

贾逸君,成芳,沈鹏礼.四川宜宾 6.0 级地震对北斗地基增强基准站稳定性的短期影响[J].地震工程学报,2020,42(6):1473-1478.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.06.1473

JIA Yijun, CHENG Fang, SHEN Pengli. Short-term Influence of M6.0 Earthquake in Yibin, Sichuan, on the Stability of Base Stations for BeiDou Ground-based Augmentation System[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2020, 42(6): 1473-1478. doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.06.1473

四川宜宾 6.0 级地震对北斗地基增强 基准站稳定性的短期影响

贾逸君^{1,2,3}, 成芳^{1,2}, 沈鹏礼^{1,2,3}

(1. 中国科学院国家授时中心, 陕西 西安 710061;

2. 中国科学院精密导航定位与定时技术重点实验室, 陕西 西安 710061;

3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 通过收集 2019 年 6 月 17 日宜宾长宁 6.0 级地震震源附近北斗地基增强系统基准站前后一个月的观测数据, 研究探讨短时间内地震对北斗地基增强基准站坐标稳定性的影响。通过数据对比发现宜宾地震对基准站坐标影响与基准站和震源断裂带的相对方位有较大关联。震源周围基准站间基线的变化说明基准站稳定性在较短时间跨度内受到较为明显的地震影响, 对北斗地基增强框架网整体稳定性具有一定的扰动, 进一步论证了建立北斗地基增强框架网基准站稳定性监控系统的必要性。

关键词: 地震同震形变; 北斗基准站; 基准站稳定性; 北斗地基增强系统

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2020)06-1473-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.06.1473

Short-term Influence of M6.0 Earthquake in Yibin, Sichuan, on the Stability of Base Stations for BeiDou Ground-based Augmentation System

JIA Yijun^{1,2,3}, CHENG Fang^{1,2}, SHEN Pengli^{1,2,3}

(1. National Time Service Center of Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, Shaanxi, China;

2. Key Laboratory of Precision Navigation and Timing Technology, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, Shaanxi, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper studies the influence of earthquake on the coordinate stability of seven base stations in a short time by collecting the observation data from base stations for BeiDou ground-based augmentation system near the epicenter of the Changning M6.0 earthquake in Yibin County, Sichuan Province, on June 17, 2019. It is found through data comparison that the influence of Yibin earthquake on the coordinate of the base station is closely related to the relative orientation of the base station and the focal fault zone. The coseismic changes of the baseline between base stations indicate the obvious influence of the Changning M6.0 earthquake on the stability of base

收稿日期: 2019-12-23

基金项目: 中国科学院青年科学基金促进会资助项目(11880000CF)

第一作者简介: 贾逸君(1995-), 陕西西安人, 在读硕士, 主要从事卫星导航通信技术研究。E-mail: 631325010@qq.com。

stations in a short time. The necessity of building the base station stability monitoring system of BeiDou ground-based augmentation frame network is further demonstrated.

Keywords: coseismic deformation; BeiDou reference station; reference station stability; BeiDou ground-based augmentation system

0 引言

北斗地基增强系统作为国家卫星导航高精度服务基础设施,是北斗卫星导航系统的重要组成部分,是高效实现现代经济社会发展和位置服务的重要项目。作为北斗地基增强系统广域服务的数据基础,北斗地基增强系统框架网基准站的正常稳定运行对北斗地基增强系统充分发挥自身作用和提供优质服务具有重要意义。由于北斗地基增强系统框架网基准站在全国区域内分布较广,尤其在地震多发区域很容易受到地震影响,已经有学者利用北斗观测数据分析了北斗系统在地壳变形运动中的监测能力,但对于北斗地基增强系统受地震影响的研究尚未展开^[1]。2019 年 6 月 17 日,四川省宜宾市发生了 6.0 级地震。在宜宾市周围分布有多个北斗地基增强系统框架网基准站,本文拟通过收集这些基准站的观测数据,计算基准站间基线的长度变化,来研究此次地震对周边北斗地基增强系统框架网基准站与框架网区域整体稳定性的影响。

1 研究背景

目前北斗地基增强系统已经开始向外提供数据分析、差分产品、观测服务等多项产品与服务,而这些产品与服务的指标性能在很大程度上依赖于框架网基准站的稳定,所以北斗地基增强系统的基准站坐标稳定性是一个非常重要的指标。有学者基于国际 IGS 站与 GPS 观测资料研究了地震对 IGS 站的影响情况,其中江在森等^[2]、张楠等^[3]基于地震台网 GPS 数据同时对汶川地震和川北地震带的震前孕育与同震影响进行了研究。顾国华^[4]利用 IGS 跟踪站数据研究了日本九州 7.3 级地震的地壳运动;单新建等^[5]尝试利用 IGS 跟踪站数据建立地震监测系统。但由于北斗地基增强系统刚刚建成并投入使用,尚未有系统性的针对其基准站稳定性的研究。2019 年 6 月 17 日,位于青藏高原东缘、四川盆地南缘的宜宾市长宁县发生了 $M_s6.0$ 地震。该地震震中半径 400 km 内分布了多个北斗地震增强系统框架网基准站,包括天全(260 km)、成都(210 km)、达州(360 km)、彭水(370 km)、黄平(370 km)、水城(250 km)和筠连(80 km)

基准站。其具体分布如图 1 所示。

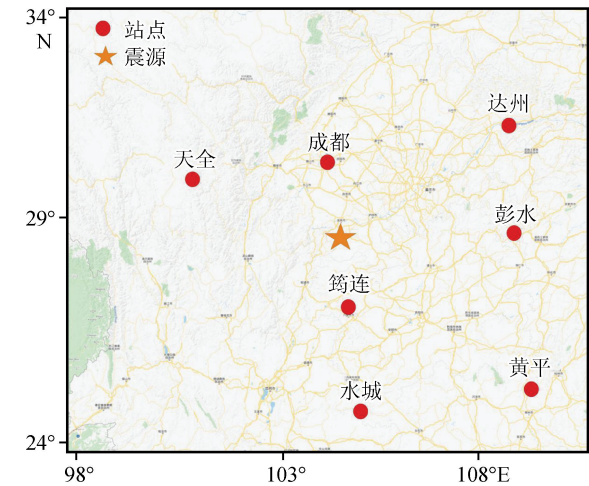


图 1 震中周边基准站分布

Fig.1 Distribution of base stations around the epicenter

为探讨此次地震对震中周边基准站坐标稳定性的影响,本文采集了上述 7 个基准站 2019 年 6 月的观测文件,采样间隔为 30 s。通过按单日计算每个基准站的坐标时间序列,得到基准站间基线长度变化的时间序列。通过基准站基线的长度变化来探讨此次 $M_s6.0$ 地震对框架网基准站坐标稳定性的影响。

此次地震位于川东南地区,发生于四川盆地边缘的长宁背斜构造附近规模不大的次级断层上,该区域自 2018 年 12 月以来 5 级以上地震活跃。根据主震和余震的分布方向推测,地震原发断层的走向大体是从西北到东南(图 2)。

2 基线选取与数据处理

已经有众多学者利用区域连续参考站网或区域北斗卫星观测数据研究地震孕育过程和同震变化,一般采用的方法是网平差解算单个北斗基准站的坐标时序序列^[6-7]。北斗基准站坐标获取的常规方法是利用双差定位,但由于此次选用的基准站数目不多,故本文采用静态单点定位技术获取基准站坐标。精密单点定位模型简单,可以直接获得全球参考框架下的坐标,数据处理效率高,而且站点与站点间相互独立,不存在误差累积^[8-10]。具体步骤是:首先采用静态精密单点定位确定该网基准站的坐标时间序

列,以单天为单位,利用 RTKLIB 软件进行精密单点定位解算,解算结果中给出了各基准站的 NEU 坐标(采用的星历为 IGS 精密星历);再用精密单点定位的坐标结果计算北斗基准站间的基线,以去除基准站坐标中的大部分共模误差;最后通过基线长度的变化来考量此次宜宾长宁 6.0 级地震对北斗地基增强系统基准站稳定性的影响。

考虑到各个基准站与震中的相对位置关系,选择以下几条基线进行基线长度变化量的计算:成都—筠连、筠连—水城、水城—成都、成都—天全、筠连—黄平、筠连—彭水、筠连—达州、水城—黄平(图 3)。

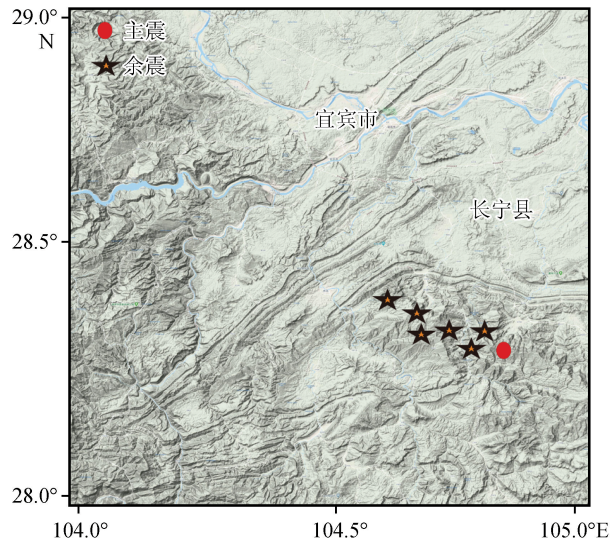


图 2 四川长宁 6.0 级地震分布示意图

Fig.2 Distribution of Changning M_S 6.0 earthquake in Sichuan Province

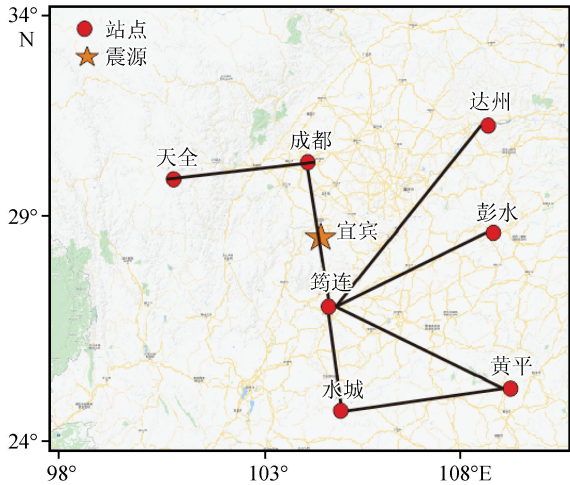


图 3 四川长宁 6.0 级地震周边基线分布示意图

Fig.3 Distribution of baselines around Changning M_S 6.0 earthquake

3 基线单日解数据处理

取天全、成都、筠连、水城、达州、彭水、黄平这 7 个基准站 2019 年 6 月 1—30 日的基础观测数据,进行精密单点定位后获得基准站坐标 30 天的稳定收敛单日坐标解(即单日静态观测收敛后的坐标平均值),并将基准站坐标做差得到 30 天的基准站间基线长度变化数据。通过数据处理得到各基准站基线长度变化的时序曲线如图 4 所示(取 6 月 1 日的基线长度为基准值,6 月 1 日差值为 0),其中黄平站缺少 21—22 日数据,故有数据缺失。

由图 4 可知,这几条基线中,筠连—黄平基线的同震变化比较明显,约为 0.05 m;其他基线的同震变化不是很明显,尤其是成都—天全基线,其同震变化小于 0.02 m。筠连—黄平、筠连—彭水、水城—黄平这 3 条基线的长度在震前变化比较剧烈,但在剧烈变化后存在一定的回弹现象。震前 5 天内基线长度变化量存在反复现象,单日最大变化量在 0.04 m 左右,但这种震前的剧烈变化与同震基线长度变化并无明显的相关性。筠连—黄平、筠连—彭水、水城—黄平这 3 条基线的震前变化会延伸到震后数日内,且震后数日内的基线长度变化仍然保持着较大的变化幅度,到 22 日后才趋于缓和。基线的这种剧烈变化可能与地震的孕育与发生存在一定关联。

如图 5 所示,成都—筠连、筠连—水城这两条基线的同震变化较为明显,这种同震变化的幅度与日常基线长度的变化幅度有明显区别,并且能观察到明显的回弹现象。两条基线的同震长度变化均为 0.08 m 左右,但方向相反:成都—筠连基线的变化呈现为压缩,筠连—水城基线的变化呈现为拉伸。这两条基线的长度变化在震后一天内就很快恢复到日常水平,可见地震对这两个基准站坐标稳定性的影响是瞬时性的,但影响幅度较大。

图 6 所示为同震变化较明显的成都—筠连和筠连—水城基线。这两条基线与断裂带的方位夹角基本上一致,而同震变化不明显的成都—天全、筠连—达州基线与断裂带的方位夹角也基本上一致(图 7)。可见地震对基准站坐标稳定性的影响与基准站和地震原发断层的相对位置具有较强的关联,且这种影响的表现形式也与两者间的相对位置有较强的关联。在四川宜宾 6.0 级地震中,与断裂带走向约 45°夹角方位上的基准站坐标受同震影响较大,其基线长度变化最大为 0.08 m,而与断裂带走向成 90°

夹角方位上的基准站坐标受同震影响较小(小于 0.02 m)。其他方位上的基准站根据位置不同受同震影响各不相同,但其基线长度会在震前 5 天至震

后 5 天内发生反复的剧烈变化,震前变化应该与地震发生前剧烈的块体活动有关,震后的剧烈变化应该是基准站坐标在震后回弹的表现。

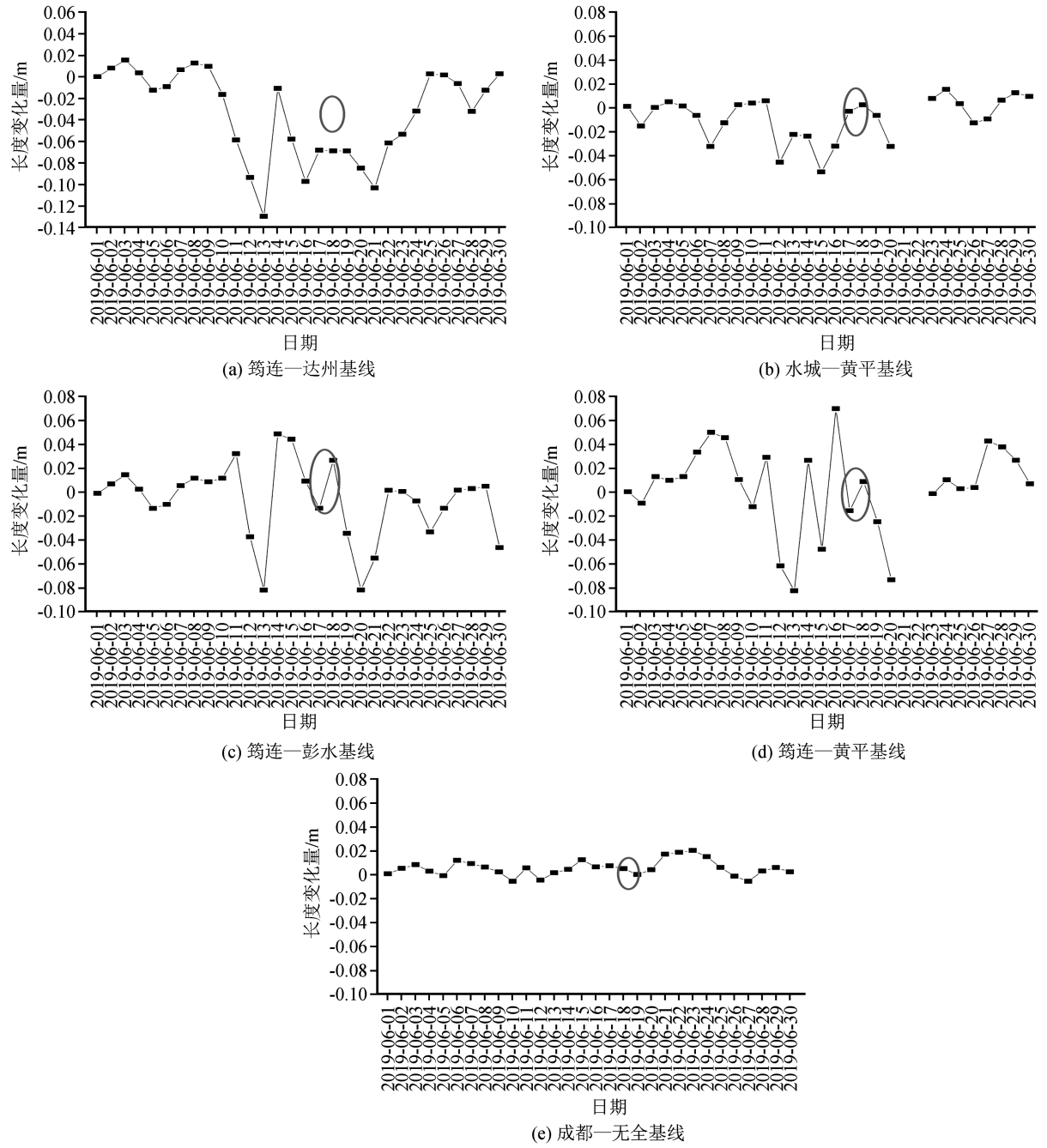


图 4 各基准站基线长度变化时序曲线

Fig.4 Time-series curves of length variation of baselines

从地震对北斗地基增强系统框架网基准站稳定性影响的角度看,此次地震对成都、筠连、水城这三个基准站的影响较大,主要表现为在北偏西方向上的同震位移,但这三个基准站间的基线在震后较短时间内均能恢复成较为平缓的波动,说明北偏西方向上的同震影响幅度较大,但持续时间较短。在北

偏东方向上,几条基线的长度变化都不是很明显,应该是几个基准站坐标的整体偏移。说明这次地震对基准站坐标稳定性的影响主要是西北方向上的坐标偏移,且基线长度能较快恢复,对基准站稳定性不存在长期影响。综合来看,此次宜宾周边北斗地基增强框架网基准站受地震影响主要是暂时性的,并不

存在长期的明显的坐标稳定性偏移,但基准站在地震前后数日内还是有明显波动。这种地震造成的明显波动完全可以从日常的波动中发现并剔除,在用北斗地基增强框架网基准站数据进行长时间的地球动力学研究或对框架网基准站进行日常稳定性监测时都应该考虑对这种地震造成的短时间波动进行甄别。北斗地基增强系统相当多的服务与产品都依赖

系统基准站坐标的稳定性^[11-12],如卫星数据质量分析、卫星情况监测、精密差分产品等,而基准站坐标稳定性在很大程度上影响着北斗地基增强系统的服务性能。因此在地基增强框架网前期工作的基础上,建立框架网基准站稳定性监测系统是十分必要的,对于北斗地基增强系统持续稳定提供高精度产品与高性能服务也有十分重大的意义。

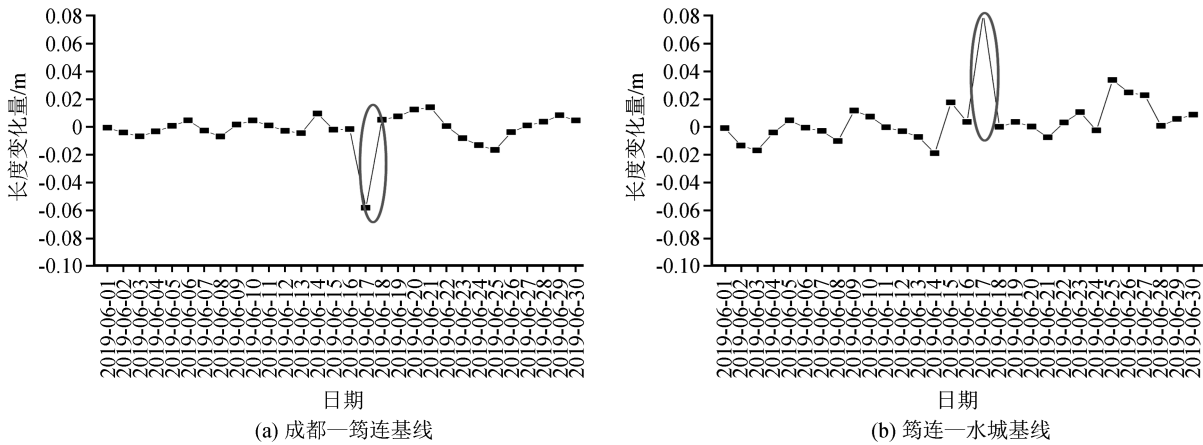


图 5 成都—筠连、筠连—水城基线长度变化量
Fig.5 Length variation of Chengdu—Junlian,Junlian—Shuicheng baselines

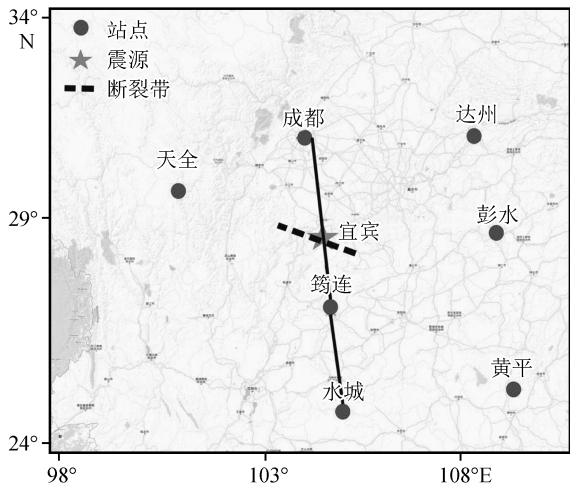


图 6 成都—筠连、筠连—水城基线与断裂带的方位关系
Fig.6 Orientation relationship between Chengdu—Junlian, Junlian—Shuicheng baseline and fault zone

4 结论及讨论

在上述几条基线中,成都—筠连、筠连—水城两条基线的同震变化较为明显,且形变量一正一负,考虑到成都、筠连、水城三者连线基本上是一条直线,且宜宾也在这条直线上,说明此次地震造成的块体位移大致是沿着这条线向西北方向挤压。同时地震

造成的同震变化都伴有明显的回弹现象,这可能与地震的弹性回跳有关。其他基线尤其是跟震源断裂带夹角 90°较接近的几条基线的同震变化较不明显,如成都—天全,说明地震对北斗基准站坐标的影响跟基准站与震源断裂带的相对方位有一定联系。

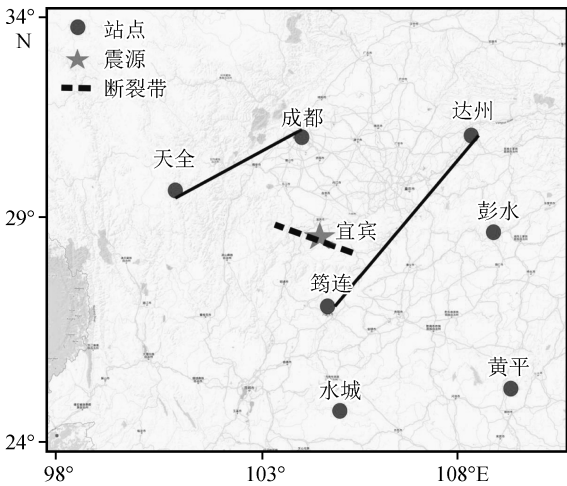


图 7 成都—天全、筠连—达州基线与断裂带的方位关系
Fig.7 Orientation relationship between Chengdu—Tianquan, Junlian—Dazhou baseline and fault zone

北斗地基增强网北斗基准站分布较稀疏,彼此之间的距离较长,用基准站观测资料研究块体或大

地的细部运动比较困难,但用来研究大尺度的空间位置变化是可行的。在地震发生前,周围基准站坐标在短时间内都发生了反复变化,这种变化应该跟地震的震前孕育过程有关,有待进一步研究。地震对北斗地基增强框架网基准站的影响是短时间且可恢复的,在利用北斗地基增强数据进行长时间的地球动力学研究或对整体框架网稳定性进行分析时应当对这种地震造成的短时影响进行滤波处理并剔除。

震级较大的地震对周边基准站的稳定性存在较明显影响,尤其是对北斗地基增强系统这类架构尺度大、分布站点遍布全国,但又提供重要服务的参考站系统而言,地震的影响更不可忽略。应当在北斗地基增强系统前期数据分析系统的基础上进一步建立框架网基准站稳定性监测系统,这对北斗地基增强系统的整体稳定性及其提供服务的精确性都有重大意义。

参考文献(References)

[1] 王阅兵.北斗导航系统在地壳运动监测中的应用能力分析[J].城市与减灾,2019(1):58-62.
WANG Yuebing.Analysis on Application Ability of the BeiDou Navigation Satellite System in Diastrophism Monitoring[J].City and Disaster Reduction,2019(1):58-62.

[2] 江在森,武艳强,方颖,等.汶川 8.0 级地震前区域地壳运动与应变场动态特征[J].地震,2009,29(1):68-76.
JIANG Zaisen, WU Yanqiang, FANG Ying, et al. Dynamic Characteristics of the Strain Fields and Crustal Movements before the Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake[J]. Earthquake, 2009, 29(1):68-76.

[3] 张楠,许文俊.利用 GPS 数据研究南北地震带北段近期地壳水平形变特征[J].地震工程学报,2018,40(3):562-573.
ZHANG Nan, XU Wenjun. Study of the Recent Crustal Horizontal Deformation in the Northern Segment of the North-South Seismic Belt Based on GPS Data[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(3):562-573.

[4] 顾国华.2016 年日本九州岛 7.3 级地震前及同震地壳运动[J].地震,2017,37(3):28-37.
GU Guohua.Pre-and Co-seismic Crustal Movements of the 16

April, 2016 Kyushu $M7.3$ Earthquake, Japan[J]. Earthquake, 2017, 37(3):28-37.

[5] 单新建,尹昊,刘晓东,等.高频 GNSS 实时地震学与地震预警研究现状[J].地球物理学报,2019,62(8):3043-3052.
SHAN Xinjian, YIN Hao, LIU Xiaodong, et al. High-rate Real-time GNSS Seismology and Early Warning of Earthquakes[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2019, 62(8):3043-3052.

[6] 钱进,韩志云,林学峰,等.GPS 在地壳形变和板块运动监测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2013,36(6):21-24.
QIAN Jin, HAN Zhiyun, LIN Xuefeng, et al. Application of GPS in Crustal Deformation and Plate Motion Monitoring[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2013, 36(6):21-24.

[7] 酒正纲,张林广,郁雯.地壳形变 GPS 监测数据的统计分析研究[J].测绘通报,2015(2):67-69.
JIU Zhenggang, ZHANG Linguang, YU Wen. The Study of GPS Crustal Deformation Monitoring Statistical Analysis[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2015(2):67-69.

[8] 王伶俐,邵德盛,洪敏.云南境内陆态网络 GNSS 观测资料数据处理与初步结果[J].震灾防御技术,2015,10(1):141-150.
WANG Lingli, SHAO Desheng, HONG Min. Data Processing and Preliminary Results of GNSS Observation Based on CMONOC in Yunnan Province[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2015, 10(1):141-150.

[9] HERRING T A, KING R W, MCCLUSKY S C. GAMIT Reference Manual:GPS Analysis at MIT (Release10.4) [R]. Cambridge:Massachusetts Institute Technology, 2010.

[10] 廖华,徐锐,陈维锋,等.汶川地震前后四川区域 GPS 时序特征演变及统计分析[J].地球物理学报,2013,56(4):1237-1245.
LIAO Hua, XU Rui, CHEN Weifeng, et al. Property Variation and Statistical Analysis of Sichuan GPS Time Series before and after Wenchuan Earthquake[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(4):1237-1245.

[11] 秦世民.区域连续运行参考站稳定性分析[D].西安:西安科技大学,2019.
QIN Shimin. Stability Analysis of Regional Continuous Operation Reference Station[D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology, 2019.

[12] 王延伟.卫星定位连续运行基准站稳定性分析研究与应用[D].西安:西安科技大学,2018.
WANG Yanwei. Stability Analysis and Application of Satellite Positioning Continuous Operation Reference Station[D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology, 2018.