

泰安地震台形变仪器映震能力统计分析*

于庆民¹, 卢双苓¹, 郝军丽², 李惠玲¹, 闫德桥³, 孙 豪⁴, 李希亮²

(1. 山东省地震局 泰安基准地震台, 山东 泰安 271000; 2. 山东省地震局, 山东 济南 250014;
3. 山东省地震局 安丘地震台 山东 安丘 262100; 4. 烟台市地震局, 山东 烟台 264000)

摘要: 通过对泰安地震台6套形变仪器的映震能力进行研究, 认为形变仪器映震能力较强, 对全球 $M \geq 7$ 地震均有记录, 同震变化幅度与震级成正比、与震中距成反比。这6套形变仪器对远震和近震的反应能力有差异: 垂直摆与重力仪对小震的记录能力最强, 其次是体应变、水管仪、水平摆和伸缩仪; 伸缩仪记录近震的能力最弱, 对接近6级的地震才有反映; 而重力仪对小震和远震均有很强的映震能力, 涵盖了垂直摆、水管仪、体应变和水平摆所能记录到的地震范围。

关键词: 泰安地震台; 形变仪器; 映震能力; 同震变化

中图分类号: P315.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2015)03-0408-08

0 引言

地壳形变是地震孕育发生过程中最直接的伴生现象。受地震波激发, 借助数字化形变前兆台网可观测到地震时倾斜、应变和重力的波动现象, 称为同震形变波或震时形变波, 以区分于地震波。地震引起的同震形变波包括了地震破裂及传播过程中的大部分信息, 因此可应用这些同震信息估算一些震源参数, 通过对同震形变波物理性质的研究, 有益于认识短临前兆的动力学特性。同震响应具有加载的广区域性, 响应特征的易识别性, 同震响应在前兆异常研究中已经逐渐成为研究的热点。在地震预报中, 只观察震前变化还不够, 必须先了解清楚地震本身, 特别是同震变化, 对于研究地震本身是最直接的资料(牛安福等, 2006, 2005; 付虹等, 2007)。

近年来对地震仪器同震能力和映震能力的研究越来越引起研究人员的重视。陆明勇等(2011)、吕品姬等(2010)、关华等(2010)、焦成丽等(2011)对形变观测仪器的映震能力进行了较深入研究。尤其是唐磊等对(2011a, b, 2013)全国93套钻孔应变仪器记录到2011年日本9.0级地震造成的应变阶性质的研究、和对川滇地

区钻孔应变记录到的汶川8.0级地震和芦山7.0级地震的同震应阶变的分析研究, 均表明应变观测有较强的映震能力。

本文通过对泰安地震台形变仪器记录到的所有地震进行了统计分析, 从震级与震中距关系、最大震幅与震中距关系、最大震幅与震级关系3个方面进行了研究, 并对泰安地震台形变仪器记录到的 $M \geq 7$ 地震和山东境内(及周边) $M_s \geq 2.0$ 地震进行统计, 对每套仪器在远震和近震反应能力的差异方面进行了分析, 从而得出泰安地震台形变仪器的映震能力, 并可为形变台站场地监测效能及形变仪器布设密度提供依据。

1 泰安地震台及形变仪器简介

泰安基准地震台(以下简称泰安台)始建于1967年2月, 是山东省境内第一个地震台。处于鲁中隆起, 莱芜弧形断裂带北侧, 辛庄至垛庄北西向断裂带西侧。台基为太古代泰山群(Art)花岗片麻岩体, 台址岩体完整致密均匀。该台自1975年开始钻孔应力—应变观测, 1977年开始地倾斜观测, 陆续有水平摆光记录和自记水管仪观测。1998年2月该台开始进行“九五”数字化改造, 至2008年底陆续更新换代为“十五”仪器,

* 收稿日期: 2014-04-29.

基金项目: 中国地震局“三结合”课题(SJH201301)、山东省地震局重点科研基金(JJ1302)和山东省地震局科研基金项目(JJ1406Y)联合资助。

现有水平摆、垂直摆、水管仪、洞体应变（伸缩仪）、钻孔体应变、钻孔分量应变和重力仪等。

各仪器接入“十五”数据库运行日期和统计资料时段见表1（因分量应变的第四分量不正常，故不统计）。

表1 泰安台各观测仪器运行时间及统计地震时段
Tab.1 Running time and statistical time of earthquake of each observation instrument at Taian Station

仪器	运行日期/年-月-日	统计地震时段/年
体应变	2009-01-01	2009~2012
水管仪	2009-01-01	2009~2012
伸缩仪	2009-01-01	2009~2012
垂直摆	2011-01-01	2011~2012
重力仪	2008-03-21	2012年至2013年7月
水平摆	2011-06-02	2012年至2013年7月

2 泰安台形变仪器映震能力统计

笔者首先对泰安台6套形变仪器10个分量分钟值曲线上有同震变化的所有地震进行统计，分析了震级与震中距的关系、7级地震的最大幅度和震级的关系、同一地点发生的地震（假定震中距相同）最大振幅和震级的关系，并对比了形变仪器对周边小震和7级以上地震的记录能力。

2.1 震级与震中距的关系

2.1.1 资料选取原则

本文统计地震均为泰安台形变仪器记录到的地震，地震名称、发震时刻、震级、经纬度均采用“中国地震台网目录”提供的参数。震级统一采用面波震级 M_s ，未直接给出的采用以下公式进行换算：

$$M_s = 1.59m_b - 3.97, \quad (1)$$

$$M_s = 1.27M_L - 0.016M_L^2 - 1.27. \quad (2)$$

台站震中距计算公式为

$$\cos\Delta = \cos\varphi_e \cos\varphi_s + \sin\varphi_e \sin\varphi_s \cos(\lambda_e - \lambda_s). \quad (3)$$

式中， Δ 为台站震中距， λ_e 为震中经度， λ_s 为台站经度， φ_e 为震中地心余纬度， φ_s 为台站地心余纬度。地心余纬度为

$$\varphi = 90^\circ \pm \psi \quad (\text{北纬为} -, \text{南纬为} +, \text{下同}). \quad (4)$$

式中， ψ 是地心纬度，与地理纬度 φ' 的关系如下：

$$\tan\varphi = (1-f)^2 \tan\varphi'. \quad (5)$$

式中， f 为地球的扁率， $f = 1/298.25 \approx 0.003$ ，若其忽略不计，则 $\psi = \varphi'$ ，即可将 ψ 近似看成 φ' ，于是

$$\varphi_e = 90^\circ + \varphi'_e, \quad (6)$$

$$\varphi_s = 90^\circ + \varphi'_s. \quad (7)$$

其中， φ'_e 为震中地理纬度， φ'_s 为台站地理纬度，则

$$\begin{aligned} \cos\Delta &= \cos(90^\circ \pm \varphi'_e) \cos(90^\circ \pm \varphi'_s) + \\ \sin(90^\circ \pm \varphi'_e) \sin(90^\circ \pm \varphi'_s) \cos(\lambda_e - \lambda_s). \end{aligned} \quad (8)$$

若台站震中距 Δ 用长度 D 可表示为

$$D = R\Delta. \quad (9)$$

式中， R 为地球平均半径，取6371 km， Δ 单位为弧度。

2.1.2 各形变仪器映震能力图及其统计公式

笔者统计了2009~2012年体应变、水管仪和伸缩仪记录到的所有地震。因“十五”垂直摆从2011年接入数据库记录，故选取2011~2012年垂直摆资料进行统计，“十五”水平摆自2012年入库记录，故选取2012~2013年7月水平摆资料统计，重力仪同样选取了2012~2013年7月所记录到的地震。本文主要研究形变分钟值曲线，对记录到的所有地震，分别统计出了发震时刻、初动时刻、震级 M_s 、震中距 D 、最大振幅等各参数。

形变仪器对地震的记录能力，主要反映的是震级与震中距的关系。图1给出了泰安台各形变仪器的映震能力。

以体应变为例，从图1a可以看出分钟值曲线上所有能记录到的地震，基本分布在左上部分，随着震中距增大，记录到地震的震级也在增大。沿着这些点的下方斜着做一条直线，并在直线上取两点，其坐标为：点1（2.71，4.5），点2（4.28，6.4），代入直线方程 $M = (\lg D - \lg D_1)(M_2 - M_1)/(\lg D_2 - \lg D_1) + M_1$ ，可推导出体应变映震能力公式： $M = 1.2102 \lg D - 0.9459$ 。其中， $\lg D_1$ 为第一个点的横坐标（震中距对数）， M_1 为第一个点的纵坐标（震级）， $\lg D_2$ 为第二个点的横坐标（震中距对数）， M_2 为第二个点的纵坐标（震级）。

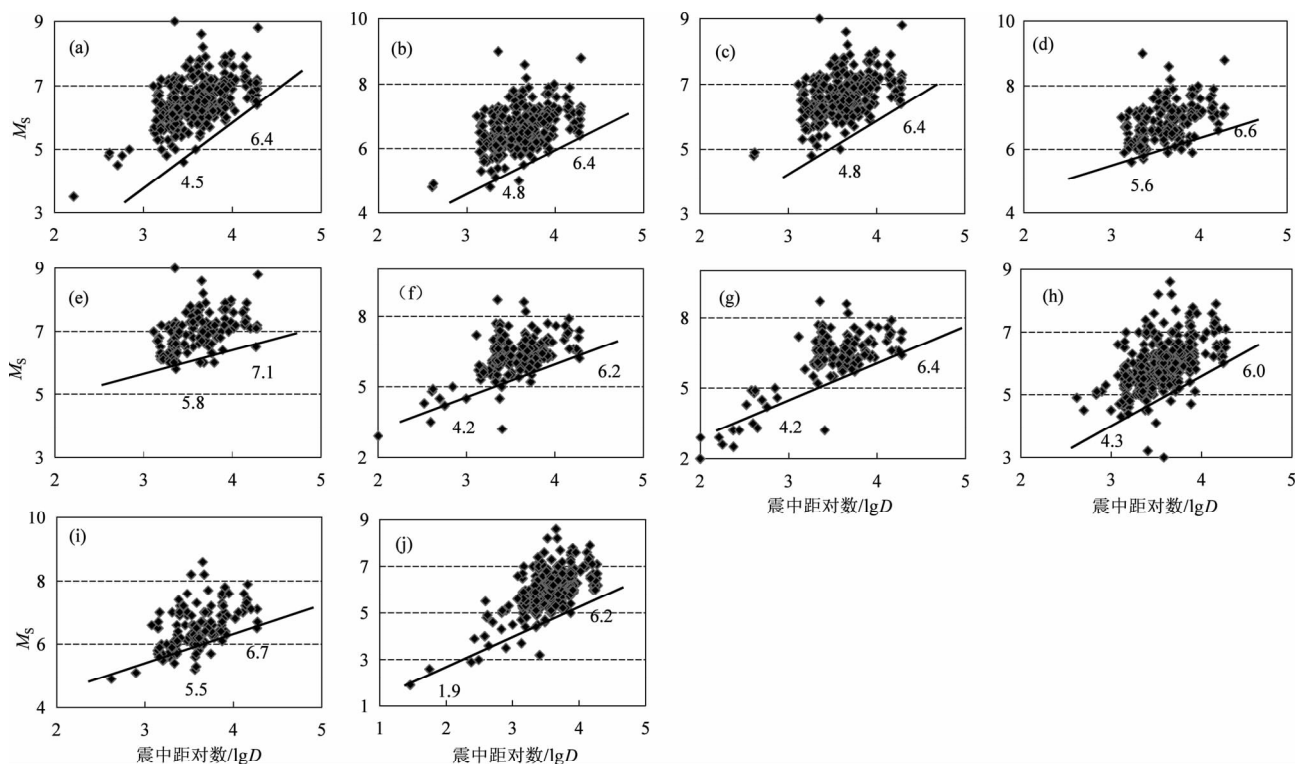


图 1 泰安台形变仪器震级与震中距对数关系图
(a) 体应变; (b) 水管仪 NS; (c) 水管仪 EW; (d) 伸缩仪 NS; (e) 伸缩仪 EW; (f) 垂直摆 NS;
(g) 垂直摆 EW; (h) 水平摆 NS; (i) 水平摆 EW; (j) 重力仪

Fig. 1 Relationship diagram between the magnitude M_s and the logarithm of epicenter distance of deformation instrument at Taian Station

(a) body strain-meter; (b) water tube tilt meter (NS); (c) water tube tilt meter (EW); (d) extensometer (NS);
(e) extensometer (EW); (f) vertical pendulum tilt meter (NS); (g) vertical pendulum tilt meter (EW);
(h) horizontal pendulum tilt meter (NS); (i) horizontal pendulum tilt meter (EW); (j) gravimeter

同理, 绘制出其他形变仪器的映震能力图, 如图 1b ~ j 所示, 映震能力统计公式见表 2。

表 2 泰安台形变仪器映震能力统计公式
Tab. 2 Statistic formula of coseismic ability of deformation instrument at Taian Station

仪 器	映震能力公式
体应变	$M = 1.210\ 2\lg D - 0.945\ 9$
水管仪 NS	$M = 1.577\ 9\lg D - 0.346\ 8$
水管仪 EW	$M = 1.577\ 9\lg D - 0.346\ 8$
伸缩仪 NS	$M = 1.516\ 8\lg D + 0.703\ 0$
伸缩仪 EW	$M = 1.416\ 9\lg D + 1.034\ 6$
垂直摆 NS	$M = 1.315\ 8\lg D + 0.568\ 4$
垂直摆 EW	$M = 1.447\ 4\lg D + 0.205\ 2$
水平摆 NS	$M = 1.499\ 5\lg D + 0.363\ 0$
水平摆 EW	$M = 1.118\ 6\lg D + 1.921\ 0$
重力仪	$M = 1.497\ 0\lg D + 0.352\ 4$

2.2 震中距与最大振幅的关系

选取相同震级的地震, 分析震中距和最大振幅的关系。笔者选取 2009 ~ 2012 年泰安台记录到 21 个 7 级地震的最大振幅进行分析统计, 拟合出泰安台形变仪器最大振幅与震中距关系图, 因各形变仪器的“震中距与最大振幅”所反应的规律相同, 因此仅给出其中几幅为代表 (图 2)。从图中可以看出, 震中距与最大振幅成反比, 随着震中距的增大, 地震波的最大振幅快速衰减, 拟合图形基本符合幂指数的关系。

由图 2 可以看出, 虽然已经人工剔除了偏差较大的地震, 但有些点仍然比较离散, 这说明震中距与最大振幅的关系并不完全吻合成反比的关系。笔者分析认为, 形变仪器记录到的最大振幅, 不一定是地震波真正的最大振幅, 因形变仪器采样率较低, 一分钟才能采集一个数据, 可能会漏掉

最大振幅。而且由于选取的周期分辨不清或不准确, 因此对地震最大振幅的量取存在较大误差。

2.3 震级与最大振幅关系

选取了2011年3~4月日本近海地震(震中距

看成相同, 水平摆和重力仪选取2012~2013年日本近海地震)进行统计, 求取泰安台形变仪器记录的震级与最大振幅关系(图3)。从图3中可以看出, 这些点基本集中在一条曲线上。7级地震以后, 最

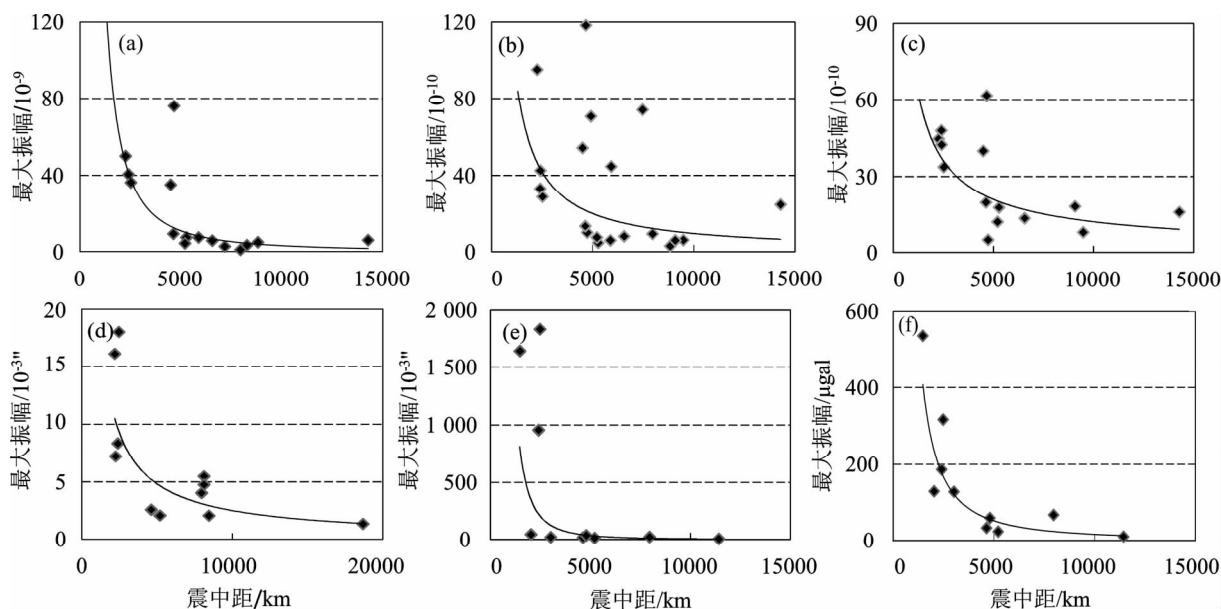


图2 泰安台形变仪器最大振幅与震中距关系图

(a) 体应变; (b) 伸缩仪 NS; (c) 伸缩仪 EW; (d) 垂直摆 NS; (e) 水平摆 NS; (f) 重力仪

Fig. 2 Relationship diagram between maximum amplitude recorded by deformation instrument at Taian Station and epicenter distance

(a) borehole strain-meter; (b) extensometer (NS); (c) extensometer (EW); (d) vertical pendulum tilt meter (NS); (e) horizontal pendulum tilt meter (NS); (f) gravimeter

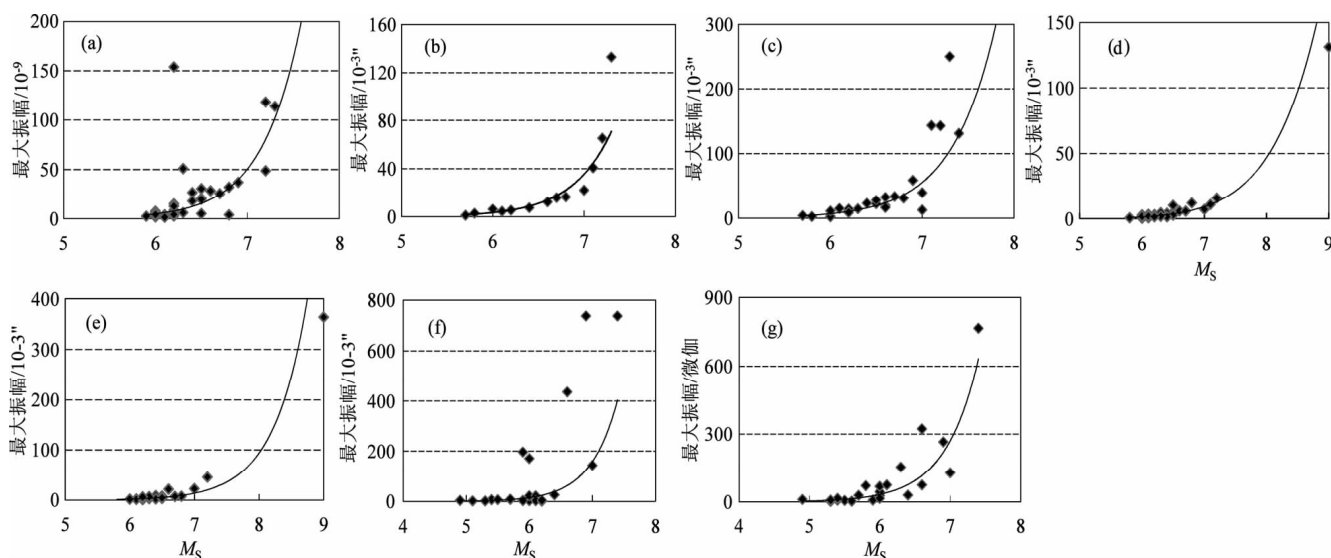


图3 泰安台形变仪器记录的震级与最大振幅关系图

(a) 体应变; (b) 水管仪 NS; (c) 水管仪 EW; (d) 垂直摆 NS; (e) 垂直摆 EW; (f) 水平摆 NS; (g) 重力仪

Fig. 3 Relationship diagram between magnitude and maximum amplitude recorded by deformation instrument at Taian Station

(a) body strain-meter; (b) water tube tilt meter (NS); (c) water tube tilt meter (EW); (d) vertical pendulum tilt meter (NS); (e) vertical pendulum tilt meter (EW); (f) horizontal pendulum tilt meter (NS); (g) gravimeter

大振幅随着震级升高而明显增大,符合指数关系。体应变因日本的 9.0 级地震的最大振幅太大,幅度高达 $6\,222.5 \times 10^{-9}$,离散性太大,为了拟合出曲线,只能舍掉。因同一地点不同震级的最大振幅关系均符合指数形态,图 3 只列出部分图形。

由图 3 仍可以看出,虽已经人工剔除了偏差较大的地震,但图中点仍然离散性较大。这与形变仪器采样率低,记录到的最大振幅不一定是地震波真正的最大振幅,以及对最大振幅的认识读取存在较大误差也有一定关系。

3 形变仪器映震能力分析

3.1 形变仪器记录最小地震和最远地震

笔者统计了泰安台各仪器记录同一震级地震所对应的最大震中距(表 3)。根据表 3 及图 1a

可以看出,体应变所记录的最小地震震级为 3.5 级,震中距为 165 km;所记录到的最远为 2010 年 2 月 27 日智利 7.3 级和 8.8 级地震,震中距 19 498 km;能记录到的最远 5 级地震,震中距为 3 880 km。

根据表 3 统计结果以及图 1f、g,垂直摆两方向映震能力基本相当,两个方向记录最远均为智利中部 7.4 级地震(震中距为 19 092 km)。NS 向记录到 $M \leq 4$ 地震 3 个,记录最小地震为济南济阳 2.9 级($M_L 3.5$)地震;EW 向记录到 $M \leq 3$ 地震 5 个, $M \leq 4$ 地震 5 个,最小地震为山东济阳 2.0 级地震(震中距 100.44 km)。垂直摆 EW 向对近距离小震反应尤其敏感,较近距离的爆破和塌方均能使之掉格,还可能与仪器不稳定有关,可以理解为仪器机械结构包括基墩由于振动使机械结构松动或错位引起的,和仪器的稳定性无关。

表 3 泰安台形变仪器记录各级地震对应的最大震中距

Fig. 3 The corresponding maximum epicenter distance to earthquake of each magnitude recorded by deformation instrument at Taian Station

震级 /震中距	体应变 /km	水管仪 /km	垂直摆/km		水平摆/km		伸缩仪/km		重力 /km
			EW	NS	EW	NS	NS	EW	
最小	3.5/165	4.8/406.9	2.0/100.14	2.9/100.5	4.9/418.2	4.1/3 157	5.6/1 692	5.8/2 308	1.9/28.77 2.6/55.98 3.0/309
5 级	5/3 880	5/3 880	5/699.35	5/2 518	5.1/790.7	5.1/8 515			5/7 459
6 级	6/8 539	6/8 539	6/6 260	6/6 260	6/4 573	6/17 515	6/6 260	6/6 260.4	6/1 515.8
7 级	6.9/19 192	6.9/19 192	7/12 847				7.1/19 092	7.1/19 092	
最远	7.3/19 498	7.3/19 498	7.4/19 092	6.2/19 092	6.7/18 726	6.7/18 726	7.3/19 491	8.8/19 491	6.2/19 092

水管仪两个方向的映震能力基本相同,见图 1b、c,能很好的记录到 500 km 左右的 $M \geq 4.8$ 地震。最远记录到中智利远海的 7.3 级和 8.8 级地震(19 498 km)。

伸缩仪只对较远的地震有记录,见图 1d、e。NS 向记录到 5.6 级地震(1 692 km),EW 向记录到 5.8 级地震(2 308 km),NS 向映震能力较 EW 向好,因 EW 向噪声大,NS 向能记录到的很多地震,EW 向记录不清。

水平摆记录地震的能力,也是以较远地震为主。图 1h、i 中,NS 向映震能力优于 EW 向,NS 向对于较远且较小的地震多有记录,记录的最近地震为 4.9 级地震(418 km)和 4.5 级地震(500

km),小于这个震中距范围的地震均未能记录到。这说明它能捕捉到经过远距离传播的较大周期的面波。EW 向记录的最小地震仅 4.9 级,因噪声较大、振幅小的地震无法分辨,只是对较远较大的地震有记录。

重力仪记录的地震范围较其他仪器都宽,对很远的地震和较小的地震都能记录, $M \leq 3.0$ 地震记录到 4 次, $M 3.0 \sim 4.0$ 地震 6 次。对地方小震近震与垂直摆的映震能力相当,对于大震远震与水平摆的映震能力相当,这说明重力仪的频响范围较宽。所记录到的最远地震也是智利 6.2 级地震(19 092 km),见图 1j。

根据以上分析统计得出:泰安台形变仪器,

垂直摆对小震的记录能力强，其次是体应变、水管仪、水平摆和伸缩仪。而伸缩仪记录近震的能力最弱，对接近 6 级的地震才有记录。水平摆记录远震的能力强（NS 向），但对近距离的小震则没有记录；重力仪映震能力，则涵盖了垂直摆、水管仪、体应变和水平摆所能记录到的大部分地震。

3.2 形变仪器对于山东省周边小震的记录情况

2011~2012 年山东境内及周边共发生 82 次 $M_s \geq 2.0$ 地震，泰安台各形变仪器共记录到其中 12 次小地震，见表 4。其中，重力仪记录到 9 次，垂直摆 10 次，分量应变 4 次，体应变 2 次，水管仪 2 次。只有南黄海的 4.9 级地震，5 套仪器均有记录。

表 4 泰安台形变仪器记录到的山东周边 $M_s \geq 2.0$ 地震

Tab. 4 $M_s \geq 2.0$ earthquakes in the surrounding area of shandong recorded by deformation instrument at Taian Station

次数	时间/年-月-日	时刻/时:分	地点	震级 M_s	震中距/km	重力	垂直摆	YRY-4	体应变	水管
1	2011-01-12	09:19	南黄海	4.9	693.94	√	NS√、EW√	第一二三分量	√	√
2	2011-10-13	12:27	河南濮阳范县	3.5	165.06	√	NS√、EW√	第二分量	√	无
3	2012-11-05	09:18	河北邢台	2.9	237.73	√	EW√	第三分量	无	无
4	2011-01-19	12:07	安徽枞阳县	4.3	602.27	√	EW 掉格	无	无	无
5	2011-01-29	11:58	山东济南市、济阳县	2.9	99.6	√	NS√、EW√	无	无	无
6	2011-03-07	01:51	山西忻州五寨县	4.3	584.716	√	EW 掉格	无	无	无
7	2011-03-08	00:19	河南周口太康县	4.1	328.258	√	NS√、EW√	第二三分量	无	无
8	2011-09-01	16:41	河北辛集	3.2	252.123	√	EW 掉格	无	无	无
9	2012-04-08	17:44	江苏淮安金湖县	3.5	390.77	无	EW 掉格	无	无	无
10	2012-04-07	10:25	山东东营肯利	2.5	203.21	无	EW 掉格	无	无	无
11	2012-10-02	13:26	江苏盐城市	3.6	436.7	台阶	无	无	无	无
12	2012-11-02	00:09	山西临汾浮山县	3.3	488.93	无	无	无	无	NS√

记录小震最多的是重力仪和垂直摆，其次是 YRY-4 分量应变，反映更弱的是水管仪和体应变，而伸缩仪和水平摆对这些小地震没有记录。但是，对于山东省范围内的小震，甚至是台站周边几千米内的爆破，一般重力仪和垂直摆都只是以掉格的形式反应，而不能反映出地震的波形。这可能因为小震的周期太小，对于周期很小的地震波，这些形变仪器的采样率仅为 1 min，无法完整记录到一个地震的全部波形，只能较好地记录大地震激发出周期约 10 min 的波，如体应变、水平摆和水管仪（苏恺之等，2004）。

以上这种现象的原因，应与形变仪器本身的滤波性能有关，多数形变仪器只能记录到远震大周期地震波，如水平摆、伸缩仪、水管仪和体应变有如此特性，而重力和垂直摆可能因频率响应不同，其频率响应范围较大，所以能记录下周期更小的地方震。

目前常用的洞体形变仪器中，在不考虑电路部分的情况下，水平摆倾斜仪和水管倾斜仪的固有周期在 70 s 左右，垂直摆倾斜仪为 0.8 s，伸缩

仪是全频段的。根据采集定律，水平摆倾斜仪和水管倾斜仪适合于分钟采样；垂直摆倾斜仪和伸缩仪可以提高到秒采样。同时只有在合理的后续滤波电路下，才能得到相应的形变高频信息（吕宠吾，2010）。

浅源地震所引起的表面波最明显。表面波具有低频率、高振幅和频散的特性，只在近地表传递，是最有威力的地震波。摆式形变仪器的结构完全不同于测震仪，只有空气阻尼，对振动只发生在水平方向上的洛夫波反应明显，因此水平摆对远震记录较为明显。

根据仪器工作原理，应变仪器（伸缩仪、体应变等）是测量水平位移的仪器，所以在结构原理设计上避免对地面的垂直变化有反应，因此对地震 P 波的垂直振动是抑制的。而且应变仪器对地震波的反应本身就是不完整的，只能记录到水平向的地震波。

3.3 形变仪器对全球 $M \geq 7$ 地震的记录能力

针对泰安台形变仪器 $M \geq 7$ 地震记录能力专门做了统计，2009~2012 年共发生了 91 次 $M \geq 7$ 地

震。体应变仅有 1 次地震未记录到,为震中距 17 338.2 km 的南桑德韦奇群岛地区地震,记录能力为 98.9%。水管仪均可记录到 $M \geq 7$ 地震。伸缩仪 EW 向记录到 77 个地震 (84.6%), 14 个未记录到; NS 向记录到 87 个地震 (95.6%), 4 个未记录到 (表 5)。重力仪、垂直摆和水平摆在统计范围内可记录到所有 $M \geq 7$ 地震。

因为伸缩仪 EW 向的噪声较大,较小振幅的地震波,隐没于噪声中,因此不好分辨。

分析这些未记录到的地震,有的地震震中距并不大,震中距 4 000 ~ 5 000 km 的地震有 6 个,因此仪器记录地震的能力,除与震中距有关外,还应该与震源深度、地震结构以及地震波的走向有关。

表 5 2009 ~ 2012 年部分形变仪器未记录到 $M \geq 7.0$ 地震统计

Tab. 5 Statistic of $M \geq 7.0$ earthquakes not be recorded by some deformation instrument from 2009 to 2012

时间/年-月-日	发震时刻/时:分	震级	地点	震中距/km	伸缩 EW	伸缩 NS	体应变
2009-04-16	22:57	7.0	南桑德韦奇群岛地区	17 338.2	未记录		未记录
2009-09-02	15:55	7.2	爪哇以南地区	4 872.9	有记录无量		
2009-11-09	19:08	7.0	斐济群岛地区	8 824.5	有记录无量		
2010-05-06	00:28	7.0	苏门答腊西南以远	4 917.3	看不出	未记录	
2010-10-08	11:40	7.2	阿留申群岛	5 561.1	未记录		
2010-02-27	16:01	7.3	中智利海岸远海	1 949.1	未记录		
2011-12-14	13:04	7.2	巴布亚新几内亚	5 749.8	有记录无量		
2011-08-21	02:19	7.1	瓦努阿图	8 125.2	未记录		
2011-10-29	02:54	7.0	秘鲁附近海域	4 731.8	未记录		
2011-05-10	16:55	7.0	洛亚蒂群岛地区	8 280.6	未记录	未记录	
2012-04-12	06:55	7.0	墨西哥	1 284.2	未记录	未记录	
2012-02-02	21:48	7.0	瓦努阿图	7 958.7	未记录		
2012-01-09	12:07	7.0	圣克鲁斯群岛	7 181.7	未记录	未记录	
2012-04-17	15:13	7.0	巴布亚新几内亚东部	5 206.9	有记录无量		

4 结论与讨论

本文对于泰安台形变仪器的映震能力做了统计归纳,结果表明,泰安台各形变仪器映震能力明显不同。通过上述分析发现:

(1) 虽然形变观测不能完全展示地震波特征,但仍可以反映地震波在传播过程中的一些信息,与地震波存在一定的关系。

(2) 泰安台的形变仪器映震能力较强,对全球 7 级以上的地震 (除伸缩仪和体应变) 均有记录,同震变化幅度与震级成正比,与震中距成反比。

(3) 形变仪器映震能力不同,对远震和近震的记录能力有差异,垂直摆与重力仪对小震的记录能力最强,其次是体应变、水管仪。伸缩仪记录近震的能力最弱,对接近 6 级的地震才有反应。

水平摆记录远震的能力强 (NS 向),但对近距离的小震则没有记录;伸缩仪和水平摆对于山东周边 2 级以上 82 次地震均无记录。而重力仪对小震和远震均有很强映震能力,涵盖了垂直摆、水管仪、体应变和水平摆所能记录到的地震范围。

本文在撰写过程中得到地震研究所吕宠吾教授的悉心指导,提出了很多中肯的意见和建议,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- 付虹,邹成栋,刘强,等. 2007. 印尼巨大远震引起的云南水位异常记录及其意义[J]. 地震地质, 29(4): 873-882.
- 关华,张玉林,李明威,等. 2010. 宽城地震台体应变仪观测数据干扰因素及其映震能力分析[J]. 防灾减灾学报, (4): 60-64.
- 焦成丽,张玉林,孙澎涛,等. 2011. 承德地区形变资料前兆异常特征及映震能力分析[J]. 华北地震科学, 29(03): 48-51.
- 陆明勇,黄宝森,刘天海,等. 2011. 首都圈跨断层流动形变观测资料

- 映震能力及场地监测能力分析[J]. 地震, 31(3): 121–124.
- 吕宠吾. 2010. 洞体形变仪器的自振周期[A]//中国地球物理 2010——中国地球物理学会第二十六届年会、中国地震学会第十三次学术大会论文集[C], 315–62.
- 吕品姬, 陈志遥, 赵斌, 等. 2010. 峒体应变应震能力综述[J]. 大地测量与地球动力学, (30), 增刊(II): 63–67.
- 牛安福, 吉平, 高福旺. 2006. 印尼强地震引起的同震形变波[J]. 地震, 26(1): 131–137.
- 牛安福, 张晶, 吉平. 2005. 强地震引起的同震形变响应[J]. 内陆地震, 19(1): 1–7.
- 苏恺之, 李海亮, 张钧, 等. 2004. 钻孔地应变观测新进展有[M]. 北京: 地震出版社, 80–81; 107; 138; 144; 641–649.
- 唐磊, 荆燕. 2013. 川滇地区钻孔四分量应变仪记录的同震应变阶分析[J]. 震灾防御技术, 8(4): 370–376.
- 唐磊, 邱泽华, 郭燕平, 等. 2011a. 日本 9.0 级地震引起的应变阶分析[J]. 地震地磁观测与研究, 32(6): 13–16.
- 唐磊, 邱泽华. 2011b. 钻孔四分量应变仪观测的汶川地震的同震应变阶[J]. 地壳构造与地壳应力文集, 23(1): 114–124.

Statistical Analysis on Earthquake-reflecting Capacity of Deformation Meters at Taian Station

YU Qing-min¹, LU Shuang-ling¹, HAO Jun-li², LI Hui-ling¹, YAN De-qiao³, SUN Hao⁴, LI Xi-liang²

(1. Taian Fiducial Seismic Station, Earthquake Administration of Shandong Province, Taian 271000, Shandong, China)

(2. Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, Shandong, China)

(3. Anqiu Seismic Station, Earthquake Administration of Shandong Province, Anqiu 262100, Shandong, China)

(4. Earthquake Administration of Yantai Multiply, Yantai 264000, Shandong, China)

Abstract

The statistics on six sets of deformation instrument at Taian Fiducial Seismic station shows that the deformation instrument had good earthquake-reflecting ability, which could record $M \geq 7$ global earthquakes, and the recording amplitude of the coseismic changes was proportional to the magnitude, but that was inversely proportional to the epicentral distance. The earthquake-reflecting ability of six different deformation instruments to distance earthquakes and near earthquakes was different: the recording ability of the gravimeter and the vertical pendulum tilt meter to small earthquakes was the strongest, followed by the volumetric borehole strain-meters, the water tube tilt meter, the horizontal pendulum tilt meter and extensometer. The recording ability of the extensometer to near earthquakes was weakest, and only can record close to $M 6.0$ earthquake. The earthquake-reflecting ability of the gravimeter to both small earthquakes and distance earthquakes was stronger, and can include all range of earthquakes recording which can be recorded by the vertical pendulum tilt meter, the water tube tilt meter, the volumetric borehole strain-meters and the horizontal pendulum tilt meter.

Key words: Taian Fiducial Seismic Station; deformation instrument; the earthquake-reflecting capacity; coseismic changes