

陈建涛, 谢剑波, 卢子晋. 广东“十五”测震台仪器方位角普查校正工作[J]. 华南地震, 2017, 37(S1): 23-29. [CHEN Jiantao, XIE Jianbo, LU Zijin. Verification of the Seismometer's Azimuth of Guangdong Seismic Stations in the "10th Five-Year Plan" [J]. South China journal of seismology, 2017, 37(S1): 23-29.]

广东“十五”测震台仪器方位角普查校正工作

陈建涛^{1,2,3}, 谢剑波^{1,2,3}, 卢子晋^{1,2,3}

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广州 510070;
3. 广东省地震预警与重大工程安全诊断重点实验室, 广州 510070)

摘要: 广东省地震监测中心于 2012 年 08 月至 12 月开展“十五”测震仪方位角普查校正工作, 一共普查了 43 个地面测震台, 于 2013 年 9 月通过验收。仪器方位角普查结果可供数据应用研究机构和科研人员参考和使用, 特别是对仪器水平向方位角准确性要求比较高的, 可根据偏差结果、仪器校正时间和地震计型号, 对校正前的历史数据, 进行反方向旋转相同角度的数据处理校正。

关键词: 方位角; 普查; 校正; 测震仪

中图分类号: P315.62 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2017) S1-0023-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.S1.003

Verification of the Seismometer's Azimuth of Guangdong Seismic Stations in the "10th Five-Year Plan"

CHEN Jiantao^{1,2,3}, XIE Jianbo^{1,2,3}, LU Zijin^{1,2,3}

(1. Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China; 2. Key Laboratory of Earthquake Monitoring and Disaster Mitigation Technology, CEA, Guangzhou 510070, China; 3. Key Laboratory of Earthquake Early Warning and Safety Diagnosis of Major Project, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Guangdong Province Earthquake Monitoring Center carry out azimuth survey and correction for the "10th Five-Year Plan" seismometer from August 2012 to December, and a total number of 43 ground seismic stations pass the acceptance in September 2013. This work was summarized as follows: the research institutions and researchers can reference and use the seismometer's azimuth survey data, especially of the high level accuracy of the seismometer's azimuth. Based on the results, the deviation calibration time and seismometer model, the historical data before correction can be processed with rotating the same angle in the opposite direction.

Keywords: Horizontal azimuth; Survey; Correct; Seismometer

收稿日期: 2017-01-10

作者简介: 陈建涛 (1982-), 男, 工程师, 主要从事地震观测研究和台站运维工作。

E-mail: 37539836@qq.com.

0 引言

地震台站是地震监测必需也是最重要的基础单元,主要用于地震定位、地震预警和地球内部研究等方面,其影响因素包括台站地噪声水平、仪器方位角偏差(方位角偏差是指仪器北向标志方位与地理北向之间的偏差,下同)和仪器性能等^[1]。通过“九五”和“十五”建设后,我国地震监测台网在布局合理性、仪器性能和台站数量上,有了很大的改观和进步,同时也存在仪器方位角偏差等一些問題。钮凤林教授 2011 年发表文章指出^[2],我国现行运行台网数据质量存在相当部分仪器方位偏差和输出极性有错误等问题,其中方位角偏差大于 8 度和极性存在问题的台站比例占 34%。同年中国地震局地球所郑秀芬研究员根据中国地震局监测预报司要求,收集了地震相关研究结构、大专院校和科研人员在应用我国台网数据开展相关基础研究中的反馈意见与研究成果,发现了我国“十五”期间建成投入运行测震台中有相当部分存在台站仪器方位偏差大和水平分向输出极性错误等问题^[3]。这是由于以前技术条件限制,仪器安装时仅使用地质罗盘仪进行常规定向,定向精度差易受外界磁环境影响造成的^[4]。因此,为进一步提高

测震台网观测数据内在质量,根据中国地震局监测预报司的决定安排,依据做好全国测震台网仪器方位角普查校正工作的通知,对“十五”台站仪器方位角开展普查校正工作^[5]。

1 工作内容

广东数字地震台网是广东省人民政府和中国地震局共同投资建设的区域地震台网,“十五”网络项目完成后,广东数字地震台网台站数从 16 个台增加到 44 个,台网分布情况见图 1,其中 5 个为国家数字测震台、39 个为区域数字测震台,全部为宽(甚宽)频带地震计,“十五”建成的广东数字地震台网 2007 年 11 月通过验收,2008 年 6 月正式投入运行^[6]。

对广东省地震监测台网“十五”地面测震台展开普查,包括:仪器方位角普查与校正、地震计输出极性判定、台站经纬度参数复核、摆墩永久指北标志安装等工作内容,并做好详细的文本记录和影像记录。本次测震仪方位角普查校正台站一共 44 个,其中,43 个地面台,1 个井下台,井下台不在此次普查校正范围内,因此需要完成 43 个地面台的普查校正工作。

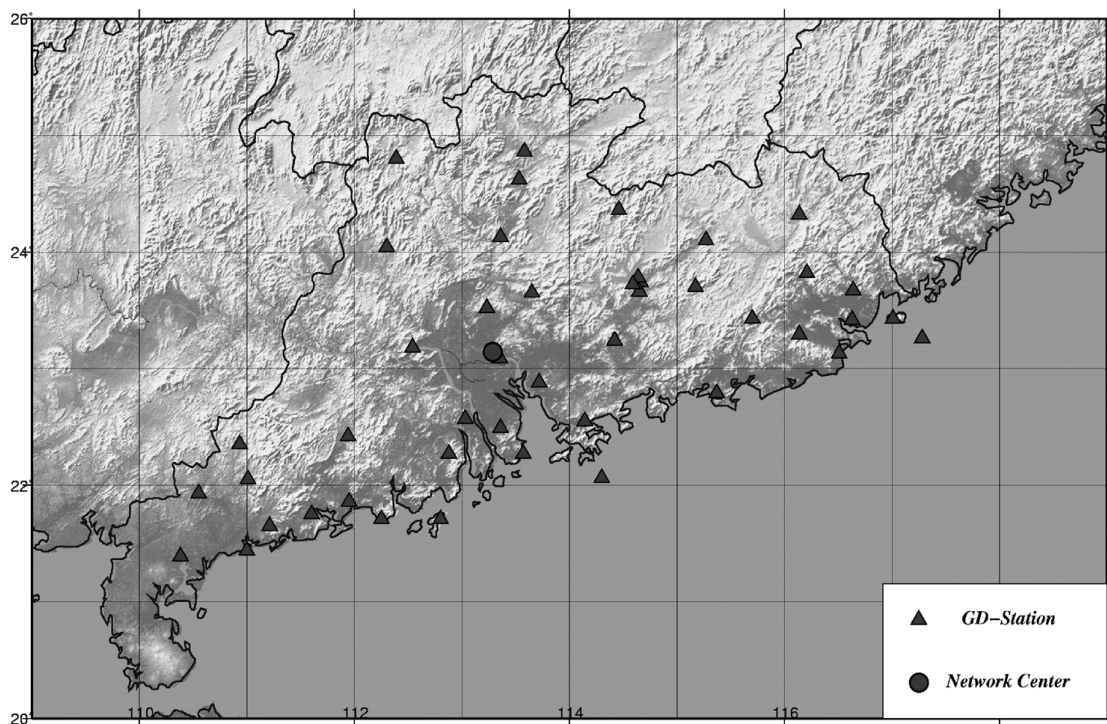


图 1 广东“十五”测震台站分布图

Fig.1 Distribution map of Guangdong “10th Five-Year Plan” seismic stations

2 方法和要求

2.1 使用工具

NV-NF301 型陀螺寻北仪(方位角测量精度小于 0.3°)、LS163 激光直角尺、激光墨线仪、地震计靠尺、角度测量尺、N 向(N 是指北,下同)方位永久性标志、explorist 310 手持 GPS、油性笔、笔记本电脑、工具箱等。

2.2 技术要求

使用寻北仪和激光尺等工具进行精确测量,地震计北向标志的方位角偏差 $\leq 2^\circ$, 不进行方位角校正, 如偏差 $> 2^\circ$, 需要对地震计方位角进行校正, 实际上校正后的仪器方位角均小于偏差 1° ; 在地震计摆墩上安装 N 向方位永久性标志, 安装方位角偏差要求 $\leq 1^\circ$ 。

2.2 具体方法

中国地震台网中心和片区仪器维护中心为了保障方位角普查校正工作的顺利进行, 举办了地震仪方位角普查校正培训, 包括寻北仪和激光尺的使用, 不同地震计的普查校正方法, 指北永久性标志安装, 仪器极性判定等培训, 并编写了测震仪方位角校正工作流程手册和仪器极性判定方法^[7-8], 本文所采取的方法依据培训内容和手册方法, 并结合台站当地的具体情况进行补充和修改。

2.2.1 台站经纬度复核

采用手持 GPS 与仪器 GPS 信息进行比较。手持 GPS 是测量台站所在位置信息, 尽量选在靠近地震计位置的户外进行测量, 采取对星数量比较多的结果; 仪器 GPS 是测量数据采集器定位模块

所在位置信息, 通过数据采集器读取 GPS 信息; 每半个小时各记录和校对一次, 共取三组数据, 取均值做为最终结果。

2.2.2 永久性标志安装

严格按照寻北仪的工作技术流程操作, 按照测震台站仪器方位角普查校正的要求和方法进行工作。首先用罗盘粗略估计地理北向, 寻北仪按照罗盘确定的地理北向进行架设放置, 然后测得寻北仪的方位角, 当方位角与正北方向(0° 或 360° , 下同)之间的偏差 $> 1^\circ$ 时, 根据角度测量尺, 挪动寻北仪进行角度校正使其角度偏差小于 1° , 然后再重新进行寻北仪测量; 当测定精度 $\leq 1^\circ$ 时, 用油性笔画沿着寻北仪的直线边缘, 绘制一条指北基准线, 再用激光直角尺将此基准线引到仪器墩边, 在摆墩不影响地震计放置的边角位置上, 安装永久性标志, 用冲击钻打定位标志螺丝孔, 并用云石胶涂在标志背面粘在摆墩上, 安装完成后, 再用寻北仪靠着指北标志, 测定标志的方位角, 根据测量结果并微调永久性标志, 确保标志指北偏差 $\leq 1^\circ$, 最后用寻北仪测量指北标志 3 次, 取平均值作为指北标志的结果, 并在标志边注明台站名称、标志安装、日期和指北箭头, 用玻璃胶封注钻孔螺丝, 做好文本登记和影像记录。

2.2.3 仪器方位角普查校正

台站仪器方位角普查校正工作方法对不同仪器有不同要求, 但基本操作流程是一致的, 寻北仪和激光尺的基本用法是一样的, 不一样的是不同类型的地震计, 其 N 方位标志不一样, 需要架设的激光尺和寻北仪位置不一样而已。现场操作相片见图 2, 基本操作流程如下:



图 2 现场工作相片 (左为广州台永久性标志安装测量, 右为台山台地震计 N 向方位角测量)

Fig.2 Work photo (left for Guangzhou station permanent mark installation measurement, right for the Taishan station N azimuth measurement)

(1) 普查。为了设备安全起见, 首先通过数据采集器对地震计上锁或机械上锁, 完成上锁工作后断开电源; 架设好激光墨线仪, 配合使用激光直角尺, 使得激光基线与地震计 N 向标志基线相吻合, 把地震计 N 向基线延伸出来到合适位置; 然后寻北仪按照激光仪延伸出来的基线进行安装测量, 寻北仪静放 3 分钟后上电开机, 开始测量, 完成 3 次测量后, 其平均值作为地震计的原始方位角, 并做好文本登记和影像记录。

(2) 校正。如果寻北仪测量出来的地震计方位角与正北方向之间的偏差>2 度时, 必须对地震计进行校正。使用激光直角尺, 把永久标志指北方向做平移等处理, 把永久性标志指北方向延伸到地震计安装位置, 接着使用激光墨线仪和激光直角尺, 把地震计 N 向基线也延伸出来, 不断调整地震计方位, 使得地震计延伸出来的基线与永久性标志延伸出来的基线重合, 校正完毕, 然后用寻北仪对地震计 N 向基线进行测量三次, 取其均值作为校正后地震计最终 N 向方位角测量值, 并做好文本登记和影像记录。

2.2.2.4 仪器极性检测

锤子水平运动敲击摆墩, 依次 N>S、E>W 向, 分别连续敲击 3 次(每次间隔大于 30 s); UD 向锤子敲击由上至下直接敲击摆墩面, 连续敲击 3 次(每次间隔大于 60 s), 记录下敲击时段的波形数

据。若三分向的初动都向下, 则极性正确, 并做好数据保存和文本记录。

3 普查校正结果

3.1 台站经纬度复核结果

广东“十五”测震台网台站经纬度经过复核后, 数据采集器的经纬度和手持 GPS 的经纬度误差不大, 基本都在小数点的第四位上偏差, 即偏差在 10 m 以内, 考虑到设备 GPS 观测精度, 全部台站经纬度均符合正常要求, 不出现大偏差等错误情况。由于台站的精确经纬度属于涉密范畴, 不在此展示。

3.2 方位角偏差普查结果

本次测震仪方位角普查校正的是 44 个“十五”建设的地震台站, 其中, 石榴岗台是井下台, 不在此次普查校正范围内, 只是在地面做了永久标志, 实际完成了 43 个地面台的普查校正工作。工作时间基本集中在 2012 年 08 月至 2012 年 12 月, 由于其中 2 个海岛台远离大陆, 交通不方便, 因此推迟。南澎岛台于 2014 年 3 月完成, 担杆岛台于 2014 年 5 月完成。具体普查校正汇总结果如表 1 所示。

表 1 广东十五测震仪方位角普查校正情况汇总
Table 1 Summary of the azimuth correction of survey instruments in Guangdong seismic stations

序号	台名	地震计型号	仪器 N 向 方位角/(°)	校正后仪器 N 向 方位角/(°)	标志 N 向 方位角/(°)	普查校正时间/ (年-月-日)
1	广州	JCZ-1T	-0.2	不校正	-0.06	2012-10-16
2	深圳	CTS-1	-1.38	不校正	-0.12	2012-11-12
3	汕头	CTS-1	-0.05	不校正	-0.17	2012-09-26
4	信宜	KS-2000M	0.21	不校正	0.21	2012-11-27
5	韶关	CTS-1	-1.92	不校正	0.03	2012-10-31
6	新丰江	BBVS-120	11.39	0.96	-0.12	2012-08-30
7	梅州	CMG-3ESPC	-1.81	0.05	0.32	2012-09-19
8	湛江	KS-2000M	-0.66	不校正	-0.05	2012-11-27
9	英德	BBVS-60	6.34	0.31	0.06	2012-11-02
10	上川岛	CTS-2F	-4.24	-0.05	0	2012-11-21
11	龙川	KS-2000M	-2.29	0.25	-0.65	2012-09-18
12	汕尾	KS-2000M	-3.22	0.22	0.04	2012-11-13
13	连州	KS-2000M	-1.99	0.17	-0.04	2012-11-05
14	阳江	KS-2000M	0.5	不校正	-0.01	2012-10-23
15	肇庆	KS-2000M	-4.85	0.15	0.14	2012-11-19
16	珠海	KS-2000M	2.8	0	-0.08	2012-11-22
17	惠州	KS-2000M	-0.18	-0.05	0.2	2012-09-15

(转下表)

(接表 1)

序号	台名	地震计型号	仪器 N 向 方位角/(°)	校正后仪器 N 向 方位角/(°)	标志 N 向 方位角/(°)	普查校正时间/ (年-月-日)
18	石榴岗	CMG-3TB	井下摆	不校正	0.01	2012-10-07
19	连平	BBVS-60	9.07	0.01	0.24	2012-09-14
20	揭西	BBVS-60	-8.13	-0.22	0.1	2012-09-23
21	阳春	KS-2000M	-4.17	-0.01	0	2012-10-26
22	紫金	BBVS-120	-5.95	-0.55	-0.29	2012-09-04
23	普宁	BBVS-60	1.93	0.05	-0.16	2012-09-25
24	怀集	KS-2000M	-1.25	-0.06	-0.03	2012-11-06
25	阳东	KS-2000M	-3.8	-0.14	0.05	2012-10-25
26	阳西	KS-2000M	-23.28	-0.27	0.03	2012-10-26
27	花都	KS-2000M	-0.85	不校正	0.05	2012-11-08
28	台山	KS-2000M	-9.34	-0.18	-0.12	2012-11-20
29	高州	KS-2000M	-0.86	不校正	-0.12	2012-12-04
30	合江	KS-2000M	-5.09	0.03	-0.08	2012-12-04
31	水东	KS-2000M	9.84	0.09	-0.15	2012-12-03
32	电白	KS-2000M	1.85	不校正	0.1	2012-12-03
33	东莞	KS-2000M	-10.48	-0.12	-0.02	2012-11-15
34	中山	KS-2000M	-2.45	0.05	0.16	2012-11-15
35	丰顺	KS-2000M	1.29	-0.11	-0.02	2012-09-23
36	新会	KS-2000M	-3.89	0.02	-0.36	2012-12-07
37	新港	KS-2000M	3.8	0.5	-0.18	2012-09-13
38	龙潭口	CMG-3ESPC	14.51	0.15	-0.13	2012-09-13
39	湖羊角	CMG-3ESPC	6.52	-0.23	-0.55	2012-09-15
40	潮州	KS-2000M	-1.09	-0.05	-0.09	2012-09-22
41	南澳	BBVS-120	-28.27	-0.13	0.07	2012-09-20
42	田心	KS-2000M	-9.32	-0.16	0.07	2012-09-25
43	南澎岛	BBVS-120	-2.87	-0.04	0.04	2014-03-17
44	担杆岛	KS-2000M	-9.79	0.1	0.1	2014-05-07

注：角度为正表示以地理正北为起点，顺时针方向，负则表示逆时针方向。

把 43 个“十五”地表类型地震台站普查校正结果进行统计，如图 3 所示，测震仪器 N 向方位角与地理正北偏差大于 8 度的有 11 个台站，占 26%，偏差小于等于 8°但大于 2°的有 15 个，占 35%，偏差小于等于 2°的有 17 个，占 39%；其中，偏差最大的是南澳台为-28.27°，其次是阳西台为-23.28°。

3.3 仪器输出极性结果

要求台站仪器进行输出极性检测的通知发布时，广东测震台网仪器方位角普查校正工作已接近完成，所以只针对余下的 4 个台站（高州、合江、水东、电白）进行了输出极性的检测，敲打测试 N>S 向下，E>W 向下，U>D 向下，初动结果均正常。

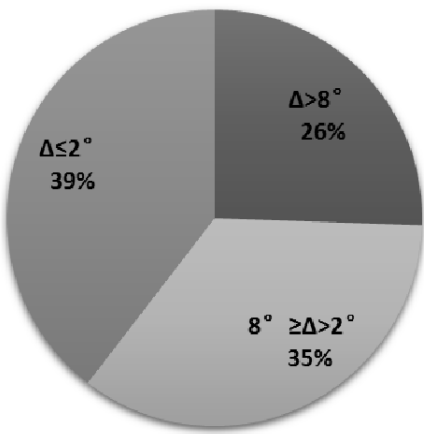


图 3 广东省“十五”测震台方位角偏差统计
Fig.3 Statistic azimuth deviation of the Guangdong seismic stations

3.4 资料汇总

每个台站都有一个单台报告,详细记录了仪器方位角普查与校正、输出极性、经纬度复核、永久性指北标志安装等工作内容,并存有现场工作相片;每个省台网根据所辖管的台站普查校正结果,汇编形成省测震台网仪器方位角普查校正工作报告;仪器维修片区根据所辖管的省份资料,又再次汇编形成片区仪器方位角普查校正工作报告。最后全部资料提交给国家地震监测台网中心进行保存和备份。

4 第三方理论测试报告

2013年9月该项工作验收的时候,中国地震局地球物理研究所郑秀芬研究员和中国石油大学钮凤林教授提供了地震计方位角偏差检测第三方理论测试报告中^[9],指出广东省“十五”42个测震

台站(南澎岛台和担杆岛台尚未完成,不在第三方理论统计中),对比技术要求,全部台站均调整到位,并且都不存在水平向极性错误。

郑秀芬等人使用测震台站记录到的地震事件,利用远场P波极性分析方法进行地震计方位角偏差检测,如图4所示,其上图是南澳台(NAO)的分析结果,下图为阳西台(YGX)的分析结果,X轴为时间,Y轴为仪器水平向方位角。南澳台使用寻北仪现场测量的结果是:校正前方位角为 -28.27° ,校正后方位角为 -0.13° ,校正时间为2012-09-20;阳西台现场测量的结果是:校正前方位角为: -23.28° ;校正后方位角为: -0.27° ;校正时间为:2012-10-26。P波极性分析结果与现场普查结果进行对照,普查校正前后的方位角和校正时间,均相符,从另一个侧面证明了测震仪方位角普查校正工作能够达到技术要求,并且精度比较高。

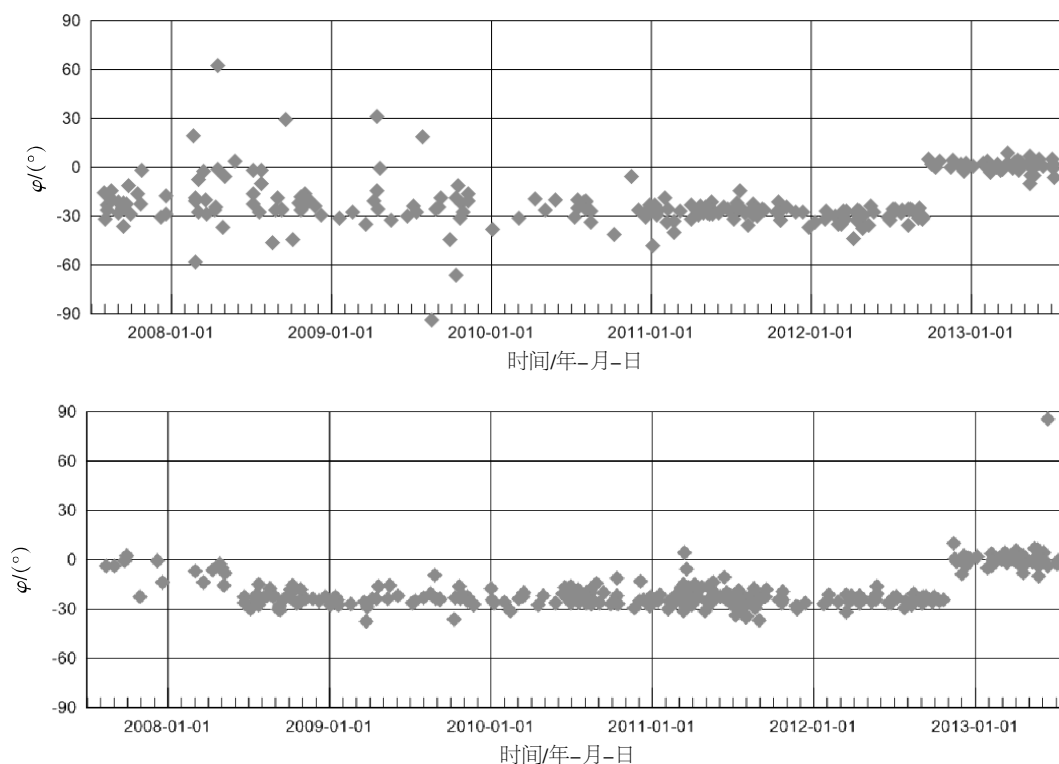


图4 方位角校正前后对比图 (引用郑秀芬第三方理论测试报告)

Fig.4 Comparison of the azimuth before and after correction (Third party theory test report from Zheng Xiufen)

5 结语

5.1 问题原因

根据上述普查结果可知,广东“十五”测震仪N向方位角与地理正北偏差大于 2° 的共26个台站,占本次普查总数的61%,偏差最大为 -28.27°

度,在没有校正偏差的情况下,对方位角准确性要求比较高的数据应用方面将会有比较大的误差。“十五”测震仪方位角安装出现偏差的主要原因,是在仪器的安装过程中,只使用了罗盘进行方位测定,受限于罗盘较低的测量精度和地球磁偏角的影响,无法保证仪器摆放时能接近真北方位,

部分台站更是在房屋完全盖好后才开始测量方位,偏差尤其明显,影响了数据产出质量。在今后的工作中,应当重视仪器方位的摆放,使用高精度寻北仪代替罗盘,并做好标记,保证仪器方位符合国家规范要求。

5.2 后序工作

(1) “十一五”和“十二五”测震台站以及台站仪器进行维修更换,在仪器安装过程中,必须严格按照仪器方位角安装技术要求。

(2) 全国“十五”井下测震台普查校正工作于2016年6月开展,预计2016年底完成此项工作^[10-13]。

致谢广东省地震局监测中心技术室现场工作人员:郭德顺、林伟、王国望、劳谦、邓金、王力伟、贾雨、黄勇等。

参考文献:

- [1] 中国地震局监测预报司. 新地震观测实践手册[M]. 北京:地震出版社,2006.
- [2] Fenglin Niu and Juan Li. Component azimuths of the CEArray stations estimated from P-wave particle motion[J]. Earthq Sci, 2011, 24: 3-13.
- [3] 刘军, 康英. 新版测震台网地震观测报告[J]. 华南地震, 2015, 35(4): 25-30.
- [4] 李少睿, 董平江, 罗治国. 测震仪器定向方法探讨[J]. 地震地磁观测与研究, 2012, 33(5/6): 250-254.
- [5] 李少睿, 赵建和, 王党席, 等. 全国测震台站仪器方位角普查校正[J]. 地震地磁观测与研究, 2014, 35(Z1): 224-230.
- [6] 陈贵美, 康英, 杨选. 广东“十五”数字测震台网地震监测能力分析[J]. 华南地震, 2011, 31(3): 70-77.
- [7] 中国地震台网中心, 片区仪器维修中心. 全国测震台网台站仪器方位角校正工作流程手册[M]. 2012.
- [8] 中国地震台网中心, 片区仪器维修中心. 区域台网仪器输出极性判定方法与步骤[M]. 2012.
- [9] 郑秀芬, 钮凤林. 全国地震监测台网仪器方位角普查校正工作——地震计方位角偏差检测第三方理论测试报告[M]. 2013.
- [10] 谢剑波. 地震记录的时间域反褶积、仿真及在地震计方位角相对测量中的应用[J]. 地球物理学报, 2014, 57(1): 167-178.
- [11] 李少睿, 毛国良, 王党席等. 井下地震计方位角检测技术应用研究[J]. 地球物理学报, 2016, 59(1): 299-310.
- [12] 吴叔坤, 黄文辉. 广东台网网络服务架设实例[J]. 华南地震, 2015, 35(3): 15-24.
- [13] 吴国瑞, 胡文灼. 关于提高广东测震台网地震速报质量的几点思考[J]. 华南地震, 2015, 35(3): 77-81.