

利用远震 P 波质点运动检核区域地震计水平分量方位^①

周 琳¹, 王庆良^{1,2}, 崔笃信², 郝 明², 李煜航², 季灵运²

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

摘 要:地震计三分量方位的准确性对现代地震学研究具有很重要的意义。文献[1]利用 P 波偏振原理和多地震事件加权叠加方法计算表明, 中国“十五”数字地震网络台站中有近三分之一的台站存在地震计水平方位偏差大、极性接反或分量互换等方面的问题。本文选取鄂尔多斯地块周缘地区 24 个代表性台站, 利用 2007 年 8 月至 2011 年 3 月期间 73 个 $M \geq 7$ 远震事件的 P 波资料, 对台站分量方位等问题进行了检核计算。考虑到期间地震仪的可能重新安装因素, 应用单地震事件的反演方位时间序列变化来计算分量方位偏差及其可能的方位校正。研究结果表明, 反演的方位与文献[1]的结果基本一致, 表明中国“十五”数字地震网络确实存在部分台站方位偏差较大等方面问题。因此, 在 SKS 横波分裂等现代地震学研究中应充分考虑台站地震计方位不准和变动等因素的影响。

关键词: P 波质点运动; 检核; 地震计; 方位角; 鄂尔多斯地块

中图分类号: P315.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0844(2013)02-0326-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.02.0326

Component Azimuths of Regional CEArray Stations Checked by Teleseismic P-wave Particle Motion

ZHOU Lin¹, WANG Qing-liang^{1,2}, CUI Du-Xin², HAO Ming², LI Yu-Hang², JI Ling-Yun²

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an Shanxi 710054 China)

Abstract: Orientation accuracy of three components of station seismometers is very important for modern seismology research. Many aspects of modern seismic studies require rotating the BHN, BHE, and BHU as three-dimensional orthogonal coordinate components of particle motion; that is, radial (horizontal direction of incidence), horizontal (in the horizontal plane perpendicular to the incident direction), and vertical. If the station seismometer's BHN component direction and the true north direction N are really larger than the azimuth deviation, then the radial and transverse components will have a greater system deviation, which is based on the back azimuth value. This will affect the authenticity and reliability of modern seismic studies, such as shear-wave splitting SKS results, and also confuse seismic interpretation. For many years, seismic workers at home and abroad have attached great importance to the seismometer azimuth's accuracy and correction testing for basic research. If P-waves are compressed through horizontal layered anisotropic media to seismic stations, then the particle trajectories will be in the large in-plane circle composed of the seismic focus, the seismostation, and the geocentre. Seismic P-waves in the plane incident to station direction (radial or station azimuth direction) were also determined to

① 收稿日期: 2012-12-04; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2013025

基金项目: 国家自然科学基金(41174083, 40974062); 地震行业科研重点专项(201208009)

作者简介: 周琳(1987-), 女(汉族), 黑龙江哈尔滨人, 在读硕士研究生, 研究方向: 地球动力学。

have radial (plane incident) P-waves with the greatest polarization energies in the plane perpendicular to the incident direction of landscape orientation with the lowest vibrational energy. If BHN coincides with the north direction N (BHE direction coincides with the East direction E), the rotation angle from BHN to the P-wave plane incident direction (energy maximum polarization direction) will be the seismostation to seismic focus's back azimuth. If the seismometer station BHN direction and the North direction N slightly deviate, the rotation angle from BHN to P-wave plane incident direction (polarization energy maximum) will not equal the seismostation to seismic focus's back azimuth. From the seismostation-seismic focus back azimuth angle and the rotation angle determined from the BHN/BHE components to the maximum polarization energy's direction, the seismometer BHN component's azimuth deviation could be obtained. Using an SNR-weighted multievent method and teleseismic P-wave particle motions, Niu (2011) found that about one-third of the CEArray stations have some sort of problems, including misorientation of the two components, mislabeling of BHN and BHE components, as well as polarity reversal in one or more components, all of which were brought to the attention of the China Earthquake Administration and seismic data users. In this study, we rechecked the component azimuths of the circum-Ordos block of CEArrays from P-wave particle motions of 73 $M > 7$ teleseismic events from August 2007 through March 2011. Considering possible seismometer re-installation, we estimated the north-component azimuth for each station by analyzing the time series of the calculated azimuths of each individual event. Our calculated azimuths are very consistent with the results of Niu (2011), which implies that the CEArray does have a problem with misorientation. The teleseismic P-wave particle motion method can be used to effectively check the seismometer stations' horizontal azimuth deviations. Therefore, in modern seismology research such as SKS splitting with CEArray data, users should pay particular attention to component misorientation, polarity reversal, and mislabeling problems.

Key words: P-wave particle motion; Check; Seismometer; Component azimuth; Ordos block

0 引言

现代地震学研究强烈依赖于精确可靠的三分量宽频带地震观测记录。现代宽频带地震计普遍采用一体化结构设计,三分量传感器(摆)之间的方向正交性基本得到保障(偏差小于 1°),但是由于人为、环境等多方面因素的影响,并不能保障所安装到位的地震计三分量一定准确位于正北、正东和垂直三个方向,即存在一定的方位偏差。而现代地震学研究的许多方面如 SKS 剪切波分裂研究、接收函数研究和面波研究等,都需要通过坐标旋转将 BHN、BHE 和 BHU 三分量质点运动分解为径向(水平入射方向)、横向(水平面内与入射方向垂直)和垂向三个正交分量。如果台站地震计的 BHN 方向与真北方向存在较大的方位偏差(相应 BHE 分量与真东方向也存在较大偏差),则方位角理论值旋转得到的结果也将存在较大的系统偏差,从而影响 SKS 剪切波分裂等现代地震学研究结果的真实性和可靠性。因此,多年来国内外地震工作者一直十分重视台站

地震计方位的准确性检验和校正等基础研究工作。例如,Laske 等^[2-3]通过长周期面波偏振方法计算全球相速度变化时发现,全球分布的台站中有部分台站的地震计方位不正确,偏差超过了 5° 。Larson 等^[4-5]在进行中长周期面波的偏振研究时也得到了类似的台站地震计方位偏差问题,并给出了全球地震台网 GSN 中台站地震计方位偏差大于 10° 的十个台站,与 Laske^[3]得出的地震计方位存在偏差的台站基本一致。Yoshizawa 等^[6]和 Schulte-Pelkum 等^[7]在对 GSN 地震台站进行 P 波偏振分析时,也发现了面波偏振分析方法提到的地震计方位偏差问题。Göran Ekström 等^[8]对美国 Usarray 台阵一些固定地震台站进行了地震计方位的计算,结果表明部分台站地震计方位确实存在偏差问题。

避开各种干扰因素的观测结果便于早发现异常有利于地震预报的各项研究,地震台站的选址问题是复杂的,现实工作中要找到同时满足各项条件的台址较为困难^[9-10]。于 2007 年底建设完成的“中国

数字地震观测网络”项目,在中国大陆及周边地区建设完成了由1个国家骨干台网和31个区域台网组成的大规模测震台网^[1],测震台站总数量达1 000多个,其中宽频带地震台站850多个。但由于各种原因,有部分台站存在地震计方位偏差较大和极性接反等问题。

Niu等^[1]根据2007年7月到2008年8月期间震级>5、震中距在30°~90°、信噪比较好的106个事件,利用基于P波质点偏振原理和多地震事件信噪比加权叠加方法,对中国大陆数字地震台站地震计的BHN方向方位偏差等问题进行了计算研究。他们发现,在已建成的“十五”数字地震台网中有将近三分之一的台站存在BHN方位偏差较大、摆系极性接反或BHN、BHE分量接反等方面的问题,并给出了存在地震计方位偏差等问题台站的列表,引起了中国地震局管理台网部门和地震数据用户的高度重视。目前,中国地震局监测预报司正根据Niu等的计算研究结果,利用高精度寻北仪(陀螺仪)对一些地震计方位偏差突出的台站重新进行地震计的安装和方位校正。

Niu等^[1]的计算结果是否可靠,中国地震局利用寻北仪重新安装的地震计方位校正效果如何等,一直是地震工作者十分关注的问题。本文选择鄂尔多斯地块周缘地区SKS横波分裂研究疑有问题的部分台站,利用2007年8月至2011年3月期间的73个 $M \geq 7$ 远震事件,同样利用P波偏振原理对台站地震计方位偏差等问题进行对比计算分析,其主要目的有三个:一是检核Niu等^[1]的研究结果是否正确可靠;二是通过多个地震事件的反演方位时间序列变化,检核台站地震计期间是否重新进行过方位校正以及校正效果如何;三是分析地震计方位偏差较大等问题对SKS反演结果可能的影响,为SKS横波分裂校正研究提供依据。

1 计算方法

假设压缩P波通过水平成层各向同性介质传播到地震台站,则其质点运动轨迹应该在由震源、地震计以及地心组成的大圆面内。在图1所示的台站平面地理坐标系(N,E)中,给定台站经纬度(λ_s, φ_s)和地震事件经纬度(λ_e, φ_e),则地震P波在台站的平面入射方向(径向或台站后方方位角方向)也随之确定,P波将在径向(平面入射)方向具有最大偏振能量,在与平面入射方向垂直的横向方向具有最小振动能量。

如果台站地震计BHN方向与正北方向N重合(相应BHE方向与正东方向E重合),则由BHN方向到P波平面入射方向(偏振能量最大方向)的旋转角度即为台站至地震的理论后方方位角 θ_c ,它可以根据球面三角函数关系由以下式(1)~(4)联合解出:

$$\tan \theta_c = \frac{\sin(\lambda_e - \lambda_s) \cos \varphi_e \cos \varphi_s}{\cos \Delta \sin \varphi_s - \sin \varphi_e} \quad (1)$$

式中 Δ 为用弧度表示的震中距,其余弦关系式可表达为

$$\cos \Delta = \vec{e} \cdot \vec{s} = e_1 s_1 + e_2 s_2 + e_3 s_3 \quad (2)$$

其中

$$\vec{e} = (\cos \lambda_e \cos \varphi_e, \sin \lambda_e \cos \varphi_e, \sin \varphi_e) = (e_1, e_2, e_3) \quad (3)$$

$$\vec{s} = (\cos \lambda_s \cos \varphi_s, \sin \lambda_s \cos \varphi_s, \sin \varphi_s) = (s_1, s_2, s_3) \quad (4)$$

如果台站地震计的BHN方向与正北N方向存在一方位偏差 φ ,则P波偏振旋转角度 θ_a 变为 $\theta_a = \theta_c - \varphi$ 。因此从原理上来讲,根据台站—地震理论后方方位角 θ_c 和BHN、BHE分量确定的最大偏振能量旋转角 θ_a 即可确定台站地震计BHN方向方位偏差 φ 。

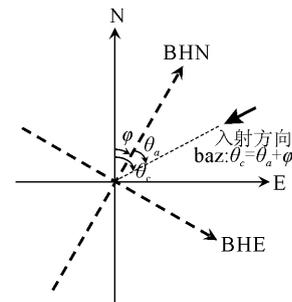


图1 地震计方位角关系原理示意图(图中,N、E为台站处的真地理北和东方向,BHN和BHE为地震计的视北和视东方向, θ_c 为根据台站、地震经纬度计算得到的台站—地震理论后方方位角, θ_a 为利用P波质点偏振原理计算得到的偏振旋转角, φ 为台站BHN方向方位偏差,以正北方向瞬时顺时针旋转为正。)

Fig. 1 A schematic diagram of calculating the seismometer azimuth.

Niu等^[1]利用多事件信噪比加权叠加法(SNR-weighted-multi-event)计算台站地震计BHN方位偏差 φ 。其基本方法步骤是:(1)首先根据台站和地震经纬度,计算理论后方方位角 θ_c ;然后对 φ 在0°~180°范围内按1°增量间隔进行全局扫描,并对给

定时窗内的 BHN、BHE 分量 P 波振动,按偏振旋转角 $\theta_a = \theta_c - \varphi$ 进行径向和横向振动分解,并进行多地震事件的横向 P 波能量加权叠加(按信噪比加权); (3)取使横向 P 波能量加权叠加值最小的 φ 为台站地震计 BHN 分量的方位偏差。

考虑到“十五”数字测震网络建成后某些台站的地震计方位可能曾进行过校正或变动,在此背景下多地震事件加权叠加法将不再适用。为了与 Niu 等^[1]的结果进行检核对比,同时对可能的台站地震计方位校正活动进行检验,本文利用 P 波偏振原理,分别计算每个地震事件的反演方位偏差 φ ,然后根据其时间序列变化特征,判定可能的台站地震计方位角校正活动,并计算相应的地震计平均方位偏差 $\bar{\varphi}$ 。具体方法和步骤为:

(1)对地震波形事件进行 5~50 s 的带通滤波,以消除介质不均匀散射效应对 P 波偏振能量的叠加影响。

(2)截取各个地震事件的 BHN、BHE 水平分量半个 P 波周期时间窗,并在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内按 1°

增量间隔对 θ_a 进行全局扫描和径向、横向振动分解,然后取最小横向能量所对应的 θ_a 为各地震事件的偏振旋转角,并计算相应的 BHN 方位偏差 $\varphi = \theta_c - \theta_a$ 。 θ_c 为台站至震中理论后方位角。

(3)通过多地震事件的方位偏差 φ 时间变化序列,判断台站在什么时间段曾进行过地震计方位校正以及校正效果如何。

(4)对校正前后的多个地震事件反演方位偏差 φ 取算术平均,得到台站地震计校正活动前后的平均方位偏差 $\bar{\varphi}$,此值即视为台站地震计的 BHN 方位偏差。

2 台站与地震事件选择

鄂尔多斯地块周缘地区是我国著名的强震活动地区之一。胡亚轩等^[12]在利用区域测震台网观测资料进行 SKS 横波分裂研究时,舍去了反演结果不太可靠的 20 个台站,原因包括 SKS 偏振能量图像不标准、SKS 快波方向与周围或相近台站有显著差别、快慢波时差明显大于区域上地幔可能的快慢波

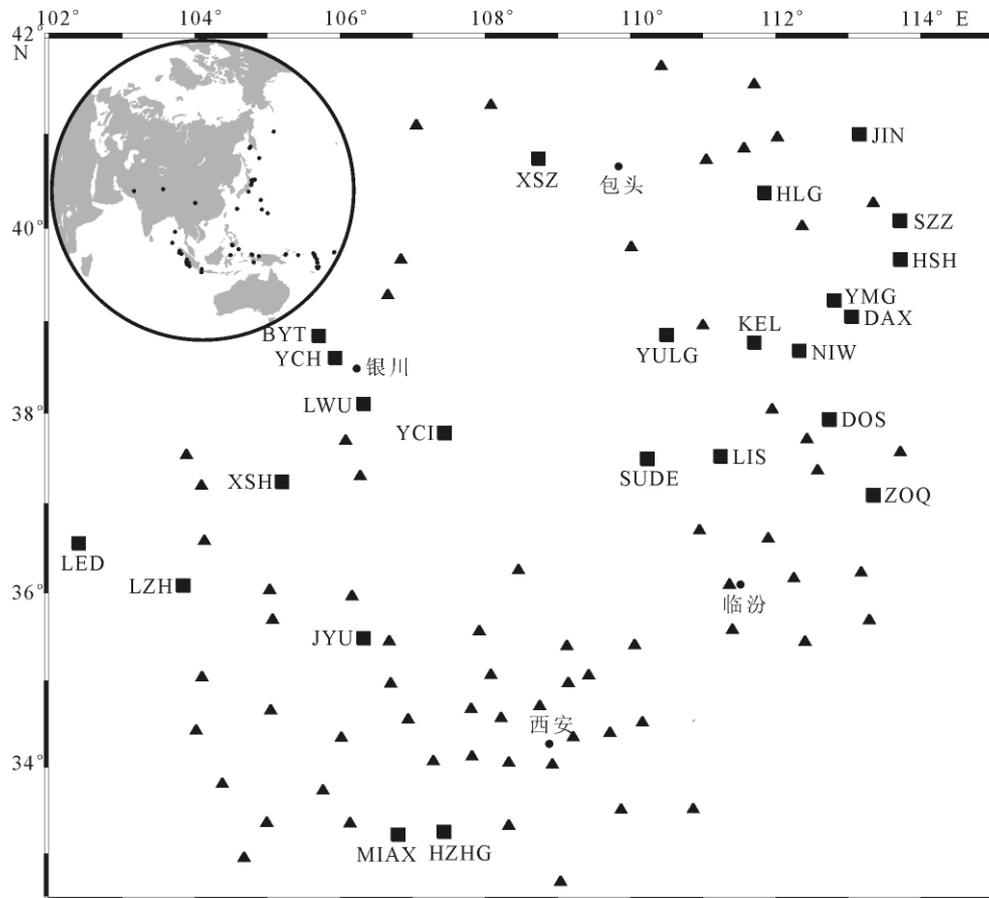


图 2 研究台站分布图(实心三角形代表区域测震台站,实心矩形代表本文方位角偏差检核台站,左上角插图显示了本文计算所使用的 73 个远震事件的位置)

Fig. 2 Location map showing the research stations.

时差等。上述台站 SKS 反演结果的不可靠性会不会是由地震计方位偏差大等原因引起的呢？对此本文利用远震 P 波横向能量最小偏振原理,对这 20 个台站(图 2、表 1 中序号 1~20 台站)的地震计方位偏差 φ 进行了计算分析。为检验结果的有效性,我们还同时对 SKS 分裂反演结果中比较好的四个台站兰州(LZH)、银川(YCH)、勉县(MIAX)、巴彦浩特(BYT)等进行了地震计方位偏差反演计算。

研究所用地震事件为 2007 年 8 月至 2011 年 3 月期间 73 个震级 ≥ 7 的远震事件(图 3),所用方法为上节所述的单地震事件序列 P 波偏振能量反演方法,以便能同时检核台站地震计 BHN 方向方位

偏差及其可能的方位校正活动。

3 结果分析

图 3 为利用 2007 年 8 月至 2011 年 3 月期间 73 个远震事件计算得到的 24 个台站的地震计方位偏差 φ 时间序列,图中零基线代表正北方向,虚线为各台站地震计平均方位偏差 $\bar{\varphi}$ 。 φ 为正代表 BHN 方位东偏,为负代表 BHN 方位西偏。可以看出:

(1) 安装 CMG-3ESPC、FBS-3H/VBB 和 JDF-2 三种型号地震仪的台站如山西代县台、岢岚台、离石台、宁武台、左权台、宁夏泾源台、灵武台和香山台,仪器系统灵敏度低,地震波有效信号弱,由

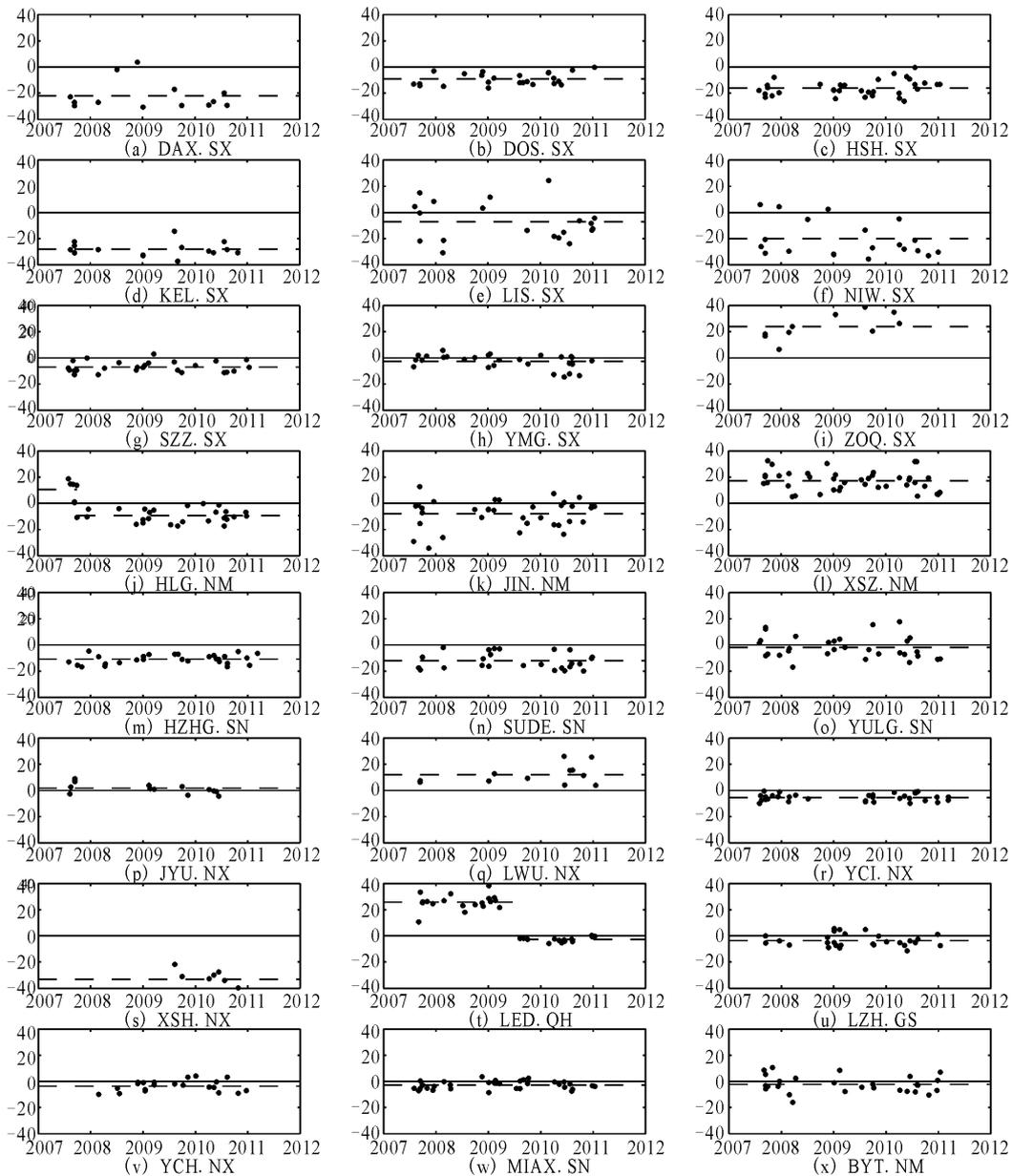


图 3 各台站地震计方位偏差反演结果序列图

Fig. 3 The seismometer azimuth inversion results.

表 1 地震计方位偏差计算检核台站列表

Table 1 Parameters of the stations used in this study

序号	台站名称	台网代码	台站代码	经度/°	纬度/°	地震计型号	系统灵敏度 Counts/[$\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]		
							Z	E	H
1	代县	SX	DAX	113.05	39.05	CMG-3ESPC	623.66	622.4	619.26
2	东山	SX	DOS	112.74	37.92	KS-2000(120s)	1 371.41	1 248.96	1 241.11
3	恒山	SX	HSB	113.72	39.66	BBVS-60	1 264.85	1 250.4	1 270.78
4	岢岚	SX	KEL	111.71	38.77	CMG-3ESPC	638.77	640.03	633.73
5	离石	SX	LIS	111.24	37.52	CMG-3ESPC	623.03	623.03	621.96
6	宁武	SX	NIW	112.33	38.68	CMG-3ESPC	629.33	638.77	615.48
7	山自皂	SX	SZZ	113.71	40.08	BBVS-120	1 227.45	1 241.92	1 217.73
8	雁门关	SX	YMG	112.80	39.22	BBVS-60	1 254.44	1 402.77	1 317.43
9	左权	SX	ZOQ	113.35	37.09	CMG-3ESPC	620.52	617.37	621.15
10	和林格尔	NM	H LG	111.84	40.37	BBVS-60	1 249.56	1 240.48	1 261.86
11	集宁	NM	JIN	113.15	40.99	BBVS-120	1 274.68	1 263.86	1 231.17
12	西山咀	NM	XSZ	108.73	40.73	BBVS-60	1 475.39	1 458.67	1 523.15
13	汉中	SN	HZHG	107.43	33.25	CTS-1	1 070.79	1 058.21	1 055.06
14	绥德	SN	SUDE	110.23	37.49	KS-2000(60)	1 300.82	1 281.31	1 262.43
15	榆林	SN	YULG	110.50	38.85	CTS-1EF	1 259	1 267	1 259
16	泾源	NX	JYU	106.33	35.48	FBS-3H/VBB	550.6	550.6	550.6
17	灵武	NX	LWU	106.33	38.10	JDF-2	571.4	571.4	571.4
18	盐池	NX	YCI	107.43	37.77	KS-2000(120s)	1 222	1 221	1 218
19	香山	NX	XSH	105.20	37.24	CMG-3ESPC	570.8	576	566.2
20	乐都	QH	LED	102.39	36.55	BBVS-60	1 267	1 254	1 273
21	兰州	GS	LZH	103.84	36.08	CTS-1	1 068.88	1 069.5	1 015.28
22	银川	NX	YCH	105.93	38.60	CTS-1	1 258	1 258	1 258
23	勉县	SN	MIAX	106.80	33.22	KS-2000(60s)	1 271.87	1 285.08	1 277.53
24	巴彦浩特	NM	BYT	105.71	38.84	BBVS-120	1 300.47	1 271.77	1 300.01

各地震 P 波反演得到的台站地震计方位偏差 φ 序列离散性较大,结果中删除了较多偏差太大的地震事件。

(2) 内蒙集宁、西山咀、陕西榆林、绥德等台站,仪器系统灵敏度虽较高,但由各地震 P 波记录反演得到的地震计方位偏差 φ 时间序列离散性也较大,推测可能是由台站附近背景干扰较大引起的。

(3) 青海乐都台地震计在 2009 年 7 月之后出现了 26° 左右的方位变化。经与青海省地震局监测中心联系确认,该台站在 2009 年上半年进行改造,原数字地震仪进行了移位安装并重新进行了方位校正。除此之外,内蒙和林格尔(HLG)台站在 2007 年下年也出现了一个约 26° 的方位变化,推测期间可能进行过仪器调整。

表 2 为根据图 1 所示结果所做的各台站地震计平均方位偏差 $\bar{\varphi}$ 及其均方中误差。作为对比,表中还同时列出了 Niu 等^[1]的计算结果。可以看出:

(1) 本文得到的 24 个地震台站的地震计平均方位偏差结果跟 Niu 等的结果基本一致,Niu 等结果中地震计方位偏差绝对值 $< 8^\circ$ 的台站(原文列表中未给出),本文的处理结果也大部分在 8° 范围以内,只有内蒙和林格尔(HLG)台站出现一些偏差,

推测可能与仪器调整因素有关。

(2) Niu 等结果中地震计方位偏差较大的台站,本文的处理结果也显示这些台站的地震计确实存在较大的方位偏差。图 4 为两者之间的结果对比关系图(方位偏差大于 8° 台站),图中,横坐标为本文的计算结果,纵坐标为 Niu 等的计算结果,可以看出两者一致性很好,基本在 45° 对角线附近分布。

(3) 对于 Niu 等文献中列出的地震计某分量极性接反以及 BHN、BHE 分量互换问题,本文通过 24 个台站的方位反演结果和区域多台站波形对比分析,也发现了类似的现象,其中,内蒙西山咀台(XSZ)和青海乐都台(LED)BHN、BHE 分量极性均接反,表现为远震 P 波初动方向与区域其它台站相反,陕西榆林台(YULG)BHN、BHE 分量互换。所不同的是,Niu 等列出的陕西汉中台(HZHG)BHN、BHE 分量互换问题,本文研究并没有发现和确认该问题。

根据本文及 Niu 等^[1]的台站方位偏差反演结果以及所发现的极性接反等问题,我们在表 2 最后一列对胡亚轩等^[12]区域 SKS 分裂研究时舍去的 20 个结果可信度较差台站进行了可能的原因分析,可以看出:

表2 区域地震台站地计方位角偏差对比结果

Table 2 Misoriented stations' seismometer azimuth deviation results

序号	台站	文献[1]结果/°	本文结果/°	事件个数	中误差/°	对 SKS 横波分裂研究影响评价说明
1	DAX. SX	-15	-22.07	13	10.98	地震仪方位偏差较大,数据质量差,对 SKS 分裂反演结果影响较大。
2	DOS. SX	-9	-9.26	24	4.61	地震仪方位偏差较小,数据质量较好,对 SKS 分裂反演结果影响较小。
3	HSH. SX	-15	-16.13	33	5.98	数据质量较好,但地震仪方位偏差较大,对 SKS 分裂反演结果影响较大。
4	KEL. SX	-16	-28.07	15	5.45	地震仪方位偏差大,数据质量差,对 SKS 分裂反演结果影响较大。
5	LIS. SX		-7.13	20	14.66	地震仪方位偏差小,但数据质量差,对 SKS 分裂反演结果影响较大。
6	NIW. SX	-15	20.06	20	13.64	地震仪方位偏差大,数据质量差,对 SKS 分裂反演结果影响较大。
7	SZZ. SX		-7.00	27	4.10	地震仪方位偏差较小,数据质量较好,对 SKS 分裂反演结果影响不大。
8	YMG. SX		-2.72	28	5.34	地震仪方位偏差较小,数据质量较好,对 SKS 分裂反演结果影响小。
9	ZOQ. SX	28	23.82	9	9.71	地震仪方位偏差大,数据质量差,对 SKS 分裂反演结果影响很大。
10	HLG. NM		10.59	6	7.76	地震计方位可能在 2007 年下半年进行过调整,对 SKS 分裂结果影响较大。
			-9.47	26	5.11	
11	JIN. NM	-8	-8.05	36	10.50	台站背景噪声大,对 SKS 分裂结果影响较大。
12	XSZ. NM	18	17.26	42	7.45	地震计极性接反(N→-N,E→-E),对 SKS 分裂结果影响很大。
13	HZHG. SN	-9	-10.83		3.55	数据质量较好,但地震仪方位偏差较大,对 SKS 分裂反演结果有一定影响。
14	SUDE. SN	-12	-12.15	25	6.22	地震仪方位偏差较大,背景噪声大,对 SKS 分裂反演结果影响较大。
15	YULG. SN		-1.77	31	8.66	地震仪分量接反(N→E,E→N),背景噪声大,对 SKS 分裂结果影响很大。
16	JYU. NX		1.69	14	4.12	地震仪方位偏差小,数据质量好,对 SKS 分裂反演结果影响小。
17	LWU. NX	23	12.06	12	7.48	地震仪方位偏差大,数据质量差,对 SKS 分裂反演结果影响大。
18	YCI. NX		-5.4	34	2.69	地震仪方位偏差小,数据质量好,对 SKS 分裂反演结果影响小。
19	XSH. NX	-27	-33	9	6.81	地震仪方位偏差大,数据质量差,对 SKS 分裂反演结果影响大。
20	LED. QH	27	25.7	19	5.80	地震计极性接反(N→-N,E→-E),2009 年 7 月前方位偏差大,对 SKS 分裂结果影响大。
			-2.75	14	1.82	
21	LZH. GS		-3.61	29	4.55	地震仪方位偏差小,数据质量好,对 SKS 分裂反演结果影响小。
22	YCH. NX		-3.65	23	4.26	地震仪方位偏差小,数据质量好,对 SKS 分裂反演结果影响小。
23	MIAX. SN		-2.89	32	3.07	地震仪方位偏差小,数据质量好,对 SKS 分裂反演结果影响小。
24	BYT. NM		-2.29	27	6.51	地震仪方位偏差小,数据质量好,对 SKS 分裂反演结果影响小。

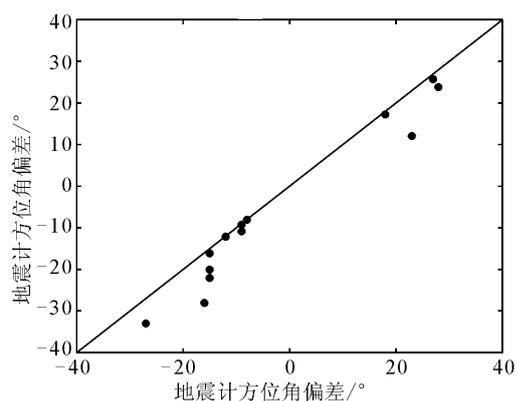


图4 地震计方位反演计算结果对比图(横轴为本文计算结果,纵轴为文献[1]计算结果)

Fig. 4 A comparison of the seismometer azimuth deviation results.

(1) 20 个台站中有 12 台站方位角偏差较大(如山西左权台、宁夏灵武台等)或地震数据质量较差(如山西代县台、离石台等),其 SKS 分裂反演结果可信度较差。

(2) 有 3 个台站存在地震计分量极性接反(宁

夏香山台、青海乐都台)和分量互换(如陕西榆林台)问题,不能得到有效的偏振能量图像,SKS 分裂结果可信度差。

(3) 四个对比检测台站甘肃兰州台(LZH)、宁夏银川台(YIC)、陕西勉县台(MIAX)、内蒙巴彦浩特台(BYT),地震计反演方位偏差小,数据质量好,SKS 分裂结果应比较可信。

(4) 山西东山(DOS)、山自皂(SZZ)、雁门关(YMG)、宁夏泾源(JYU)、盐池(YCI)等 5 个台,地震计方位偏差小,数据质量较好,对 SKS 反演结果影响小,应重新检核这几个台站 SKS 分裂结果的有效性。

对鄂尔多斯周缘区域台站方位偏差、极性、数据质量等问题有了比较全面的了解之后,我们可以对方位偏差较大、极性接反或分量互换但数据质量较好的台站,通过方位、极性校正等技术手段,对 SKS 分裂结果进行重新计算校正。对数据质量很差的台站,即使做方位、极性方面的校正,其 SKS 分裂结果误差也仍会较大。

4 结论

(1) 利用远震 P 波质点振动和台站—地震理论后方位角,可以有效检核台站地震计水平分量方位偏差及其可能的方位校正活动。

(2) 本文利用多个远震事件 P 波记录反演检核台站地震计方位偏差,与 Niu 等^[1]的结果基本一致,说明中国数字地震台网某些台站确实存在方位偏差较大、极性反向等方面的问题。

(3) 现代地震学研究如 SKS 分裂等,应重视地震计方位偏差的计算和校正工作。

致谢:感谢中国地震局地球物理研究所国家数字测震台网数据备份中心为本研究提供地震波形数据,感谢密苏里大学哥伦比亚分校地质科学系 Eric Sandvol 教授提供台站方位偏差计算源程序,感谢吴建平研究员、房立华博士对本文研究的热心指导和帮助。

[参考文献]

- [1] NIU Feng-lin, JUAN Li. Component Azimuths of the CEArray Station Estimated from P-wave Particle Motion [J]. Earthq. Sci., 2011, 24: 3-13.
- [2] Laske G. Global Observation of Off-great-circle Propagation of Long-period Surface Waves[J]. Geophysical Journal International, 1995, 123: 245-259.
- [3] Laske G, G Masters. Constraints on Global Phase Velocity Maps from Long-period Polarization Data[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101: 16059-16075.
- [4] Larson E W F. Measuring Refraction and Modeling Velocities of Surface Waves[D]. Cambridge, Massachusetts: Harvard University, 2000.
- [5] Larson E W F, G Ekström. Determining Surface Wave Arrival Angle Anomalies[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107, doi:10.1029/2000JB000048.
- [6] Yoshizawa K, K Yomogida, S Tsuboi. Resolving Power of Surface Wave Polarization Data for Higher-order Heterogeneities[J]. Geophysical Journal International, 1999, 138: 205-220.
- [7] Schulte-Pelkum, V G Masters, P M Shearer. Upper Mantle Anisotropy from Long-period P Polarization[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106: 21, 917-21, 934.
- [8] Göran Ekström, Robert W Busby. Measurements of Seismometer Orientation at Usarray Transportable Array and Backbone Stations[J]. Seismological Research Letters, 2008, 79(4): 554-561.
- [9] 李佐堂,潘颖凌,田秀丰,等. 强震动台站与干扰源最小距离的初步研究[J]. 西北地震学报, 2012, 34(1): 88-92.
Li Z T, Pan Y L, Tian X F, et al. Preliminary Study on the Minimum Distance between Strong Motion Station and Interference Source[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(1): 88-92.
- [10] 范雷彪,任忠. 调整形变观测思路探寻地震预报的新途径[J]. 西北地震学报, 2011, 33(4): 408-412.
Fan L B, Ren Z. Adjust Deformation Observation Way to Explore New Path of Earthquake Forecasting[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(4): 408-412.
- [11] 刘瑞丰,高景春,陈运泰,等. 中国数字地震台网的建设与发展[J]. 地震学报, 2008, 30(5): 533-539.
Liu R F, Gao J C, Chen Y T, et al. Construction and Development of Digital Seismograph Networks in China[J]. Acta Seismologica Sinica, 2008, 30(5): 533-539.
- [12] 胡亚轩,崔笃信,季灵运,等. 鄂尔多斯块体及其周缘上地幔各项异性分析研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(6): 1549-1558.
Hu Y X, Cui D X, Ji L Y, et al. Seismic Anisotropy of Upper Mantle in Ordos Block and Adjacent Regions, Chinese[J]. Geophys., 2011, 54(6): 1549-1558.