

丁晓光, 闫伟, 张艺, 等. 利用连续 GPS 资料分析芦山 7.0 级地震区域地壳变形特征[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 56-62. [Ding Xiaoguang, Yan Wei, Zhang Yi, et al. Analysis the regional crustal movement characteristics of Lushan M7. 0 Earthquake by GPS continuous observation data [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 56-62.]

利用连续 GPS 资料分析芦山 7.0 级地震区域地壳变形特征^{*}

丁晓光^{1,2}, 闫伟³, 张艺¹, 苏利娜^{1,2}, 张永奇¹

(1. 陕西省地震局, 陕西 西安 710068; 2. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 3. 中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要: 2013 年 4 月 20 日, 龙门山断裂带南段四川芦山附近发生 7.0 级地震, 造成较严重地震灾害及其次生灾害。为研究地震区域地壳变形特征, 利用芦山地震震中周边陆态网 GPS 连续站 2010-2013 年的观测资料, 得到发震区域水平运动速度场和垂直形变场, 获得距震中较近站点的同震位移; 利用站间基线时间序列和应变参数时间序列得到了区域应变积累背景, 并结合块体运动信息分离方法, 进一步分析了震前可能存在的异常形变信息。从中得知: 芦山地震发震区域处于块体挤出的“分流”地带, 地壳水平变形量较小。站间基线 QHBM-SCSN 和 QHBM-SCXJ 在 2012 年下半年均出现偏离原有运动速率的趋势。SCXJ 站时间序列信息分离结果显示, 其 N 向和 E 向应变贡献分量在 2012 年也有曲线转折现象。

关键词: 芦山 7.0 级地震; 连续 GPS 数据; 地壳运动; 应变; 时间序列

中图分类号: P315.725; X4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2015)01-0056-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2015.01.012

地处青藏高原与四川盆地交界的龙门山断裂带地震灾害频发, 继 2008 年发生汶川 8.0 级地震之后, 2013 年 4 月 20 日该断裂带南段的四川芦山附近又发生 7.0 级地震, 地震灾害及其次生灾害造成大量房屋倒塌和人员伤亡。根据四川省地震局给出的震源机制结果^[1] (走向 214°, 倾角 39°, 滑动角 100°, 矩震级 Mw6.4 左右, 矩心深度最佳拟合为 19 km), 有研究认为此次地震为一次逆断层兼少量左旋走滑型地震^[2-3]。发震构造背景与汶川地震类似, 均为青藏高原东部巴颜喀拉块体受到印度大陆的俯冲作用而向东挤出, 遇到稳定的华南块体阻挡发生强烈挤压逆冲而形成地震^[4-5]。

龙门山断裂带是中国大陆南北地震带的一部分, 也是我国地震灾害重点危险区和监测区。作为地壳运动监测的主要手段之一, GPS 台站在这一区域也有较为密集的布设。特别是 2008 年汶川地震后“中国大陆构造环境监测网络”(简称“陆态网”)建设的 GPS 连续站, 为研究了解地壳连续动态变化提供了重要基础数据。本文利用芦山地震震中周边 GPS 连续站结果, 对震前区域运动特征及应变时序变化进行研究分析, 并从中探求与芦山地震的可能联系, 为研究减轻地震灾害损失铺

垫基础。

1 数据来源及数据处理

本文以芦山地震震中周边 23 个“陆态网”连续站 2010-2013 年的观测数据作为研究对象(数据起始时间由各站运行开始时间决定, 截止时间为芦山地震震后 5 天, 即 2013 年 4 月 25 日)。为获得这些连续站较为准确的相对于全球框架的地心坐标, 采用了“全球网-全国网-区域网”分级控制的原则^[6]。首级控制网为 77 个全球均匀分布的 IGS 站点, 将它们与 18 个“陆态网一期”(注: “陆态网一期”实际为“中国地壳运动观测网络”, 2010 年“中国大陆构造环境监测网络”建成后, 将其改称“陆态网一期”, 而“陆态网络”本身则称为“陆态网二期”)连续站同时解算; 全国网由中国大陆及周边 17 个 IGS 站点与全部“陆态网一期”站点组成; 而区域网则由研究区域站点, 再加入区域附近的“陆态网一期”连续站和部分 IGS 站构成。

各级 GPS 网的基线解算均采用 GAMIT

^{*} 收稿日期: 2014-04-28 修回日期: 2014-07-04

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAK19B02); 中国地震局地震行业专项(201208009-13)

作者简介: 丁晓光(1983-), 河北沧州人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为 GPS 数据处理, 地壳变形分析。

E-mail: tingsohu@163.com

(v10.40) 软件, 解算参数设置: RELAX 基线与轨道并解模式; 站点、卫星轨道松弛约束; LC_ AUTCLN 解算类型; BERNE 光压模型; 每 2 h 估计一个对流层天顶延迟参数、GMF 映射函数; LC 组合观测量消除电离层延迟一阶项; 重力场、固体潮、海潮模型改正; 采用绝对天线相位中心模型等。

单天解平差采用 QOCA (v1.33) 软件的 st_filter (Spatiotemporal filtering) 模块^[7], 该模块可以利用各子网站点、卫星的公共参数, 通过整体平移旋转来融合多个子网, 并得到以所有站点重心为基准的单天解时间序列。将获得的坐标时间序列输入 analyze_tseri 模块, 对个别偏离线性过大的突跳点进行删除, 并消除序列中的非构造阶跃, 去除周年、半年周期项后, 最小二乘拟合得到各站点的运动速度。

2 芦山地震 GPS 结果分析

2.1 震前水平速度场及垂直形变场

四川盆地位于华南块体的西北部, 是稳定刚性地块^[8]。为更清楚地展现青藏高原东缘相对于四川盆地的运动特征, 在区域水平运动速度场中扣除了四川盆地的整体平移运动^[9-10], 如图 1 所示。由图中可以看出, 以玉树-鲜水河断裂为界, 南部 GPS 站点运动表现出川滇菱形块体及临近区域呈东南向挤出趋势, 从北向南速率方向由 SEE 逐渐转为 SSE 向, 由西向东速率值逐渐变小; 北部的巴颜喀拉块体总体上呈 NEE 向运动, 在跨过华南块体边界带后, 速率即接近于零, 显示龙门山断裂逆冲推覆的构造背景特征; 受汶川地震震后滑移的影响, 龙门山断裂北段 SCMX (茂县) 站具有较大水平运动分量。青藏高原的东向挤出在芦山-天全一带发生“分流”, 芦山地震震中附近的水平速率很小, 距震中约 30 km 的 SCTQ (天全) 站速度值仅有 1.4 mm/a。

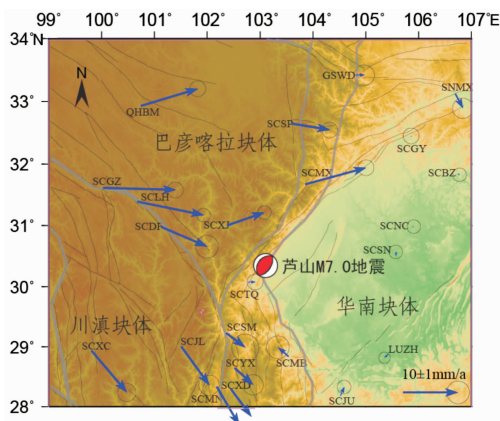


图 1 芦山地震震区水平速度场 (相对于稳定的四川盆地)

垂直形变场 (图 2) 显示四川盆地内站点垂直形变量比较小, 只有 0~1 mm/a, 盆地周边山区总体处于上升趋势。巴颜喀拉块体内部垂直变形不明显, 在与华南块体交界的变形边界带上垂直变化量较大, 表现青藏高原东缘的挤压隆升, 其中 SCTQ 站垂直速率为 2.1 mm/a, SCMX 受到汶川地震的震后影响, 抬升速率达 11.5 mm/a。川滇块体及临近区域垂向上升速率也较大, 为 3~5 mm/a, 其大小与王庆良等^[11]用水准资料得出的川西垂直运动速率相当。

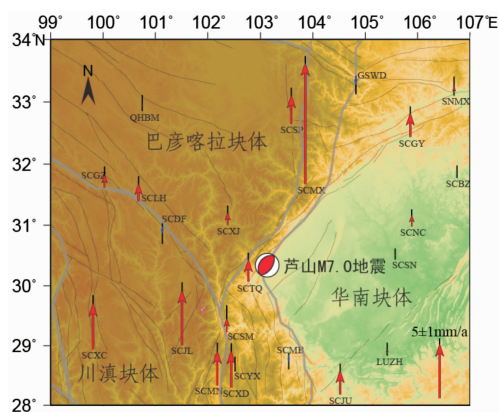


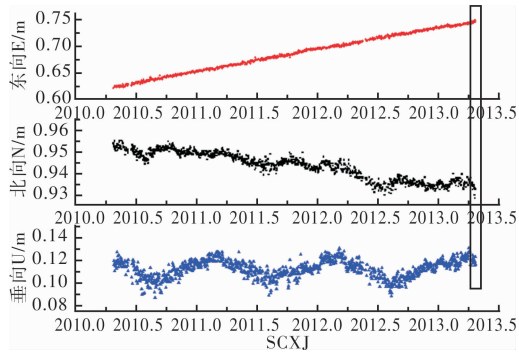
图 2 芦山地震震区垂直形变场 (相对于稳定的四川盆地)

2.2 同震位移

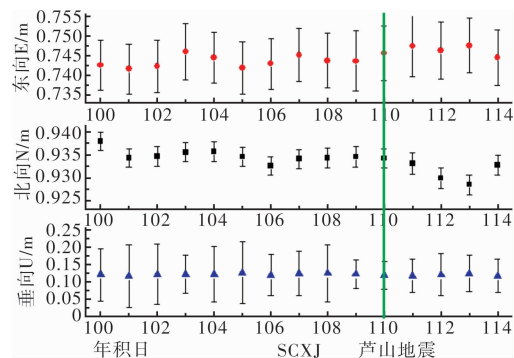
距震中较近的 GPS 连续站有 SCXJ (小金) 和 SCTQ (天全), 其中 SCXJ 位于震中西北约 90 km; SCTQ 位于震中西南约 30 km。如图 3a、图 3c 所示。从它们的时间序列中截取震前 10 d 和震后 5 d (因地震发生时间为 GPS 时 4 月 20 日 00:02, 故将 4 月 20 日解算结果归入震后) 的坐标序列来估计本次地震的同震变形。从图 3b 中来看, SCXJ 站在地震前后坐标序列没有明显变化; 而图 3d 中, SCTQ 站在水平方向有显著的同震变形, 对震前 10 d 震后 5 d 的坐标简单取平均值获得大致同震位移, 其西向和南向的偏移量分别为 8 mm 及 18~19 mm, 垂向同震响应不明显。总体上, SCTQ 站位置朝 SSW 方向水平移动约 20 mm。

2.3 站间基线时间序列

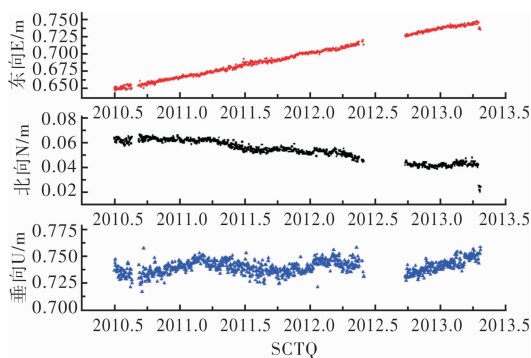
站间基线时间序列反映了两站连线间的相对运动^[12-13]。由于站间求差能够减小测站共有误差, 因此基线时间序列能够以比单站时间序列更高的精度反映地壳变形。图 4a 所示为位于巴颜喀拉块体内部的 QHBM (青海班玛) 与四川盆地中部 SCSN (四川遂宁) 两个连续站之间的基线 (大地线弧长) 时间序列, 反映出巴颜喀拉块体对华南块体的持续挤压, 使站间距离基本呈线性缩短趋势, 缩短速率为 -8.50 mm/a, 但在 2012 年下半年出现了偏离原有挤压速率的明显变化, 是否与芦山地震



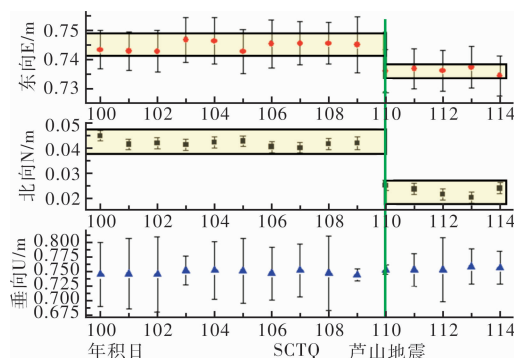
(a) SCXJ 站时间序列



(b) SCXJ 站时间序列(震前 10 d + 震后 5 d)



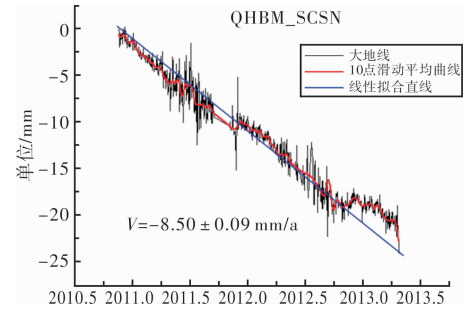
(c) SCTQ 站时间序列



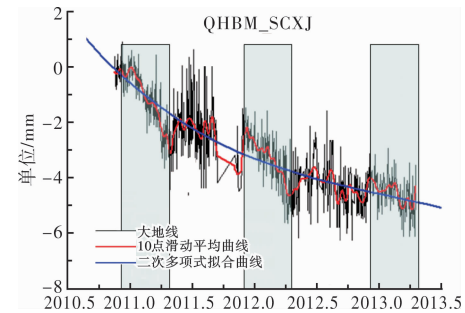
(d) SCTQ 站时间序列(震前 10 d + 震后 5 d)

图 3 SCXJ 和 SCTQ 站时间序列及同震变形

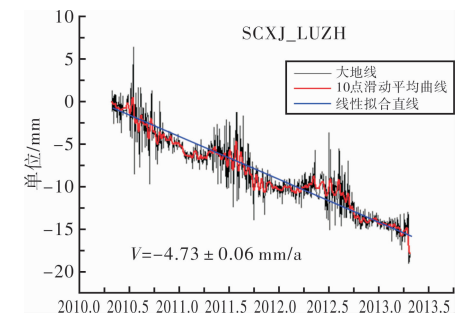
有关需要进一步观察研究。SCXJ 站也位于巴颜喀拉块体内部,与 QHBM 间的基线时间序列代表块体内部变形,如图 4b 所示。虽然受到资料积累



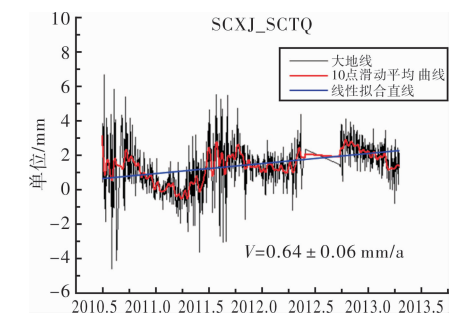
(a) QHBM_ SCSN 站间基线时间序列



(b) QHBM_ SCXJ 站间基线时间序列



(c) SCXJ_ LUZH 站间基线时间序列



(d) SCXJ_ SCTQ 站间基线时间序列

图 4 震中周边部分连续站间基线时间序列

时间和测站缺数的影响,从图中还是可以看出,基线变化有较为明显的年周期特征,相对于 2011 年和 2012 年的“基线缩短”时段,2013 年相应时段的变化速率相对较小;且整条基线的缩短速率也有逐渐变缓的趋势(二次多项式拟合曲线)。尽管不能判断这种变化是否与块体运动“受阻”进而与芦山地震有关,但可以看出是巴颜喀拉块体内部,而不是与华南块体之间发生了偏离原有速率的趋

势变化。QHBM 和 SCXJ 两站分别位于阿坝次级块体和龙门山次级块体, 两个次级块体之间是晚第四纪新生的龙日坝断裂带^[14]。从基线缩短速率来看, QHBM-SCXJ 所横穿的龙日坝断裂带南段仅承担了 -1.82 mm/a 的缩短变形率, 而近垂直于龙门山断裂带南段的 SCXJ-LUZH 所反映的基线缩短率则达到 -4.73 mm/a (图 4c)。基线缩短的原因可能是由于地壳的褶皱变形、挤压增厚, 也可能反映了断裂带的逆冲推覆或走滑运动差异, 因此以上基线所呈现的信息实际是多种原因综合作用的结果。至少从图 1 站点水平运动速率来看, 前述的基线缩短包含了巴颜喀拉块体内部变形以及与华南块体之间的右旋运动。图 4d 是距震中最近的两个站 SCXJ 和 SCTQ 的基线时间序列, 反映基线方向呈缓慢拉张趋势, 拉张速率为 0.64 mm/a 。将震中近场与图 4b 的震区远场相比较可以看出, 靠近震中区的震前变形量较小。

需要指出的是,只有当基线两端的站点在同一时刻都有坐标结果时,才能计算对应时刻的站间基线。缺失大段数据会对时间序列动态变化的分析和认识带来影响^[15],当数据累积长度本身就较短时影响会更大,例如图 4 的 SCXJ-SCTQ 和 SCTQ_LUZH 基线。但站点数据缺失对拟合线性速率的影响不大,因此利用时间序列得到了震中周边数条基线的张压年速率值,如图 5 所示。从图中可知,以 QHBM-SCTQ-SCMB 为大致分界线,其东北部基线多表现为缩短变形,而其西南的基线则以拉张变化为主,芦山地震震中大致处于这条“压缩-拉张”的分界带内。巴颜喀拉块体与川滇块体间表现为拉张作用,分别位于两个块体上的站间基线 QHBM-SCJL 变化速率达到 10.30 mm/a,反映了块体边界——鲜水河断裂带的走滑变形,还显示出川滇块体具有更大的南向挤出速率,而其北部的巴颜喀拉块体则主要是向东挤压华南块体。块体间相对运动速率较大,各块体内部变形量较小,例如 QHBM-SCXJ 压缩速率为 -1.82 mm/a;川滇块体内 SCXC-SCJL 为 -1.64 mm/a;华南块体内部 LUZH-SCSN 变形速率只有 0.21 mm/a。虽然基线间张压速率仅是将两站间地壳变形视为均匀而给出的参考值,但也能在一定程度上说明华南块体是刚性块体,内部变形很小;而巴颜喀拉块体和川滇块体在整体运动基础上,内部还存在着塑性变形或断裂活动。

2.4 GPS 应变时间序列分析

站间基线只能反映连线方向的地壳变形状态,而利用区域内 3 个以上的 GPS 连续站可以计算该区域应变变形参数的时间序列^[9,12,16],包括 EW 和

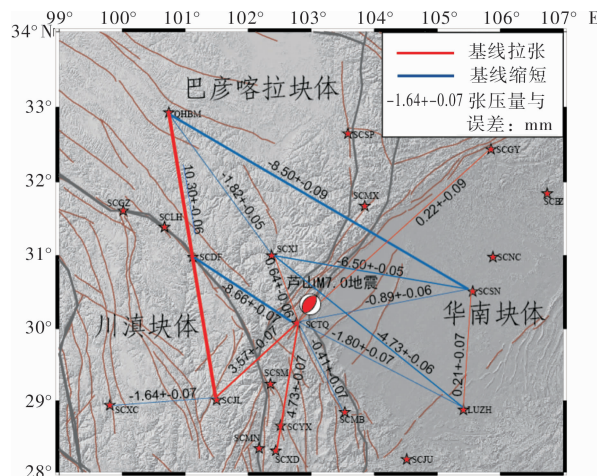


图 5 芦山地震震中周边 GPS 站站间基线张压速率示意图
(蓝色线条代表基线压缩; 红色线条代表基线引张, 线条粗细程度表征压缩或引张的量值大小)

SN 向应变、NE 向剪切应变、主张和主压应变及方位角、最大剪应变、面应变等区域变形特征值。应变变形参数同样受参考基准的影响较小,能够较为可靠地反映区域变形性质和应变积累程度。图 6 是利用震中周边的连续站(SCXJ、LUZH、SCSM、SCSN)计算得到的部分应变参数时间序列,以反映发震区域的变形特征。图 6a 和图 6b 分别表示区域主张应变和主压应变,图中显示芦山地震孕震区域主压应变具有年周期变化特征,应变变化速率为 $-1.40 \times 10^{-8}/\text{a}$;与之相比,SN 向拉张变形的年变特征不明显,但应变线性速率与 EW 向基本相同,约为 $1.29 \times 10^{-8}/\text{a}$ 。图 6c 和图 6d 分别为最大剪应变和面应变时间序列。受 EW 向压应变年周期影响,最大剪应变序列也具有一定的年变特征,应变率为 $2.84 \times 10^{-8}/\text{a}$;区域面应变序列较为平缓,呈微弱压缩状态。

以上用于计算应变的部分站点位于块体边界带附近,可以反映包括边界断裂带的区域变形特征;如果参与应变计算的站点均位于同一块体内,其得到的结果表示块体的内部变形特征。通过地质构造相关研究^[4-7]和本文基线张压速率分析知道,巴颜喀拉块体既有作为刚体的整体运动,又有作为弹塑性体的内部变形。其中,内部变形可以通过应变分析得到;刚体运动则可以通过欧拉公式描述^[17],那么块体内每个站点的运动都可以分离为刚性整体运动、内部应变变形和自身非规则运动三部分^[18]。基于这种认识,利用文献[18]中提供的公式和方法得到了 SCXJ 站点在巴颜喀拉块体中信息分离的结果,块体中选取的另外四个点为 SCLH、SCGZ、SCDF 和 QHBM。前面曾提到,基线时间序列只有当两个站点同时都有数据时才能获得;与之相类似,应变时间序列和信息分离

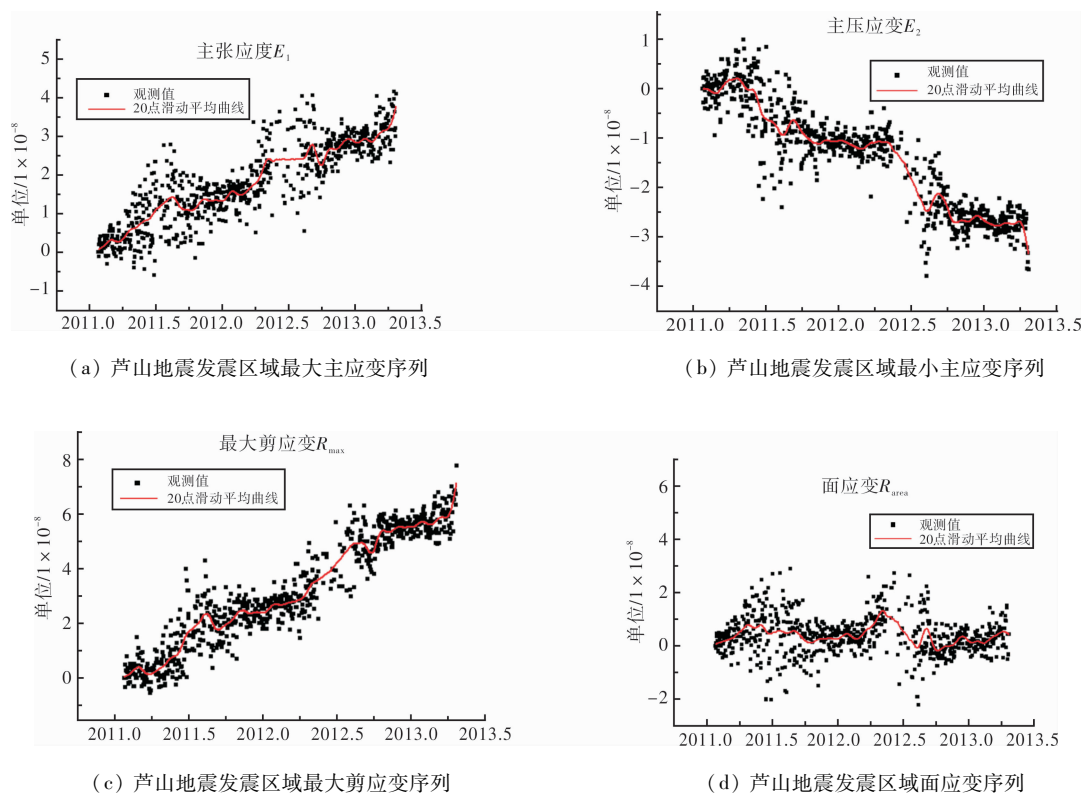


图6 利用震中周边连续站计算得到的震区应变时间序列

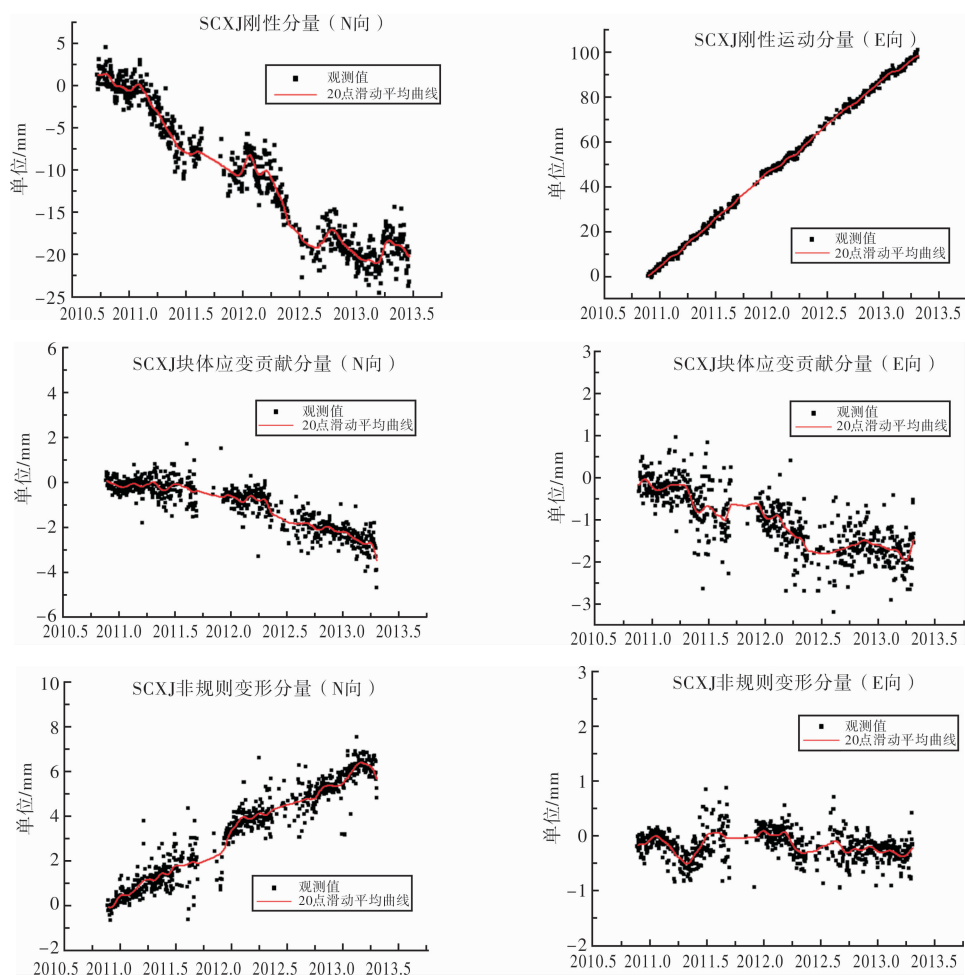


图7 SCXJ站在巴颜喀拉块体中信息分量结果

也都依赖于所有参加计算站点的数据完整性, 而块体欧拉矢量的计算需要站点在块体内部具有合理的分布。参考以上原则选取了用于信息分离的站点。

分离结果如图 7 所示。位于震中西北方向的 SCXJ 站, 其刚性运动分量反映了巴颜喀拉块体的整体运动。块体在 SN 向应变贡献分量中, 以 2012 年 6 月份左右为分界时间点, 之前运动变化表现为缓慢南向移动, 而后曲线发生偏转, 南向运动速率增大; 同方向的非规则变形部分表现为持续的北向运动, 其量值在整体运动中所占比重大于应变贡献变形, 显示该测点 N 向运动较块体其他测点更为显著。EW 向应变贡献分量反映 SCXJ 站向西朝着块体中部运动, 这可能与应变分量所反映的变形位置处于区域中心有关; 非规则变形分量大小和变化速率都很小, 说明站点在 EW 方向的位移能够由刚体运动和内部变形进行较好的描述。值得注意的是, EW 向应变贡献分量的时间序列在 2012 年 6 月前后曲线也发生了偏转, 西向运动速率变小。从图中可以看出, 2011 年 6 月至 12 月类似转折也曾出现, 但持续时间较短; 而 2012 年的曲线速率转缓现象一直持续到 2013 年 4 月芦山地震发生。受到数据累积长度和数据缺失的影响, 前述“异常”所反映的既可能是测站本身运动的年周期特征, 也可能代表了区域地壳运动的一次改变, 其是否与芦山地震有关, 有待于观测资料的积累及震例的经验总结。

3 结论

本文利用芦山地震震中周边“陆态网络”GPS 连续站资料, 获得了发震区域水平运动速度场和垂直形变场, 得到了距震中较近站点的同震位移, 并用站间基线时间序列和应变参数时间序列研究了区域地壳变形特征和应变积累背景, 结合块体运动信息分离方法, 进一步分析了震前可能存在的异常形变信息, 获得的主要结果和认识包括以下几点:

(1) 芦山地震震中西北部的巴颜喀拉块体主要运动方向为向东挤出, 震中西南部川滇块体主要运动方向为 SE-SSE, 这两大块体在芦山—天全一带发生“分流”, 震中附近的水平运动速率较小^[19-22]; 受到块体间挤压逆冲作用, 震中附近垂向抬升速率大于四川盆地内站点的垂直速率; 距震中西南约 30 km 的 SCTQ 站同震位移为向西约 8 mm, 向南 18~19 mm;

(2) 站间基线时间序列反映块体间的相对运

动。QHBM-SCSN 和 QHBM-SCXJ 基线在 2012 年下半年出现了偏离原有变化速率的趋势。基线张压速率反映震中附近震前变形量较小, 且处于南部拉张和北部压缩的分界带内。

(3) 应变参数时间序列反映芦山地震孕震区域主压应变的年周期特征明显, 近 SN 向张应变的年变特征不明显, 量值略小于压应变, 区域面应变呈微弱压缩状态。SCXJ 站在巴颜喀拉块体内运动信息分离的结果显示, SN 向和 EW 向块体应变贡献分量在 2012 年 6 月前后均有一次偏离原有趋势的转折, 需要进一步观察和分析。

致谢: 感谢中国地震局地震预测研究所武艳强博士和中国地震局第一监测中心占伟博士给予的技术支持与指导。

参考文献:

- [1] 杜方, 龙锋, 阮祥, 等. 四川芦山 7.0 级地震及其与汶川 8.0 级地震的关系[J]. 地球物理学报, 2013, 56(5): 1772-1783.
- [2] 徐锡伟, 闻学泽, 韩竹军, 等. 四川芦山 7.0 级强震: 一次典型的盲逆断层型地震[J]. 科学通报, 2013, 58(20): 1887-1893.
- [3] Zaisen Jiang, Min Wang, Yanzhao Wang, et al. GPS constrained coseismic source and slip distribution of the 2013 Mw6.6 Lushan, China, earthquake and its tectonic implications[J]. Geophysical Research Letters, 2014, 41(2): 407-413.
- [4] 沈旭章. 四川芦山 7.0 地震和汶川 8.0 地震震源地壳岩石圈变形特征分析[J]. 地球物理学报, 2013, 56(6): 1895-1903.
- [5] 朱守彪, 张培震. 2008 年汶川 Ms8.0 地震发生过程的动力学机制研究[J]. 地球物理学报, 2009, 52(2): 418-427.
- [6] 丁晓光, 占伟, 王紫燕, 等. 不同参考框架对区域连续 GPS 数据解算的影响[J]. 大地测量与地球动力学, 2014, 34(2): 161-164.
- [7] Dong D, Fang P, Bock Y, et al. Spatiotemporal filtering using principal component analysis and Karhunen-Loeve expansion approaches for regional GPS network analysis[J]. Journal of Geophysical Research, 2006, Vol. 111, B03405, doi: 10.1029/2005JB003806.
- [8] 张培震, 王琪, 马宗晋. 中国大陆现今构造变形的 GPS 速度场与活动地块[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 430-441.
- [9] 石耀霖, 朱守彪. 用 GPS 位移资料计算应变方法的讨论[J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(1): 1-8.
- [10] 薄万举, 胡新康, 董运洪, 等. 用 GPS 位移场进行中小区域变形分析方法探讨[J]. 大地测量与地球动力学, 2010, 30(3): 31-34.
- [11] 王庆良, 崔笃信, 王文萍, 等. 川西地区现今垂直地壳运动研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(5): 598-610.
- [12] 江在森, 杨国华, 方颖, 等. 利用 GPS 观测结果研究地壳运动分布动态及其与强震关系[J]. 国际地震动态, 2007, 343(7): 32-42.

- [13] 杨国华, 张风霜, 武艳强, 等. 利用 GPS 连续观测资料进行强震危险性预测的探讨[J]. 地震, 2008, 28(1): 33–39.
- [14] 徐锡伟, 闻学泽, 陈桂华, 等. 巴颜喀拉地块东部龙日坝断裂带的发现及其大地构造意义[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(5): 529–542.
- [15] 占伟, 黄立人, 刘志广, 等. 数据缺失对 GNSS 时间序列分析的影响[J]. 大地测量与地球动力学, 2013, 33(2): 49–53.
- [16] 江在森, 武艳强. 地壳形变与强震地点预测问题与认识[J]. 地震, 2012, 32(2): 8–21.
- [17] 李延兴, 黄城, 胡新康, 等. 板内块体的刚性弹塑性运动模型与中国大陆主要块体的应变状态[J]. 地震学报, 2001, 23(6): 565–572.
- [18] 武艳强, 江在森, 杨国华, 等. 利用 GPS 时间序列对块体运动进行空间信息分离[J]. 地震研究, 2009, 32(3): 306–311.
- [19] 武艳强, 江在森, 王敏, 等. GPS 监测的芦山 7.0 级地震前应变积累及同震位移场初步结果[J]. 科学通报, 2013, 58(20): 1910–1916.
- [20] 牛安福, 顾国华, 曹景鹏, 等. 芦山 Ms7.0 地震前远近场形变时空演化特征研究. 地震学报, 2013, 35(5): 670–680.
- [21] 蒋峰云, 朱良玉, 张晓亮, 等. 芦山 7.0 级地震形变孕育背景及同震相应[J]. 地震研究, 2013, 36(4): 450–454.
- [22] 陈立春, 冉勇康, 王虎, 等. 芦山地震与龙门山断裂带南段活动性[J]. 科学通报, 2013, 58(20): 1925–1932.

Analysis on Deformation Characteristics of the Regional Crust in Lushan M7.0 Earthquake by Continuous GPS Observation Data

Ding Xiaoguang^{1,2}, Yan Wei³, Zhang Yi¹, Su Lina^{1,2} and Zhang Yongqi¹

(1. *Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China;*

2. *Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China;*

3. *China Earthquake Networks, Beijing 100045, China)*

Abstract: In April 20th, 2013, an earthquake attacked the region of Lushan, Sichuan province in the southern Longmen mountains fault zone, and caused serious earthquake disaster and secondary hazards. In order to research the seismic crustal deformation characteristics, GPS continuous data in 2010–2013 from the CMONOC around the epicenter of Lushan earthquake is used, the regional horizontal velocity and vertical deformation are calculated, and the coseismic displacement of the station near the epicenter is obtained. Based on the station baselines and strain parameter time series, the regional crustal deformation and strain accumulation background are researched; further analysis with the block information separation method shown that the abnormal deformation may exist before the earthquake. The main results got in this paper include: the earthquake region is in the block extrusion “shunt” zone, and the crustal horizontal movement is small. In the second half of 2012, a trend of deviation from the original motion was shown by the baseline of QHBM-SCSN and QHBM-SCXJ. Results of deformation separated from the time series of SCXJ station also showed that, the N and E component of the internal strain contribution had a curve-transition phenomenon.

Key words: Lushan M7.0 earthquake; GPS continuous data; crustal movement; strain; time-series

(上接第 28 页)

Technology and Method for Economic Losses Assessment of Red Tide Disasters

Wen Shiyong¹, Song Xu², Tian Yuanyuan², Zhang Qiang²,

Chen Chen², Gao Shugang¹ and Zhao Dongzhi¹

(1. *National Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116023, China;*

2. *College of Navigation, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)*

Abstract: In order to effectively cope with the red tide disasters prevention and reduction, relief and post disaster management needs, firstly, according to related research results and the damage characteristic of red tide disasters, economic loss assessment index of red tide disasters is put forward based on the actual needs and the operational data that can be got in the operational work. Secondly according to disasters economic theory and economic losses assessment advanced ideas of other natural disasters, operational application method for economic losses assessment of red tide disasters is established, including marine aquaculture economic losses, coastal tourism economic losses, operational and emergency monitoring costs of red tide disasters, and red tide disasters disposal cost assessment model. Finally, the technical process of operational application technology and method for economic losses assessment of red tide disasters is put forward.

Key words: red tide disaster; economic losses assessment; operational application; technology and method