

唐磊, 邱泽华, 郭燕平, 唐小勇, 徐斌, 2015. 无人值守钻孔应变台站的观测运行模式及探讨. 震灾防御技术, 10 (2): 405-411. doi: 10.11899/zzyfy20150221

无人值守钻孔应变台站的运行 模式及探讨

唐磊¹⁾ 邱泽华¹⁾ 郭燕平¹⁾ 唐小勇²⁾ 徐斌³⁾

1) 中国地震局地壳应力研究所(地壳动力学重点实验室), 北京 100085

2) 重庆市地震局, 重庆 401147

3) 北京市地震局, 北京 100080

摘要 根据 13 个无人值守钻孔应变台站的运行状况、观测数据连续率和潮汐因子相对中误差以及日常维护情况等, 本文总结了无人值守台站相比有人值守台站的优势及存在的问题, 探讨了未来无人值守台站的建设及运行时需要注意的问题, 旨在为无人值守模式钻孔应变台站的进一步发展提供参考。

关键词: 钻孔应变观测 无人值守台站 数据质量

引言

随着城市化的快速发展, 其对现有地震台站的观测仪器影响也日益增大。由于受工程建设、抽水灌溉、矿产开采等外部环境因素的影响, 地震台站的仪器观测数据质量也受到了越来越明显的影响, 这给地震台站的异常信息分析及识别带来了很大的困难。在地震前兆台网观测仪器中, 钻孔应变仪的观测灵敏度较高, 其灵敏度系数可达 10^{-10} (邱泽华等, 2002), 受外部环境干扰影响较大, 所以在台站安装钻孔应变仪前, 台址和台站运行模式的选择就显得尤为重要。

从 2006 年开始, 国家地震前兆台网中心与部分区域台网中心尝试利用无人值守运行模式进行钻孔应变观测。到 2008 年底, 共在北京、重庆、甘肃等地建设无人值守钻孔应变台站 13 个。通过近年来的运行发现, 这些钻孔应变台站与有人值守台站相比有其自身的特点, 但也存在着明显的不足。随着地震台站数字化、网络化进程的加快, 无人值守钻孔应变台站将会成为未来地震台站观测的重要运行模式之一, 但如何改进无人值守运行模式存在的缺点, 将成为急需解决的关键问题。为此, 笔者根据 13 个无人值守钻孔应变台站的运行状况、观测数据质量及日常维护情况等, 总结了无人值守钻孔应变台站相比有人值守台站的优势以及存在的问题, 探讨了未来无人值守钻孔应变台站的建设及运行时需要特别关注的问题, 以为无人值守钻孔应变台站的运行模式提供参考。

1 基金项目 中央公益性科研院所基本科研业务专项 (ZDJ2012-10) 资助

[收稿日期] 2014-10-30

[作者简介] 唐磊, 男, 生于 1981 年。助理研究员。主要从事钻孔应变台网管理及相关研究。E-mail: TangLei06@163.com

1 无人值守钻孔应变台站的基本概况

在国家地震前兆台网中,共有 13 个无人值守钻孔应变台站较早安装了钻孔应变仪,具体情况如表 1 所示。这些钻孔应变台站并未集中分布在同一地震断裂带或同一区域,而是分别布设在北京、甘肃、重庆、四川等四个区域。同时,这些钻孔应变台站分别由不同的项目资助完成,其中,北京、四川及重庆合川云门的钻孔应变台站由中国数字地震观测网络项目资助;重庆地区的其他 6 个钻孔应变台站由三峡库区重庆段地震监测系统项目资助(陈敏等, 2011);甘肃地区的 2 套体应变仪由台阵实验项目资助。这种根据不同项目布设钻孔应变台站的模式,未来还会被各种项目继续沿用,所以在制定钻孔应变台站的规划中,可将已经(或未来准备)布设的钻孔应变台站一并进行统筹考虑,如此可形成密度较大的区域钻孔应变台网。同时,目前已经运行的无人值守钻孔应变台站,又可为未来建设更多的无人值守钻孔应变台站提供借鉴和参考。

在目前已有的 13 个钻孔应变台站中,共安装了 2 套 TJ-2 型体应变仪、5 套 YRY-4 型分量钻孔应变仪和 6 套 RZB 型分量钻孔应变仪。而在国家地震前兆台网中,也主要是上述三种钻孔应变仪。上述 13 套仪器的探头埋深跨度在 37—100m 之间,且仪器已连续运行了 5 年以上(截止到 2013 年 12 月 31 日),已经为探讨无人值守钻孔应变台站的运行模式提供了大量可借鉴的观测资料。

表 1 无人值守钻孔应变台站基本概况

Table 1 The basic situation of 13 unattended borehole strain observation stations

区域	台站名称	仪器类型	安装时间	探头埋深 (m)
北京	顺义龙湾屯	YRY-4 型分量钻孔应变仪	2007 年 11 月	41.0
	平谷茅山后村		2007 年 11 月	58.0
	怀柔对石村		2007 年 11 月	44.1
甘肃	英鸽台	TJ-2 型体应变仪	2006 年 4 月	51.9
	寺滩应变台		2006 年 4 月	56.0
重庆	合川云门	YRY-4 型分量钻孔应变仪	2007 年 11 月	41.0
	巴南石龙	RZB-2 型分量钻孔应变仪	2008 年 4 月	91.5—93.3
	垫江新民		2008 年 6 月	88.8—90.6
	梁平复平		2008 年 4 月	98.2—100.0
	奉节红土		2008 年 4 月	86.4—88.2
	石柱黄水		2008 年 4 月	56.7—58.5
	万州天星		2008 年 4 月	43.4—45.2
四川	金河		YRY-4 型分量钻孔应变仪	2007 年 4 月

2 钻孔应变台站观测数据的质量状况

根据中国地震局地壳形变台网中心观测数据质量评比细则(陈志遥等, 2012), 钻孔应变

观测的数据质量主要以数据的连续率和 M2 波潮汐因子相对中误差为评价指标，如表 2 所示。为此，笔者将从这两个方面分别对现有无人值守钻孔应变台站的观测数据质量进行分析。

表 2 钻孔应变台站观测数据质量的评价指标

Table 2 Quality evaluation index of borehole strain data

测项	评价结果	数据连续率	M2 波潮汐因子相对中误差
钻孔应变	优	$\geq 95\%$	$a \leq 0.05$
	良	$\leq 95\%, \geq 60\%$	$0.05 < a \leq 0.1$
	差	$\leq 60\%$	$a > 0.1$

2.1 钻孔应变台站观测数据的连续率

钻孔应变台站观测数据的连续率可反映出某一时间段内，观测数据的连续性和完整性，一般的可表示为：

$$W = (N_m / N_s) \times 100\% \quad (1)$$

式中， N_m 为某时间段实测数据数量； N_s 为某时间段应测数据数量。

对于上述 13 个无人值守钻孔应变台站，笔者选取 2009—2013 年的观测数据进行分析，表 3 为 13 个无人值守钻孔应变台站的年度观测数据的连续率。需说明的是，在计算观测数据的连续率时，分量钻孔应变仪的连续率为 4 个测道观测数据连续率的均值。从表 3 可以看出，除了寺滩钻孔应变台站各年度观测数据的连续率较低以外，大多数钻孔应变台站各年度观测数据的连续率均在 95% 以上（除个别年度外）。总体上而言，钻孔应变台站观测数据的完整性较高。表 3 中，怀柔对石村台站的钻孔应变仪进行安装时，由于应变传感器与岩石壁接触松弛，致使观测数据不正常无法使用，故未计算观测数据的连续率及 M2 波潮汐因子相对中误差。

表 3 无人值守钻孔应变台站观测数据的连续率

Table 3 Continuous rate of data recording from unattended borehole strain observation stations

钻孔应变台站	观测数据的连续率%					
	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	均值
顺义龙湾屯	98.34	98.98	96.67	91.91	99.37	97.05
怀柔对石村	-	-	-	-	-	-
平谷茅山后村	98.04	99.79	94.45	65.00	99.98	91.45
英鸽	99.43	97.41	98.38	99.52	99.16	98.78
寺滩应变	88.74	65.25	63.53	87.80	96.40	80.34
合川云门	94.99	92.08	99.26	98.30	99.27	96.78
巴南石龙	94.99	99.94	98.62	99.72	98.62	98.38
垫江新民	96.48	99.53	99.08	99.91	99.98	99.00
奉节红土	99.00	99.58	97.76	99.72	99.63	99.14
梁平复平	90.89	99.06	98.52	99.58	99.51	97.51
石柱黄水	96.39	99.66	98.94	99.95	99.86	98.96
万州天星	86.75	99.73	97.32	99.87	98.34	96.40
金河	97.73	76.63	99.68	98.83	98.22	94.22

观测数据连续是无人值守钻孔应变台站必须具备的基本条件。从表 3 可以看出, 在 13 个无人值守钻孔应变台站中, 部分台站存在经常缺失观测数据的情况。图 1 为甘肃寺滩钻孔应变台站 2010 年的观测曲线, 从图中可以看出, 从 2010 年 8 月开始观测数据缺失, 严重影响了观测数据的正常使用, 致使观测数据的利用价值较低。

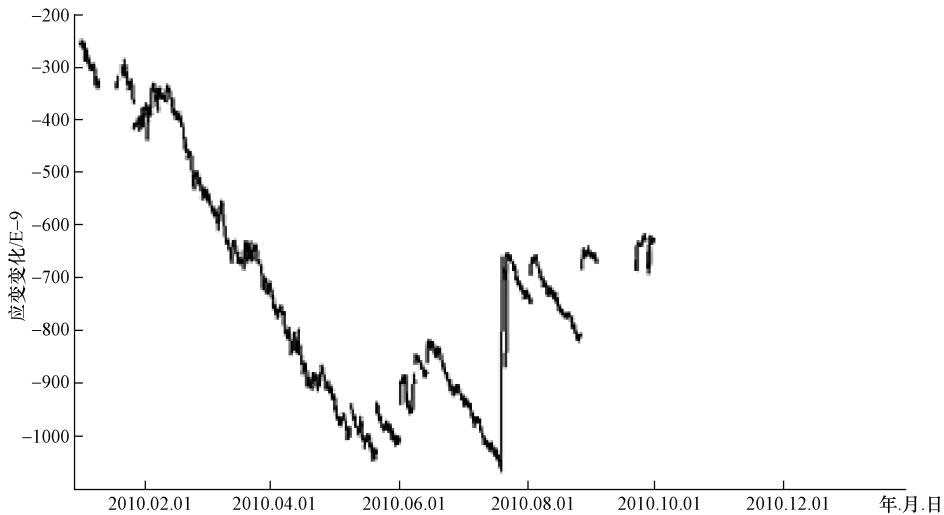


图 1 寺滩台钻孔应变观测曲线

Fig. 1 The observation curve of Sitan station in 2010

笔者对 13 个钻孔应变台站进行调查后发现, 引起观测数据缺失的主要原因是供电故障和通讯故障。考虑到无人值守钻孔应变台站的供电大多是利用当地的电源, 由于经常会出现断电的情况, 所以需要由蓄电池提供相对持久的电源来维持运行。为此笔者建议, 在进行仪器安装时, 需配备性能较高的 UPS 电源以防断电, 可采用市电和太阳能供电相结合的方式供电, 而不采用地方电源。另外, 还要尽量利用先进和稳定的无线网络传输, 以避免网络中断引起的观测数据缺失。

2.2 钻孔应变台站观测数据的质量

对钻孔应变台站观测数据质量进行评价时, M2 波潮汐因子相对中误差是一项重要的评价指标, 其计算公式为:

$$a = \frac{S}{R_a} \quad (2)$$

式中, S 为 M2 波的中误差; R_a 为 M2 波潮汐因子 (形变学科通讯, 2008)。

a 可反映出钻孔应变仪记录固体潮的能力, a 越小, 观测数据曲线呈现的固体潮越清晰, 表明观测数据的可信度越高。

表 4 为无人值守钻孔应变台站的 M2 波潮汐因子相对中误差, 同连续率的计算一样, 分量钻孔应变仪的 a 为 4 个测道观测数据 a 的均值。从表中可以看出, 顺义龙湾屯、垫江新民、奉节红土、金河台的 a 值较高, 未达到良好以上, 说明这些台站的观测数据记录固体潮的能力较低, 在观测曲线上呈现的固体潮不清晰或无固体潮; 而其他 9 个台站观测数据记录固体潮的曲线清晰, 表明观测结果可靠。

表 4 无人值守钻孔应变台站的潮汐因子相对中误差

Table 4 Relative error of tidal factor from unattended borehole strain observation stations

钻孔应变台站	M2 潮汐因子相对中误差 a					
	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	均值
顺义龙湾屯	0.0664	0.2598	0.2078	0.3160	0.4992	0.2698
平谷茅山后村	0.0614	0.0408	0.1828	0.0879	0.0483	0.0842
怀柔对石村	-	-	-	-	-	-
英鸽	0.0048	0.0084	0.0151	0.0092	0.0389	0.0153
寺滩应变	0.0301	0.0443	0.0721	0.1501	0.0717	0.0737
合川云门	0.0168	0.0459	0.0144	0.0176	0.0133	0.0216
巴南石龙	0.0135	0.0077	0.0408	0.0200	0.0327	0.0229
垫江新民	0.4094	0.2084	0.5128	0.4240	0.4488	0.4007
奉节红土	0.8427	0.3769	0.4730	0.4307	0.3643	0.4975
梁平复平	0.0218	0.0219	0.0278	0.0238	0.0193	0.0229
石柱黄水	0.0225	0.0143	0.0311	0.0206	0.0184	0.0214
万州天星	0.1549	0.0282	0.1329	0.0304	0.0441	0.0781
金河	0.0565	0.0689	0.1334	0.1818	0.1307	0.1143

笔者对 13 个钻孔应变台站的 M2 潮汐因子相对中误差 a 进行调查后发现,其中奉节红土、垫江新民,北京顺义龙湾屯、怀柔对石村台由于观测环境差,干扰较大,导致观测数据质量较差,观测曲线固体潮不清晰,加大了从观测数据中提取异常信号的难度,其观测数据的实用性较低;重庆合川云门台的第 1 测道、平谷茅山后村台第 3 测道,由于钻孔应变仪的元件已出现故障,没有记录到固体潮;怀柔对石村台钻孔应变仪的传感器与岩石壁接触松弛,导致钻孔应变仪各分量均出现了不正常的观测数据,且观测数据曲线无固体潮形态、年变化规律及同震响应,无使用价值(见图 2)。

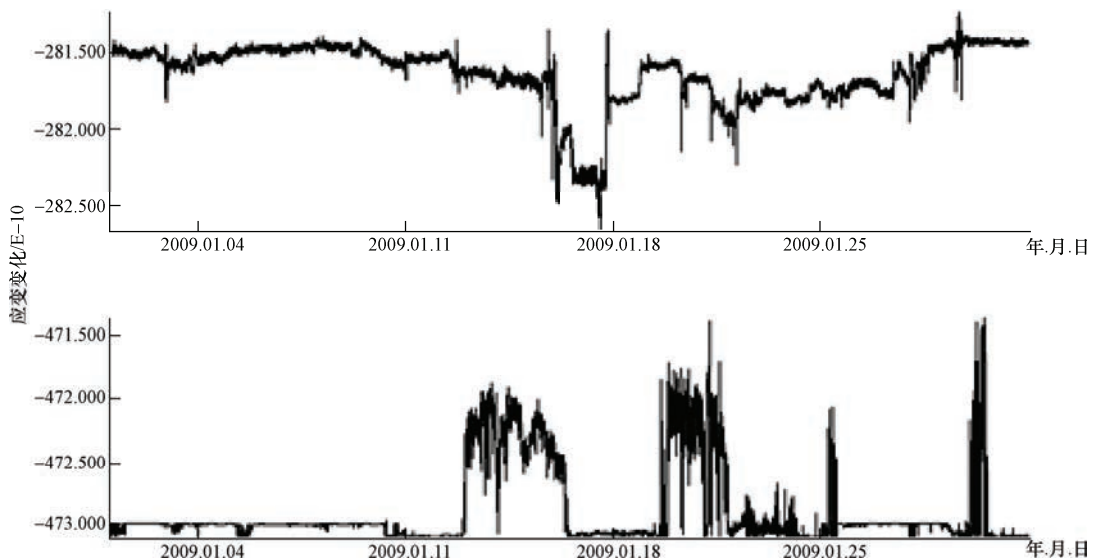


图 2 怀柔对石村台钻孔应变观测曲线

Fig. 2 The observation curve of Huairou station in January 2009

2.3 钻孔应变台站的日常运行与监控

笔者对 13 个无人值守钻孔应变台站的日常运行监控进行调查后发现, 由于无工作人员值守, 造成这些台站缺少钻孔应变仪的运行日志、工作日志以及观测月报、年报等。当钻孔应变仪出现故障或观测曲线出现较大变化时, 有人值守钻孔应变台站会在日志、月报和年报中备注异常变化出现的原因及调查结果, 数据分析人员在利用钻孔应变台站的数据时, 会根据日志、月报或年报中的内容判断异常变化。相反, 无人值守钻孔应变台站由于缺少上述资料, 不利于数据分析人员对异常变化的判断, 而是只能根据经验判断极大地降低了观测数据的利用效率。因此, 如何解决无人值守钻孔应变台站日志、月报和年报的填写, 已成为无人值守钻孔应变台站发展中急需解决的一个重要问题。鉴于目前无人值守钻孔应变台站观测的现状, 笔者建议在未来建设无人值守钻孔应变台站时, 应在距离现有有人值守台站较近的地区选址, 这样可以依托周围的有人值守台站, 定期进行巡检并填写相关的基础资料及数据异常变化调查结果。

3 结论及建议

基于上述对 13 个无人值守钻孔应变台站的分析, 经与相关地区及台站工作人员讨论, 笔者得出了以下结论及解决方案。

(1) 无人值守钻孔应变台站的优点及前景

无人值守钻孔应变台站的运行管理模式可减少台站人员编制, 节约人员经费; 无人值守钻孔应变台站可布设在环境干扰较少的无人区, 它可以远离江河、水库、湖泊、铁路、公路、采石及采矿区、城镇等对观测有较大影响的地区, 这样可提高观测数据质量易于提取地震临震异常信号; 随着城市化的快速发展, 对现有有人值守地震台站的观测仪器影响日益增大, 观测数据质量受环境影响越来越明显, 不利于异常信息的分析及识别, 而无人值守钻孔应变台站的发展可改进这种状况。

(2) 存在的问题及解决方案

与有人值守台站相比, 无人值守钻孔应变台站观测数据连续率相对较低, 导致数据连续率低的主要原因有: ①无人值守钻孔应变台站出现供电故障和通讯故障的概率较高; ②日常运行维护及监管相对较难, 当观测设备出现故障时, 无法及时采取处理措施, 致使数据缺失率较高; ③无人值守钻孔应变台站的防护性差, 偷盗、破坏地震观测设备的事件时有发生。针对上述情况可通过以下方式解决: ①完善供电系统和网络通讯系统; ②区域地震台网中心需配备适量的备用仪器, 确保仪器出现故障时能够及时更换, 以确保观测数据的连续性; ③利用远程实时监控, 完成对无人值守钻孔应变台站观测设备运行状况的监控, 当发现观测故障时, 及时与当地看护人员联系, 无法解决问题时, 及时安排人员现场维修(陈吉锋等, 2012; 左德霖等, 2011); ④依托周围的有人值守台站, 定期进行巡检。

考虑到部分无人值守钻孔应变台站依然受环境影响严重, 导致观测数据质量低, 数据可用性不高, 为此笔者建议在今后无人值守钻孔应变台站的选址过程中, 在满足钻孔应变仪对观测环境要求的前提下, 应坚持选择无干扰地区。即便是在一些重要的地震带上必须布设无人值守钻孔应变台站时, 如果在观测环境不理想的情况下, 也应尽量选择干扰最少的地区。

同时, 针对无人值守钻孔应变台站日常运行监控中出现的问题, 笔者建议在建设无人值守台站时, 应在距离现有有人值守台站较近的地区选址; 台站建设及仪器安装的基础资

料应配备齐全，包括台站及周围的环境、可能的干扰源、地质构造资料、井孔资料等（陈敏等，2011）；另外，在无人值守台站建设时，应考虑配备辅助的观测设备，如气象三要素观测设备等。

虽然无人值守钻孔应变台站目前还存在一些问题，但通过上述方案可解决一些关键性的问题。另外，由于钻孔应变仪观测灵敏度高，受环境干扰影响大，无人值守钻孔应变台站在选址时，可视观测仪器远离环境干扰地区而灵活选定，这样可提高观测数据的质量。可以预见的是，无人值守钻孔应变台站一定会成为今后钻孔应变台站观测的主要模式。

参考文献

- 陈吉锋, 陈军辉等, 2012. 无人值守地震台站远程监控系统的设计与实现. 地震研究, **35**(3): 429—433.
- 陈敏, 郭卫英等, 2011. 重庆无人值守钻孔应变观测台站运行实践. 地壳构造与应力文集, **23**: 139—144.
- 陈志遥, 李辉, 吕品姬等, 2012. 形变学科观测资料质量年度评比办法(2011修订). 北京: 中国地震局地壳应力研究所.
- 邱泽华, 张宝红, 2002. 我国钻孔应力-应变地震前兆监测台网的现状. 国际地震动态, (6): 5—9.
- 形变学科通讯, 2008. 2007年度观测资料精度评定专集. **19**: 54—55.
- 左德霖, 丁文秀等, 2011. 无人值守GPS站点远程监控系统. 大地测量与地球动力学, **31**(2): 153—159.

The Discussion about Operations of the Unattended Borehole Strain Observation Station

Tang Lei¹⁾, Qiu Zehua¹⁾, Guo Yanping¹⁾, Tang Xiaoyong²⁾ and Xu Bin³⁾

1) Key laboratory of Crustal Dynamics, Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China

2) Chongqing Earthquake Administration, Chongqing 401147, China

3) Beijing Earthquake Administration, Beijing 100080, China

Abstract Based on studying of the continuous rate of observation data and the relative error in tidal factor, the daily maintenance situation from 13 unattended borehole strain observation stations, we summarized the advantages and the existing problems in operation of unattended station compared with manned stations. We discussed the problems in construction and operation of unmanned stations in the future. This will provide the references for the further development of unattended borehole strain observation stations.

Key words: Borehole strain observation; Unattended station; Data quality