

刘旭宙, 张元生, 李顺成. 2014. 流动地震观测台阵数据快速整合研究. 地震学报, 36(4): 730-737. doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.04.018.

Liu X Z, Zhang Y S, Li S C. 2014. Data rapid integration of mobile seismic array. *Acta Seismologica Sinica*, 36(4): 730-737. doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.04.018.

流动地震观测台阵数据快速整合研究^{*}

刘旭宙^{1,2),*} 张元生^{1,2)} 李顺成³⁾

1) 中国兰州 730000 中国地震局兰州地震研究所

2) 中国兰州 730000 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地

3) 中国北京 100029 中国地震局地质研究所

摘要 阐述了流动地震观测台阵数据快速整合处理的必要性和重要性, 分析了不同地震数据格式及相应的应用软件的优点. 在此基础上介绍了在 .NET 框架平台上用 C# 语言编写的流动地震观测台阵数据快速整合程序及其对流动地震观测台阵数据整合处理的原理和流程, 并通过对 2011 年 11 月 2 日岷县 $M_S 4.5$ 地震数据的快速分析展示了该程序的有效性.

关键词 流动地震观测 数据格式转换 C# 编程

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2014.04.018 中图分类号: P315.61 文献标志码: A

Data rapid integration of mobile seismic array

Liu Xuzhou^{1,2),*} Zhang Yuansheng^{1,2)} Li Shuncheng³⁾

1) Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China

2) Lanzhou Base of Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration,
Lanzhou 730000, China

3) Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China

Abstract: This paper discusses the necessity and importance of data rapid integration of mobile seismic array, and analyzes the advantages of different seismic data formats and their applications. On this basis, a program with C# in .NET Framework for rapid integration data of mobile seismic array is introduced, realizing data auto-search and data format conversion. Meanwhile, the principle and process are also given. Finally, its validity is displayed by analyzing the data from the Minxian $M_S 4.5$ earthquake occurred on 2 November 2011.

Key words: mobile seismic observation; data format conversion; C# programming

引言

地震波形数据是地震学研究的基础资料, 也是地震观测的直接产出, 正确、合理、高

* 基金项目 中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2012IESLZ03, 2012IESLZ09)资助.

收稿日期 2013-08-01 收到初稿, 2014-02-17 决定采用修改稿.

† 通讯作者 e-mail: liuxz@gssb.gov.cn

效地利用地震波形数据是地震学研究的前提。流动地震观测是目前地震学中一种极为活跃和重要的观测手段,流动台阵每天都产出大量的观测数据。不同于中国测震台网采用网络传输数据的方式,流动台阵受观测条件的限制往往使用移动存储设备来收集观测数据。大规模的流动观测台阵在收集观测数据后,一般由完整的数据库软件来管理,根据时间信息提供给用户不同格式的波形数据(李秋生等,2004;吴明恕等,2009;何加勇等,2010)。在资料收集过程中,需要快速地查看记录的波形信息并进行一定的分析处理,而流动台阵的数据往往是按照单个台站、多级目录的方式存储的,因此给其数据的快速查看和分析带来诸多不便。此外,对于缺乏数据库管理的流动观测数据,仍然需要开发相应的软件进行数据的快速提取、整理及合并。

结合流动地震观测台阵的特点和野外工作的条件,我们开发了流动地震观测台阵的数据快速整合程序,以便让工作人员能够快速地根据时间目录整合多个台站的数据,并方便进行简单的波形查看及数据分析。

1 程序设计

流动地震观测台阵采用的观测仪器基本上都有配套的数据格式转换程序,可以将观测数据转换为通用的 miniSEED、SAC 或 ASCII 码格式,但是仍然存在以下问题使得数据在分析处理时存在诸多不便:①只能针对单个文件进行操作,需要用户自行开发程序或脚本达到批量转换的目的;②不能将多个台站的数据整理、校验、合并为一个波形文件;③当用户需要的数据时段跨越多个原始记录文件时,不能自动整理、合并为一个文件,需要用户分别调用不同的程序。

针对以上问题,我们开发的程序主要包括以下两方面的功能:①根据时间目录,按照流动地震观测台阵的数据存放格式自动检索原始波形数据并进行读取和截取;②对检索到的多个台站的观测波形数据进行整理、时间校验及合并后,转换为通用的数据格式。这样,在对台阵数据快速整合时,可以大大减少分析人员的数据处理时间,并简化相对枯燥的数据处理过程。在处理的台站数量较多时,其优越性尤为显著。图 1 为该程序结构图。图 2 给出了该程序界面设计图,其中左侧为程序主界面,右侧为选择台站时弹出的界面。

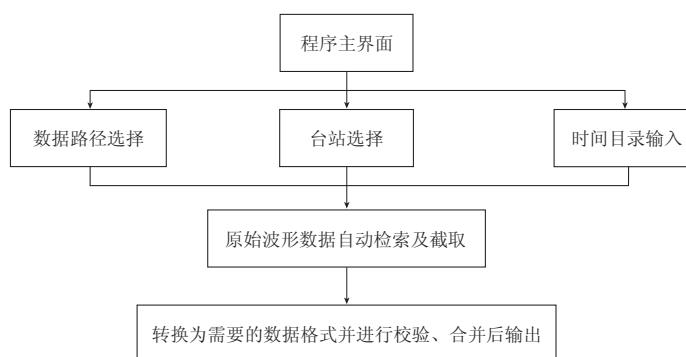


图 1 流动地震观测台阵数据快速整合程序的结构图

Fig. 1 Architecture of the program for rapid integration data of mobile seismic array



图 2 程序界面设计图

Fig. 2 The design of program interface

2 程序功能

2.1 通用数据格式简介

程序最终输出的是通用数据格式的波形数据,因此需要对通用的地震数据格式进行简单的介绍。地震工作人员在数据分析时首先会根据目的来选择数据处理的方法和软件,然后再根据软件要求选择对应的数据格式。地震数据格式一般有 SEED、SAC、EVT、SEG、SUDS 和 ASCII 码等格式,此外不同的数据采集器也会采用各自特定的数据记录格式。其中, SAC、EVT 和 SEED 等 3 种格式因为其各自的特点以及具有较为普遍、成熟的处理软件,成为地震工作人员最常使用的数据格式。

SAC 格式因其简洁的特点和具有由美国加州大学劳伦斯·利弗莫尔国家实验室开发的数据分析程序包而被诸多地震学者所喜爱(黄金莉, 顾小虹, 2001)。EVT 格式(中国地震局监测预报司, 2003)和 SEED 格式(王秀文等, 1994; 王秀娟等, 2001; 刘胜国, 贾庆华, 2004)则是测震台网波形数据所采用的存储格式。我国“‘十五’中国数字地震观测网络项目”针对 SEED 及 EVT 格式开发了 JOPENS 系统。该系统多台站、多通道的显示方法,使得分析人员可以方便快捷地对波形数据进行震相判定、到时标识以及滤波和定位。对于包含有多个台站的台网波形事件的分析尤为便利,可以大大加快震相分析的速度,并提高地震辨识度。此外,将震相识别、快速定位后的波形数据转换为 SAC 格式并利用 SAC 软件分析会更为方便。

2.2 程序流程

通过分析数据格式及相应的数据处理软件,可以看出 EVT、SEED 或 SAC 格式在地震快速分析时具有很大的优势。因此,将流动地震观测台阵的观测数据快速地转换为以上 3 种格式可大大提高分析处理的效率。需要注意的是,由于 JOPENS 软件不能显示 mini-SEED 格式的波形文件,而 SEED 文件则需要非常详尽的台站信息,并且由于 EVT 文件的读取速度明显快于 SEED 文件,因此,相对于 SEED 格式,我们在数据整合的过程中会优先考虑将原始数据转换并合并为 EVT 格式的文件。此外,在转换为 SAC 格式时,我们也

设定自动检索震相分析功能,使其在将原始波形数据或EVT、SEED格式的数据转换为SAC格式时,可以把已经分析过的震相和初步定位结果自动写入SAC文件中。

地震数据整合程序流程图如图3所示。该程序在.NET框架平台上用完全面向对象的C#语言实现。.NET框架是用于Windows的新托管代码编程模型,其平台上的C#语言具有更好的封装性。

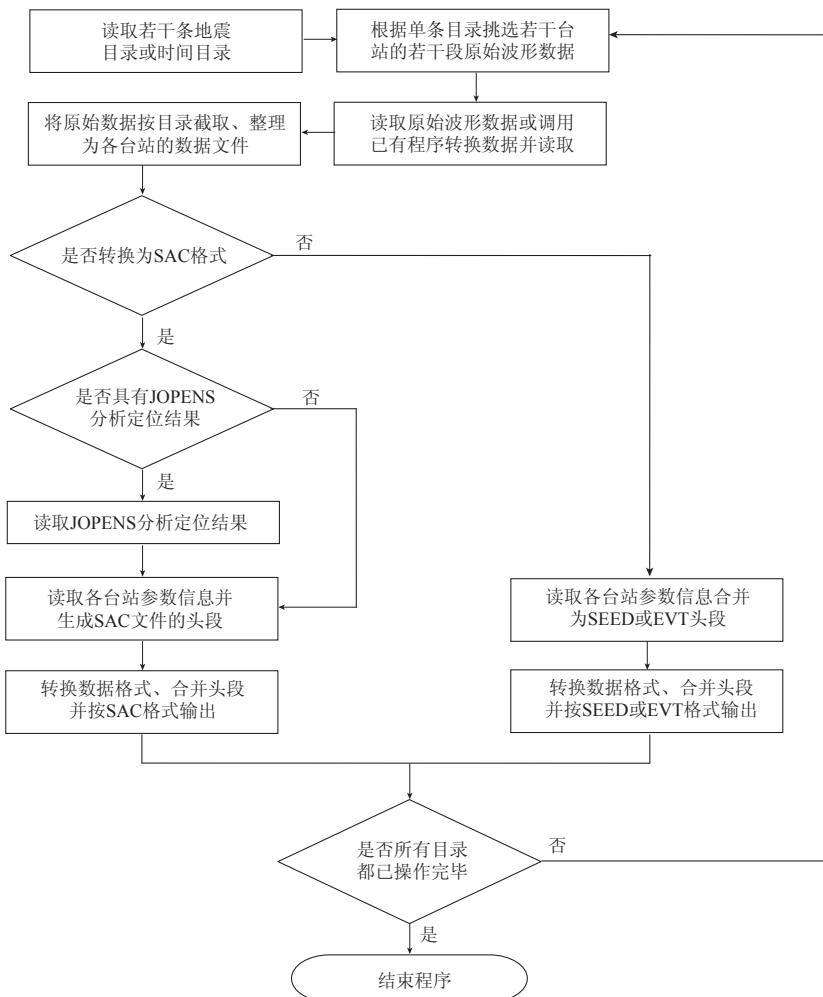


图3 地震数据整合程序流程图

Fig. 3 Flow chart of seismic data integration program

2.3 REFTEK-130型数据采集器的数据整合

目前流动台阵数据快速整合程序对于原始波形文件的检索方式主要针对的是宽频带流动观测广为应用的REFTEK-130型数据采集器记录的文件及其存储结构。对于其它类型的数据采集器留出接口以及文件检索的特征选项,这样在程序进行一定的调整后就可以检索不同结构类型的存储文件。在数据整合前,需要将所需的台站信息按照一定格式存放在文本文件中,以方便程序运行时进行快速检索和提取。

REFTEK-130型数据采集器文件存储结构如图4所示。在数据处理时,按照文件存储

结构和时间目录依次检索选取台站路径、日期路径、数据采集器路径、数据流路径及其对应的原始波形文件。读取数据后进行正确的裁剪、格式的转换及多个台站数据的合并，最终生成方便于地震分析的数据格式文件。

图 5 为根据一条时间目录将台阵原始数据转换为 SAC 格式的程序流程图。REFTEK-130 型数据采集器采集到的数据通常按照非压缩整形数据格式或压缩数据格式来存储。在数据格式转换时，我们在程序中调用了 REFTEK-130 所提供的控制台程序，将原始数据转

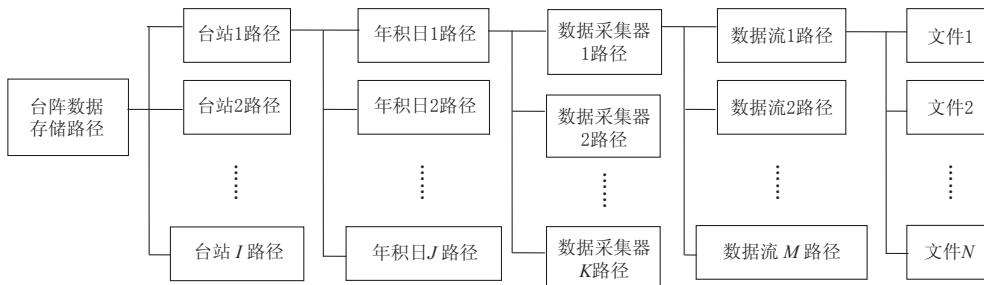


图 4 REFTEK-130 数据采集器波形文件的存储方式

Fig. 4 Storage mode of waveform files from REFTEK-130 data collector

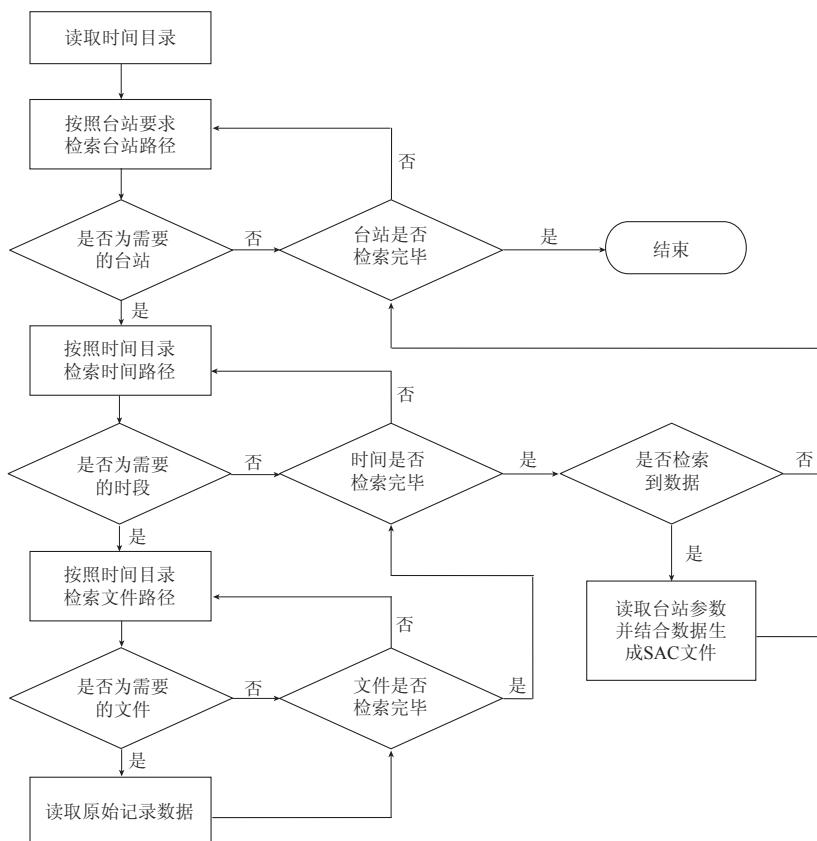


图 5 根据时间目录将原始数据转换为 SAC 格式波形文件的流程图

Fig. 5 Flow chart of converting raw data to SAC files according to the time catalog

换为 ASCII 码格式后参照时间信息进行读取和数据截取、补充(数据采集器断记情况下),然后再次转换为所需要的数据格式. 整个过程自动进行.

3 应用实例

中国地震局地质研究所与中国地震局兰州地震研究所合作,在甘东南地区架设了野外观测流动台阵. 该台阵共有 8 条测线, 170 个流动观测台站, 观测周期为 2009 年 11 月—2011 年 11 月. 台阵采用 REFTEK-130 型数据采集器, 两年的总观测数据量超过 2.5 TB.

2011 年 11 月 2 日岷县发生 $M_s 4.5$ 地震, 震中恰好位于甘东南地区流动地震观测台阵内. 地震后我们第一时间收集了邻近震中的 30 个台站的数据, 此时所有数据还未进入数据库. 利用本文介绍的程序对该地震震前 60 天和震后 4 天的流动地震观测台阵的波形数据进行整合处理, 具体步骤如下:

- 1) 生成 65 天每天每小时的时间目录, 根据时间目录对台阵的原始数据和测震台网数据进行检索、截取和合并, 形成长度为 1 小时且包含多个台站的 EVT 文件.
- 2) 利用 JOPENS 软件对每个 EVT 文件进行前震、余震识别, 震相存储和地震定位.
- 3) 对个别地震, 再次将数据转换为 SAC 格式, 并写入已有的分析结果, 以方便进行其它地震学分析.

整个操作简化了繁冗的数据整合过程, 提高了分析效率. 利用分析整合后的数据, 我们在主震附近区域(34.2° — 35° N, 103.6° — 104.8° E)得到了 52 次地震的定位结果, 远超过同期同地区的测震目录(28 次地震).

图 6 所示波形记录为岷县 $M_s 4.5$ 地震震中附近部分流动台站的垂直分量记录, 数据为 SAC 格式, 是原始波形记录经过以下处理的结果: ① 利用本文程序对上述台站的原始波形数据进行自动检索并整合为 EVT 格式的事件波形文件; ② 利用 JOPENS 系统对该事件

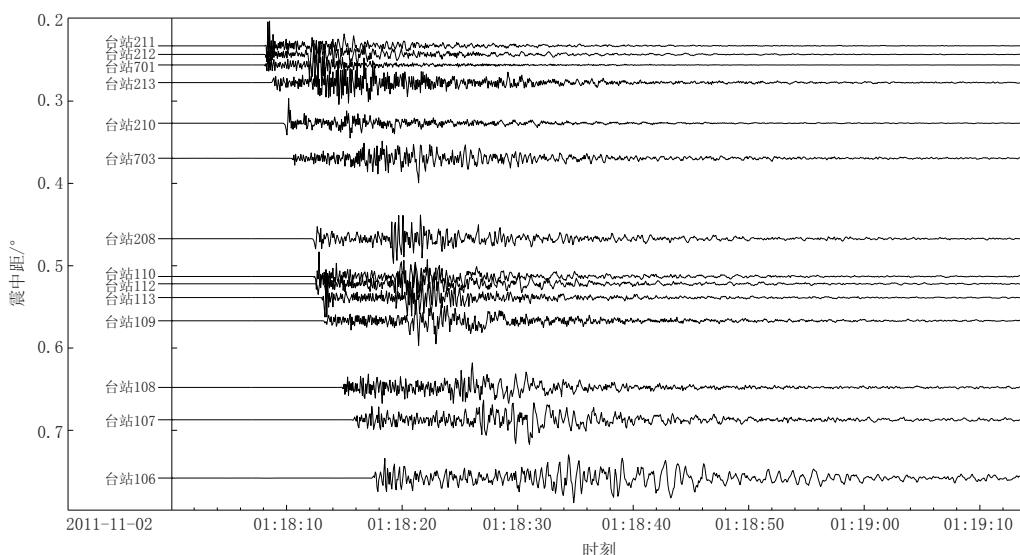


图 6 2011 年岷县 $M_s 4.5$ 地震流动地震观测台阵波形资料. 图中各波形为垂直分量记录

Fig. 6 Waveforms of the 2011 Minxian, Gansu, $M_s 4.5$ earthquake recorded by the mobile seismic observation array. Waveforms in the figure are vertical component records

文件进行震相识别和定位；③ 再次利用本文程序将事件文件转换为 SAC 格式；④ 利用 SAC 软件进行滤波、去漂移和去均值，并参考定位结果按照震中距进行排序后显示。

此外，在对甘东南地区流动地震观测台阵的资料分析中，本文程序同样起到了重要的作用。利用上述资料的处理步骤，我们对该台阵观测周期内两年的原始数据以及测震台网相应时段的数据进行了快速整合，整合后的波形数据超过 3 TB，整个处理过程中程序运行稳定。我们利用 JOPENS 系统对整合后的波形文件进行了微震识别和初步定位，得到微震定位结果 3014 个，比常规台网记录多 1693 个；并对初步分析定位结果再次进行了精定位。结果表明：相比固定台网，流动密集台阵对区域内地震有更好的监测能力；精定位后，地震在各断裂带附近的分布更加密集，沿断裂呈带状或簇集状分布；绝大部分地震的震源深度介于 5—20 km 的范围内；地震深度分布与断裂带的关系密切，地震条带与断裂构造有较好的对应；处于几组断裂转换部位的文县—武都区域，地质构造复杂，地震分布尤为密集（高见等，2013）。

4 结论

流动地震观测台阵近年来广泛投入使用，并带来海量的地震观测数据，从而对数据分析也提出了更高的要求。鉴于流动地震观测台阵单台、多级目录的数据存储方式，一个快速进行台阵数据整合处理及格式转换的程序可以大大提高分析研究的效率，对于波形资料的数据库管理也是一个很好的补充，对于缺少数据库管理的台阵尤为重要。

本文在 .NET 框架平台上用 C# 语言设计了相应数据整合程序。该程序可以根据时间目录将流动地震观测台阵的数据快速自动地整合为通用的 SAC、miniSEED（如果整合为 SEED 格式，则需要提供详尽的仪器信息）和 EVT 格式，以方便利用成熟的分析软件进行进一步的分析。

该程序主要针对目前广为采用的 REFTEK-130 型数据采集器设计。2011 年 11 月 2 日岷县 $M_s 4.5$ 地震后，我们利用该程序对震中附近的流动地震观测台阵的数据进行了快速整合处理，极大地提高了工作效率。此外，还利用该程序处理了甘东南地区宽频带野外观测流动台阵近 3 TB 的原始波形数据，验证了该程序的稳定性和可靠性。

在进行资料处理时，使用了 JOPENS 软件及劳伦斯·利弗莫尔国家实验室的 SAC 软件，在此表示谢意。

参 考 文 献

高见，张元生，郭彪，刘旭宙。2013. 甘东南流动台阵微震监测结果[J]. 地震工程学报, **35**(1): 177–182.

Gao J, Zhang Y S, Guo B, Liu X Z. 2013. Microearthquake location determined by portable seismic array data in south-east Gansu Province[J]. *China Earthquake Engineering Journal*, **35**(1): 177–182 (in Chinese).

何加勇，吴建平，王未来。2010. 中国地震科学探测台阵数据服务系统[J]. 地震学报, **32**(4): 490–494.

He J Y, Wu J P, Wang W L. 2010. Data service system for China Seismic Array[J]. *Acta Seismologica Sinica*, **32**(4): 490–494 (in Chinese).

黄金莉，顾小虹。2001. 国家数字地震台网中心应用地震波形数据格式及转换[J]. 地震, **21**(4): 60–65.

Huang J L, Gu X H. 2001. Data format and conversion of seismic waveform used in National Center of Digital Seismic Network[J]. *Earthquake*, **21**(4): 60–65 (in Chinese).

李秋生, 王林飞, 贺日政. 2004. 基于 GIS 平台的宽频带地震数据库[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, **34**(3): 471–475.

Li Q S, Wang L F, He R Z. 2004. A database of broadband seismic survey based on ArcView GIS[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, **34**(3): 471–475 (in Chinese).

刘胜国, 贾庆华. 2004. 首都圈遥测地震台网所采用的 SEED 格式及 ASCII 码格式的转换程序[J]. 华北地震科学, **22**(1): 27–30.

Liu S G, Jia Q H. 2004. The SEED format used in telemetered seismic network of Capital Area and the transform program for ASCII code[J]. *North China Earthquake Sciences*, **22**(1): 27–30 (in Chinese).

王秀娟, 和跃时, 武利华. 2001. SEED 格式地震数据的快速转换软件[J]. 地震地磁观测与研究, **22**(5): 42–47.

Wang X J, He Y S, Wu L H. 2001. A software of fast convert SEED format data in CDSN station[J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, **22**(5): 42–47 (in Chinese).

王秀文, 姚立平, 赖德伦, 牟其铎. 1994. 地震数据交换标准[J]. 地震地磁观测与研究, **15**(2): 1–42.

Wang X W, Yao L P, Lai D L, Mu Q D. 1994. Standard for the exchange of earthquake data[J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, **15**(2): 1–42 (in Chinese).

吴明恕, 刘治, 陈九辉. 2009. 基于 SeisComP 大型地震台阵的数据管理[J]. 地震地质, **31**(2): 341–348.

Wu M S, Liu Z, Chen J H. 2009. The data management of large-scale seismic array based on SeisComP[J]. *Seismology and Geology*, **31**(2): 341–348 (in Chinese).

中国地震局监测预报司. 2003. 数字地震观测技术[M]. 北京: 地震出版社: 368–389.

Department of Monitoring and Prediction, China Earthquake Administration. 2003. *Digital Observation Technology of Earthquake*[M]. Beijing: Seismological Press: 368–389 (in Chinese).