

山东南麻井水位和水温对大震的同震响应特征及机理浅析

陈童,周慧芳

(山东省淄博市应急救援指挥保障服务中心,山东 淄博 255000)

摘要:收集2011年1月至2019年12月山东南麻井水位和水温对远场大震的同震响应观测数据。通过分析发现:南麻井对远场大震的同震响应程度较高,水位对于不同地震的响应形态均为振荡型;水温对于不同地震的响应形态则不尽相同,多以阶升为主。在有同震响应的测项中,井水位的同震响应能力要明显高于水温,水位出现同震响应是水温同震响应的必要条件,这从侧面反映了水温的变化是由于水位的变化所引起的。结果表明:水位振荡的原因主要与地震波的张、压应力反复作用于含水层系统,引起含水层—井筒内水体呈现出周期性振荡有关;水温阶升与水体同井壁、水温传感器摩擦产生热量以及地下水通过裂隙垂直渗流引起含水层下部热水上升两种原因有关。

关键词:地下流体;水位;水温;同震响应

中图分类号:P315.7

文献标识码:B

文章编号:1001-8115(2020)04-0001-07

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.001

一次大地震发生后,其产生的地震作用力可以在瞬间改变地壳介质的状态,地下水作为地壳中最活跃的介质,可以响应由于地震波传播而造成观测井的水位、水温同震效应。井水位和水温同震效应是揭示地壳介质对应力—应变过程响应的有效观测手段,能够有效反映出地壳动力作用下地下介质应变和孔隙压的变化特征(张彬等,2015)。因此,研究地震引起的井水位水震波响应特征对了解研究区域的构造应力释放情况和研究区域未来地震危险性具有十分重要的意义(向阳等,2017)。

1 南麻观测井概况

山东沂源南麻井是山东省地震局“十一五”防震减灾规划项目中首个专门用于地震前兆异常观测而钻探的地下流体观测井。该井位于山东淄博市沂源县涝坡河村北,构造上处于南麻悦庄断陷盆地中南部,上五井断裂—沂源断裂上盘断裂带东5500 m(见图1)。于2009年12月20日完成钻探,井口标高290 m,完钻深度为201 m,其中:0~30 m深安装直径219 mm螺旋套管,31~201 m深安装直径140 mm的PVC套管。其主要含水层为139~151 m的红色灰岩质砾岩,该部位岩溶裂隙发育,最大溶洞的口径大于0.5 m,属于岩溶裂隙水。

南麻井于2010年9月2日建成投入观测,观测项目有气压、水位和水温测项,观测

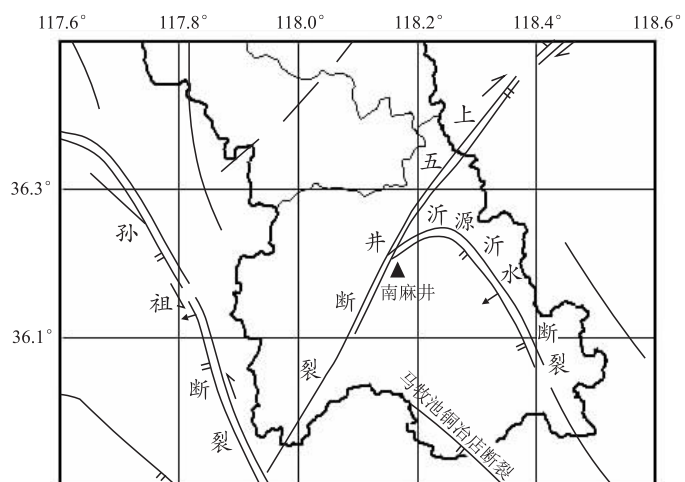


图1 南麻井位置示意图

收稿日期:2020-06-19;修回日期:2020-10-26

作者简介:陈童(1986-),女,高级工程师,主要从事地震地质、工程地震、地震监测预报工作。E-mail:c_t_05@163.com.

仪器为 ZKGD2000 数字水位/水温观测仪,“十二五”期间又将观测设备升级改造为 ZKGD3000 数字水位/水温观测仪。仪器升级改造后,水位观测分辨率达到 0.1 mm,水温观测精度达到 0.0001 ℃。观测井周围 500 m 内无其他深井或河流干扰;井水位受季节性降雨影响,总体水位呈现出夏高冬低的变化趋势,大量的降雨过后,水位会表现出一定程度的上升,且存在 1~2 天的延时现象;水温总体变化较为平稳。自投入观测以来,该井资料完整,数据质量较好,为进一步分析区域地下流体变化提供了良好的实测数据。

2 南麻井水位和水温同震响应特征分析

2.1 总体概况

2011 年以前,由于南麻井水位、水温数据采样率较低,为 simple/10 min,2011 年进行了设备升级改造,之后采样率大大提升,达到 simple/1 min,故本研究选取了 2011 年 1 月至 2019 年 12 月作为研究时间段。根据中国地震台网中心地震速报目录资料,对 2011 年 1 月至 2019 年 12 月期间全球 8.0 级以上、全国 6.5 级以上地震的同震响应特征进行了分析研究。本研究的地震同震响应记录情况见表 1。

表 1 全球 6.5 级以上地震同震响应记录情况(2011 - 2019 年)

发震日期	发震时刻	纬度 / (°)	经度 / (°)	震级 (M)	震源深度 / (km)	震中地点	水位同震响应记录情况	水温同震响应记录情况
2011-03-11	13:46:19	38.1	142.5	9.0	20	日本本州海域	振荡	阶升
2011-11-08	10:59:06	27.2	125.9	7.0	220	东海海域	振荡	无明显变化
2012-04-11	16:38:36	2.3	93.1	8.6	20	苏门答腊海域	振荡	阶降-阶升
2012-04-11	18:43:12	0.8	92.4	8.2	20	苏门答腊海域	振荡	阶升
2012-06-30	05:07:32	43.4	84.8	6.6	7	新疆巴音郭楞	无明显变化	无明显变化
2013-03-27	10:03:19	24	121	6.5	8	台湾南投	无明显变化	无明显变化
2013-04-05	21:00:03	42.8	131.1	6.5	570	中、俄交界	无明显变化	无明显变化
2013-04-20	08:02:46	30.3	103	7.0	13	四川芦山	振荡	阶升
2013-05-24	13:44:49	54.9	153.3	8.2	600	海鄂霍次克海	振荡	阶升
2013-06-02	13:43:03	23.9	120.9	6.7	9	台湾南投	振荡	无明显变化
2013-07-22	07:45:55	34.5	104.2	6.6	20	甘肃定西	振荡	阶升
2013-10-31	20:02:10	23.5	121.4	6.7	20	吉林松原	数据缺失	数据缺失
2014-02-12	17:19:50	36.1	82.5	7.3	12	新疆于田	数据缺失	数据缺失
2014-04-02	07:46:47	-19.6	-70.7	8.1	10	智利	振荡	阶升
2014-08-03	16:30:10	27.1	103.3	6.5	12	西藏日喀则	振荡	阶升
2014-10-07	21:49:39	23.4	100.5	6.6	5	云南景谷	振荡	无明显变化
2015-04-25	14:11:26	28.2	84.7	8.1	20	尼泊尔	振荡	阶升
2015-05-30	19:23:02	27.9	140.5	8.0	690	日本小笠原群岛	振荡	阶升
2015-07-03	09:07:46	37.6	78.2	6.5	10	新疆皮山	无明显变化	无明显变化
2015-09-17	06:54:31	-31.6	-71.6	8.2	20	智利	振荡	阶升
2015-11-14	04:51:36	31	128.7	7.2	10	东海海域	振荡	阶升
2016-02-06	03:57:26	22.9	120.5	6.7	15	台湾高雄	振荡	无明显变化
2016-11-13	19:02:58	-42.53	173.1	8.0	10	新西兰	振荡	阶升
2016-11-25	22:24:30	39.3	74	6.7	10	台湾花莲海域	振荡	无明显变化
2017-08-08	21:19:49	33.2	104	7.0	20	四川九寨沟	振荡	无明显变化
2017-08-09	07:27:51	44.3	83	6.6	10	新疆精河	振荡	无明显变化
2017-09-08	12:49:15	15.05	-93.9	8.2	20	墨西哥	振荡	阶升
2017-11-18	6:34:21	29.8	95	6.9	10	西藏米林	振荡	无明显变化
2018-01-23	17:31:41	55.96	-149.13	8.0	10	阿拉斯加湾	振荡	无明显变化
2018-02-06	23:50:41	24.13	121.71	6.5	10	台湾花莲海域	振荡	无明显变化
2018-08-19	08:19:37	-18.08	-178.06	8.1	570	斐济群岛	振荡	无明显变化
2019-04-18	13:01:05	24.02	121.65	6.7	24	台湾花莲海域	振荡	无明显变化

由表 1 可以看出,2011 年 1 月至 2019 年 12 月期间共发生 6.5 级以上地震 32 次,除 2013 年 10 月 31 日吉林松原 6.7 级地震和 2014 年 2 月 12 日新疆于田 7.3 级地震期间南麻观测井数据缺失外,其余地震期间

南麻井同震响应程度都比较高,其中水位响应 25 次,响应形态均为振荡,响应率约为 86.2%;水温响应 14 次,响应形态以阶变上升为主(简称:阶升),响应率约为 48.2%。可看出,南麻井水位的同震响应能力要明显优于水温。

2.2 典型震例分析

本文从研究时间段的 32 次地震中选取了 6 个具有代表性的典型震例进行分析研究(表 2)。

表 2 6 个典型震例中南麻井水位、水温同震响应情况

序号	地震	震中距 /km	水位同震响应情况			水温同震响应情况		
			响应形态	变化幅度 /mm	持续时间 /min	响应形态	变化幅度 /℃	持续时间 /min
1	日本 9.0 级地震	2159	振荡	2080	215	阶升	0.15	17
2	苏门答腊海域 8.6 级地震	4566	振荡	664	101	阶降—阶升	0.104	394
	苏门答腊海域 8.2 级地震	4749	振荡	354	68			
3	尼泊尔 8.1 级地震	3256	振荡	306	76	阶升	0.07	115
4	墨西哥 8.2 级地震	13394	振荡	268	94	阶升	0.046	175
5	四川芦山 7.0 级地震	1593	振荡	30	34	阶升	0.017	48
6	东海海域 7.2 级地震	1160	振荡	71	55	阶升	0.023	76

2.2.1 日本本州海域 9.0 级地震同震响应特征

2011 年 3 月 11 日在日本本州东海岸附近海域发生 9.0 级特大地震,该地震震中距离南麻井 2 159 km。

地震发生后南麻井水位出现剧烈振荡,记录到水震波,水位最大双振幅达到 2 080 mm,水震波振荡的持续时间约为 215 min(见图 2)。南麻井水温也出现了明显的阶升,上升幅度达 0.15 ℃,此次地震对南麻井水温的影响一直持续到 2011 年 8 月,这是南麻井自投测以来同震响应幅度最大的一次(见图 2)。

2.2.2 苏门答腊海域 8.6 级和 8.2 级地震同震响应特征

2012 年 4 月 11 日在苏门答腊海域先后发生 8.6 级、8.2 级地震,这两次地震震中距离南麻井分别为 4 566 km、4 749 km。震前南麻井水

位、水温均波动正常,苏门答腊海域 8.6 级地震发生后井水位于 4 分钟后出现水震波,最大双振幅达到 664 mm,振荡持续一段时间后开始逐渐减弱。随后该地区再次发生 8.2 级地震,井水位再次大幅度振荡,直至 68 min 后恢复至震前水平(见图 3)。井水温则在苏门答腊海域 8.6 级地震发生后先出现了小幅度的阶降,随后又出现明显阶升,在井水温上升过程中,该海域再次发生 8.2 级地震,水温随即继续上升,整个上升幅度达到 0.104 ℃,直至 397 min 后才逐渐恢复至震前水平(见图 3)。这两次地震到南麻井的震中距虽然相差不大,但由于前后两次地震震级不同,井水位振荡的幅度差别也较大,最大振幅相差达到 3 倍,水体振荡的持续时间也随振幅的减小而缩短。

2.2.3 尼泊尔 8.1 级地震、墨西哥 8.2 级地震同震响应特征

2015 年 4 月 25 日、2017 年 9 月 8 日分别在尼泊尔和墨西哥发生 8.1 级、8.2 级地震,震中距离南麻井分别为 3 256 km、13 394 km。这两次地震发生后,南麻井水位、水温均记录到清晰的地震同震响应。虽然这两次地震震级相差不大,但由于震中距相差较大,水震波振荡幅度以及水温的变化幅度也有较大差别。南麻井水位在两次地震发生后均出现振荡,水震波最大振幅分别为 306 mm 和 268 mm;水温则均出现了阶升响应,

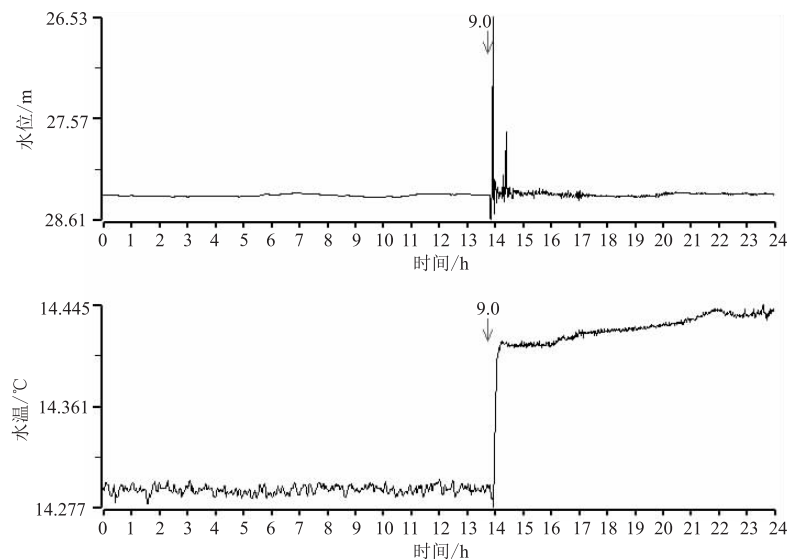


图 2 日本 9.0 级地震后南麻井水位、水温同震响应曲线

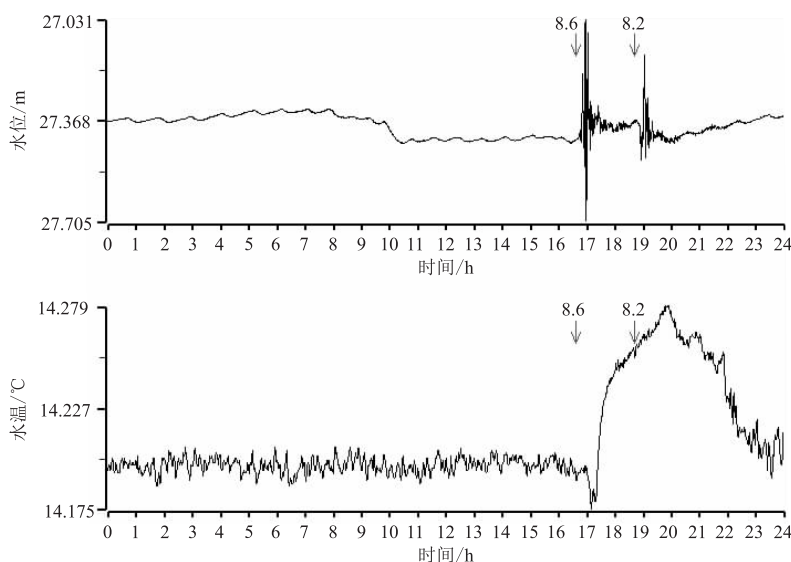


图3 苏门答腊海域8.6级、8.2级地震后南麻井水位、水温同震响应曲线

最大升幅分别为 0.07 °C 和 0.046 °C (见图 4 和图 5)。呈现出震中距越小,水位、水温的响应幅度越大的特征。

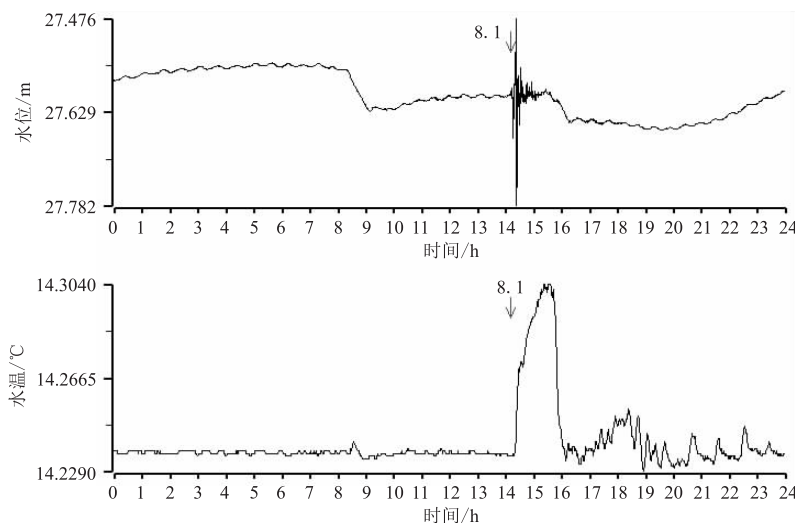


图4 尼泊尔8.1级地震后南麻井水位、水温同震响应曲线

2.2.4 四川芦山7.0级、东海海域7.2级同震响应特征

2013年4月20日四川芦山7.0级地震和2015年11月14日东海海域7.2级地震发生后,南麻井水位均出现不同程度的振荡(见图6和图7),水温均出现阶升同震响应。东海海域7.2级地震震中距离淄博井网约1200 km,是近年来距离淄博地区最近的7.0级以上地震,井水位、水温同震响应幅度相对较大,振荡时间持续也较长。

3 响应机理分析

本文在对南麻井水位、水温的同震响应进行统计分析后发现,南麻井水位的同震响应形态均为振荡型,水温则以阶升为主,个别地震的水温的同震响应在阶升前伴随有小幅度的阶变下降。目前,水温同震响应机理研究有多种不同的观点,但这些观点大都是针对水位振荡—水温阶变下降现象提出的,而对震后水位振荡—水温阶升响应机理的研究则较少。在前人观点的基础上,笔者综合分析认为引起南麻井水位振荡—水

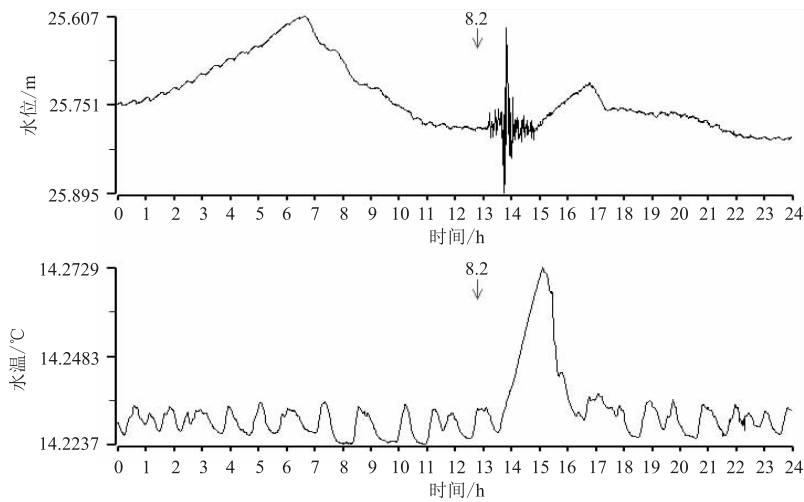


图 5 墨西哥 8.2 级地震后南麻井水位、水温同震响应曲线

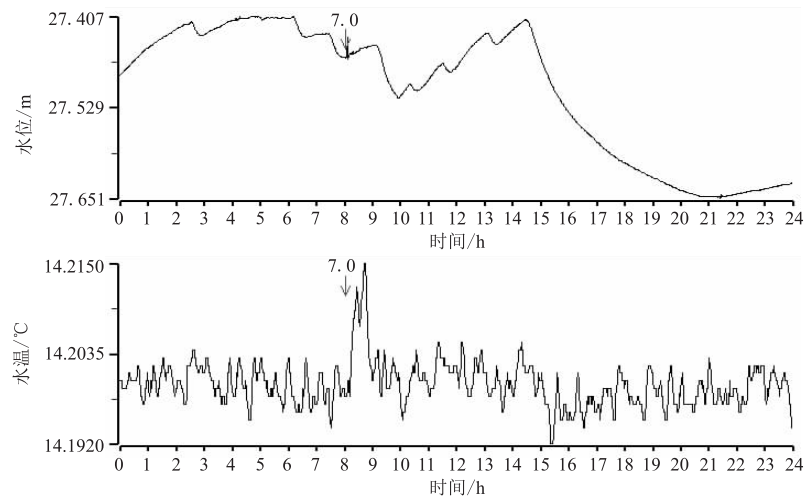


图 6 四川芦山 7.0 级地震后南麻井水位、水温同震响应曲线

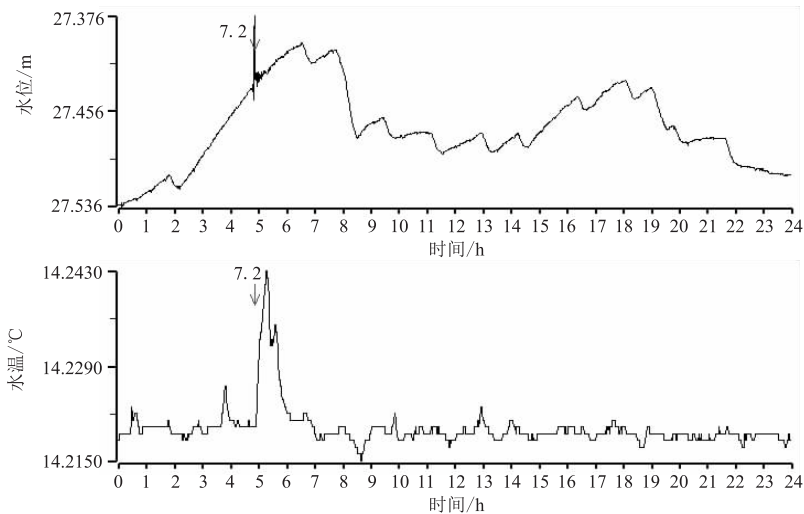


图 7 东海海域 7.2 级地震后南麻井水位、水温同震响应曲线

温阶变上升的响应机理为:地震发生后,一方面地震波的张、压应力反复作用于含水层系统,造成含水层中的

地下水与井筒内的地下水发生流动,从而造成井筒内的地下水呈现出周期性上下波动的现象,在地下水上下运动的过程中水体与井壁及水温的传感器发生摩擦,从而引起水温的上升;另一方面,地震波使得含水层内的介质发生形变,进而造成含水层局部裂隙的串通,地下水通过裂隙发生垂直渗流,使承压含水层下部热水上升,从而引起温度的上升(马玉川等,2010;车用太等,2008;孙小龙等,2008)。

4 几点认识和探讨

从上述典型震例分析可以看出,南麻井水位和水温观测对大震的同震响应特征:

1) 在震中距基本相同的情况下,震级越大,井水位、水温的同震响应幅度越大;而在震级基本相同的情况下,震中距越小,井水位、水温的同震响应幅度则越大。

2) 对南麻井水位的同震响应幅度和振荡持续时间进行拟合发现,两者存在以下统计关系为 $y = 0.0809x + 48.256$,即水位响应幅度 x 与振荡持续时间 y 呈线性关系,且振荡持续时间随响应幅度的增加而增加(见图8)。

3) 以往的研究结果表明,灰岩的同震响应能力较强,砂岩、砾岩的同震响应能力较弱。而南麻井却多次记录到国内外远场大震,其同震响应程度较高。分析原因主要为:南麻井的含水层虽为砾岩,但由于其砾石的组成成分主要为灰岩,少部分泥岩,且该区域最大溶洞的口径大于0.5 m,裂隙发育,连通性好,富水性强,导水好,像一个巨大的连通管,含水层受到挤压和拉张容易引起其容积的较大变化,通过截面积较小的井孔反映出来,即水位的大幅度升降(耿杰等,2008)。

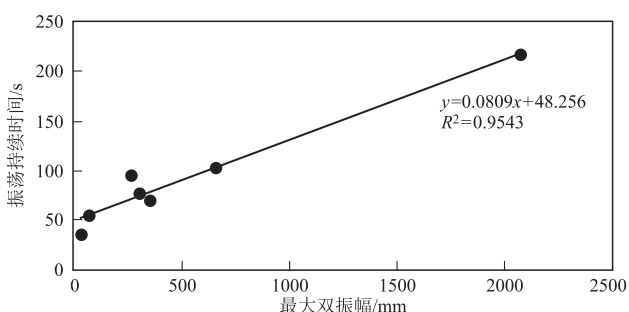


图8 水位响应幅度、振荡持续时间关系拟合直线

4) 在有同震响应的测项中,南麻井水位的同震响应能力要明显优于水温。具体表现为:水温出现同震响应的震例包含有清晰的水位同震响应,而出现水位同震响应的震例则并未全部包含有到水温的同震响应,也就是说水位出现同震响应是水温同震响应的必要条件,且水温同震响应均出现在水位响应之后,一般滞后几分钟(杨竹转,2012;王学聚等,2017),这也从侧面反映了水温的变化应该与水位的变化有关。

5) 南麻井水位对于不同地震的响应形态相同,均为振荡型;而水温对于不同地震的响应形态则不完全相同,除苏门答腊海域8.6级地震后出现小幅度的阶变下降一大幅度阶变上升外,其余的响应形态均为阶升。

6) 南麻井出现水位振荡—水温阶降的原因主要有两个:一是井筒内的地下水上下波动过程中与井壁及水温的传感器发生摩擦产生热量;二是地震波造成含水层局部裂隙的串通,地下水通过裂隙发生垂直渗流,使承压含水层下部热水上升。

参考文献

车用太,刘成龙,鱼金子. 2008. 井水温度微动态及其形成机制[J]. 地震,28(4):20-28.
 耿杰,陈安方,潘双进. 2008. 山东地下水动态观测井对2007年印尼8.5级地震的响应特征[J]. 西北地震学报,30(2):173-178.
 马玉川,刘耀炜,滕荣荣. 2010. 汶川8.0级地震与苏门答腊8.7级地震井水温度同震响应特征分析[M]. 地壳构造与地壳应力文集,22:116-12.
 孙小龙,刘耀伟. 2008. 苏门答腊8.5级地震引起的水温响应变化[J]. 华北地震科学,26(1):35-40.
 王学聚,殷海涛,王庆林. 2017. 山东地下流体数字化井网对特大地震的响应分析[J]. 国际地震动态,(10):32-39.
 向阳,孙小龙,梁卉. 2017. 2016年12月8日呼图壁 $M_s 6.2$ 地震引起的新10、新11井水位同震响应对比分析[J]. 内陆地震,31(3):259-269.

杨竹转. 2012. 地震波引起的井水位水温同震变化及其机理研究[J]. 国际地震动态, (11):42-47. 张彬, 刘耀炜, 高小其, 等. 2015. 2015 年尼泊尔 M_s 8.1 地震引起的井水位与井水温同震效应及其相关性分析[J]. 地震学报, 37(4):533-540.

Analysis on Co-seismic Response and Mechanism of Water Level and Water Temperature in Shandong Nanma Well

CHEN Tong, ZHOU Huifang

(Zibo Emergency Rescue and Support Service Center, Shandong Zibo 255000, China)

Abstract: The co-seismic response data of water level and water temperature in Nanma well from January 2011 to December 2019 are collected. The results show that Nanma well has a high degree of co-seismic response and the water level has the same response forms to different earthquakes, all of which are oscillatory. Whereas the co-seismic response forms of water temperature are not completely the same, mainly are step-up. In response test items, the co-seismic response sensitivity of water level is superior to water temperature in Nanma well. The co-seismic response of water level is a necessary condition for the co-seismic response of water temperature, reflecting that the change of water temperature is caused by the change of water level. The main reason of water level oscillation is that the tension and pressure of seismic wave repeatedly act on aquifer system, which causes periodic oscillation of water body in aquifer shaft. The water temperature step-up is related to two reasons: one is the heat generated by friction between water body and well wall or water temperature sensor, the other is vertical seepage of groundwater through fractures which causes hot water rising in the lower part of aquifer.

Keywords: underground fluid; water level; water temperature; co-seismic response

鲜水河断裂磨西段新发现地震地表破裂带初步研究

马超,刘玉法,张威,周亚东
(四川省地震局,四川成都610041)

摘要:通过室内遥感影像解译,发现鲜水河断裂磨西段贡嘎山麓以西存在NW向的地表破裂带,卫星影像清晰地展现出一条长度大于30 km的断裂。经过现场野外地质调查验证,新发现的地震地表破裂带(贡嘎断裂)确实存在,且呈左旋兼具逆冲的性质。断裂在雅家埂南附近成多级羽列,表现出鲜水河断裂南东段几何结构的复杂性。初步研究认为贡嘎断裂应为折多塘断裂的一部分,并有可能在1955年折多塘7½级地震和1786年7¾级地震两次大地震事件中产生了同震位错。

关键词:鲜水河断裂;地表破裂;地质调查

中图分类号:P315.2

文献标识码:B

文章编号:1001-8115(2020)04-0008-06

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.002

活动块体的边界断裂是大地震发生的主要场所,块体边界部位的断裂往往比块体内部断裂发震能力更大,危害性更强。在我国,块体边界断裂控制了全部的8级以上及约80%的7级以上强震(张培震等,2013;张培震,2014),而这些地震的发震部位多位于断裂几何变化、断裂交汇、障碍物、阶区等部位(邓起东等,1992,2002)。鲜水河—安宁河断裂带作为川滇块体东边界断裂在石棉一带交汇。在1973年以前的150多年里,鲜水河—安宁河断裂共发生10次7级以上强震,平均10~15年发生一次,断裂随时都有发生大地震的可能(张培震等,2013)。因此,鲜水河断裂带的活动性与地震危险性是未来关注的重点。我们利用活动构造常用的野外地质地貌调查方法对新发现的贡嘎断裂进行了实地考察,对贡嘎断裂的几何展布特征、断裂性质及古地震事件进行了初步研究。

1 新发现的地表破裂带

目前,活断层研究主要通过第四系断层剖面来确定断层相关参数(Akyuz H S,2002;He et al,2003;Royden et al,2008),查清断裂的空间展布与结构、断裂活动性、古地震事件等参数是活动断层研究的基本内容。笔者团队在贡嘎山东麓康定市南的磨西断裂(鲜水河断裂磨西段)以西发现地表存在一条醒目的NW向破裂带,经查验资料,并未发现与该断裂相关的任何记载。该地表破裂带在卫星影像上线性清晰,断裂切断山体形成反向槽谷、堰塞塘等地貌,并切断溪流的多级阶地。经过卫星影像初步解译,发现该地表破裂带延伸长度大于30 km,位于1955年康定折多塘7½级地震和1786年康定南7¾级地震的地表破裂带附近(见图1)。

2 野外地质调查初步结果

笔者团队最先于2017年12月中旬通过室内的遥感影像解译发现位于康定市南榆林乡老榆林村南部的鲜水河断裂(磨西段:磨西—石棉断裂)以西存在一条醒目的NW向破裂带,并定名为贡嘎断裂。2018年1月前往贡嘎断裂进行了现场初步考察。将2017年以来对贡嘎断裂初步考察成果和2019年7月对贡嘎断裂进行的进一步考察成果收集整理汇编。现场地质调查主要在猪腰子海西北面和西南面的几个调查区域中进

收稿日期:2020-03-20;修回日期:2020-04-255

基金项目:四川省地震局地震风险评估创新团队(201802)、四川省地震局地震科技专项(No. LY1910)资助。

作者简介:马超(1987-),男,四川绵阳人,工程师,主要从事第四纪地貌与活动构造研究。E-mail:ayato10@163.com。

通讯作者:刘玉法(1976-),男,山东沂源人,高级工程师,主要从事活动构造与地震地质灾害研究。E-mail:lyfdreamer@aliyun.com。

行。地质地貌调查点分布如图 2a, b 所示。

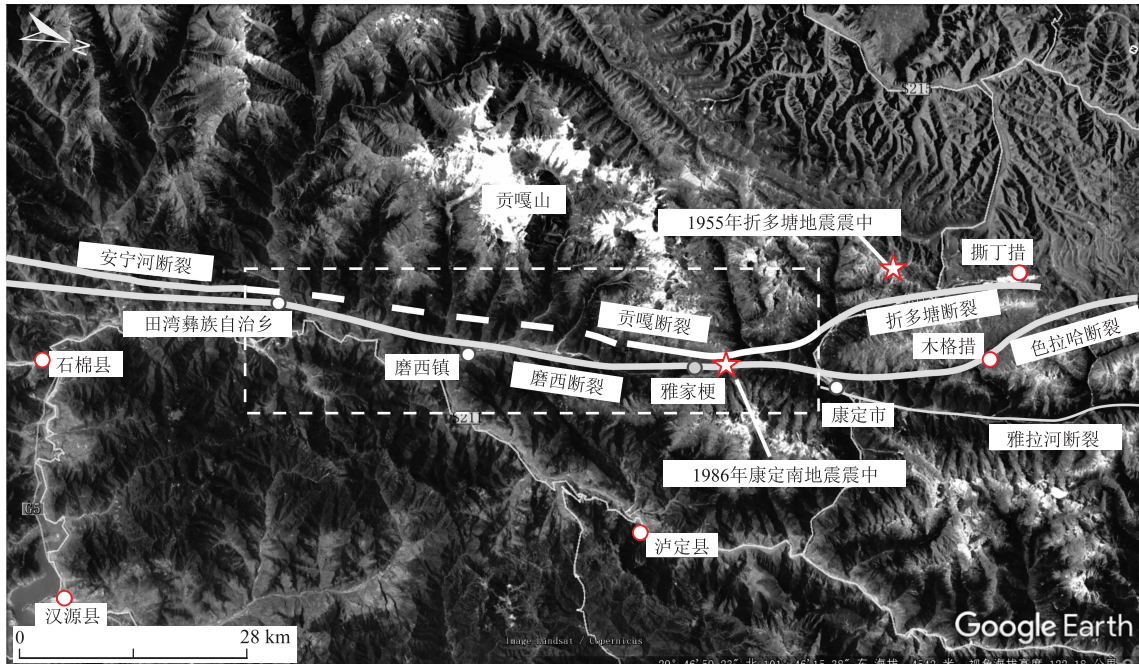
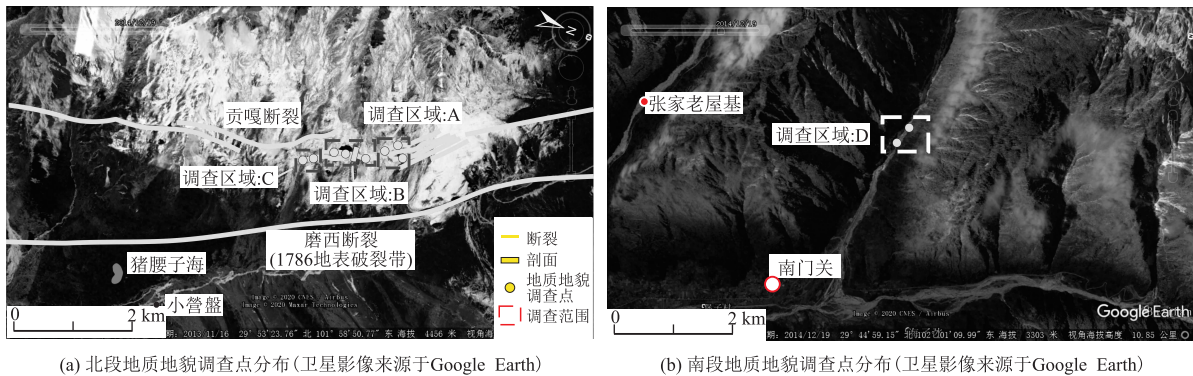


图 1 新发现的地表破裂带(卫星影像来源于 Google Earth)



(a) 北段地质地貌调查点分布(卫星影像来源于 Google Earth)

(b) 南段地质地貌调查点分布(卫星影像来源于 Google Earth)

图 2 贡嘎断裂地质地貌调查点分布

调查区域 A:野外调查发现贡嘎断裂在雅家埂以西存在错断山脊,形成反向槽谷、断塞塘等地貌,并存在多条羽列分支。在雅家埂以南一带,卫星影像表现清晰,几何结构复杂,存在多支地表破裂带呈羽裂分布。地貌上主要表现为断层反向坎、断塞塘等。此区域内断裂形成的反向坎一般高 1~2.5 m,最大垂直位错约为 8 m,表明断裂多次活动,并发生过多次地震活动的累计效应,阻断山上冰雪融雪形成小型断塞塘等地貌(见图 3a, b)。

调查区域 B:位于调查区域 A 东南约 400 m 处,2018 年 1 月笔者团队率先进行了现场考察。在贡嘎断裂北段,现场可见 EW 走向的冰碛垅被贡嘎断裂断错,断裂表现为左旋走滑,最大水平位错为 5.0 ± 0.5 m(见图 4),冰碛垅垂直位错不明显,断裂宽度很窄,不超过 1 m,结合该断裂其他段落较大的垂直位错分布以及断裂系统总体的运动性质来分析,该处位错应为一次地震的同震位错。断裂在这段卫星影像表现清晰,断裂切过山脊,形成累计高度 2~8 m 的断层反向陡坎、断裂阻断季节性河流,形成宽约 100 m,长约 200 m 的汇水盆地(断塞塘)(见图 5a, b)。

调查区域 C:往调查区域 B 南面追索,看出断裂呈右阶羽裂展布。在此区域,断裂形成的地表破裂冲断一干涸沟渠,形成的左旋位错约 9 m,应为数次地震所形成的累计位错,周边的断裂形成的反向坎坎高 1.5~2 m(见图 6a, b)。

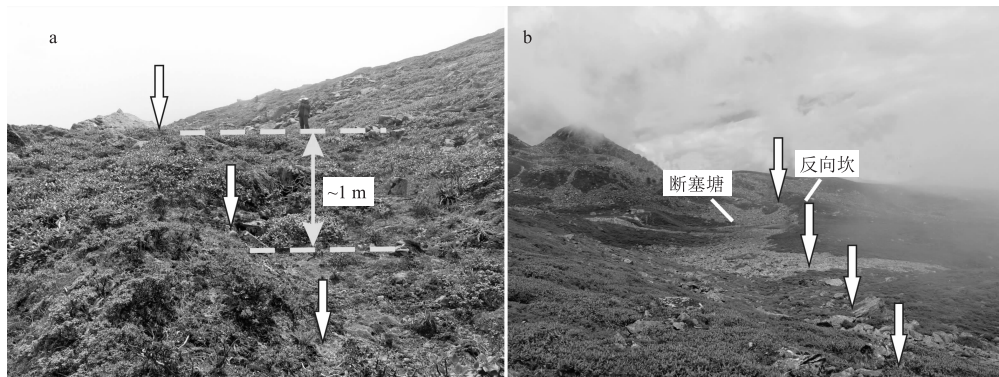


图3 调查区域 A 的地质地貌照片(a 图镜向 SE,b 图镜向 NW)

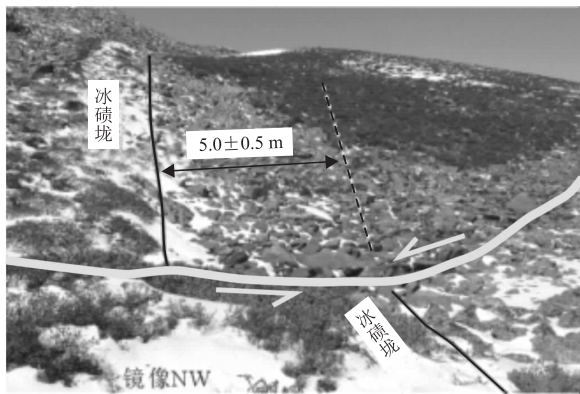


图4 贡嘎断裂左旋位错地貌照片(镜向 NW)

调查区域 D:该区域是本次调查的最南端区域,位于磨西镇新兴乡堡子村南门关以西的河流支流附近。在此区域内发现断裂断错河流右岸 I 级阶地,使砾石呈现定向排列现象,并在阶地前缘形成约 0.2 m 高的陡坎(见图 7a,b),I 级后缘形成坎高约 0.5 m 的断层陡坎,可能为最新一次地震活动痕迹,河流东侧则发育有堰口地貌(见图 8a,b)。再往南追寻未见明显断裂地貌痕迹。

3 地质剖面描述

为了更好地了解和认识贡嘎断裂,我们在雅家埂

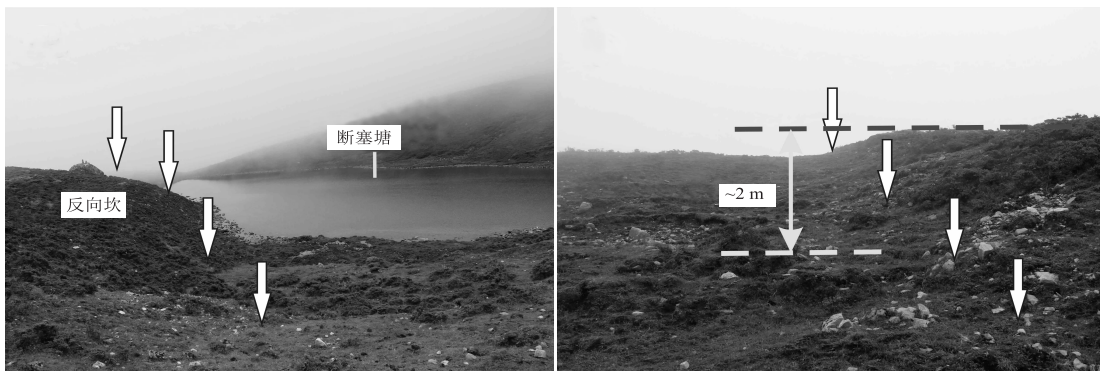


图5 调查区域 B 的地质地貌照片(a 图镜向 SE,b 图镜向 NW)



图6 调查区域 C 的地质地貌照片(a 图镜向 NW,b 图镜向 SE)

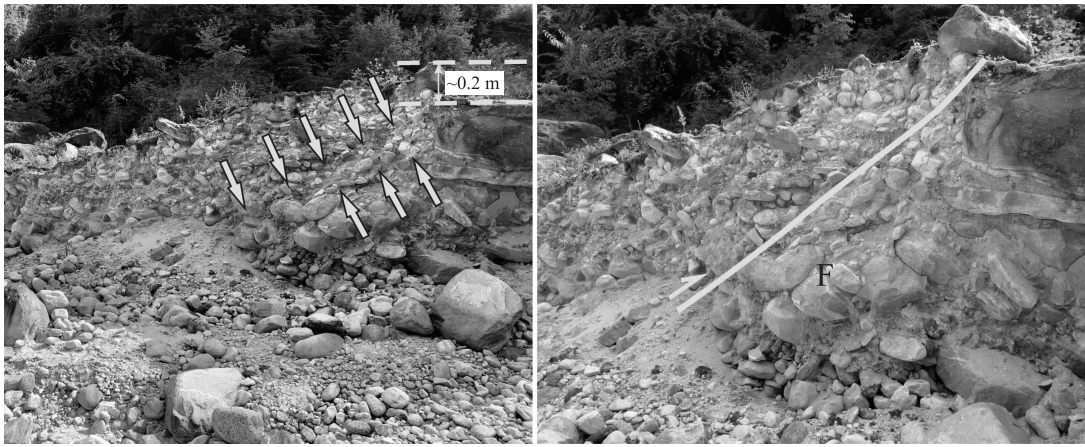


图 7 调查区域 D 的河流 I 级阶地照片(镜向 SW)



图 8 调查区域 D 的地质地貌照片(a 图镜向 NW,b 图镜向 SE)

以西的贡嘎断裂调查区域 B 中靠近断塞塘的断裂所形成的反向陡坎处开挖了一剖面(见图 9)。剖面具体情况为:U1 为燕山期斜长花岗岩(γo_3^3), U2 为基岩破碎带, U3 为棕褐色亚砂土层, U4 为腐殖土层(厚约 20 cm)。因断裂在几何展布上多级羽列,呈左阶左旋结构,故存在局部拉张效应,在近地表附近形成正断层(见图 9、10)。该剖面揭示出两次古地震事件:事件 Event1:断裂 F1 断错 U3 与 U2 后被 U4 封闭;事件 Event2:断裂 F2 断错 U1 与 U2, U4 顶层,造成 U4 有约 0.3 m 的垂直位错, U2 在断裂 F1 和 F2 的活动下发生基岩破碎现象,靠近断面附近基岩呈粉状。此次事件应为断裂最新一次活动事件。虽然我们在 U4 底部取得 ^{14}C 样品,截止到投稿前样品测试仍在进行,暂未获得相应的年代学资料来佐证断裂事件的发生时间。

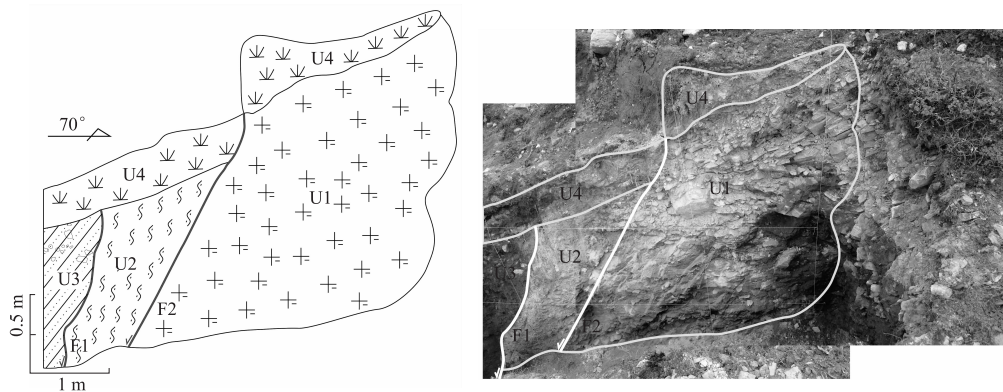


图 9 开挖剖面照片(镜向 NW)

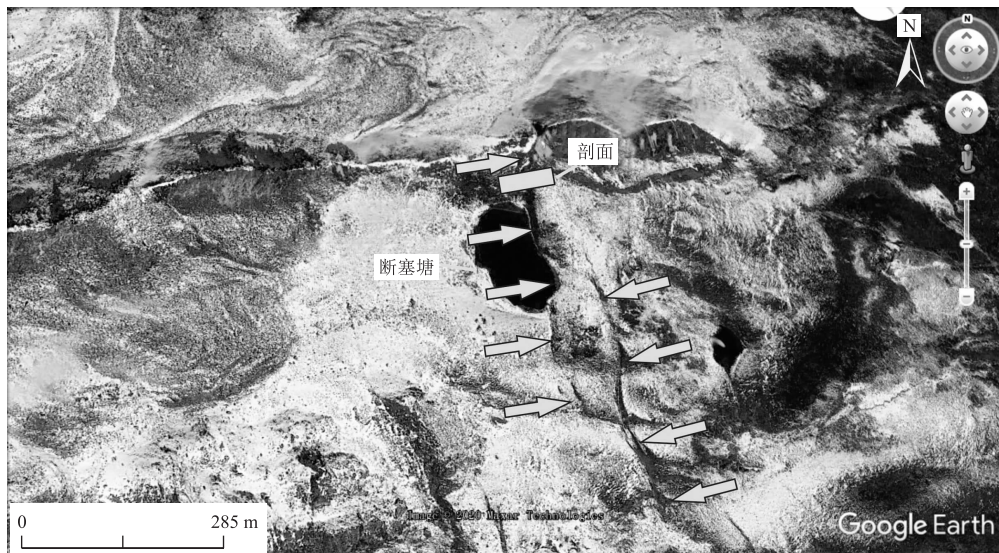


图 10 剖面附近断裂羽列的卫星影像(卫星影像来源于 Google Earth)

4 讨论与结论

贡嘎断裂位 1955 年康定折多塘 7½级地震和 1786 年康定南 7¾级地震的地表破裂带附近,野外地质地貌调查和挖开剖面显示,该断裂上曾发生过两次古地震事件。1786 年康定南 7¾级地震发生鲜水河断裂康定以南段雅家埂一带,震中位于贡嘎断裂东侧。1955 年康定折多塘 7½级地震在折多塘断裂只发现了长约 30 km 的断层形迹和地表破裂带(李天昭等,1997),根据走滑断层地震破裂长度与震级的关系(表 1),推算出 1955 年折多塘 7½级地震地表破裂长度至少有 60 km。

表 1 走滑断层地震破裂长度与震级间的关系公式

序号	公式	取值	区域	文献出处
1	$M = 4.94 + 1.296 \lg L$	$\delta = 0.19$	美国和中国	Bonilla et al(1984)
2	$M = 5.16 + 1.12 \lg L$	$\delta = 0.29$	全球	Wells et al(1994)
3	$M = 5.117 + 0.579 \ln L$	$\delta = 0.21$	中国西部	闻学泽(1995)
4	$M = 5.92 + 0.88 \lg L$	$\delta = 0.37$	青藏高原	邓起东等(1992)

通过地质地貌调查,获得贡嘎断裂的水平同震位错为 5.0 ± 0.5 m,利用位错与震级的经验公式 $M = 7.02 + 0.89 \times \lg U$ (Wells et al,1994),计算出发生在贡嘎断裂上的最新一次地震事件的震级为 $M7.6$ 级,这与 1955 年康定折多塘 7½级地震震级相近。结合贡嘎断裂断错顶部腐殖层和断裂活动迹象进行综合分析,认为贡嘎断裂可能属于 1955 年康定折多塘 7½级地震的地表破裂的一部分。如果将目前发现的贡嘎断裂归为折多塘断裂的一部分,那么整个折多塘断裂的地表破裂至少有 60 km,与 7 级以上震级所能够产生的地表破裂长度匹配,因此认为贡嘎断裂应为折多塘断裂的一部分,属折多塘断裂的南延段。事件 1 也揭示出贡嘎断裂上的古地震事件,虽然暂时尚未得到断裂上覆地层的测年结果,但不排除贡嘎断裂在 1786 年康定南 7¾级地震中与磨西断裂发生过级联破裂的可能。如果这种假设成立,那么也可能从另一个方面解释贡嘎断裂在雅家埂段所呈现出的多条次级断层组成羽列分布这样的复杂几何结构。

通过本次工作,初步得出以下结论:通过卫星遥感影像解译和地质地貌调查表明贡嘎断裂确实存在,断裂长度不小于 30 km。断裂在雅家埂南部的断裂几何展布较为复杂且呈多级羽列,延伸至磨西镇新兴乡堡子村南门关后形迹不甚明显,断裂性质总体以左旋走滑为主,兼具逆冲分量,局部近地表存在拉张效应。贡嘎断裂应为折多塘断裂的一部分,并有可能在 1955 年折多塘 7½级地震和 1786 年 7¾级地震两次大地震事件中产生同震位错。

参考文献

- 邓起东,于贵华,叶文华. 1992. 地震地表破裂参数与震级关系的研究,活动断裂研究[M],第二辑,地震出版社,247-264.
- 邓起东. 2002. 中国活动构造研究的进展与展望[J]. 地质论评,2002,48(2):168-177.
- 李天招,杜其方,游泽李,等. 1997. 鲜水河活动断裂带及强震危险性评估[M]. 成都地图出版社.
- 闻学泽. 1995. 活动断裂地震潜势的定量评估[M],北京:地震出版社.
- 张培震,邓起东,张竹琪,等. 2013. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程[J]. 中国科学:地球科学,(10):1607-1620.
- 张培震,郑文俊,王伟涛,等. 2014. 青藏高原东缘川西地区的现今构造变形、应变分配与深部动力过程[C]//构造地质与地球动力学学术研讨会,1041-1056.
- Akyuz H S. 2002. Surface Rupture and Slip Distribution of the 12 November 1999 Duzce Earthquake ($M7.1$), North Anatolian Fault, Bolu, Turkey[J]. Bulletin of the Seismological Society of America,92(1):61-66.
- Bonilla R K, Mark R K, Lienkaemper J J. 1984. Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length, and surface fault displacement, BSSA, 74(6):2379-2411.
- He H, Ren J. 2003. Holocene earthquakes on the Zemuhe Fault in Southwestern China[J]. Annals of Geophysics,46(5):1035-1051.
- Royden L H, Burchfiel B C, van der Hilst R D. 2008. The geological evolution of the Tibetan Plateau[J]. Science,321(5892):1054-1058.
- Wells D. L., Coppersmith K. J. . 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture with, rupture area, and surface displacement. BSSA, 84(4):974-1002.

Preliminary Study on Newly Discovered Seismic Surface Rupture Zones in Moxi Section of Xianshuihe Fault

MA Chao, LIU Yufa, ZHANG Wei, ZHOU Yadong

(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: Based on the interpretation of indoor remote sensing image, it is revealed that there is a NW-trending surface rupture zone to the west of Gongga foothills in the Moxi section of Xianshuihe fault. Satellite images shows that the linear length of the fault is more than 30 km. After the field geological survey, the newly discovered surface rupture zone(Gongga fault) is indeed present, and it is left-handed and thrusting. The fault forms into multiple-order en echelon near the south of Yajiangeng, showing the complexity of the geometric structure of the southern eastern section of the Xianshuihe fault. Our preliminary studies suggest that the Gongga fault should be a part of the Zeduo-tang fault. It is also possible to produce the co-seismic offsets during two major seismic events, the $M7\frac{1}{2}$ magnitude earthquake of 1955 and the $M7\frac{3}{4}$ magnitude earthquake of 1786.

Keywords: Xianshuihe fault; surface rupture; geological survey

基于 AdaBoost 集成学习的强震动观测抗干扰技术研究

庞 聪^{1,2}, 江 勇^{1,2}, 廖成旺^{1,2}, 吴 涛^{1,2}, 丁 炜^{1,2}, 王 磊^{1,2}

(1. 中国地震局地震研究所 中国地震局地震大地测量重点实验室, 湖北 武汉 430071;

2. 湖北省地震局地震预警湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430071)

摘要:为提高强震仪的抗干扰能力,基于分类、决策的机器学习中的 AdaBoost 集成学习方法,设计一种强震动数据抗干扰算法,以解决基于决策树的强震动数据抗干扰算法存在的易过拟合、分类准确度不高等问题。从天然地震动与人工干扰下的强震动数据中提取出若干个特征(波形对称度、卓越频率、最大增长速度等),形成一一对应的训练样本特征集与事件属性集;初始化权重分布,持续利用 AdaBoost 技术更新样本权重分布,以增加较难分辨样本的权重值,然后将若干个弱分类器训练为一个强分类器,达到提高强震仪抗干扰准确度的目的。此方法分类准确度较高,具有较强的环境适应性,对于推动强震观测仪器智能化实现、促进土木工程结构防震减灾技术发展具有一定现实意义。

关键词:强震仪;抗干扰;AdaBoost;机器学习;特征识别

中图分类号:P315.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2020)04-0014-05

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.003

强震仪是指由加速度计、数据记录器、对时系统、存储系统等组成的地球物理观测仪器,在建筑物震害分析、结构模态分析、结构损伤识别、常规谱分析中应用较广(王雷等,2011;宋金龙,2012;荣立爽,2008;赵怀山等,2017;周绮凤等,2012;王文才等,2018)。但是,强震仪在各类监测场地(野外监测台网、超高层建筑物、水电站、大坝、核电站等)布设后常常遇到高频低能量、宽频带大能量等振动特征相差较大的噪声,这些含噪强震动记录如果不加以处理与识别,易造成地震事件错误收集、预警事件误触发等异常情况。因此,基于强震动监测数据的抗干扰或防误触技术研究开始受到相关研究人员的重视。传统的强震仪系统抗干扰技术多以仪器失真校正技术、信号负反馈技术、触发控制技术等基于内干扰源的抗干扰技术为主,以区分电磁干扰信号、温变信号、误触操作等,技术主要应用在仪器硬件结构内部,且研究应用难度较大。例如,赵松年等(1987)设计幅度特征一窗口比较器触发电路,减小强震仪误触与漏触概率,提高触发器的抗干扰能力。于海英等(2006)对未校正记录做低通滤波后运用近似理想微分器做两次微分得到校正加速度记录,以校正仪器响应失真。传统强震仪抗干扰技术较多集中在内部信号干扰、误操作等领域,研究较为丰富,而专门针对对外环境激励源的抗干扰研究较少,这也给强震仪在防震减灾领域的应用推广造成了较大阻碍。

随着计算机技术和人工智能科学的发展,基于分类、决策的机器学习方法越来越受到各行各业专家学者的重视,同时一些学者尝试将该机器学习方法应用于强震仪外环境干扰源(风致振动、机械施工、起重机工作、人为走动等激励)抗干扰技术研究,但是仍处于研究的起步阶段。比如江汶乡等(2015a,2015b)基于决策树原理设计强震动单阵抗干扰算法,通过提取强震动记录和干扰记录触发事件后3s内数据的多个特征值建立决策树学习样本数据集,有效区分出地震动振动源与其它干扰源。赵刚等(2017)基于 AdaBoost 集成学习方法和 BP 神经网络对天然地震动事件和人工爆破事件进行波形特征识别,结果表明集成学习方法识别效率较高,不易过拟合。虽然基于决策树的强震仪抗干扰技术解决了强震仪在外干扰源环境下的抗干扰办法,但是采用的决策树方法存在过拟合、分类不准确的缺陷;基于集成学习的 adaboost 学习算法克服了决策树的部分缺点,是一个效果较好的特征识别方法。

本文采用机器学习中的 AdaBoost 集成学习方法以克服决策树的上述缺点,设计一种针对外干扰源的强震动数据抗干扰算法,有效区分天然地震动事件与人工干扰事件,以提高强震监测时的抗干扰水平,推动强震观测系统的智能化和自动化,对防震减灾工程技术的发展和具有一定意义。

收稿日期:2020-06-01;修回日期:2020-11-12

作者简介:庞聪(1992-),男,湖北襄阳人,硕士研究生学历,工程师,主要研究方向为地震观测技术与应用. E-mail: ponspc@foxmail.com.

1 强震仪抗干扰算法

1.1 决策树原理

决策树(decision tree)是一类常见的、较为简单的机器学习方法,其目的是根据损失函数最小化的原则产生一棵泛化能力强,即处理未见示例能力强的决策树(庞聪等,2019;赵刚等,2017)。决策树按照分支时的属性选择方法不同可分为 ID3、CART、C4.5 等类型。ID3 决策树基于信息增益量(Information Gain)进行属性选择;C4.5 决策树从 ID3 法发展而来,依靠信息增益率进行属性选择;CART 决策树又叫分类回归树,利用 GINI 指数增益作为属性选择依据。本文采用 CART 法。因为决策树方法具有计算速度较快、分类规则易理解等特点,一些研究人员将其大量应用于地震预警、震后损失评估、地质灾害评价等诸多防震减灾领域。决策树在处理大样本数据时存在易过拟合、分类准确度不高等问题,易过拟合的问题采取剪枝的方式对决策树进行处理。按照剪枝操作出现的时间顺序不同,分为预剪枝(Pre-Pruning)和后剪枝(Post-Pruning):预剪枝发生在决策树算法过程中,后剪枝则出现在决策树算法执行完毕以后。由于预剪枝一定概率上会导致决策树生长过早停止,而后剪枝操作较为麻烦,采用机器学习中的集成学习方法以解决决策树存在的各种问题,集成学习方法是指利用多个单一的机器学习方法(弱学习器)实现某一个强学习任务的方法,其在数据挖掘和机器学习领域应用较为广泛。

1.2 AdaBoost 算法

AdaBoost(Adaptive Boosting)算法由 Yoav Freund 和 Robert Schapire 于 1995 年提出,作为一种同质集成学习方法(同质集成方法是指每一个子学习器都属于同一类,例如 CART 决策树、人工神经网络等机器学习算法),其基本思想为:通过构建多个弱学习器,根据前一个学习期的错误率更新下一个训练样本的权重,直至满足指定最高错误率或最大迭代次数等限制条件,从而形成一个强学习器(Guo H, 2016; Spenger M, 2017)。AdaBoost 算法的一般数学计算过程如下:

(1)初始化样本训练数据集:设定原始训练数据集为 $T = \{(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}), (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}), \dots, (x_{N1}, x_{N2}, \dots, x_{Nn})\}$, 设定每一个训练样本在算法开始时都被赋予相同的权值 ω_{1i} , 即 $\omega_{1i} = 1/N$; 权值向量 $D_1 = (\omega_{11}, \omega_{12}, \dots, \omega_{1i}, \dots, \omega_{1N})$, 其中, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

(2)迭代计算误差率:使用具有权值分布 D_m 的训练集学习,得到基本分类器 $G_m(x): x \rightarrow \{-1, +1\}$; 然后计算 $G_m(x)$ 在训练集上的分类误差率 $e_m = P(G_m(x_i) \neq y_i) = \sum_{i=1}^N \omega_{mi} I(G_m(x_i) \neq y_i)$; 再计算 $G_m(x)$ 的系数 α_m , 表示 $G_m(x)$ 在最终分类器中的重要程度, 即 $\alpha_m = \frac{1}{2} \log\left(\frac{1 - e_m}{e_m}\right)$ 。

(3)更新训练集的权值分布向量: $D_m = (\omega_{m+1,1}, \omega_{m+1,2}, \dots, \omega_{m+1,i}, \dots, \omega_{m+1,N})$;

$\omega_{m+1,i} = \frac{\omega_{mi}}{Z_m} \exp(-\alpha_m y_i G_m(x_i))$, $i = 1, 2, \dots, N$, 其中 $Z_m = \sum_{i=1}^N \omega_{mi} \exp(-\alpha_m y_i G_m(x_i))$, 导致被基本分类器 $G_m(x)$ 误分类的权值增大,而被正确分类的权值减小,从而使算法注重于样本的全局性以及难分辨样本上。

(4)形成最终分类器:每一个弱分类器为 $f(x) = \sum_{m=1}^M \alpha_m G_m(x)$, 组合之后形成最终分类器 $G(x) = \text{sign}(f(x)) = \text{sign}\left(\sum_{m=1}^M \alpha_m G_m(x)\right)$ 。

1.3 强震仪环境干扰与加速度记录特征参量研究

近些年来,强震仪在防灾减灾的诸多领域得到大量应用,如超高层建筑物结构健康监测、大跨度桥梁振动监测、水电站结构损伤识别、重要建筑安全防护及地震预警等(江汶乡等,2015b;荣立爽,2008;宋金龙,2012;赵怀山等,2017;周绮凤等,2012),并在实际监测中容易受到风致振动、列车高速行驶、采矿爆破、夯实机工作、外部电磁干扰、人为跑跳等诸多干扰激励(如表1),不同干扰类型的强震动记录波形特征或数据统

计特征差异性较大。因此,利用波形特征和数据统计特征进行正常地震动事件与异常干扰事件的辨别是可行的。

表1 强震仪常见外界激励

序号	激励类型	加速度记录主要特征	出现环境
1	采矿爆破	首波加速度增长较快,持时较短	矿山微震监测
2	风致振动	持时较长	高层建筑物振动监测、桥梁振动监测
3	列车高速行驶	卓越频率值较大,持时较长	桥梁结构健康监测
4	夯实机作业	主频值较高,持时较短	重要单位安防监测
5	电磁干扰	对称度不足	雷电天气、电子设备干扰
6	人类活动	持时较短	仪器维护与管理,人类走动
7	地震	持时较长,高对称性,主频较低,峰值较多	地震带附近
8	机械施工	首波加速度增长较快,持时不稳定	工程结构施工建设

部分学者在此基础上提出或应用以下一系列强震仪数据特征参量(如表2):记录持时、波形对称度、卓越频率、波形稀疏度、波形集中度、波形峰值总数、相邻最高增速等特征参量进行强震仪抗干扰技术的研究(江汶乡等 2015b;庞聪等,2020)。这些参量主要从基于加速度波形特征的角度提出,对强震仪在外界环境激励下的振动特征描述较为全面,但是仍存在计算量过大、实际应用时参量过多等问题。根据应用较便捷、特征描述准确的原则,对上述特征参量进行简化处理,选择部分参量作为研究基础。

表2中,持时(end)表示振动事件的有效持续时间,不同振动事件的时长判断阈值为3.0s,持时在此阈值内的事件记为环境干扰事件,持时判断方法为Allen零交叉法(于海英等,2009;赵怀山等,2017),且事件在阈值内结束end记作1,否则记为0;对称性(sym)表示振动波形的对称特性,利用天然地震动波形的对称特性可以

表2 强震动加速度记录数据振动特征表(庞聪等,2020)

序号	参量	描述
1	持时(end)	振动事件的持续时间
2	对称性(sym)	加速度波形图横坐标上下面积比
3	卓越频率(ZY)	通过傅式谱观察数据在频域下的特征
4	波形稀疏度(sparse)	波形分布中峰值数为0的组数与全部组数之比
5	波形集中度(pration)	波形分布中峰值最多的一组数据的集中程度
6	最大增长速度(speed)	最大相邻点差值 * 采样率
7	峰值数(ptotal)	波形图中所有峰值的数量

用来区分天然地震和部分异常振动,其公式为: $sym = s_{small}/s_{big}$, 其中 s_{small} 和 s_{big} 分别表示波形在直线 $y = 0$ 上、下两侧面积中较小的面积和较大的面积;卓越频率(ZY)属于加速度的频域特征,即快速傅里叶变换中幅值最高成分对应的频率,其能有效区分复杂振动事件和地震的区别,ZY在文中的阈值区间设定为 $[0.5, 100]$ Hz;波形稀疏度(sparse)属于波形特征范畴,表示在峰值分布直方图中峰值数为零的直方数在全部直方数中的占比程度,其中直方图的组数一般设为20,组距基于加速度记录的统计学极差来确定,组距 = 极差/组数;波形集中度(pration)表示在峰值分布直方图中最高频度直方峰值数在波形图全部峰值数(ptotal)中的占比程度;最大增长速度(MaxSpeed)为相邻采样点的幅值增加最大值与采样率之比,可作为幅值变化较小的振动干扰事件与幅值突变型振动事件的鉴别特征,例如爆破事件与人类活动干扰事件,其计算公式为: $MaxSpeed = MaxGrow / sprate$ 。

1.4 算法设计

强震仪系统抗干扰算法本质上属于一种学习、推荐行为,其在算法框架上属于AdaBoost法,算法计算核心是决策树算法。强震仪抗干扰算法在进入主要计算阶段之前必须采用一定的数据预处理手段进行异常点剔除、基线校正、滤波处理,然后进行相应地初始化操作,设定弱分类器个数(迭代次数);经过k次训练集权值分布的循环迭代,持续降低分类错误率,得到最终的强分类器,从而提高干扰信号的识别精度(算法流程图如图1)。

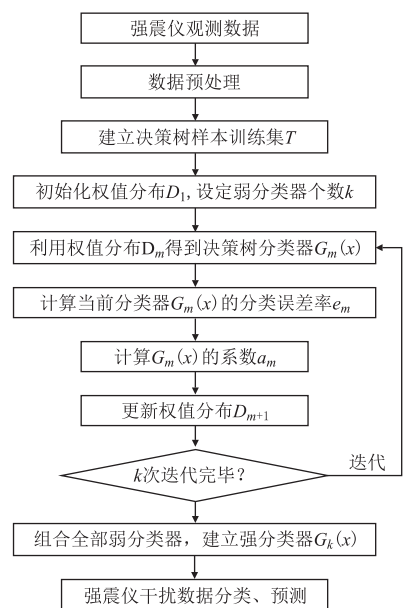


图1 强震动数据抗干扰算法流程

2 实验结果与分析

本次实验采用国家强震动台网中心(www.csmnc.net)和中国地震局工程力学研究所的天然强震动记录与人工干扰数据来测试本文提出的方法。天然地震动记录包括:汶川地震、芦山地震、集集地震等,人工干扰记录包括:采石爆破、仪器电磁干扰、重型机械作业、列车行驶等。为了充分了解 AdaBoost 方法的优势,将决策树算法的数据抗干扰结果与 AdaBoost 方法进行对比,并按照实际训练样本占比 10%、20%、40%、60%、80%,对两者的算法抗干扰准确率进行对比分析。

基于单纯决策树原理的强震动数据抗干扰算法识别结果如表 3 所示,其中决策树方法的分支类型为 CART。决策树方法的抗干扰结果准确率总体与实际训练样本量的比例呈正相关:随着训练比例的增大,识别错误数有所减小,识别准确率逐渐提高,最终接近 98%。但是,当训练样本比例低于 40% 时,识别准确性不太理想,小于 90%,这也符合决策树算法易过拟合的特点。因此,基于单纯决策树的强震动数据抗干扰方法识别效果基本取决于决策树算法的关键参数,对实际样本训练比例较为敏感。在针对超大数据量的应用环境中,算法性能较差,应用价值值得商榷。

表 3 基于决策树原理的强震动数据抗干扰算法识别结果

序号	实际训练样本量	验证样本量	出错数	准确率
1	10%	90%	67	65.64%
2	20%	80%	42	75.86%
3	40%	60%	12	90.40%
4	60%	40%	5	94.25%
5	80%	20%	1	97.67%

由图 2,该决策树将 ZY(卓越频率)、Sym(波形对称性)、End(事件结束否)等 3 个参数作为决策特征参数,并没有将最大增长速度最大增长速度(speed)与峰值数(ptotal)等参量作为决策特征参数,是因为某些大地震的瞬时速度增长与人工爆破等事件的结果相近,同时天然地震动的波形早期特征与人工事件可能相似,较为稀疏、不规则。

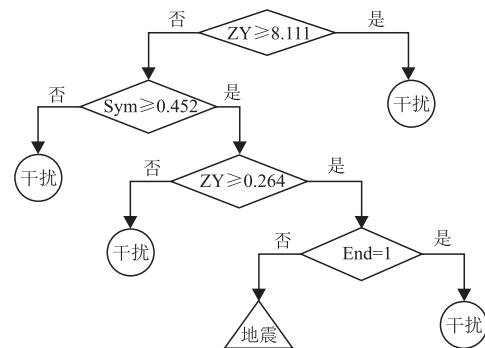


图 2 基于决策树原理得到的决策树

基于 AdaBoost 的强震动数据抗干扰算法识别结果如表 4 所示,其中弱学习器为 CART 决策树。抗干扰准确率总体与实际训练样本量的比例没有明显的关联:训练比例依次从 10% 到 80%,该算法的识别准确率整体都在 90% 以上;识别结果与训练比例相关性不大,具有较强的鲁棒性与适应性。在数据量不确定或极大、极小的实际应用环境中,该算法都有一定的识别准确性保证,具有较好的实际应用价值。

表 4 基于 AdaBoost 的强震动数据抗干扰算法识别结果

序号	实际训练样本量	验证样本量	出错数	准确率
1	10%	90%	19	90.26%
2	20%	80%	2	98.85%
3	40%	60%	7	94.40%
4	60%	40%	2	97.70%
5	80%	20%	0	100%

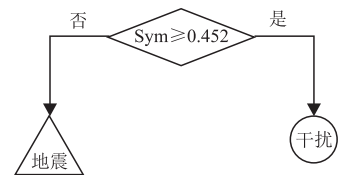


图 3 基于 AdaBoost 原理得到的最终决策树

由图 3、图 4 可知,采用 80% 训练比例的 AdaBoost 法进行异常数据识别时,算法不断通过学习强化自身,并在第 14 次循环训练后完成训练目标,即通过 14 次弱学习器的强化学习得到一个强学习器(图 3),该学习器将 Sym(波形对称度)作为决策特征参数,识别误差率为 0,而波形对称性确实反映了天然地震动事件与人工干扰事件的波形特征差异,Sym 较大时,天然地震动的可能性也较大,反之,人工干扰事件的可能性就较大。

3 结论

本文采用 AdaBoost 技术、决策树学习器及集成机器学习理念设计一种新的强震动数据抗干扰算法,可有效识别、区分地震动事件与其它干扰事件,相对基于单纯决策树的强震仪抗干扰算法,识别准确度有了一定提高,算法稳健性更好,对强震仪的智能化发展与推广应用具有一定的积极意义。

致谢:感谢国家强震动台网中心、国家地震科学数据共享中心、中国地震局工程力学研究所提供了大量的强震记录和实验数据。

参考文献

- 江汶乡. 2015. 面向地震预警的强震动数据处理技术研究[D]. 中国地震局工程力学研究所, 5-14.
- 江汶乡, 于海英, 赵晓芬, 等. 2015. 用于地震预警系统的单台站防误触发算法研究[J]. 自然灾害学报, 24(2): 23-31.
- 庞聪, 江勇, 廖成旺, 等. 2020. 基于机器学习的强震动监测环境抗干扰方法对比研究[J]. 内陆地震, (2): 119-124.
- 庞聪, 江勇, 廖成旺, 等. 2019. 基于决策树的地震工程结构模态参数自动识别技术探索[C]. 2019年中国地球科学联合学术年会论文集. 687-689.
- 荣立爽. 2008. 水下岩塞爆破地震反应谱特性及结构的模态分析研究[D]. 太原理工大学, 8-17.
- 宋金龙. 2012. 基于数据挖掘技术的强震区公路岩质边坡地质灾害评价体系研究[D]. 成都理工大学, 59-68.
- 王文才, 李佐唐, 石文兵. 2018. 2017年6月3日内蒙古阿拉善左旗5.0级地震强震记录及特征分析[J]. 地震工程学报, 40(1): 139-145.
- 王雷, 周琪, 高峰, 等. 2011. 新型数字强震仪关键技术分析[J]. 地震工程与工程振动, 31(6): 153-158.
- 于海英, 江汶乡, 解全才, 等. 2009. 近场数字强震仪记录误差分析与零线校正方法[J]. 地震工程与工程振动, 29(6): 1-12.
- 赵怀山, 郭伟超, 高新勤, 等. 2017. 基于小波降噪和主成分分析的结构损伤识别[J]. 西安理工大学学报, (4): 437-442.
- 赵松年, 熊小芸. 1987. 工程强震观测仪器触发装置的抗干扰设计[J]. 地震学报, 9(2): 217-224.
- 周绮凤, 杨小青, 周青青, 等. 2012. 基于随机森林的建筑物结构损伤识别方法[J]. 振动. 测试与诊断, 32(2): 197-201.
- 赵刚, 黄汉明, 卢欣欣, 等. 2017. 基于BP-Adaboost方法的天然地震和人工爆炸事件波形信号分类识别研究[J]. 地震工程学报, 39(3): 557-563.
- Guo H, Li Y, Li Y, et al. 2016. BPSO-Adaboost-KNN ensemble learning algorithm for multi-class imbalanced data classification[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 49(C): 176-193.
- Sprenger M, Schemm S, Oechslin R, et al. 2017. Nowcasting Foehn Wind Events Using the AdaBoost Machine Learning Algorithm[J]. Weather & Forecasting, 32(3): 1079-1099.

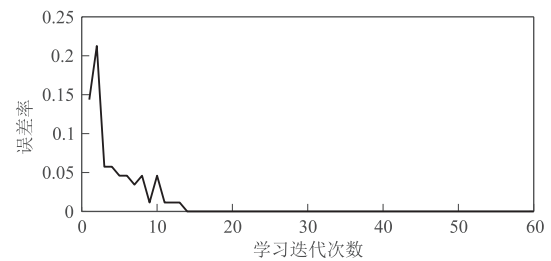


图4 80%训练量的AdaBoost算法训练过程误差变化

Research on Anti-jamming Technology of Strong Seismograph Based on Machine Learning

PANG Cong^{1,2}, JIANG Yong^{1,2}, LIAO Chengwang^{1,2}, WU Tao^{1,2}, DING Wei^{1,2}, WANG Lei^{1,2}

(1. Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Wuhan Hubei 430071, China;

2. Hubei Key Laboratory of Earthquake Early Warning, Hubei Earthquake Agency, Wuhan Hubei 430071, China)

Abstract: In order to improve the anti-jamming ability of the seismograph under the excitation of external disturbance environment, an anti-jamming algorithm for strong vibration data is designed based on AdaBoost to improve the over-fitting and low classification accuracy of decision tree method. Several features (waveform symmetry, predominant frequency, maximum growth rate, etc.) are extracted from the strong motion data, and gained a corresponding training sample feature set and event attribute set; the weight distribution is initialized, and the weight distribution is continuously updated by using AdaBoost technology to increase the weight of difficult samples. The weights of samples are distinguished, and then several weak classifiers are trained as a strong classifier to improve the anti-jamming accuracy of strong seismograph. This algorithm has high classification accuracy and strong environmental adaptability. It is of practical significance to promote the intelligent realization of strong-motion earthquake observation instruments and the development of earthquake prevention and disaster reduction technology for civil engineering structures.

Keywords: strong seismograph; anti-jamming technology; adaboost; machine learning; feature recognition

GL-S120 与 3T-120 甚宽频带地震计性能对比分析

吴双, 李小晗, 王杰民, 王良
(山东省地震局, 山东 济南 250000)

摘要:通过对安装在山东省临沂市马陵山比测基地的 GL-S120 与 3T-120 两种甚宽频带地震计观测数据对比分析, 得到这两种地震计之间的相关系数、地动噪声、地震计自噪声等性能的数值指标, 为地震监测及其他相关工作提供参考。

关键词:GL-S120; 3T-120; 地动噪声; 地震计自噪声

中图分类号:P315.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2020)04-0019-04

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.004

目前, 地震系统使用的地震计种类繁多, 不同厂家、不同型号的地震计在性能和指标上均存在一定差异, 这些差异在日常数据处理、分析和深挖掘等工作中会造成一定影响(韩成成等, 2016)。通过对 GL-S120 与 3T-120 两种较为常见的甚宽频带地震计的性能进行对比分析, 可以在地震数据研究中起到一定参考作用(段绍鑫等, 2019)。

表1 地震观测仪器参数

1 观测条件及仪器参数

将两种地震计放置于山东省临沂市马陵山比测基地山洞内进行观测, 观测记录时段为 2018 年 11 月 22 日至 2019 年 3 月 27 日。马陵山比测基地地处沂沭断裂带南段, 监测环境比较优越。GL-S120 与 3T-120 两种甚宽频带地震计放置在马陵山 13 号山洞台基上, 同时还设置了三台地震计进行对比观测; 不同型号地震计连接数据的采集器均统一使用 EDAS-24GN, 采集器的采样率也均设置为 100 Hz, 采用 GPS 转发覆盖。地震观测仪器参数如表 1 所示。

序号	地震计类型	地震计序列号	地震计频带范围	地震计动态范围	地震计灵敏度 (V/m/s)
1	GL-S120	G17425VS	120 s ~ 50 Hz	> 140 db	UD 2016.95
					EW 2012.46
					NS 1996.69
2		G17424VS	120 s ~ 50 Hz	> 140 db	UD 1989.01
					EW 1988.69
					NS 1997.95
3		G17426VS	120 s ~ 50 Hz	> 140 db	UD 1999.05
					EW 1999.33
					NS 2018.73
4	3T-120	T39737	120 s ~ 50 Hz	> 140 db	UD 2001.01
					EW 2002.16
					NS 2001.02
5		T39627	120 s ~ 50 Hz	> 140 db	UD 1993.12
					EW 2008.26
					NS 1998.92
6		T39820	120 s ~ 50 Hz	> 140 db	UD 1996.59
					EW 1981.10
					NS 1998.55

2 地震计相关性计算

2.1 相关性计算方法

本研究采用 Pearson 相关系数法进行相关性计算。Pearson 相关系数法是英国统计学家皮尔逊在 20 世纪提出的一种计算直线相关的方法(王凯等, 2012)。其计算公式如下:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N})}} \quad (1)$$

收稿日期:2020-04-10;修回日期:2020-07-21

作者简介:吴双(1991-),女,助理工程师,主要从事地震仪器运行维护工作。E-mail:1552835896@qq.com.

通常情况下,可以通过以下取值范围判断变量间的相关性:相关系数在 0.8 ~ 1.0 为极强相关,相关系数在 0.6 ~ 0.8 为强相关,相关系数在 0.4 ~ 0.6 为中等程度相关,相关系数在 0.2 ~ 0.4 为弱相关,相关系数在 0.0 ~ 0.2 为极弱相关或无相关。

2.2 地震事件选取

选取 2018 年 12 月 21 日 1 时 1 分 57 秒在科曼多尔群岛地区(54.95°N,164.79°E)发生的 7.4 级地震事件作为比测样本。GL-S120(G17425VS)与 3T-120(T39737)两种型号地震计记录波形如图 1 所示。

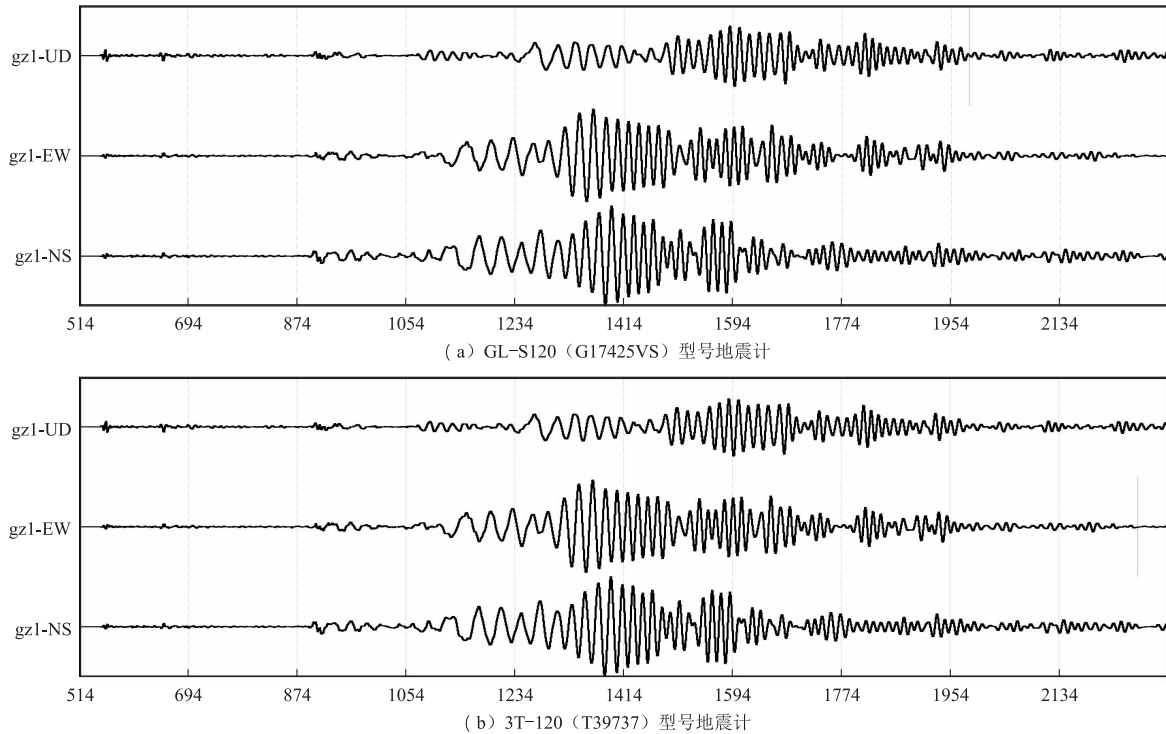


图 1 GL-S120 和 3T-120 型号地震计波形记录

2.3 相关性计算结果

GL-S120(G17425VS)和 3T-120(T39737)两种不同型号地震计间相关性计算结果见表 2,其计算样本为 2018 年 12 月 21 日 01:00 ~ 02:00 连续 1 小时的波形数据文件。选取同一时段波形数据文件计算 GL-S120 和 3T-120 两种同型号地震计间相关性,其结果见表 3。计算结果可见,GL-S120 与 3T-120 两种型号地震计在记录地震事件波形数据时的互相关性较好,不同型号地震计间和相同型号地震计间的波形相关系数均大于 99%,说明这两种型号地震计均可以较好地反应地面振动信息。

表 2 不同型号地震计间相关性的计算结果

地震计型号	UD/%	EW/%	NS/%
GL-S120(G17425VS)与 3T-120(T39737)	99.71	99.77	99.81

表 3 同型号地震计间相关性的计算结果

地震计型号	序列号	UD/%	EW/%	NS/%
GL-S120	G17425VS 与 G17424VS	99.9925	99.9972	99.9960
	G17424VS 与 G17426VS	99.9984	99.9915	99.9952
	G17426VS 与 G17425VS	99.9990	99.9946	99.9979
3T-120	T39737 与 T39627	99.7311	99.9999	99.7344
	T39627 与 T39820	99.7518	99.9934	99.7381
	T39820 与 T39737	99.7682	99.9910	99.7413

3 地动噪声功率谱分析

采用 Welsh 方法计算地动噪声功率谱,将输入数据序列分段,每段之间部分重叠,分别求出每段的谱估计,计算谱估计时使用窗函数,最后将各段数据的谱估计平均值作为最后结果(段天山等,2011)。

选取 2019 年 02 月 6 日 5 时至 6 时(该时段内无地震,外界干扰较小)观测数据作为计算样本,分别对 GL-S120(G17424VS)和 3T-120(T39820)地震计进行同一时段的 UD 向地动噪声功率谱密度计算。两种不

同型号地震计的 UD 向台基噪声功率谱密度曲线见图 2, 由图可知:1)在 0.03 Hz 以上频段, GL-S120 和 3T-120 两种型号地震计 UD 向地动噪声曲线走向基本保持一致;2)在 0.03 Hz 以下频段, 3T-120 型号地震计的 UD 向同频点地动噪声略低于 GL-S120 型号地震计。背景噪声相同, 两种型号地震计所计算的台基噪声在 0.03 Hz 以下频段存在一定差异, 这有可能是地震计自身性能差异等因素造成, 具体原因还可待进一步研究。

UD 向 1 ~ 20 Hz 速度 RMS 均值见表 4, 由表可知: GL-S120 和 3T-120 两种地震计 UD 向 1/3 倍频程带宽 1 ~ 20 Hz 频带范围内的速度 RMS 均值小于 $3.16 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 。

4 地震计自噪声功率谱对比

计算地震计自噪声的方法采用目前较为广泛使用的三仪器法, 该方法的二阶张量表达式如下:

$$N_{ii} = P_{ii} - P_{ji} * \frac{P_{ik}}{P_{jk}} \quad (2)$$

式中: N_{ij} 为仪器的自噪声功率谱密度, P_{ii} 为仪器输出信号的自功率谱密度, P_{ji} 、 P_{ik} 和 P_{jk} 为仪器输出信号的互功率谱密度, $i, j, k = 1, 2, 3$, 其中 $i \neq j \neq k$ (尹昕忠, 2013)。

从 2019 年 2 月 ~ 3 月随机选取 16 天凌晨 00:00 ~ 01:00 连续一个小时的波形数据作为地震计自噪声计算样本。因地震计垂直向自噪声功率谱最能反映地震计的自噪声状况, 故计算 GL-S120 与 3T-120 两种型号地震计垂直向的自噪声功率谱密度曲线, 并进行对比分析。

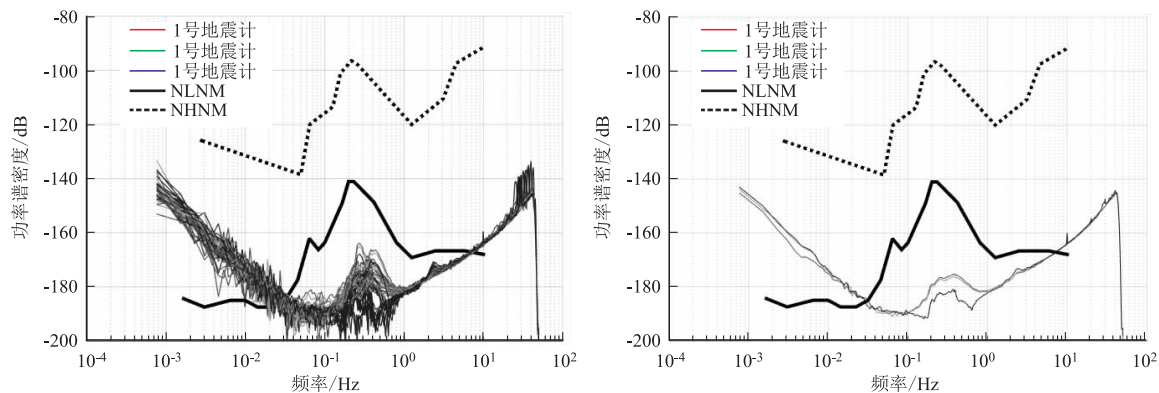


图 3 GL-S120 地震计 UD 向自噪声功率谱密度曲线

由图 3 ~ 5 可知:1)GL-S120 型号地震计在 0.03 ~ 6 Hz 频带范围内自噪声功率谱密度曲线低于 NLNM 曲线;3T-120 型号地震计在 0.03 ~ 10 Hz 频带范围内自噪声功率谱密度曲线低于 NLNM 曲线;2)0.1 Hz 以上频段和 0.03 Hz 以下频段, 3T-120 型号地震计自噪声功率谱在同一频点比 GL-S120 型号地震计略微偏低, 此结果与第 3 部分两种型号地震计台基噪声曲线所得结果基本一致。

由于地震计自噪声测试结果受多种因素影响, 而且不同仪器对环境噪声水平要求不同。对于宽频带地震计而言, 需要保证温度恒定, 防止空气流动。该测试未采取较好的保护措施, 忽略了外界干扰影响, 结果可能存在一定程度的偏差。

5 结束语

通过同址安装运行的 GL-S120 和 3T-120 两种型号地震计记录数据进行对比分析, 发现该两种型号地震

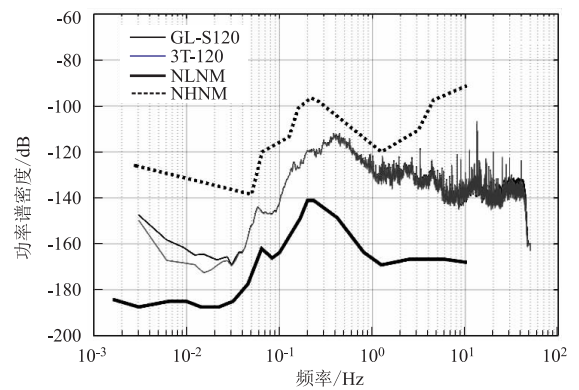


图 2 GL-S120 和 3T-120 地震计 UD 向台基噪声功率谱密度曲线

表 4 噪声功率谱计算结果

地震计型号	UD 向 1 ~ 20 Hz 速度 RMS 均值(m/s)	UD 向 1 ~ 20 Hz 加速度 RMS 均值(m/s ²)
GL-S120	2.71104e-008	4.29562e-010
3T-120	2.67779e-008	2.79384e-010

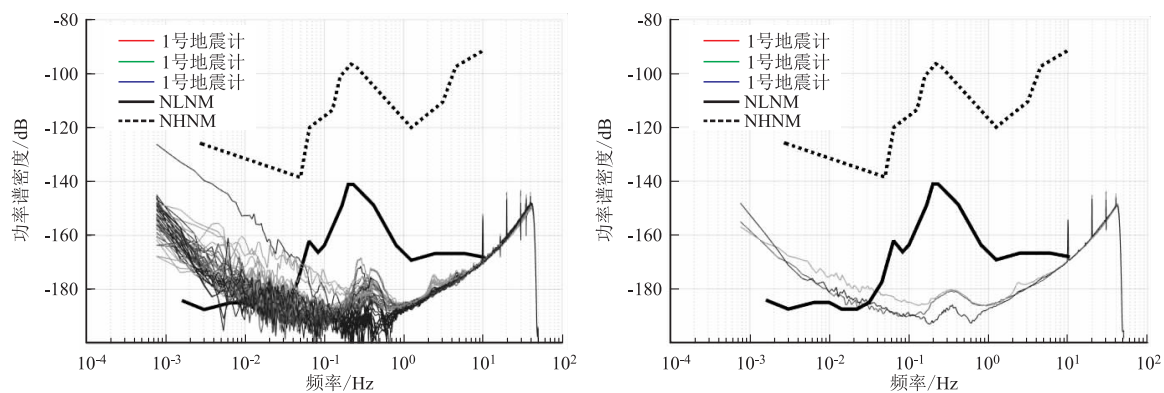


图4 3T-120地震计UD向自噪声功率谱密度曲线

计具有较好的一致性。具体为:1) GL-S120 和 3T-120 两种型号地震计记录数据相关性高,均能较好反应地动信息;2)两种型号地震计记录的台基噪声曲线走向总体一致,能真实记录台基的噪声水平;3) GL-S120 和 3T-120 两种甚宽频带地震计 UD 分向自噪声功率谱密度曲线在 0.03 ~6 Hz 频带范围内均低于 NLNM 曲线,均具有良好的地震计低噪声水平。

在整个测试过程中两种型号的地震计均未配置保温隔离设施,外界环境可能在一定程度上对计算结果造成影响。在以后工作中,要考虑为地震计配置保温、隔离设施,减少温度、湿度、空气气流在地震计工作过程中造成干扰。

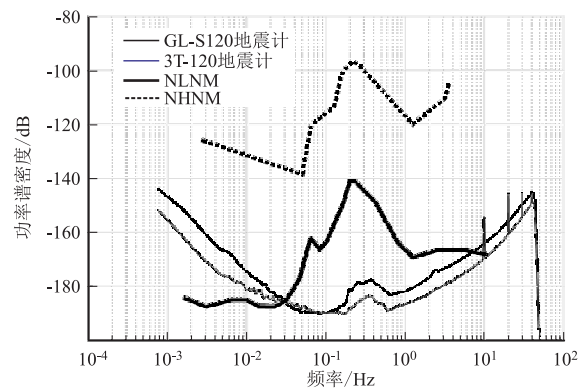


图5 GL-S120 VS 3T-120地震计UD向自噪声平均功率谱密度曲线

参考文献

段绍鑫,乌尼尔,李晓东等. 2019. CTS-1E、CMG-3ESPC-120 型地震计工作参数对比分析[J]. 地震地磁观测与研究,40(4):120-124.

段天山,袁顺. 2011. BBVS-60、CMG-3ESPC 型地震计工作参数对比分析[J]. 地震地磁观测与研究,32(5):109-114.

韩成成,王琐琛. 2016. CTS-1E 与 BBVS-120 型地震计性能对比分析[J]. 四川地震,3:23-27.

王凯,冯晖,刘财. 2012. Pearson 相关系数法快慢横波波场分离[J]. 世界地质,2012(2):371-376.

尹昕忠,陈久辉,李顺成. 2013. 流动宽频带地震计自噪声测试研究[J]. 地震地质,35(3):576-581.

Performance Comparison of GL-S120 and 3T-120 Very Wideband Seismometer

WU Shuang, LI Xiaohan, WANG Jiemin, WANG Liang
(Shandong Earthquake Agency, Shandong Jinan 250000, China)

Abstract: In this paper, the comparative observation of the GL-S120 and 3T-120 very wideband seismometers installed in the Maling Mountain Comparison Base in Linyi City, Shandong Province, is conducted to study the correlation, geodynamic noise, and actual dynamics between the two sets of observation systems. The performance differences of the observation range and seismometer self-noise provide a certain reference for future seismic monitoring and other related work.

Keywords: GL-S120, 3T-120, ground noise, seismic self-noise

山西北部地区中小地震重定位结果分析

刘林飞^{1,2}, 梁向军^{1,2}, 黄金刚^{1,2}, 宋美琴^{1,2}

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021;

2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030021)

摘要:利用山西省测震台网2010~2019年的观测报告数据,采用双差定位方法对山西北部地区 $M_L \geq 1.0$ 地震重新进行了精确定位。结果显示:震源位置定位误差EW向为0.491 km,NS向为0.469 km,UD向为0.807 km,定位后的均方根残差为0.242 s;重新定位后的地震震中平面分布与定位前的相比较,定位后的震中空间分布更加集中,沿断裂带展布,主要分布在大同盆地和忻定盆地,在两侧隆起区地震分布较少;重新定位后的深度比定位前更加合理,优势深度分布在6~25 km,基本发生在中、上地壳;7级历史强震破裂区内现今小震活动的频度较低、水平较弱,山西大同盆地中、小地震的活动性相对较高,应该引起重视。

关键词:中小地震;山西北部;重新定位

中图分类号:P315.5

文献标识码:B

文章编号:1001-8115(2020)04-0023-05

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.005

地震定位是指根据地震台站观测的震相到时数据,确定地震的基本参数(发震时刻、震源位置和震级),地震定位结果是开展地震活动性研究的重要基础信息。随着数字化观测技术的不断发展和地震台网密度的提高,科学家在地球内部结构与地震震源的研究也不断加深,对地震定位精度的要求也越来越高。常规的绝对地震定位方法由于受到一维速度结构的约束已经满足不了研究学者的需求,各种定位误差的存在直接影响到研究结果的可靠性(杨智娴等,2003;李乐等,2007)。因此Waldhauser等人(2000)提出了一种比绝对定位方法精度高、适用于比主事件跨度大的地震事件群体的相对定位方法——双差定位法。该方法在我国绝大多数地区已经得到广泛的应用(胡新亮等,2002;于湘伟等,2010;杨智娴等,2003;朱艾澜等,2005;靳玉科等,2008;宋美琴等,2012;吕坚等,2007),尤其是在一些强震序列(如汶川、九寨沟地震序列)的研究中,双差定位的研究成果(黄媛等,2008;房立华等,2018)为研究该区域的发震构造提供了更加准确的参考依据。

山西北部地区是历史上强震的多发区,有史料记载以来,该地区共计发生7级以上地震4次,最大为512年山西原平的7½级地震,其余3次分别是1038年定襄7¼级地震、1626年山西灵丘7级和1683年山西原平7级地震;6级以上地震1次,即1989年大同阳高6.1级,5级以上地震3次,即1991年忻州5.1级、1991年大同阳高5.8级和1999年5.6级大同阳高地震。大同阳高震区到目前为止仍有小震持续发生,胡新亮等(2002)认为这些中小地震的活动属于主震震源断层及其两侧岩体的继承性活动。近年来的研究成果显示,可以由现今小地震的群体活动特征来描述历史大地震震源断层的规模、产状和埋深(刁桂苓等,1999);利用地震稀疏段寻找凹凸体三维位置和闭锁段,并根据闭锁体体积估算未来地震强度(M7专项工作组,2012)。这些研究的前提都需要对中小地震的震源位置进行精确定位。因此,本研究将用双差定位法(Waldhauser R,2000;杨智娴等,2003;朱艾澜等,2005)对山西北部地区的中小地震进行重新定位,得到更加准确的震源参数,进一步探讨山西北部地区地震活动空间分布特征及其与构造活动的关系。

1 资料选取及方法

1.1 资料的选取

收集整理山西省台网中心2010年1月至2019年12月 $M_L \geq 1.0$ 地震的观测报告,筛选出北纬 $38^\circ \sim$

收稿日期:2020-09-20;修回日期:2020-11-12

基金项目:山西省地震局科研项目(SBK-2021)、中国地震局星火计划项目(XH20010)、预测所科研专项(2017IES010104和2017IES010105)、山西省科技厅项目(201801D221044)、2019年度震情跟踪专项工作任务(2019010106)资助。

作者简介:刘林飞,男,1977年生,工程师,主要从事测震仪器维护与分析工作。E-mail:liu_lf2013@126.com。

通讯作者:梁向军,女,1978年生,高级工程师,主要从事地震监测与分析工作。E-mail:liang_xj2005@163.com。

41°,东经 110°~115°研究区内 2649 条波形记录完整、定位残差较小的地震。选用表 1 中的速度模型,先采用 hypo2000 定位程序(Klein F W,2014)对筛选出的中、小地震进行绝对定位,获得初始定位结果,再利用双差定位方法(Waldhauser R,2000)进行相对定位,计算出这些地震的准确震源位置。

1.2 速度模型的选取

目前台网日常定位方法所用的速度模型是单一的一维速度模型;山西地区属于盆山组合区域,中间为断陷盆地,两侧为基岩隆起区,地壳结构存在横向不均性,单一的一维速度模型极大地影响了地震的定位精度。为了获得更加可靠的震源位置,通过综合分析山西北部地区地壳速度结构的多个研究成果(魏文博等,2007;张学民等,2003、2004;于利民等,1995;徐扬等,1997),并考虑到山西北部地区的中、小震多发生在盆地地区,最终选取了大同地区的山自皂台的多层 S 波速度结构作为初始速度模型(张学民等,2003)。

表 1 定位所用速度结构

地壳厚度/km	0	2	7	9	14	23	31	36	42	48
P 波速度 $v_p/km \cdot s^{-1}$	2.66	5.50	6.10	6.20	6.35	6.55	6.60	6.70	6.90	8.00

2 地震定位结果分析

2.1 定位结果

为了使研究资料更加可靠,本研究对所选观测报告的震相到时数据全部进行核对,将重新定位地震震相到时数据的平均误差控制在 0.1 s 以内。在重新定位过程中,选取地震观测台站 ≥ 3 个、观测到时数 ≥ 4 条、且震源间距 ≤ 10 km 的地震进行两两组合,最终计算出 2501 个地震的重新定位结果,其余 148 次地震是由于在反迭代过程中重新加权时与其它地震完全失去联系被程序剔除掉了。重新定位结果显示,震源位置定位误差在 EW 向为 0.491 km,NS 向为 0.469 km,UD 向为 0.807 km,定位均方差为 0.242 s。

2.2 地震震中分布特征

从重新定位前、后的地震震中分布来看,重新定位前地震的震中空间分布比较离散(图 1a),盆地和两侧隆起区均属于中、小地震频发区域;重新定位后的地震震中空间分布更加集中(图 1b),地震震中主要分布在大同和忻定盆地,在两侧隆起区地震分布较少,且绝大多数中、小地震沿断层走向成条带状分布,与断层的展布方向有较好的一致性,可以清晰地展现出地震活动与活动断层的关系。

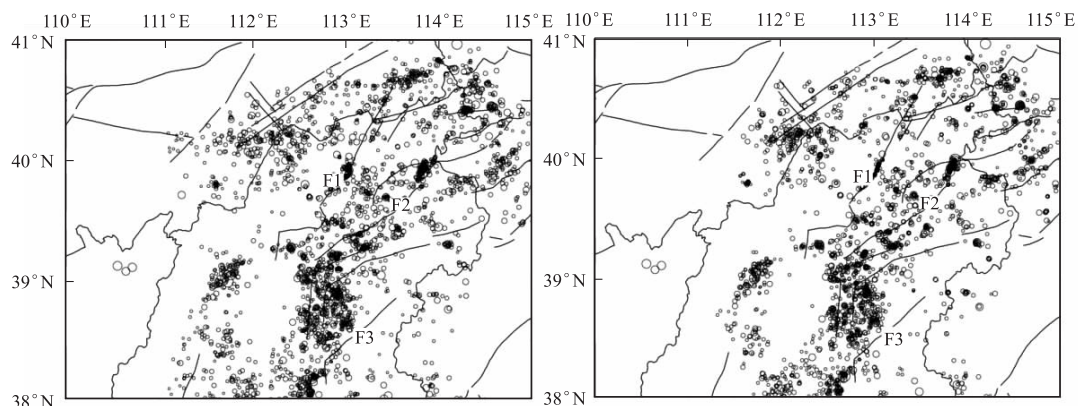


图 1 定位前、后的震中分布

图中 F1 表示口泉断裂,F2 表示恒山北麓断裂,F3 表示系舟山山前断裂

2.3 地震震源深度分布特征

图 2a、b 为重新定位前、后地震震源深度分布的直方图。重新定位前的震源深度值主要分布在 0~25 km(图 2a);0~5 km 地震数目为 489 次;6~10 km 地震数目为 1146 次,占地震总数的 43%;11~20 km 地震数目为 466 次;其余深度范围的地震事件数达 400 次,占地震总数的 16%。重新定位后的地震震源深度值主要集中在 1~25 km,0~5 km 范围内的地震数目由原来的 489 次减少到 236 次,6~10 km 范围内的地震数

自由定位前的 1 146 次变为 778 次, 11 ~ 15 km 范围内的地震由原来的 466 次变增加到 653 次, 地震优势震源深度范围为 6 ~ 25 km, 刻画了断层的深部展布情况。

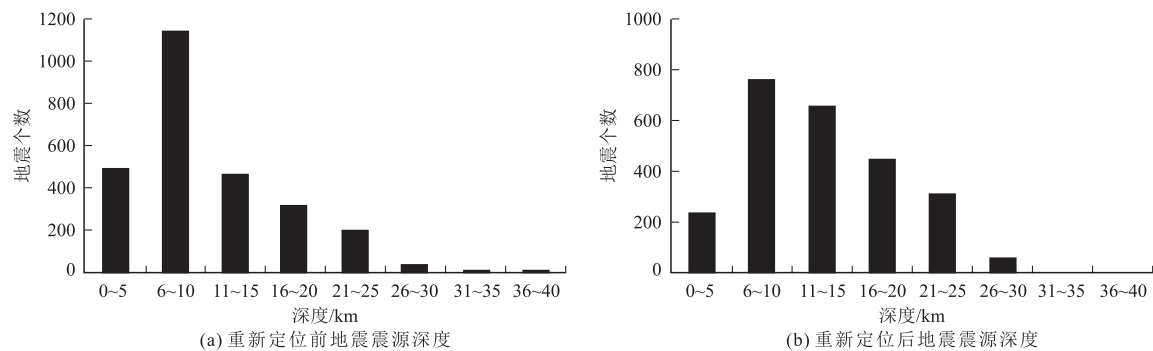


图 2 重新定位前、后地震震源深度对比

3 强震区中、小地震空间分布

山西北部地区包括大同盆地和忻定盆地。大同盆地由马营、怀仁、阳高、六棱和阳高五个凹陷组成, 忻定盆地由代县、原平和定襄三个凹陷组成。山西大同盆地位于山西北部地区, 属于比较年轻的断陷盆地, 盆地内沉积层厚度比山西中、南部地区的要薄, 盆地内曾发生过灵丘 1626 年 7 级地震, 火山活动在更新世纪也依旧存在 (Xu X W, 1993), 且在地震剖面上显示出低速带的特征 (邓起东等, 1973), 这些均表明该盆地内现今地质构造活动仍旧比较活跃。大同盆地的周边存在大同一镇断裂、团堡断裂和六棱山断裂, 20 世纪发生在山西大同至阳高一带的 3 次强震 (1989 年 6.1 级、1991 年 5.8 级和 1999 年的 5.6 级地震) 均位于这三条断裂的交汇部位。忻定盆地北接大同盆地, 南连太原盆地, 盆地边缘受活动正断层控制, 第四系构造活动具有不均一性、间歇性、突发性及周期性等特点。由于新构造运动的差异性, 使忻定盆地分割成大小不同、活动差异的块体, 在块体边缘是新构造运动发育和活动的地段, 也是地震活动的高发地段 (李建荣, 2013)。山西地震带有史料记载以来发生的 5 次 7 级以上强震有 3 次发生在山西北部地区, 分别为忻定盆地内的 512 年原平 7½ 级地震、1038 年定襄 7¼ 级地震和 1683 年原平 7 级地震 (图 3)。且已有的研究表明, 山西地区内几乎所有的破坏性地震均发生于盆地尤其大型盆地内, 而极少发生在断陷带的隆起区, 这是由于断陷带内断陷盆地新构造强烈动力所致 (苏宗正, 1980)。选取 512 年、1038 年、1683 年和 1626 年 4 次大地震等震线所包围的区域, 截取沿等震线长轴和短轴的剖面, 从深度剖面上了解其地震深部剖面特征。

由图 4a、b 可见, 从横穿 512 年 7½ 级地震等震线所包围的影响区域来看, 整个区域地震活动水平偏低 (以低震级的活动为主), 1970 年以来发生的最大地震震级仅为 4.2 级; 靠近主震的极震区下方 12 ~ 16 km 有一地震丛, 其地震分布密度相对较高外, 整个震区的中、小地震的分布都比较稀疏, 12 km 以上的震源区较深部明显地震偏少。已有研究多结合震源区多年小震活动、区域应力状态以及 GPS 近场运动速率来综合判定闭锁程度 (闻学泽, 2008; M7 专项工作组, 2012), 故针对这类地震稀少区域需进一步结合 GPS 等变化速率来综合判定是否处于闭锁或静止状态。从横穿 1038 年 7¼ 级地震和 1683 年 7 级地震等震线所包围的影响区域来看 (图 4c ~ f),

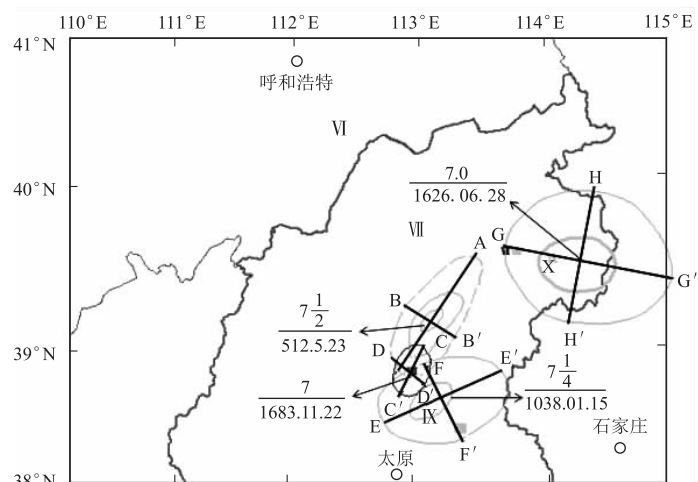


图 3 忻定盆地历史 $M \geq 7.0$ 地震等震线图及剖面位置图

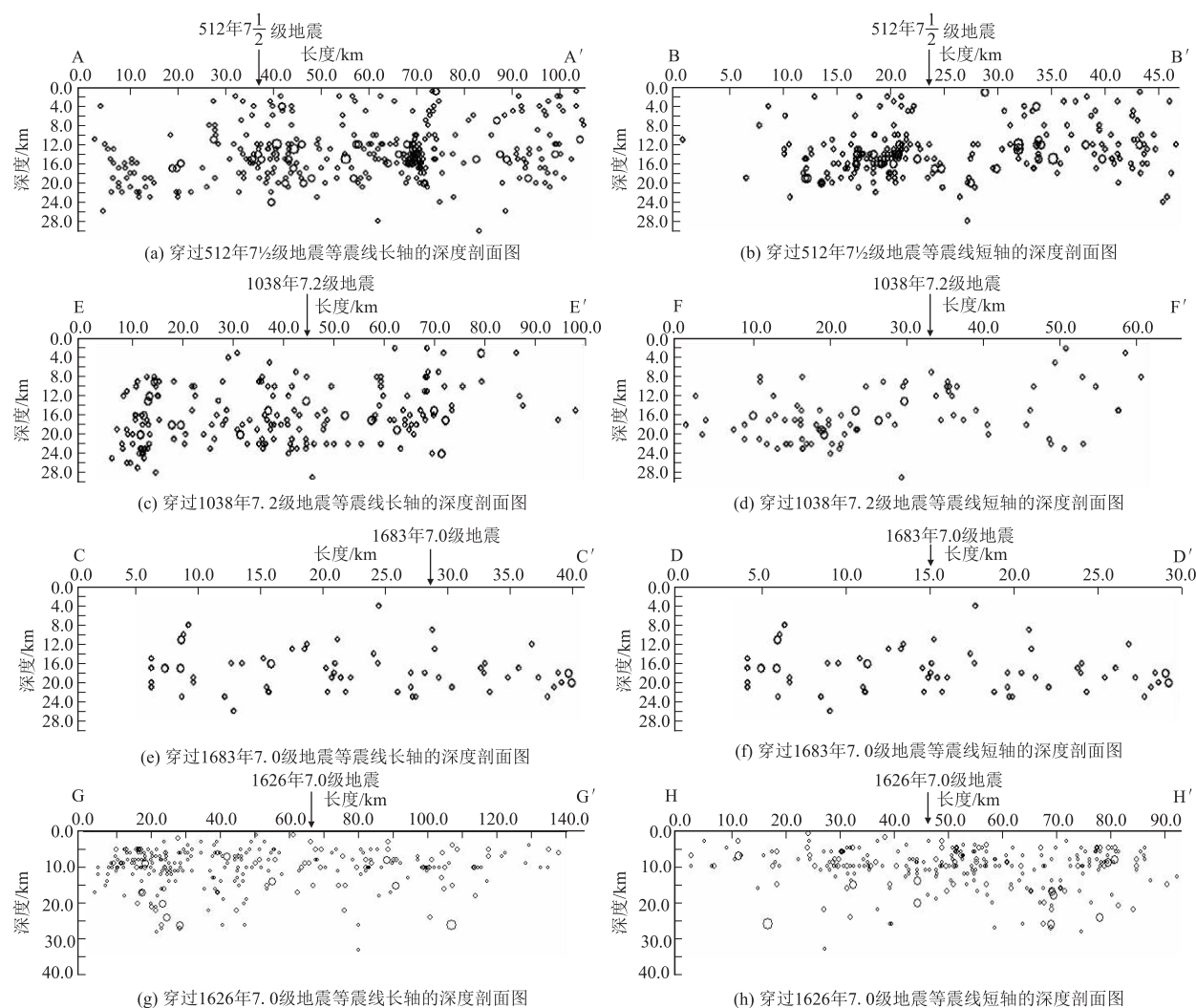


图4 512年、1038年、1626年和1683年四次大地震的深度剖面

整个区域活动频率较512年7 1/2级地震低,以低水平稀疏地震活动为主,1970年以来发生的最大地震震级为忻州5.1级,仅根据极震区下方10~22 km零星地震的分布看不出闭锁状态。灵丘1626年7级地震震源区以15 km以上的浅源小地震活动为主,区域地震活动水平偏低(以低震级的活动为主),复发强震的可能性不大。

山西北部地区近期没发生中强地震,仅2009年在原平发生过1次4.2级地震,估计与上述3次历史地震强度大、分布密度高,介质破裂比较彻底,后期微破裂不发育所致(宋美琴等,2012)。忻定盆地至大同盆地南端的多参数组合结果也说明忻定盆地处于偏低应力背景下,以中小震活动为特征,近期复发强震的可能性不大(梁向军等,2019)。

4 结论与认识

利用双差定位方法对山西北部地区2010年1月至2019年12月的2649次地震进行重新定位,通过重新定位结果分析,得到以下结论:震源位置定位误差EW向为0.491 km,NS向为0.469 km,UD向为0.807 km,定位均方差为0.242 s。重新定位后的地震震中分布相对定位前的更加集中,绝大多数地震成条带状分布,与断层的空间展布有较高的一致性,能清晰地展现地震活动与活动断层的关系。重新定位前,地震震源深度分布在0~40 km之间,重新定位后,地震震源优势深度分布在6~25 km,可以看出山西北部地区的中、小地震主要发生在上地壳内;山西大同盆地中、小地震的活动性相对较高,应该引起重视。

参考文献

- 邓起东,王克鲁,汪一鹏,等. 1973. 山西隆起区断陷地震带地震地质条件及地震发展趋势概述[J]. 地质科学, (1):37-47.
- 刁桂苓,张四昌,赵军,等. 1999. 用现今小地震研究历史强震的震源断层—以1830年河北磁县7½级地震为例[J]. 地震地质, (2):121-126.
- 房立华,吴建平,苏金蓉,等. 2018. 四川九寨沟 Ms7.0 地震主震及其余震序列精定位[J]. 科学通报,2018,63(7):649-662.
- 胡新亮,刁桂苓,高景春,等. 2002. 山西洪洞、临汾历史大震区现今地震的重新定位[J]. 华北地震科学, 20(2):10-14.
- M7 专项工作组. 2012. 中国大陆大地震中—长期危险性研究[M]. 地震出版社.
- 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.
- 靳玉科,范瑾,赵虎明,等. 2008. 双差地震定位法在山西中小地震精确定位中的初步应用[J]. 山西地震, (4):11-14.
- 梁向军,王霞,宋美琴,等. 2019. 鄂尔多斯地块周缘应力状态与强震危险性分析[J]. 中国地震,35(4):726-737.
- 李建荣. 2013. 分析忻定盆地第四纪活动构造特征[J]. 华北国土资源, (6):55-58.
- 李乐,陈棋福,陈颢. 2007. 首都圈地震活动构造成因的小震精确定位分析[J]. 地球物理学进展,22(1):24-34.
- 吕坚,倪四道,沈小七等. 2007. 九江—瑞昌地震的精确定位及其发震构造初探[J]. 中国地震,23(2):166-174.
- 宋美琴,郑勇,葛粲,等. 2012. 山西地震带中小震精确位置及其显示的山西地震构造特征[J]. 地球物理学报,55(2):513-525.
- 苏宗正. 1980. 山西断陷带地震活动的新构造背景[J]. 山西地震, (4):2-6.
- 魏文博,叶高峰,金胜,等. 2007. 华北地区地壳 P 波三维速度结构[J]. 地球科学,中国地质大学学报, 32(4):441-451.
- 徐扬,田勇,啜永清等. 1997. 大同—阳高 6.1 级震群震源区及其附近地区地壳三维 P 波速度结构反演[J]. 山西地震, (Z1):24-29.
- 杨智娴,陈运泰,郑月军,等. 2003. 双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用[J]. 中国科学(D 辑),33(增刊):129-134.
- 于利民,刁桂苓,李钦祖,等. 1995. 由深源远震体波记录反演华北北部地壳上地幔速度结构[J]. 华北地震科学,13(3):11-20.
- 于湘伟,张怀,陈运泰. 2010. 华北地区地震重新定位结果分析[J]. 大地测量与地球动力学, 30(2):29-33.
- 张学民,束沛镒,刁桂苓. 2003. 山西省部分台站下方 S 波速度结构研究及与地震关系探讨[J]. 地震学报, 25(4):341-350.
- 张学民,刁桂苓,束沛镒. 2004. 鄂尔多斯块体及其东南缘剪切波速度结构与波速比研究[J]. 中国地震, 20(1):53-63.
- 朱艾斓,徐锡伟,周永胜,等. 2005. 川西地区小震重新定位及其活动构造意义[J]. 地球物理学报,48(3):629-636.
- Klein F W. 2014. User's Guide to HYPOINVERSE - 2000; a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes. 1. 4 version[J]. Menlo Park; United States Department of The Interior Geological Survey:1-145.
- Waldhauser R, Ellsworth W L. 2000. A double difference earthquake location algorithm; Method and application to the northern Hayward fault, California[J]. Bulletin of the Seismological Society of America,90(6):1353-1368.
- Xu X W, Ma X Y, Deng Q D. 1993. Neotectonic activity along the Shanxi rift system, China[J]. Tectonophysics. 219(4):305-325.

Analysis of Relocation Results of Small and Medium Earthquakes in Northern Shanxi Province

LIU Linfei^{1, 2}, LIANG Xiangjun^{1, 2}, HUANG Jingang^{1, 2}, SONG Meiqin^{1, 2}

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

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Shanxi Taiyuan 030021, China)

Abstract: Based on the observation data of Shanxi seismograph network from 2010 ~ 2019, the relocation of $M_L \geq 1.0$ earthquake in the northern Shanxi Province was reperformed by using the double-difference location method. The results show that the EW error of epicenter location is 0.491 km, NS is 0.469 km, UD is 0.807 km, and the root-mean-square residual after relocation is 0.242 s. The spatial distribution of the earthquake epicenter after the relocation is more concentrated and distributed along fault zones, mainly in Datong basin and Xinding Basin, and less in uplift areas on both sides. The depth after relocation is more reasonable than before relocation, and the dominant depth is distributed in 6 ~ 25 km, which basically occurs in the middle and upper crust. The frequency and magnitude of small earthquakes in the rupture zone of magnitude 7 historical strong earthquakes are relatively low, and the activity of medium and small earthquakes in datong Basin of Shanxi is relatively high, which should be paid attention to.

Keywords: small and medium earthquakes; northwest Shanxi; the relocation

云南省红河地区断层气 CO₂ 观测及其 与地震关系初探

刘飞¹, 祁燕²

(1. 红河州地震局, 云南 蒙自 661199; 2. 弥勒市地震局, 云南 蒙自 652399)

摘要:通过对云南省红河州断层气 CO₂ 观测点 7 个震例资料进行分析, 发现 CO₂ 测值的变化与测点附近地区的中强地震有较好的相关性, 异常特征主要表现为偏离正常年动态和图升, 年变的异常一般出现在震前 4~6 个月, 而突升异常均出现在震前 5~40 天, 该结论可以作为地震的短临预测指标。

关键词:断层气 CO₂; 中强地震; 异常特征

中图分类号: P315.7

文献标识码: B

文章编号: 1001-8115(2020)04-0028-04

DOI: 10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.006

我们生活的地球是一个巨大的开放系统, 地壳放气现象是岩石圈和大气圈进行物质、能量、信息交换的一种重要形式, 在地震前能观测到地下 Rn、Hg、H、He、CO₂ 等活跃成分异常已被国内诸多震例证实(林元武等, 1998b), 因此这些成分作为地震前兆信息的观测一直在开展。CO₂ 在地球中的分布极为广泛, 在地球的各种动力学过程中, 地壳中的 CO₂ 会参与到其中, 其含量会发生明显的变化。在地震的孕育过程中, 由于应力的汇集常常导致地下岩石发生破裂, 释放出 CO₂ 气体, 所以 CO₂ 气体是表征深部物质运移的指示性气体, 它的释放规律能灵敏地反映地壳应力状态的变化(林元武等, 1998b)。对地壳中 CO₂ 含量的动态变化进行监测, 可以提取到地震的孕育信息, 对地震预测预报有重要的意义和价值(王基华等, 1994)。我国的断层土壤气监测工作开始于 20 世纪 80 年代。1988 年首先在华北地区试验研究了断层气 CO₂ 总量测定法, 该方法具有简便、价廉、干扰少及机动性强等特点(高小琪等, 2002)。王基华和林元武(1998a)在断层上采用简便、可靠、经济、易推广的快速测定管法分析 CO₂, 取得许多震前出现明显异常的实例, 如在张北—尚义地震前 12 天提出了较好的短临预报意见。多年的观测结果表明, 断层气 CO₂ 是一种很有发展潜力的短临预报参考指标。经过三十多年的改进与完善, 断层气 CO₂ 的观测方法日趋成熟, 已先后多次应用于地震前兆监测、隐伏断裂和地裂缝的现场探测, 目前 CO₂ 观测方法及其观测资料已经成为流体学科年度地震趋势研究和震情强化跟踪的重要判据之一(高小琪等, 2004)。

云南省是中国大陆地震活动最为频繁的地区之一, 开展断层气(壤中气)CO₂ 观测较早, 始于 1999 年, 至今已经 20 年, 积累了大量的观测数据和震例。云南昭通地区开展 CO₂ 观测相对较早, 在 2012 年彝良 5.6、5.7 级地震和 2014 年鲁甸 6.5 级地震前, 该地区的 CO₂ 观测数据变化出现了大量异常, 获得了较好的震例。地处小江断裂和红河深大断裂附近的红河哈尼族彝族自治州(以下简称“红河州”), 近年来为加强震情跟踪工作, 陆续建立了 10 个 CO₂ 观测点, 本文旨在利用这些观测点的资料提取地震预测可用的信息, 为今后的地震预测提供借鉴(上官志等, 1993)。

1 观测概况

1.1 红河州 CO₂ 观测方法

红河州的断层气 CO₂ 观测, 主要采用的是 CO₂ 测试管方法。在断层上遴选适合的观测位置, 打孔后埋设 PVC 管, 管下端 50~100 cm 打成筛眼(孔距 20~30 mm), 起到吸收集气作用, 形成观测井孔, 井孔口用胶

塞堵住密封,将CO₂测试管用细线拴好下至距孔底5~10 cm处进行测量。本观测法是累积测定法,每天定时下入井孔中一根CO₂测管,24小时后于第二天读取数值作为一天的观测值,同时同步进行了井孔温度、气象三要素等辅助测项观测。观测系统是由一支CO₂测试管、一个2 m左右深的观测孔和一个两探头温度计组成。

1.2 观测点基本情况

依据断层土壤气CO₂的观测方法,断层气CO₂埋测点的选取十分重要,测点应选择在活动断层破裂带上或紧邻破裂带的敏感地带,且地表为无覆盖的原生土为佳,观测效果会更好(林元武等,1994)。在实际选点时还需兼顾到距离较近、利于观测和便于环境保护等方面的因素。红河州的CO₂测点主要布设于红河断裂两侧,其中有6个位于断层区域的观测点和4个位于断层附近的观测点,测点具体情况见表1。

表1 红河州地区CO₂观测点情况表

序号	观测点	测点所处构造位置	埋深/m	埋点情况	开始观测时间
1	弥勒	弥勒—师宗断裂附近	2	地表松散风化回填土	2014.04
2	蒙自1	漾田—鸡街—蒙自断裂	2	破碎带砾岩土	2014.04
3	蒙自2	东山断裂	2	破碎带砾岩土	2019.07
4	个旧	红河断裂附近	2	破碎带砾岩土	2014.04
5	河口	红河断裂	2	破碎带砾岩土	2012.02
6	元阳	红河断裂	2	破碎带砾岩土	2014.04
7	绿春	大沙铺断裂	2	破碎带砾岩土	2012.02
8	红河	红河断裂	2	破碎带砾岩土	2012.02
9	金平	红河断裂附近	2	破碎带砾岩土	2018.07
10	屏边	东山断裂附近	2	破碎带砾岩土	2018.07

2 观测资料与映震分析

2.1 正常年动态特征

除蒙自2和金平、屏边测点的资料较短,还未能认识他们的正常变化形态外,其余7个测点,近6年观测的数据显示,红河州大部分断层气CO₂具有明显的年变规律,测值与温度呈正相关,存在夏高冬低的年动态变化规律,也有少部分为负相关和无明显相关性。正常动态的高低值之间是渐变关系,而不是突变(见图1)。CO₂观测的年变规律与地下的生物化学作用有关(王基华等,1994)。

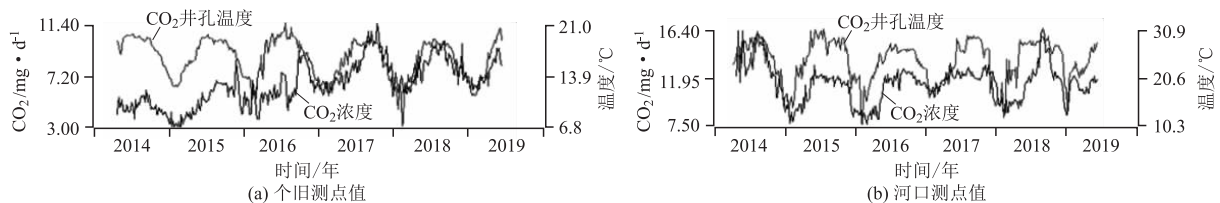


图1 红河州CO₂测值

2.2 异常特征

已有震例测点的CO₂异常主要表现为突升、突降和打破正常年动态,这一特征与前人给出的CO₂异常的识别标志基本相同(王基华等,2000)。在近6年的观测时间里,红河州测点周边200 km内分别发生了2016年个旧4.6、4.7级和2018年通海5.0、5.0级以及墨江5.9级地震。3组地震前CO₂均观测到了异常,其异常与地震对应情况见表2。个旧4.6、4.2级地震前的异常主要是破坏正常年动态,通海2次5.0级地震和墨江5.9级地震前,异常主要表现为破坏正常年动态和突变(见图2、图3)。从表2可见,破年变的异常,主要出现在震前4~6个月,而突变异常主要出现在震前5~40天,异常形态为测值突升。由于通海2次5.0级地震距墨江5.9级地震的时间间隔不到1个月,因此就破年变异常而言,没有办法区分2次地震所对应的异常,但从突升情况看,绿春和元阳测点在通海地震后新出现了突升变化,因此认为震后的突升异常可能是新地震的反应。此外在破年变异常中,3组地震的异常均显示震中距近的测点异常开始时间比远的要早。

表2 红河州 CO₂ 异常与地震对应关系一览表

地震	发震日期	观测点	震中距/km	异常超前时间/d	异常类型
个旧 4.6、4.7 级地震	2016-05-06	个旧	<10	161	破年变
		元阳	43	121	破年变
		红河	87	162	高值破年变
通海 5.0 级地震	2018-08-13	蒙自1	105	120	破年变
		河口	211	15	突升
墨江 5.9 级地震	2018-09-08	红河	74	187	高值破年变
		蒙自1	105	116	破年变
		绿春	86	10	突升
		元阳	116	5	突升
		河口	255	40	突升

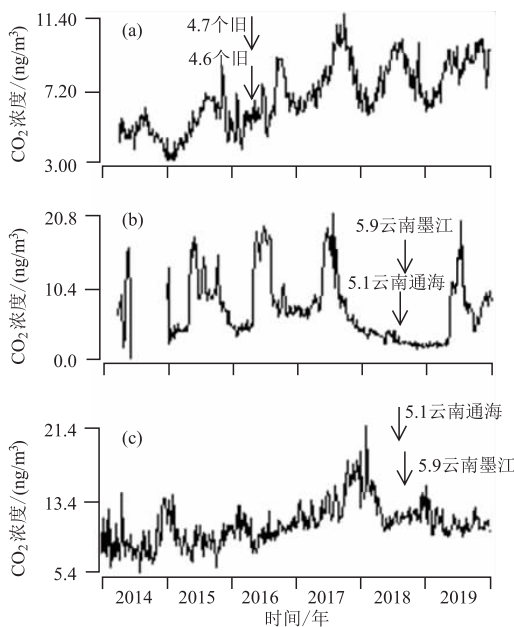


图2 红河州 CO₂ 破年变异常

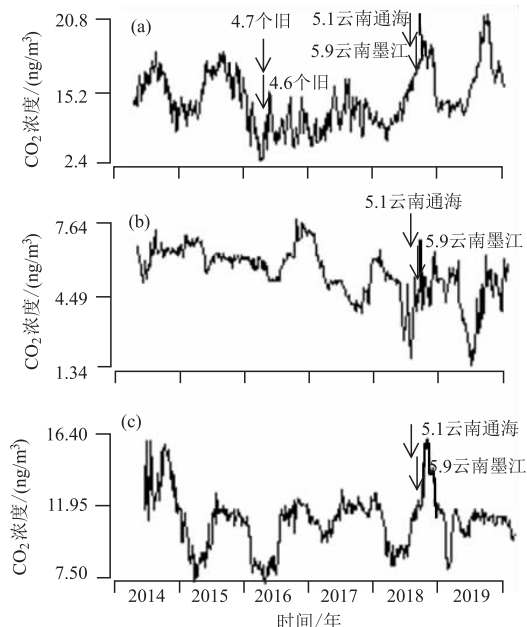


图3 红河州 CO₂ 突变异常

3 结论与讨论

(1)红河州7个观测时间段内有地震发生的测点观测数据显示,除弥勒测点外,其余的测点在震前都出现过异常,异常特征主要表现为偏离正常年动态和突升,偏离年变异常主要出现在震前4~6个月,突升异常出现在震前5~40天内,因此CO₂突升可以作为红河州有地震的短临异常指标。(2)断层气CO₂观测异常显著,从原始曲线上直观的就能识别。从前述震例看,偏离年变异常距离震中近的测点出现比远的早。(3)在已有的3组震例中,震级越大,出现异常的测点越多,特别是短临异常。(4)在重点监视区布设较密集的CO₂观测台阵对震情跟踪有很好的指示意义。(5)断层气CO₂观测具有简便、价廉和有效等特点,观测方式对经济欠发达地区的地震部门开展地震预测不失为一种好方法,值得推广。

参考文献

高小其,王道,许秋龙,等. 2002. 二氧化碳快速测定方法的应用研究浅析[J]. 内陆地震,16(1):76-83.
 高小其,王海涛,赵建政,等. 2004. 地震危险区短临跟踪的一种有效观测手段[J]. 华北地震科学,22(1):31-37.
 林元武,刘五洲,王基华,等. 1998a. 张北尚义地震现场二氧化碳测量与震后趋势判断[J]. 地震地质,20(2):117-121.
 林元武,王基华. 1998b. 断层气CO₂测定新方法 with 张北—尚义6.2级地震预报[J]. 地震,4(1):16-21.
 林元武,翟盛华,范树全,等. 1994. 隐伏断裂不同深度二氧化碳异常特征研究[J]. 华北地震科学,12(3):36-42.
 上官志冠,刘桂芬,高松升. 1993. 川滇块体边界断裂的二氧化碳释放及其来源[J]. 中国地震,9(2):146-153.

王基华,林元武,高梧升,等. 2000. 1998年怀来后郝窑断层气二氧化碳变化特征分析[J]. 西北地震学报,22(1),28-32.
王基华,王亮,孙风民,等. 1994. 断层气动态特征及其与地震活动关系[J]. 地震,3(3):59-63.

The Anomalies Characteristics of CO₂ in Fault Gas and its Relation to Earthquakes in Honghe, Yunnan Province

LIU Fei¹, QI Yan²

(1. Honghe earthquake department, Yunnan Mengzi661199, China;

2. Mile earthquake department, Yunnan Mile661199, China)

Abstract: In yunnan honghe fault gas CO₂ observation point 7 earthquake examples data analysis, found the CO₂ measurement value with the change of moderately strong earthquakes in the region near the station has good correlation, anomaly characteristics mainly for deviating from the normal annual dynamic range, annual variation anomalies generally appear in the annual of 4~6 months before the earthquake, abnormal jump in 5~40 days before the earthquake, these can be used as a short-term and impending prediction of earthquake indicators.

Keywords: CO₂ in fault gas; moderate earthquake; anomalies characteristics

关于地震行政管理法治化的思考

李纪恩^{1,2}

(1. 防灾科技学院,河北 三河 065201;2. 中共中央党校,北京 海淀 100091)

摘要:在新时代背景下,全力推进地震行政管理法治化是开创防震减灾事业新局面的根本路径,也是实现防震减灾事业现代化的必由之路。在地震行政管理法律制度方面,形式法治层面的要求已基本满足,但应通过转变立法思维、树立权利保障意识,强化政务公开、保障公众合法知情权,保障公众参与、提高行政管理民主程度等方式加速实质层面的法治化进程。在地震行政执法方面,应着力健全地震行政执法依据,规范执法程序和方式,强化执法监督和问责,建设高标准、高能力、高素养的执法人员队伍,推进地震行政执法法治化。在地震行政规范性文件行政监督审查方面,可以通过“清好旧的、管好新的”方式,建立地震行政规范性文件动态清理制度,注重事前集中审查,以及做好地震行政规范性文件合法性审查的保障等工作等途径,进一步提升地震行政管理法治化水平。

关键词:地震;行政管理;法治化

中图分类号:D922 文献标识码:A 文章编号:1001-8115(2020)04-0032-04

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.007

地震行政管理法治化是通过法律规范对地震行政管理的各项活动、各个环节进行科学有效的调节,将地震行政管理行为中关于防御和减轻地震灾害的方法、协调手段、行为方式等行为实现制度化、规范化和程序化,并使得这些法律规范在地震行政管理活动得到有效实施和普遍遵守。地震行政管理法治化是在新时代背景下开创防震减灾事业新局面的根本路径,是实现防震减灾事业现代化的必由之路,是法律的制定、实施和保障机制的有机统一。

1 地震行政管理法律制度分析

完善的法律制度是实现地震行政管理法治化的首要前提。地震行政管理法律制度的完善程度应从形式法治层面和实质法治层面两个层面进行衡量。从形式法治层面看,我国防震减灾法律体系已经形成,可以为地震行政管理工作提供较为充分的保障和支持,但仍需要加强地震重点监视防御区的专门立法、国家层面地震预警管理立法等工作。从实质法治层面看,法治之“法”,要求我国地震行政管理法律规范不仅齐备,还应具备较好的“良善度”,体现对权利的保障性和对权力的制约性特征。结合中国地震局的职能职责具体分析,地震行政管理活动主要集中在灾前防治阶段。在此阶段,应充分保障的权利主要包括公民、法人和社会组织的知情权;获得基本的防震减灾训练,提高避险救灾技能;在防震减灾活动中的参与权等方面(黄智宇,2018)。

基于上述分析,完善地震行政管理法律制度除了加强相关立法工作之外,从关注权利保障的角度看,在今后的防震减灾法律规范修订过程中应注重以下方面:

第一,转变立法思维,树立权利保障意识。个人和社会组织积极参加防震减灾活动不仅是其所负的义务,同时也是他们的权利。在今后修法时,建议转变立法思维,将个人和社会组织参与防震减灾活动的行为作为一种权利兼义务性行为加以对待和考虑,把行政指导、行政服务融入地震行政管理过程,全力打造防震减灾全社会共建共治共享局面。

收稿日期:2020-10-09;修回日期:2020-10-19

基金项目:中国地震局重大政策理论与实践问题研究课题(CEAZY2019ZL02)。

作者简介:李纪恩(1977-),女,中共中央党校博士生,防灾科技学院副教授,从事政府法治管理研究。E-mail:uibelijien@163.com。

第二,强化政务公开,保障公众合法知情权。虽然近年来地震行政机关政务公开工作成效显著,但仍不能满足地震行政管理法治化的要求。比如,存在一些地震行政机关的工作人员信息公开意识比较淡薄,公开的信息存在错误,影响了信息公开的效度等问题。应严格按《关于全面推进政务公开工作的意见》和《〈关于全面推进政务公开工作的意见〉实施细则》的要求,继续强化政务公开工作。除按照国家法律法规不予公开的外,对地震行政管理领域内的政务信息主动进行全面、准确和及时的公开,主动接受社会监督。当前阶段,应将重点监视防御区的划定范围等紧要信息向社会公开。同时,应切实做好政务公开的保障工作,就政务公开信息平台建设和维护、政务公开激励机制、政务公开培训和考核问责机制等制定具体的实施规范。

第三,保障公众参与,提高行政管理民主程度。保障权利和约束权力,应确保政府行使的权力在人民监督之下(王名扬,2016)。监督的主要形式除了行政公开之外,还要保障公众对行政管理过程的参与。首先,地震行政管理法律规范应明确保障个人和社会组织对于防震减灾活动的参与权,对参与的主体、环节、参与内容和参与形式、权利和义务等进行明确规定。其次,地震行政机关应该对个人和社会组织的参与行为进行适当的引导和给予积极的回应,做好行政公开工作,为个人和社会组织参与提供多种有效和畅通的渠道。再次,应加强宣传教育,培养个人和社会组织对防震减灾活动的参与意识,同时通过一定的激励机制调动他们的积极性。

2 地震行政执法的实践与反思

地震行政执法是指国务院地震工作主管部门和县级以上地方人民政府负责管理地震工作的部门或者机构依据防震减灾法律、法规和规章规定,按照法定权限和程序实施的具体行政行为。地震行政执法可以通过制定相关行政规范性文件、实施行政处理(行政许可、行政确认等)、进行行政检查和行政处罚等多种途径实现。根据“放管服”改革要求,地震工作部门目前的地震行政执法职权主要包括地震行政许可、地震行政检查、地震行政处罚三类。从总体上看,地震行政执法数量最多的是地震行政检查事项。地震行政执法中的行政许可事项不断趋于弱化,此类事项的执法案件量非常少。在地震行政处罚事项中,执法案件量最多的是对侵占、毁损、拆除或者擅自移动地震监测设施、危害地震观测环境行为的行政处罚,并且在执法实践中,很少有行政处罚、行政诉讼案例,大多在监督、检查、指导和协调环节解决问题。

地震行政管理法治化必然要求地震行政执法法治化,要求地震行政执法活动应符合法治理念,实现执法活动的公开化、规范化、程序化和责任化;要求地震行政执法依据要充分、执法方式要科学、执法程序要规范,执法人员要尽责。

第一,健全地震行政执法依据。执法依据是行政执法人员在开展执法活动时不可或缺的参照标准或依据。现行地震行政执法所能依据的法律规范是不足的。《地震行政执法规定》(1999)由于久未修订,存在过于陈旧、表述性错误,执法程序规范过于简单等情形,应予以适时修订。同时,应以部门规章或行政规范性文件等法律形式制定规范性依据,用以指导和规范地震行政指导、行政监督、行政合同等非强制性行政执法行为,具体包括:规范行政指导、行政监督、行政合同等非强制性行政行为的概念、适用范围、实施条件等实体内容。其中,应规定在地震监测设施和观测环境因重大工程建设时,无法避免其受到破坏的情形下,才可以使用补偿合同来代替行政处罚,并非所有的情形都适用。应明确规定行政指导、行政监督、行政合同等非强制性行政行为的适用程序,比如在地震监测设施和观测环境被破坏,签订迁建、改建、增建补偿协议时,应当怎样进行实地勘验、检查,如何进行评估确定补偿合同标准,签订补偿合同后如何实施。

第二,规范执法程序和方式,强化执法监督和问责。中国地震局《关于印发中国地震局全面推行行政执法公示制度执法全过程记录制度重大执法决定法制审核制度实施意见的通知》是实现地震行政执法法治化的强有力“助推器”。在编制《地震行政执法工作指南》时,应严格规范各种地震行政执法事项的详细程序和执法流程,保证程序合法适当、符合比例原则等基本法治原则要求,进行法律风险点明示,关注公民合法权利保障。应建立民主、科学、文明的执法程序和全过程记录并公开的地震行政执法方式。应注重任务落实,依据《关于推行行政执法责任制的若干意见》,强化监督管理和责任追究,以达反向督促的成效。

第三,建设高标准、高能力、高素养的地震行政执法队伍。法律是一个由各种相互联系、相互依赖的法律规范构成的有机整体,且法律适用完全是一种创造性的复杂劳动(姜明安,2017),所以执法人员的法律意识和法治观念,以及掌握法律知识的深浅决定着地震行政执法的质量。要推进地震行政执法法治化,应出台相应的规范要求,通过提高录用要求和培训等方法,提高执法人员的法律素养。

3 地震行政规范性文件的合法性审查

地震行政规范性文件是指各级地震行政机关为贯彻实施法律、法规和规章,依职责权限制定的,在一定范围内适用,并具有普遍约束力文件的总称。地震行政规范性文件的合法性审查是实现地震行政管理法治化的可靠保障。国务院办公厅《关于加强行政规范性文件制定和监督管理工作的通知》和《关于全面推行行政规范性文件合法性审核机制的指导意见》为开展和推进地震行政规范性文件行政监督审查工作,建立地震行政规范性文件合法性审查机制提供了基本遵循。在实践中,地震行政规范性文件行政监督审查工作可以通过“清好旧的、管好新的”的途径进行。

第一,建立地震行政规范性文件动态清理制度。目前,只有部分地震行政机关开展了地震行政规范性文件的清理工作,并及时公开了相关信息。应及时建立地震行政规范性文件动态清理制度,制度具体内容应包括行政规范性文件的区分标准;进行清理的条件,比如定期清理的时间,不定期清理的条件;是否需要清理的判断标准;需清理行政规范性文件的处置方式;清理结果及时公开的要求;向上级地震行政机关进行报备的要求等。

第二,注重事前集中审查方式。相较于事后备案审查而言,行政规范性文件的事前集中审查方式更有助于增加行政规范性文件的民主性和合法性,减少执行阻力和降低执行成本。所以,地震行政机关应注重地震行政规范性文件的事前合法性审核。地震行政机关的法制工作机构应依据国务院办公厅《关于全面推行行政规范性文件合法性审核机制的指导意见》,在事前对地震行政规范性文件就制定主体是否合法;是否超越了制定机关法定职权;内容是否符合宪法、法律、法规、规章的规定;是否存在违法设立行政许可、行政处罚、行政强制、行政征收、行政收费等情形;是否存在没有法律、法规依据作出减损公民、法人和其他组织合法权益或者增加其义务的情形;是否存在没有法律、法规依据作出增加本单位权力或者减少本单位法定职责的情形;是否违反规范性文件制定程序等方面,进行严格审核,并根据不同情形提出合法、不合法、应当予以修改的书面审核意见。

第三,做好地震行政规范性文件合法性审查的保障工作。主要包括制度方面的保障和人员方面的保障。首先,要完善相关法律制度。当前地震行政规范性文件内部监督审查的直接法律依据不足,《地震行政法制监督规定》(2000)和《地震行政规章制定程序规定》(2000)对地震行政规范性文件的行政监督审查主体、审查方式和后续处理等方面进行了规定,但是过于简略。而《地震行政复议规定》(1999)中更是未将行政规范性文件的附带审查制度纳入。建议依据《行政复议法》和参照相关规定,对部门规章进行修订。其次,还应通过培训、招聘等多种途径,提升实施合法性审查工作人员的法律业务能力。最后,应将规范性文件合法性审核工作纳入省级地震行政机关的考评指标体系。

4 结束语

党的十九大将“法治国家、法治政府、法治社会的基本建成”确立为到2035年基本实现社会主义现代化的重要目标。法治政府建设是建成法治国家的重要且最为关键的组成部分,地震行政机关应该按照法治政府建设的要求,将“法治”的要求落实和贯彻于实际工作之中,努力实现地震行政管理的法治化。地震行政机关应该持积极进取态度,在地震行政管理法律制度、地震行政执法、地震行政规范性文件合法性审查方面采取有力措施主动加速本行业管理法治化进程。

参考文献

黄智宇. 2018. 论防灾减灾的权利路径[J]. 法学论坛, 33(2): 125 - 132.

王名扬. 2016. 美国行政法(上)[M]. 北京大学出版社, 169.

姜明安. 2017. 行政法[M]. 北京大学出版社, 308.

On the Earthquake Administration Ruled by Law

LI Jien

(Party School of the Central Committee C. P. C. , Beijing Haidian 100091 , China)

Abstract: Under the background of the new era, promoting the earthquake administration ruled by Law is the fundamental way to create a new situation of earthquake prevention and disaster reduction, and is the only way to realize the modernization of earthquake prevention and disaster reduction. In the legal system of earthquake administration, the requirements of formal rule of law have been basically met. However, we should speed up the process of legalization at the substantive level by changing legislative thinking, establishing awareness of rights protection, strengthening the openness of government affairs, protecting the public's legitimate right to know, ensuring public participation, and improving the degree of democracy in administrative management. In the aspect of administrative law enforcement, we should focus on improving the basis of administrative law enforcement, standardize the procedures and methods of law enforcement, strengthen the supervision and accountability of law enforcement, build a team of law enforcement personnel with high standard, high ability and high quality, and promote the legalization of administrative law enforcement. In the aspect of administrative supervision and review of seismic administrative normative documents, we can further improve the level of rule of law in the Earthquake Administrative by means of "clearing the old and managing the new", establishing a dynamic cleaning system of earthquake administrative normative documents, paying attention to centralized review in advance, and ensuring the legality review of earthquake administrative normative documents.

Keywords: earthquake; administrative management; rule by law

台站测震资料干扰分析处理软件研究

何思源, 李贵元, 刘华姣, 钟李彬, 徐文海
(四川省地震局成都地震基准台, 四川 成都 611730)

摘要:针对台站测震资料中的各类干扰,研究了一款基于 MATLAB 开发的测震资料干扰分析处理软件。该软件以快速傅里叶变换、希尔伯特-黄变换、小波变换和速度功率谱估计作为基础分析方法;以 FIR 滤波器、小波变换去噪作为基本处理手段,能够快速分析与处理测震资料中的干扰。

关键词:测震资料;软件开发;MATLAB;波形干扰

中图分类号:P315.31 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2020)04-0036-06

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.008

地震观测是研究地震和地球内部结构的重要手段,也是地震学理论体系建立和发展的重要基础,数字地震记录已成为现代地震研究的基石(李兴泉等,2018)。目前,MSDP 软件广泛应用于台站,该软件提供了波形分析功能,缺少波形干扰处理功能,无法满足实际工作要求。虽然通过滤波程序可以达到滤掉部分干扰的效果,但整体缺乏综合分析处理能力,难以推广应用。地震波形中包含了众多的信息,其中不乏各种干扰,这些干扰对数字地震记录的质量造成了影响,便会对于震相的识别与分析造成干扰,为测震分析工作增加难度和工作量,因此如何快速有效地完成对干扰的去除就显得十分必要。本研究基于 MATLAB 开发了一款测震资料干扰分析处理软件,其内部不仅集成了快速傅里叶变换、希尔伯特-黄变换、小波变换、速度功率谱估计这些分析算法,还包括了不同类型的去噪方法,可以满足装配速度型地震计台站观测资料的干扰分析与处理需求。

1 总体设计思路

如何去除地震波形中的干扰信息,保留其有效信息,首先需要了解有效信息和干扰的特点,才能正确地将二者加以区分。傅里叶变换、希尔伯特-黄变换、小波变换和速度功率谱估计则是整个“波形分析”功能的基础,整体流程如图 1 所示。“波形处理”采用的是 FIR 滤波器和小波去噪两种方法,FIR 滤波器由于具有线性相位的特性而被广泛使用,小波变换去噪实质是软阈值去噪法。阈值法去噪的优点是噪声几乎完全得到有效抑制,且反映原始信号的特征尖峰点也得到很好的保留,能够使估计信号实现最大,均方误差最小化,即去噪后的估计信号

是原始信号的近似最优估计。小波变换具有时频局部化特性、多分辨特性、去相关特性和选基灵活性的特点(周宇峰等,2008)。前两个性质决定了小波变换去噪相比传统方法具有独特的优势,是信号处理的得力工具。在利用小波变换分析和处理信号时,不同领域的学者对如何选取合适的小波基有不尽相同的看法,而且对同一信号选取不同的小波基进行处理时会出现完全不同的结果(张华等,2011)。因此,需要根据信号的特点,采取折衷的办法进行小波基的选取(高玉宝等,2008)。软件中给出了一些常用类型的小波基供用户

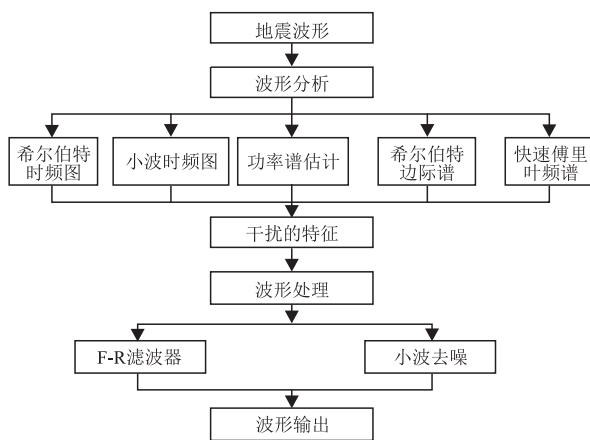


图1 波形分析与处理总流程

收稿日期:2020-03-10;修回日期:2020-09-01

基金项目:四川省地震局科技专项(LY2015).

作者简介:何思源(1991-),男,理学硕士,工程师,主要从事测震工作,E-mail:1184003037@qq.com.

进行选择,如图 2 所示。

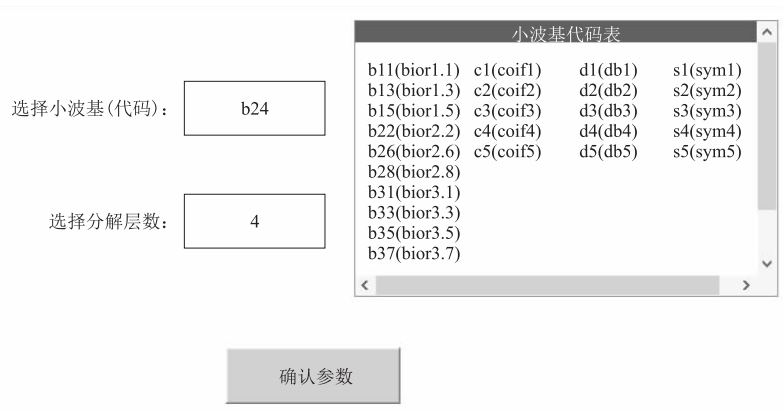
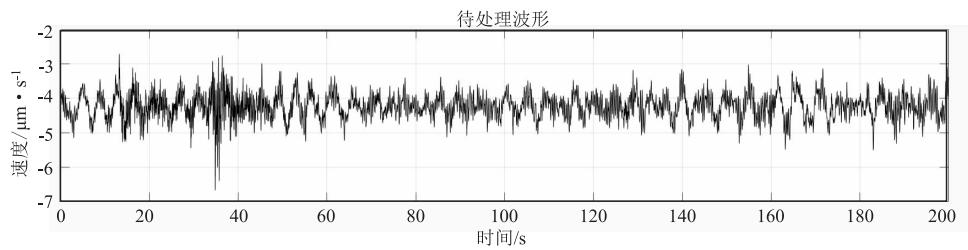
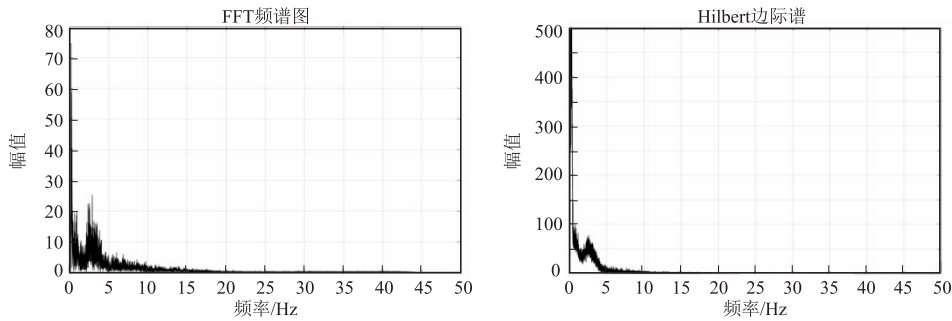


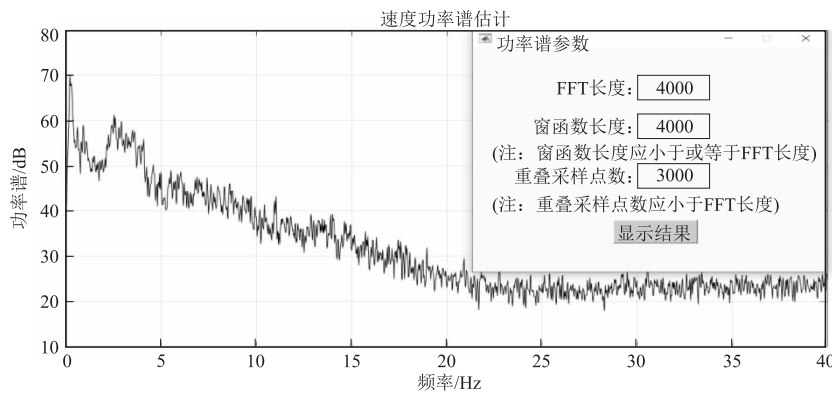
图 2 软件所提供的小波基类型



(a) 待处理地震波形



(b) FFT频谱图与希尔伯特边际谱



(c) 速度功率谱估计

图 3 波形分析功能示例

2 功能演示

2.1 干扰的分析

选取成都地震台 JCZ - 1T 地震计记录的 2016 年 7 月 27 日 19 时 59 分四川平武 2.5 级地震垂直分向波形数据,见如图 3a。选择“波形分析”功能中的“频谱分析”功能,可以分别得到 FFT 频谱图和希尔伯特边际

谱,如图3b所示。“Welch速度功率谱”可以根据设置不同的参数(FFT长度、窗函数长度、重采样精度)得到相应的速度功率谱估计图,如图3c。根据FFT频谱图及希尔伯特边际谱可知,在2~4 Hz的频率区间内存在较高的幅值,而速度功率谱估计也在此区间出现了高幅值。

为了研究该2~4 Hz的频率区间所表示的内容,文中首先采用FIR滤波器对地震波形中的2~4 Hz频率范围进行带阻滤波,以此研究2~4 Hz频率范围是否与地震波形中的干扰有关。选择软件中的“带阻滤波器”功能,通过设置通、阻带频率,便可以实现带阻滤波,如图4所示。滤波前后的对比结果显示:滤除2~4 Hz频率范围的干扰后,干扰被压制的效果十分明显,原始波形中的“毛刺”干扰也得到了有效的改善,表明滤除的2~4 Hz频段正是干扰所在的频率范围。

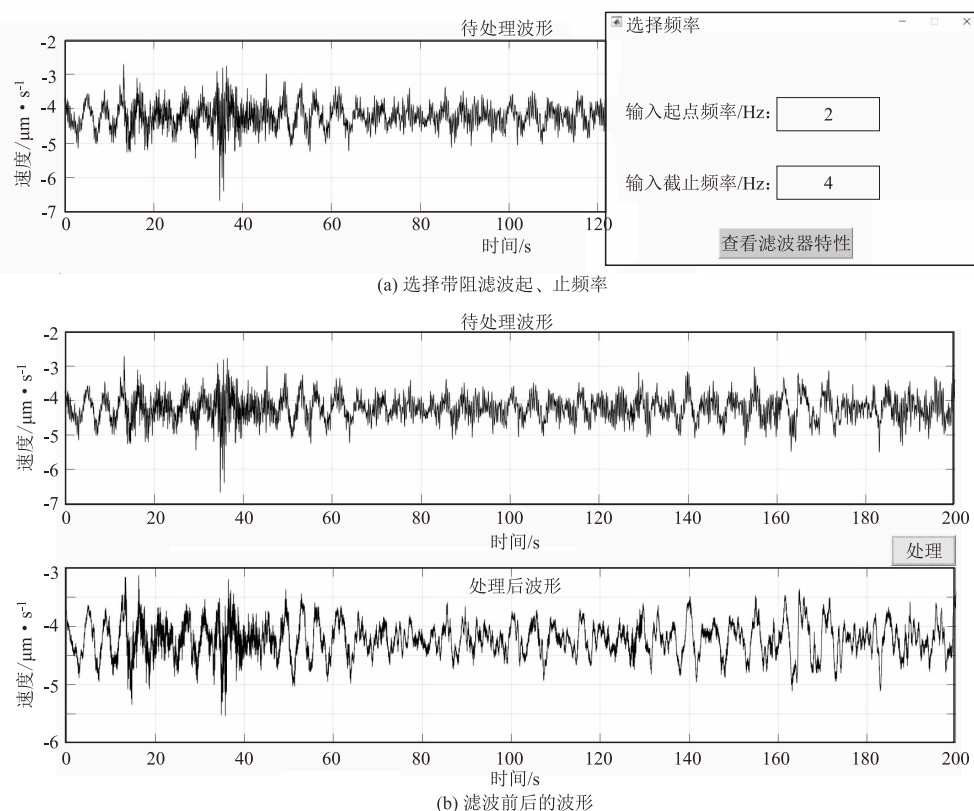


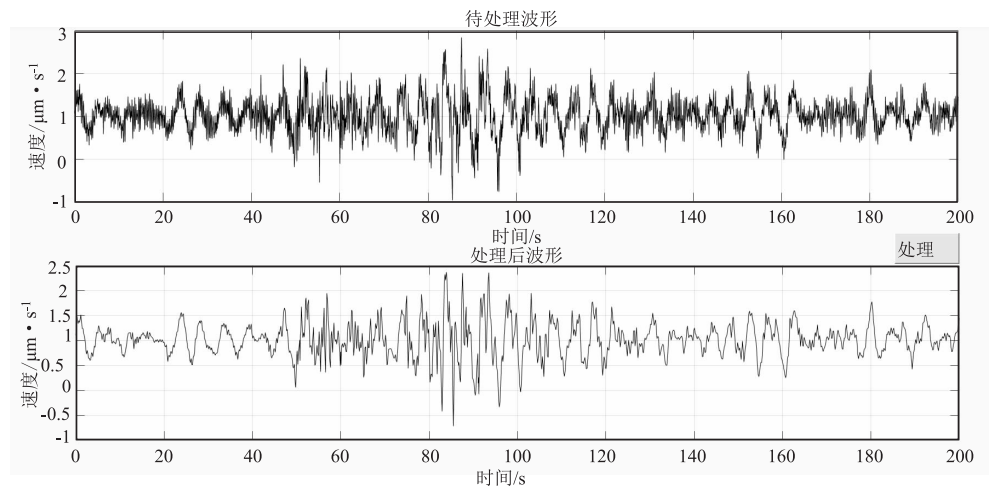
图4 带阻滤波前后波形

2.2 干扰的处理

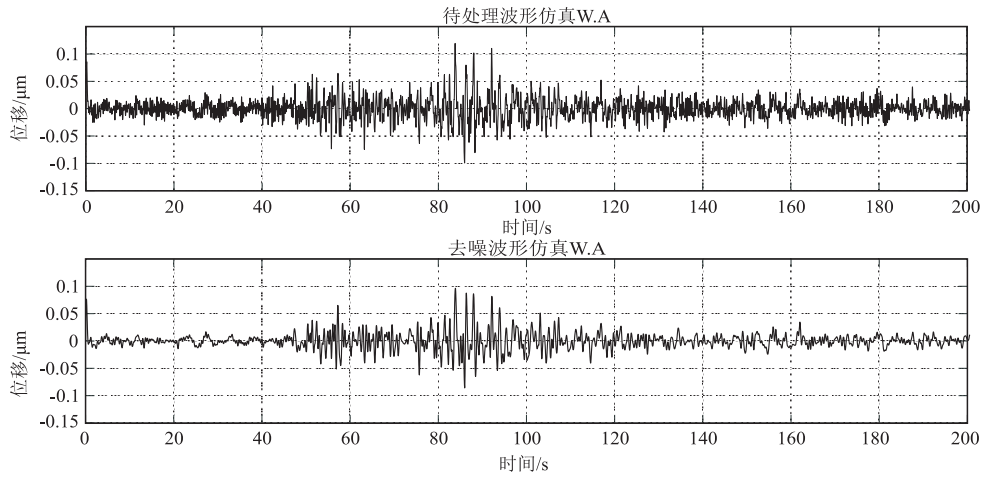
选取成都地震台 JCZ-1T 地震计记录的 2017 年 12 月 10 日 08 点 14 分九寨沟 2.9 级地震记录作为处理实例。原始波形自身存在明显的波形“毛刺”,同时波形中还存在高频干扰信息,可以采用小波去噪和 2~4 Hz 带阻滤波法综合去除噪声的办法进行处理,其中 2~4 Hz 带阻滤波法是为了消除测震资料中的日常普遍性干扰(何思源等,2019);再将处理的结果进行仿真,如图 5 所示。其中,小波去噪法选择的小波基为 bior2.4 小波,因为 bior2.4 小波基重构精度高,去噪效果良好,能够更加完整地保留了有效信号(何思源等,2019),其分解层数为 4。原始波形经过处理后,“毛刺”及高频干扰得到了有效的压制,仿真后波形的垂直方向上原本被干扰所掩盖的初至震相变得清晰可辨,信噪比得到了明显的提升。

3 实例应用

由于经济发展、城市规模扩大以及交通建设等对部分台站的观测条件产生了影响。泸州地震台由于地处市区且长期受到周边城建施工的影响,台站观测数据整体呈“昼差夜良”的特点,如图 6 所示。泸州地震台的观测数据质量保持“昼夜一致”对提高该地震台测震数据质量有着积极的意义。分别选取一段 2019 年 3 月 12 日泸州地震台白天和夜晚记录的波形数据进行波形分析。通过“波形分析”功能中的“频谱分析”可



(a) 去噪处理前后波形质量对比



(b) 去噪处理前后波形仿真

图 5 去噪前后波形及仿真结果

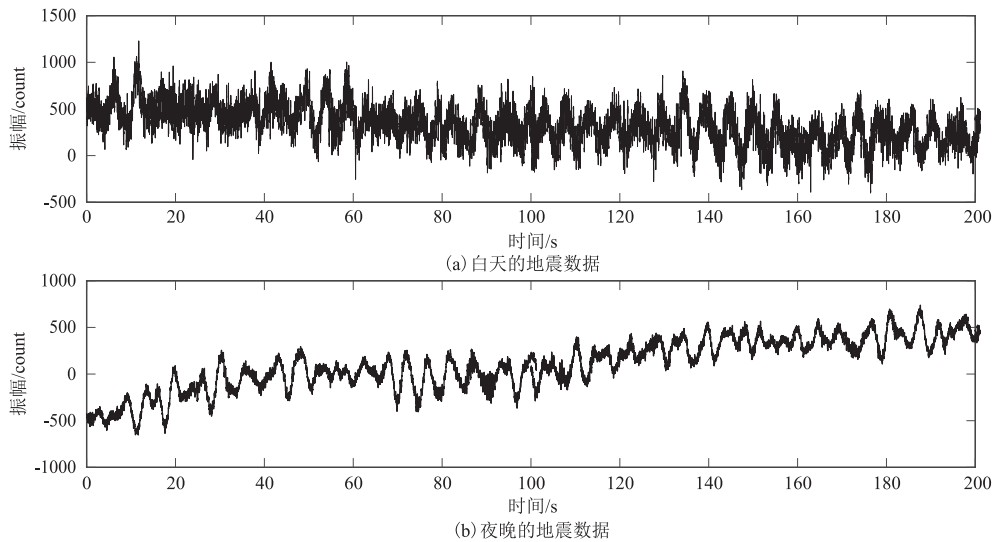


图 6 泸州地震台波形数据

以分别得到白天和夜晚观测数据的 FFT 频谱图,白天相比夜晚主要在高频段具有更高的幅值水平(见图 7),再采用小波去噪与滤波器相结合的方式进行处理。结果表明,白天的观测数据去噪处理后,波形质量得到明显改善,能够与夜晚的观测数据质量保持一致,如图 8 所示。

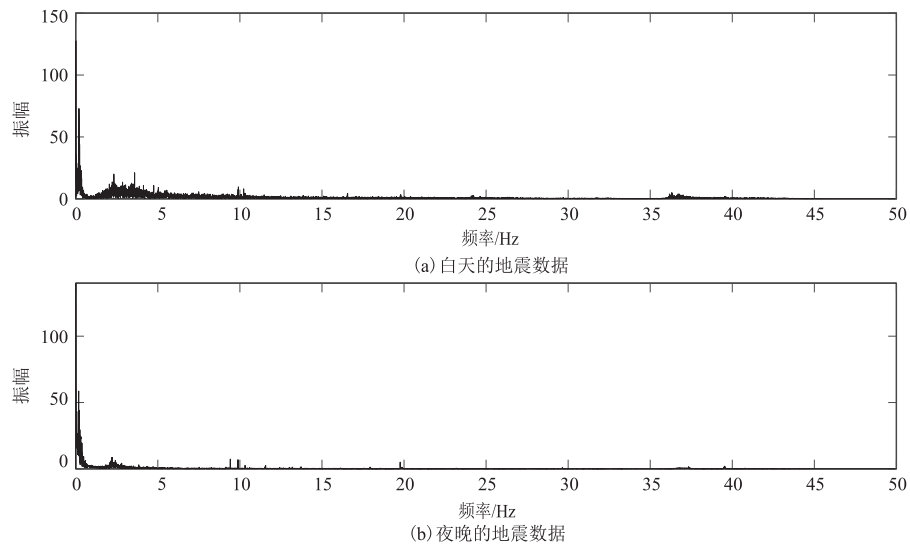
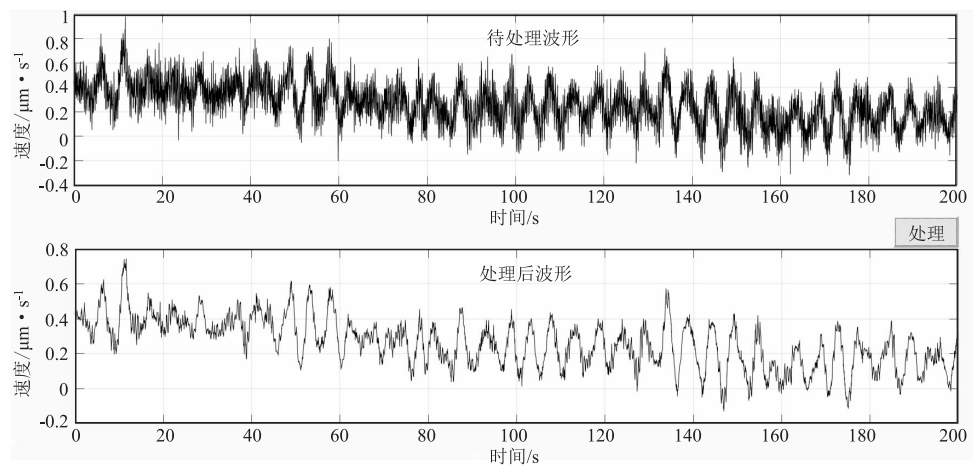
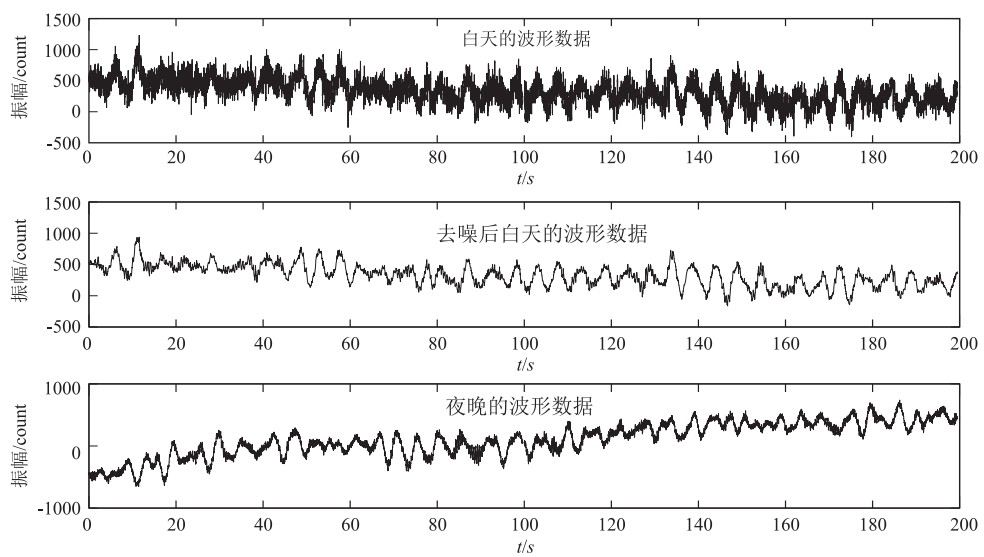


图7 泸州地震台白天及夜晚波形数据 FFT 频谱图



(a) 去噪质量前后波形质量对比



(b) 去噪后白天、夜晚数据质量对比

图8 泸州地震台去噪前后波形质量对比

4 疑似普遍性干扰提示功能

此项功能的作用是通过记录用户使用带阻滤波器滤除的频率区间,当某一频率区间累计出现了20次,那么软件会自动将其识别为“疑似普遍性干扰”,并及时提醒用户注意此频率区间信息的干扰。该功能的原理是用户在第一次使用“带阻滤波器”功能时,会在D盘自动建立一个文件夹且命名为“滤波器结果文件”,里面会自动生成一个名为“带阻滤波”的Excel表格并记录下本次所选择滤除的频率区间。之后用户每使用一次“带阻滤波器”功能,软件都会对选择处理的频率区间进行记录并统计出现的次数。当有一组频率区间第20次出现在Excel表格中时,软件就会弹出消息提醒框,提示用户注意该频率区间。例如,软件在进行带阻滤波处理时,用户有20次选择滤除2~4 Hz的频率区间,那么软件便会弹出提示信息,如图9所示。

5 认识与讨论

在测震资料干扰分析处理软件的开发和使用过程中,有以下几点认识:

(1)软件的核心是“波形分析”与“波形处理”功能。“波形分析”将傅里叶变换、希尔伯特-黄变换、小波变换和速度功率谱估计作为基础,对于测震资料中的干扰能够实

现时域、频率的分析;“波形处理”功能以FIR滤波器及小波去噪为手段,能够去一般的干扰信号。(2)“疑似普遍干扰频率”提示功能作为附加功能,可以及时地为用户反馈测震资料中可能存在的普遍性干扰,提示用户对干扰产生的原因进行核实。(3)在实际应用中分析地震波形中存在的干扰,并能进行有效的处理,改善波形数据的质量。(4)经过分析发现,成都地震台测震资料中普遍存在频率区间为2~4 Hz的干扰,需要对该频段可疑干扰源进行核实。

参考文献

- 高玉宝,查代奉,江金龙. 2008. 一种新的最优小波基选择准则及其应用[J]. 通信技术, 41(11):185-187.
 何思源,李贵元,刘华姣,等. 2019. 最优小波基选择法在测震数据干扰处理中的研究与应用[J]. 华南地震, 39(3):49-56.
 何思源,李贵元. 2019. 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, 33(1):82-88.
 李兴泉,吴朋,邵玉平,等. 2018. 数字地震仪频响特性与地动噪声功率谱计算[J]. 地震地磁观测与研究, 39(1):96-101.
 周宇峰,程景全. 2008. 小波变换及其应用[J]. 物理学和高新技术, 37(1):25-26.
 张华,陈小宏,等. 2011. 地震信号去噪的最优小波基选取方法[J]. 石油地球物理勘探, 46(1):71-73.



图9 “疑似普遍性干扰频率”提示功能示例

Research of Interference Analysis Processing Software for Seismic Data

HE Siyuan, LI Guiyuan, LIU Huajiao, ZHONG Libin, XU Wenhai

(Chengdu Seismic Standard Station, Earthquake Administration of Sichuan Province,
Sichuan Chengdu 611730, China)

Abstract: The software is based on MATLAB, aiming at the situation that seismic data of stations are affected by various frequency interference. Fast Fourier transform, Hilbert-Huang transform, Wavelet transform and Power spectrum of speed are the basis of the analysis method. Wavelet filtering with FIR filter is the basic means of processing. The software has ability to quickly analyze and process interference in seismic data. The development of the software will provide convenience for the seismic measurement and analysis work of the station, which has positive significance for the future seismic measurement work.

Keywords: seismic data; software development; MATLAB; interference

西昌川-03井水位异常核实与分析

芮雪莲, 官致君, 杨耀, 杨鹏

(四川省地震局, 四川成都 610041)

摘要:针对西昌川-03井出现大幅水位下降异常进行了现场核实,调查了该台站自然环境、人为干扰、观测系统,并在现场进行水位校测和人工读数对比观测分析,并综合分析同一台站的其他测项及邻近台站水质的分析结果,分析判定此次水位下降异常是由于台站水位观测系统故障引起,非地震前兆异常。

关键词:川-03井;水位异常;干扰

中图分类号:P315.72 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-8115(2020)04-0042-04

DOI:10.13716/j.cnki.1001-8115.2020.04.009

地下流体观测是众多地震地球物理场观测手段之一,多年观测实践及研究证明,中强地震发生前震区部分观测井会出现明显的地下水异常变化,这主要是由于在区域应力作用下,地壳介质受到力的作用发生形变破坏时,介质中的流体在动力作用、热力作用、化学作用下发生动态变化(孙小龙,2016)。我国地震地球物理场观测系统经历“九五”“十五”项目改造后水位观测已大部分实现数字化,有信息量大、传输快等优点,为捕捉地震短临异常信息提供了有利条件(张素欣等,2002),但是由于数字化水位观测容易受到环境、气候及观测仪器等综合影响,如何在各种因素共同作用下识别和排除干扰,获取有效的地震异常信息是目前地震监测预报亟需解决的重要问题。本文对西昌川-03井在动水位观测中出现的异常通过现场核实及综合分析该地区其他台站地球物理场观测资料,对异常性质做出判定,对该区域内今后的异常核实及干扰信息的排除具有参考意义。

1 台站和观测概况

西昌川-03井构造上处于则木河断裂带北段,该断裂带为一条左旋走滑断裂带,全长120 km(杜平山,2000a),自北向南分为李金堡断层、大箐断层、扯扯街断层、松新断层、大同断层5个次级断裂,其中距离观测井最近的李金堡断层全新世以来的平均滑动速率为6.20 mm/a,至今仍具有一定活动性(杜平山,2000b)。川-03井属于深层基岩承压自流井,2014年12月16日成井,井深708.84 m,设计井身结构为:井深0~20 m 钻孔直径为171 mm,井深20~50 m 钻孔直径为150 mm,井深50~300 m 钻孔直径为130 mm,井深300~550 m 钻孔直径为110 mm,井深550~700 m 钻孔直径为94 mm。井口水体温度33℃,井口最大出水量约为420 m³/d。观测含水层位于井下548.71~683.13 m,采用筛管结构,其它井段采用标准地质套管封闭浅层地下水。观测含水层岩性为白垩系泥岩及砂岩。西昌川-03井目前台站共部署地下流体观测设备4套共10个观测项目,其中水位、水温观测采用的是中科光大数字化地下流体监测设备(ZKGD3000-N),气氮、测氦仪器型号为郑州晶微DDL-1、WGK-1型数字化仪器。

2 水位下降异常概述

2019年3月26日该井水位缓慢波动上升,在3月30日和4月3日分别出现了小幅的台阶上升,幅度分别为1.9 cm和4.5 cm。4月8日动水位转折呈下降趋势,至4月12日水位下降至0.420 m,下降幅度约为

收稿日期:2019-06-11;修回日期:2020-01-03

作者简介:芮雪莲(1990-),女,工程师,主要从事地震地下流体相关工作,E-mail:scdzaru@163.com,

5.3 cm。4月8~18日水位基本维持在0.420 m,4月19~21日水位又出现上升,自3月26日到4月21日,水位累计上升约14.8 cm。4月22日数据变化为下降趋势,4月30日动水位数据已低于近年来最低值,至5月2日,水位累计下降幅度约为20 cm,下降幅度较大(见图1),之前并未出现过此类大幅下降的异常。为明确本次异常变化的真实性及成因,按照异常识别成因、空间、时间及强度相关性的原则进行异常现场调查和分析。

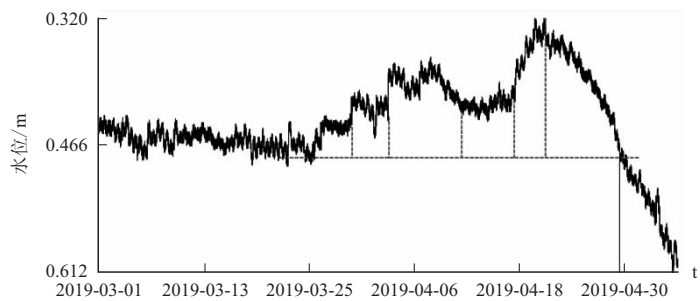


图1 西昌川-03井水位分钟值曲线

3 异常调查及分析

3.1 台站自然环境及人为干扰调查

自然环境对水位观测的影响主要表现在降雨及气压方面,实践表明,降雨前后的气压急剧波动、强降雨等气象因素对水位观测有一定的影响(龚永俭等,2016)。春季为西昌地区少雨季节,且03井观测段埋藏较深,降雨难以直接引起大幅水位变化,同时,降雨作为地下水补给方式的一种,应该会导致水位上升而不是下降,故可认为此次水位变化与降雨无关。西昌川-03井位于兴川镇的兴川中学旁,其东侧为林地,台站外围均为葡萄田,经现场调查农田灌溉采用农业用水,与03井的观测水层无水力联系。观测房外侧为宏观观测池,宏观观测池用水与观测井相通(见图2)。根据本次调查访问,台站看守人员近期并没有打开过水阀,且若是人为开关水阀,水位应为快速下降然后恢复,近期水位下降几乎为匀速且持续下降,由此可见本次水位下降非环境因素或人为开关水阀等因素造成。



图2 西昌川-03井周边观测环境

3.2 观测系统检查及水位校测

(1)观测系统检查。川-03井观测点数字化地下流体监测设备(ZKGD3000-N)采用直流电供电,经检查人员核查,该井电压符合观测系统供电要求,供电系统工作正常。此外,数采、通信指示灯信号状态、探头插孔、主板和网络接口等部件工作状态良好。由此可判定,仪器记录及数据传输系统工作正常,但水位探头是否处于正常工作状态仍无法确定,故需要进一步对水位校测进行判定。

(2)水位校测及结果分析。2019年5月2日现场核实人员利用钢卷尺对该井的动水位值进行人工校测,校测值误差为0.0008 m,小于0.01m,人工校测结果合格,经计算分析,初步认为仪器不符合水位观测技术要求,需送厂家重新标定。此外,核实人员现场将此次水位数据与4月18日测量动水位值进行对比分析,发现二者水位差约为3 cm,而仪器在该时间段内的动水位差为17.1 cm,二者水位降存在较大差异,具体数据见表1。

基于前期及本次人工与仪器水位测量数据对比分析发现,在14天的时间里,两差值应为零,但仪器读数与人工读数相减后的差值为0.1398 m,仪器采集数据计算得水位降约为人工测量水位降的6倍,为保证人工量测的

表1 现场校测水位数据对比表 单位:m

序号	人工读数		仪器读数	
	4月18日	5月2日	4月18日	5月2日
1	0.164	0.195	0.3593	0.5262
2	0.165	0.196	0.3616	0.5262
3	0.166	0.193	0.3463	0.5267
4	0.164	0.191	0.3558	0.5236
5	0.165	0.193	0.356	0.5198
均值	0.165	0.194	0.3557	0.5245

备注:人工读数数值为观测井副管玻璃管管口到动水位液面的距离,仪器读数为该井仪器测量基准面到动水位液面的距离,因此二者之间数值存在差值。4月18日仪器数值的均值与人工读数的均值差0.1907 m,5月2日为0.3305 m。

准确性,现场校测人员三人重复测量,经复核计算,人工测量数据准确无误且校测误差符合要求。基于以上分析可认为观测仪器观测数据存在问题,可能是仪器偏差较大。为进一步确认仪器测值大幅偏差原因,决定在观测井副管中安装对比观测仪器,以验证现有观测系统稳定性。

3.3 异常分析

川-03井水温探头在此次异常出现之前已存在故障,故在此不再进行对比分析。气氦、气氮及川-32井的各个测项均无异常,本节主要就对比观测与原有仪器数据进行分析讨论。对比观测采用仪器与原有仪器为同型号水位观测仪器(中科光大 ZKGD3000-N 型),放置深度为井口以下 3.5 m。根据近 5 天的对比观测数据分析发现,原有仪器水位在 5 天内水位累计下降约 10.6 cm(见图 3),对比观测仪器动水位变化平稳,日变明显,幅度约为 1.8 cm,水位在 0.22 m 附近周期性波动,动水位变化平稳,无趋势下降现象。从图 4 分析可知,原始仪器观测数据与对比观测数据变化曲线可以看出二者均有明显的日变形态,不同的是,原始仪器数据曲线在日变形态上同时叠加了趋势下降,为进一步定量分析原始仪器观测数据趋势,利用 5 月 4 日仪器稳定参数后的分钟值进行一阶线性拟合,并去趋势(见图 4),趋势一阶线性拟合方程为 $y = 0.000012782x + 0.5605$,即根据计算 4 月 22 日后原始仪器趋势下降速率为 1.8 cm/d。原始观测数据经去趋势后与对比观测的曲线变化动态一致,但由于原始仪器与对比观测仪器测量基准面不一致,故二者在水位数值上存在差异。

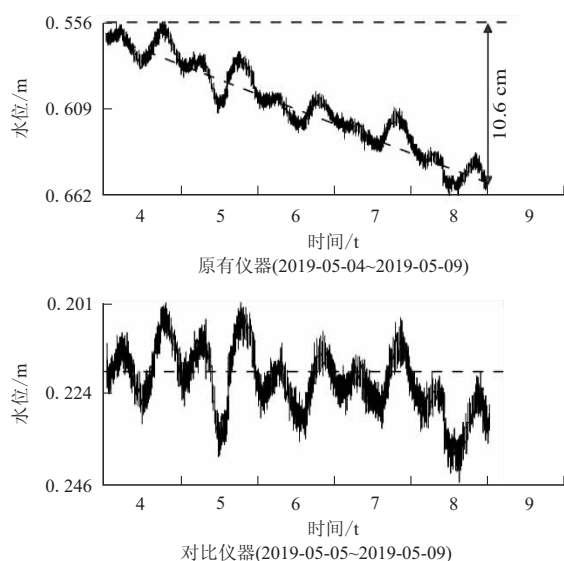


图 3 川-03 井水位分钟值观测对比曲线

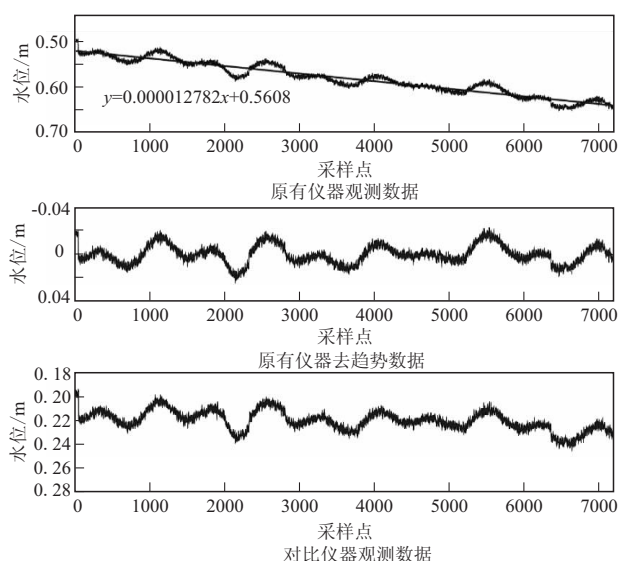


图 4 川-03 井水位对比观测曲线(分钟值)

西昌川-03 井地下流体监测设备采用中科光大 ZKGD3000-N 型,其原理为将传感器置于井水面以下一定深度,当水柱高度变化时,压力传感器上的压力敏感元件受压而产生微弱的电压变化,通过电路放大,把随井水位变化引起的电信号传输到主机中采用绝压式压力传感器,仪器采取气压测值参与计算的方式进行气压补偿,测出水柱高度(穆慧敏等,2018)。该仪器最佳工作深度为 0 ~ 10 m,川-03 井动水位探头放置深度为 15 m,虽然在仪器工作量程范围(0 ~ 30 m)之内,但是有研究结果证明在其他观测条件不变的条件下,井水位的零漂大小与传感器埋深呈正相关,即传感器埋深越大,零漂幅度趋势越大(杨鼎鸿等,2013),由此可能造成仪器零漂累计,故放置深度超出仪器最佳工作深度可能是导致该井观测仪器出现问题的原因之一。

西昌川-03 井与川-32 井同属则木河断裂带观测井,二者直线距离约为 7 km,川-32 井近期水位、水温变化正常,无明显波动。2019 年以来该井动水位维持在 1.620 m,水温维持在 24.30 ℃ 左右,二者变化同步,且日变幅均较明显,分别为 4.5 cm、0.026 ℃。钙、镁、重碳酸跟离子浓度及电导率和 PH 值均处于正常状态,无明显异常。

4 结论与讨论

(1) 经对台站周边自然环境、人为干扰情况的调查,台站观测环境没有受到干扰,可排除西昌川-03 井水

位受周围环境或人为调节水位的干扰。(2)西昌川-03井3个正常观测的测项(水位、气氦、气氮),在5月仅有动水位一项出现了持续性下降的变化,根据调查,同一断裂观测井川-32井水位、水温及水质等测项无明显变化,可认为该地区近期无明显构造活动。(3)经过分析人工校测、对比观测数据与原有观测仪器记录数据的差距,发现原有仪器记录的数据与前二者存在较大差异,通过对原有仪器记录数据去趋势,认为原有仪器记录数据已不真实,不能客观反映该井动水位变化,此次水位异常为非震兆异常。(4)西昌川-03井水位探头放置深度超过最佳工作深度,水压过大可能是导致仪器工作不稳定的原因之一。(5)水位传感器零漂较大。(6)在2018年10月31日西昌5.1级地震之前,该台站水位、水温及气氦、气氮均无异常现象,但是在西昌地震之后,气氦观测数据波动范围较大,直到2018年12月才恢复震前水平,故该井地下流体观测测项异常暂无震例,后期需继续关注。

致谢:本次异常核实现场工作得到了西昌地震中心站胡德军站长、王登伟科长、杨洪刚老师的指导和四川省地震监测中心赵德杨、廖峰,凉山州防震减灾局戴放科长、李瑞瑞、王娟的帮助,评审专家对本文提出了修改建议,在此一并表示衷心感谢。

参考文献

- 杜平山. 2000a. 则木河活动断裂的内部结构[J]. 四川地震, (1-2): 25-26.
杜平山. 2000b. 则木河断裂带的走滑位移及滑动速率[J]. 四川地震, (1-2): 61-62.
龚永俭, 程立康, 李颖楠, 等. 2016. 天津王3井水位突升异常的调查与研究[J]. 高原地震, 28(3): 29-30.
穆慧敏, 程冬焱, 胡玉良, 等. 2018. SWY-II和ZKGD3000-N水位仪对比分析[J]. 山西地震, 3: 21-23.
孙小龙. 2016. 地下水动态变化与地震活动的关系研究[D]. 北京: 中国地质大学.
杨鼎鸿, 程庆斌, 邓聪, 等. 2013. 数字化水位观测仪零漂分析[J]. 地震地磁观测与研究, 34(3/4): 147-149.
张素欣, 张子广, 刘俊明, 等. 2002. 数字化水位观测资料的应用研究[J]. 地震, 22(4): 89-93.

Survey and Analysis on the Water Level Jump Abnormal of Xichang Chuan No. 03 Well

RUI Xuelian, GUAN Zhijun, YANG Yao, YANG Peng

(Sichuan Earthquake Agency, Sichuan Chengdu 610041, China)

Abstract: To verify the course of the Xi Chang NO. 3 well water level continuity decline, the researchers investigate natural environment, man-made interference factors, observation system inspection of the well, Combining with the water level comparative observation of this well and Chuan NO. 32 water level, gas radon and water quality analysis data, we conclude that abnormal phenomenon of water level continuity decline for Chuan NO. 03 well was caused by instrument failure, which not belong to precursor anomaly of earthquakes.

Keywords: Chuan NO. 3 well; water level; abnormal; interference

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	20200702	012454.2	2829	9920	四川得荣	51	3.3		24	2	15	51		
2	20200702	040735.0	3409	10243	四川若尔盖	51	3.6		18	3	13	51		
3	20200702	204416.9	2820	10453	四川长宁	51	3.8		5	1	46	51		
4	20200703	121640.7	2828	9922	四川得荣	51	3.3		18	2	13	51		
5	20200706	113349.3	2819	10041	四川木里	51	3.7		16	1	23	51		
6	20200709	202933.7	3301	9853	四川石渠	51	3.4		12	2	12	51		
7	20200711	112201.0	3103	10024	四川新龙	51	3.3		15	2	18	51		
8	20200712	150326.7	3335	10259	四川若尔盖	51	4.3		5	1	17	51		
9	20200717	141937.1	3133	10406	四川绵竹	51	3.2		17	1	20	51		
10	20200724	180909.3	2809	10445	四川珙县	51	3.9		9	1	28	51		
11	20200727	160659.7	2823	10457	四川长宁	51	3.9		7	1	37	51		
12	20200729	044714.7	3033	10132	四川道孚	51	3.2		9	1	24	51		
13	20200730	040932.0	2810	10450	四川珙县	51	3.5		3	1	51	51		
14	20200731	200332.5	2923	10428	四川荣县	51	3.4		4	1	43	51		
15	20200801	133655.3	2818	10040	四川木里	51	3.2		18	1	10	51		
16	20200805	090406.0	2810	10505	四川兴文	51	3.4		5	2	23	51		
17	20200806	170813.6	2824	10452	四川长宁	51	4.3		10	1	38	51		
18	20200811	134148.9	2810	10504	四川兴文	51	4.2		11	1	31	51		
19	20200814	003031.8	2812	10504	四川兴文	51	3.7		10	1	23	51		
20	20200817	124332.7	2809	10445	四川筠连	51	3.6		12	3	23	51		
21	20200821	172704.3	2812	10449	四川珙县	51	3.6		9	1	30	51		
22	20200822	133636.5	2812	10449	四川珙县	51	3.7		8	1	35	51		
23	20200828	075303.2	3149	10407	四川茂县	51	3.2		19	1	30	51		
24	20200831	194342.3	2823	10502	四川兴文	51	3.7		7	2	29	51		
25	20200904	173402.8	3133	10303	四川理县	51	3.5		18	1	21	51		
26	20200906	113905.6	2820	10456	四川长宁	51	3.5		4	2	24	51		
27	20200909	150336.2	3133	10358	四川绵竹	51	3.6		21	1	40	51		
28	20200911	134746.2	3239	10523	四川青川	51	3.5		13	1	26	51		
29	20200914	002420.7	3205	10510	四川江油	51	3.3		14	1	31	51		
30	20200914	030958.6	2809	10447	四川珙县	51	3.5		7	1	30	51		
31	20200915	172510.7	3057	10325	四川汶川	51	3.4		4	1	33	51		
32	20200916	150308.0	2827	10448	四川长宁	51	4.0		6	1	35	51		
33	20200922	184526.5	3003	10301	四川雨城	51	3.7		30	1	36	51		
34	20200924	102252.7	3132	10350	四川茂县	51	3.4		16	1	32	51		
35	20200924	174111.2	3032	10132	四川道孚	51	3.7		4	1	33	51		
36	20200925	162015.5	2930	10431	四川荣县	51	3.6		3	1	37	51		
37	20200925	214239.6	3204	10510	四川江油	51	3.7		18	1	30	51		
38	20200926	043408.8	2805	10505	四川兴文	51	4.3		16	2	50	51		
39	20200926	204035.5	3100	10332	四川都江堰	51	4.0		14	1	40	51		
40	20200930	041146.9	3251	9824	四川石渠	51	3.6		10	2	22	51		

《四川地震》2020 年总目次

2020 年第 1 期

九寨沟 M7.0 地震多个震源机制中心解的确定	马付红,李莹甄(6)
基于谱元法的地震动放大效应研究——以青川县斜坡为例	万子轩(10)
淄博及邻区活动断裂地震危险性评估	孙强,王涛(16)
GNSS 坐标时序异常情况讨论:以长宁地震为例	何福秀,刘江,杨洋,张澜(24)
数据中心服务器虚拟化平台扩容实践	张颖,林洋(30)
对我国防震减灾法律体系的分析思考	王萍(34)
基于 Datist 的测震分析月报自动产出技术研发	王宇航,庞瑶,官悦,颜利君,黄春梅(40)
攀枝花市地震监测设施和观测环境保护的实践与探索	李佳胜,何松健,张力文(44)

2020 年第 2 期

西藏芒康震群发震构造分析	蔡一川,罗松,魏娅玲,格桑卓玛(1)
顾及空间相关性的遥感震害指数与地震烈度回归模型研究	李芋均,郭红梅,赵真,张莹(9)
龙门山断裂带南段地震空段的地震活动特征	芮雪莲,龙锋,赵敏(15)
基于 GIS 的城市地震灾害风险区划研究——以淄博市为例	孙强,史清明(19)
张道口地震台水物理测项干扰分析	吴博洋,李赫,姚蕾,宋田,尚先旗,姚新强(25)
基于百度地图的台站数据服务系统的设计与实现	刘鹏飞,杨周胜,粟毅,李振,姚远(30)
川滇地区电离层垂测站震例数据分析	刘江,陈聪,何福秀,杨洋(35)
一种基于傅里叶曲线拟合的跨断层水准环境误差削弱方法——以邛崃断裂带马陵和晓店场地为例	代宪鹏,吴晓峰,孙君嵩,宋浩,范文华,王大伟(39)
四川测震台网中心数据流现状及规划	王宇航,吴朋,蔡一川,马康熙,蒋波,管勇(44)

2020 年第 3 期

汶川、芦山和九寨沟地震滑坡各影响因子贡献对比分析	史丙新,管勇,亢川川(1)
不同方法地震定位结果的对比分析——以腾冲火山区地震为例	杨云存,王华柳,段毅(8)
云县地震台洞体形变观测干扰特征分析	何应文,王建芳,匡福江,曹白伦,段勇,刘绍昌,喻世贤(13)
地震观测台站通用电源控制器的研究	李兴泉,吴朋,何谦(19)
江油地震台地电场观测数据干扰分析	刘华姣,李雪浩,何思源,李贵元,钟李彬(23)
应急文化体系及建设路径初探	安纯毅,王萍,姚新强(30)
基于重力仪静态观测数据研究长宁 6.0 级地震活动性	陈挺,严迪,杨剑,廖国忠,余舟,李鸿泰(35)
四川西昌 M _s 5.1 地震构造研究	魏娅玲,蔡一川,罗松,周文英(40)

2020 年第 4 期

山东南麻井水位和水温对大震的同震响应特征及机理浅析	陈童,周慧芳(1)
鲜水河断裂磨西段新发现地震地表破裂带初步研究	马超,刘玉法,张威,周亚东(8)
基于 AdaBoost 集成学习的强震动观测抗干扰技术研究	庞聪,江勇,廖成旺,吴涛,丁炜,王磊(14)
GL-S120 与 3T-120 甚宽频带地震计性能对比分析	吴双,李小晗,王杰民,王良(19)
山西北部地区中小地震重定位结果分析	刘林飞,梁向军,黄金刚,宋美琴(23)
云南省红河地区断层气 CO ₂ 观测及其与地震关系初探	刘飞,祁燕(28)
关于地震行政管理法治化的思考	李纪恩(32)
台站测震资料干扰分析处理软件研究	何思源,李贵元,刘华姣,钟李彬,徐文海(36)
西昌川-03 井水位异常核实与分析	芮雪莲,官致君,杨耀,杨鹏(42)

EARTHQUAKE RESEARCH IN SICHUAN

2020 CONTENTS

No. 1

Summary of Earthquake Activities in 2019	DU Fang(1)
Determination of Central Solution of Multiple Focal Mechanisms in the Jiuzhaigou <i>M</i> 7.0 Earthquake	MA Fuhong, LI Yingzhen(6)
Investigations of Topographic Effects on Ground Motion Based on the Spectral Element Methods—A Study Case in Slopes of Qingchuan County	WAN Zixuan(10)
Seismic Hazard Assessment of Active Faults in Zibo City and Its Adjacent Area	SUN Qiang, WANG Tao(16)
Discussion on the Anomaly of GNSS Coordinate Time Series: A case Study of the Changning Earthquake	HE Fuxiu, LIU Jiang, YANG Yang, ZHANG Lan(24)
Capacity Expansion of Server Virtualization Platform in the Data Center	ZHANG Ying, LIN Yang(30)
Analysis and Research on the Legal System of Earthquake Prevention and Disaster Reduction in China	WANG Ping(34)
Research and Development of Automatic Output Technology for Seismic Analysis Report Based on Datist	WANG Yuhang, PANG Yao, GONG Yue, YAN Lijun, HUANG Chunmei(40)
Practice and Exploration of Monitoring Facilities and Observation Environment Protection in Panzhihua	LI Jiasheng, HE Songjian, ZHANG Liwen(44)

No. 2

Analysis on the Seismogenic Structures of the Earthquake Swarm in Xizang Mangkang Region	CAI Yichuan, LUO Song, WEI Yaling, GESANG Zhuoma(1)
Research on Regression Model of Remote Sensing Seismic Damage Index and Seismic Intensity Considering Spatial Correlation	LI Yujun, GUO Hongmei, ZHAO Zheng, ZHANG Ying(9)
The Seismicity Characteristics of the Seismic Gap in the Southern Segment of Longmen Shan Fault Zone	RUI Xuelian, LONG Feng, ZHAO Min(15)
Study on the Risk Zoning of Urban Earthquake Disaster Based on GIS—Take Zibo City as An Example	SUN Qiang, SHI Qingming(19)
Interference Analysis of Hydrophysical Measurements at Zhangdaokou Seismic Station	WU Boyang, LI He, YAO Lei, SONG Tian, SHANG Xianqi, YAO Xinqiang(25)
Design and Implementation of Station Data Service System Based on Baidu Map	LIU Pengfei, YANG Zhousheng, SU Yi, LI Zhen, YAO Yuan(30)
Analysis of Seismic Data of Ionospheric Vertical Station in Sichuan and Yunnan	LIU Jiang, CHEN Cong, HE Fuxiu, YANG Yang(35)
A Method of Error Reduction of Cross Fault Leveling Environmental Based on Fourier Curve Fitting—Take MaLing and Xiaodian site of the Tan-Lu Fault Zone as an Example	DAI Xianpeng, WU Xiaofeng, SUN Junsong, SONG Hao, FAN Wenhua, WANG Dawei(39)
Current Situation and Planning of Seismic Streaming Data in the Center of Sichuan Seismic Network	WANG Yuhang, WU Peng, CAI Yichuan, MA Kangxi, JIANG Bo, GUAN Yong(44)

No. 3

Comparative Analysis of the Contribution of Various Influencing Factors in Wenchuan Lushan and Jiuzhaigou Earthquake Landslides	SHI Bingxin, GUAN Yong, KANG Chuanchuan(1)
Comparative Analysis of Location Results by Different Methods—Take the Earthquakes in Tengchong Volcanic Area as An Example	YANG Yuncun, WANG Hualiu, DUAN Yi(8)
Analysis of Interference Characteristics of Cave Deformation Observation at Yunxian Seismic Station	HE Yingwen, WANG Jianfang, KUANG Fujiang, CAO Bailun, DUAN yong, LIU Shaochang, YU Shixian(13)
Research On General Power Supply Controller for Seismic Observation Stations	LI Xingquan, WU Peng, HE Qian(19)
The Interference Analysis of Observation Data at Jianguo Geoelectric Field	LIU Huajiao, LI Xuehao, HE Siyuan, LI Guiyuan, ZHONG Libin(23)
A Preliminary Study on Cultural Theory System and Construction Path of Earthquake Emergency	AN Chunyi, WANG Ping, YAO Xinqiang(30)
Research on Seismic Activity of Changning <i>M</i> s 6.0 Earthquake Based on the Static Observation Data of Gravimeter	CHEN Ting, YAN Di, YANG Jian, LIAO Guozhong, YU Zhou, LI Hongtai(35)
Study on Seismic Structure of XiChang <i>M</i> s5.1 Earthquake in Sichuan Province	WEI Yaling, CAI Yichuan, LUO Song, ZHOU Wenyong(40)

No. 4

Analysis on Co-seismic Response and Mechanism of Water Level and Water Temperature in Shandong Nanma Well	CHEN Tong, ZHOU Huifang(1)
Preliminary Study on Newly Discovered Seismic Surface Rupture Zones in Moxi Section of Xianshuihe Fault	MA Chao, LIU Yufa, ZHANG Wei, ZHOU Yadong(8)
Research on Anti-jamming Technology of Strong Seismograph Based on Machine Learning	PANG Cong, JIANG Yong, LIAO Chengwang, WU Tao, DING Wei, WANG Lei(14)
Performance Comparison of GL-S120 and 3T-120 Very Wideband Seismometer	WU Shuang, LI Xiaohan, WANG Jiemin, WANG Liang(19)
Analysis of Relocation Results of Small and Medium Earthquakes in Northern Shanxi Province	LIU Linfei, LIANG Xiangjun, HUANG Jingang, SONG Meiqin(23)
The Anomalies Characteristics of CO ₂ in Fault Gas and its Relation to Earthquakes in Honghe, Yunnan Province	LIU Fei, QI Yan(28)
On the Earthquake Administration Ruled by Law	LI Jien(32)
Research of Interference Analysis Processing Software for Seismic Data	HE Siyuan, LI Guiyuan, LIU Huajiao, ZHONG Libin, XU Wenhai(36)
Survey and Analysis on the Water Level Jump Abnormal of Xichang Chuan No.03 Well	RUI Xuelian, GUAN Zhijun, YANG Yao, YANG Peng(42)