

云龙地震台水管倾斜仪与水平摆倾斜仪 同震响应对比分析*

杨玲英, 崔庆谷, 毛先进, 杨海鹏, 张源, 白世达

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 对用水管仪与水平摆仪记录到的同一地震所激发的地倾斜响应进行对比分析, 结果表明: 水管仪与水平摆仪这两种观测系统对远震、近震及地方震都具有不同程度的同震响应; 对于同一地震, 一般水平摆倾斜仪的响应幅度大于水管倾斜仪; 同一观测系统的响应幅度与震级成正比, 震荡时间与震中距、震级有关。

关键词: 水管仪; 水平摆仪; 地倾斜; 同震响应

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0048-05

0 前言

地倾斜监测是地震前兆监测的主要手段之一, 随着观测的开展, 国内很多学者(刘序俨等, 1988; 郗钦文, 2002; 李杰等, 2003)都进行了相关的研究, 水管倾斜仪与水平摆倾斜仪是常用的台站定点形变监测仪器。有的台站不但安装了水管倾斜仪器也安装了水平摆倾斜仪器, 作为同时监测地倾斜的仪器, 它们对同一地震的激发响应有什么不同呢? 笔者选取直属云南省地震局的云龙地震台的水管倾斜仪与水平摆倾斜仪的记录资料, 对比分析这两种仪器对同一地震的响应情况。

1 台站概况

云龙地震台地处云南省滇西地区偏北部, 大理白族自治州云龙县境内, 海拔高度1 710 m, 山洞被覆为草皮及矮小杂木植被。该台位于红河断裂中段西侧, 在红河断裂与澜沧江断裂之间, 更靠近澜沧江断裂。台址基岩为侏罗纪细砂岩, 完整而且比较坚硬。云龙台台基好, 干扰小, 仪器内精度高, 观测数据质量高(云南省地震局, 2005)。

2 两种倾斜仪的工作原理、性能及安装情况

水平摆倾斜仪的工作原理: 利用水平摆的高放

大性能, 对微小的地倾斜变化进行连续记录。水管倾斜仪的工作原理: 相同的两个容器中, 同一液体在相同的气压、温度等条件下, 其液面在静止时位于同一水平面上, 当地面产生倾斜时, 两个容器也随之倾斜, 从而相对于保持水平的液面产生垂直位移, 借助于测微系统精确地测定此位移量, 即可换算成地面的倾斜值(国家地震局, 1986)。

水管倾斜仪与水平摆倾斜仪的观测对象都是地平面与水平面之间的夹角(即地平面法线与铅垂线的夹角)及其随时间的变化。观测值有大小和方向, 单位是角秒。观测精度为 $0.003''$, 零漂 $\leq 0.005''/d$, 采样率为1次/min(中国地震局, 2001)。

云龙台水管仪的基线长度为北南向32.2 m、东西向31.505 m; 水平摆的折合摆长北南向为75.84 mm、东西向71.11 mm, 两个方向的光杆距都是5.0 m。两套仪器安装在同一个山洞内, 直线距离不到10 m。

3 资料及数据处理

笔者共选择8个地震作为水管仪与水平摆仪同震响应分析的样本, 分别为2011年3月11日日本本州东海岸里氏9.0级特大地震、2008年5月12日汶川8.0级地震、2007年9月13日印尼7.5级地震、2011年3月24日缅甸7.4级地震、2007年6月3日宁夏6.4级地震、2011年6月20日腾冲5.2级地震、2011年5月31日腾冲4.5级地震、

* 收稿日期: 2011-08-30.

基金项目: 云南省地震监测中心专项资助课题(jc201101)资助.

2011 年 5 月 28 日腾冲 3.1 级地震，这 8 个地震的震源参数见表 1。

选取的地震震级涵盖了 3.1 级小震到 9.0 级特大地震；震中距最小的是腾冲 4.2 级地震，为 117 km，最大的是日本东海地震，达 2 852 km；有发生在陆地的地震，也有发生在海底的地震。最后笔者从这 8 个地震中选择了发生在腾冲的 3 个震例，探索水管仪与水平摆仪对于同样震中距、地

震响应时间延迟差异小、震级差别大的地震的响应差异。

在作同震响应分析之前，一般要进行数据预处理，由于水平摆与水管仪的观测基线不同，且地倾斜观测是相对观测，因此要选定一个共同的起始时刻，一般选地震当天的 0 时作为起始时刻，两种倾斜仪的观测值都分别减去地震前一天相应时刻的观测值，即为倾斜相对变化量。

表 1 选取的 8 个地震的震源参数
Tab. 1 Source parameters of the selected 8 earthquakes

序号	地点	震中位置		发震时间		震级	震中距/km
		$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	年-月-日	时:分		
1	日本东海	38.1	142.6	2011-03-11	13:46	9.0	2 852
2	汶川	31.0	103.4	2008-05-12	14:28	8.0	733
3	印尼苏门答腊	-2.1	99.6	2007-09-13	11:35	7.5	1 866
4	缅甸	21.27	100.2	2011-03-24	21:55	7.4	495
5	宁洱	23.00	101.0	2007-06-03	05:34	6.4	360
6	腾冲	25.03	98.41	2011-06-20	18:16	5.2	118
7	腾冲	25.03	98.42	2011-05-31	21:13	4.5	117
8	腾冲	25.03	98.39	2011-05-28	06:46	3.1	120

4 水管仪与水平摆仪的地倾斜响应分析

笔者计算了所选取的 8 次地震所激发的云龙地震台水管仪与水平摆仪记录到的地倾斜相对变化，并绘出同震响应图（图 1）。从图 1 中可以看出，同一个地震，两种地倾斜的响应不同；同一地区（比如腾冲）的地震，同类仪器（水管仪或水平摆）的响应也不相同。

笔者从云龙地震台水管仪与水平摆仪地震响应幅度、地震响应延迟时间、地震激发震荡时间这 3 个量对震中距相近、震级不同的腾冲地震的响应进行对比分析。图 2 中横坐标是震级，纵坐标分别是水管仪与水平摆仪对同一地震激发的地震响应幅度（图 2a）、地震响应延迟时间（图 2b）和地震激发震荡时间（图 2c）。从图 2 可以看出，同一个地震，不同地倾斜观测仪器在振幅、延迟时间、震荡时间方面的响应不同；随着震级的增大，不同仪器或同一仪器，在振幅、延迟时间、震荡时间方面的变化也不同。通过这 8 个地震的总结分析，可以得出一些规律性的认识。

（1）地震响应幅度对比分析：从图 2a 看出，

除了腾冲 5.2 级地震及日本 9.0 级地震外，其余 6 个地震都是水平摆仪的地震响应幅度大于水管仪，这是因为水平摆仪的阻尼远比水管仪小。除了印尼苏门答腊 7.5 级地震以外，其他 7 个地震水管仪的响应幅度与震级成正比关系，与震中距没有相关性。水平摆仪的响应幅度与震级、震中距有关，在两个地震的震中距比较接近时，地倾斜响应幅度与震级成正比，与震中距成反比（图 2a）。

（2）地震响应延迟时间对比分析：除了印尼苏门答腊 7.5 级地震以外，其他 7 个地震，水管仪与水平摆仪的地震响应延迟时间与震中距成正比，震中距越大响应延迟时间越长（图 2b）。

（3）地震激发震荡时间对比分析：水管仪与水平摆仪的地震激发震荡时间与震级成正比关系，一般在远震中水平摆仪的震荡时间比水管仪的长，而近震中水管仪的震荡时间却比水平摆的长（图 2c）。

（4）对震中距相近、震级不同的腾冲地震的响应对比分析：从表 2 可以看出，对震中距相近、震级不同的地震，同一观测系统的地震响应幅度、响应延迟时间、震荡时间与震级成正比关系。水平摆仪对 3.0 级以下地震响应幅度较小，水管仪对 5.0 级以下地震响应幅度较小。

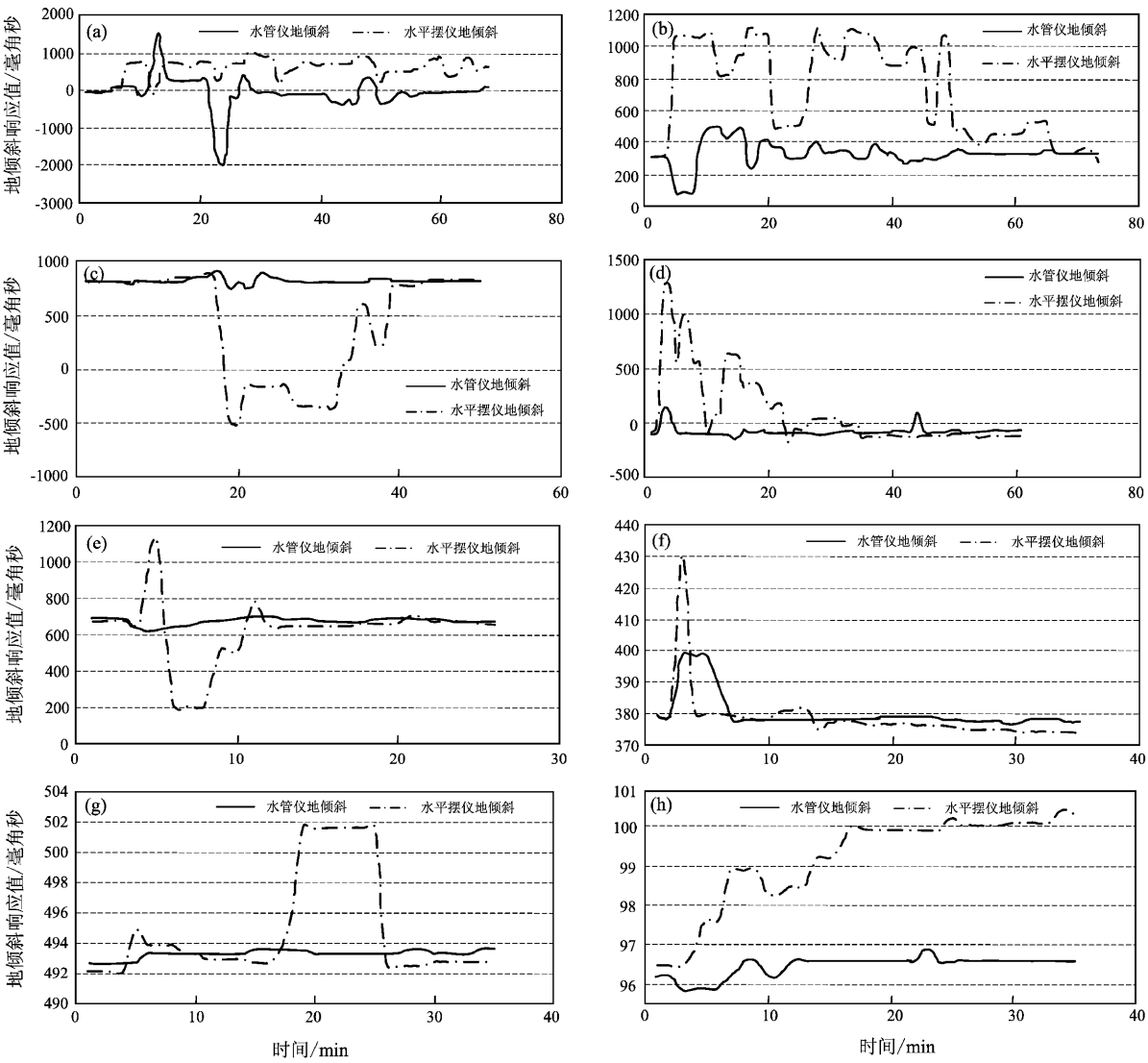


图 1 云龙地震台水管仪与水平摆仪记录到的所选取的 8 个地震的地倾斜地震响应对比
(a) 日本 9.0 级地震; (b) 汶川 8.0 级地震; (c) 印尼苏门答腊 7.5 级地震; (d) 缅甸 7.4 级地震;
(e) 宁洱 6.4 级地震; (f) 腾冲 5.2 级地震; (g) 腾冲 4.5 级地震; (h) 腾冲 3.1 级地震

Fig. 1 Comparison of co-seismic response recorded by water-tube and horizontal pendulum tiltmeters of the selected eight earthquakes in Yunlong Seismic Station
(a) *M*9.0 earthquake in Japan; (b) *M*8.0 earthquake in Wenchuan; (c) *M*7.5 earthquake in Sumatra, Indonesia;
(d) *M*7.4 earthquake in Burma; (e) *M*6.4 earthquake in Ning'er; (f) *M*5.2 earthquake in Tengchong;
(g) *M*4.5 earthquake in Tengchong; (h) *M*3.1 earthquake in Tengchong

表 2 云龙地震台水管仪和水平摆仪记录到的腾冲震级不同的 3 个地震的响应对比分析结果

Tab. 2 Comparation analysis result of co-seismic response recorded by water-tube and horizontal pendulum tiltmeters of 3 Tengchong earthquakes with different magnitude in Yunlong Seismic Station

震级 <i>M</i>	震中距/km	地倾斜幅度/毫角秒		响应延迟时间/min		震荡时间/min	
		水管仪	水平摆仪	水管仪	水平摆仪	水管仪	水平摆仪
5.2	118	50.3	18.8	2.1	2.1	12.8	12.5
4.5	117	1.0	9.5	1.5	1.9	11.8	10.9
3.1	120	0.4	0.7	1.2	1.8	10.0	9.3

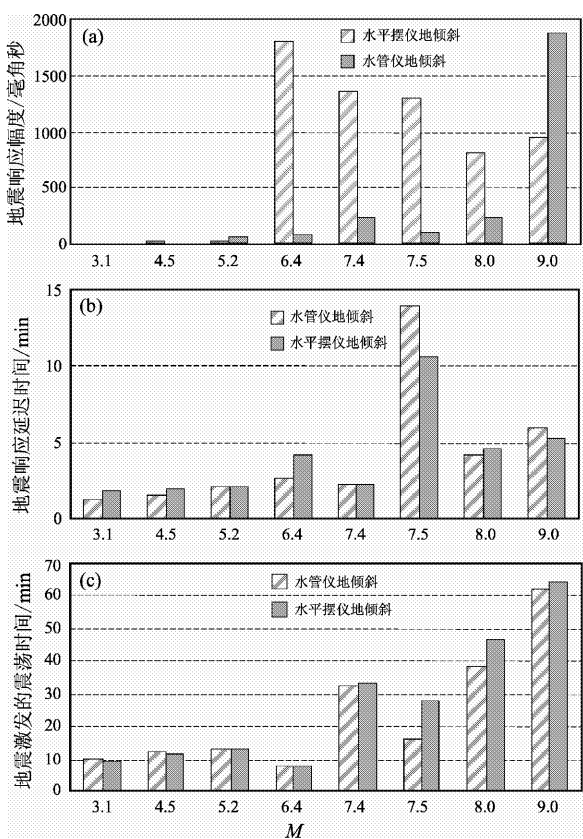


图2 水管与水平摆地倾斜仪的地震响应对比柱状图
(a) 地震响应幅度对比；(b) 地震响应延迟时间对比；
(c) 地震响应震荡时间对比

Fig. 2 Comparative colum of co-seismic response recorded by water-tube and horizontal pendulum tiltmeters
(a) Amplitude of co-seismic response; (b) Delay time of co-seismic response; (c) Oscillation time of co-seismic response

5 结论与讨论

(1) 水管仪与水平摆仪这两种地倾斜观测系统，都能记录到同震响应，而且这种响应是以高频震荡衰减的形式叠加在所记录到的倾斜固体潮上。

(2) 水管仪与水平摆仪这两种地倾斜观测系统，地震激发起的震荡时间与震级成正比关系，震级越大，震荡时间越长。

(3) 对于同一个地震，一般水平摆仪的响应幅度大于水管仪，这可能与水平摆仪的阻尼较小有关。

(4) 在震中距相近的情况下，同一观测系统，地倾斜的响应幅度、响应延迟时间、震荡时间与震级成正比关系。

(5) 印尼苏门答腊 7.5 级地震在地震响应幅度、响应延迟时间、震荡时间方面都与其他地震有不一样的规律：

① 一般规律是水管仪的地震响应幅度与震级成正比，与震中距关系不大。印尼苏门答腊 7.5 级地震的响应幅度比缅甸 7.4 级地震的响应幅度小 128.0 毫角秒。该地震比汶川 8.0 级地震震级小、震中距大，但在水平摆的响应幅度比汶川地震大 492.6 毫角秒。该地震在水管仪、水平摆仪上的响应幅度分别为 94.7 和 1 296.8 毫角秒，这一点符合对于同一个地震，水平摆仪的响应幅度一般大于水管仪的共识。

② 一般规律是响应延迟时间与震中距成正比关系，日本东海 9.0 级地震在水管仪、水平摆仪上的响应延迟时间分别为 5.9 min、5.2 min。而印尼苏门答腊 7.5 级地震在水管仪、水平摆仪上的响应延迟时间分别是 13.9 min、10.6 min，该次地震响应延迟时间比震中距更大的日本东海 9.0 级地震长。

③ 一般规律是震荡时间与震级成正比关系，但印尼苏门答腊 7.5 级地震激发的震荡时间比缅甸 7.4 级地震分别少 16.3 min（水管仪）、5.9 min（水平摆仪）。

印尼苏门答腊 7.5 级地震与其他地震的明显区别在于震源深度深，达 33 km。深源地震在水管仪与水平摆仪的地震响应方面是否都有别于一般地震，值得以后做进一步的分析与研究。就印尼苏门答腊地震而言，在地震响应幅度、响应延迟、震荡时间方面水平摆仪优于水管仪。

通过对所选择的 8 个地震的两种类型的倾斜仪同震响应在响应幅度、响应延迟、震荡时间方面的对比分析，有助于更好地认识这两种倾斜仪的观测资料的特性，以利于我们对这两种地倾斜观测资料前兆异常的初步判别。

参考文献：

国家地震局. 1986. 地倾斜台站观测规范[M]. 北京:地震出版社.

李杰,刘敏,邹钟毅,等. 2003. 数字化钻孔体应变干扰机理及异常分析[J]. 地震研究,26(3):230-237.

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[J]. 地壳形变与地震,8(4):354-358.

郝钦文. 2002. 现代引潮质疑与调和分析方法评论[J]. 大地测量与地球动力学,22(2):7-9.

云南省地震局. 2005. 地震监测志[M]. 北京:地震出版社.

中国地震局. 2001. 地震及前兆数字观测技术规范(地壳形变观测)[M]. 北京:地震出版社.

**Comparative Analysis of the Co-seismic Response between
Water-tube and Horizontal Pendulum Tiltmeters
in Yunlong Seismic Station**

YANG Ling-ying, CUI Qing-gu, MAO Xian-jin, YANG Hai-peng, ZHANG Yuan, BAI Shi-da
(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

Comparative analyzing co-seismic response of water-tube and horizontal pendulum tiltmeters at Yunlong Seismic Station in Yunnan, the results show that both of the water-tube tiltmeter and horizontal pendulum tiltmeter have different degree of co-seismic response to distant, near and local shocks. Usually, the response amplitude recorded by horizontal pendulum tiltmeter is larger than that of water-tube tiltmeter for the same earthquake. And for the same observation system, the response amplitude is proportion to the magnitude of earthquake, and the oscillation time is relevant to epicentral distance and magnitude.

Key words: water-tube tiltmeter; horizontal pendulum tiltmeter; ground tilt; co-seismic response