

郭伟、陈立峰、苏亚梅等, 2019, 鄂尔多斯块体北缘台站水管仪观测质量及同震响应对比分析, 中国地震, 35(2), 359~366.

鄂尔多斯块体北缘台站水管仪观测质量 及同震响应对比分析

郭伟¹⁾ 陈立峰²⁾ 苏亚梅²⁾ 胡玮¹⁾ 贾昊东¹⁾

1) 乌加河地震台, 内蒙古巴彦淖尔 015331

2) 内蒙古自治区地震局, 呼和浩特 010010

摘要 针对仪器运行状况和外界环境等影响观测质量的因素, 以及台站所处地质构造不同对台站影响的问题, 采用位于鄂尔多斯块体北缘的乌加河台、包头台、乌海台 2015~2017 年 DSQ 水管倾斜仪的观测资料, 对比分析 3 个台站的年零漂、相对噪声水平 M_1 、 M_2 波潮汐因子 γ 值均方差等特征参数, 并进行同震响应分析。研究表明, 包头台水管仪的观测质量优于其它台站, 主要是体现在零漂小、精度高、稳定性好, 研究结果为评定水管仪观测质量提供了科学依据。同震响应的延迟时间与震中距相关, 最大振幅与震级间呈正相关, 与震中距间呈负相关。

关键词: 鄂尔多斯块体北缘 DSQ 水管倾斜仪 特征参数 同震响应

[文章编号] 1001-4683(2019)02-0359-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地倾斜观测是地震前兆监测的主要手段, 其观测的对象是瞬时地平面相对大地水准面之间角度随时间的变化(熊先保等, 2013)。借助数字化地倾斜观测仪可观测到地震时的震时形变波(狄樑等, 2013a)。连续形变仪器记录能够反映地球岩石性质变化和地壳应力、应变引起的倾斜及潮汐动态变化, 水管倾斜仪作为观测地壳形变的仪器可为监测地壳年变规律演变、倾斜速率及动态变化提供优质数据(陈德福, 1993)。DSQ 水管倾斜仪是我国自行研制的一种高精度固体潮观测仪器, 可用于自动测量地壳的倾斜变化。该仪器灵敏度较高, 抗干扰性能相对较弱, 因此对观测条件要求较高(张荣挺等, 2002)。近年来, 国内研究者开展了相关方面的研究, 赵长红等(2009)认为 DSQ 水管仪的精度主要受台站所在地的地质条件、观测场地形地貌、洞室条件等的影响; 徐宁(2006)通过研究广西地区地质环境和岩性, 得出基岩种类、硬度和块体大小决定噪声水平的结果; 卢双苓等(2012)研究发现基岩的选择直接关系到仪器的内在精度, 如泰安台水管仪经“九五”“十五”改造及洞室环境、基线墩密封改造后, 精度有一定的提高, 但没有更大幅度的根本性提高, 这说明在选定台址后一般对基

[收稿日期] 2018-08-06; [修定日期] 2018-10-27

[项目类别] 中国地震局监测、预测、科研三结合课题(CEA-JC/3JH-170601)、内蒙古自治区科技重大专项“重点地区地震预测预警技术研究开发与推广示范”共同资助

[作者简介] 郭伟, 女, 1990 年生, 助理工程师, 主要从事地震前兆观测工作。E-mail: 977963563@qq.com
苏亚梅, 通讯作者, 女, 1973 年生, 工程师。E-mail: 757115546@qq.com

岩的选择余地不大。

同震响应主要指地震发生后数分钟到数十分钟在台站观测到的显著波动和阶跃变化(姚菲菲等,2016;胡玮等,2017)。牛安福等(2005)研究了强地震引起的同震形变响应;杨跃文等(2010)对丽江台水管仪进行了频谱分析及同震震后效应研究;陈顺云等(2013)利用 Terra、Aqua 卫星地表温度探索汶川地震同震热响应;方宏芳等(2010)、杨婕等(2011)、马栋等(2011)、张创军等(2012)、方燕勋等(2014)、袁媛等(2014)、周江林等(2015)、钟天任等(2016)分别研究了福建漳州、台湾、河北、陕西乾陵、浙江湖州、上海、北京、广东等地区数字形变资料的同震响应特征。

Venedikov 调和分析方法是基于最小二乘法的一种固体潮分析方法(刘序俨等,1989),很多研究者将 Venedikov 调和分析方法用于水管仪效能分析。张远城等(2003)、狄樑等(2013a)、薛生瑞等(2013)、赵小贺等(2014)分别运用 Venedikov 调和分析方法计算了常熟台、离石台、厦门台、马陵山台水管仪的倾斜潮汐 M2 波潮汐因子 γ 值均方差,并进行了质量跟踪。

本文选取位于鄂尔多斯块体北缘的乌加河台、包头台、乌海台的观测资料研究仪器特征参数,并进行 Venedikov 调和分析 and 同震响应分析,以期为提高仪器观测精度提供一定的科学依据。

1 地震地质构造背景及台站概况

鄂尔多斯块体北缘位于内蒙古自治区中西部地区,主要包括河套断陷系和山西断陷系北部(高立新等,2017),是鄂尔多斯块体与阴山隆起之间的活动构造边界带,也是华北地区西北部的一条以拉张作用为主的地震构造带(韩晓明等,2018)。20 世纪 70 年代以来,鄂尔多斯块体北缘发生了多次中强地震,如 1976 年和林格尔 6.3 级、八音木仁 6.2 级地震,1979 年五原 6.0 级、5.2 级地震,及 1981 年丰镇 5.8 级地震、1983 年磴口 5.2 级地震等(孙加林,1985)。

乌加河地震台地处阴山纬向构造带的中西段与狼山弧型构造带的复合部位,台址位于狼山山前第四纪活动断裂附近,地理位置为内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特中旗乌加河镇北,观测专用洞室山体为花岗岩体,山洞海拔 1052m,进深 250m,整个山洞全部被覆,洞顶覆盖厚度 130m,侧面厚度大于 70m,洞口方位为 SW40°;包头地震台地处华北地台北部的阴山隆起带与河套断陷交汇区,位于包头市九原区兴胜镇色气湾村原驻军 100 号坑道,山洞为军事工程,山洞海拔 1330m,岩石覆盖厚度大于 50m,基岩属黑云角闪斜长片麻岩,洞内日温差小于 0.03℃,年温差小于 0.10℃,相对湿度大于 80%,背景干扰较小,观测条件优越;乌海地震台位于华北地台、西北地台、天山-兴蒙断褶系交汇区,该区域属鄂尔多斯西北缘、卓资山断裂的西侧,形变观测洞室海拔 1128m,岩性为片麻岩,伴有花岗岩岩脉,岩性较为完整,山洞进深 200 多 m,为防止气流干扰,在洞内安装 3 道船舱门,1 道塑钢门(包东健,2016)。

2 资料选取

本文共选取了 2 类数据,一类是位于鄂尔多斯块体北缘的乌加河台、包头台、乌海台的 DSQ 水管仪 2015~2017 年观测数据的日均值,另一类是 3 个台站记录到的 8 次具有代表性

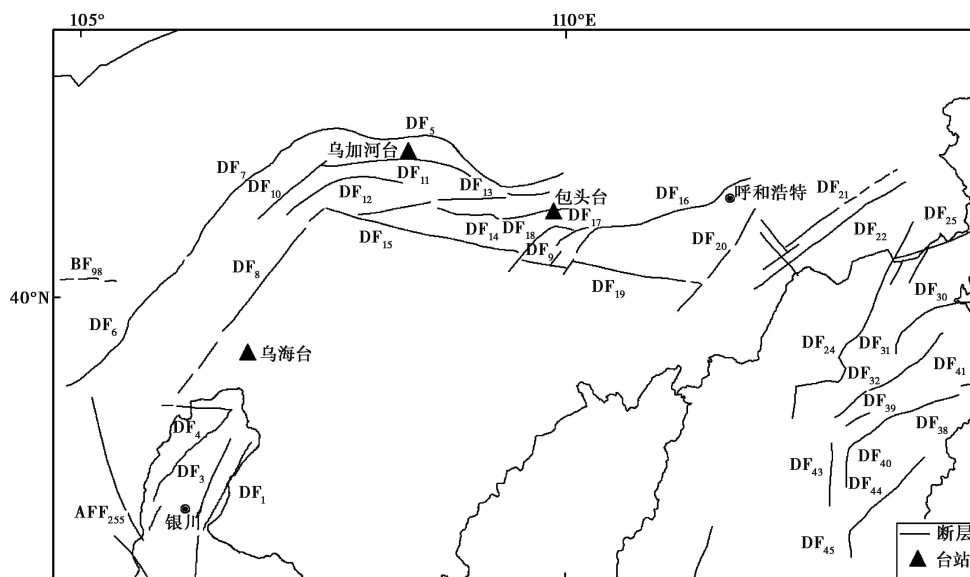


图 1 台站分布

的地震的资料,分别对其进行观测资料对比及同震响应分析(图 1、表 2)。

3 原理方法

DSQ 水管仪利用的是连通管原理,即当台基发生相对位移时,水管仪两端点钵体内液面会发生变化,通过浮子、位移传感器等将其转换成电信号输出,然后将位移变化转换为相应的地倾斜角(刘序俨等,1989)。参照地壳形变学科陈德福研究员等拟定的有关技术指标,用剔除每年人为调零的连续数据的日均值计算得到年零漂。

相对噪声水平 M_1 是衡量观测资料长期稳定性的一项重要指标, M_1 是用契比雪夫多项式与一个年度观测资料的 5 日均值作 30 阶拟合得到的(赵小贺等,2014),公式为

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

$$T_n(X) = \cos(n \arccos X)$$

其中, $n=0,1,2,\dots,m$ 。

Venedikov 调和分析方法(VHAM)是在频率域内由隐含在观测值中各波群的观测振幅与理论振幅之比以及观测相位与理论相位之差计算出来的(吕品姬等,2010)。VHAM 的要点是:对连续 48h 的观测数据使用 Venedikov 数字滤波器进行滤波,滤去观测值中的漂移和长周期成分并将日波、半日波和 1/3 日波分离开,然后基于最小二乘法独立求解日波、半日波和 1/3 日波的潮汐参数。该法的优点主要有:①不要求整个观测数据序列连续,只要求 48h 内数据连续;②日波、半日波和 1/3 日波的潮汐参数独立求解,使方程组的尺度大为减小,有利于内存小、速度慢的计算机进行计算。由于固体潮的数学表达式是调和函数,任意时刻的值都可以表示成无数个简单谐波之和,因此从理论上讲,只要观测序列的长度和精度足够,直接使用基于最小二乘法的调和分析方法,即可分离出整个频段的任何一个分波(周

攀等,2005;唐九安等,1997;段华琛,1991;陈德福,1993)。

4 结果及分析

4.1 观测资料分析

本文选用 2015~2017 年位于鄂尔多斯块体北缘的 3 个台站(乌加河台、包头台、乌海台)的观测资料为基础数据,通过年零漂、相对噪声水平 M_1 、M2 波潮汐因子 γ 值均方差等特征参数的对比研究,衡量仪器的稳定性、灵敏度等性能,评估仪器工作状态,并且进一步分析得出影响观测资料质量的关键因素,以期使观测质量不断提高。

仪器零漂是衡量观测仪器和基墩稳定程度的一个重要指标,通过计算 2015~2017 年乌加河台、包头台、乌海台的年零漂,得到如表 1 所示的结果。由表 1 可见,包头台年零漂波动较小;乌加河台次之;乌海台 2017 年 NS 向漂移较严重,其原因是洞室密封不好,气流流动引起水分蒸发较快导致洞体干燥、湿度过低,经常需要加水和调零,2017 年全年共加水 9 次,每次加水 20~40mL,6~7 天调零 1 次。

表 1 2015~2017 年 3 个台年零漂对比分析

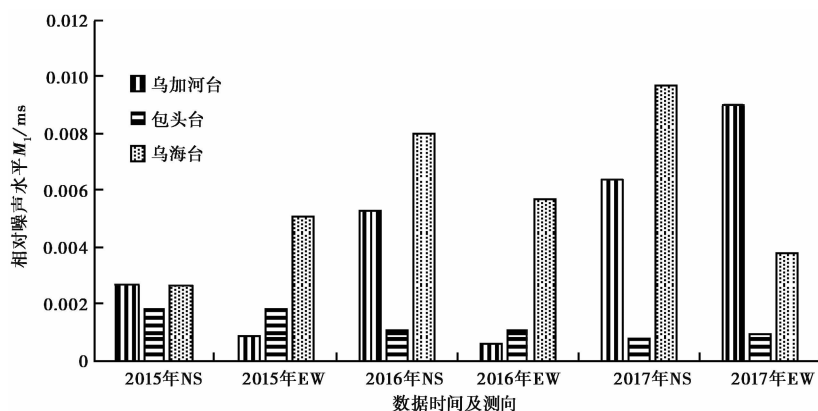
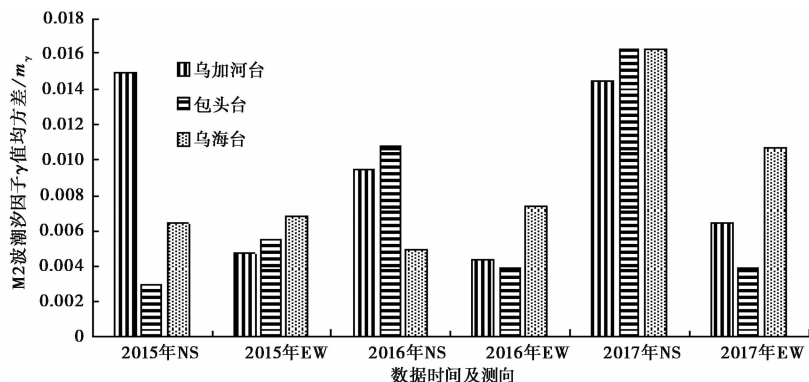
年份	年零漂/($10^{-3}''$)					
	乌加河台		包头台		乌海台	
	NS	EW	NS	EW	NS	EW
2015	134.4149	-38.107	12.95392	150.5765	-85.508	-425.117
2016	250.8682	8.605431	-83.4503	64.69704	270.6835	-139.132
2017	8.226292	-129.069	-62.3914	-37.0692	1032.982	-211.922

对水管仪 2015~2017 年观测数据的日均值作相对噪声水平分析,结果如图 2 所示。由图 2 可见,乌加河台水管仪 NS 向相对噪声水平从 2015 年起逐渐上升;EW 向 2016 年与 2015 年基本持平,但 2017 年也大幅上升,说明乌加河台水管仪的稳定性在下降。乌海台水管仪的相对噪声水平也在增加,且 NS 向变化较 EW 向更加明显。总体来看,包头台相对噪声水平除 2015 年 EW 向为 0.0002 以外,其他均稳定在 0.0001;乌加河台相对噪声水平为 0.0001~0.0005,乌海台相对噪声水平为 0.0002~0.0007,均符合优秀台站所要求的 0.02'' 的指标。由相对噪声水平越小则稳定性越好可知,包头台的仪器稳定性最好,乌加河台次之,乌海台最差。

剔除外界影响因素,应用 VenediKov 调和分析方法,按月对水管仪整点值数据作调和分析,求取表征观测资料内在质量的 M2 波潮汐因子 γ 值均方差值,结果如图 3 所示。由图 3 可见,包头台水管仪 NS 向 M2 波潮汐因子 γ 值均方差 m_γ 从 2015 年起逐渐上升,EW 向基本持平;乌加河台水管仪 NS 向 2015、2017 年的 m_γ 均较大,EW 向也基本持平;乌海台水管仪 2017 年 m_γ 显著增加,且 NS 向变化较 EW 向更加明显。总体来看,包头台 m_γ 为 0.002940~0.016263,乌海台为 0.004944~0.028126,乌加河台为 0.004447~0.014914,均符合形变观测规范中 $m_\gamma < 0.02$ 的要求。

4.2 同震响应分析

本文选取 2015~2017 年记录到的 8 个地震为研究对象,其震级 $4.0 \leq M_L \leq 7.0$,既有国内

图 2 2015~2017 年相对噪声水平 M_1 图 3 2015~2017 年 3 个台 M2 波潮汐因子 γ 值均方差 m_γ

地震又有国外地震,因选取地震的震中与乌加河台、包头台、乌海台之间的距离相近,故主要从水管仪的响应延迟时间、持续时间和最大振幅等 3 个方面进行同震响应分析。8 次地震包括仅乌加河台水管仪 NS 向记录到的蒙古国 4.0 级地震,震级相近震中距不同的中国四川九寨沟 7.0 级和俄罗斯 7.0 级地震,震中距相近震级不同的尼科巴群岛 5.9 级、俄罗斯 6.7 级地震、中国新疆 6.2 级及 6.6 级地震、俄罗斯 6.7 级地震等(表 2)。

由表 2 可见,随着震中距的增加,响应延迟时间整体上呈现增加的趋势,但不是严格的线性增加,这与地震波在地下介质中的传播速度有关。如震中距为 1759~2239km 时(中国新疆昌吉州呼图壁县 6.2 级、6.6 级地震)的响应延迟时间明显大于震中距为 3866~4142km 时(俄罗斯 7.0 级地震),这是由于地震波在不同介质中的传播速度不同而导致的响应延迟时间的差异。

由表 2 还可见,包头台给出的结果较为稳定,随着震级的增加,水管仪同震响应的最大振幅也相应的增加,即最大振幅与震级间呈正相关;乌加河台和乌海台除个别地震外,水管仪最大振幅与震级间也基本呈正相关。如 2016 年 1 月 21 日 01:13:13 中国青海海门州门源县 6.4 级地震,乌加河台、乌海台水管仪的最大振幅分别为 42.67"、37.74",远大于 2017 年 8 月 9 日 07:27:52 中国新疆博尔塔拉州精河 6.6 级地震时的最大振幅 9.75"、19.14"及 2017 年



表 2 同震响应参数

序号	发震时刻、震中及震级	台站	震中距 /km	响应延迟时间 /min	持续时间 /min	最大振幅 /(")
1	2016-01-21 T 01:13:13 中国青海海门州 门源县(37.7°N,101.6°E)6.4 级地震	包头台	789	2	23	11.00
		乌加河台	685	2	15	42.67
		乌海台	504	2	13	37.74
2	2017-03-11 T 07:51:08 蒙古国(43.06°N, 110.32°E)4.0 级地震	包头台	—	—	—	—
		乌加河台	267	1	2	1.15
		乌海台	—	—	—	—
3	2017-03-14 T 10:51:15 尼科巴群岛 (6.15°N,92.35°E)5.9 级地震	包头台	4228	14	25	3.90
		乌加河台	4212	13	32	1.56
		乌海台	3 月 14 日 11:02 标定,未记录到该地震			
4	2017-03-29 T 12:09:23 俄罗斯(56.91°N, 162.81°E)6.7 级地震	包头台	4145	8	137	41.30
		乌加河台	4212	12	69	17.14
		乌海台	4414	16	41	23.73
5	2016-01-30 T 11:25:10 俄罗斯(54°N, 158.6°E)7.0 级地震	包头台	3866	5	183	72.00
		乌加河台	3946	6	210	21.80
		乌海台	4142	7	249	60.65
6	2017-08-08 T 21:19:46 中国四川九寨沟 (33.2°N,103.82°E)7.0 级地震	包头台	997	2	58	127.90
		乌加河台	976	2	76	47.45
		乌海台	769	2	87	37.35
7	2016-12-08 T 13:15:03 中国新疆昌吉州 呼图壁县(43.83°N,86.35°E)6.2 级地震	包头台	1961	7	45	9.70
		乌加河台	1797	6	53	9.02
		乌海台	1759	7	11	9.19
8	2017-08-09 T 07:27:52 中国新疆博尔塔 拉州精河(44.27°N,82.9°E)6.6 级地震	包头台	2239	6	48	13.60
		乌加河台	2075	9	70	9.75
		乌海台	2039	8	28	19.14

3 月 29 日 12:09:23 俄罗斯 6.7 级地震时的 17.14"、23.73"。乌海台 2017 年 8 月 8 日 21:19:46 中国四川九寨沟 7.0 级地震时的最大振幅为 37.35",远小于 2016 年 1 月 30 日 11:25:10 俄罗斯 7.0 级地震时的 60.65"。由此可见,乌加河台和乌海台最大振幅与震级间的关系相对来说不如包头台体现的好。

此外,由表 2 还可见,随着震级的增加响应持续时间整体上呈现增加的趋势,但不是严格的线性增加,这是因为响应延迟时间除了与震级有关之外,还与震中距和仪器阻尼有关。

通过对上述震例进行对比分析,可以得出:水管仪对 5 级以下地震响应幅度较小,如蒙古国 4.0 级地震,仅乌加河台水管仪 NS 向有记录,但幅度较小;通过对比中国新疆 6.2 级与 6.6 级、尼科巴群岛 5.9 级与俄罗斯 6.7 级、俄罗斯 6.7 级与俄罗斯 7.0 级地震可以发现,震级越大,响应延迟时间越短,持续时间越长,最大振幅越大。研究表明,响应延迟时间与震中距间呈正相关,即震中距越大,响应延迟时间越长;最大振幅与震级间呈正相关,即震级越大,最大振幅越大;响应持续时间的长短依赖于震级、震中距和仪器阻尼等的大小。



5 结论与讨论

通过对 2015~2017 年乌加河台、包头台、乌海台 DSQ 水管倾斜仪观测资料的对比分析和同震响应分析,得出以下结论:

(1)在仪器运行方面,包头台水管仪运行平稳,故障率低;乌加河台水管仪受传感器故障和人为干扰影响较大;乌海台水管仪由于密封门无法关严,长期受到气流影响,洞体干燥,水分蒸发较快,水管仪 NS 向漂移严重,从 2016 年 1 月 2 日起频繁调零、加水。

(2)在仪器内精度方面,排除仪器故障和人为干扰对观测数据的影响,通过计算年零漂、相对噪声水平 M_1 和 M_2 波潮汐因子 γ 值均方差发现,包头台水管仪的精度和稳定性都比其他台站要好,这主要得益于包头台背景干扰较少,观测条件优越,仪器运行稳定。

(3)在同震响应方面,水管仪记录到的同震响应延迟时间与震中距间呈正相关,这是由地震波的传输时间直接决定的;最大振幅与震级间呈正相关,主要是由震源及衰减特性所决定的;响应持续时间的长短依赖于震级、震中距离和仪器阻尼等的大小。

本文在计算年零漂的时,假设了观测资料的趋势性变化完全由仪器零漂所引起,并且采用了 0 阶模型描述(即仅考虑平均值,不考虑线性项及高阶项)。实际上每个台站的零漂规律十分复杂,在今后的研究中将重点关注年零漂的影响因素,从而区分出趋势性变化是由仪器零漂所引起的还是由地壳形变所致,解决线性及高阶项在零漂中所占比例等问题。

参考文献

- 包东健,2016,内蒙古自治区志·地震志,104~117,呼和浩特:远方出版社.
- 陈德福,1993,中国地震倾斜潮观测台网,内陆地震,7(3),211~224.
- 陈顺云、马瑾、刘培涛等,2013,利用 Terra 和 Aqua 卫星地表温度探索汶川地震同震热响应,地球物理学报,56(11),3788~3799.
- 狄樑、陆德明、丁建国,2013a,常熟地震台水管倾斜仪与垂直摆倾斜仪同震响应对比分析,大地测量与地球动力学,33(增刊 I),79~81.
- 狄樑、陆德明、丁建国,2013b,常熟地震台伸缩仪运行分析,大地测量与地球动力学,33(增刊 II),21~23.
- 段华琛,1991,地倾斜固体潮所反映的地震之前应变积累异常信息,地球物理学报,34(6),744~752.
- 方宏芳、刘序俨、张凯,2010,漳州地震台伸缩仪和体应变仪同震响应分析,地震研究,33(3),287~291.
- 方燕勋、卞根发、惠若愚,2014,湖州台高采样率倾斜仪同震响应初析,地震工程学报,36(3),628~633.
- 高立新、戴勇、陈立峰等,2017,鄂尔多斯地块北缘动力背景和现今地震活动特征,大地测量与地球动力学,37(7),668~674.
- 韩晓明、刘芳、张帆等,2018,鄂尔多斯块体东北缘的 P 波速度精细结构,地震地质,40(1),215~231.
- 胡玮、石伟、贾昊东,2017,乌加河地震台水平摆、水管倾斜仪同震响应对比分析,地震地磁观测与研究,38(4),142~146.
- 刘序俨、李平、张雁滨,1988,地表的面应变和体应变固体潮理论值计算及其调和与分析,地壳形变与地震,8(4),354~358.
- 刘序俨、李平、张雁滨,1989,垂直应变固体潮理论值计算及其调和与分析,地壳形变与地震,9(4),46~50.
- 卢双苓、于庆民、郝军丽等,2012,形变仪器影响观测质量因素,地震地磁观测与研究,33(5/6),261~266.
- 吕品姬、陈志遥、赵斌等,2010,定点倾斜观测映震能力综述,大地测量与地球动力学,30(增刊 II),50~56.
- 马栋、冯向东、张素欣等,2011,河北易县 M_L 3.8、3.3 地震同震形变响应及其震源机制,西北地震学报,33(4),386~391.
- 牛安福、张晶、吉平,2005,强地震引起的同震形变响应,内陆地震,19(1),1~7.
- 孙加林,1985,鄂尔多斯块体北部边缘发生强震的危险性,西北地震学报,(增刊 I),13~23.
- 唐九安、常千军、杜锡武等,1997,固体潮潮汐因子的空间分布特征与机理,地壳形变与地震,17(1),64~69.
- 熊先保、林立峰、杨婕,2013,水管倾斜仪与摆式倾斜仪抗干扰能力分析,华南地震,33(2),34~40.

- 徐宁,2006,广西新建数字化测震台址的地噪声初步分析,地震地磁观测与研究,27(增刊 I),92~97.
- 薛生瑞、徐博、高翠珍等,2013,山西离石中心地震台数字倾斜仪资料质量跟踪分析,山西地震,(4),14~17,30.
- 杨跃文、刘冰冰、秦嘉政等,2010,丽江台水管仪频谱分析及同震震后效应研究,防灾减灾学报,26(1),61~65.
- 杨婕、刘水莲、卓群等,2011,台湾花莲海域强震的同震响应特征,华北地震科学,29(3),39~43.
- 姚菲菲、梁永信、张维东,2016,丹东台数字潮汐形变 DSQ 水管仪同震响应分析,防灾减灾学报,32(2),72~77.
- 袁媛、赵文舟、陈军等,2014,2011 年 3 月 11 日日本 9.0 级强震上海地区同震效应分析,华南地震,34(1),38~42.
- 张创军、邵辉成、史春伟等,2012,乾陵台数字形变资料同震响应特征研究,大地测量与地球动力学,32(6),41~44.
- 张荣挺、于沈平,2002,DSQ 水管倾斜仪和 SS-Y 伸缩仪观测条件建设要点,东北地震研究,18(1),66~69.
- 张远城、熊先保、黄晓华,2003,数字化形变台站观测资料质量跟踪分析,大地测量与地球动力学,23(4),125~128.
- 赵长红、张双凤、李相平等,2009,涉县地震台山洞改造对 DSQ 水管仪观测精度提高介绍,华北地震科学,27(2),59~61.
- 赵小贺、刘莉、李琦等,2014,马陵山地震台水管倾斜仪观测质量评价,华南地震,34(1),113~116.
- 钟天任、严兴、刘吉平等,2016,广东形变观测台网垂直摆倾斜仪同震响应特征,地震地磁观测与研究,37(3),96~101.
- 周江林、沈萍、田鑫,2015,北京地震台 gPhone 重力仪同震响应特征分析,中国地震,31(3),553~561.
- 周挚、山秀明、任勇等,2005,固体潮的地震预测研究与地球动力学研究之分析比较,地球物理学进展,20(1),118~122.

Comparison Analysis of Observation Quality and Co-seismic Response of Water Tube Tiltmeter in Seismic Stations on the North Edge of the Ordos Massif

Guo Wei¹⁾ Chen Lifeng²⁾ Su Yamei²⁾ Hu Wei¹⁾ Jia Haodong¹⁾

1) Wujiahe Seismic Station, Bayan nur 015331, Inner Mongolia, China

2) Earthquake Agency of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China

Abstract In view of the operation condition of the instrument and the factors in the external environment that influence observation quality, and the different characteristic of the geological structure of different stations, we used the observation data of DSQ tube tiltmeters in Wujiahe, Baotou and Wuhai seismic stations on the northern edge of the Ordos massif from 2015 to 2017. We compared the characteristic parameters such as annual zero drift, relative noise level, M_1 , M_2 wave tidal factor, and carried out co-seismic response analysis. The research shows that the observation quality of the water tube tiltmeter of Baotou seismic station is better than that on the other stations, which mainly reflects in small zero drift, high precision and stability. It provides a scientific reference for the evaluation of the efficiency of the water tube tiltmeter. The delay time of co-seismic response is related to the epicentral distance, and the maximum amplitude is positively correlated with the magnitude and negatively correlated with the epicentral distance.

Key words: Seismic stations on the North edge of the Ordos massif; DSQ water tube tiltmeter; Characteristic parameters; Co-seismic response