

国际高频 GNSS 数据共享时空分布分析^{* 1}

高淑照 陈 强

(西南交通大学地球科学与环境工程学院, 成都 610031)

摘 要 根据国际 6 个科研机构提供的高频 GNSS 数据,分析了观测数据的时频特征,并通过实例说明了高频 GNSS 共享数据在地震研究中的应用。

关键词 高频 GNSS;数据共享;国际全球导航卫星服务;地震监测;反演

中图分类号:P207

文献标识码:A

TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION ANDYSIS ON INTERNATIONAL HIGH-RATE GNSS DATA SHARING SERVICE

Gao Shuzhao and Chen Qiang

(Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract Data sharing services from six international research organizations are summarized with the geographical distribution maps of high-rate sites drawn. And the temporal characteristics of observation data are analyzed. This can provide important data resource for seismic activity monitoring research. Finally, an example is illustrated to show the application of high-rate GNSS sharing data in the seismic research.

Key words: high-rate GNSS; data sharing; International Global Navigation Satellite System Service; earthquake monitoring; inversion

1 引言

全球卫星导航系统(GNSS, Global Navigation Satellite Systems)在地壳运动监测、移动目标跟踪、工程变形测量等领域应用越来越广泛。近年来,随着单历元解算技术和接收机技术的发展,以及数据存储能力的提高,高频(1 Hz)或超高频(10 ~ 50 Hz)在地球科学研究中受到越来越多的关注,尤其是近年来多次强震发生后,相关学者利用高频 GNSS 观测数据进行了大量的形变过程反演分析^[1-11]。

高频 GNSS 数据的主要优势,在于能以秒级或

更高频的时间尺度观测和记录地震同震位移及其时空变化过程^[12]。目前,世界各国科研组织在地壳运动的活跃区域,已布设了许多 GNSS 连续运行观测站。随着 GNSS 接收机、数据存储设备和网络传输装置等硬件设备的升级,部分 GNSS 连续运行跟踪站开始提供高频数据共享服务。

本文利用国际 6 个科研机构共享的高频 GNSS 数据分析观测数据的时频特征,并通过计算日本 Mw9.0 地震引起的近场位移,说明高频 GNSS 共享数据在地震研究中的应用。

* 收稿日期:2012-12-26

基金项目:国家自然科学基金(41072220, 51178404);中央高校基本科研业务费专项(SWJTU09CX010, SWJTU12ZT07, SWJTU11BR015)

作者简介:高淑照,男,讲师,博士研究生,研究方向为卫星定位技术与方法、精密工程测量. E-mail: szgao@home.swjtu.edu.cn

2 国际高频 GNSS 数据共享服务

2.1 IGS 高频 GNSS 数据共享服务

IGS 目前有 5 个全球数据中心,分别为美国加利福尼亚州帕萨迪纳(Pasadena)的中心局(CB, Central Bureau)、美国加利福尼亚州圣地亚哥(San Diego)的轨道与永久阵列中心(SOPAC, Scripps Orbit and Permanent Array Center)、美国马萨诸塞州的地壳动力学数据信息系统(CDDIS, Crustal Dynamics Data Information System)、法国巴黎的国家地理研究所(IGN, Institute Geographic National)和韩国天文与太空科学研究所(KASI, Korea Astronomy and Space Science Institute)。其中,IGS 中心局只提供产品数据,不提供观测数据,其他 4 个全球数据中心均提供高频观测数据,但数据的起始时间、区域分布与站点数量存在一定差异。

2.1.1 SOPAC 高频 GNSS 数据共享服务

SOPAC 使用 GNSS 技术进行高精度大地测量和地球物理观测,如地震监测、构造板块运动、板块边界监测、气象资料处理等。

SOPAC 的 FTP 数据服务器网址为 `ftp://garner.ucsd.edu`,高频 GNSS 观测数据路径为 `/highrate/cache/rinex/yyyy/ddd`(yyyy 表示年份,ddd 表示年积日)。SOPAC 高频观测数据每个站点每天一个文件,文件名采用 14 位字符格式(简称为“Day 格式”):站点名称(4 位字母或数字,若是字母则小写)+年积日(3 位数字)+时段序号(1 位数字:0)+小数点(1 位)+年份(2 位数字)+Hanataka 压缩格式识别符(1 位字母:d)+小数点(1 位)+Z 压缩格式识别符(1 位字母:Z),如 `azry1000.12d.Z` 表示 `azry` 站 2012 年第 100 天的观测数据文件。

目前,SOPAC 向公众提供加利福尼亚州实时观测网络(CRTN, California Real Time Network)每天的高频观测数据。最早的高频数据日期为 2010 年第 081 天,包括 84 个站点。随着时间的推移,站点数逐渐增多,如:2010 年第 365 天的站点数为 148 个,2011 年第 365 天的站点数为 164 个,2012 年第 100 天的站点数为 245 个。需要特别说明的是,2010 年第 092~096 天,SOPAC 提供了 48 个站点 5 Hz 的更高采样频率高于 1 Hz 的共享数据。由于供电、网络数据通讯、接收机不稳定等硬件设备故障的原因,每天的观测文件数量会存在少量的变化。图 1 为 SOPAC 2012 年第 100 天的高频观测数据站点分布图。总体来看,SOPAC 高频观测站点分布区域小,密度大,数据的连续性好。

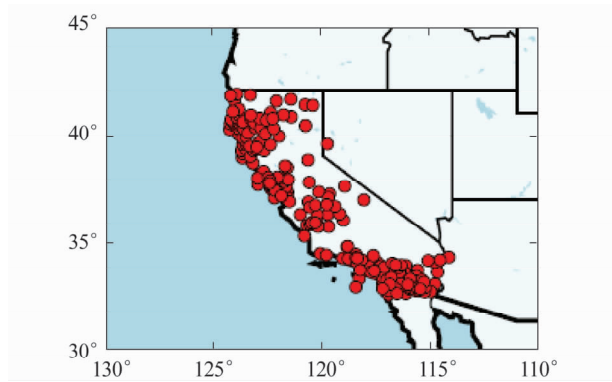


图 1 SOPAC 2012 年第 100 天的高频观测站点分布
Fig. 1 Distribution of SOPAC high-rate sites on DOY 100, 2012

2.1.2 CDDIS 高频 GNSS 数据共享服务

CDDIS 于 1992 年开始为 IGS 的前身提供数据,目前是 IGS 的全球数据中心之一。

CDDIS 的 FTP 数据服务器网址为 `ftp://cddis.gsfc.nasa.gov`,高频 GNSS 观测数据路径为 `/high-rate/yyyy/ddd/yyd/hh`(其中 yyd 中的 yy 表示年份末 2 位数字,d 表示压缩格式,hh 表示小时序号 00~23)。CDDIS 高频观测数据文件采用 Quarter 格式,其优点是数据时段划分更短,文件字节数更小,便于网络传输;其缺点是文件个数显著增加,文件的管理与数据的连接工作量增大。

CDDIS 最早的高频 GNSS 数据日期为 2001 年第 121 天,仅有 1 个站点。2001—2011 年的第 365 天,高频数据观测站个数分别为 32、44、52、60、84、88、113、117、124、126、140 个;2012 年第 100 天,高频数据站点为 125 个,其站点分布如图 2(a) 所示。总体来看,CDDIS 高频 GNSS 数据时间跨度较大(2001 年至今),站点个数较多,观测数据连续稳定。

2.1.3 IGN 高频 GNSS 数据共享服务

IGN 主要负责管理法国国内及海外地区大地测量网与水准网、航空摄影测量、地形数据库及地图资料。此外,IGN 还负责更新和维护国际地球参考框架(ITRF, International Terrestrial Reference Frame),以及为国际民航组织(ICAO, International Civil Aviation Organization)提供 1:500 000 比例尺的航空地图。

IGN 的 FTP 数据服务器网址为 `ftp://igs.ensg.ign.fr`,高频 GNSS 观测数据路径为 `/pub/igs/data/highrate/yyyy/ddd`。IGN 高频观测数据文件采用 Quarter 格式,从 2008 年第 109 天开始提供高频数据服务,最初只有 1 个观测站,之后站点个数逐渐增多,如:2008 年第 226 天有 91 个站点,2009 年第 206 天增加为 105 个,2010 年第 365 天增加为 115 个,2011 年第 365 天增加为 119 个。但是这些观测站

数据在某些时段存在不连续性,如:从 2009 年第 342 天到 2010 年第 038 天、2010 年第 197~206 天,所有站点数据完全中断;2012 年第 099、100 天也只有 1 个站点的数据,2012 年第 101 天又恢复提供 111 个站点的数据(图 2(b))。总体来看,IGN 提供的高频数据连续性不够稳定,缺失情况较多。

2.1.4 KASI 高频 GNSS 数据共享服务

KASI 主要负责维护韩国白山(1978 年)、大丘(1985 年)、永川(1996 年)三个天文台和一个甚长基线干涉测量网络,2006 年正式开始提供数据共享服务。

KASI 的 FTP 数据服务器网址为 `ftp://nfs.kasi.re.kr`,高频 GNSS 观测数据路径为 `/gps/data/high-rate/yyyy/ddd/yyd/hh`。KASI 高频观测数据文件采用 Quarter 格式,从 2004 年第 357 天开始提供 59 个站点的数据,2005 年未提供数据,2006 年第 001~342 天提供 88~96 个站点的数据,2007 年第 001~320 天提供 77~118 个站点的数据,2008 年第 001 天提供 120 个站点的数据。此后,站点个数趋于稳定,到 2012 年第 100 天,站点增加为 124 个(图 2(c))。总体来看,KASI 的高频数据共享服务在 2004—2007 年不够稳定,2008 年以后稳定性较好。

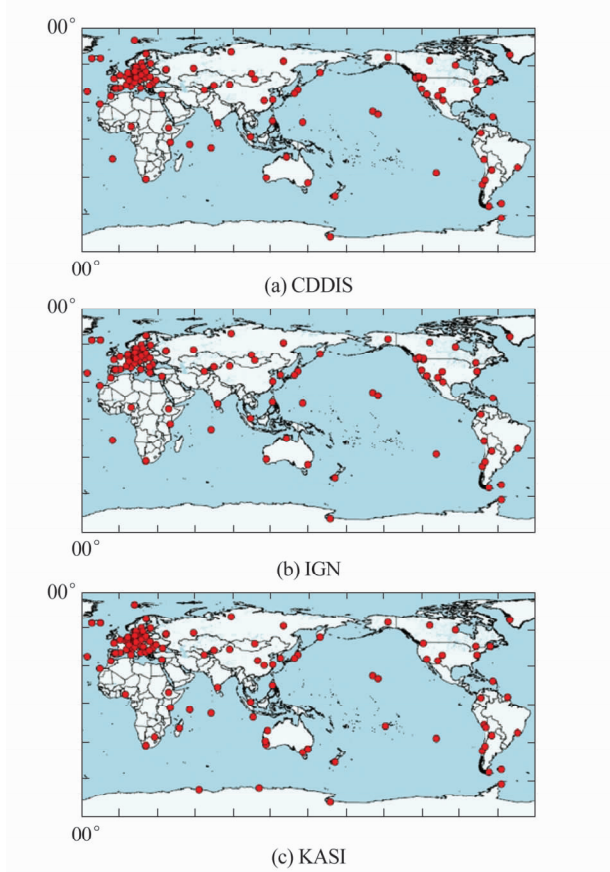


图 2 CDDIS、KASI 2012 年第 100 天,IGN 2012 年第 101 天的高频观测站点分布

Fig. 2 Distribution of CDDIS and KASI high-rate sites on DOY 100,2012 and IGN on DOY 101,2012

2.1.5 IGS 高频 GNSS 数据共享服务比较分析

虽然 4 个机构都是 IGS 的全球数据中心,但其高频 GNSS 数据共享服务在时空分布上存在差异。时间上 CDDIS 最早,为 2001 年,KASI、IGN、SOPAC 分别为 2004、2008、2010 年。因此,当需要较长时间的高频观测数据进行科学研究时,需查询 CDDIS 的数据服务器。在空间分布上,除 SOPAC 只提供美国加利福尼亚州的局部地区站点数据外,CDDIS、IGN、KASI 都提供全球分布的站点数据。但在站点数量上,CDDIS、IGN、KASI 存在少量的差异(图 2),如在 2012 年第 100(101)天时,KASI 提供数据的站点在南极地区比 CDDIS、IGN 多 2 个站点;在中国大陆地区,CDDIS、IGN、KASI 提供数据的站点分别为 3、2、4 个。

需要说明的是,IGS 的高频 GNSS 观测站点的数量比常规的(30 s)要少(图 3)。目前 IGS 全球分布的常规 GNSS 观测站点有 440 个左右,而高频 GNSS 观测站点约 150 个(未包括局部范围的 SOPAC 站点)。

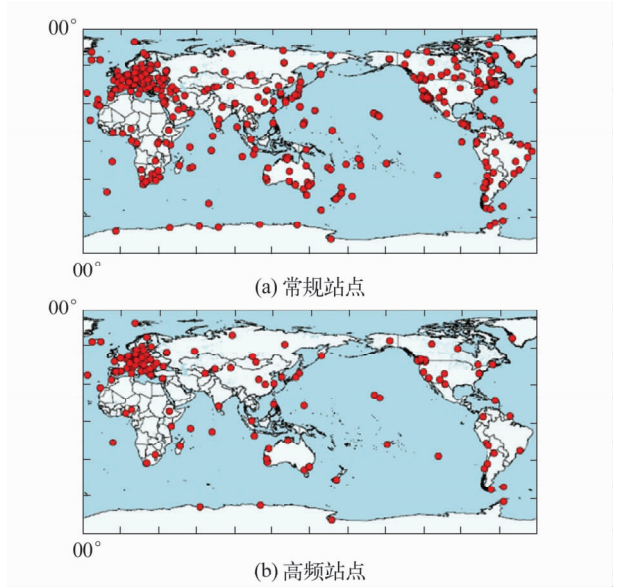


图 3 IGS 常规与高频观测站点分布比较

Fig. 3 Comparison between conventional and high-rate sites distribution maps of IGS

2.2 UNAVCO 高频 GNSS 数据共享服务

UNAVCO 主要任务是为地球物理与大地测量科研人员提供高精度 GNSS 板块运动监测资料。在过去的十年里,UNAVCO 拓展了许多新的研究领域,如冰雪消融、海平面变化、井下应变仪与地震计、雷达干涉测量等。

UNAVCO 布设在美国西部内华达山脉两侧以及加勒比海区域的 GNSS 连续运行跟踪站,大部分都能提供 1Hz 观测数据。UNAVCO 的 FTP 服务器网址为 `ftp://data-out.unavco.org`,高频 GNSS 观测数据路径为 `/pub/highrate/rinex/yyyy/ddd/site` (site 为 4 位小写字母)。从数据路径名可知,UNAVCO

按年积日和站点名称归档文件。2012 年第 058 天(包括第 058 天)以前,每个站点每天一个观测文件,采用 Day 格式;2012 年第 058 天以后采用 Hour 格式,其优点在于既减小了文件大小,便于数据的网络传输,又未显著增加文件个数。

UNAVCO 最早的高频 GNSS 数据日期为 1994 年第 192 天,当时只有 1 个站点。1994—2005 年的高频观测数据时间和站点不固定,很难形成有规律的时间序列。从 2005 年之后,观测站点个数逐渐增加,并形成连续稳定的观测序列,如:2008 年第 365 天站点数增加为 33 个,2009 年第 365 天站点数降到 26 个,2010 年第 365 天增加到 216 个,2011 年第 365 天站点数增加到 253 个。到 2012 年第 100 天,站点数已增加到 315 个(图 4)。

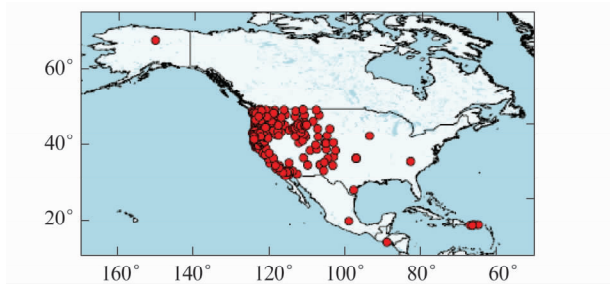


图 4 UNAVCO 2012 年第 100 天的高频观测站点分布
Fig. 4 Distribution map of UNAVCO high-rate sites on DOY 100, 2012

对比图 1 和图 4 可以看出,UNAVCO 与 SOPAC 的高频观测站点在加利福尼亚州存在重叠的情况。但通过对照站点名称可以发现,UNAVCO 的数据并不完全包括 SOPAC 的数据,部分站点的数据仅在 SOPAC 网站提供。

2.3 EQC 高频 GNSS 数据共享服务

新西兰 EQC GeoNet 的 FTP 服务器网址为 ftp://ftp.geonet.org.nz, 高频 GNSS 观测数据路径为 /rtgps/rinex1Hz/PositioNZ/yyyy/ddd。GeoNet 从 2011 年开始提供高频观测数据,目前系统仍处于调试阶段,起始日期不断变化,但从 2011 年第 338 天开始,GeoNet 较为稳定地提供 32 个站点的高频观测数据。GeoNet 每 15 分钟观测数据保存为一个文件。图 5 为 2012 年第 100 天 GeoNet 的 GNSS 高频观测数据站点分布。

3 高频 GNSS 共享数据应用实例

以 2011 年日本 $M_w9.0$ 强震引起的地表位移为例,说明高频 GNSS 共享数据在地震研究中的应用。根据图 2 所示的高频站点分布,检索到日本大地震周边的高频 GNSS 共享数据站点有 MIZU、USUD、DAEJ、SHAO、PETS、GUAM、WUHN、XIAN、PIMO、

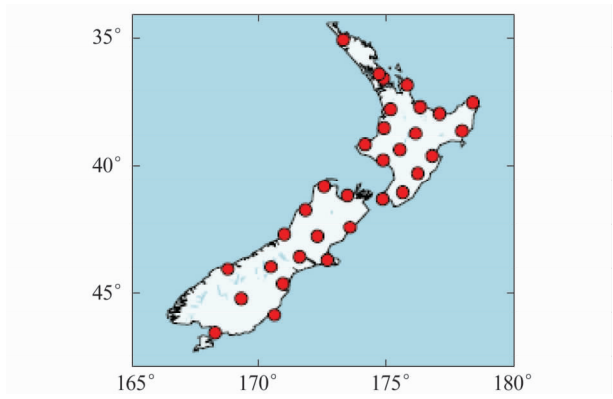


图 5 EQC 2012 年第 100 天的高频观测站点分布
Fig. 5 Distribution map of EQC high-rate sites on DOY 100, 2012

ULAB、IRKM、YAKT 等(图 6)。为分析地震引起的近场(小于 600 km)地面运动过程,本文使用单历元相对定位软件 Gamit Track V1.24,把 MIZU(震中距 171 km)和 USUD(震中距 435 km)设置为流动站。基准站选择 DAEJ 和 SHAO, DAEJ 到 MIZU、USUD 的距离分别为 1 251、989 km, SHAO 到 MIZU、USUD 的距离分别为 1 684 与 2 016 km。由于基准站与流动站相隔较远,相对定位精度随距离增加而降低,本文采用两个基准站分别计算近场站点的坐标值,以便比较并提高结果的可靠程度(图 7、8)。

由图 7 得到 MIZU 站同震动态最大位移向南 1.848 m、向东 3.090 m,同震静态位移向南 1.147 m、向东 2.182 m,与文献[10]采用动态精密单点定位软件 TriP 计算的结果相近。

由图 8 得到 USUD 站同震动态最大位移向南 0.592 m、向东 0.645 m,与文献[11]采用 Bernese V5.0 软件的 Kinematic 模块计算的结果相比,东西向 0.628 m 相近,但南北向 0.343 m 相差 0.249 m。同震静态位移向北 0.031 m、向东 0.151 m,与文献[10]向北 0.024 m、向东 0.189 m 相近,与文献[11]南北向 0.057 m 相差 0.033 m、东西向 0.225 m 相差 0.074 m。

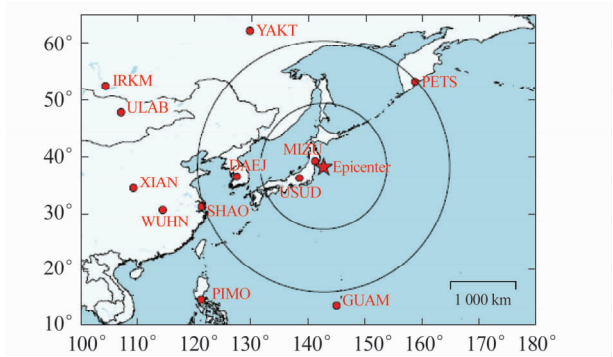


图 6 日本 $M_w9.0$ 强震周边高频观测站点分布
Fig. 6 Distribution map of high-rate sites surrounding Japan $M_w9.0$ earthquake

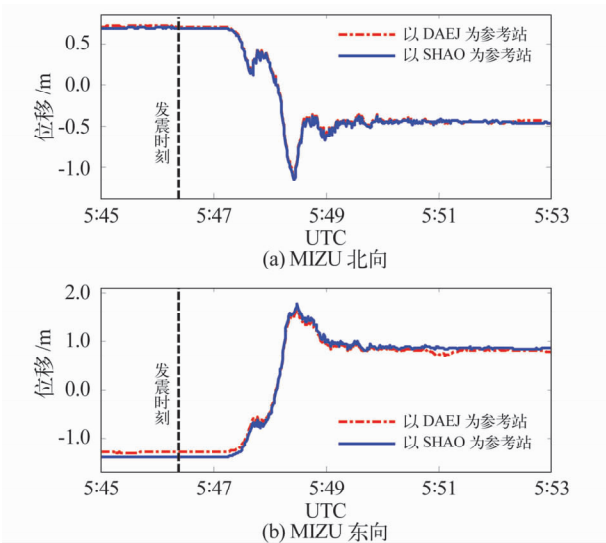


图7 MIZU 站位移时间序列
Fig.7 Time series of displacement at MIZU site

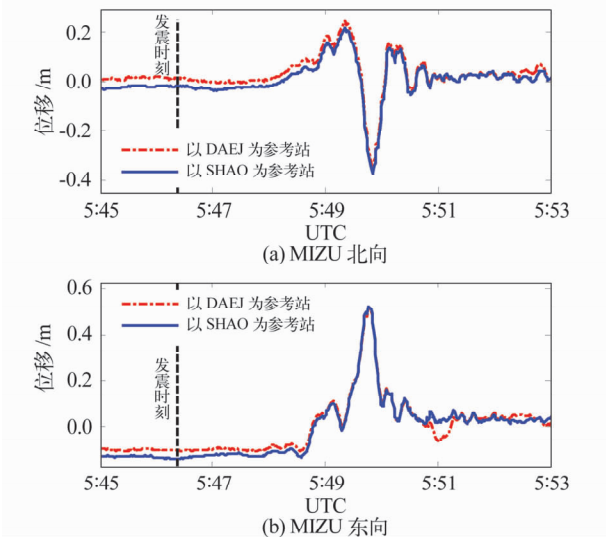


图8 USUD 站位移时间序列
Fig.8 Time series of displacement at USUD site

4 结语

采用高频 GNSS 观测数据,以更小的时间尺度观测地震波的时序传播过程及引发的地表形变,分析震源参数与破坏机理,对于防震减灾工作具有重要意义。

参 考 文 献

1 Koyama J, Koyama N V and Honda R. Strong ground motion recorded by high-rate sampling GPS at the closest site to the 2003 Tokachi-oki earthquake [J]. Earth Planets Space, 2004, 56:383 – 387.
2 Miyazaki S, et al. Modeling the rupture process of the 2003 September 25 Tokachi-Oki (Hokkaido) earthquake using 1-Hz GPS data[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31; L21603.

3 Ji C, et al. Slip history of the 2003 San Simeon earthquake constrained by combining 1-Hz GPS, strong motion, and teleseismic data[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31; L17608.
4 Ohta Y, et al. Large surface wave of the 2004 Sumatra Andaman earthquake captured by the very long baseline kinematic analysis of 1-Hz GPS data[J]. Earth Planets Space, 2006, 58; 153 – 157.
5 Yokota Y, et al. Ability of 1-Hz GPS data to infer the source process of a medium-sized earthquake; The case of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Japan earthquake [J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36; L12301.
6 殷海涛,等. 高频 GPS 测定的汶川 Ms8.0 地震震时近场地表变形过程[J]. 科学通报, 2010, 55(26): 2 621 – 2 626. (Yin Haitao, et al. Near-field surface movement during the Wenchuan Ms8.0 earthquake measured by high-rate GPS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(26): 2 621 – 2 626)
7 熊永良,等. 长距离动态 GPS 数据处理方法与汶川地震引起的动态地壳形变特征分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2010, 35(3): 265 – 269. (Xiong Yongliang, et al. Long distance kinematic GPS data processing and kinematic crustal deformation features analysis of Wenchuan earthquake[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2010, 35(3): 265 – 269)
8 Delouis B, Nocquet J M and Vallee M. Slip distribution of the February 27, 2010 Mw = 8.8 Maule earthquake, central Chile, from static and high-rate GPS, InSAR, and broadband teleseismic data [J]. Geophysical Research Letters, 2010, 37;L17305.
9 Yue H and Lay T. Inversion of high-rate (1 sps) GPS data for rupture process of the 11 March 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.1) [J]. Geophysical Research Letters, 2011, 38, L00G09.
10 张小红,等. 利用高频 GPS 进行地表同震位移监测及震相识别[J]. 地球物理学报, 2012, 55(6):1 912 – 1 918. (Zhang Xiaohong, et al. Coseismic displacement monitoring and wave picking with high-frequency GPS[J]. Chinese Journal of Geophysics. 2012, 55(6):1 912 – 1 918)
11 彭懋磊,等. 日本 Mw9.0 强震的高频 GPS 形变波特征初探[J]. 大地测量与地球动力学,2011, (6):6 – 10. (Peng Maolei, et al. Preliminary study on characteristics of high-frequency GPS displacement wave of Japan Mw9.0 earthquake [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011, (6):6 – 10)
12 殷海涛,等. 利用高频 GPS 技术进行强震地面运动监测的研究进展[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(6):2 012 – 2 619. (Yin Haitao, et al. Progress on monitoring strong earthquake ground motions using high-rate GPS[J]. Progress in Geophysics, 2009, 24(6):2 012 – 2 619)