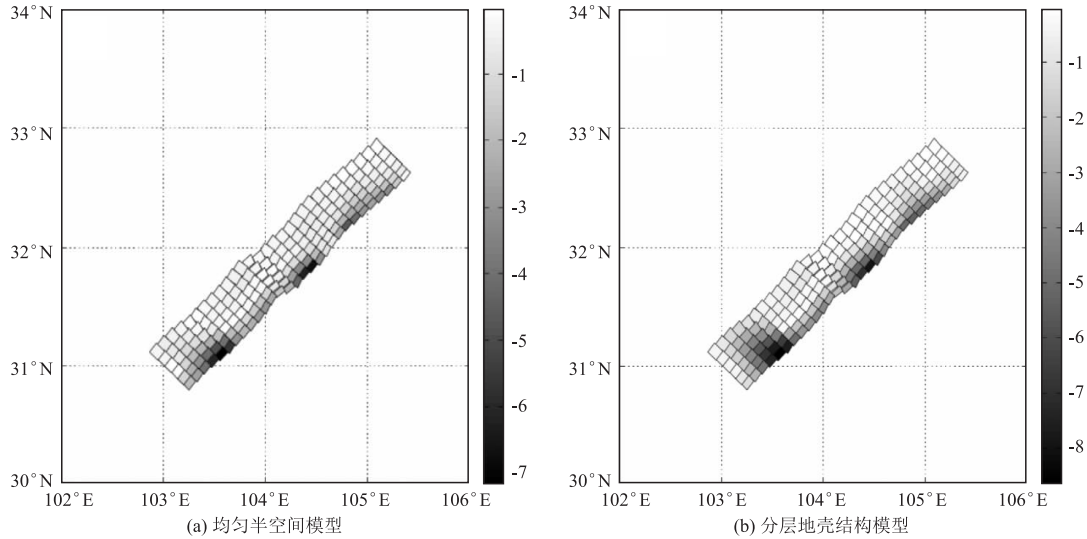


图 2 GPS 数据反演的汶川主断层的同震滑动分布

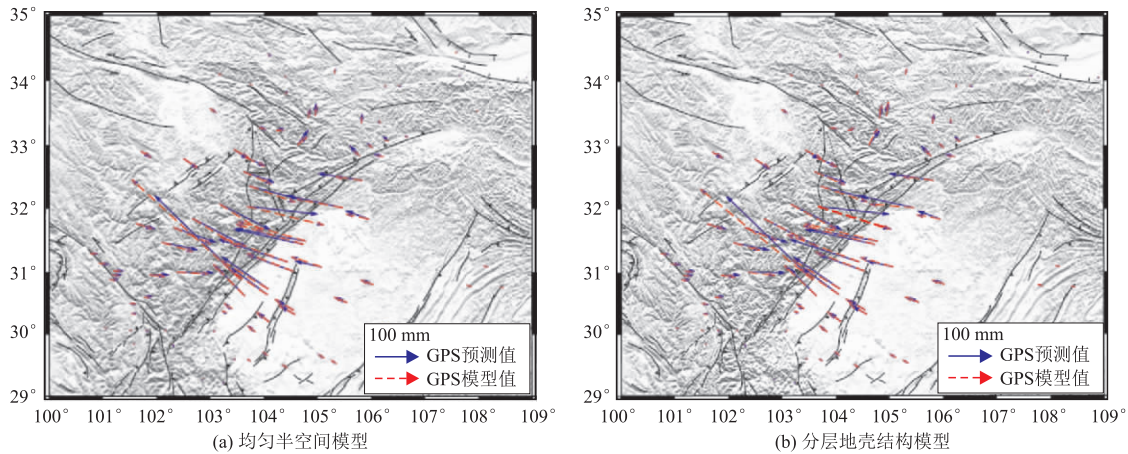


图 3 GPS 同震位移模型值与观测值的对比

从断层滑动分布上看, 两种反演模式均显示该断层有两个较大的集中破裂区, 分别位于震中映秀和北川附近, 与地震波反演得到的结果一致。

表 3 两种反演模式结果对比

反演模式	反演项	矩震级/ M_w	最大同震位错/m /对应深度/km	平均滑动量/m	平均滑动角/ $^\circ$	数据拟合残差 (南北向/东西向)/cm
均匀半空间滑动分布		7.82	7.2/3.5	1.15	132	1.94/1.88
分层地壳结构滑动分布		7.89	8.64/3.5	1.79	126	1.73/1.57

3.2 不同资料反演的滑动模型比较

在上述 GPS 分层地壳结构模型反演的基础上, 加入断层周边 34 个强震台记录数据, 反演结果如图 4 所示。由图可以看出, GPS (实线) 和强震 (虚线) 两种不同数据得到的同震位移场结果相比, 有以下特性: 1) 两种数据得到的同震位移分布的方向与幅度一致性较好, 同一观测站点的强震数据结果比 GPS 结果略偏大; GPS 最大水平位移在断层的西侧, 东西向 2.4 m, 南北向 0.4 m, 强震最大水平位移点也在断层西侧, 东西向

1.7 m,南北向0.4 m。2)GPS与强震解算的同震位移场反映的断层错动方式基本一致,其水平位移场特征均表现为断层上盘向南东运动,下盘向西北运动,显示发震断层错动以逆冲为主。

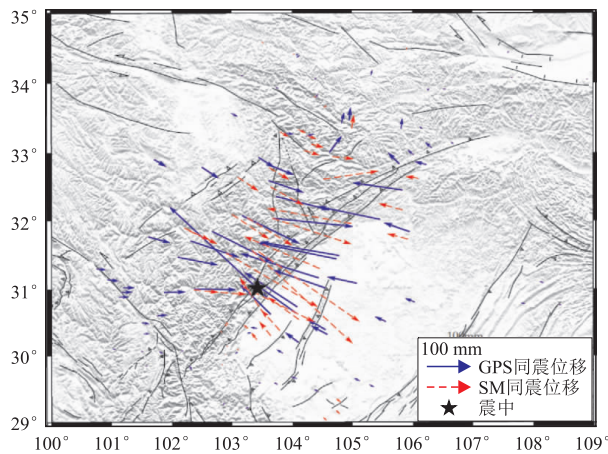


图4 GPS、SM观测到的5.12汶川地震同震位移场

GPS、强震独立及联合反演断层面滑动模型结果详见表4。三种数据得到的矩震级基本一致,为 M_w 7.9左右,滑动均以逆冲为主,平均滑动量较为一致。三种结果的差异主要表现在强震模型的最大滑移量、最大应力降结果较GPS结果更为显著,

表4 不同资料在同一断层面参数下反演的震源滑动模型比较

参数比较	GPS	SM	GPS + SM
M_w	7.89	7.85	7.89
平均滑动/m	1.79	1.71	1.81
最大滑动/m	8.64	10.79	8.64
平均应力降/MPa	1.96	2.73	1.99
最大应力降/MPa	8.78	14.11	8.75

可能与强震数据中出现较大水平位移的站点与断层更为接近有关。

4 结论

本文利用GPS同震位移场,通过均匀介质模型和分层介质模型分别反演了汶川8.0级地震的同震滑动,结果表明:同震滑动分布与发震断层的科考结果相吻合;分层地壳结构模型的反演结果整体上要优于均匀地壳结构模型的结果。GPS与强震数据分别反演得到的同震位移方向、幅度和断层错动方式基本一致。GPS、强震单一数据反演和联合反演结果得到的矩震级、平均滑动量具有很好的一致性。总体而言,强震模型的最大滑动量、最大应力降较GPS模型更为显著,可能与强震数据中出现较大水平位移的站点与断层更为接近有关。

参考文献

黄媛,吴建平,张天中,等.2008.汶川8.0级大地震及其余震序列重定位研究[J].中国科学:D辑,38(10):1242-1249.

宋鸿彪.1994.龙门山造山带地质和地球物理资料的综合解释[J].成都理工学院学报,21(2):79-88.

孙建宝,梁芳,沈正康,等.2008.汶川 M_s 8.0地震InSAR形变观测及初步分析[J].地震地质,30(3):789-795.

王敏.2009.基于GPS同震位移场约束反演2008年5.12汶川大地震破裂空间分布[J].地球物理学报,52(10):2519-2526.

王卫民,赵连锋,李娟,等,2008.四川汶川8.0级地震震源过程[J].地球物理学报,51(5):1403-1410.

王卫民,姚振兴.2009.再谈汶川8.0级地震震源破裂过程[R/OL].[2009-02-10].http://www.csi.ac.cn/Sichuan/sichuan080512_110.htm.)

徐锡伟,闻学泽,于慎鄂,等.2008.汶川 M 8.0地震地表破裂的发现及其发震构造讨论[J].地震地质,30(3):576-595.

许才军,林敦林,温扬茂.2010.利用InSAR数据的汶川地震形变场提取及分析[J].武汉大学学报·信息科学版,35(10):1138-1142

张勇,冯万鹏,许力生,等.2008.2008年汶川大地震的时空破裂过程[J].中国科学:D辑,38(10):1186-1194.

国家重大科学工程“中国地壳运动观测网络”项目.2008.GPS测定的2008年汶川 M_s 8.0级地震的同震位移场[J].中国科学:D辑,38(10):1195-1206.

Du Y J,Segall P,Gao H J.1994.Dislocations in inhomogeneous media via a moduli perturbation approach;General formulation and two-dimensional solutions[J].J. Geophys. Res. ,99(B7):13767-13779.

GE L,ZHANG K,NG A,et al.2008.Near real-time radar interferometric mapping of the 12 May 2008 M_s 8.0 Wenchuan Earthquake in China[C]//AGU Fall Meeting 2008 Eostrans,89(53),San Francisco;American Geophysical Union.

HASHIMOTO M,ENOMOTO M,FUKUSHIMA Y,et al.2008.Interferograms of Coseismic Deformation from the May 12,2008,Sichuan,China,Earthquake obtained by ALOS/PALSAR[C]//AGU Fall Meeting 2008 Eos Trans,89(53). San Francisco;American

Geophysical Union.

Hearn E H, Bürgmann R, Reilinger R E. 2002. Dynamics of Izmit earthquake postseismic deformations and loading of the Düzce earthquake hypocenter[J]. *Bull. Seismol. Soc. Am*, 92(1):172–193.

Mooney W D, Laske G, Masters T G. 1998. CRUST5.1: A global crustal model at $5^\circ \times 5^\circ$. *J Geophys Res*, 103:727–747.

Segall P, Davis J L. 1997. GPS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies[J]. *Ann Earth Planet Sci*, 25:301–336.

Shen Zhengkang, Sun Jianbao, Zhang Peizhen, et al. 2009. Slip Maxima at Fault Junctions and Rupturing of Barriers During the 2008 Wenchuan Earthquake[J]. *Nature Geosci*, 2:718–724.

Wang L, Wang R, Roht F, et al. 2009. Afterslip and viscoelastic relaxation following the 1999 M7.4 İzmit earthquake, from GPS measurements[J]. *Geophys J Int*, 178:1220–1237.

Wang R J, Parolai S, Ge M R, et al. 2013. The 2011 Mw9.0 Tohoku Earthquake: Comparison of GPS and strong-motion data[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(2B):1336–1347.

WANG Q, QIAO X, WANG M, et al. 2008. GPS-derived coseismic deformation associated with the 12 May 2008 Wenchuan Earthquake[C]//AGU Fall Meeting 2008 EosTrans 89(53). San Francisco: American Geophysical Union.

XU Xiwei, WEN Xueze, CHEN Guihua, et al. 2008. The Foundation and Tectonic Significance of Longriba Fault Belt in Bayankara Block [J]. *Science in China: D*, 38(10):1242–1249.

Inversion of Wenchuan 8.0 earthquake based on GPS and strong earthquake data Coseismic sliding model

CHEN Cong, HE Fuxiu, ZHANG Lan

(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: By GPS data of coseismic displacement near the epicenter, the SDM inversion method is adopted, the application of homogeneous medium model and layered crust structure model inversion are used to calculate respectively coseismic slip model of wenchuan 8.0 earthquake. And join the earthquake data inversion comparison analysis are made. The results show that the two kinds of distribution of coseismic slip model inversion and the seismogenic fault of research results, layered crustal structure model of inversion result is better than uniform crustal structure model on whole results. The direction, amplitude and fault dislocation mode of the co-earthquake displacement obtained by GPS and strong earthquake data are basically the same, and the moment magnitude and average slip magnitude obtained by GPS, single data inversion of strong earthquake and joint inversion have a good consistency. In general, the maximum slip momentum and maximum stress drop of the strong earthquake model are more significant than those of the GPS model, which may be related to the closer proximity of the stations and faults with large horizontal displacement in the strong earthquake data.

Keywords: Wenchuan earthquake; coseismic displacement; GPS; strong motion; coseismic sliding model

甘孜—玉树断裂南段浅层地震反射波法探测

赵航¹, 李大虎¹, 赵晶², 张理³, 陈学芬¹

(1. 四川省地震局, 四川 成都 610041; 2. 四川省地震局西昌地震中心站, 四川 西昌 615000;

3. 四川省地震局康定地震中心站, 四川 康定 626001)

摘要:2010年4月14日7时49分在青海省玉树藏族自治州玉树县发生7.1级地震,地震灾区的恢复重建工作受到隐伏断裂段和余震活动等因素的严重制约,尤其是NW走向的甘孜—玉树断裂的空间展布位置对选址重建及断裂合理避让起着决定性作用。本研究以甘孜—玉树断裂南段为探测目标,在探测工作中采取了小道间距、小偏移距、多道短排列接收、共反射点多次覆盖观测的工作方式,进行跨断层的浅层地震反射波法探测,查明了甘孜—玉树断裂南段的空间展布位置和近地表构造形态,地震剖面揭示出的地层反射具有较高的信噪比和分辨率特征,且在横向上反射波同相轴可以连续追踪,地层界面的起伏变化形态和断裂构造特征也非常清楚,解译出了3支断层在覆盖层中呈花状构造展布,符合大型走滑断裂的构造样式。探测定位结果为灾后恢复重建和工程选址工作中避开断裂带、减少未来可能造成的地震灾害损失提供了科学依据。

关键词:玉树7.1级地震;甘孜—玉树断裂;浅层地震反射波;活动断裂探测

中图分类号:P315.7

文献标识码:B

文章编号:1001-8115(2021)01-0006-06

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.002

近二十年来,巴颜喀拉块体边界断裂带发生了一系列的强震、大地震(邓起东等,2010;梁明剑等,2016)。其中,2010年4月14日发生在青海省玉树藏族自治州玉树县(33.2°N,96.6°E)的7.1级地震造成了严重的人员伤亡和财产损失,是继2008年5月12日汶川地震之后又一次有极大社会影响的地震事件。玉树地震的发震断层为甘孜—玉树断裂,该断裂虽然大部分存在明显的地表断裂行迹,但局部段落穿过第四纪盆地或受冲沟侵蚀和最新的冲洪积扇所覆盖,断层行迹不甚明显。因此,仅凭目前单一的地面地震地质调查工作难以准确厘定其具体的空间通过位置和展布形态,从而制约了对该断裂最新活动性的评价和最大发震能力的评估,对于灾后进行的工程选址工作,同样也受到隐伏断裂段和强余震活动等因素的严重制约。然而,多年以来还没有专门针对甘孜—玉树断裂南段地区开展过浅层地球物理探测工作,针对甘孜—玉树断裂南段地区复杂的地质构造环境和特有的浅层地震地质条件,选择何种地球物理探测定位方法以及如何实施才能达到较好的探测效果成为了需要解决的首要问题。浅层地震反射波法探测是目前国内外为探测第四系覆盖区隐伏断裂所采用的一种可信度较高且较为成熟的一种方法,利用反射剖面上丰富的反射波组特征判定断层的存在并确定其产状等基本参数,与其它方法相比,该方法在断层定位及几何特征的判定上具有较高的精度,尤其是近些年来,浅层地震反射波法在大震科学考察与城市活动断层探测中得到了广泛的应用,并有效地解决了一些地质问题(丁志峰等,2002;尤惠川等,2002;何正勤等,2007,2013;李大虎等,2010,2015a,2015b;顾勤平等,2013)。本次探测研究主要通过采用人工锤击激发、小道间距、多道短排列接收以及多次覆盖观测相结合的地震数据采集技术及数据处理获得浅层地震反射剖面图像,揭示了甘孜—玉树断裂南段的空间展布位置及近地表构造特征,该研究结果不但对研究玉树地震的深浅构造关系、分析活动构造和地裂缝或疑似地表破裂带的成因、讨论玉树地震孕育与发生的构造背景和发震构造模式提供了地震学证据,还对灾后恢复重建和工程选址工作中避开断裂带、减少未来可能造成的地震灾害损失都具有重要的现实意义。

收稿日期:2020-11-26; **修回日期:**2020-12-28

基金名称:国家自然科学基金面上项目(41974066)和四川省地震局地震科技创新团队项目(201804)资助。

作者简介:赵航,男,硕士,助理工程师,主要从事数字地震学研究工作。E-mail:515327535@qq.com.

通讯作者:李大虎,男,博士,副研究员,从事地震学、地球深部构造研究和地震活动断层探测等工作。E-mail:lixiang2006@sina.com.

1 浅层地震测区概况和方法技术

1.1 甘孜—玉树断裂简介

玉树地震发生在青藏高原羌塘地块与巴颜喀拉地块交接处的金沙江缝合带上,发震断层为巴颜喀拉块体南边界的甘孜—玉树断裂,倾角近于直立,属左旋走滑性质(见图1)。该断裂北西起于青海治多以西,向东南经玉树、玉树巴塘(小巴塘)、邓柯、马尼干戈至甘孜附近与鲜水河断裂呈左阶羽列(Mingjian Liang et al., 2020),断裂总体走向在 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}W$ 之间,全长约500 km。断层以左旋走滑运动为特征,常见冲沟、洪积扇、河流阶地及冰碛物等的左旋错断现象,全新世以来的平均水平滑动速率在 $7 \sim 12 \text{ mm/a}$ (闻学泽等, 1985)。断裂几何结构特征及近代地震地表破裂的研究结果表明,四川境内的甘孜—玉树断裂以邓柯和垭口为界可大致分为三段:北西段(邓柯段)长约80 km,发生过1896年邓柯7级地震,现今可见的地震地表破裂长达60 km;中段(马尼干戈段)长约170 km,根据历史地震记载和 ^{14}C 测龄结果,该断裂段于 1320 ± 60 年发生过一次8级左右的地震,地震地表破裂在许多地段上现今仍可辨认出来,于2010年4月14日发生过玉树7.1级地震,据初步考察,地震地表破裂带长达25 km;南东段(甘孜段)全长约40 km,发生过1854年甘孜 ≥ 7 级地震(闻学泽等, 2003)。

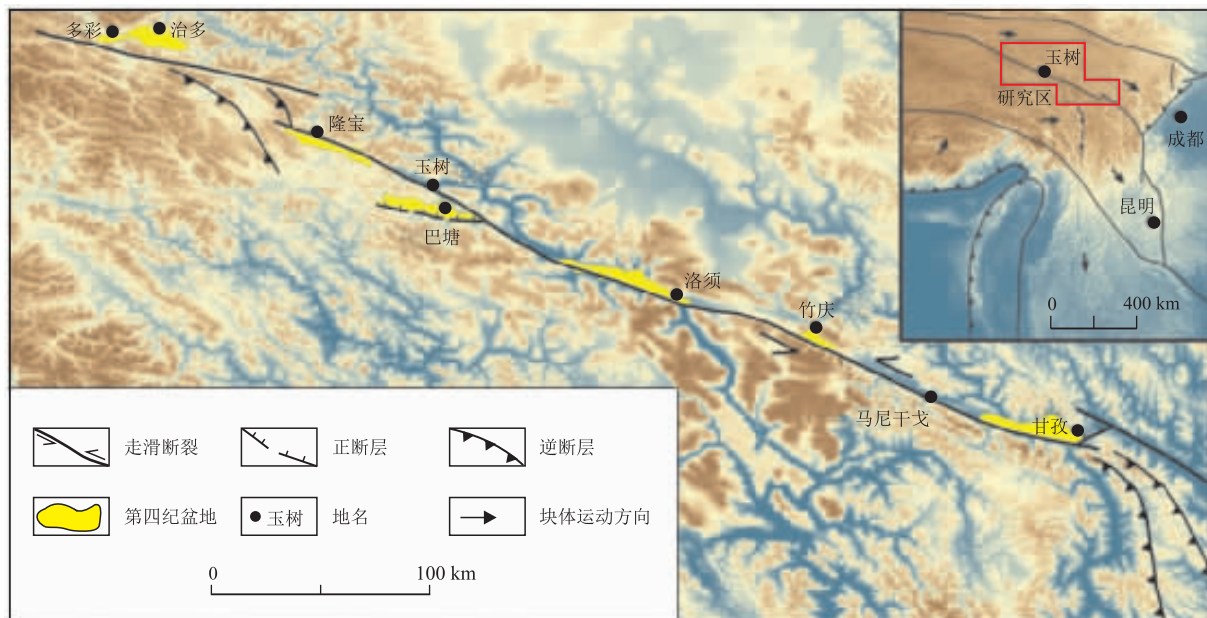


图1 甘孜—玉树断裂展布及活动块体示意图

1.2 测区断错地貌现象与地震测线布设

测区位于甘孜县格萨尔南侧山前冰水洪积扇上,测区北侧甘孜—玉树断裂切过一系列山脊、冰碛垄,形成断层垭口和断层槽谷地貌(见图2a、b);南侧断裂切过山前冰碛台地,台地上形成断层槽谷地貌(见图2c、d);然而在冰水洪积扇上,可能有后期冰雪融水的冲蚀作用影响,断层行迹并不明显。因此,根据测区南、北两侧的断层地貌,地震测线垂直跨两侧地貌的连线(见图3),并结合场地的地形地貌布设了3条测线,确保能够控制住断层可能通过的位置。

1.3 地震数据采集

本次反射波地震数据采集仪器采用的是美国 Geometries 公司的 NZXP 数字地震仪,配以分布式 Geode 地震采集站,24-bit A/D 转换,动态范围 144 dB,通频带 1.75 ~ 20 kHz,有宽频带和可选滤波器以记录不同频谱范围的地震信号,其各项指标均能满足浅层探测的要求。由于探测场地位于四川省甘孜藏族自治州甘孜县十六道班的山脊平台上,场地范围内地势起伏较大,高地多为基岩出露,基岩岩性为三叠系上统拉纳山组(T_3l)和三叠系上统曲嘎寺组(T_3q)变质砂岩、板岩、灰岩。据不同震源特征的已有研究表明,采用小能量

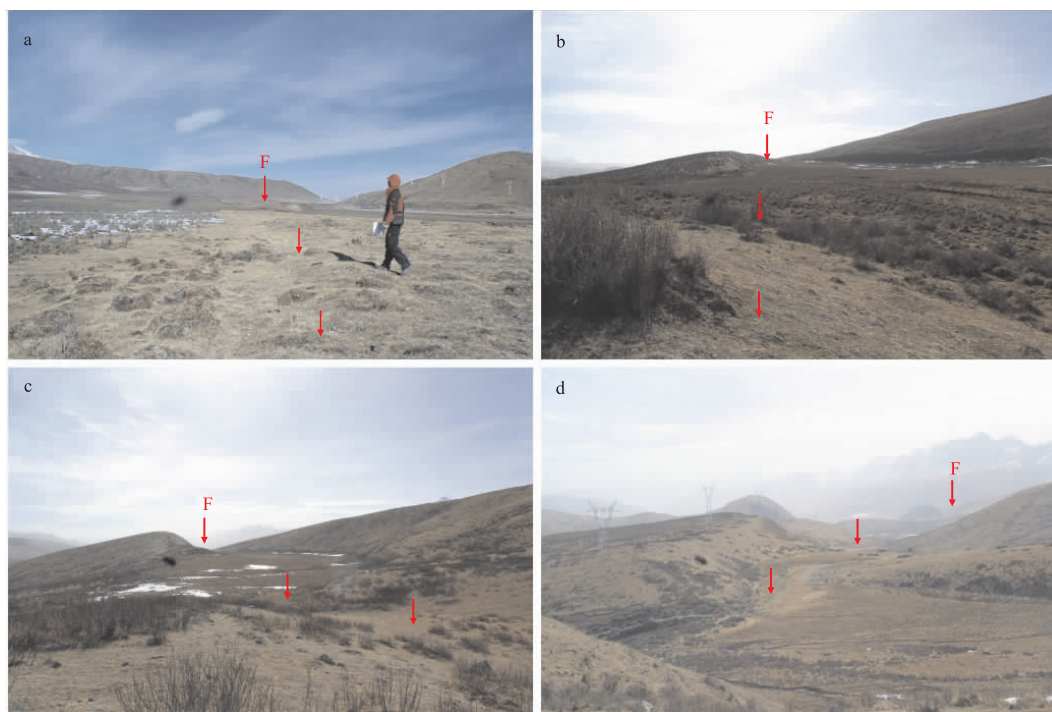


图2 测区附近甘孜—玉树断裂南段的断错地貌现象

激发相对能增强高频波的能量(柴铭涛等,2007),因此,综合以上各因素,在本次探测工作中我们选取了携带较为方便、适合测区作业的锤击震源。

浅层地震反射波法对被测目标进行准确定位的效果主要取决于如何通过扩展排列试验来选择避开干扰对有效反射波影响较小的“最佳偏移距”,对于覆盖层较浅的工作区,应采用小点距、短排列、小偏移距的工作方式,以此来获得小断层弱信号的反射信息(方盛明等,2002,2006)。已有研究表明,采用小道间距、小偏移距和短排列接收的工作方法对缩短干扰噪声的影响半径、保护地震信号的高频成分,提高地震记录的分辨率是十分有利的(刘保金等,2002,2008)。综合以上研究结果并结合本次测区地形地貌特征和现场地震记录特点,本次探测研究采取了小道间距、小偏移距、多道短排列接收、共反射点多次覆盖观测的工作方式,以达到对断裂构造进行精确定位的目的。此次反射波法地震勘探的具体工作参数设计如下:浅层地震勘探工作共布设地震测线3条,最佳工作参数选择12道接收、检波点距5m,炮点偏移距为25~35m不等,完成共反射点6次叠加覆盖、采样间隔0.25ms、采样点数2000个、记录长度500ms,最终获得了高频高信噪比的优质浅层地震反射资料,浅层人工地震测线工作获得共炮点有效记录341张,记录全部合格,图4为典型单炮反射原始记录图,图5为多次覆盖观测系统示意图。

1.4 反射波数据处理

室内数据处理过程中有效地保护和恢复地

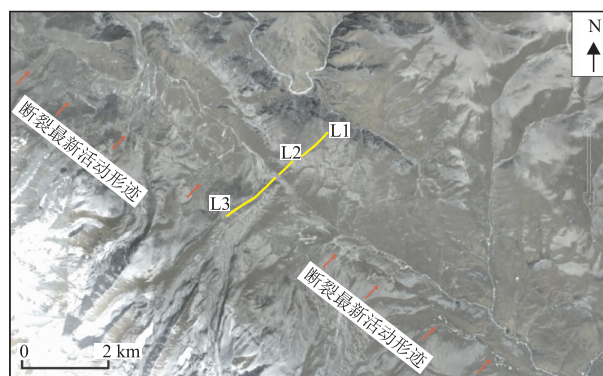


图3 甘孜—玉树断裂南段地表最新活动形迹与地震测线布设示意图

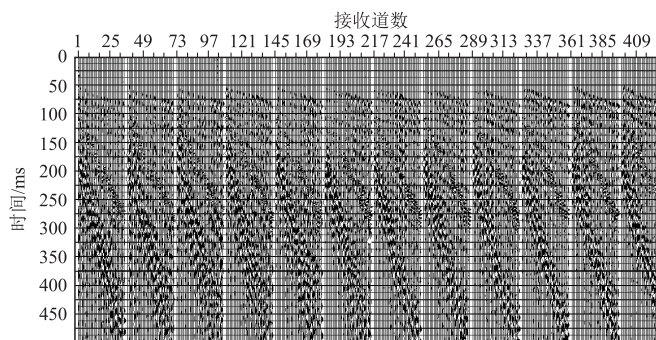


图4 典型单炮反射原始记录

震记录中的有效宽、高频反射信息以及提高资料信噪比是资料处理的关键,而压制干扰、提高地震资料的信噪比和分辨率是资料处理的目的(Yilmaz O,2000)。本次数据处理采用中国地震局统一采购的活断层探测专用的GRISYS地震反射处理软件,处理模块主要包括了静校正、频率带通滤波、二维倾角滤波、正常时差校正(NMO)、共中心点(CMP)叠加、反褶积、时变谱白化(RETWHI)和叠后偏移。针对甘孜—玉树断裂南段的具体工作环境、测区地质条件和现场地震记录特点及室内对各种处理流程的试验对比,特设计了以下数据处理流程:1)数据解编及格式转换;2)振幅补偿;3)叠前去噪;4)带通滤波;5)静校正;6)抽CDP道集;7)NMO校正及拉伸切除;8)建立速度模型及速度分析;9)剩余静校正;10)共反射点叠加;11)叠后反滤波;12)叠后随机噪音衰减。

2 地震剖面解译与断裂定位

断裂探测的主要目标是要确定断层的位置和产状等,在地震叠加时间剖面上通过对反射波组特征、波速变化和地层构造等重点环节进行分析,并结合地震地质调查结果可以判定断裂的展布位置,再根据断层向第四系地层内部的延伸情况可进一步研究其活动性。本次探测工作在对测区内地震反射时间剖面上的反射波组的追踪和识别的基础上,并根据DB/T15-2005《活动断层探测方法》对地震剖面成果进行断层判定。本次浅层人工地震勘探有效反射波揭示了不同测线布设区第四系的底界面的形态和断错特征,并针对每条测线的基岩面的埋深及形态情况,根据水平叠加时间剖面分别进行了解译,并依据水平叠加时间剖面中出现同相轴的错断、扭曲或强相位转换等现象特征来推断该规划区场地范围存在的断裂构造分布情况。

L1测线NE向布设,地震剖面(图6)揭示出的地层反射具有较高的信噪比和分辨率特征,且在横向上反射波同相轴可以连续追踪,反映的沉积地层界面比较连续,具体而言对于剖面上同相轴连续的P1波组推测为第四系底界面的反射波,强相位双程T0时间为20~35ms之间,反射波速度800~1300m/s,经时深转换后,第四系底界面的埋藏深度在20~25m;P2波组形态类似P1波组,强相位双程T0时间为40~50ms,反射波速度1500~2200m/s,推测为不同程度风化的岩层波阻抗差异所致,未发现地层产状和剖面反射波同相轴出现的错断、扭曲等现象。

L2测线自公路起沿N45°E布设,从图7地震剖面来看,同相轴P1波组推测为第四系底界面的反射波,强相位双程T0时间为40~65ms,反射波速度800~1500m/s,经时深转换后,第四系底界面的埋藏深度在35m左右;P2波组强相位双程T0时间为70~80ms,反射波速度1800~2600m/s,所揭示出的第四系底界面反射波同相轴出现的错断、扭曲的现象,推测为断裂构造的通过位置,即剖面中红线标注的位置。

L3测线自公路起沿N45°E布设(图3),地震

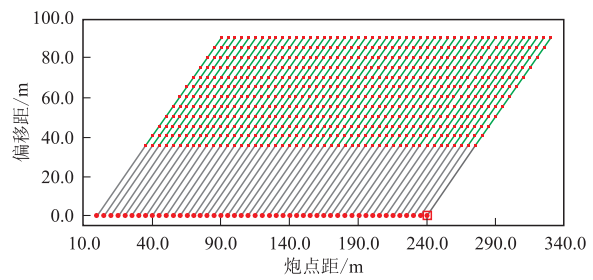


图5 多次覆盖观测系统

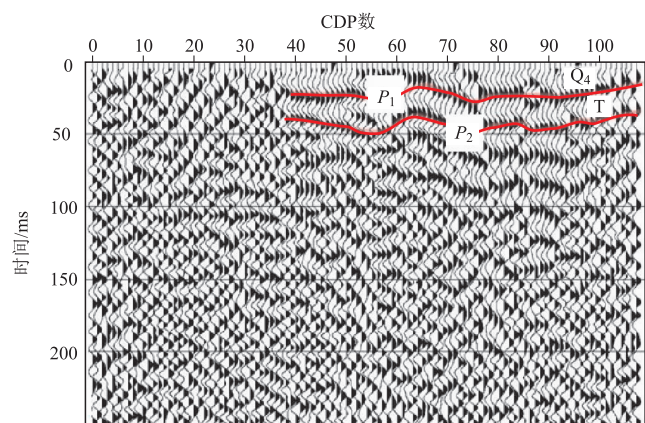


图6 L1测线动校叠加时间剖面

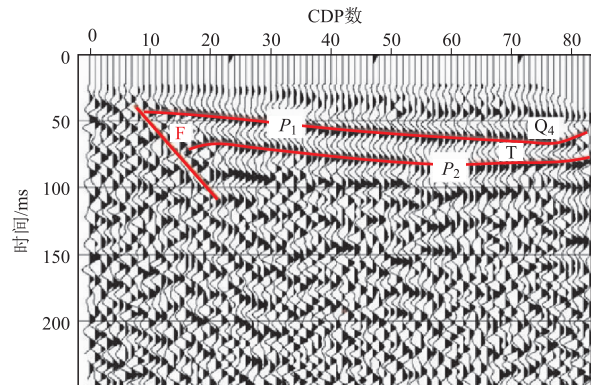


图7 L2测线动校叠加时间剖面

剖面图 8 揭示出的地层反射具有较高的信噪比和分辨率特征, P₁、P₂ 波组均清晰可见, 且在横向上反射波同相轴可以连续追踪, 地层界面的起伏变化形态和断裂构造特征也非常清楚, 具体而言对于剖面上同相轴连续的 P₁ 波组推测为第四系底界面的反射波, 强相位双程 T₀ 时间为 60 ~ 75 ms, 反射波速度 900 ~ 1 400 m/s, 经时深转换后, 其埋藏深度在 45 m 左右; P₂ 波组形态类似 P₁ 波组, 强相位双程 T₀ 时间为 85 ~ 100 ms, 反射波速度 1 600 ~ 3 000 m/s, 推测为不同程度风化的岩层波阻抗差异所致, 根据剖面右方出现的同相轴形态的扭曲以及分叉、合并等现象可以划分出红线标示处为断裂构造的通过位置。

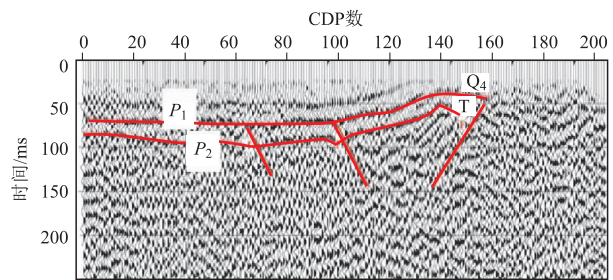


图 8 L3 测线动校叠加时间剖面

3 讨论与结论

根据 3 条时间叠加剖面揭示的结果, 地震测线 L1 位于基岩台地上, 场地下部地层为基岩, 上部地层为土壤层和风化的基岩堆积层, 地震剖面揭示出的地层反射具有较高的信噪比和分辨率特征, 推测为不同程度风化的岩层波阻抗差异所致, 但未发现地层产状和剖面反射波同相轴出现的错断、扭曲等现象。地震测线 L2 跨基岩台地和台地西缘的冲洪积扇, 地震剖面揭示出的第四系底界面反射波同相轴出现的错断、扭曲的现象, 表明基岩台地和冲洪积扇之间的边缘存在一条断裂, 但从线性地貌的延伸性来看, 该断裂新活动并不明显, 甘孜—玉树断裂新活动行迹并未从该处通过。地震测线 L3 穿越了整个冰水洪积扇, 并跨南北两侧断层地貌的连线, 地震剖面揭示出的地层反射具有较高的信噪比和分辨率特征, 且在横向上反射波同相轴可以连续追踪, 地层界面的起伏变化形态和断裂构造特征也非常清楚, 解译出 3 支断层, 在覆盖层中呈花状构造展布, 符合大型走滑断裂的构造样式。

本次探测工作中采取了小道间距、小偏移距、多道短排列接收和共反射点多次覆盖观测的工作方式, 查明了北西向的甘孜—玉树断裂南段在甘孜格萨尔一带的空间展布位置和近地表构造形态, 在实际工作中取得了良好的效果, 探测结果也表明了高原基岩埋深较浅地区宜采用人工锤击激发、小道间距、小偏移距、多道短排列单边接收的多次覆盖观测系统工作方式, 以此可获得高频、高信噪比的优质浅层反射地震资料。

由于不同的地球物理数据反演方法往往存在程度不同的非唯一性(多解性), 所以, 对于同一研究区域, 采用不同的数据源和多种物性参数反演方法研究其深部结构无疑成为解决这一问题的有效途径(李大虎等, 2016, 2019)。对于埋深约几十米的基岩面测区采用浅层地震反射纵波方法探测往往可以取得较好的探测结果, 对于超浅层测区可以采用横波反射来探测第四系内部的反射层和确定断层上断点的位置, 采用纵波反射和横波反射的联合探测, 可以更加清晰地揭示断裂构造由浅至深的空间展布形态以及近地表更加详细的分层情况; 联合采用浅层地震反射波法和高密度电阻率成像法探测, 对于断裂通过位置造成的岩体破碎和地层位错往往反映更加敏感, 因此可以更好地反映地下介质的含水状况及横向变化特征, 从而实现从不同物性角度查明断裂的精确空间展布位置、几何形状以及物性特征的目的, 为进一步评价断裂活动性和研究地震危险性以及未来发震能力评估提供科学依据。

参考文献

- 柴铭涛, 高景华. 2007. 城市活断层探测中的反射地震数据采集和处理技术[J]. 物探与化探, 31(4): 365-369.
- 邓起东, 高翔, 陈桂华, 等. 2010. 青藏高原昆仑—汶川地震系列与巴颜喀喇断块的最新活动[J]. 地质前缘, 17(5): 163-178.
- 丁志峰, 王椿镛, 杨建思, 等. 2002. 昆仑山口西 8.1 级地震断裂带的地震探测[C]. 中国地球物理学会年刊 2002 中国地球物理学会第十八届年会论文集.
- 方盛明, 张先康. 2002. 探测大城市活断层的地球物理方法[J]. 地震地质, 24(4): 606-613.
- 方盛明, 张先康, 刘保金, 等. 2006. 城市活断层地震勘探的最佳组合方法与应用研究[J]. 地震地质, 28(4): 646-654.
- 顾勤平, 康清清, 许汉刚, 等. 2013. 薄覆盖层地区隐伏断层及其上断点探测的地震方法技术—以废黄河断层为例[J]. 地球物理学报, 56(5): 1609-1618.

- 何正勤,陈宇坤,叶太兰,等. 2007. 浅层地震勘探在沿海地区隐伏断层探测中的应用[J]. 地震地质, 29(2): 363-371.
- 何正勤,安好收,沈坤,等. 2013. 用地震反射法对玉溪盆地普渡河断裂的探测[J]. 地震学报, 35(6): 836-847.
- 李大虎,何强,邵昌盛,等. 2010. 综合地球物理勘探在青川县城区活动断层探测中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 37(6): 666-672.
- 李大虎,梁明剑,王明明,等. 2015. 龙门山中央断裂南段盐井—五龙断裂的浅层地球物理方法探测[J]. 地震工程学报. 38(1): 26-35.
- 李大虎,邵昌盛,刘远志,等. 2015. 龙门山断裂带南段耿达—陇东断裂的浅层地震反射波法探测[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 42(4): 500-508.
- 李大虎. 2016. 川滇交界地段强震潜在危险区深部结构和孕震环境研究[D]. 北京:中国地震局地球物理研究所, 1-3.
- 李大虎,丁志峰,吴萍萍,等. 2019. 川滇交界东段昭通、莲峰断裂带的深部结构特征与2014年鲁甸 $M_s6.5$ 地震[J]. 地球物理学报, 62(12): 4571-4587.
- 梁明剑,陈立春,冉勇康,等. 2016. 龙门山断裂南段天全段的新活动特征与1327年天全地震的关系[J]. 地震地质, 38(3): 546-559.
- 刘保金,张先康,方盛明,等. 2002. 城市活断层探测的高分辨率浅层地震数据采集技术[J]. 地震地质, 24(4): 524-532.
- 刘保金,杨晓平,鄯少英,等. 2008. 龙门山山前疑似汶川 $M_s8.0$ 地震地表破裂的浅层地震反射调查[J]. 地震地质, 30(4): 906-916.
- 闻学泽,黄圣睦,江在雄. 1985. 甘孜—玉树断裂带的新构造特征与地震危险性估计[J]. 地震地质, 7(3): 23-34.
- 闻学泽,徐锡伟,郑荣章,等. 2003. 甘孜—玉树断裂的平均滑动速率与近代大地震破裂[J]. 中国科学(D辑), 33(增刊), 199-208.
- 尤惠川,何正勤,丁志峰,等. 2002. 太原市汾河断裂浅层高分辨率地震探测[J]. 地震地质, 24(4): 583-592.
- Mingjian Liang, Lichun Chen, Yongkang Ran, et al. 2020. Abnormal Accelerating Stress Release Behavior on the Luhuo Segment of the Xianshuihe Fault, Southeastern Margin of the Tibetan Plateau, During the Past 3000 Years[J]. *Frontiers in Earth Science*, 8: 274. Doi: 10.3389/feart.00274.
- Yilmaz, O. 2000. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*[J]. *Society of Exploration Geophysicists*, 1-7.

Exploration for the Southern Segment of the Ganzi-Yushu Fault Zone Using Shallow Seismic Reflection Method

ZHAO Hang¹, LI Dahu¹, ZHAO Jing², ZHANG Li³, CHEN Xuefen¹

(1. Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041;

2. Xichang Seismic Central Station, Sichuan Xichang 615000; 3. Kangding Seismic Central Station, Sichuan Kangding 626001)

Abstract: At 7:49 on April 14, 2010, a 7.1 earthquake occurred in Yushu County, Yushu Tibetan Autonomous Prefecture, Qinghai Province. The restoration and reconstruction of the earthquake stricken areas are seriously restricted by hidden fault segments and aftershock activities. Especially, the spatial distribution of the NW trending Ganzi Yushu fault plays a decisive role in site selection, reconstruction and reasonable fault avoidance. In this paper, taking the southern section of Ganzi Yushu fault as the detection target, the working methods of small track spacing, small offset, multi-channel short array receiving and common reflection point covering observation are adopted in the exploration work, and the spatial distribution position and near surface structural form southern segment of Ganzi Yushu fault are found out. According to the seismic section, the reflection of the strata has high signal-to-noise ratio and resolution, and the reflection events can be traced continuously in the transverse direction. The undulating and changing shape of the stratum interface and the characteristics of the fault structure are very clear. It is interpreted that the three faults are distributed in the overburden in a flower like structure, which is in line with the structural style of large-scale strike slip fault. The results of detection and location provide a scientific basis for avoiding fault zone in post disaster reconstruction and engineering site selection, and reducing possible earthquake disaster losses in the future.

Keywords: Yushu $M_s7.1$ earthquake; Ganzi-Yushu fault; shallow seismic reflection; active fault detection

闽侯旗山井数字化水温异常干扰分析

朱继承, 郑辰禾, 邓 聪, 杨佩琴
(福建省地震局, 福建 福州 350003)

摘要:通过对2014~2018年福建省闽侯旗山井数字化水温的观测资料进行分析,总结观测数据的日、月、年、长期等不同时间尺度的动态变化特征,以及在日常观测过程中遇到的多种干扰因素,提炼出自然、外界环境、人为和仪器自身干扰等因素的典型表现特征,在今后数字化水温观测资料再出现类似的异常时,为地震科研提供参考和应用,以便及时地排除干扰,识别有效的地震前兆观测信息。

关键词:闽侯旗山井;数字化水温;异常干扰;类型

中图分类号:P315.7 文献标识码:B 文章编号:1001-8115(2021)01-0012-06

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.003

地热方法是研究地球热状态,特别是地壳浅部表层热状态及其随时间变化与地震活动关系的一种地震预测探索方法。深井水温微动态变化是标志地下水物理状态的重要参数之一(许秋龙等,2001;张军等,2011)。根据震源热力学理论和对地震热前兆的研究发现,地震活动与地下流体水温变化关系密切。地震的孕育与发生伴随着不同方式的热效应,从而引起地热场的重新分布和变化,这些变化会导致地下流体温度的变化,这种由孕震过程中应力增强或减弱引起的地下流体温度异常变化是可以通过深井观测得到的(车用太等,2014;陈其峰等,2018;颜龙等,2016)。这就是我们目前观测的深井水温变化的目的。可见深井水温观测不仅对于探索地震前兆,而且对于深入研究地震成因都具有十分重要的意义(稔芳等,2016;韩晓雷等,2017;李颖楠等,2017)。目前,地下水温观测作为传统地球物理学观测的一个重要分支,在理论上已日益成熟和完善,地下流体水温观测与研究取得了丰富的资料和可喜的地震预测探索效果。但由于观测结果与观测环境、条件有相当大的关系,观测对象、观测深度不同(秦双龙等,2016;鲜述东等,2011;朱继承等,2020;闫玮等,2018,2019),观测结果也存在明显差异。

1 闽侯旗山井概况

闽侯旗山井位于福建省闽侯县南屿镇五都村,始建于2003年9月,该观测井几经升级改造,于2013年7月安装SZW-1A水温仪,2014年1月24日起开始正式观测(中国地震局背景场项目),水温仪的探头放在井深85m处。该井位于福州盆地西部边缘,地势平坦,上部地层由第四系全新统淤泥、上更新统卵石及更新统残积土组成;根据区域地质资料,场地基岩为侏罗系南园组凝灰熔岩,距场地约50m的五都北面山体——旗山支脉为燕山期花岗岩,该观测井西部有一NNE向断裂通过,观测井口所处海拔高程10m,井孔含水层为侏罗系强风化—微风化角砾凝灰熔岩,深井110m,井孔柱状图(见图1)。

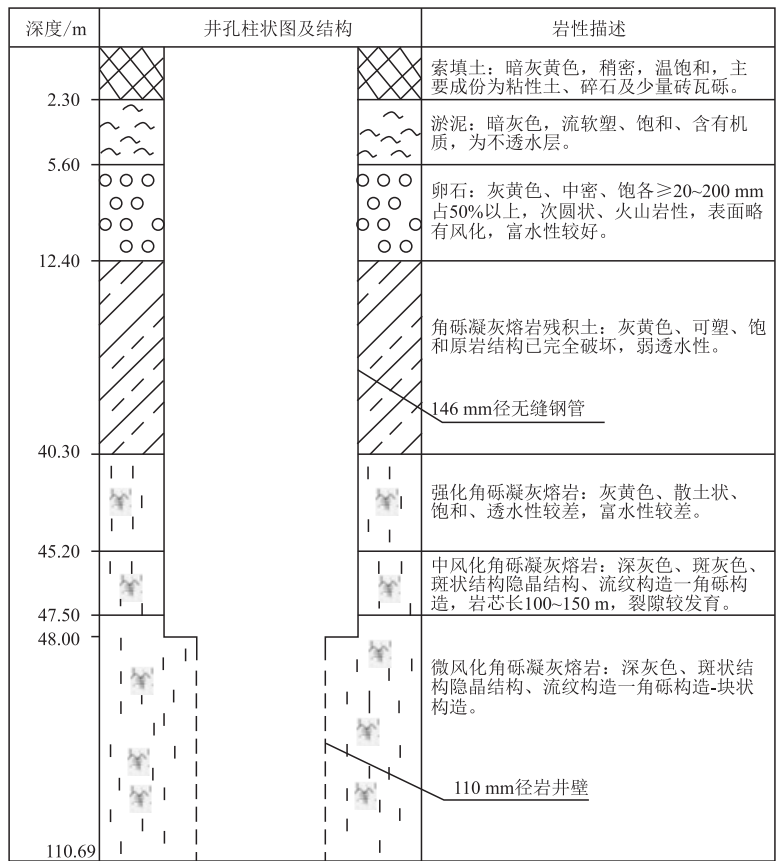
2 观测资料动态特征

2.1 日、月动态特征

闽侯旗山井水温观测使用中国地震局地壳应力研究所生产的SZW-1A型数字式温度计。该温度计采用晶体振荡器作为敏感元件,分辨力为0.0001℃,在地震行业应用广泛。自SZW-1A型数字式温度计运行观测以来,闽侯旗山井水温的日动态变化较稳定,变化幅度较小,如2018年2月1日的水温最低值

收稿日期:2020-11-25;修回日期:2021-01-04

作者简介:朱继承(1978-),男,工程师,主要从事地震地下流体监测与地震预报工作。E-mail:303217013@qq.com.



(资料来源:闽侯旗山井建设报告)

图1 闽侯旗山井井孔柱状

22.948 3 ℃,最高值 22.962 3 ℃,日均值 22.955 5 ℃,变化相对较小,而且整个月的温度动态变化也相对稳定,没有出现较大的变化(见图2)。

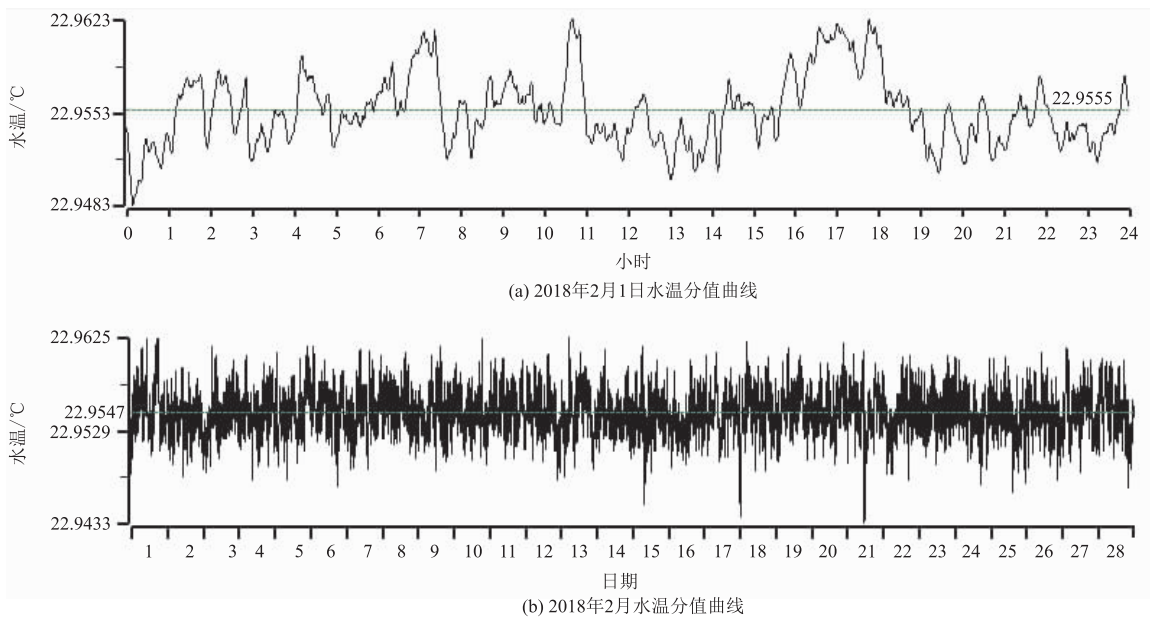


图2 水温分钟值曲线

2.2 年动态特征

由 2014 ~ 2016 年水温的年动态变化曲线(图 3)可以看出,多年的趋势变化相对稳定,没有出现较大幅度的上升或下降变化,年均值线分别为 22.9503 ℃、22.9518 ℃和 22.9502 ℃,变化较平稳,从 2014 ~ 2016 三年同轴水温年动态观测曲线(见图 4)对比可以看出,年变在 0.01 ℃左右,年变都相对稳定。

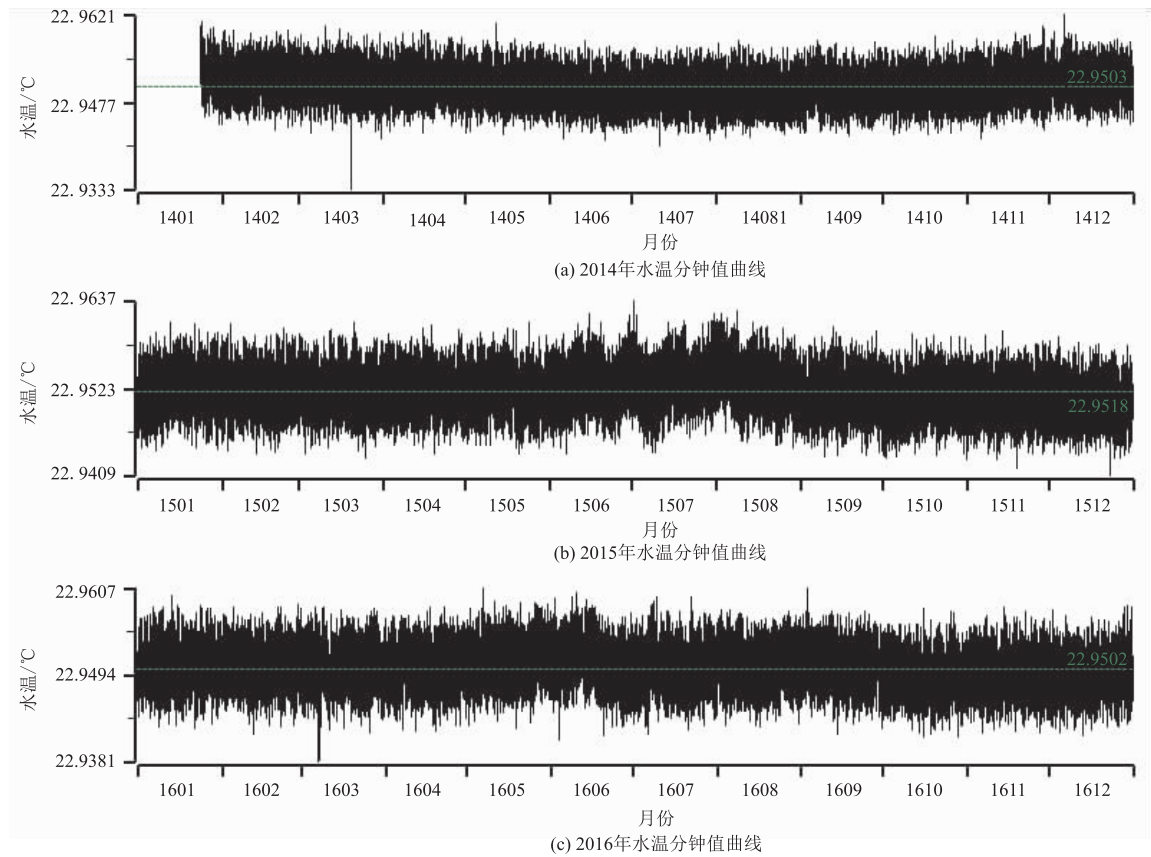


图 3 水温分钟值曲线

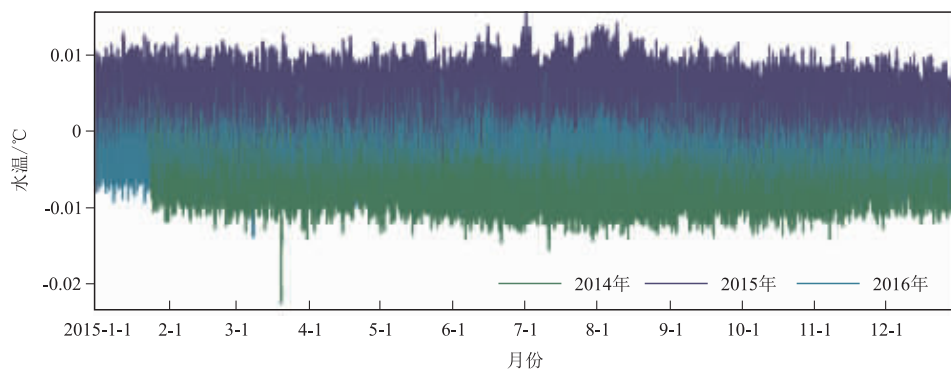


图 4 2014 ~ 2016 年水温同轴分钟值对比曲线

3 水温异常干扰特征分析

3.1 人为干扰

闽侯台水温仪 2017 年 12 月 27 日 15:53 ~ 18:34 受水位仪 15:30 ~ 16:28 现场校测干扰,观测数据出现台阶变化未处理,最高变化幅度达 0.0073 ℃。因水温仪探头埋深较深,位于 85 m 处,故水温仪受水位仪校

测干扰出现的数据波动因干扰传导时间差存在延迟现象(见图5)。水位仪校测结束后,水温仪观测数据自2017年12月27日18:35起恢复正常动态变化。

3.2 雷电干扰

闽侯台水温仪观测数据2018年5月20日18:43~18:51因受雷电干扰,观测数据突跳,最大变化幅度达71.1686℃,同时段气压波动幅度2.7hPa,造成数据不可用,进行缺数处理(见图6)。后续恢复正常动态变化,数据无异常。

3.3 UPS故障干扰

闽侯台水温仪观测数据2017年7月9日04:36~23:59因UPS故障缺数。2017年7月9日8:20工作人员发现闽侯台水温仪无法正常收数,在7月10日10:20到闽侯旗山井现场对闽侯台水温仪进行故障排查,发现UPS仪器故障无法工作,直接

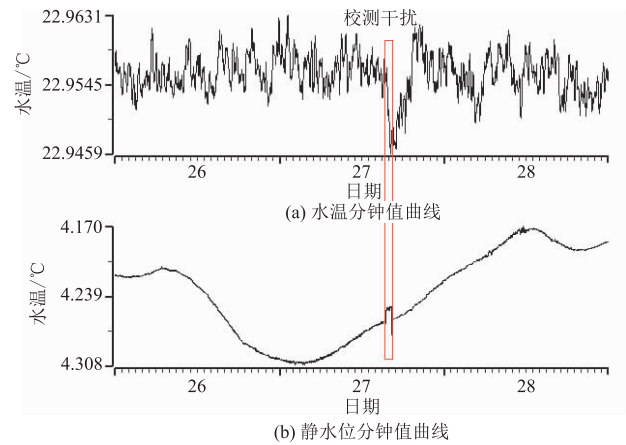


图5 2017年12月28日水温和静水位分钟值对比曲线

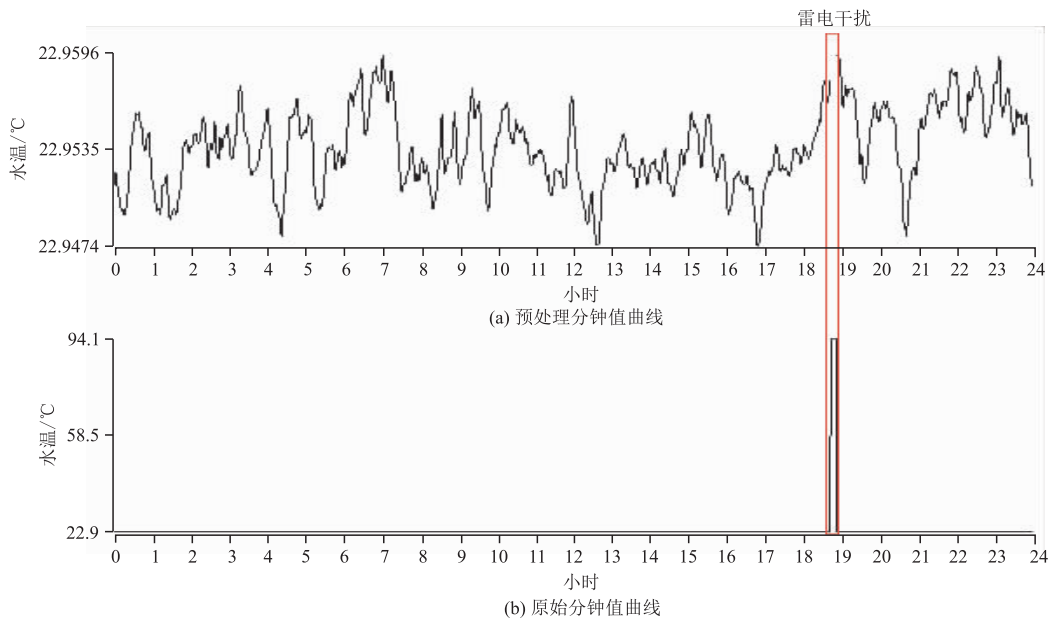


图6 2018年5月20日水温分钟值曲线

把仪器设备接市电,仪器设备恢复正常工作(见图7)。

3.4 协转故障干扰

闽侯台水温仪观测数据2017年6月3日09:15~09:19更换协转,造成错误数据,干扰幅度达69.1706℃,进行缺数处理(见图8)。

3.5 抽水干扰

闽侯台数字水温仪观测数据2018年10月6日17:53~10月7日11:06受旁边鱼塘长时间抽水影响,水温下降,最大下降幅度约为0.0282℃(见图9)。鱼塘占地20亩,离观测井直线距离仅有218m。因鱼塘经常性、不固定时间段、长时间进行地下水抽水,用于补充或更换鱼塘水池里的水,所以闽侯井的水位长期受干扰影响较明显,仅当抽水量

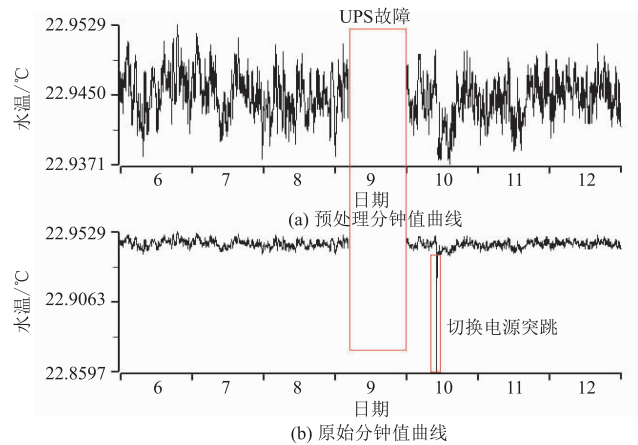


图7 2017年7月6~12日水温分钟值曲线

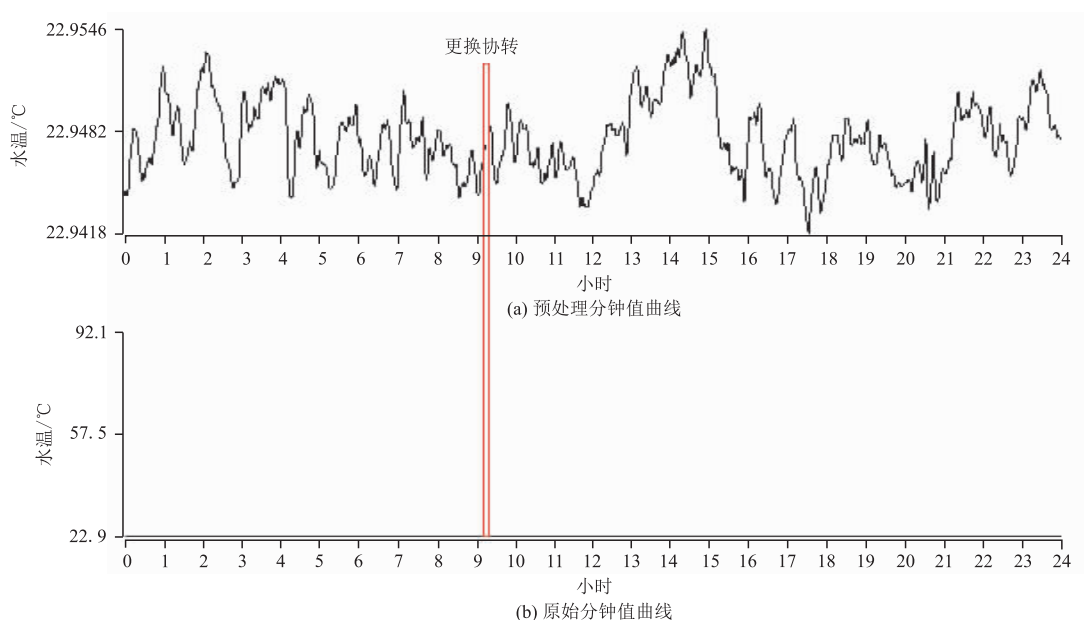


图8 2017年6月3日水温分钟值曲线

大的时段水温受到干扰。因水温探头埋深在 85 m 位置和水位探头不在同一个含水层,所以受到较长时间抽水影响时,水温测值会比水位测值滞后大约 3 小时。台站人员多次到现场与鱼塘负责人协商,要求减少抽水次数以免影响台站水温仪观测质量。

4 结论

通过对闽侯井水温观测资料日、月、年的动态趋势变化以及外界环境因素、人为干扰因素等各种干扰异常特征分析和总结,为今后的资料异常分析提供参考,提高对非地震前兆干扰因素的识别能力,以便更好和及时地排除干扰,识别有效的地震前兆观测信息。在日常观测过程中会受到各种各样的因素干扰影响,如仪器校测、同井安装仪器、检查仪器、抽水等,为了获取连续、真实、可靠的观测资料,应严格按《地震及前兆数字化观测技术规范》进行标定和检测,同时应定期或不定期对仪器设备进行检查,才能确保观测资料的连续、可靠。

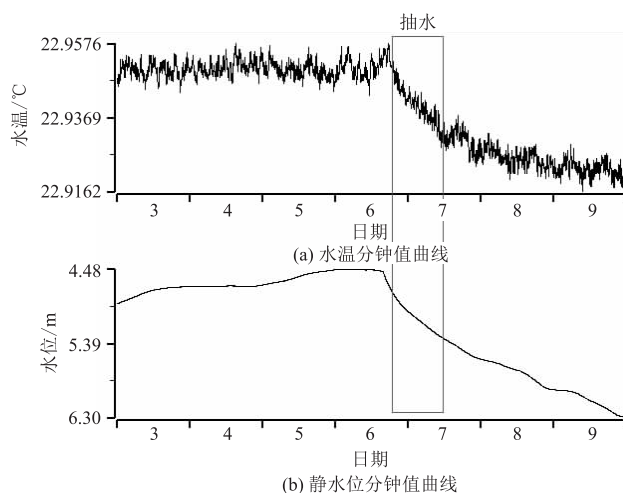


图9 2018年10月3~9日水温和静水位分钟值曲线

参考文献

车用太,何案华,鱼金子. 2014. 水温微动态形成的水热动力学与地热动力学机制[J]. 地震学报,36(1):106-117.
 陈其峰,温丽媛. 2018. 山东省地下流体数字化水位与水温监测效能分析[J]. 内陆地震,32(4):334-342.
 韩晓雷,哈里白,戴勇,等. 2017. 通辽井水位和水温动态变化影响因素分析[J]. 华南地震,37(1):49-53.
 李颖楠,龚永俭,徐诚,等. 2017. 水位校测对同井孔水温的影响及机理探讨[J]. 内陆地震,31(1):64-70.
 秦双龙,刘水莲,廖丽霞,等. 2016. 福州连江江南井水位水温同震响应变化特征及机理探讨[J]. 华南地震,36(4):50-57.
 鲜述东,刘子哲,董艳涛,等. 2011. 高七井水温映震规律浅析[J]. 内陆地震,25(4):349-353.
 稜芳,吕芳,郭宇,等. 2016. 山西静乐观测井水位干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究,37(3):30-35.
 许秋龙,王道. 2001. 地下流体数字化观测条件和技术研究[J]. 内陆地震,15(1):39-48.
 颜龙,汪成国,向阳,等. 2016. 新疆伽师 55 井水温映震特征的初步研究[J]. 内陆地震,30(1):92-96.
 闫玮,汪成国. 2018. 皮山 $M_s6.5$ 地震前塔什库尔干新 60 泉水温异常特征分析[J]. 内陆地震,31(1):63-69.

- 闫玮,李晓东,张杰,等. 2019. 新疆伽师 55 井水温梯度实验及结果应用[J]. 内陆地震,31(1):338-344.
- 张军,陶月潮,孙盼盼,等. 2011. 安徽湖井数字化水温资料分析[J]. 地震研究,34(2):131-135.
- 朱继承,邓聪,郑辰禾,等. 2020. 福州闽侯旗山井水位异常分析[J]. 科学技术创新,31(1):51-53.

Analysis on the Digital Water Temperature Anomalies Interference in Qishan Minhou Well

ZHU Jicheng, ZHENG Chenhe, DENG Cong, YANG Peiqin

(Fujian Earthquake Agency, Fujian Fuzhou 350003, China)

Abstract: The digitalized observation data of the groundwater temperature of Qishan Well in Minhou County, Fujian Province, from 2014 to 2018 are discussed in this paper. The dynamic change characters and typical interferences with different time length observation data are also summarized.

Keywords: Qishan Well in Minhou County; digitalized observation data; interference

冕宁地震台深井地电阻率观测系统简述 及典型干扰数据特征分析

杨志鹏¹, 缪素秋², 陈秀清¹, 徐建明¹, 张御阳³, 杨贤和³, 巫萌飞¹

(1. 四川省地震局西昌地震中心站, 四川 西昌 615022; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650225;
3. 四川省地震局, 四川 成都 610041)

摘要:通过对冕宁台新旧观测场地电阻率数据曲线形态、完整率、连续率、月精度等指标进行对比分析,认为新场地三个测向的深井地电阻率观测精度、信噪比和相对变化量都优于旧场地浅地表观测数据质量。对新场地深井地电观测系统试运行期间的典型干扰数据进行分析,发现该台地电阻率的干扰源主要有自然环境、场地环境和观测系统故障。

关键词:地电阻率;深井观测;冕宁地震台

中图分类号:P315.72 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2021)01-0018-07

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.004

地震地电阻率观测可以监测到地壳浅层岩石介质的电性结构随时间的变化,其观测资料中的异常变化特征可指示孕震过程中的震源区应力累积和岩体的膨胀微裂过程,是重要的地震前兆监测预报手段之一(王焱坤等,2018;孙昱等,2019)。近年来,为减轻地电阻率观测中地表人为因素或自然环境因素干扰,减轻由于浅层昼夜温差、海水涨落等引发的地电阻率季节性变化,更加真实客观地记录岩体电性结构变化(高曙德,2016;解滔等,2019),井下地电阻率观测成为地电学科主流发展方向之一,深井地电观测技术已在甘肃天水台(杨兴悦等,2012)、甘肃平凉台(田野等,2019)、河北大柏舍台(张磊等,2015)、江苏江宁台(樊晓春等,2019)、陕西合阳台、广东河源台(刘君等,2015)开展了相应的观测试验,并取得了较好的效果。四川冕宁地电台观测系统于2018年6月开始前期场地勘选,同年9月起进行施工建设,至2019年11月土建工程、观测室改造与避雷接地工程相继完成,2020年1月5日安装调试好仪器并正式投入试运行。该台为首个架设在安宁河断裂中段附近的深井地电观测系统。本文对冕宁台深井地电阻率观测的总体建设情况、施工技术要点、观测设备及主要性能、设计安装施工技术要点等方面进行了简述,对冕宁台新旧场地仪器记录的典型数据进行对比梳理,为进一步提高冕宁深井地电观测资料的质量和同类井下地电观测建设项目提供参考。

1 冕宁台深井地电阻率观测系统概况

1.1 测区地理位置及地下岩性结构

冕宁地震台深井地电阻率观测系统地处四川省凉山州冕宁县回坪乡横路村,地表为开阔平坦的烟草种植基本农田,无明显地形高差,测区内无较大的强电磁干扰源,农业游散电磁信号的干扰源较小,布极区及周边无较大的河流、水渠、积水坑洼,无铁路、高铁线路经过,布极区远离高压输电铁塔。场地南北面为海拔3000 m以上的高山,东侧约6 km为处于高应力积累下闭锁状态的安宁河主断裂带中部敏感区域,下方为NNE向南河隐伏断裂(见图1)。根据物探直流电测深资料,台址电测深曲线为KH型,下伏岩土在各方向上的分布差异性较小,呈均匀分布。根据钻孔岩芯资料,台址上覆第四系覆盖层,表层为粉质粘土,厚约0.65 m;上部为漂卵石含量约85%的近代冲积、洪积砂卵石层,厚约39.4 m;中部为漂卵石含量约55%的河床粘土层和砂砾石层,厚约40 m;下部为漂卵石含量约80%的砂砾石层,厚约42 m。另据电测深资料,测区

收稿日期:2020-11-4;修回日期:2020-12-15

作者简介:杨志鹏(1993-),男,四川成都人,助理工程师,主要从事地震地球物理数据处理与分析研究. E-mail: 3082109282@qq.com.

共有4个电性层,第1、2层浅部电阻率为 $200 \sim 800 \Omega \cdot m$,第3层中深部电阻率为 $53 \Omega \cdot m$,解译岩性结构为厚 $380 \sim 400 m$ 的砂砾石层、发育有破碎花岗岩并赋存有丰富的地下水,第4层深部电阻率为 $1\ 423 \Omega \cdot m$,解译岩性结构为花岗岩基底(见图2)。

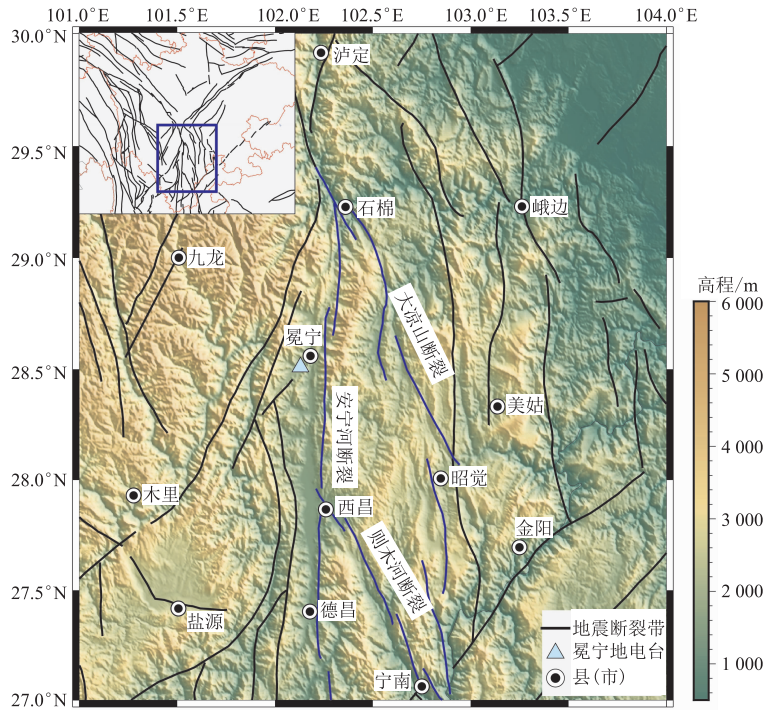


图1 冕宁深井地电观测系统地理位置图

柱状图	深度 /m	电阻率 / $\Omega \cdot m$	岩性描述
..-- -.-.- ..--	0.65	400~800	粉质黏土, 褐红色, 耕植土, 含少量植物根系, 偶夹少量卵石, 成分为花岗岩、砂岩
++++++ ++++++ ++++++			漂卵石, 含量85%, 粒径以100~300 mm为主, 石质主要为花岗岩、白云质灰岩, 次为杂色砂岩、玄武岩, 结构松散
.o.o.o.o. .o.o.o.o. .o.o.o.o.	40	200~500	河床黏土, 砂砾石层, 漂卵石含量55%, 粒径以20~300 mm为主, 块体磨圆度良好, 主要为花岗岩、灰岩
++++++ ++++++ ++++++	80		漂卵石, 灰色, 漂卵石含量80%, 粒径以70~300 mm为主, 岩性主要为花岗岩、白云质灰岩, 次为杂色砂岩、玄武岩
-o-o-o- o-o-o-o -o-o-o-	122	53	第四系河床亚黏土砾石层、砂砾石层, 裂隙发育破碎花岗岩, 赋存丰富地下沙
++++++ ++++++ ++++++	503		较完整花岗岩基底, 不赋水
++++++ ++++++ ++++++		1 423	

(资料来源: 四川冕宁地电台改造工程场地遴选报告)

图2 冕宁深井地电观测系统测区岩性结构图

1.2 布极观测方式及主要设备性能

冕宁地震台深井地电阻率观测系统分为浅层观测和深层观测两部分(浅层观测预计于2020年12月启用),浅层电极敷设在距地表3.5 m处,深层电极敷设在距地表120 m处,布极分布为NS向、EW向、NW向三个测向,每个方位上采用对称四极装置布设供电电极和测量电极,三个测向的测量电极中心点与供电电极中心点重合,其中供电极距A1B1~A4B4均为600 m,测量极距M1N1~M4N4均为200 m,同一测向的电极距和测量极距在同一直线上(见图3)。深层电极采用卷筒状铅板电极,浅层电极采用平板状铅板电极。观测仪器采用中国地震局地壳应力研究所生产的ZD8M地电仪,每日整点观测得到24个自然电位和地电阻率值,其在工作状态下仪器分辨率为:人工电位差分辨率0.01 mV,供电电流分辨率0.1 mA,电阻率测量分辨

力 $0.01 \Omega \cdot m$ 。外线路采用江苏华能电缆股份有限公司生产的深井专用铠装双股铜芯绝缘电缆,外线路绝缘电阻大于 $500 M\Omega$,线路埋地 $1.5 m$ 深(见表 1),且确保同一电缆沟中的测量线和电缆线间隔在 $0.5 m$ 以上,避免线间漏电造成干扰。

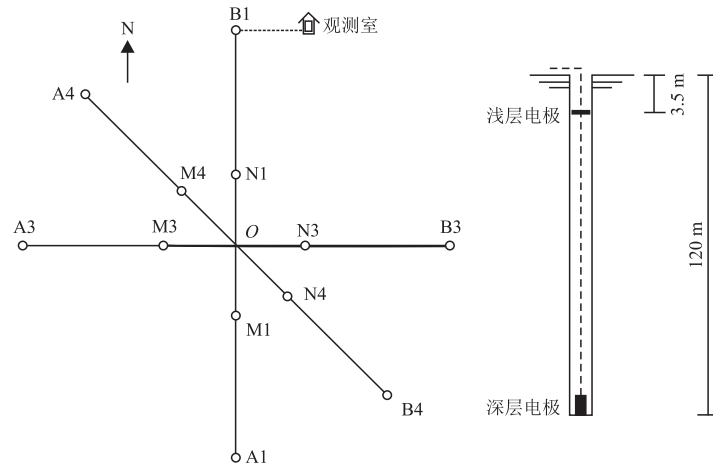


图 3 冕宁深井地电观测系统深层和浅层电极布设示意图

表 1 冕宁深井地电观测系统主要仪器设备性能及参数

设备名称	规格/型号	数量/单位	技术性能	备注
地电阻率仪	ZD8M	2 套	电压分辨力 $0.01 mV$ 电流分辨力 $0.1 mA$ 电阻率测量最大允许误差 $\pm (0.1\% \text{ 读数} + 0.02 \Omega \cdot m)$ 测量电压动态范围 $100 dB$	—
直流稳流电源	WL6B	2 台	输出电流 $0.5 \sim 2.5 A$ 电流稳定度优于 0.5%	—
井上专用铜芯电缆	WBUPF(DYY23)2 * 4	6 280 m	铠装双芯	线路埋地
井下专用铜芯电缆	WBUPF 2 * 4	1 548 m	铠装双芯	线路埋地
深层供电极铅板电极	1 000 mm × 628 mm × 5 mm	6 块	电缆双线浇铸在电极板	卷筒状
深层测量极铅板电极	800 mm × 628 mm × 5 mm	6 块	电缆双线浇铸在电极板	卷筒状
浅层供电极铅板电极	1 000 mm × 1 000 mm × 5 mm	6 块	电缆双线浇铸在电极板	平板状
浅层测量极铅板电极	800 mm × 800 mm × 5 mm	6 块	电缆双线浇铸在电极板	平板状

由于冕宁台深井地电阻率观测场地下为较厚的近代冲积、洪积的砂砾石层、沙层,接地电阻阻值较大,为降低接地电阻,采用了增加降阻剂、更换电极掩埋土壤等方法,供电极、测量极接地电阻及测道装置系数见表 2。供配电采用市电加 UPS 模式,市电经氧化锌避雷器、配电箱后接入 UPS 电源,再输出到仪器设备,产生的地电观测数据通过无线路由器以 VPN 无线传输方式链接到西昌地震中心站信息节点服务器,汇集到省局前兆数据库(见图 4)。

表 2 冕宁深井地电观测系统电极接地电阻值及装置系数

观测方式	测量日期	测量通道	供电极/ Ω		测量极/ Ω		装置系数 K
			A	B	M	N	
深层 120 m 水平观测	2020/06/17	NS 向	130	90	155	125	1766
		EW 向	135	165	130	140	1766
		NW 向	120	155	175	130	1766
浅层 3.5 m 水平观测	2020/10/30	NS 向	245	170	325	150	1257
		EW 向	240	250	430	290	1257
		NW 向	310	295	490	500	1257

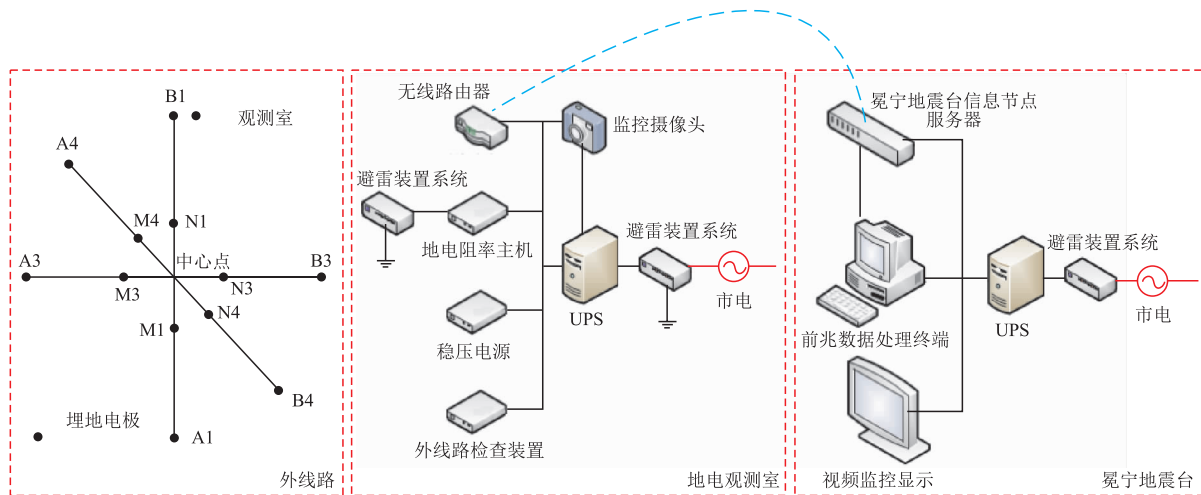


图4 冕宁深井地电观测系统整体架构示意图

2 冕宁台新旧场地观测资料对比分析

2.1 新旧场地地电阻率变化对比分析

由于新场地浅层观测系统暂时未启用,故选取冕宁台深井地电阻率观测系统2020年1月5日试运行开始至2020年10月24日项目总验收前夕共计294天的深层地电阻率观测整点值数据进行分析,并与同期冕宁地震台旧观测场址的浅层地电观测数据进行对比(见图5)。采用数据相对变化量作为进一步分析观测数据稳定性的依据(田野,2019):

$$R = \frac{x_i - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中 x_0 表示初始值, x_i 表示观测变化值, R 定量描述了观测值相对初始值的相对变化量。

从图5(左)可以看出冕宁台旧场地浅层观测地电阻率数据起伏变化幅度较大,NS向、EW向、NW向测道最大变幅分别为 $31.09 \Omega \cdot m$ 、 $48.10 \Omega \cdot m$ 和 $14.74 \Omega \cdot m$,相对变化幅度分别达到了10.49%、18.41%和5.57%。旧场地地处冕宁县城结合部分,测区观测环境干扰复杂,浅层地电阻率观测系统易受降雨天气、基建、灌溉抽水、金属管线、游散电流等因素影响有关。冕宁台新场地井下观测数据和旧场地浅层数据来说总体变化平稳,NS向、EW向、NW向测道最大变幅分别为 $2.35 \Omega \cdot m$ 、 $5.39 \Omega \cdot m$ 和 $2.26 \Omega \cdot m$,相对变化幅度分别为1.16%、2.54%、1.10%。从图5(右)可以看出,NS、NW向两个测道数据变化形态基本一致,无大幅度阶跃、突跳。EW向测道在2020年6月23日发生异常突跳的原因是当日受雷击影响,避雷装置中该测道的氧化锌阀片被击穿,产生线路漏电现象所致,又因工作人员原因该故障一直未加以处理,直至2020年9月10日更换主机及避雷器阀片后才得以解决。从图5(右)中也可看出2020年9月10日后三个测道的深井观测数据更加平滑稳定,很好的抑制了来自地表的干扰,达到了深井观测的目的。

2.2 新旧场地观测数据质量对比分析

选取2020年2月至9月时段内的冕宁台新场地深井地电阻率观测数据和旧场地浅层地电阻率观测数据的连续率、完整率、月精度进行对比分析(见表3),数据连续率反映了观测系统的运行状态;数据完整率反映了观测数据的连续性;数据月精度反映了当月观测数据内在噪声水平,其计算公式为(张磊,2015):

$$k_{\sigma} = \frac{2}{L} \left(\sum_{k=1}^L \left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{(\sigma_n)_{jik}}{(\rho_s)_{jik}} \right) \right) \right) \quad (2)$$

式中 L 为测道数, D 为当月天数, N 为1天中整点值观测数据个数, $(\sigma_n)_{jik}$ 和 $(\rho_s)_{jik}$ 分别表示当月第 i 天、第 j 时、第 k 个测道的观测数据的均方差和地电阻率测值。

由表3可知自2020年2月至9月,冕宁台新场地深井地电阻率观测系统产出数据的连续率除6月份为96.76%外,其余七个月的连续率均高于地电阻率观测评估指标要求的98%,平均连续率达到了99.46%;同

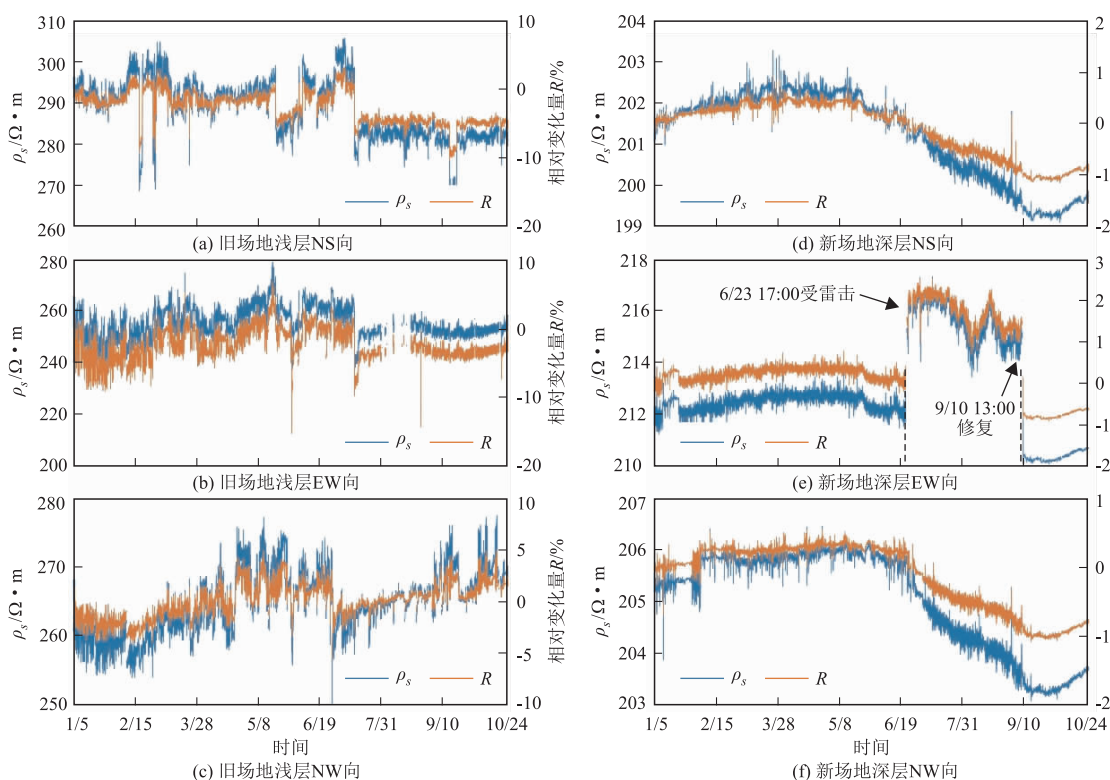


图5 冕宁台深井新旧场地地电阻率整点值和相对变化量R曲线

样地,数据的完整率除6月份为95.43%外,其余七个月的完整率均高于评估指标要求的96%,平均完整率达到了98.95%。6月份观测系统受降雨和雷击影响较大,造成主机故障次数较多,依据学科规范在预处理时删除突跳数据也较多,造成数据连续率和完整率均有所下滑。另外,新场地深井地电阻率观测系统在统计时段内的平均观测精度仅为0.016%,远小于评估指标要求的0.3%。从表3还可以看出,冕宁台新场地深井地电阻率观测数据的连续率、完整率、月精度均高于旧场地浅层观测资料,说明深埋电极和电缆能够有效减轻自然环境、观测环境等因素的干扰,从而提升观测效能。

表3 冕宁地电阻率观测数据质量对比

月份	连续率/%		完整率/%		月精度/%	
	新场地 深层	旧场地 浅层	新场地 深层	旧场地 浅层	新场地 深层	旧场地 浅层
2	100	100	100	96.371	0.01	0.33
3	100	96.52	100	98.244	0.01	0.34
4	99.861	100	99.83	97.207	0.02	0.2
5	100	98.009	99.283	96.559	0.01	0.2
6	96.76	99.328	95.432	97.133	0.02	0.2
7	99.059	96.605	98.94	92.361	0.02	0.2
8	100	95.445	100	96.505	0.03	0.3
9	100	97.805	98.117	85.319	0.01	0.2
平均值	99.46	97.96	98.95	94.96	0.016	0.246

3 冕宁台新场地典型干扰分析

3.1 观测系统故障干扰

地电阻率观测系统包括装置(电极、内外线路、避雷装置等)、测量(主机、供电系统、数据传输等)、检定三个部分(孙昱,2019),冕宁台新场地深井地电阻率观测系统在试运行期间干扰主要是主机故障、线路漏电和避雷装置损坏。以2020年6月21日至7月1日期间为例,该时段内冕宁地区连续多日暴雨黄色预警,冕宁台新场地深井观测系统受雷电影响各测道数据变化较大(见图6),6月23日暴雨引起地电阻率和自然电位数据产生阶跃,地电阻率NS和NW向数据变化幅度分别为0.89%和0.91%,雷电过后恢复正常,EW向地电阻率数据受避雷阀片击穿后线路漏电影响,数据阶跃1.52%。6月27日0时至19时同样受雷电影响,主机断电故障造成缺测,20时重启仪器后数据恢复正常。为减少观测系统故障,冕宁台工作人员于9月初重新更换了主机并对避雷装置进行了修复,同时全面巡检了内外线路,此后数据质量和稳定性得到了有效提高。

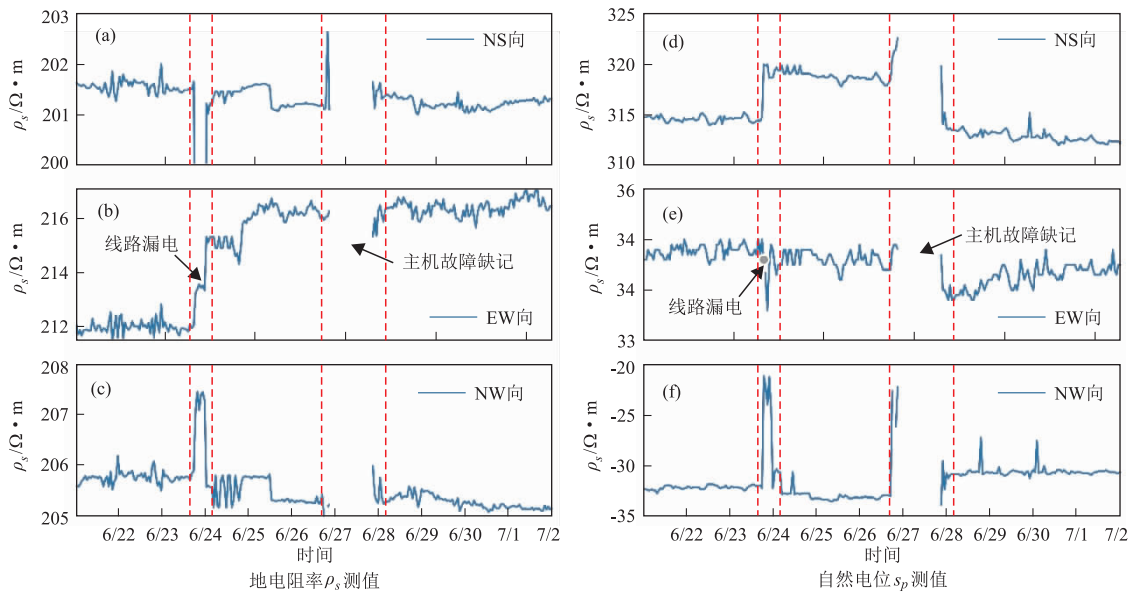


图6 冕宁台深井地电阻率观测受观测系统故障干扰

3.2 观测环境干扰

2020年2月至7月期间,冕宁台新场地深井观测系统NS向和NW向自然电位不定时出现大幅度突跳(见图7),对应该时段的电阻率和均方差并没有明显变化(见图5),而EW向自然电位也无显著变化,由此推断仪器系统工作正常,应该是观测场地周边环境存在干扰源,通过摸排发现该时段内靠近B1和A4电极的区域正在进行电焊和土建施工,为测区不定时受基建高压直流电焊干扰引起数据突跳,此后各测项自然电位数据随着施工的开始而逐渐恢复正常,8月份起当地开始收割烟叶,在中心O点处附近有房屋施工和电焊活动,引起了各测项自然电位数据小幅度突跳,但整体属于正常观测范围。

3.3 自然环境干扰

对2020年1月5日至10月24日期间的冕宁台深井地电阻率整点值观测数据采用局部加权线性回归方法(汪凯翔等,2020)拟合出变化趋势(见图8)。可以看出地电阻率观测数据变化趋势曲线呈现出一定的年变特征,变化幅度小于1%,结合该时段内降雨量数据,推测这是由于冕宁1月初至6月初为旱季,该时段内地下水位总体平稳,所以地电阻率测值变化也相对稳定;6月中旬至10月初为冕宁雨季,该时段内降雨致地下水位上升,所以地电阻率测值逐步下滑至最低值,从10月中旬开始再次进入旱季,推测该时

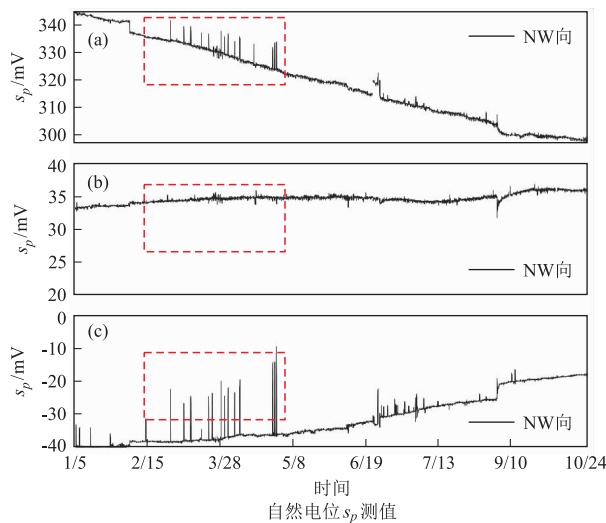


图7 冕宁台深井观测系统受观测环境干扰

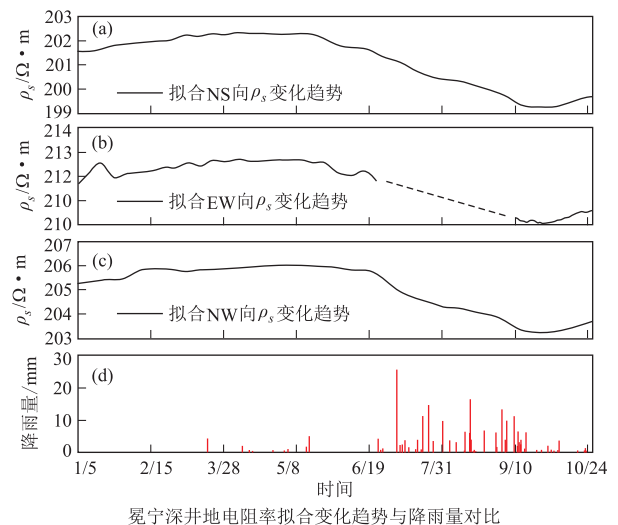


图8 冕宁台深井观测地电阻率拟合变化趋势与降雨量对比

段内地下水位开始下降,导致地电阻率测值开始逐步回升,但由于观测时段的限制,冕宁深井地电观测数据年变规律还有待进一步观察。

4 结论与讨论

通过梳理四川冕宁地电台观测系统建设在场地勘选、布极设计、施工建设、配套设备、系统架构等方面的要点,并将试运行期间产生的深井地电阻率观测数据与冕宁台旧场地浅层地电阻率数据进行了对比分析,初步得出以下结论:冕宁深井地电观测相比于旧场地浅层观测在数据质量上更高,整点值曲线变化幅度更平稳,总体上达到了深井观测目的;冕宁井下地电阻率观测数据在6月至9月期间易受雷击影响而不稳,主要原因在于仪器主机易受雷击干扰使得数据发生突跳、阶跃、缺记等;冕宁井下地电阻率测值年变幅度小于1%,初步判断年变规律与季节性降雨有关,但由于观测时间较短,还需进一步观察。

参考文献

- 樊晓春,吴帆,袁慎杰,等. 2019. 江宁地电台地表与井下地电阻率观测数据分析[J]. 地震地测观测与研究, 40(5): 63-69.
- 高曙德. 2016. 深井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, 31(5): 2078-2088.
- 刘君,杜学彬,陈军营,等. 2015. 地表与井下地电阻率观测数据分析[J]. 地震, 35(1): 112-122.
- 孙昱,张炜超,张创军,等. 2019. 陕西省地电阻率观测干扰因素分析研究[J]. 地震工程学报, 41(2): 489-499.
- 田野,牛延平,赵斐,等. 2019. 平凉台地表与井下地电阻率观测数据分析研究[J]. 四川地震, (1): 22-26.
- 汪凯翔,黄清华,吴思弘,等. 2020. 长短时记忆神经网络在地电场数据处理中的应用[J]. 地球物理学报, 63(8): 3015-3024.
- 王焱坤,陈俊,李发,等. 2018. 安徽省地电阻率台网观测质量分析与改进技术[J]. 华北地震科学, 36(2): 58-65.
- 解滔,卢军,闫伟. 2019. 地电阻率日变化成因分析[J]. 地震地质, 41(6): 1464-1480.
- 杨兴悦,杨立明,康云生,等. 2012. 天水地震台井下地电观测系统介绍及其分析[J]. 地震研究, 35(1): 92-97.
- 张磊,乔子云,罗娜,等. 2015. 河北大柏舍台深井与浅层地电阻率观测对比分析[J]. 华北地震科学, 33(4): 49-53.

Mianning Deep Well Geoelectrical Observation system and its Typical Interference Characteristics

YANG Zhipeng¹, MIU Suqiu², CHEN Xiuqing¹, XU Jianming¹, ZHANG Yuyang³,
YANG Xianhe³, WU Mengfei¹

(1. Xichang Seismic Central Station, Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Xichang 615022;

2. Yunnan Earthquake Agency, Yunnan Kunming 650225;

3. Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041)

Abstract: Sichuan Mianning deep well geoelectrical observation system construction consists of the observation area conditions, the underground earth resistivity measuring system, observation equipment and main performance, essentials of design, installation and construction technology, et al. In addition, the comparative analysis of data shapes, integrity rate, continuity rate, monthly accuracy between the old and the new site of geoelectrical observation clarifies that the accuracy, the signal-to-noise ratio and relative variation of underground geoelectrical resistivity are all better than those in the old surface site. Based on the analysis of the typical interference data during the trial run period of the deep well geoelectric observation system in the new site, it's found that the interference sources of the earth resistivity mainly include the natural environment, the site environment and the fault of the observation system.

Keywords: geoelectrical resistivity; underground deep well observation; Mianning seismic station

新媒体视域下四川地震灾后新闻报道分析

——以2019年“6·17”长宁6.0级地震为例

孙思¹, 罗松²

(1. 四川传媒学院, 四川 成都 610041; 2. 四川省地震局, 四川 成都 610041)

摘要:近年来频发的地震灾害对舆论宣传、国家机关公信力的维护和灾后重建的口碑导向提出了新的要求,以2019年“6·17”长宁6.0级地震中的新媒体传播为例,对地震灾害新闻宣传在传播媒介、路径等方面进行探讨,旨在推动政府有关部门和相关新闻媒体机构在地震灾后舆论宣传的正向传播:一方面开辟了新的传播路径,另一方面有助于提升有关部门公信力。对当下自然灾害新闻报道和舆论引导有一定的借鉴意义。

关键词:地震;新闻;新媒体

中图分类号:G21 文献标识码:B 文章编号:1001-8115(2021)01-0025-05

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.005

当前,以互联网为代表的信息技术正在快速地改变着世界,引领着未来。中国互联网络信息中心(CNNIC)(2020)发布第45次《中国互联网络发展状况统计报告》,截至2020年3月,我国网民规模为9.04亿,互联网普及率达64.5%,在线政务应用以民为本,着力解决群众日常办事的堵点、痛点和难点。新媒体为公众参与线上讨论创造了良好的平台,使得公众的知情权和言论自由权得到了满足(王峰等,2017)。同时伴随我国应急管理体系和防灾减灾救灾体制改革不断深化,加上四川地区近年来地震灾害频发,地震突发事件、地震科普知识、地震谣传等相关新闻报道引发的社会关注度越来越高。进一步提高国内媒体行业的新闻权威性、提升有关部门的公信力,就应树立使用人工智能及大数据的新媒体舆情观念。本文通过对与长宁地震相关的新闻报道进行了综合梳理,并对当下自然灾害新闻报道、舆论引导提出了建议。

1 我国地震灾害新闻传播路径的转变

从2008年汶川8.0级地震到2019年宜宾长宁6.0级地震相距11年,整个四川先后经历了数十次5.0级以上的地震。在此期间,舆情报道的相关媒体经历了从传统媒体到社交媒体再到自媒体的发展历程,新闻报道方式也从单一媒体变为融媒体。

2008年5月12日14时28分四川省阿坝州汶川县发生“汶川8.0级大地震”,14时35分北京地区的人们有明显震感。新华社14时45分发出第一条英文快讯,随后第一时间根据中国地震局震情通报,向全世界发布了权威、准确的消息。14时56分,新华社从成都发出第一张地震的图片。中央电视台新闻频道立刻中断了正常节目的播出,开始24小时直播地震灾情,直观全面地向受众报道灾区情况和救援进展(丁芃,2011)。中国地震局的监测数据、“5·12”大地震现场的新闻从业人员的报道是当时人们获得地震灾情消息的主要来源。在移动网络技术相对落后的环境下,受灾地区及周边出现不同程度的断电断网情况,使得相关讯息的收发受阻,仅仅依靠广播电视播报、少数现场信源的信息反馈难以满足受众急切大量获取灾区信息的需求。

2019年6月17日四川宜宾长宁县发生6.0级地震,震后仅3分钟,中国地震台网中心官方微博“中国地震台网速报”及其微信公众号“中国地震台网”就同步推送了第一条地震信息(见图1)。该信息由地震信息播报机器人自动产出,用时38秒(中国地震台网,2019)。紧接着,“人民日报”微博发布话题#四川长宁

收稿日期:2020-09-20;修回日期:2021-01-05

作者简介:孙思(1989-),女,江苏盐城人,讲师,主要从事广告文化研究。E-mail:sunaisunsi@163.com.

通讯作者:罗松(1990-),男,四川眉山人,工程师,主要从事新媒体运维管理和涉震舆情监控。E-mail:1589542018@qq.com.

6.0级地震#，推送了包括余震信息、震中地形、受灾统计、现场视频、应急知识、谣言处置等方面的50余条信息，阅读量接近38亿，讨论接近500万。同时，灾区民众通过微博、微信、QQ、抖音、头条号等社交平台发布了大量的现场照片和视频，为获得第一手地震信息、赢得应急避险时间奠定了重要基础。

从这两次地震新闻发布可以看出自然灾害的新闻传播路径的转变。权威新闻机构是受众获取真实信息的主要来源，但是受众获得信息的途径变得快捷和多样。新媒体中社交平台的互动性，给受众群体带来了与国共承担的参与感(孙圣鉴等,2019)。

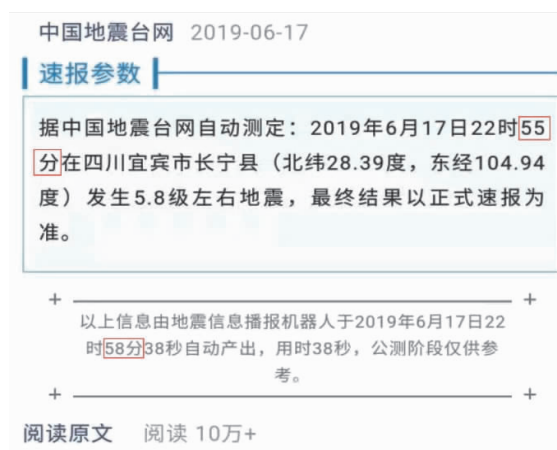


图1 “中国地震台网速报”的官方微信发布长宁6.0级地震自动测定结果

2 地震灾害新闻话语权的转变

新媒体在抗震救灾行动中一直发挥着积极快捷主动的正面作用，也使传统媒体的信息传播受到了冲击，主流媒体的话语权受到严重挑战。随着科技的进步发展及移动设备的MAU急速增加，数据抓取、NLP数据预处理及智能算法的结果对新闻内容生产及传播方式创新都越来越重要了，这些结果可以让DAU庞大的资讯类平台以及处于头部的自媒体更加容易成为“意见领袖”，并对受众施加影响，也更能够引导舆情走向。对于传统媒体而言，其权威传播渠道、受众的依赖度及信息载体优势不断被削弱(扎西达娃,2016)。

四川宜宾长宁地震灾情发生后，全国各大媒体在第一时间积极响应，运用新媒体平台对灾情及救灾情况进行全方位的报道。根据“人民在线”抓取的数据显示，在地震发生后的二十分钟之内，国内新闻媒体报道的消息数量已经过千，包括了央视新闻、人民日报、新华社、红星新闻、澎湃新闻等中央媒体和地方媒体，除此以外，“两微一抖”、“B站”“快手”等新媒体平台也对震后的灾情实况以及救灾现场的进展进行了全方位的分享。从2019年6月17日晚上地震发生至18日9时，由“四川新闻网”发起的微博话题#四川地震#阅读量总量达2.5亿，讨论总数达6万。其中，由“中国地震台网速报”发起的超话#地震快讯#累计阅读量达121.8亿，拥有持续关注的粉丝3.4万。“6·17”长宁地震灾害信息的传播，新闻自媒体占据了天然的优势，他们

排名	微博	认证信息	传播力	服务力	互动力	认同度	总分
1	中国警方在线	公安部新闻中心，公安部治安管理局官方微博	97.24	93.87	86.04	88.56	92.59
2	共青团中央	共青团中央官方微博	98.23	85.19	87.06	90.27	91.80
3	中国消防	应急管理部消防救援局官方微博	95.14	84.58	86.86	89.38	90.22
4	中国长安网	中央政法委新闻网站官方微博	91.79	85.69	84.12	81.97	87.07
5	中国反邪教	中国反邪教官方微博	90.93	77.35	82.82	84.01	85.21
6	中国大学生在线	教育部中国大学生在线官方微博、教育官微联盟成员	82.27	89.53	79.27	77.66	82.20
7	中国气象局	中国气象局官方微博	83.58	84.83	77.27	73.52	81.94
8	中国地震台网速报	国家地震台网官方微博	89.67	60.20	84.47	75.49	79.90
9	公安部交通安全微发布	公安部交通管理局官方微博	86.39	74.28	79.58	66.70	78.67
10	中科院之声	中国科学院官方微博	81.74	64.16	86.68	78.69	78.60

图2 “中国地震台网速报”的官方微博荣获2019年上半年“全国十大中央机构微博”称号

借助微信平台、微博平台、互联网平台等多个渠道,不断向公众展示灾情及抗震救灾的主要进展情况。其中,“中国地震台网速报”的官方微博还荣获了“全国十大中央机构微博”的称号(见图2)(人民日报,2019)。

虽然从数据上看,以“四川新闻网”、“中国地震台网速报”为代表的官方新闻媒体机构依然占新闻报道的主导地位,但是社交平台和视频平台的介入,让KOL和“UP主”有了拥有话语权的空间,他们通过H5、CG动画、直播等新技术、新方式来为自己增加关注度,让受众在轻松的状态下感同身受,便于传达自己的观点和见解(见图3)(bilibili,2019)。



图3 Bilibili的某up主在长宁地震直播游戏

3 UGC 助力下的全员媒体影响增强

当前,人人都是自媒体、人人都有麦克风,同频共振的“宜宾长宁地震”舆论场除了相关部门响应迅速和及时对外发声外,公众积极交互的信息声量满足了普通民众参与社会事务的需要。UGC模式的出现改变了传统的信息传受关系,用户既是受众又是信息源,它的好处在于受众范围广,信息源丰富,拓宽了传播渠道,达到裂变式的传播效果。在长宁地震报道中,地震发生后最开始那段信息黑箱期,@中国地震台网速报、@四川省地震局向震区网友征集当地的受灾照片、视频,@四川省地震局发起互动投票“四川宜宾长宁发生6.0地震,你那里有震感吗?”,得到众多网友的积极响应。2000多名网友积极提供自己所在地的震后情况,优质UGC为官方信息做了详实补充。

长宁地震发生后,有震中双河镇的网友拍摄的视频第一时间向公众传达现场的真实情



图4 长宁6.0级地震后部分自媒体在网上传布不实信息,并被处罚

况,并成为初期媒体进行报道的主要信源,加快了新闻真实的有机运动。但同时需要引起重视的是,UGC模式存在着用户媒介素养参差不齐,信息鱼龙混杂、真伪难辨等缺点。比如长宁6.0级地震后,多位网友因在网络上发布不实信息,甚至冒充官方媒体发布信息,被警方处以行政拘留(见图4)(四川手机报,2019;宜宾公安,2019)。天灾面前散布谣言、不当言论……除了给灾区人民伤口上撒盐外,还严重破坏社会秩序,所以新媒体在报道时应加以核查、筛选。

4 自然灾害新闻报道的启示

4.1 技术层面

着力推进地震预警系统建设。在2019年6月17日当晚,某民营机构的预警倒计时备受瞩目,牢牢占据微博“热搜榜”。该机构根据与震源中心距离的监测数据,分别给宜宾市、乐山市提前了10秒和43秒的预警,给成都180所学校和110个社区提前了61秒预警。怎样的地震预警才算成功?如何充分高效利用地震预警时间实现减灾是人们关心的问题。科学研究表明,提前3秒预警人员损伤可减少14%,提前20秒人员损伤可减少63%。在天然地震这种自然灾害发生前就有针地性的精准推送预警信息,将有助于使民众的损失降到最低,并在报道中占据主动权,为群众争分夺秒地逃灾避险争取宝贵时间(刘莉等,2014)。

加强对新媒体数据分析的利用。新媒体、移动通讯技术的发展为自然灾害事件的报道提供了新的表达方式,“两微一端一抖”等平台已经成为公众获取新闻资讯的主要渠道。随着区块链、AR(增强现实技术)/VR(虚拟现实技术)、人工智能等技术的日臻完善与深入应用,地震灾害新闻报道的“智慧”含量也可以不断提升。早在2016年5月绵阳发生4.3级地震时,相关的地震新闻迅速在社交媒体传播。该新闻的发布来自“地震信息播报机器人”,新闻内容包括地震参数、震中地震历史、地震周边村落、乡镇的基本情况、地震所在县的行政情况,还配有两张震中地图。“地震信息播报机器人”仅花了6秒钟,就写下560字的新闻稿件,而且自动写作,自动发布,全程无人介入。以Shimon、Deep-speare、小冰为代表的的人工智能程序,也在各个领域趋向成熟。另外,大数据技术能够针对性地开展报道,智能化互动可实现点对点的传播,让信息交流更加透明、全面,全媒体融合能够使新闻披露更加具象,通过这些方法可以解决网络舆论环境中的信任问题,也可以节约人力资源,并让信息的真实性和准确性得到极大保障。

4.2 内容层面

打破同质化标题和报道。对于官方媒体而言,要想吸引公众、并维护其权威性与专业性,巩固引导舆论的正面作用,需要打破新闻同质化的局限,强化公众对新闻的注意力与情感的需求,努力阻止谣言引发的“次生灾害”。报道对象如果集中在渲染灾情、政府宣传、救灾英雄等焦点上,就容易出现新闻内容大同小异的局面(任笑晨,2014)。各家媒体都同质化报道,缺乏针对性与感染力,就出现受众流失的现象。受众更愿意选择浏览与众不同的信息,从而给谣言留下生存空间。

建立矩阵,做好舆情统战线。庞大的网民构成了中国蓬勃发展的消费市场,微信、短视频、直播等应用降低了互联网使用门槛,随着互联网及自媒体的快速化、娱乐化日益突出,互联网公司对新闻媒体的影响力日趋增强,引导舆论、主导公众声音的角色日益突出。关于地震这样的自然灾害的报道,应依托中国地震局、中国地震台网、中国地震台网速报、四川省地震局等官方品牌和资源优势,并整合整个地震系统内部资源,深挖中国地震台网的在线传播与研究潜力,构建集公关传播、新媒体宣传、活动策划执行于一体产品矩阵,以及政府重大项目舆论风险评估、突发事件应急体系建设与应急演练培训等危机公关体系。这样才能维护好国家相关权威机构的话语权,有层次、有见地地推进新闻宣传工作。

4.3 政府与媒体层面

地震部门要善于与主流媒体合作,借力实现防震减灾新闻宣传的高效传播。当前地震部门的官方门户网站、官方微博和微信等新媒体已经成为新闻记者获取震情信息、新闻素材的重要来源。因此,地震部门可以组织一批值得信任、高素质的记者,搭建记者微信群、QQ群等,及时提供最新权威信息。这样,通过主流媒体更有效、更大范围地将防震减灾信息传递给社会公众,强化宣传效果和宣传质量。

公众对新闻时效性的要求不断提高,新兴媒介技术的发展不但可以提高媒体的响应速度,还能缩小甚至避免信息时滞带来的负面影响。但需要强调的是,地震新闻报道除了要追速度、追真相,还需要在信息层面

进行深度整合;在价值层面进行引导;在思想上明确基调,发挥提纲挈领作用,这既是媒体权威性的体现,也是媒体的应尽之责。

5 结论

通过以上的分析论述,围绕“6·17”长宁地震对新媒体环境下四川地震灾后新闻报道的传播路径、主流媒体话语权的转变以及政府和媒体层面进行了简单的分析,提出了从技术到内容可以作出的改变。关于我国自然灾害的报道,可以结合包括区块链、AR、VR、AI在内的新媒体技术,形成一个多元化的舆论引导体系,建设一个以社会主义核心价值观为主的新闻宣传产品矩阵和危机公关体系,保障在新媒体环境下关于自然灾害的新闻报道能够发挥积极正面的作用,服务于整个社会。

参考文献

- 丁芄. 2011. 电视媒体在危机事件中的报道策略及功能研究[D]. 山东师范大学.
- 刘莉,王婷婷. 2014. 6.5级以下的地震预警作用不明显[N]. 科技日报,8-6.
- 人民日报(微博). 2019. 2019年上半年人民日报政务指数影响力报告[M]. 6(4).
- 任笑晨. 2014. 突发自然灾害中出境记者现场报道研究[D]. 河南大学.
- 四川手机报(微博). 2019. #微博辟谣#, #四川长宁县6.0级地震#, 四川手机报严正声明[EB]. (2019-06-17)[2020-06-08]. <https://m.weibo.cn/1700582867/4384321014350432>.
- 孙圣鉴,邓铎. 2019. 地震应急救援新闻宣传工作发展对策研究[J]. 中国应急救援, 76(4):17-21.
- 王峰,崔娜,张慧峰,等. 2017. 防震减灾新闻宣传新机制初探[J]. 国际地震动态, (5):22-26.
- 宜宾公安(微博). 2019. “珙县白皎有房屋垮塌、人员死亡”系谣言[EB]. (2019-06-21)[2020-06-08]. <https://m.weibo.cn/3815664603/4385762797171774>.
- 扎西达娃. 2016. 新媒体语境下电视新闻报道的思考[J]. 新媒体研究, 2016(03):118-119.
- 中国地震台网. 2019. 四川宜宾市长宁县附近发生5.8级左右地震[EB]. (2019-06-17)[2020-06-08]. <https://mp.weixin.qq.com/s/eVASfzoOJ3OQ0UTuR7MHJQ>
- 中国互联网络信息中心. 2020. 第45次中国互联网络发展状况统计报告[M]. 2020:4.
- Bilibili. 2019. 宜宾突发地震,姿态匆忙下播:四川的朋友们,小心余震[EB]. (2019-06-18)[2020-04-21]. https://search.bilibili.com/all?keyword=%E5%AE%9C%E5%AE%BE%E7%AA%81%E5%8F%91%E5%9C%B0%E9%9C%87%EF%BC%8C%E5%A7%BF%E6%80%81%E5%8C%86%E5%BF%99%E4%B8%8B%E6%92%AD%EF%BC%9A%E5%9B%9B%E5%B7%9D%E7%9A%84%E6%9C%8B%E5%8F%8B%E4%BB%AC%EF%BC%8C%E5%B0%8F%E5%BF%83%E4%BD%99%E9%9C%87&from_source=nav_search_new.

News Reports From New Media Perspective After the Earthquake in Sichuan ——Take “6·17” Changning Ms6.0 Earthquake as an Example

SUN Si¹, LUO Song²

(1. Sichuan University of Media and Communications, Sichuan Chengdu 610041;

2. Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041)

Abstract: In recent years, due to the frequent earthquakes, new requirements and challenges have been brought up on publicity, protection of government credibility and reputation of post-disaster reconstruction. Based on “the role new media plays in publicity in Changning 6.0-magnitude earthquake”, this thesis conducts a study on the medium and ways for publicity on earthquakes, which explores new ways for publicity and the enhancement of government credibility, in order to help government and news medias to generate positive publicity. This thesis also provides references for news report and public opinion guidance on natural disasters.

Keywords: earthquake; news; new media

地震应急信息产品服务需求分析

——以四川青白江5.1级地震为例

周妍,张翼,王悦,许娟,陈维锋

(四川省地震局,四川成都610200)

摘要:以四川青白江5.1级地震为例,采用线上问卷方式,对震后基础信息、决策、灾情以及现场烈度调查四类微信产品进行需求调研。对已反馈的有效问卷进行分析,从内容、时效、展现方式等角度梳理出震后不同时间节点中地震应急人员和地震科研人员对信息产品的需求,并在此基础上深入探究,为进一步完善地震信息产品服务提供参考资料。

关键词:青白江5.1级地震;信息产品的需求

中图分类号:P315.9

文献标识码:B

文章编号:1001-8115(2021)01-0030-03

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.006

中国是世界上地震灾害最严重的国家之一,20世纪因地震造成的死亡人数居全球第一,经济损失达数千亿元,2013~2017年发生的灾害性地震空间分布范围相较以往有所扩大,造成的灾害损失依然保持较高的态势(林向洋等,2018;聂高众等,2002)。地震应急作为减轻地震灾害的重要举措之一,在应对突发地震事件中发挥着不可替代的作用(王海鹰等,2016)。地震应急信息产品作为为指挥者提供辅助决策意见的服务,其科学性、时效性以及合理性直接影响着震后应急救援工作(宫玥等,2018)。因此,对地震应急信息产品服务的需求进行调研和分析是很有必要的。调研以2020年2月3日0时5分发生在成都市青白江区5.1级地震(30.74°N,104.46°E)为背景事件,基于现有的地震应急信息产品,从内容、时效、展现方式、推送途径等角度进行探索,通过线上问卷调查的形式收集数据,多维度统计分析新形势下地震应急信息产品服务的新需求,为进一步完善地震信息产品服务提供参考资料。

1 调研的对象、方式及内容介绍

为更有针对性地提供专业、有效的地震应急信息服务,本次调研将研究对象限定在与地震工作相关的应急人员(包括现场应急人员以及后方应急人员)和地震科研人员,依据此类人员得出的需求信息则更具专业性。本调研采取线上问卷形式,以微信推送的方式向地震应急人员及科研人员发送问卷,通过主观选择与客观补充的格式获取不同类型的地震应急信息产品需求。本调研结合地震应急工作,充分考虑地震应急人员及科研人员关注的需求,选取了四大类微信推送产品,通过内容、时效、展示方式等方面进行。同时,为了提供更加完善的地震应急信息产品,问卷还设计了补充产品信息调查环节,以便全方位掌握地震应急信息产品需求。其具体为:1)基础信息类产品需求。震后在微信中推送的基础信息类产品主要以文章综合展示为主,涵盖了地震所在区域的基础地理信息,包括震区基本情况、震情信息。2)决策类产品需求。震后在微信中推送的决策类产品主要有三张图,分别是:灾情询问结果图、历史地震分布图、烈度速报图。3)灾情类产品需求。震后在微信中推送的灾情类产品主要有震感分布图。4)现场烈度调查类产品需求。震后在微信中推送的现场烈度调查类产品主要有两张图,分别是:现场灾情调查人员分布图和现场灾情态势分布图。针对这四大类微信推送产品,通过内容、时效、展示方式、补充内容等方面进行调研。

收稿日期:2020-05-28; **修回日期:**2020-10-19

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2018YFC1504500)、四川省地震局科技创新团队(编号:201902)和地震应急青年重点任务(编号:CE-AEDEM201913)联合资助。

作者简介:周妍(1988-),女,工程师,主要研究方向为地震应急,E-mail:578165044@qq.com.

2 调研结果及分析

通过对反馈的51份调研问卷分析,总结出对以上四大类微信推送产品及补充信息的需求,见表1。

表1 问卷调研需求统计

类别	基础信息类/%		决策类/%			灾情类/%	现场烈度调查类/%	
	震区基本情况	震情信息	灾情询问结果	历史地震分布图	烈度速报图	震感分布图	现场灾情调查人员分布图	现场灾情态势分布图
第一时间需求	98.04		92.16	76.47	94.12	82.35	64.71	64.71
时间需求	0~15分钟	70.59	49.02	54.9	60.78	82.35(0-30分钟)	/	/
	15~30分钟	19.61	39.22	23.53	29.41			
	>30分钟	9.80	11.76	21.57	9.81			
分时段需求	1小时/次					72.55	52.94	47.06
	2小时/次	/	/	/	/	15.69	50.98	58.82
	不需要					11.76	/	/
展示形式	图文	90.2	86.27	86.27	78.43	82.35	90.20	90.20
	图片	52.94	47.06	33.33	41.18	41.18	31.37	17.65
	文字	39.22	43.14	21.57	19.61	21.57	21.57	15.69
	照片	/	/	/	/	/	27.45	13.73
	其他	9.80	9.80	5.88	7.84	3.92	3.92	3.92
其他补充信息	救援队伍分布情况;GIS/手机地图定位地震三要素;烈度区划特征;发震断层;PGA分布;震源机制解;天气;视频信息;周边断裂带信息;损害分级预测;震后余震分布图;极震区人口建筑信息;是否为灾后重建区域;流动人口情况;交通状况		断裂分布;有无余震;震动持时;视频信息;各个烈度圈的人口数;震后出队情况;重要经济枢纽情况;损害分级预测;以往应对措施;适用于本单位的对策建议			现场照片;视频信息;房屋倒塌等信息;当地专家反馈;避难情况、网络舆情;损害分级预测;人员伤亡;动车影响;烈度分阶段图;救灾需求;道路和生命线工程受损情况;地质灾害;次生灾害情况	加入调查行进路线;烈度图说明;采样点房屋结构统计;视频信息;次生灾害分布图;如何更好地展现抽象烈度图;损害分级预测;主要断裂分布图;极震区地貌;现场组织架构及地震局和应急厅的组织架构;灾情与烈度关系;生命线工程;灾情展示图;重要交通影响情况;核心区危险源分部情况;灾情实时更新	

2.1 时间相关性需求分析

由表1、图1可以看出,以上四大类微信推送产品均为第一时间需求的产品信息。对于基础信息类、决策类、灾情类产品,30分钟内的信息需求比例高达80%,可见震后30分钟内提供以上信息产品服务对专业人员掌握地震信息以及决策者进行后续救灾部署至关重要。

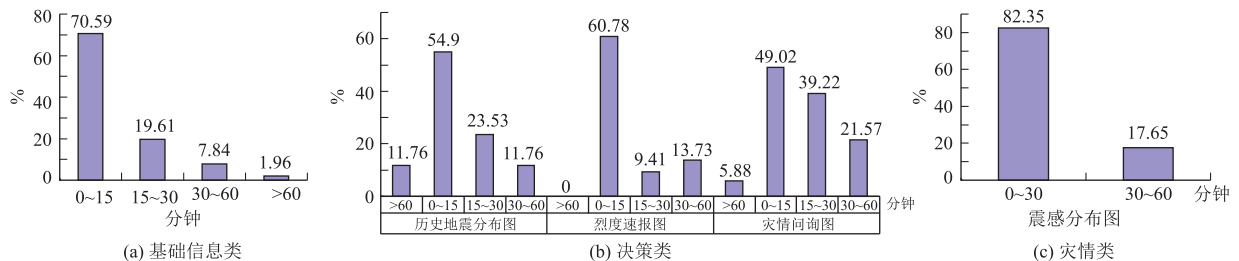


图1 产品时间需求分析

除此之外,由于灾情及现场烈度调查这两类产品时间属性存在持续性,故将两者进行分时段需求分析(见图2)。对于灾情类信息需要相对频繁的持续更新(1小时/次),而对于现场烈度调查类,更新频率可适当降低。所以,针对时间相关性需求,既要注重产品的及时性,也需要跟踪信息的持续性。

2.2 展现方式需求分析

根据统计分析结果(见图3),四大类微信推送产品的展现方式主要为图文综合方式,其需求比例高达90%以上。部分产品(尤其是基础信息类和决策类)可以采用图片或者文字的方式直接展示;灾情类及现场

烈度调查类产品则更需要图文综合展示,才可以直观传达有效信息。

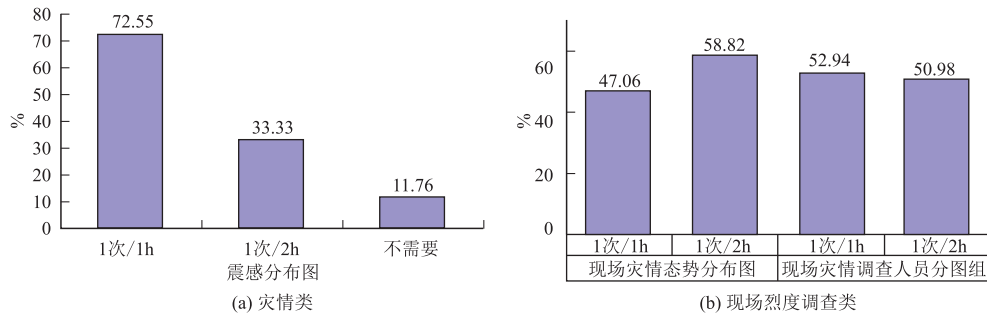


图2 产品的分时段需求分析

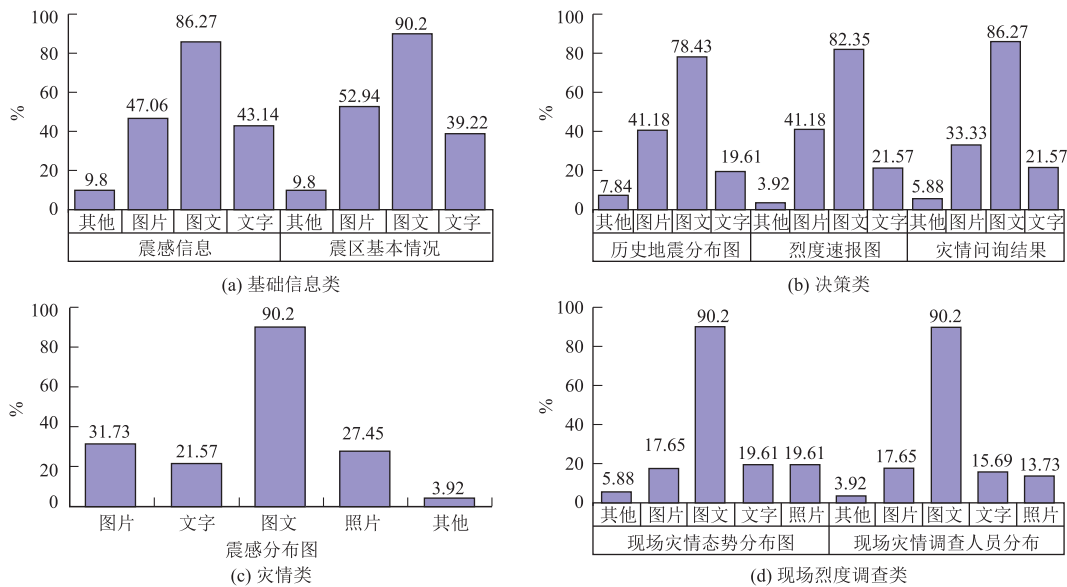


图3 展现方式需求分析

除了问卷调查设置的四大类微信推送类产品,本研究对于其他的需求信息也做了统计(见表1)。由表1补充信息需求可知,现有的地震应急产品服务仍然存在种类繁多、数目多、利用率相对较低。

3 结论与建议

对于地震应急产品的提供,人们大多注重时间的及时性,而很少关注信息提供的持续性。对于灾情类、现场烈度调查类信息需要持续更新,对于此类信息,建议通过灾报系统、现场调查组以及人工问讯的方式及时获取,并第一时间通过相关渠道发布,便于相关专业人员、决策者能够全面、及时、准确、动态地获取。针对地震应急信息产品的展现方式主要以图片、文字或图文综合方式为主。图文综合方式是最主要的需求方式,但对于其他展现方式也不可忽略。建议在以图文综合为主要展现方式的同时,拓展与信息产品特征相适应的其他展现方式,如现场烈度调查类可增加照片展示,余震分布可通过视频动态展示方式等。针对其他地震应急信息产品需求仍较多、现有的地震应急产品服务仍旧存在种类繁多、数目多等情况,可通过对产品种类进行分类,精简繁冗产品数量等方式进行归类整理,提高信息的利用率。

参考文献

官玥,申文庄. 2018. 震后地震部门应急信息产出概况与分析[J]. 减灾纵横,4:33-37.

林向洋,郑通彦,文鑫涛. 2018. 2017年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 防灾科技学院学报,20(1):52-58.

(下转第38页)

MISFIT 及 MISFIT-GOODNESS 在同址记录 一致性中的应用研究

李冬圣, 李小军, 贾 炯, 蔡玲玲
(河北省地震局, 河北 石家庄 050021)

摘 要:对同址观测的地震计所记录的安静时段背景噪声、天然地方震、远震事件分别进行 MISFIT 分析,并参考 MISFIT-GOODNESS 的结果,给出两台地震计记录一致性的评价,对基于不同目的波形分析给出使用记录波形的合理频段范围,提高数据应用的可靠性。

关键词:同址; MISFIT; MISFIT-GOODNESS; 频段; 可靠性

中图分类号:P315.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2021)01-0033-06

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.007

在地震计记录数据的处理过程中,基于不同的使用目的,都涉及到将地震计记录还原为真实的地动位移、速度或加速度等,这样的还原可以通过地震计的参数及特性去除仪器响应,而地震计的性能参数可以通过标定的方法获取,包括了相对标定(电标等)和绝对标定(振动台等),为了不影响已部署在台站的地震计的正常观测,尤其是宽频带或甚宽频带地震计(地震计在受冲击后需要较长的时间才能重新恢复稳定),人们将标准地震计(经振动台检定)与原有仪器进行同址并行观测,通过对记录数据的一致性分析,获取电压灵敏度等参数,并对原有观测仪器的观测质量进行评价。

比较简单的方法是计算两个观测记录的平方相干系数 C_{ij} ,通常 C_{ij} 用来检测两个信号在频域不同频点上的相关程度。若 $C_{ij} = 1$ 则表示两个信号线性相关,若 $C_{ij} = 0$ 则表示两个信号完全不相关,在通常的测试过程中 $0 < C_{ij} < 1$ 表示两个信号不完全是线性相关的(万永革,2007)。平方相干系数反映的是两个信号在某个频率点上的相关程度,但是不能体现两个信号在时间域差异,也不能给出信号在相位上的差异。为此定义了 MISFIT(Miriam Kristekova et al.,2006),并给出了一系列在时间域及频率域上对信号幅度及相位差异进行定量的参数,为了评价 MISFIT 的拟合效果,Kristekova 提出了 MISFIT-GOODNESS,对 MISFIT 的效果进行评价,进一步完善了误差拟合工具(Miriam Kristekova et al.,2009)。本文将采用 MISFIT 及 MISFIT-GOODNESS 对同址的两台同型号地震计的不同情况下的记录进行分析,对自噪声计算、地震事件处理等给出信号频段使用的建议。

1 实验方法

本文中使用的实验仪器为两台六通道的 Q330HRS 数据采集器,两台 STS2.5 宽频带地震计,其中一台为被测地震计,另一台为参考地震计。将两台地震计放置在山洞内的同一个摆墩上,使用陀螺寻北仪做出指北标志,并据此对齐地震计的方位(假定仪器内部的安装误差较小)。将两台地震计分别连接至同一台数据采集器,开始为期 6 个月的记录。数据中原始记录格式为 MSEED 格式,在实际的数据分析中使用软件 ObsPy 对相关的数据格式进行转换。

在计算自噪声的过程中,两台同址观测地震计对地面速度记录的一致性直接关系到了在各个频率点上的取值分布,为此,本文引入了 MISFIT 及 MISFIT-GOODNESS 对记录波形进行时间域及频率域的比较,MISFIT 及 MISFIT-GOODNESS 中各参数的定义请参考 Kristekova(2006,2009)。其中 TFEM 代表两个比较信号

收稿日期:2020-12-01;修回日期:2021-01-08

基金项目:河北省地震局测震专业仪器系统检测评估与观测场地遴选创新团队。

作者简介:李冬圣(1982-),女,河北冀州人,高级工程师,现主要从事地震数据处理工作。E-mail:lds981112@163.com.

的时频表征包络线误差拟合结果,TEM 代表两个比较信号的时间域时频表征包络线误差拟合结果,FEM 代表两个比较信号的频率域时频表征包络线误差拟合结果,EM 代表两个比较信号的时频表征包络线误差拟合结果的均值,PM 代表两个比较信号的相位误差拟合结果均值,TFPM 代表两个比较信号的时频相位误差拟合结果,TPM 代表两个比较信号的时间域相位误差拟合结果,FPM 代表两个比较信号的频率域相位误差拟合结果。在 MISFIT-GOODNESS 中 TFEF 代表两个比较信号的时频表征包络线误差拟合结果的效果,TEG 代表两个比较信号的时间域时频表征包络线误差拟合结果的效果,FEG 代表两个比较信号的频率域时频表征包络线误差拟合结果的效果,EG 代表两个比较信号的时频表征包络线误差拟合结果的效果的均值,PG 代表两个比较信号的相位误差拟合结果的效果的均值,TFPG 代表两个比较信号的时频相位误差拟合结果的效果,TPG 代表两个比较信号的时间域相位误差拟合结果的效果,FPG 代表两个比较信号的频率域相位误差拟合结果的效果。色柱值从 0 ~ 10 表示误差拟合效果的评价值,值越高表示效果越好。

2 数据分析

图 1 是两台地震计垂直向在安静时段 2014 年 5 月 6 日 18 时至 19 时记录的 MISFIT(global) 结果,TFEM 显示两台地震计的 UD 向记录的时频表征包络线差异在全部时间段都有分布,主要集中在周期大于 10 s 的频段,从 20 s 至更低频段差异开始较为明显,且在接近 1 000 s 时出现了 8% 左右的最大差异。TFPM 显示两台地震计的 UD 向记录的相位差异在全部时间段都有分布,主要集中在周期大于 20 s 的频段,从 50 s 至更低频段差异开始较为明显,且在接近 500 s 时出现了 -2% 左右的最大差异。EM 值为 7%,PM 值为 3% 且主要是由于低于 10 s 频段的高值拉升造成。产生这样差异主要有两方面:两台地震计的幅频及相频特性在低频段的差异主要取决于机械结构,机械结构在各种环境条件下的一致性不能得到高度保证;选取数据的时段为台站的安静时段,背景噪声较低,噪声中的低频信号能力不足,导致信噪比不高。

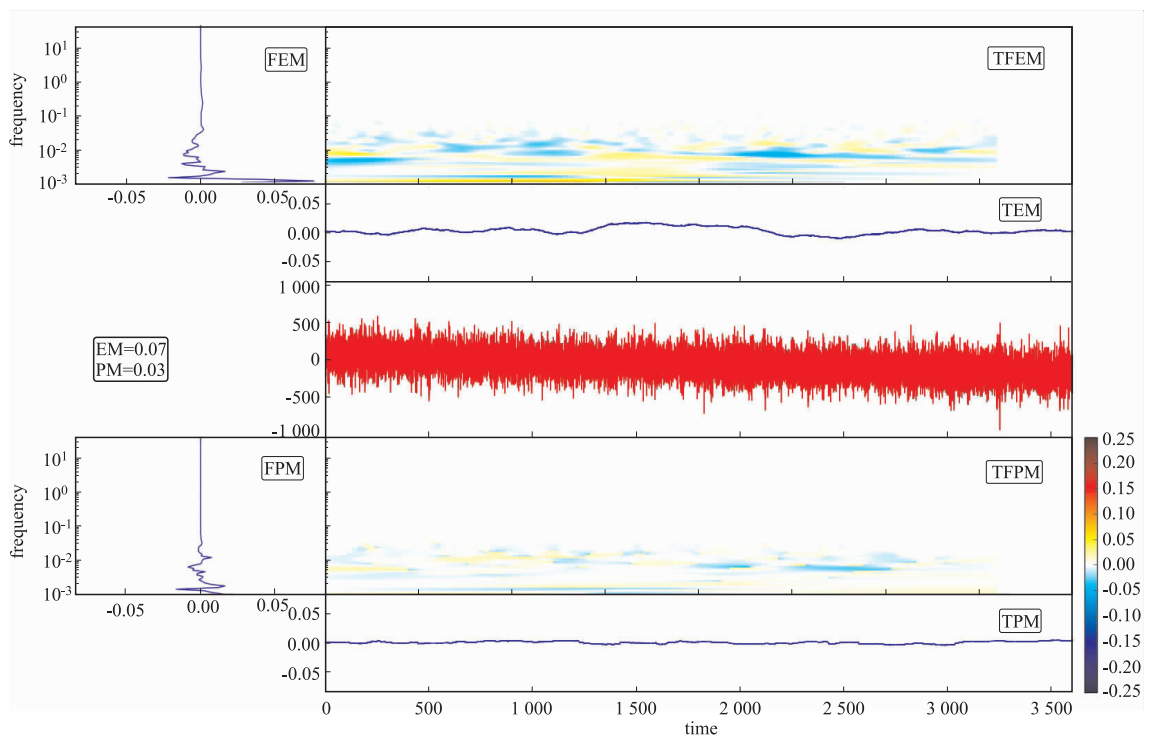


图 1 两台地震计垂直向记录 MISFIT 比较结果

图 2 显示两台地震计垂直向在安静时段 2014 年 5 月 6 日 18 时至 19 时记录的 MISFIT-GOODNESS (global) 结果,两台地震计的 UD 向记录的包络线差异拟合效果在全部时间段都集中在 9.36 附近,在周期大于 50 s 的频段拟合效果开始变差,且在接近 1 000 s 时出现了最差值 9.1。两台地震计的 UD 向记录的相位

差异拟合效果在全部时间段都集中在 9.70 附近,从周期大于 100 s 至更低频段有小幅波动。图 2 说明相位误差的拟合效果整体优于包络线误差拟合的效果,部分是由于采用的地震计电压灵敏度不准造成,但是整体效果在时间域和频率域表现尚可,说明 MISFIT 的结果可信。

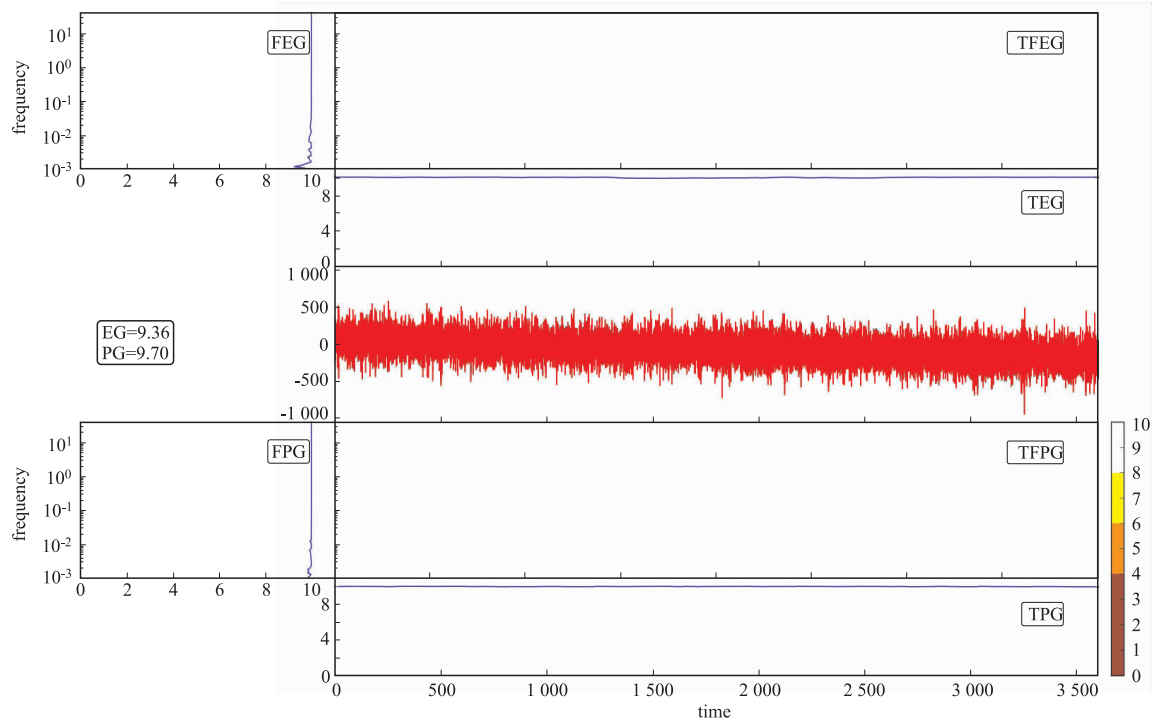


图 2 两台地震计垂直向记录比较的 MISFIT-GOODNESS 结果

近震事件选取 2014 年 6 月 11 日北京顺义 2.3 级地震,震源深度 17 km,震中距 33 km,图 3 显示两台地震计垂直向记录该事件的 MISFIT(global) 结果,TFEM 显示两台地震计的 UD 向记录的时频表示包络线差异在全部时间段都有分布,主要差异集中在周期大于 30 s 的频段,在高于 10 Hz 的频段也有一定的差异,在接近 90 s 时出现了 12% 左右的最大差异,在 33 s 至低频段以 80 s 为分界出现两个条带,这个原因应该是被测地震计在 30 ~ 80 s 的电压灵敏度低于参考地震计电压灵敏度,而在 80 s 至低频则高于参考地震计电压灵敏

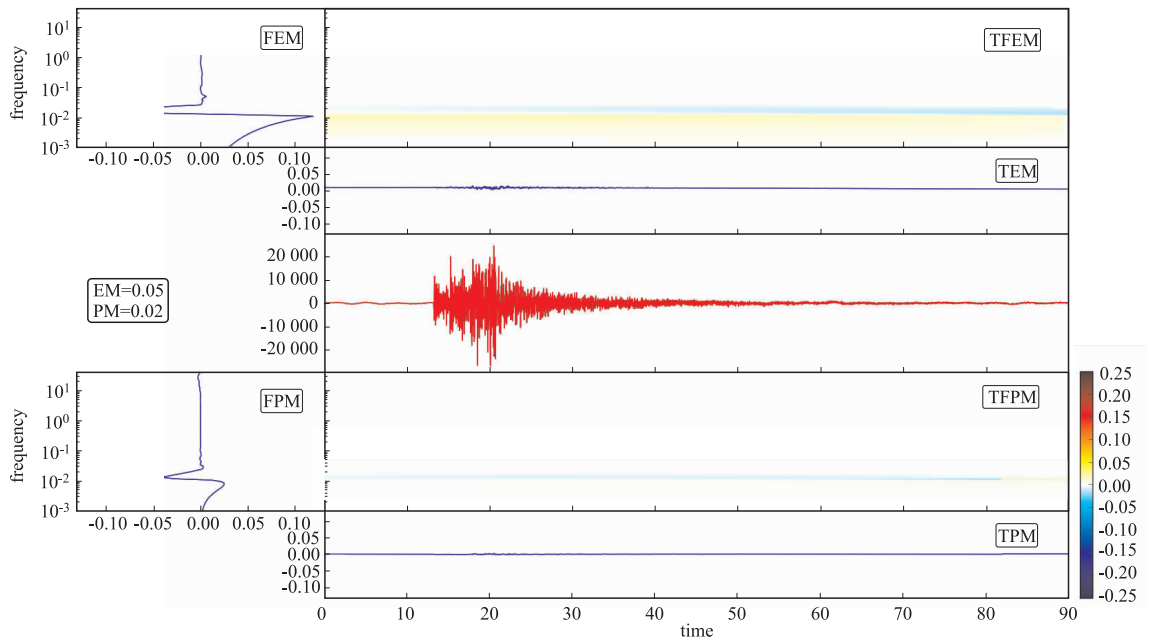


图 3 两台地震计垂直向近震事件记录 MISFIT 比较结果

度,在图1中该现象不明显,考虑是由于安静时段的低频信号过弱导致。TFPM显示两台地震计的UD向记录的相位差异在全部时间段都有分布,主要集中在周期大于50s的频段,且在接近80s时出现了-4%左右的最大差异,在33s至低频段以80s为分界出现两个条带,这个原因应该是被测地震计的相频特性在33~80s滞后于参考地震计,而在80s至更低频略超前于参考地震计。与安静时段比较类似的是,误差主要出现在30s以下的低频段,这与近震记录有关,低频能量较弱。

图4是两台地震计垂直向记录北京顺义M2.3级地震的MISFIT-GOODNESS(global)结果,两台地震计的UD向记录的时频表示包络线差异拟合效果在全部时间段都集中在9.47附近,在周期大于34s的频段拟合效果开始变差,且在接近90s时出现了最差值8.8。两台地震计的UD向记录的相位差异拟合效果在全部时间段都集中在9.84附近,从周期大于0.027Hz至更低频段有小幅波动。图4说明相位误差的拟合效果整体优于包络线误差拟合的效果,整体效果在时间域和频率域表现不错,说明MISFIT的结果可信。

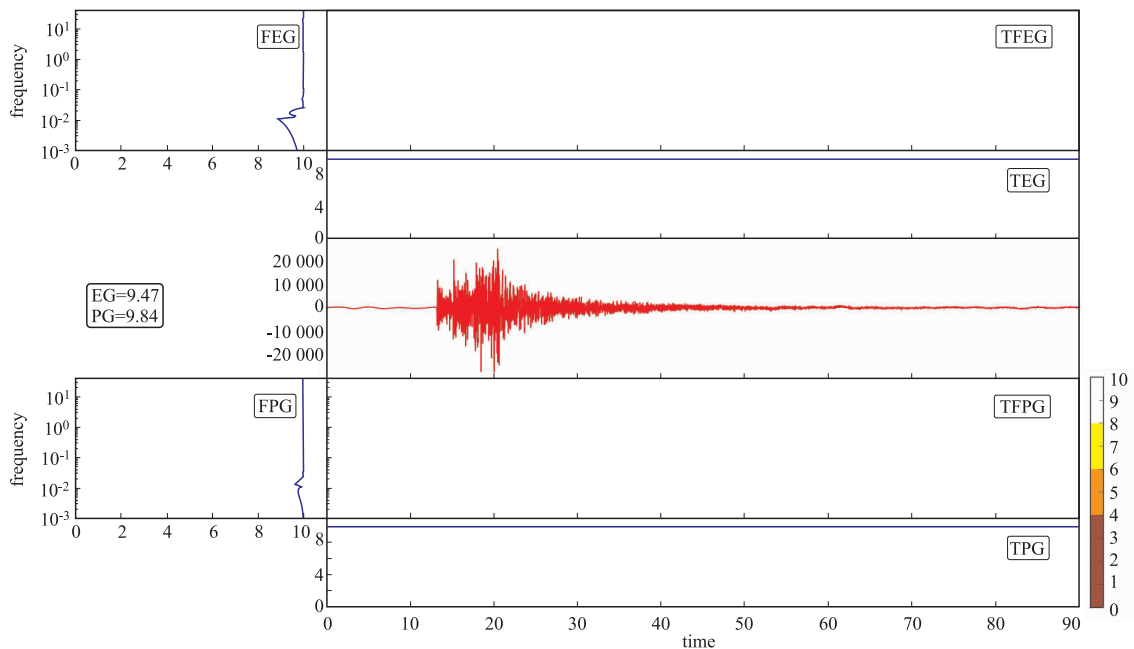


图4 两台地震计垂直向近震记录 MISFIT-GOODNESS 比较结果

远震事件选取2014年5月24日云南盈江5.6级地震,震中距2389km。图5是两台地震计垂直向记录盈江地震的MISFIT(global)结果,TFEM显示两台地震计的UD向记录的时频表示包络线差异在全部时间段都有分布,主要差异集中在频率低于0.1Hz的频段,在接近1000s时出现了1%左右的最大差异。TFPM显示两台地震计的UD向记录的相位差异在全部时间段都有分布,主要集中在频率低于0.01的频段,且在接近500s时出现了-0.2%左右的最大差异。与安静时段及近震比,远震同址观测的MISFIT各项指标值较好,主要是由于远程低频能量较大,峰值高,表现为误差的百分比明显偏小。

图6是两台地震计垂直向远震记录的MISFIT-GOODNESS(global)结果,两台地震计的UD向记录的时频表示包络线差异拟合效果在全部时间段都集中在9.94附近,相位差异拟合效果在全部时间段都集中在9.98附近,说明整体效果在时间域和频率域表现的不错,MISFIT的结果可信。

3 结论

从MISFIT及MISFIT-GOODNESS的结果可以看出:背景噪声较低时,利用波形记录计算诸如地震计自噪声时,在10~1s的频段,两台同址观测仪器的记录数据在包络线及相位上的一致性都非常高,由该频段给出地震计自噪声的值较为可信;近震的频率主要集中在10~2s,这个频段的包络线及相位误差不超1%,而10s至更低频则误差较大,因此可以通过高通或是带通滤波去掉低频信号后再进行相关分析;远震的频

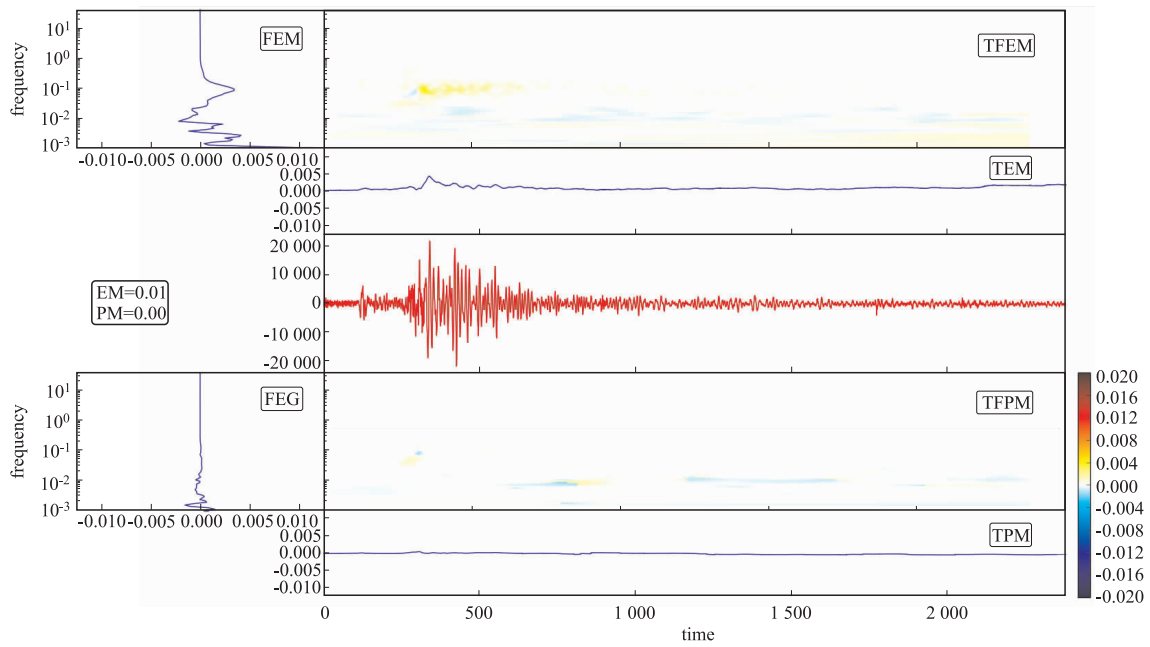


图 5 两台地震计垂直向远震事件记录比较的 MISFIT 结果

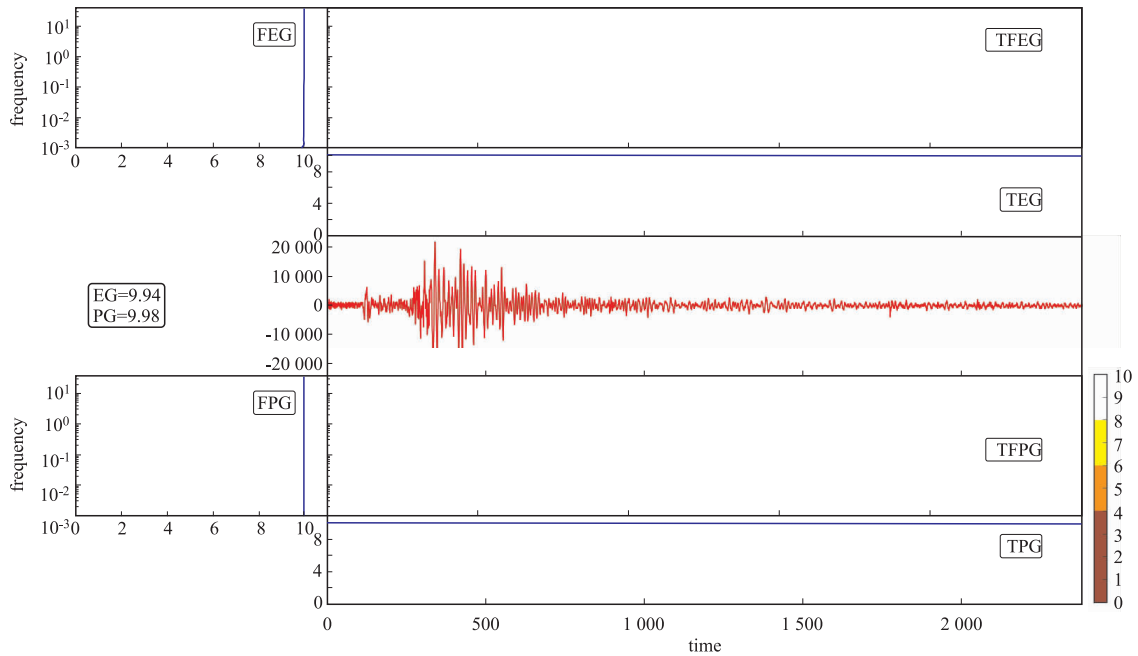


图 6 两台地震计垂直向远震记录比较的 MISFIT-GOODNESS 结果

率范围在(P波周期在4~6 s,S波周期在6~10 s,面波周期在10~25 s)在低于10 s的频段包络线误差拟合在1%以内,会造成震级的较小偏差,相位偏差则在0.2%以内,对不同震相到时影响很小。通过同址观测对运行的台站记录情况进行评估,结合误差拟合等工具可以较为详细了解台站在量值、到时测量的差异,为进一步修正和使用数据提供参考。

参考文献

万永革. 2007. 数字信号处理的 MATLAB 实现[M]. 科学出版社, 20-200.

Miriam Kristekova, Jozef Kridtekk, Peter Moczo, et al. 2006. Misfit criteria for quantitative comparison of seismograms[J]. Bulletin of the Seismological of America, 96(5): 1836-1850.

Miriam Kristekova, Jozef Kridtekk, Peter Moczo. 2009. Time-frequency misfit and goodness-of-fit criteria for quantitative comparison of time signals[J]. Geophys J. Int, 178(2):813-825.

The Application of Misfit and Misfit-Goodness for the Co-location Record

LI Dongsheng, LI Xiaojun, JIA Jiong, CAI Lingling

(Hebei Earthquake Agency, Hebei Shijiazhuang 050021)

Abstract: We analysis the waveform recorded by the collocated seismometers during different time including the low background noise level, local earthquake and teleseismic through MISFIT. MISFIT-GOODNESS is combined with the MISFIT to give the evaluation of consistency for the collocated two seismometers. The reasonable frequency band to wave based on different applications will be offered to improve the reliability for the application of waveform.

Keywords: collocate; MISFIT; MISFIT-GOODNESS; frequency band; reliability

(上接第32页)

聂高众,高建国,马宗晋,等. 2002. 中国未来10~15年地震灾害的风险评估[J]. 自然灾害学报, 11(1):68-73.

王海鹰,李志雄,张涛,等. 2016. 地震应急救援信息需求及获取建议[J]. 灾害学, 31(4):176-180.

Analysis of Earthquake Emergency Information Product Service Needs ——Taking Sichuan Qingbaijiang M_s 5.1 Earthquake for Example

ZHOU Yan, ZHANG Yi, WANG Yue, XU Juan, CHEN Weifeng

(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610200, China)

Abstract: Take Sichuan Qingbaijiang M_s 5.1 Earthquake for example, the paper conducts a needs investigation on four types of WeChat products (basic information, decision, disaster situation and intensity survey) by the way of online questionnaire survey. Analyzing the efficient responses, we can organize the needs of the four groups of WeChat products in different after-earthquake-timings from the points of contents, time-effect, presentation mode, etc. Based on it, we can do deep analysis to provide references for further perfecting earthquake information product service.

Keywords: M_s 5.1 Earthquake in Qingbaijiang; information product needs

江苏常熟台 VS 与 VP 型倾斜仪观测数据对比分析

刘冬冬, 陆德明, 狄 樑, 钱文杰, 丁建国
(江苏省地震局常熟地震台, 江苏 常熟 215500)

摘要:通过对江苏常熟台 VS 与 VP 两个型号的垂直摆倾斜仪记录的 2015 ~ 2016 年地震事件波形数据进行对比分析, 结果发现: 在记录远震时, VP 型宽频带垂直摆倾斜仪明显优于 VS 型垂直摆倾斜仪; 在记录近震时, VS 型垂直摆倾斜仪会产生同震阶跃, 变化幅度大于 VP 型宽频带垂直摆倾斜仪的变化幅度。

关键词: VS 型垂直摆倾斜仪; VP 型宽频带垂直摆倾斜仪; 同震响应能力

中图分类号: P315.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-8115(2021)01-0039-05

DOI: 10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.008

地震的孕育及发生伴随着地壳的形变。在地震预报中, 只研究地震前的变化还不够, 还必须了解地震本身, 地震同震响应是研究地震最直接的资料(牛安福等, 2005; 付虹等, 2007)。近年来许多地震学者通过大量的研究工作得出形变观测仪器具有较强的同震响应能力(吕品姬等, 2010; 于庆民等, 2015; 关华等, 2010)。江苏常熟台 VS 型垂直摆倾斜仪于 2007 年完成安装, 并数次成功响应如东附近海域 $M3.0$ 以上地震; VP 型宽频带垂直摆倾斜仪于 2014 年 12 月完成安装, 属于“十一五”项目的高精度垂直摆倾斜仪; 这两套倾斜仪器均位于常熟虞山辛峰亭军用山洞内。通过对这两套摆式倾斜仪器记录的 2015 ~ 2016 年观测资料进行分析, 检验两套仪器的同震响应能力, 可以为地震预测提供准确的参考资料。

1 台站观测条件

常熟台 VS 与 VP 两种类型垂直摆倾斜仪都安装于常熟虞山辛峰亭军用山洞内, 靠近无锡—崇明断裂(鲁宗良等, 2003), 洞体岩石岩性为五通组石英砂岩, 岩体完整、致密、坚硬(丁建国等, 2008)。山洞进深 170 m, 洞高 2.35 m, 宽 2.50 m, 混凝土全被覆, 覆盖厚度 20 ~ 30 m, 常年温度在 $17.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 日温差小于 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年温差小于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。VS 型垂直摆南北测项方位角均为 0° , 东西测项方位角均为 90° (见图 1a)。

1.1 仪器原理及结构

垂直摆倾斜仪运用摆的铅垂原理。垂直摆由柔丝、摆杆和重块三部分组成。垂直摆在没有振动的条件下处于铅垂状态, 当发生倾斜变化时, 摆平衡位置发生变化, 摆和支架之间的相对位置发生变化, 电容式位移传感器的动片和定片之间的间距也相应的发生变化, 这种变化通过传感器转换成电信号并加以放大, 就可将摆的微小位移转换成电信号, 由于地倾斜的相对变化量很小, 摆的相对偏移量也很小, 因此必须有一个高精度的测微系统, 测量摆的位置的变化(胡国庆, 2008)。

VS 型垂直摆倾斜仪与 VP 型宽频带倾斜仪机械构造基本相同, 仪器的机械结构主要由以下六个部分组成: 摆系、主体支架、电容位移传感器探头、底座、调平机械和锁摆机构(如图 1b)。VS 型垂直摆倾斜仪基墩为 $1.30 \times 1.00 \times 0.35\text{ m}^3$, 外加工花岗岩块安装镶楔于磨平完整的石英砂岩基底平面上, 用水泥砂浆充填粘接, 四周有 $80 \times 80\text{ mm}^2$ 减振槽。仪器墩面要求平整, 墩面高差在 3 mm 内, 且在墩面的左上方标出正 EW, 正 NS 方位线, 布设方位角与正北方向。VP 型宽频带倾斜仪基墩为 $1.20 \times 0.60 \times 0.56\text{ m}^3$, 镶楔于磨平的完整的石英砂岩基底平面上, 用水泥砂浆充填粘接, 四周有 $80 \times 80\text{ mm}^2$ 减振槽。上覆花岗岩块($1.20 \times 1.00 \times 0.12\text{ m}^3$), 连接处用水泥砂浆充填粘接。仪器墩面要求平整, 墩面高差在 3 mm 内, 且在墩面的左上方标出

收稿日期: 2019-03-01; 修回日期: 2020-12-08

基金项目: 《形变倾斜观测映震能力分析》(课题编号: jc3jh-171105)。

作者简介: 刘冬冬(1990-), 女, 助理工程师, 主要从事地震监测及前兆分析预报工作。E-mail: cs_ldd@163.com.

正 EW,正 NS 方位线,仪器布设方位角为正北方向。

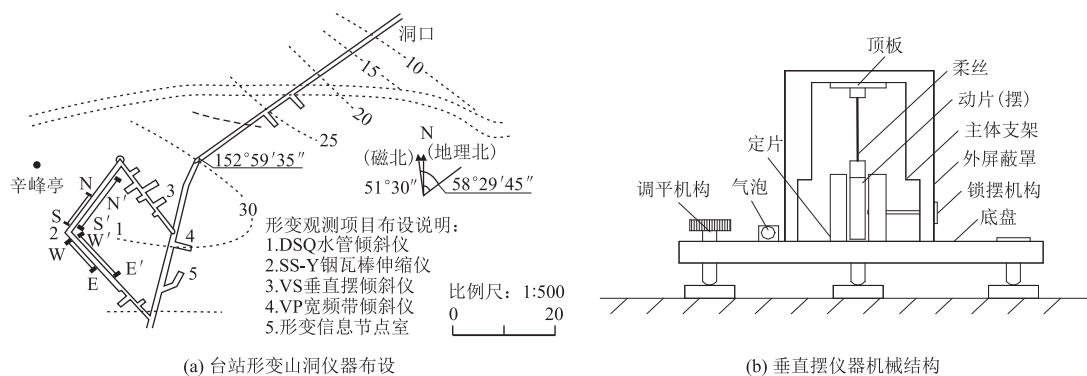


图1 常熟地震台仪器布设及结构

1.3 常熟台 VS 型和 VP 型倾斜仪区别

VP 型宽频带倾斜仪是在 VS 型垂直摆倾斜仪的基础上改进而成的,频带宽度比其它形变仪器的宽度提高 20 倍以上。VS 型垂直摆倾斜仪与 VP 型宽频带倾斜仪具体参数见表 1。从表 1 中可以看出,VS 型垂直摆倾斜仪与 VP 型宽频带倾斜仪技术指标基本相同,VP 型宽频带倾斜仪的秒采样率能记录到 VS 型垂直摆倾斜仪记录不到的一些高频信号,故受到环境因素的影响也更为明显些。

表 1 VS 型垂直摆倾斜仪与 VP 型宽频带倾斜仪具体参数表

指标	VS 型垂直摆倾斜仪	VP 型宽频带倾斜仪
仪器分辨力	0.0001 角秒	0.0001 角秒
位移传感器精度	0.0001 微米	0.0001 微米
采样率	1 分/次	1 秒/次
仪器量程	±2V	±2V
仪器日漂移	0.005 角秒	0.005 角秒
仪器摆长	100 毫米	120 毫米

2 同震响应能力分析

VS 型垂直摆倾斜仪与 VP 型宽频带垂直摆倾斜仪均是通过传感器将位移变化转化为电信号,由数据采集器实时采集数据并储存,记录观测点地表在地震发生时的倾斜。

2.1 同震响应能力分析

在 2015 ~ 2016 年,VS 型倾斜仪共记录到 244 个地震,其中最大的为 2015 年 4 月 25 日尼泊尔 M_s 8.1 级地震,最小的为 2015 年 3 月 21 日黄海 M_s 2.4 级地震;VP 型倾斜仪共记录到 324 个地震,其中最大的为 2015 年 4 月 25 日尼泊尔 M_s 8.1 级地震,最小的为 2015 年 12 月 24 日黄海 M_s 3.0 级地震。从表 2、表 3 和图 2 可以看出 VS 型与 VP 型倾斜仪均可以记录到明显的地震波形,最大响应幅度受震级及震中距的影响,因 VP 型倾斜仪频带较宽,又是秒采样率,记录的地震波曲线频率明显高于 VS 型垂直摆倾斜仪;两者响应时间与震中距有关,震中距越大响应时间越长;持续时间与震级成正比关系,与震中距成反比关系,震级越大持续时间越长。据统计,对于 VP 型倾斜仪,在震级小于 5.0 的地震中,可以记录到地震的最大震中距为 3 218 km;5.0 ~ 5.9 级地震中,可以记录到的最大震中距为 14 110 km;全球 6 级以上的地震均可以记录到。由于 VS 型倾斜仪受频带带宽限制,在震级小于 5.0 的地震中,可以记录到的最大震中距仅为 2 037 km;5.0 ~ 5.9 级地震中,可以记录到的最大震中距为 8 210 km;6.0 ~ 6.9 级地震中,可以记录到的最大震中距为 17 366 km;全球要 7 级以上地震才能记录到。以安徽阜阳 4.3 级地震和黄海 4.0 级地震发生为例,VS 型倾斜仪的响应幅度明显大于 VP 倾斜仪的响应幅度,VS 型倾斜仪在记录近震时会引起同震阶跃,曲线整体变化比 VP 型摆倾斜仪明显的多(见图 3)。

2.2 VS 型与 VP 型倾斜仪震前异常记录

2016 年 10 月 20 日射阳发生 M 4.4 地震,9 月 16 日常熟台 VS 型垂直摆出现急剧往北倾斜的现象,自 9 月 16 日 03 时开始至 17 日 09 时,24 小时累计倾斜量达到 4 倍日变幅度,固体潮形态出现突变,地面急剧往北倾斜,9 月 18 日 VS 型倾斜仪数据恢复到正常固体潮变化形态。经过多方面排查及落实,推测此次变化可

能是 $M_{4.4}$ 地震前的短临前兆异常。

表 2 VS 型倾斜仪记录典型地震的同震响应参数

地点	发震时刻	经度 / (°)	纬度 / (°)	震级	震中距 / km	最大响应幅度 / (ms)	响应时间 / min	响应持续时间 / min
安徽阜阳	2015-03-14 14:13	33.00	115.90	4.3	479	14.6	1	140
尼泊尔	2015-04-25 14:11	28.20	84.70	8.1	3481	301.5	3	135
日本小笠原	2015-05-30 19:23	27.90	140.50	8.0	1952	130.2	1	114
黄海	2015-08-06 09:59	34.30	121.00	4.0	292	32.3	0	19
智利	2015-09-17 06:54	-31.60	-71.60	8.2	11892	33.3	22	274
兴都库什地区	2015-10-26 17:09	36.50	70.80	7.8	4580	60.5	8	126
印尼苏门答腊	2016-03-02 20:49	-4.90	94.21	7.8	4904	165.5	9	238
日本九州	2016-04-16 00:25	32.75	130.80	7.3	980	126.2	2	101
新西兰	2016-11-13 19:02	-42.53	173.05	8.0	9834	42.2	15	235

表 3 VP 型倾斜仪记录典型地震的同震响应参数

地点	发震时刻	经度 / (°)	纬度 / (°)	震级	震中距 / km	最大响应幅度 / (ms)	响应时间 / min	响应持续时间 / min
安徽阜阳	2015-03-14 14:13	33.00	115.90	4.3	479	4.5	1	160
尼泊尔	2015-04-25 14:11	28.20	84.70	8.1	3481	190.1	3	238
日本小笠原	2015-05-30 19:23	27.90	140.50	8.0	1952	71.7	1	234
黄海	2015-08-06 09:59	34.30	121.00	4.0	292	1.7	0	13
智利	2015-09-17 06:54	-31.60	-71.60	8.2	11892	117.4	21	272
兴都库什地区	2015-10-26 17:09	36.50	70.80	7.8	4580	58.5	8	232
印尼苏门答腊	2016-03-02 20:49	-4.90	94.21	7.8	4904	164.4	9	468
日本九州	2016-04-16 00:25	32.75	130.80	7.3	980	85.6	2	218
新西兰	2016-11-13 19:02	-42.53	173.05	8.0	9834	139.8	13	248

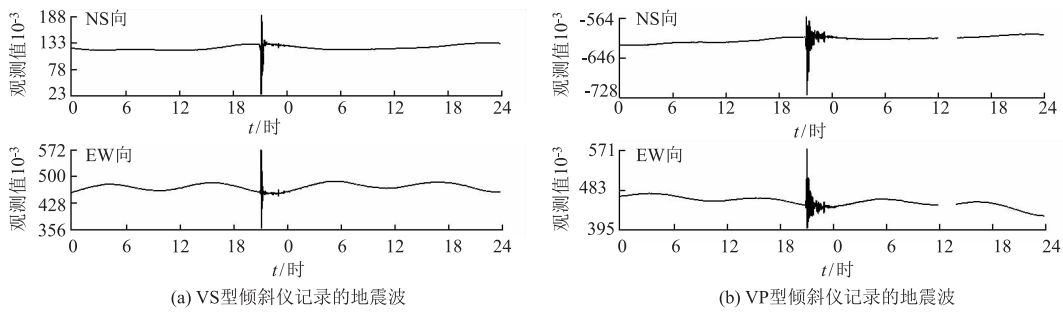


图 2 2016年3月2日印尼苏门答腊 $M_{7.8}$ 地震波形

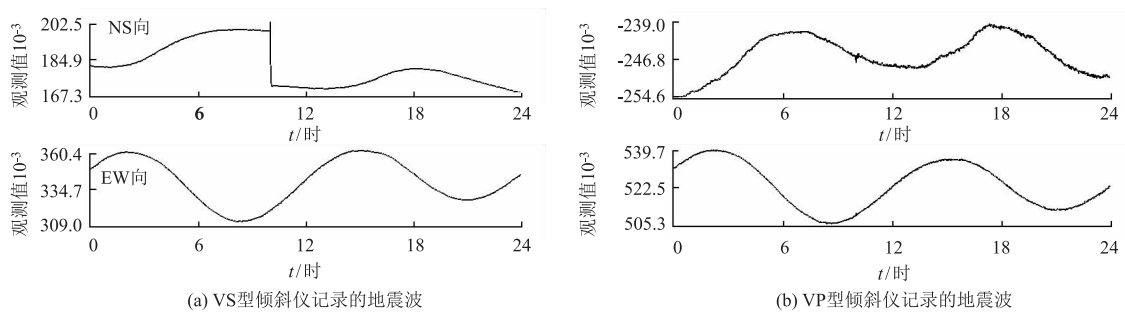


图 3 2016年8月6日黄海 $M_{4.0}$ 地震波形

受常熟台形变山洞西南方向尚湖降雨蓄水影响,正常状态下降雨,倾斜仪器向西南方向倾斜(丁建国等,2011)。射阳 $M_{4.4}$ 地震前,VS 型倾斜仪突破降雨干扰出现了北倾(见图 4a),VP 型倾斜仪并未出现北倾,仅表现为以往干扰的西南方向倾斜(见图 4b)。根据以往降雨量与倾斜数据统计发现,仪器倾斜幅度与

降雨量的比值通常为0.34~0.4,而9月16日VP型倾斜仪的倾斜幅度与降雨量的比值为0.249,说明此次记录信息中可能包含了地震前兆(见图5)。

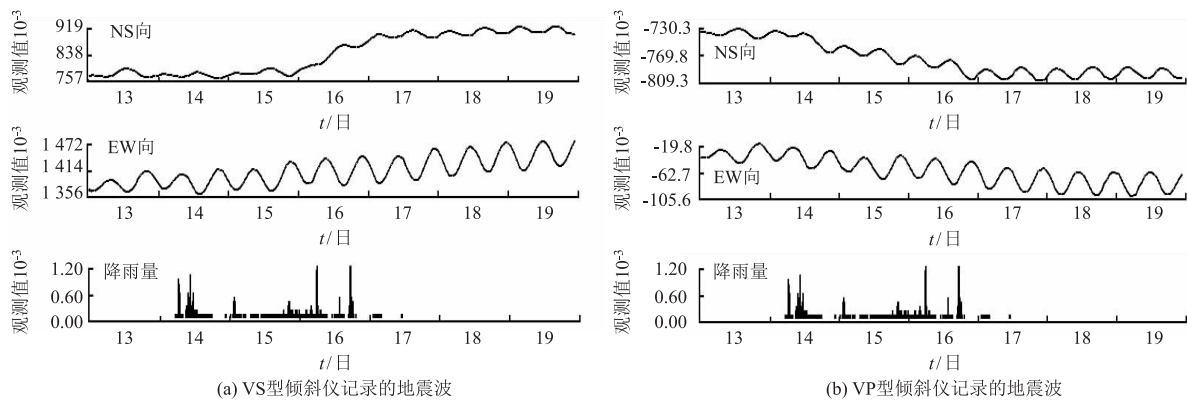


图4 2016年9月13~19日常熟台VS型垂直摆倾斜仪与VP型宽频带垂直摆倾斜仪对比

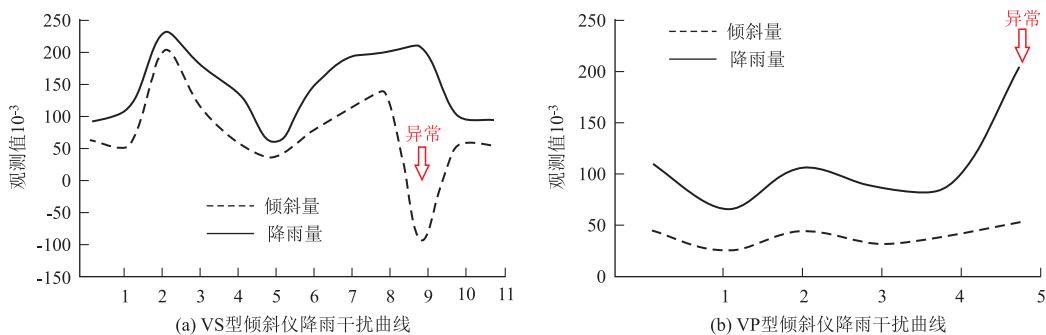


图5 2015~2016年VS型与VP型倾斜仪降雨干扰对比

3 结论

通过对同一形变山洞内VS与VP两种型号倾斜仪记录的地震数据进行对比分析,得知:二者均能清楚记录到大于6.0级以上远震和地方震,仪器同震响应能力有较高的一致性。在记录远震时,VP型倾斜仪记录的同震变化振幅明显大于VS型倾斜仪记录的振幅;在记录近震时,VS型倾斜仪会产生同震阶跃,其记录幅度大于VP型倾斜仪的记录幅度。VS型垂直摆倾斜仪的地震前兆表现优于VP型宽频带垂直摆倾斜仪,我们可以直接从形态法中找到异常信号,而VP型宽频带垂直摆倾斜仪应用降雨量定量分析法也可以发现异常信号。

参考文献

丁建国,陆德明,狄梁. 2008. 常熟地震台VS垂直摆试运行[J]. 地震地磁观测与研究, (3):79-84.

丁建国,陆德明,狄梁,等. 2011. 常熟台倾斜仪降雨干扰定量分析[J]. 华南地震, 31(3):83-88.

付虹,刘强,邬成栋,等. 2007. 印尼8.7、8.5级远震对云南地区小震的激发和地下流体异常响应初探[J]. 地震研究, (1):8-13+105.

关华,张玉林,李明威,等. 2010. 宽城地震台体应变仪观测数据干扰因素及其映震能力分析[J]. 防灾减灾学报, 26(4):60-64.

胡国庆. 2008. VP宽频带倾斜仪验收报告[R].

鲁宗良,陆德明,丁建国. 2003. 常熟区域地震活动性规律研究[J]. 地震地磁观测与研究, (5):45-52.

吕品姬,陈志遥,赵斌,等. 2010. 定点倾斜观测映震能力综述[J]. 大地测量与地球动力学, 30(S2):50-56.

牛安福,张晶,吉平. 2005. 强地震引起的同震形变响应[J]. 内陆地震, (1):1-7.

于庆民,卢双苓,郝军丽,等. 2015. 泰安地震台形变仪器映震能力统计分析[J]. 地震研究,38(3):408-415.

Comparative Analysis of the Observation data of VS Vertical Pendulum and VP Broadband Vertical Pendulum Tiltmeter

LIU Dongdong, LU Deming, DI Liang, QIAN Wenjie, DING Jianguo

(Jiangsu Seismological Bureau Changshu seismic station, Jiangsu Changshu 215500)

Abstract: Through the comparison and analysis of seismic event waveform data recorded by VS and VP in Changshu Platform, Jiangsu province, the results show that VP broadband vertical pendulum tiltmeter is obviously superior to VS type vertical pendulum tiltmeter when recording remote earthquakes. When recording near earthquakes, VS type vertical pendulum tiltmeter will produce coseismic step, and the change amplitude is larger than the change amplitude of VP type wide band vertical pendulum tiltmeter.

Keywords: VS vertical pendulum tiltmeter; VP broadband vertical pendulum tiltmeter; earthquake-reflecting capacity

云南楚雄 $M4.7$ 地震震源机制解分析

杨云存,王华柳,段毅,孙自刚

(云南省地震局,云南昆明 657100)

摘要:选用云南省地震台网宽频带地震波形数据,采用 CAP 震源机制解反演软件计算了 2019 年 6 月 24 日云南楚雄 $M4.7$ 地震的震源机制解并初步分析了该地震的发震构造特征。结果显示:地震的矩震级为 $Mw4.76$,最优震源矩心深度为 13.8 km,表明此次地震发生在上地壳浅部。反演结果显示节面 I 走向 329° 、倾角 73° 、滑动角 -171° ;节面 II 走向 236.3° 、倾角 81.4° 、滑动角 -17.2° 。震源机制解揭示此次地震的发震断层呈右旋走滑,与南华—楚雄断裂带走向一致,推测南华—楚雄断裂为此次地震的发震断裂。

关键词:CAP 方法;震源机制解;发震构造

中图分类号:P315.33

文献标识码:B

文章编号:1001-8115(2021)01-0044-04

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2021.01.009

据中国地震台网中心测定,2019 年 6 月 24 日 21 时 24 分 21 秒在云南省楚雄彝族自治州楚雄市 ($101.67^\circ E, 24.98^\circ N$) 发生 $M4.7$ 地震,震源深度 10 km。此次地震发生在南华—楚雄断裂附近。历史资料显示,1511 年至今该断裂发生过 9 次 5 级以上地震,最大地震为 1680 年 9 月 9 日发生的 $M6.8$ 地震,最近一次中强地震发生在 2001 年,震级为 $M_s5.3$ 。

震源机制解被认为是确定地震发震构造的关键依据,能够描述震源的性质及其破裂过程,并且能为分析孕震机理以及区域构造动力学环境提供参考(祁玉萍等,2013)。计算震源机制解的方法包括 P 波初动符号法、CAP 方法、Snook 方法以及矩张量反演方法等。CAP 波形反演方法(Zhao et al., 1994; Zhu et al., 1996) 联合使用宽频带地震记录的体波 Pn1 部分和面波两部分,并分别对 Pn1 波和面波进行带通滤波,计算理论波形与观测波形之间的误差函数,然后利用网格搜索获得给定参数空间中误差函数最小的最优解(易桂喜等, 2017)。郑勇等(2009)研究结果显示,CAP 波形反演方法可获得相对准确的震源深度,基于区域台网波形资料反演获得的震源深度误差在 2 km 内。另外,CAP 波形反演方法计算所需的台站少、反演结果对速度模型依赖性也较小(郑勇等,2009;龙锋等,2010;易桂喜等,2017),能够保证反演震源机制解的稳定性与可靠性。因此,本研究采用 CAP 方法计算此次 $M4.7$ 地震的震源机制解。

1 资料选取

本研究使用的地震波形资料来自云南省地震台网的 8 个宽频带台站(见图 1)。台站及波形记录的选取标准如下:1)单台波形资料无限幅,无失真;2)地震波初动方向清晰;3)台站信噪比大于 1.5;4)台站能全方位均匀控制震中。本文基于给定的 Crust2.0 地壳速度模型进行反演。计算中,体波与面波截取的波形窗长分别为 35 s 和 80 s。由于此次地震的震级小于 5,故将 Pn1 波的带通滤波频带设置为 0.05 ~ 0.2 Hz,面波的带通滤波频带设置为 0.05 ~ 0.1 Hz。震源深度和断层面参数的搜索步长分别设定为 2 km 和 10° 。

2 反演结果与分析

2.1 反演结果

反演过程中,每个台站三方向波形的 5 个分量(体波垂向、体波径向、面波垂向、面波径向、面波切向)参

收稿日期:2020-08-10;修回日期:2020-11-12

作者简介:杨云存(1988-),女,工程师,主要从事地震监测与分析工作。E-mail:526381659@qq.com.

与反演,得到楚雄地震的矩震级为 $M_w 4.76$,震源机制解结果为:节面 I 走向 329° 、倾角 73° 、滑动角 -171° ;节面 II 走向 236.3° 、倾角 81.4° 、滑动角 -17.2° ;P 轴方位角 191.7° 、仰角 18.2° ;T 轴方位角 283.6° 、仰角 5.8° ;N 轴方位角 30.6° 、仰角 70.8° 。

图 2 给出了选取的 8 个台站 P 波初动在震源球上的分布情况。在图 2 震源球结果图中,红色区域代表的是压缩象限,白色区域代表的是拉张象限;空心圆代表 P 波初动方向向下的台站,位于震源球空白区;黑色实心圆代表 P 波初动方向向上的台站,位于震源球阴影区。Aki 和 Richard (1980) 基于断层节面倾角 (δ) 和滑动角 (λ) 来划分震源机制解类型,将震源机制解划分为走滑型 ($50^\circ < \delta \leq 90^\circ$ 与 $0^\circ \leq |\lambda| \leq 30^\circ, 150^\circ \leq |\lambda| \leq 180^\circ$)、正断层 ($45^\circ < \delta < 90^\circ$ 与 $-135^\circ \leq \lambda \leq -45^\circ$)、逆断层 ($0^\circ \leq \delta < 45^\circ, 45^\circ \leq \lambda \leq 135^\circ$) 和斜滑型。按照此规则,该次地震震源机制解反演得到的断层倾角为 73° 、滑动角为 -171° ,从而判断楚雄 M4.7 地震属走滑型地震。

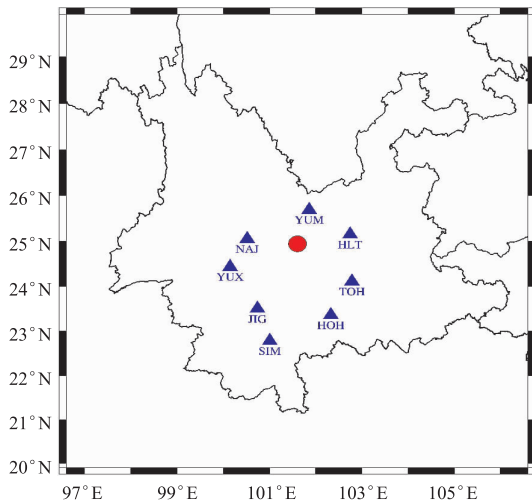


图 1 参与反演的台站分布

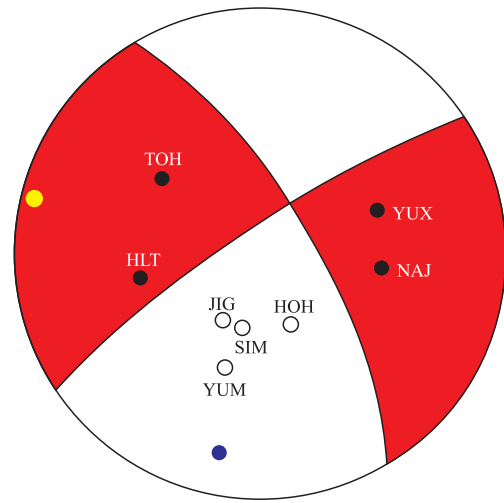


图 2 震源球上 P 初动分布

图 3 展示了楚雄 M4.7 地震震源机制随不同震源深度反演误差的变化。该纵轴为理论模拟波形与实际观测波形的最小二乘拟合残差。各个深度反演得到的震源机制的两个节面参数大致相同,说明反演结果稳定、可靠。震源深度在 13.8 km 时拟合残差达到极小值,深度误差为 0.1 km,较中国地震台网中心发布的震源初始深度 (10 km) 偏深 3.8 km。

图 4 为最优震源矩心深度处理论波形与观测波形拟合曲线。图中深色实线是观测波形,浅色实线是理论波形,波形反演拟合误差为 $2.611e-003$ 。波形下方第一行为拟合时各个部分理论波形与对应观测波形移动的时间,第二行为两者的拟合相关系数。波形左侧为台站名,其下方为震中距以及该台理论 P 波初至时间与实际观测 P 波初至时间的差值。从图中可以看到,8 个台站记录的 40 个震相各个部分理论波形与观测波形的拟合系数都大于 50%,理论波形相对观测波形移动的时间差都小于 4 s。

2.2 发震断裂探讨

楚雄 M4.7 地震发生在南华—楚雄断裂带附近 (见图 5)。南华—楚雄断裂带处于川滇菱形块体内部的滇中地区,毗邻红河断裂带与之平行延伸,是一条晚第四纪活动断裂。其最新时代为晚更新世晚期乃至全新世,运动性质以右旋走滑运动为主,水平滑动速率为 $1.6 \sim 2.0 \text{ mm/a}$ (常祖枫等,2015)。据姜朝松等 (1983) 研究显示,该断裂处于川滇菱形块体向东南滑动的前冲部位。断裂南端经楚雄穿过云龙—子午盆地后延伸

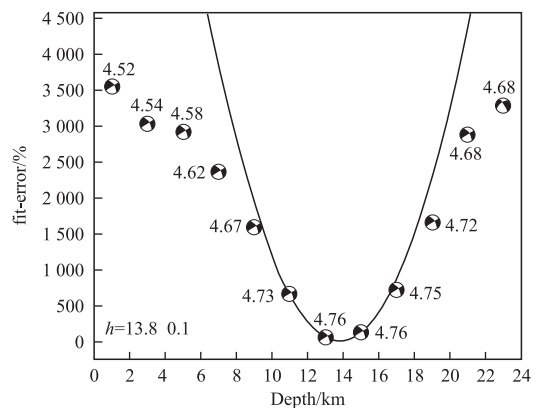


图 3 云南楚雄 M4.7 地震震源机制解反演残差随震源深度的变化

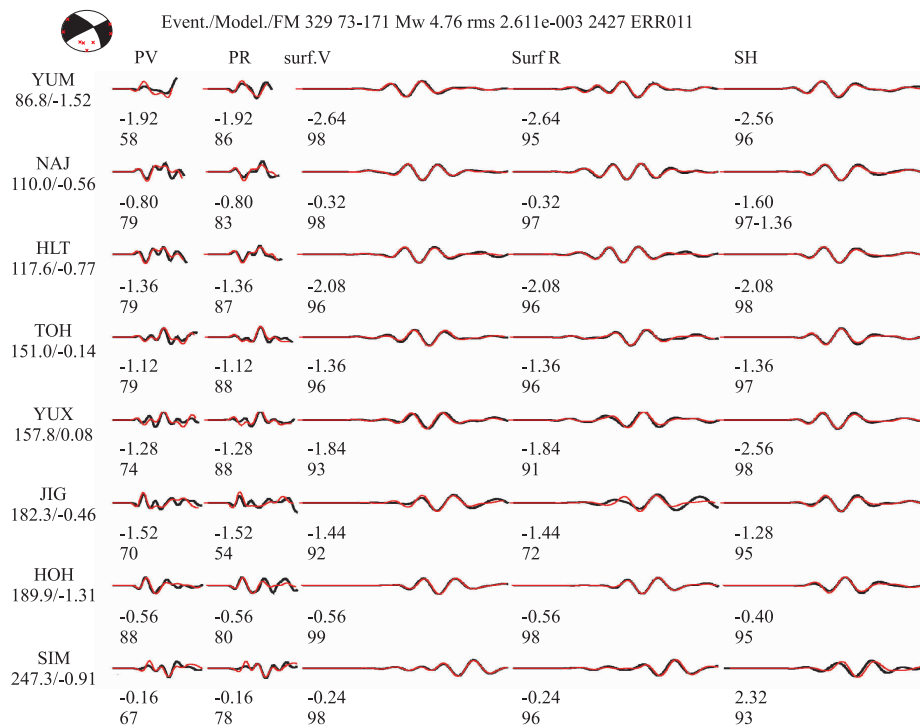


图4 楚雄 M4.7 地震波形反演拟合曲线

到双柏境内,呈 NNW 向。东盘为上白垩统,断层走向为 305°,倾角大于 70°,西盘上升,为一高角度逆断层。断裂的北端由楚雄经吕合到南华呈 NW 向,过南华后又转成 NNW 一直向北延伸,走向为 316°,倾角大于 65°,倾向西南。断层走向呈 NW/NWW,全长约 340 km。1615 年 8 月 24 日,1680 年 9 月 9 日和 1754 年 6 月 1 日分别发生过 M5.3、M6.8 和 M5.0 地震,该断裂带控制着区域强震的孕育以及复杂的区域构造变形。由此次地震震源机制解节面 I 参数与南华—楚雄断裂带产状相一致的结果,推测南华—楚雄断裂应为楚雄 M4.7 地震的发震构造。

3 结论

基于 CAP 震源机制解反演软件对 2019 年 6 月 24 日 21 时 24 分发生在南华—楚雄断裂附近的楚雄 M4.7 地震进行了震源机制解反演,初步分析了本次地震的发震构造,获得的主要认识与结论有:楚雄 M4.7 地震的矩震级为 $M_w 4.76$,震源矩心深度为 13.8 km,表明地震的主体破裂发生在上地壳浅部。节面 I 走向 329°、倾角 73°、滑动角 -171°;节面 II 走向 236.3°、倾角 81.4°、滑动角 -17.2°;P 轴仰角 191.7°,方位 18.2°;T 轴仰角 283.6°,方位 5.8°;P、T 轴近水平,说明此次地震为走滑型地震。由震源机制解结果和南华—楚雄断裂产状,推测楚雄 M4.7 地震的发震构造为南华—楚雄断裂右旋走滑运动的结果。

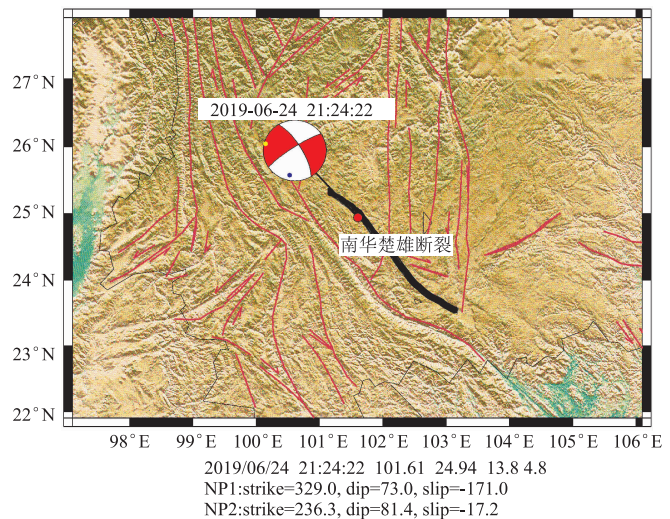


图5 云南楚雄 M4.7 地震震源机制解反演结果

参考文献

常祖峰,常昊,李鉴林,等. 2015. 楚雄—南华断裂晚第四纪活动与 1680 年楚雄 6¼ 级地震[J]. 中国地震,31(3):492-500.
 龙锋,张永久,闻学泽,等. 2010. 2008 年 8 月 30 日攀枝花—会理 6.1 级地震序列 $M_L > 4.0$ 事件的震源机制解[J]. 地球物理学

报,53(12):2852-2860.

姜朝松,梁秀英.1983.1975年楚雄5.6级地震和南华—楚雄地震带[J].地震研究,6(2):151-158.

阚荣举,王绍晋,刘祖荫,等.1983.楚雄地震带的存在及其构造运动性质[J].地震研究,6(1):17-26.

祁玉萍,李闽峰,李圣强,等.2013.地震震源机制波形自动反演系统的研究现状与展望[J].地震,33(01):74-85.

易桂喜,龙锋,梁明剑,等.2017.2017年8月8日九寨沟 $M7.0$ 地震及余震震源机制解与发震构造分析[J].地球物理学报,60(10):4083-4097.

郑勇,马宏生,吕坚,等.2009.汶川地震强余震($M_s \geq 5.6$)的震源机制解及其与发震构造的关系[J].中国科学D辑:地球科学,39(4):413-426.

Aki, Richards P G. 1980. Quantitative Seismology. Theory and Methods. Vol. 1 [M]. San Francisco: Freeman and Company.

Zhao L S, Helmberger D V. 1994. Source estimation from broadband regional Seismograms [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(1): 91-104.

Zhu L P, Helmberger D V. 1996. Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms [J]. Bull. Seism. Soc. Amer, 86(5): 1634-1641.

Analysis the Focal Mechanism Solution of the Chuxiong $M4.7$ Earthquake in Yunnan Province

YANG Yuncun, WANG Hualiu, DUAN Yi, SUN Zigang

(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 657100, China)

Abstract: Based on the broadband seismic waveform data of Yunnan seismic network, the focal mechanism solution of the Chuxiong $M4.7$ earthquake on June 24, 2019 in Chuxiong, Yunnan Province, is calculated by using CAP inversion software, and the seismogenic structural characteristics of the earthquake are preliminarily analyzed. The results show that the moment magnitude of the Chuxiong $M4.7$ earthquake is $M_w 4.76$, and the optimal focal moment center depth is 13.8 km, which indicates that the earthquake occurred in the shallow part of the upper crust. The inversion results show that the strike of nodal plane I is 329° with dip angle of 73° and slip angle of -171° and that of nodal plane II is 236.3° with dip angle of 81.4° and slip angle of -17.2° . The focal mechanism solution reveals that the seismogenic fault of this earthquake is dextral strike slip, which is consistent with the strike of Nanhua Chuxiong fault zone. It is speculated that Nanhua Chuxiong fault is the seismogenic fault of the earthquake.

Keywords: CAP method; focal mechanism; seismogenic structure

四川省地震月报目录($M_L \geq 3.0$)

(2020.07 ~ 2020.09)

序号	发震时刻		震中位置			位号	震级			深度 (km)	精度	台数	资料来源	备注
	年月日	时分秒	纬度	经度	地点		M_L	M_D	M_S					
1	20201008	064105.1	3134	10302	四川理县	51	3.6		17	1	36	51		
2	20201008	141631.2	3200	10239	四川红原	51	3.0		16	1	26	51		
3	20201008	215301.0	3204	10433	四川平武	51	3.8		13	1	43	51		
4	20201009	144843.5	3108	10343	四川都江堰	51	3.2		11	1	28	51		
5	20201010	115442.1	2832	10242	四川越西	51	3.2		11	1	24	51		
6	20201012	023650.7	2805	10534	四川叙永	51	3.1		10	3	17	51		
7	20201012	052341.9	3258	10356	四川九寨沟	51	3.1		8	1	24	51		
8	20201013	142324.5	2945	10107	四川雅江	51	3.0		17	1	15	51		
9	20201015	162132.1	2845	10303	四川峨边	51	3.2		14	1	23	51		
10	20201016	125941.7	2704	10252	四川宁南	51	3.3		9	2	24	51		
11	20201019	234342.5	2812	10444	四川珙县	51	3.9		8	1	25	51		
12	20201020	004556.0	2845	10405	四川屏山	51	3.5		10	1	40	51		
13	20201020	153028.5	3138	10400	四川绵竹	51	3.3		17	1	35	51		
14	20201021	120447.2	3151	10411	四川北川	51	4.9		18	1	69	51		
15	20201022	110338.1	3151	10410	四川北川	51	5.1		18	1	73	51		
16	20201023	011239.6	3151	10410	四川北川	51	3.6		14	1	26	51		
17	20201023	014117.7	3151	10410	四川北川	51	3.5		17	1	33	51		
18	20201023	022432.3	3151	10410	四川北川	51	3.6		17	1	40	51		
19	20201025	020432.6	3152	10411	四川北川	51	4.4		18	1	60	51		
20	20201028	115431.3	2931	10432	四川威远	51	3.9		2	1	52	51		
21	20201029	155143.7	3027	10441	四川简阳	51	3.2		14	1	22	51		
22	20201031	143808.4	3206	10510	四川江油	51	4.0		18	1	35	51		
23	20201031	154451.4	3129	10100	四川炉霍	51	3.6		14	1	20	51		
24	20201102	065149.6	2753	10222	四川西昌	51	3.1		10	1	18	51		
25	20201107	082329.3	2811	10444	四川珙县	51	4.1		5	1	34	51		
26	20201108	193329.3	2631	10230	四川会东	51	3.0		14	1	22	51		
27	20201112	100925.4	2858	10223	四川石棉	51	3.1		26	2	15	51		
28	20201112	110000.1	3121	10329	四川汶川	51	3.4		19	1	28	51		
29	20201113	031811.8	2810	10444	四川珙县	51	4.5		10	1	52	51		
30	20201115	043345.1	3105	10109	四川道孚	51	3.1		17	1	18	51		
31	20201118	193059.6	3256	09854	四川石渠	51	3.3		3	1	14	51		
32	20201123	225044.0	3230	10514	四川青川	51	3.6		14	1	25	51		
33	20201201	205825.7	3059	09925	四川白玉	51	3.1		6	1	20	51		
34	20201205	225812.3	3217	10457	四川平武	51	3.7		19	1	28	51		
35	20201208	004759.4	2927	10432	四川威远	51	3.5		5	1	54	51		
36	20201208	164955.1	3134	10408	四川安州	51	4.0		18	1	43	51		
37	20201212	114757.0	2822	10457	四川长宁	51	3.7		7	1	25	51		
38	20201222	053832.1	3122	10352	四川彭州	51	3.7		23	1	48	51		
39	20201224	015536.3	2827	10449	四川长宁	51	3.5		6	2	25	51		
40	20201231	192219.4	2756	10124	四川木里	51	3.0		11	2	8	51		