

张晓刚, 孙贵成, 任佳, 等. 垂直应变地震观测仪器的开发研制 [J]. 华北地震科学, 2020, 38(3): 56-59. doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2020.03.010.

ZHANG Xiaogang, SUN Guicheng, REN Jia, et al. Development and Manufacture of Vertical Strain Seismic Observation Instrument[J]. North China Earthquake Sciences, 2020, 38(3): 56-59. doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2020.03.010.

垂直应变地震观测仪器的开发研制

张晓刚¹, 孙贵成², 任佳³, 陈立强⁴, 王震洲⁵

(1. 河北省地震局, 石家庄 050021; 2. 河北省地震局承德中心台, 河北 承德 067000; 3. 河北省地震局红山基准台, 河北 邢台 054000; 4. 河北省地震局秦皇岛中心台, 河北 秦皇岛 066100; 5. 河北科技大学, 石家庄 050021)

摘要: 利用碳纤维管做基线, 设计制作一种利用新材料、新传感器技术的垂直应变观测仪, 并进行实验观测。实验表明, 该仪器运行情况整体良好, 观测稳定, 能够清晰地记录到固体潮曲线及同震响应, 对地震监测具有科学和实践意义。

关键词: 地震; 地球物理观测; 应变; 垂直应变

中图分类号: P315.62

文献标志码: A

文章编号: 1003-1375 (2020) 03-0056-04

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2020.03.010

0 引言

应变观测在地球物理观测中占有重要的位置, 国内的应变观测均为测量水平方向的变化, 如体应变仪、洞体应变仪、四分向应变仪。近 30 多年来, 国内一直无人涉及垂直应变观测领域。根据弹性力学理论研究证明, 在现有水平应变观测的基础上只有增加垂直应变观测才能监测到地块的涨缩信息。垂直向应变的研究对于取得与研究地壳三维应变状态, 以及用于地震监测具有科学和实践意义^[1]。

1 垂直应变观测现状

目前, 国内的应变仪器测量主要有洞体应变测量地壳岩体两点间水平距离的相对变化、体积式钻孔应变仪测量地层内部应力-应变状态变化、分量应变仪测量地层内部水平应力应变。这些仪器均没有垂直量观测。自 20 世纪 80 年代曾研究过一段时间垂直应变仪后, 近 30 多年来垂直应变领域一直无人涉及。

在 20 世纪 80 年代, 比利时布鲁塞尔皇家天文台安装了一台垂直向伸缩仪, 日本在靠近京都逢板山台站的山洞安装了有垂直分量的六方向应变仪, 这两处的垂直向先后停测。1985 年由国家地震局

下达伸缩仪技术在垂直方向上应用的研究与仪器研制课题, 其研制样机分别于 1986、1987 年安装在中国黄石固体潮实验室和卢森堡大公国的 Walferdange 地球动力学地下实验室, 长期进行对比观测^[2]。中国于 1986 年开始垂直应变观测并在江苏和湖北的 2 个台站安装了中国和比利时合作研制的 ORBES-84 型石英伸缩仪。到 20 世纪 90 年代, ORBES-84 型垂直伸缩仪未见有后续的研究和报告。

为了填补国内垂直应变观测的空白, 补充和完善线应变观测, 本文设计了一种利用新材料、新传感器技术的垂直应变观测装置, 并于河北省地震局丰宁地震台安装、进行连续观测, 获取了一些观测数据。

2 垂直应变的结构

从 ORBES-84 型垂直伸缩仪研制和初步试验结果^[2]分析得出, 该仪器工作不稳定可能有以下几个原因: ①该垂直应变固定端和测量端分别安装在洞穴的顶部和底部, 洞体空腔效应对这种安装方式的垂直应变测量影响较大; ②山洞顶部固定端的耦合方式为环氧树脂和机械铆钉, 温度对不同膨胀系数的多种材质耦合稳定性影响较大; ③固定端与石英基线使用尼龙和金属套圈拉接, 这种方式虽然短时



间内端面连接紧密,但是随着时间的推移由于重力、温度等效应会影响两种材质的连接紧密性;④20世纪80年代末的传感器水平比较落后,传感器性能较差,工作不稳定。

吸取 ORBES-84 型垂直伸缩仪的经验,结合杨江老师的分析^[1],本文设计的垂直应变仪由观测孔、基线、基线底部耦合装置、基线顶部调零装置、位移转换装置和数据采集器组成。

2.1 观测孔

由于试验观测的环境需要在山洞中打观测孔,工程车辆需要进驻到山洞内,建成后的观测山洞无法进驻工程车辆。利用丰宁地震台建设新山洞的机会,在其备用洞室钻取观测孔。观测孔成孔后直径 100 mm、深度为 10.5 m,确保了整个观测基线位于岩层内部,并且山洞的日温差和年温差比较小有利于长基线的观测。

2.2 基线

目前,SS-Y 伸缩仪使用含铌特种钢瓦管作为基线。这种材质膨胀系数小、强度高,但是自身重量大,不适合做垂直应变的材质。为了广泛选取材料,将含铌特种钢瓦管和钛合金管、碳纤维管的主要性能做了一下对比(表 1)。可以直观地看出,钢瓦管和碳纤维管的线膨胀系数较低,而碳纤维管的密度不到钢瓦管的四分之一。

表 1 钢瓦管、钛合金管、碳纤维管膨胀系数、密度

序号	材质	线膨胀系数/(/℃)	密度(g/cm ³)
1	含铌特种钢瓦管	$\approx 0.6 \times 10^{-6}$	≈ 8.27
2	钛合金管	$\approx 8.5 \times 10^{-6}$	≈ 4.5
3	碳纤维管	$\approx 0.7 \times 10^{-6}$	≈ 1.77

有专家对质量轻高刚性的材料进行了力学性能对比(表 2)。

表 2 纤维材料及金属力学性能数据参照表

种类	牌号	密度/(g/cm ³)	比模量/m
碳纤维	T300	1.76	130.9
	M40J	1.77	220.0
玻璃纤维	E-glass	2.54	28.7
	S-glass	2.49	33.3
芳纶纤维	KF-29	1.44	45.0
	KF-49	1.45	92.0
金属	碳钢(45钢)	7.80	26.3
	Al(普通铝合金)	2.80	26.0
	Cu	7.60	26.0

比模量的大小反映了质量和刚性的关系^[3]。垂直应变基线这种大长径比的杆件需要质量轻、刚性强的材质,所以无论从温度系数还是刚性的要求,本设计基线材质都应选取碳纤维管。

2.3 传感器

固体潮汐造成地面升降最大幅度大于 0.5 m,地球半径为 370 km。经计算,垂直应变量每米的最大变化量约为 80 nm,10 m 的基线变化量约为 800 nm,这是将地球视为密度平均的介质进行估算的结果。但是地球密度从地壳岩石的 2.7 g/cm³到内地核的 13 g/cm³,差距比较大,受到同样作用力时发生形变的程度也会不一样,可以分析得出地表岩石的形变量要大于地球内部的形变量。另外,潮汐引力在地球这个大密度的介质中不易传导,引起的形变预计仅在地球表层。综上分析认为,10 m 基线理论上获得的变化量应该预计为 800 nm 的几倍,使用与伸缩仪相同的高精度差动变压器位移传感器即可达到观测要求。

2.4 基线底端固定及垂直

由于基线底部使用膨胀水泥与观测孔耦合,为了不使水泥膨胀过程中破坏基线结构,基线底部使用不锈钢材质套管予以保护。安装时,先将未凝固的膨胀水泥灌入观测孔底部,然后将安装不锈钢套管的基线下放至观测孔底部,利用碳纤维管的刚性保持基线的竖直和自由度。

2.5 测量端固定

为了提高稳定性,在观测孔顶部放置厚度为 10 cm 中间有过孔的大理石平台。平台上放置不锈钢的测量端,测量端加装调零装置。

2.6 数据采集、传输

为了提高数据采集精度,利用五位半的数据采集器进行分钟值采样。仪器按地球物理台网的通讯规范,观测数据每天自动录入数据库。

3 安装与观测

观测孔于 2017 年 7 月在丰宁新山洞离洞口约 70 m 的洞室施工完成,成孔深度为 10.5 m、孔径为 10 cm、5 m 深处有裂隙、6 m 以下有水。垂直应变仪于 2018 年 8 月安装(图 1),由于底部有膨胀水泥和不锈钢套管,最终基线长度为约 9 m。仪器安装后受水泥膨胀影响有明显漂移,无法产出正常数据。经过一段时间后,记录逐渐开始平稳。图 2 为 2019 年 10 月 12 日至 2020 年 1 月 31 日的数据,可以看出仪器运行情况整体良好。

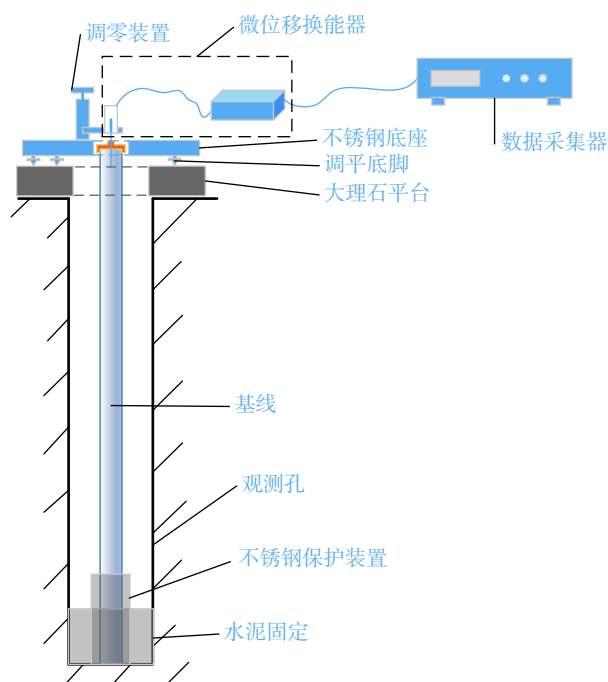


图1 垂直应变仪测量装置示意图

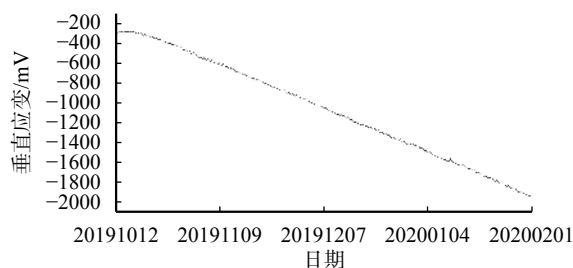


图2 垂直应变仪2019年观测曲线

对比离丰宁 180 km 的宽城地震台体应变数据, 可以发现大潮时固体潮半日波非常清晰, 并且相位非常一致 (图 3)。将 2020 年 1 月 15 日至 2 月 14 日 1 个月的观测数据去趋势后, 可以发现在月尺度内跟宽城体应变也有同步的大小潮变化 (图 4), 实现了对垂直固体潮的观测。垂直应变仪记录到了 2020 年 1 月 29 日 03 时 10 分发生在古巴的 7.7 级地震的同震响应 (图 5), 在一定程度上反映了垂直应变仪的微应变观测能力。

由于垂直应变仪需要将探头拆下放置到标定平台进行标定, 实验期间为了便于监控实验数据, 并未进行标定启用物理量, 产出为电压量数据。

4 结束语

本文设计制作的垂直应变仪具备设计科学、安装操作性强、观测稳定的优点, 可以观测出清晰的固体潮和同震响应。垂直应变仪仍需优化完善, 如在观测系统中增加标定装置、钻取无裂隙和存水的

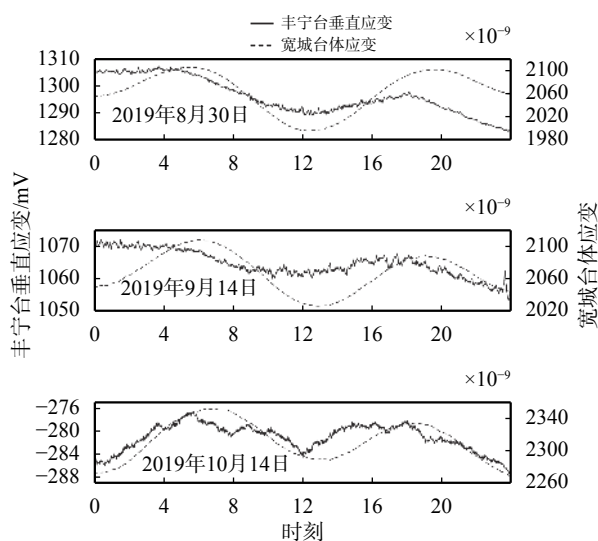


图3 固体潮大潮时与宽城台体应变日观测曲线对比图

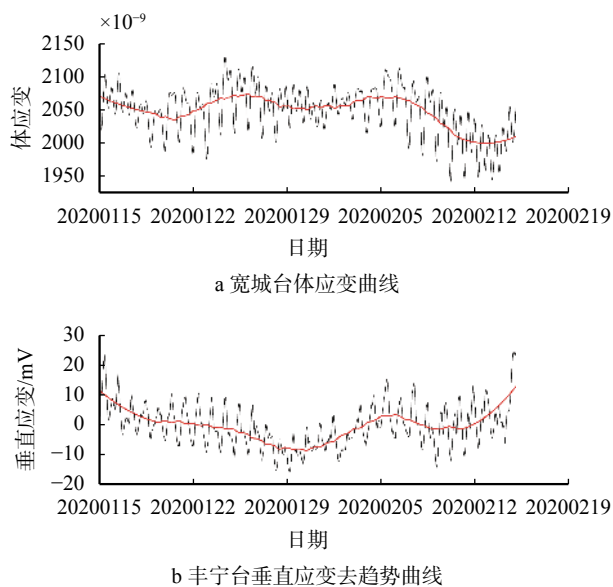


图4 2020年1月15日至2月14日垂直应变观测数据去趋势后与宽城体应变对比图

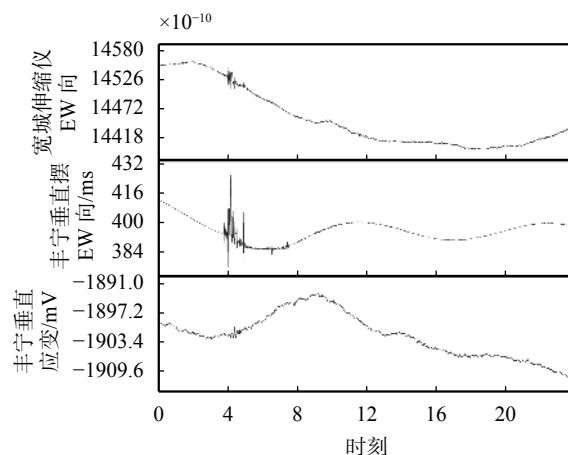


图5 垂直应变仪记录到2020年1月29日古巴7.7级地震的同震响应

观测孔等。完善后的垂直应变能够填补国内垂直应变观测的空白, 补充和完善线应变观测, 对于研究地壳三维应变状态以及用于地震监测具有科学和实践意义。

参考文献:

- [1] 杨江, 杜为民. 垂直应变的研究意义及模型分析 [J]. 西北地震学报, 2012, 34(4): 355-358.
- [2] 蔡维鑫, 谭适龄. ORBES-84 型垂直伸缩仪研制、试验的初步结果 [J]. 地壳形变与地震, 1991, 11(1): 103-106.
- [3] 韦生文, 白一峰. 大长径比高刚性碳纤维杆缠绕成型工艺研究 [J]. 电子工艺技术, 2015, 36(1): 55-58.

Development and Manufacture of Vertical Strain Seismic Observation Instrument

ZHANG Xiaogang¹, SUN Guicheng², REN Jia³, CHEN Liqiang⁴, WANG Zhenzhou⁵

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

2. Chengde Seismic Station, Hebei Earthquake Agency, Chengde 067000, China;

3. Hongshan Benchmark Seismic Station, Hebei Earthquake Agency, Xingtai 054000, China;

4. Qinhuangdao Seismic Station, Hebei Earthquake Agency, Qinhuangdao 066100, China;

5. Hebei University Of Science and Technology, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Using the carbon fiber tube as the baseline, a vertical strain observation instrument using new materials and new sensor technology was designed and made, and the experimental observation was carried out. The experiment shows that the instrument works well on the whole, the observation is stable, and it can clearly record the earth tide curve and the co-seismic response, which is of scientific and practical significance for earthquake monitoring.

Key words: earthquake; geophysical observation; strain; vertical strain

(上接第 43 页)

Location Results Error of Regional Automatic Earthquake Reporting and Manual Earthquake Reporting in Yunnan Seismic Network

ZHANG Huiyuan, YANG Jingqiong*

(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China)

Abstract: The location result error of regional automatic earthquake reporting and manual earthquake reporting of Yunnan seismic network was compared and analyzed base on officially published earthquake catalog from Jul. 1, 2009 to Dec. 31, 2017, the results shows that: ① The time of automatic quick report is not affected by the distribution of stations, while the time of manual quick report is closely related to the distribution of stations. ② For the determination of epicenter location, category 1 earthquakes are basically within the specified range, but there are big problems in automatic reporting of category 2 and 3 earthquakes. Although manual earthquake reporting has been improved, it still needs further optimization. ③ The regional automatic earthquake reporting system has a larger deviation in determining the magnitude of earthquakes with $M \geq 4.5$, and there is basically no problem in manual earthquake reporting. ④ The errors of origin time and depth are basically within the specified range, and the earthquakes with error exceeding the specified range are basically distributed in areas with fewer stations and unreasonable distribution of stations. Manual earthquake reporting has no obvious effect on improving the results. The missing report and false report are also analyzed to provide some references for the improvement of the earthquake report in Yunnan network.

Key words: Yunnan seismic network; regional automatic earthquake reporting; manual earthquake reporting; error analysis