

张元生、邹锐、颜文华,2016,祁连山气枪主动震源浮台漂移钢索悬吊控制技术,中国地震,32(2),438~442。

祁连山气枪主动震源 浮台漂移钢索悬吊控制技术

张元生 邹锐 颜文华

中国地震局兰州地震研究所,兰州市东岗西路 450 号 730000

摘要 针对地下介质动态变化监测研究中的信噪比、震源可重复性和波速精确测量等关键问题,利用大容量气枪作为主动震源,构建了一套高性能的主动源探测技术系统,该系统主要由气枪震源和信号接收 2 部分组成。为了解决浮台偏离设定位置的问题,提出了浮台漂移控制技术。实验结果表明,该技术可以有效地解决气枪激发后浮台受到水流冲击作用而偏离设定位置的问题。本研究结果可为一定激发场地情况下的气枪主动震源重复探测工作所借鉴。

关键词: 主动源 大容量气枪 浮台漂移 重复性

[文章编号] 1001-4683(2016)02-0438-05 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

随着地震台站资料的密集化和地下结构探测能力的提高,高分辨率的地球内部结构成像已逐渐变得清晰,但是由于通过直接观测的方法获得地下介质的动态变化比较困难,因而对于地下介质动态变化的认识仍相对较弱。迄今为止,地震波是所知的唯一能够穿透地球内部的振动(陈颀等,2005),在地震波的观测中,波速是测量精度最高、最可靠的参数,其测量方法亦相对成熟。从原理上讲,地下深部应力随时间的变化可以通过地震波速度的变化来反映。

目前,国内外相关学者分别利用重复地震、噪声和人工震源等来研究地下介质的动态变化(Schaff et al, 2004; Brenguier et al, 2008; Siliver et al, 2007; Niu et al, 2008; 陈颀等, 2006、2007; 林建民等, 2006; Wang et al, 2008; 王伟涛等, 2009)。但重复地震发生的时间和地点不可控制,加之天然地震定位精度有限,因此无法进行长期的动态监测;而噪声源能量弱,需要长时间叠加才能获得可靠的测量结果,上述因素都限制了利用天然源测量地下介质时空变化的精度及分辨率(王宝善等, 2011)。人工震源具有震源位置已知、激发时间可控、观测系统分布灵活方便、可以进行密集观测等优点,在区域尺度研究中有望弥补天然源在精度上的不足(杨微等, 2013)。

[收稿日期] 2015-11-30; [修定日期] 2015-12-19

[项目类别] 国家自然科学基金“利用气枪重复震源研究祁连山北缘断裂带区域深部波速的时空演化”(41574044)、中国地震局公益性行业科研专项“中国地震科学台阵探测——南北地震带北段”(201308011)共同资助

[作者简介] 张元生,男,1965年生,研究员,主要从事地震学、卫星遥感应应用及地震预测预报等方面的研究工作。

E-mail: zhangys2011@163.com

主动源重复探测简称主动源,是以大容量气枪作为震源进行连续激发,以获取人工震源信号(杨微等,2013)。主动源由具有高度重复性的震源激发系统、流动地震观测设备及固定地震台站等组成。

祁连山主动源项目的实施地点位于甘肃省张掖市祁连山西流水水库,研究任务主要是以大容量气枪作为震源进行连续激发,对研究区域进行定期“B超检测”,为研究区域的应力状态演化和地震危险性判定提供依据。祁连山主动源项目自2013年开始已完成了激发场地的确定以及观测系统、激发系统的建设,至2015年7月9日,已全部建成并正式投入运行。以激发源为中心,在约400km区域内布设了由40套短周期流动地震仪与14个固定地震台构成的观测系统。激发系统由激发浮台、气枪组及起吊装置、气控装置、空气压缩机等组成(图1)。

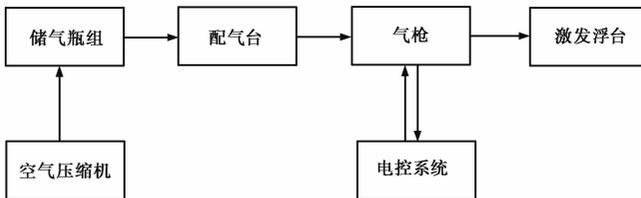


图1 祁连山主动源气枪激发系统示意图

在固定浮台和实际激发过程中,我们发现如何解决浮台漂移问题是一个难题。原因是由于水库水面每天有强风浪,加之气枪激发后存在强水流作用,这都使得浮台产生明显的偏离原位置的现象。为了减少浮台漂移带来的影响,本文提出了一种浮台漂移控制技术。

1 理论与方法

祁连山主动源浮台钢缆固定装置如图2所示,将1根横跨湖面的长钢缆固定于两岸,并采用6根纵向钢缆将浮台控制于湖面的设定位置,其中,6根纵向钢缆的一端分别固定于长钢缆之上,另一端吊一相同大小的等重量水泥块沉于湖水中,纵向钢缆和浮台的连接为活动的,以保证钢缆受力吃紧,并能够抵抗风力和水流冲力,以确保浮台在设定位置附近活动。

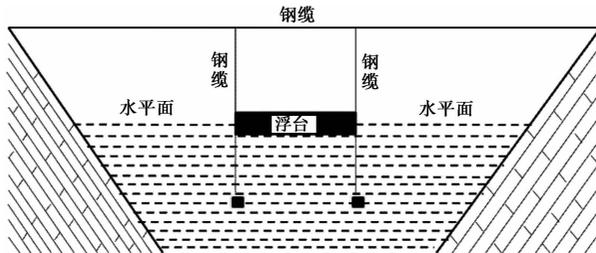


图2 浮台漂移钢缆固定正视图

当有风或激发后,浮台受到风力和水流冲力的作用会向某个方向漂移(图3),偏离设定位置,这时,纵向钢缆将产生1个反方向的水平回复力,迫使浮台回到设定位置附近。浮台钢缆受力分析如图3所示。 T_{1x} 、 T_{2x} 、 T_{3x} 分别表示3根钢缆的拉力在水平方向上的分力,其合

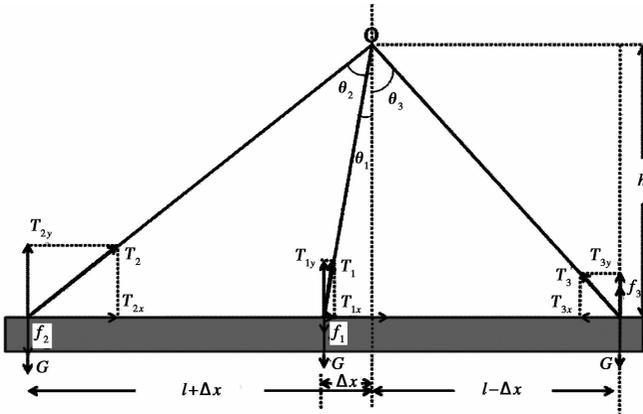


图3 浮台漂移钢缆固定受力分析

力为回复力。

纵向6根钢缆中的3根钢缆所受拉力分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 ，浮台另一边的3根钢缆受力情况与图3完全相同。若每个石块的重力为 mg ，水对石块的浮力为 f ，浮台3个受力部位的摩擦力分别为 f_1 、 f_2 、 f_3 ，设浮台发生偏离的距离为 Δx ，令

$$G = mg - f \quad (1)$$

则纵向钢缆的拉力 T_1 、 T_2 、 T_3 在垂向上的分力为

$$T_{1y} = G + f_1 \quad (2)$$

$$T_{2y} = G + f_2 \quad (3)$$

$$T_{3y} = G - f_3 \quad (4)$$

钢缆与中心线(垂向虚线)之间的夹角分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ，根据三角函数关系则有

$$T_{1x} = (G + f_1) \frac{\Delta x}{h} \quad (5)$$

$$T_{2x} = (G + f_2) \frac{l + \Delta x}{h} \quad (6)$$

$$T_{3x} = (G - f_3) \frac{l - \Delta x}{h} \quad (7)$$

$$f_1 = \mu T_{1x} \quad (8)$$

$$f_2 = \mu T_{2x} \quad (9)$$

$$f_3 = \mu T_{3x} \quad (10)$$

其中, h 为浮台到横跨钢缆的垂向距离; l 为偏移距离; μ 为摩擦系数。浮台受到的回复力为

$$\Delta F = 2(T_{1x} + T_{2x} - T_{3x}) \quad (11)$$

将式(5)~(10)分别代入式(5)~(7),再代入式(11),则有

$$\Delta F = 2G \left[\frac{\Delta x}{h - \Delta x \mu} + \frac{l + \Delta x}{h - \mu(l + \Delta x)} - \frac{l - \Delta x}{h - \mu(l - \Delta x)} \right] \quad (12)$$

整理化简后可得回复力为

$$\Delta F = 2G \frac{(3h^2 - 2\mu hl + \mu^2 l^2) \Delta x - 2\mu h \Delta x^2 - \mu^2 \Delta x^3}{(h - \mu \Delta x) [h - \mu(l + \Delta x)] [h - \mu(l - \Delta x)]} \quad (13)$$

2 控制能力及偏移距离对观测影响的分析

钢缆下端水泥石块质量 mg 为 71kg, 其长、宽、高分别为 60、27、16cm, 则石块受到的浮力 f 约为 26kg, 式(13)中 l 为 5m, h 为 8m, 取钢缆的摩擦系数为 0.5, 将这些参数代入式(13), 计算得到 ΔF 与 Δx 的关系图。

根据回复力函数关系式计算曲线(图4), h 为 8m、浮台发生 1m 偏移时, 回复力为 95kg; 偏移为 2m 时, 回复力为 196kg; 偏移为 3m 时, 回复力为 309kg; 偏移为 4m 时, 回复力为 441kg。数据说明偏移距离越大, 其产生的回复力也越大, 越容易回到设定位置。在 $h = 12m$ 的情况下, 其回复力小于 $h = 8m$ 时的回复力, 也就是说, h 增加而回复力减小, 因此调整横跨钢缆离水面的高度 h 是必要的。

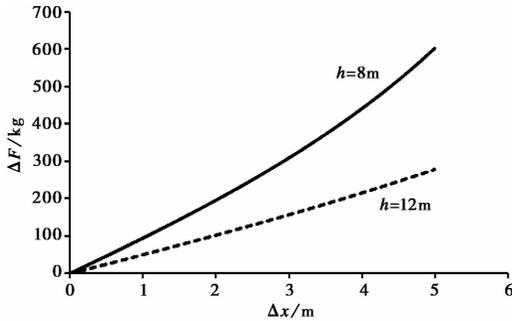


图4 浮台受到的回复力函数关系曲线

在风力和水流冲力的作用下, 由于受风向的影响, 按一般偏离距离 5m 计算时实际可能会产生 10m 左右的偏移误差(风向为反方向), P 波在水中的传播速度约为 1.5km/s, 对 P 波震相到时可引起约 7ms 的偏差。根据固体潮的实际观测数据, 祁连山地区震中距为 20km 左右的台站, 对主动源 P 波到时观测值的影响值为 10~15ms。这说明浮台漂移对实际观测值的影响相当于固体潮的影响, 因此, 浮台漂移问题是不可忽视的。

使用上述控制技术, 经观察在强风浪的情况下, 激发后浮台在回复力的作用下 2min 之内可将浮台拉回原激发点位置(设定位置); 无风浪时, 激发后 1min 之内可将浮台拉回原位置, 从而保证了下一次激发时的激发点位置与上一次激发点位置基本一致。

3 结论与讨论

通过较长时间的实验研究与观察, 浮台漂移控制技术对解决浮台漂移问题是有效的。在 1 次激发后的 1~2min 之内可将浮台拉回到上一次激发点位置, 为气枪连续激发探测祁连山地区的地下应力动态变化提供了技术保障。该技术对类似激发场地是实用的, 调整横跨钢缆的高度可以使回复力达到最佳状态。

参考文献

- 陈颢、王宝善、葛洪魁等,2007,建立地震发射台的建议,地球科学进展,22(5),441~446。
- 陈颢、周华伟、葛洪魁,2006,华北地震台阵探测计划,大地测量与地球动力学,25(4),1~5。
- 陈颢、朱日祥,2005,设立“地下明灯研究计划”的建议,地球科学进展,20(5),485~489。
- 林建民、王宝善、葛洪魁等,2006,重复地震及其在人工探测中的潜在应用,中国地震,22(1),1~9。
- 王宝善、王伟涛、葛洪魁等,2011,人工震源地下介质变化动态监测,地球科学进展,26(3),249~256。
- 王伟涛、王宝善、葛洪魁等,2009,利用主动震源检测汶川地震余震引起的浅层波速变化,中国地震,25(3),223~233。
- 杨微、王宝善、葛洪魁等,2013,大容量气枪震源主动探测技术系统及试验研究,中国地震,29(4),399~410。
- Brenguier F, Campillo M, Hadziioannou C, et al, 2008, Postseismic relaxation along the San Andreas Fault at Parkfield from continuous seismological observations, Science, 321, 1478~1481.
- Niu F L, Silver P G, Daley T M, et al, 2008, Preseismic velocity changes observed from active source monitoring at the Parkfield SAFOD drill site, nature, 454, 204~208.
- Schaff D P, Beroza G C, 2004, Coseismic and postseismic velocity changes measured by repeating earthquakes, J Geophys Res, 109, B10302, doi:10.1029/2004JB003011.
- Silver P G, Daley T M, Niu F L, et al, 2007, Active source monitoring of cross-well seismic travel time for stress-induced changes, Bull Seism Soc Am, 97(1B), 281~293.
- Wang B S, Zhu P, Chen Y, et al, 2008, Continuous subsurface velocity measurement with coda wave interferometry, J Geophys Res, 113(B12), doi:10.1029/2007JB005023.

The drift control technology of wire-suspension for air-gun source platform in the Qilian Mountain

Zhang Yuansheng Zou Rui Yan Wenhua

Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China

Abstract There are several key issues in dynamics monitoring of subsurface, such as signal to noise ratio (SNR), repeatability of seismic sources and accurate measurement of velocity. Using large volume air-gun source, we constructed a high-performance active system which mainly consist of air-gun excitation and signal reception. In order to reduce the platform deviating from the shot position, we put forward platform drift control technology. Experimental results show that the technology can effectively solve the problem of the dislocation of rafts caused by air-gun stimulation. The results of this study can be a reference for the repeated exploration by active air-gun seismic source in some excitation sites.

Key words: Active source; Air-gun; Platform drift; Repeatability