

# 2011年日本9.0级地震前后GPS基线 时间序列分析\*

张风霜, 占伟, 孙东颖

(中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

**摘要:** 利用1999年初至2011年9月中国地壳运动观测网络基准站及中国大陆周边包含日本境内的IGS基准站的资料, 分析了2011年3月11日日本9.0级地震前日本境内及周边IGS基准站基线时间序列的变化情况。讨论了该地震对中国大陆GPS基准站的同震影响, 并对地震后中国大陆GPS基线时序结果的变化情况进行了总结分析。通过分析认为, 日本大震后我国东部地区部分GPS基线开始转折拉伸, 因而一定程度上缓解了这些基线的趋势性缩短, 但是东部地区仍然有部分GPS基线的变化趋势基本不受日本地震的影响, 近几年以来的趋势性异常至今仍然存在。

**关键词:** GPS基准站; 基线时间序列; 构造形变场; 日本9.0级地震

**中图分类号:** P315.72

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2012)02-0190-11

## 0 引言

2011年3月11日, 日本本州岛北部以东海域发生9.0级地震, 此次地震及其引发的海啸造成了极大的破坏和严重的人员伤亡。据日本官方统计, 实际死亡人数超过2万7千人, 本州岛东北部地区大量沿海村镇被地震引发的海啸卷入海中。地震对福岛核电站4个核反应堆造成破坏, 导致大气和海水遭受放射性污染。

由日本境内GPS观测数据计算得到的同震位移场结果显示, 本州岛北部地区存在显著的东向位移, 水平位移量最大达5~6 m (尹继尧, 朱元清, 2011)。日本9.0级地震对我国的GPS基准站同震影响有多大? 日本境内及周边的IGS基准站基线时间序列是否包含了此次大震的孕震形变信息? 本文利用国家重大科技基础设施项目“中国大陆构造环境监测网络”积累的10年多的GPS连续观测资料以及中国大陆周边包含日本境内的IGS基准站数据, 分析此次地震对中国大陆GPS基准站产生的同震影响, 对地震前日本境内及周边IGS基准站基线时序结果的趋势性异常变化情况进行分析, 并通过对中国大陆内部GPS基准站基线时间序列

近期变化情况的总结分析, 初步探讨日本9.0级地震对中国大陆构造形变场的影响。

## 1 GPS数据处理

本文使用的数据是1999年初至2011年9月25日的中国地壳运动观测网络基准站及中国大陆周边包含日本境内的IGS基准站记录的观测资料, GPS连续站观测值的数据处理采用GAMIT/GLOBK软件完成 (Herring *et al.*, 2010)。数据处理的基本流程: 首先利用GAMIT获得网络工程33个连续站及中国大陆周围IGS测站的区域单日松弛解 (王敏等, 2005a, 2005b, 2007)。GAMIT计算中加入周边16个IGS站 (IRKT、KIT3、USUD、SUWN、ULAB、TSKB、TWTF、DAEJ、KHAJ、IISC、MIZU、PIMO、POL2、SELE、YAKT和YSSK) 相应时间段内记录的数据一并进行处理。再利用GLOBK将SOPAC给出的全球单日松弛解和计算所得的区域单日松弛解进行综合平差, 在此基础上通过IGS核心站求解相对于全球参考框架ITRF2005的相似变换7参数, 从而获得ITRF2005下的单日解, 即GLOBK的NEU坐标值, 不同于通常的站心坐标, 其具体含义可参阅黄立人等

\* 收稿日期: 2011-11-04.

基金项目: 中国地震局行业专项: GNSS系列数据产品在地震监测预报中的应用资助。

(2006) 的研究。要计算两点之间的大地线 (武艳强等, 2007, 2009), 须先获取两个端点精确经纬度, 具体计算程序可参阅 GAMIT/GLOBK 程序包, 最后根据大地主题解算公式 (孔祥元等, 2001) 就可以计算得到两点间的大地线长度。

## 2 9.0 级地震前日本境内及周边 IGS 基准站基线时序结果分析

2011 年 3 月 11 日日本 9.0 级地震是自 20 世纪有仪器记录以来的第 4 大地震。日本列岛地处太平洋西北, 是太平洋板块、北美板块、菲律宾板块和欧亚板块的交汇处。此次地震发生在太平洋板块与北美板块交界的俯冲带上, 在该区域太平洋板块以 80 mm/a 的速率相对欧亚板块向西运动 (DeMets *et al.*, 1994), 插入北美板块下部。

为了探讨日本 9.0 级大震前 GPS 基线的变化情况, 本文选择了部分 IGS 基准站进行分析。包括中俄边界的基准站 KHAJ, 中国东北的基准站 CHAN, 朝鲜半岛上的基准站 SUWN 和 DAEJ, 日本境内的 4 个 IGS 基准站 (YSSK、MIZU、USUD 和 TSKB), 其中离此次地震最近的 IGS 基准站为 MIZU, 其次为 TSKB 和 USUD (图 1)。

由于所选择的部分 IGS 测站距离日本 9.0 级地震震中相对较近, 因此 GPS 基线时间序列的同震变化较大, 尤其是与测站 MIZU 相连的基线最大同震变化达 3 m。同震变化的巨大量级掩盖了震前的

形变变化, 为了更好地分析震前 GPS 基线的变化情况, 本文只给出了截止到地震前一天即 2011 年 3 月 10 日的基线时间序列结果 (图 2)。图 2 中 MIZU - TSKB 和 MIZU - USUD 两条基线时间序列在 2008 年 6 月 13 日的阶跃变化是由 2008 年 6 月 13 日日本本州岛北部岩手—宫城里氏 7.2 级大震引发的同震形变。

本文的分析侧重于 GPS 基线时间序列的趋势性转折变化, 即时间序列的最低频部分, 反映的是构造形变成分。而基线时间序列的非构造形变周期成分 (如年周期、半年周期等)、随机漫步噪声、闪烁噪声、白噪声等中高频成分可以在时间序列的后期处理中通过各种滤波方法进行分解和剔除 (黄立人, 2006; 黄立人, 符养, 2007; 杨国华等, 2007)。由图 2 可看出, 由于长时间趋势变化幅度远大于高频信息 (包括高频噪声和各种误差), 在不剔除高频信息的情况下, 同样能显示出构造活动引起的低频趋势性变化。因此本文只讨论 GPS 基线时间序列的最低频部分的构造形变信息, 以观察其在大震发生前可能出现的异常。

本文实际分析的时序基线分布如图 1 所示, 限于篇幅, 图 2 只给出了其中部分基线时序曲线。图 2 中有 4 条基线 (USUD - TSKB、YSSK - TSKB、SUWN - YSSK 和 DAEJ - YSSK) 震前的趋势性变化出现了转折。其中 YSSK - TSKB 从 2006 年下半年开始转折转平, 而 SUWN - YSSK 和 DAEJ - YSSK 两条基线也都在 2006 年下半年发生转折, 2006 年下半年之前基线的变化为线性缩短, 缩短速率约 10 mm/a, 之后基线缩短速率明显减小, 约为 3 mm/a。YSSK - TSKB、SUWN - YSSK 和 DAEJ - YSSK 这 3 条基线在 2006 年下半年的同步转折变化不能排除 YSSK 单点变化的可能性。但作为 IGS 基准站, 选点及点位保护是比较完善的, 甚至很可能是基岩点, 假如在同一块基岩上再建一个点, 这两个点的运动会比较一致, 这里所谓的单点变化, 很可能已不是通常意义上的因为点位不稳定引起的单点变化, 也可能是代表局部一定范围内的地壳运动。

值得关注的是日本境内的基线 USUD - TSKB 的变化, USUD 和 TSKB 这两个测站距离日本 9.0 级大震震中比 YSSK 测站近的多 (YSSK 是日本境内距震中最远的一个 IGS 基准站), 基线 USUD - TSKB 呈东西向展布。在 1999 ~ 2008 年近 10 年的

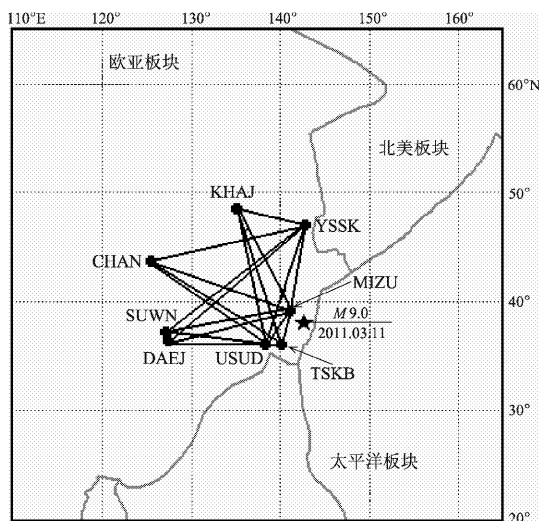


图 1 日本境内及周边 IGS 基准站和基线分布  
Fig. 1 Distribution of IGS reference stations and baselines in Japan and its surrounding area

时间内这条基线的运动都是相对平稳的线性缩短, 缩短速率约 4 mm/a, 2008 年开始, 该基线的运动出现转折。2008 年至 2011 年 3 月 11 日地震前 3 年多的时间内基线只有小幅的波动, 运动趋势既没有持续伸长也没有缩短, 处于相对闭锁的状态。震后 USUD - TSKB 基线出现巨幅拉伸, 同震伸长

了约 400 mm, 由于同震形变巨大, 3 月 11 日后的时间序列图本文没有给出。距离地震震中较近的 MI-ZU - TSKB 和 MIZU - USUD 基线震前的趋势性运动并没有出现异常, 与东西向展布的 USUD - TSKB 基线不同, MIZU - TSKB 基线近南北向展布, 而 MIZU - USUD 基线为北北东向展布。

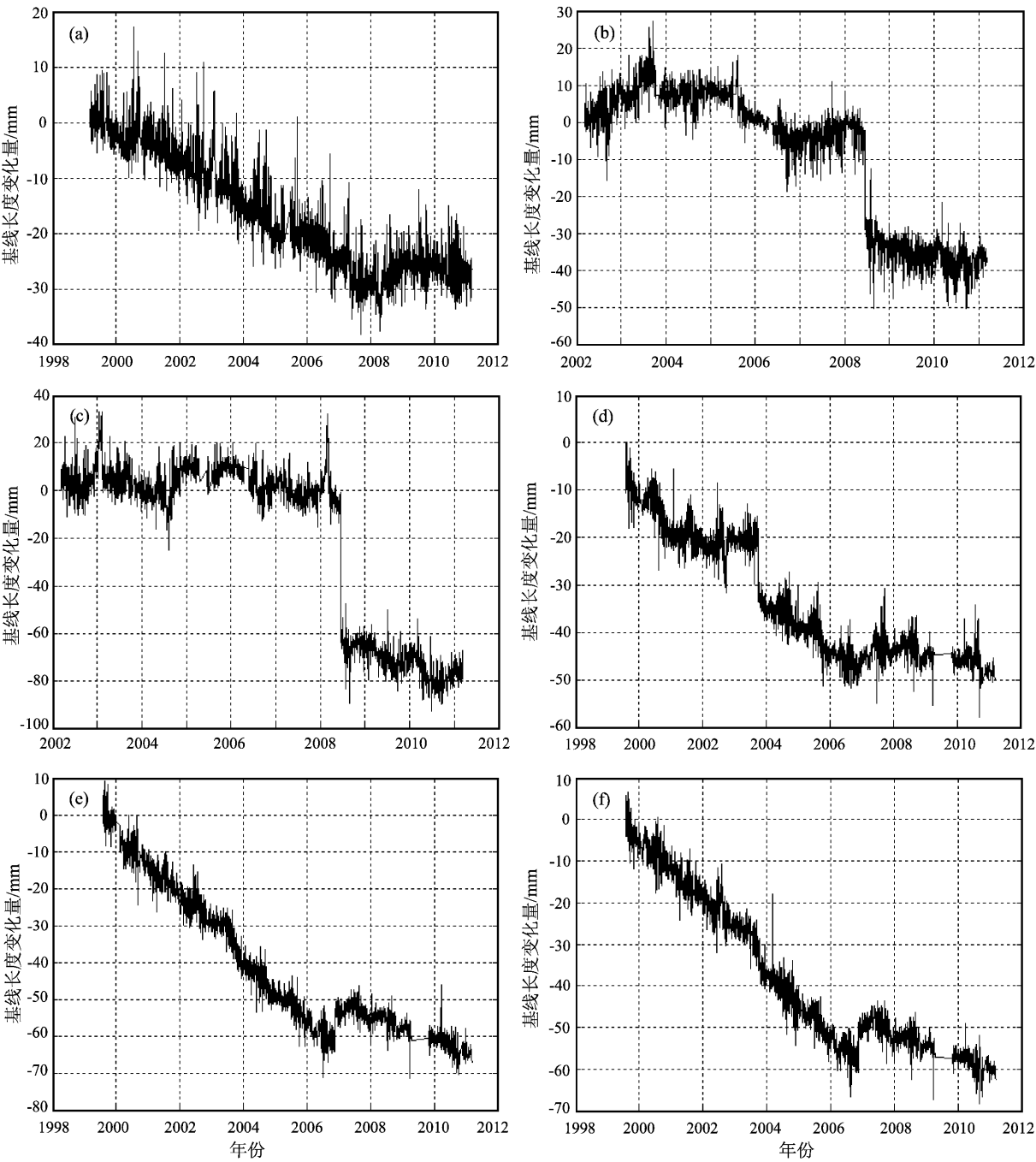


图 2 日本 9.0 级地震前部分 GPS 基线时间序列的变化

(a) USUD - TSKB 基线; (b) MIZU - TSKB 基线; (c) MIZU - USUD 基线;  
(d) YSSK - TSKB 基线; (e) SUWN - YSSK 基线; (f) DAEJ - YSSK 基线

Fig. 2 Time series variation of some GPS baselines before Japan M9.0 earthquake

表面上看以上 6 条基线的变化不是很一致，但从统一的机理上还是能够给出较为圆满的解释。首先，6 条基线都呈缩短的变化，基线的展布方向为北东向至东西向，这与该区域主要受来自北东向北美板块的挤压与来自东向太平洋板块的挤压有关。其次，相对长边缩短的量偏大，说明在统一地壳应力场的变化中基线的缩短有弹性变形的成分。当应变一定时，总弹性变形量与基线的长度成正比，但由于地壳的不均匀性，包括塑性、蠕变等非线性变形在空间域和时间域中均广泛存在，其正比关系并不严密。其中东西向展布的基线 USUD - TSKB 近 10 年的长趋势运动特征为线性缩短，尽管缩短量不是最大的，但考虑其边长短，其应变量是最大的，显示了地壳应力应变在空间上存在着不均匀性。且该基线离震中较近，是震前受太平洋板块东西向挤压较强烈的地方，因此东西向应变最大，同震巨幅拉伸达 400 mm。地震破裂发生时，强大的东西向压应力突然释放，长期积累的压应变的弹性部分必然同时释放，导致 USUD - TSKB 基线巨幅拉伸。但是从 2008 年开始至 2011 年 3 月 11 日地震发生前 3 年多的时间内，这条基线的运动趋势出现了明显的偏离，转折进入了非正常的闭锁状态，这种闭锁可能是日本 9.0 级大震前的一种临界状态。相比之下，同样离地震震中较近的 MIZU - TSKB 和

MIZU - USUD 基线震前趋势缩短速率明显偏小，主要是因为基线展布方向为北东向和南北向，而该期间主要应力加强的方向为东西向。其余 3 条基线总的缩短量较大，与基线较长有关。3 条基线在 2006 ~ 2007 年前后出现了同步转折，压性缩短的速度同步变缓，可能意味着在较大范围内进入了较强的压应变临界状态，但 2008 年 6 月 13 日日本本州岛北部岩手—宫城里氏 7.2 级大震产生的同震形变并不明显，可能是由于这 3 条基线离震中较远，主要原因可能还是地震震级、地震破裂方向与基线方向的关系决定的。同时这也说明 2006 ~ 2007 年前后 3 条基线的同步转折异常并没有因 2008 年 7.2 级地震而解除，大范围的压应变虽然有所减缓，但并未解除，总的压应变量仍在累积增加，这种压性应变累积到一定程度，就会面临破裂而发震。日本 9 级特大地震，或许说明了这一点。

### 3 我国大陆各 GPS 基准站日本地震同震形变量值统计

表 1 给出了我国部分 GPS 基准站日本 9.0 级地震同震形变量值统计，表中最后两列是王敏等 (2011) 得出的结果，通过比较可以看出，差别很小，基本都在 GPS 水平定位的精度范围以内。

表 1 我国 GPS 基准站日本地震同震形变量值统计 (单位: m)

Tab. 1 Statistic of coseismic deformation value of Japan M9.0 earthquake at GPS reference stations in China (unit: m)						
点名	同震位移东向分量	误差	同震位移北向分量	误差	同震位移东向分量	同震位移北向分量
SUIY	0.028 5	0.001 8	-0.016 6	0.002 0	0.028 ±0.002 0	0.015 ±0.002 1
CHUN	0.018 2	0.002 0	-0.006 5	0.002 2	0.018 ±0.001 8	0.006 ±0.001 8
HRBN	0.016 2	0.001 5	-0.008 7	0.001 7	0.015 ±0.001 6	0.007 ±0.001 6
JIXN	0.009 5	0.001 7	-0.000 8	0.001 7	0.009 ±0.001 6	0.001 ±0.001 5
BJSH	0.008 5	0.001 7	-0.000 3	0.001 7	0.008 ±0.001 9	0.000 ±0.001 8
BJFS	0.008 0	0.002 0	0.000 1	0.001 7	0.006 ±0.002 1	0.000 ±0.002 1
HLAR	0.007 9	0.002 3	-0.003 9	0.002 5	0.006 ±0.002 2	0.001 ±0.002 2
TAIN	0.007 8	0.001 9	0.000 8	0.001 9	0.009 ±0.002 0	0.001 ±0.001 9
SHAO	0.006 1	0.001 8	0.001 6	0.001 8	0.006 ±0.001 7	0.001 ±0.001 5
ZHNZ	0.004 4	0.001 7	0.000 7	0.001 7	0.004 ±0.001 8	0.001 ±0.001 7
YANC	0.004 0	0.001 8	0.000 2	0.001 8	0.003 ±0.002 0	0.000 ±0.001 9
XIAA	0.003 9	0.001 8	0.000 2	0.001 7	0.003 ±0.001 6	0.000 ±0.001 5
WUHN	0.003 5	0.002 0	0.000 9	0.001 8	0.003 ±0.002 3	0.001 ±0.002 0
GUAN	0.002 4	0.003 4	-0.001 6	0.002 6	0.002 ±0.003 1	0.001 ±0.002 5
XIAM	0.002 2	0.002 4	-0.000 1	0.002 0	0.001 ±0.002 3	0.001 ±0.001 9
LUZH	0.001 7	0.002 0	0.000 5	0.001 8	0.001 ±0.002 2	0.000 ±0.002 0

由表 1 可看出,日本 9.0 级地震对我国东北和华北地区的 GPS 基准站造成了毫米至厘米级的同震水平位移,同震形变最大的测站依次为东北的

SUIY, CHUN 和 HRBN。SUIY 站东向位移达 28 mm,南向位移达 16 mm,另外天津的 JIXN 站东向位移 9 mm,北京的 BJSH 测站东向位移约 8 mm,

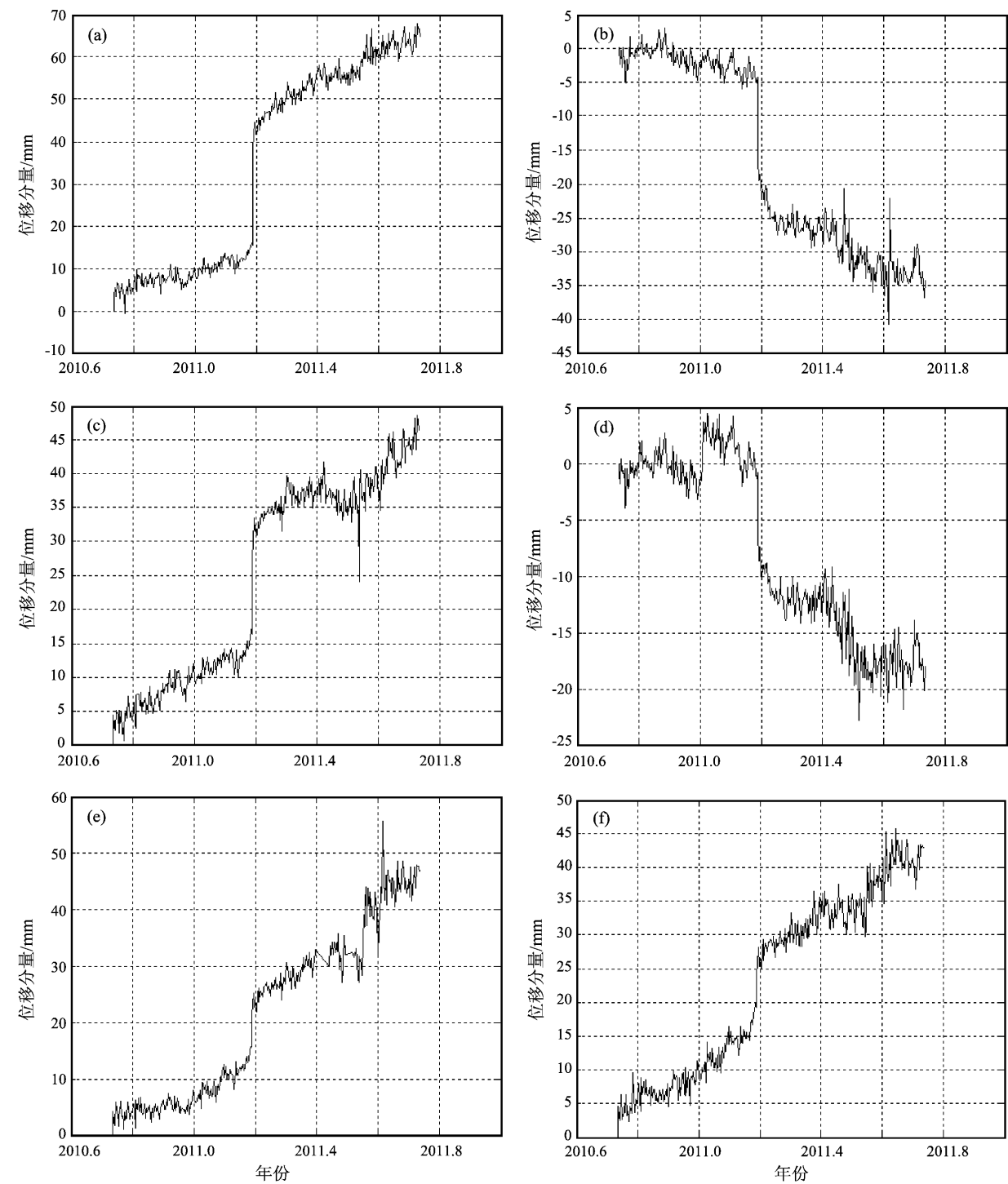


图 3 东北和华北地区日本地震同震形变显著的部分 GPS 基准站时序分量  
(a) SUIY 站东向位移分量; (b) SUIY 站北向位移分量; (c) HRBN 站东向位移分量;  
(d) HRBN 站北向位移分量; (e) JIXN 站东向位移分量; (f) BJSH 站东向位移分量

Fig. 3 Time-series components of obvious coseismic deformation at some GPS reference stations in Northeast and North China caused by Japan *M*9.0 earthquake

华东沿海的 SHAO 测站东向位移约 6 mm。东北地区的 GPS 基准站东向和南向位移都较显著，华北地区的测站东向位移量显著，南向位移不明显。总的看来，同震位移量向西迅速衰减，至我国西部的 GPS 基准站如 LUZH 等已趋近于零。日本地震对我国 GPS 基准站造成的垂向位移很微弱，GPS 的定位精度还无法检测到。图 3 给出了受日本地震同震影响显著的我国东北和华北地区部分 GPS 基准站时序分量的结果，其时序曲线是从 2010 年第 269 天至 2011 年第 268 天整一年的结果。

#### 4 中国大陆 GPS 基准站基线时间序列近期变化情况分析

由于 GPS 基线时间序列能在一定程度上削弱系统误差和共模噪声的影响，因此比单站坐标时间序列能更灵敏的反映周围构造环境的变化。借鉴敬少群等（2006）的方法，本文共分析了中国大陆内部 100 多条 GPS 基线时间序列，GPS 基准站和基线的分布见图 4。

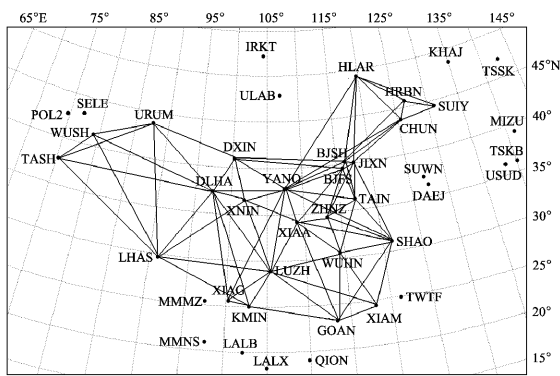


图 4 中国大陆内部 GPS 基准站与基线分布  
Fig. 4 Distribution of GPS reference stations and baselines in China

##### 4.1 东部地区

受日本地震的影响，我国东部地区部分 GPS 基线自 2006 年或 2008 年以来的趋势性缩短在震后开始转折拉伸。如图 5 所示的 BJFS - JIXN、BJSH - JIXN、BJSH - YANC、CHUN - YANC、JIXN - YANC 和 CHUN - BJSH 这 6 条基线 2006 年以前的变化以平稳波动为主，2006 年运动趋势开始出现转折，加速缩短，反映了以压性为主导的趋势性背景异常变化（张风霜，武艳强，2011）。除了

BJSH - YANC 基线从 2010 年开始转折缓慢伸长，其它几条基线的这种趋势性缩短的异常变化一直持续到 2011 年 3 月 11 日日本地震前。日本地震后，这几条基线开始转折伸长。因此，日本 9.0 级地震对这几条基线近几年以来的压性趋势性缩短起到了一定的缓解作用。需要说明的是，虽然 JIXN 站今年下半年东向分量变化较大（图 3），对与之相连的基线的变化在量值上有放大的效应，但基线相对伸长的总体趋势是不会受影响而改变的。

日本地震后，我国东部地区也有部分 GPS 基线出现转折缩短，如图 6 所示的 HLAR - BJSH、HLAR - JIXN、CHUN - SHAO 和 WUHN - LUZH 基线。HLAR - BJSH 基线在 2002 年后的变化趋势以缓慢伸长为主，日本 9.0 级地震后，基线有所缩短，但量值较小。HLAR - JIXN 基线在 2008 年以前的变化以线性缩短为主，缩短的年速率较小，2008 年后基线的趋势性运动转平，日本 9.0 级地震后，基线加速缩短。CHUN - SHAO 基线 2008 年以前虽然 SHAO 站的数据中断缺失较多，但仍可以看出，2008 年以前基线为线性拉伸，2008 年后基线的运动趋势发生转折，日本地震后，基线有所缩短。WUHN - LUZH 基线 2008 年以前的变化以缓慢缩短为主，2008 年后基线开始转折拉伸，2010 年下半年基线的运动趋势转平，日本地震后，基线有所缩短。除了 HLAR - JIXN 基线缩短的量值相对较大，其它 3 条基线缩短的量值都较小。同样，考虑到 JIXN 站今年下半年东向分量变化较大，与之相连的 HLAR - JIXN 基线的变化量值也较大，但并不会影响基线相对缩短的总体趋势。

我国东部地区还有部分 GPS 基线的变化趋势基本不受日本地震的影响，如图 7 所示。从图中可以看出，HLAR - YANC 基线 2006 年运动趋势开始转折，2006 年至今，基线处于线性缩短的运动状态，缩短速率约 3 mm/a。BJSH - TAIN 和 BJFS - ZHNZ 基线 2008 年以前以线性拉伸为主，2008 年后其运动转折转平。JIXN - TAIN 和 JIXN - SHAO 基线的运动总体上以线性伸长为主，但 2008 年后伸长速率有所减缓。TAIN - ZHNZ 基线在 2006 年以前的运动为线性拉伸，2006 年开始转折，基线缓慢缩短，但变化的量值较小。图 7 所示基线的变化趋势受日本地震的影响较小，2006 年或 2008 年以来的趋势性异常变化至今仍然存在。

4.2 西部地区

我国西部地区的 GPS 基线 DLHA - WUSH、XIAG - KMIN、URUM - DLHA、LHAS - KMIN、LUZH - KMIN 和 WUSH - LHAS (图 8) 近期的变

化存在一定程度的异常。其中 XIAG - KMIN 和 LUZH - KMIN 基线在 2008 年以前线性伸长, 2008 年后基线的伸长速率明显变缓。URUM - DLHA 基线 2008 年前的变化虽然年周期波动较明显, 但是

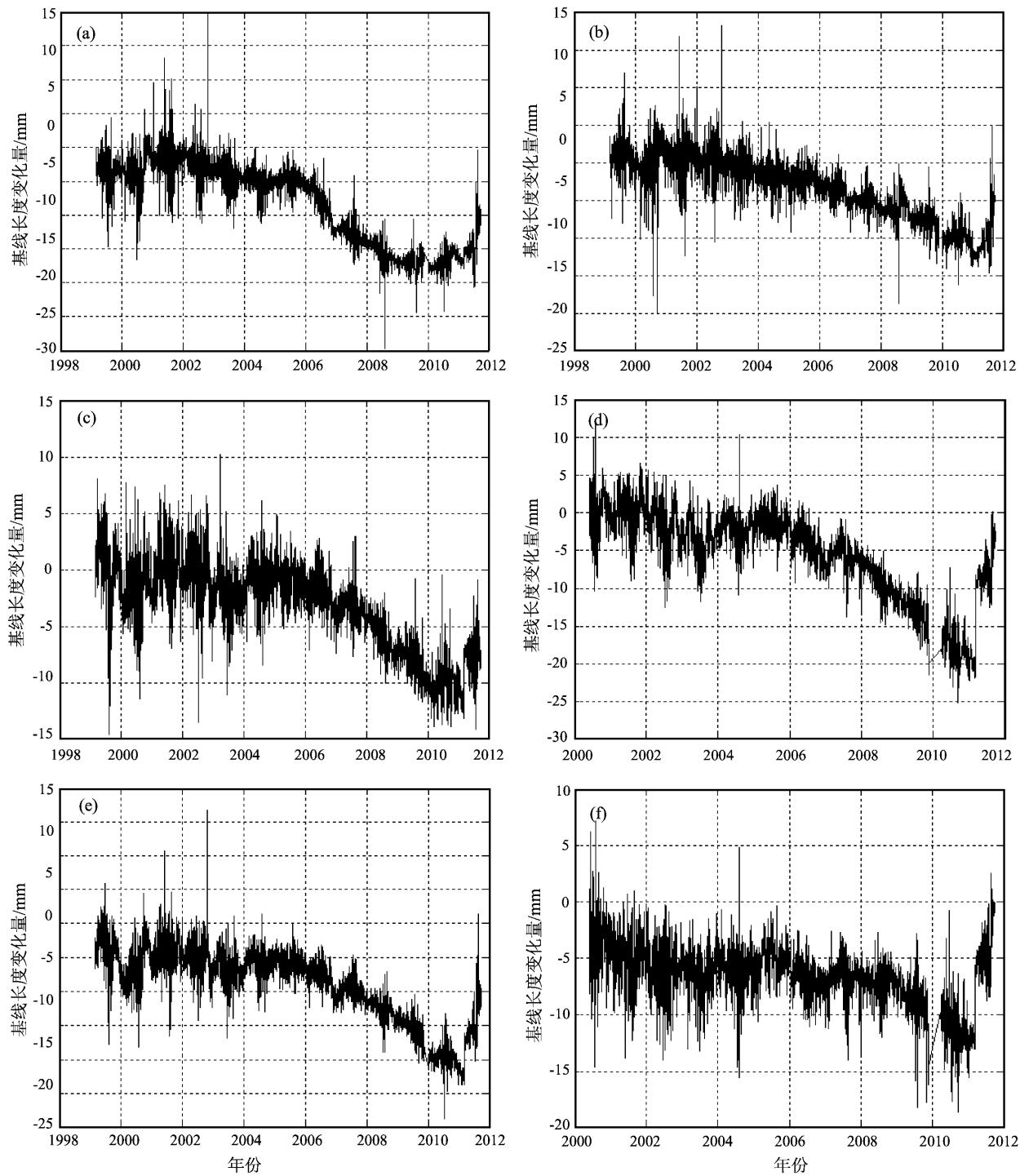


图 5 日本地震后拉伸的 GPS 基线时间序列  
(a) BJFS - JIXN 基线; (b) BJSH - JIXN 基线; (c) BJSH - YANC 基线  
(d) CHUN - YANC 基线; (e) JIXN - YANC 基线; (f) CHUN - BJSH 基线  
Fig. 5 Stretching GPS baseline timeseries after Japan M9.0 earthquake

仍然以较稳定的速率线性伸长，而 2008 年后基线的运动发生转折，伸长速率显著减缓。LHAS - KMIN 基线的运动趋势在 2006 年发生转折，2006 年以前以缓慢拉伸为主，2006 年以后转折缩短。DLHA - WUSH 基线在 2004 ~ 2009 年的变化相对较平稳，这时段内持续线性伸长，但从 2009 年下半年开始至今，基线伸长速率有减缓的迹象。WUSH - LHAS 基线的变化与 DLHA - WUSH 基线较相似，从 2010 年开始基线伸长速率减缓，但是持续的时间仍然较短，还需继续观察。

总体上看，西部地区 GPS 基线的变化基本不受日本地震的影响，2011 年日本地震对我国东部地区部分 GPS 基准站和 GPS 基线同震影响显著。东部地区部分 GPS 基线近年来的趋势性缩短在日本地震后开始转折伸长，一般离震中近的短基线这一特征

明显，是局部压应变能释放的响应；也有小部分基线在日本地震后有所缩短，多属于稍远的基线或近南北向的长基线，如海拉尔到华北及更远处测点所构成的基线。这部分基线在震前较长一段时间内，因太平洋向西的挤压增强，在东西向压缩的同时，伴随近南北向微量的张应变，这一微量的张应变在长基线中能够得到一定的显示，地震发生后，应变在较大空间尺度内因应力释放产生弹性恢复，致使部分近南北向的长基线出现缩短性转折，从机理上可以得到解释。介于东部与西部之间的部分基线变化的整体性和规律性较差，是随着离震中距离的增加，受日本地震的影响减弱，进而逐渐显现局部构造活动和地壳介质物性差异的影响所致，也不排除个别点位变化因素的存在，因篇幅所限，不再详述。因此分析认为日本地震后，我国东部地区 GPS 基线

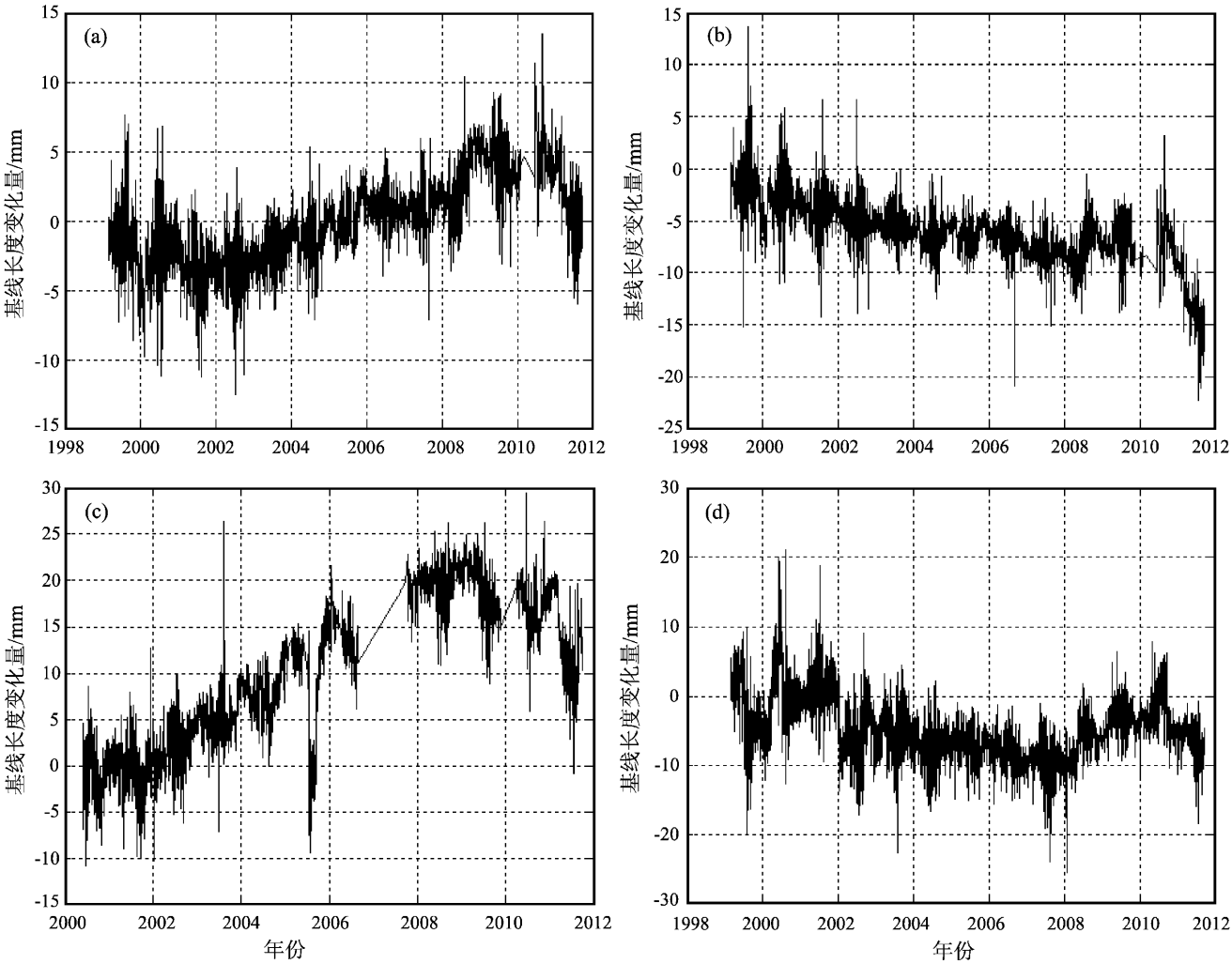


图 6 日本地震后缩短的 GPS 基线时间序列

(a) HJAR - BJSH 基线；(b) HJAR - JIXN 基线；(c) CHUN - SHAO 基线；(d) WUHN - LUZH 基线

Fig. 6 Shortening GPS baseline timeseries after Japan M9.0 earthquake



的 3 种变化特征与距震中的距离、基线的方向、长度以及和区域构造的不均匀性有关，是构造变形在时空上的非均匀变化、基线长短和方向不同等多种因素共同影响的结果。

5 认识与讨论

(1) 日本地震对中国大陆 GPS 基准站的影响

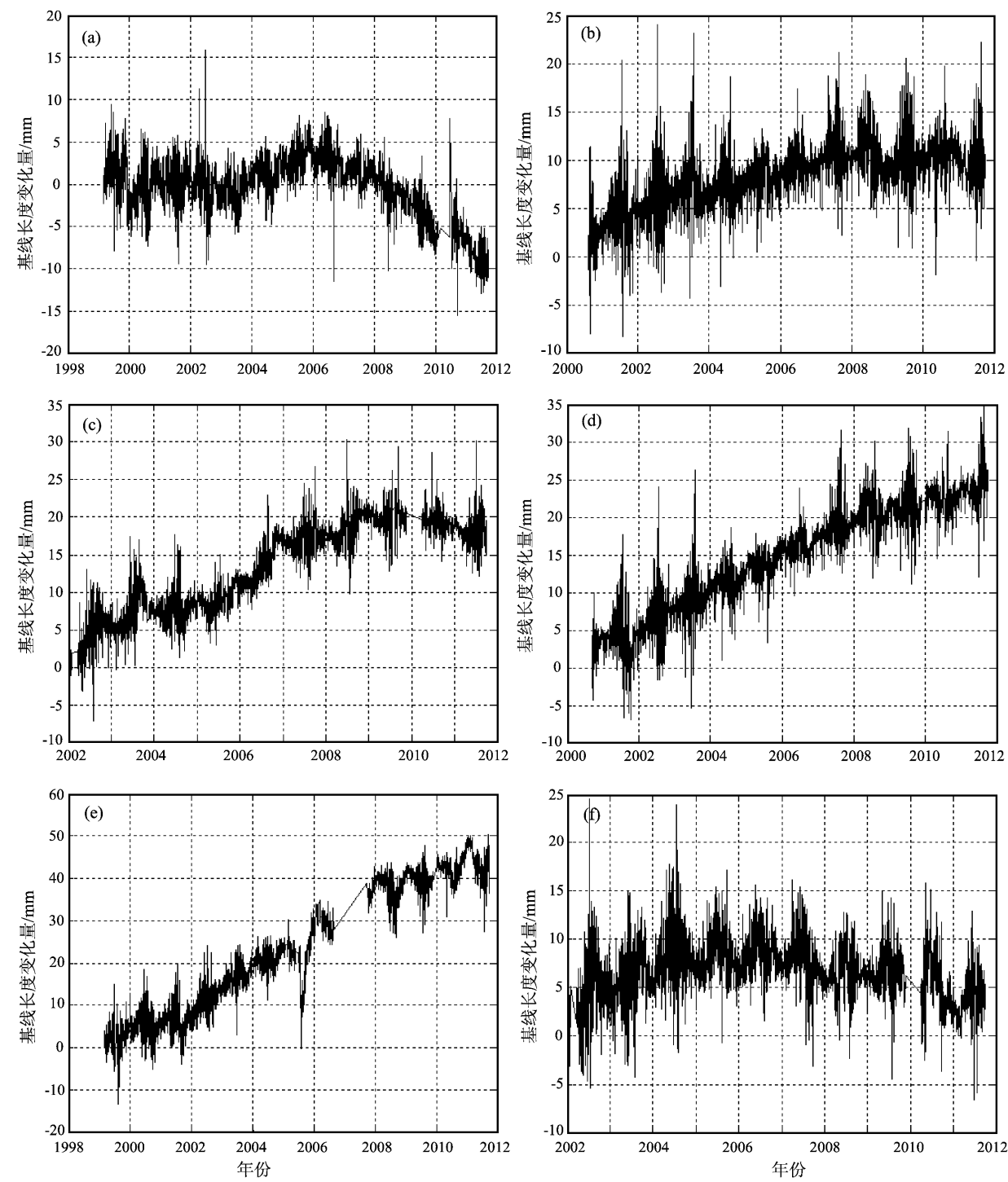


图 7 2006 或 2008 年后趋势性异常仍然存在的 GPS 基线时间序列  
(a) HLAR - YANC 基线; (b) BJSH - TAIN 基线; (c) BJFS - ZHNZ 基线;  
(d) JIXN - TAIN 基线; (e) JIXN - SHAO 基线; (f) TAIN - ZHNZ 基线  
Fig. 7 GPS baseline timeseries of trend anomaly after 2006 or 2008

主要表现在水平向坐标时序分量上，地震对我国东北和华北地区的 GPS 基准站造成了毫米至厘米级的同震水平位移。东北地区的 GPS 基准站东向和南向位移都较显著，华北地区的测站东向位移量显著，南向位移不明显，同震位移量向西迅速

衰减。日本地震造成的我国 GPS 基准站垂向位移很微弱，GPS 的定位精度还无法检测到。

(2) 通过日本 9.0 级地震前日本境内及周边 IGS 基准站基线时序结果分析，日本境内的 GPS 基线 USUD - TSKB 的运动趋势在 2008 年出现转折，

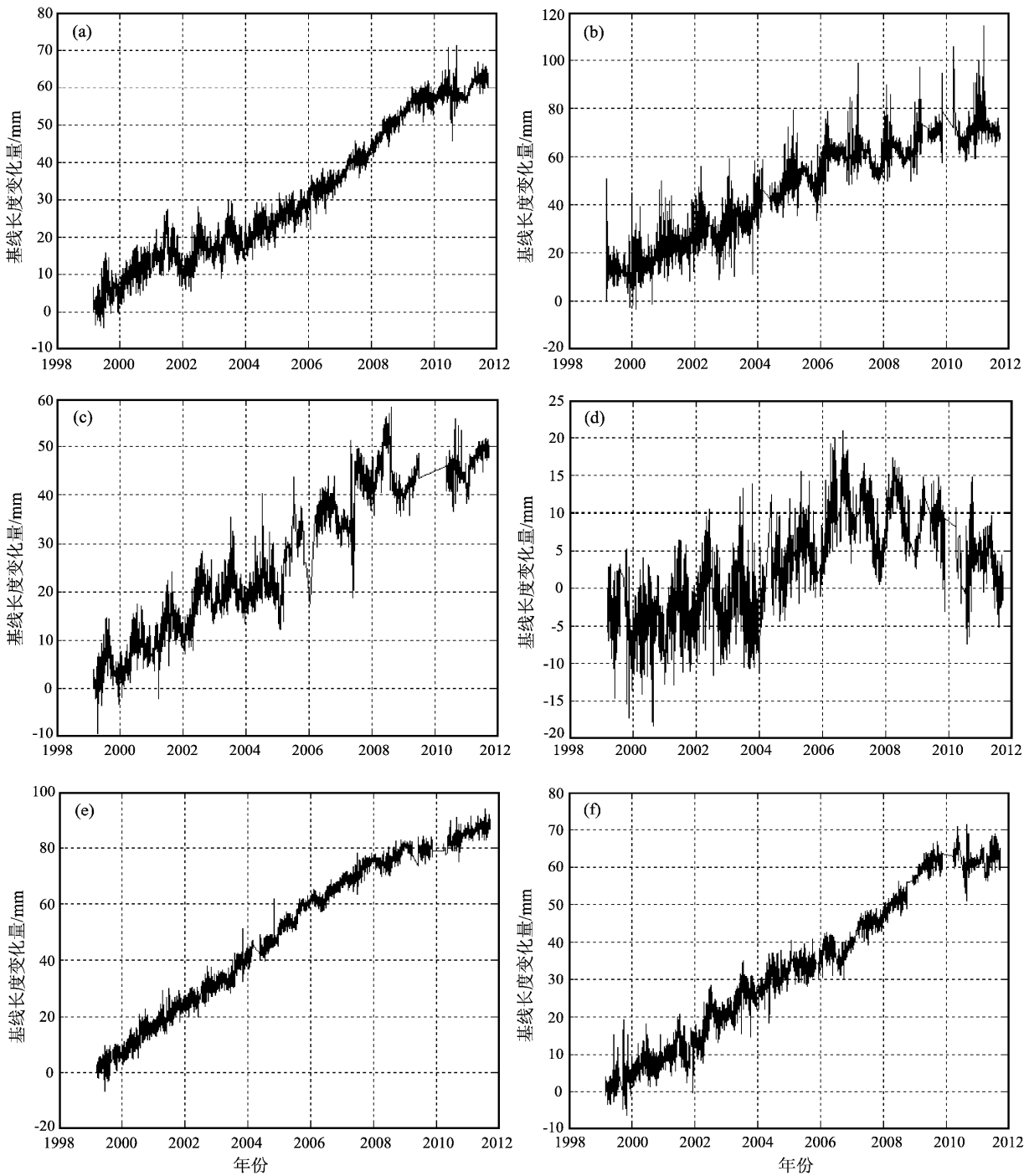


图 8 西部地区 2008 年或 2010 年以来伸长速率减缓的 GPS 基线时间序列  
(a) DLHA - WUSH 基线; (b) XIAG - KMIN 基线; (c) URUM - DLHA 基线;  
(d) LHAS - KMIN 基线; (e) LUZH - KMIN 基线; (f) WUSH - LHAS 基线

Fig. 8 GPS baseline timeseries of stretch rate turn to slow since 2008 or 2010 in West China

2008~2011 年在地震前 3 年多的时间内,东西向展布 USUD-TSKB 基线处于相对闭锁的状态,笔者分析认为这种闭锁可能是大震前的一种临界状态。

(3) 我国西部地区 GPS 基线受日本地震影响小,东部地区 GPS 基线时间序列受日本地震的影响,震后的变化基本上可分为 3 类:部分基线在日本地震后有所缩短,如 HLAR-BJSH、CHUN-SHAO 和 HLAR-JIXN 基线;部分基线震后开始转折拉伸,如 BJFS-JIXN、BJSH-JIXN、BJSH-YANC、CHUN-YANC、JIXN-YANC 和 CHUN-BJSH,因此日本地震在一定程度上缓解了这些基线近几年来的趋势性缩短;另外还有部分基线的变化趋势基本不受日本地震的影响,如 HLAR-YANC、BJSH-TAIN、BJFS-ZHNZ、JIXN-TAIN、JIXN-SHAO 和 TAIN-ZHNZ 基线自 2006 年或 2008 年以来的趋势性异常变化至今仍然存在。

感谢薄万举研究员对本工作的指导和武艳强高级工程师提供的 GPS 基线计算程序。

#### 参考文献:

- 黄立人,符养. 2007. GPS 连续观测站的噪声分析[J]. 地震学报, 29(2):197-202.
- 黄立人,高颀龙,任立生,等. 2006. 关于 NEU(ENU) 坐标系统[J]. 大地测量与地球动力学, 26(1):97-99.
- 黄立人. 2006. GPS 基准站时间序列的噪声特性分析[J]. 大地测量与地球动力学, 26(2):31-33.

- 敬少群,王佳卫,吴云,等. 2006. 用 GPS 时间序列获取中国大陆微动态应变场[J]. 地震学报, 28(5):478-484.
- 孔祥元,郭际明,刘宗泉,等. 2001. 大地测量学基础[M]. 武汉:武汉大学出版社.
- 王敏,李强,王凡,等. 2011. 全球定位系统测定的 2011 年日本宫城  $M_w 9.0$  级地震远场同震位移[J]. 科学通报, 56(20):1593-1596.
- 王敏,沈正康,董大南. 2005a. 非构造形变对 GPS 连续站位置时间序列的影响和修正[J]. 地球物理学报, 48(5):1045-1052.
- 王敏,张祖胜,许明元. 2005b. 2000 国家 GPS 大地控制网的数据处理和精度评估[J]. 地球物理学报, 48(4):817-823.
- 王敏. 2007. GPS 数据处理方面的最新进展及其对定位结果的影响[J]. 国际地震动态, (7):3-8.
- 武艳强,江在森,杨国华. 2007. 最小二乘配置方法在提取 GPS 时间序列信息中的应用[J]. 国际地震动态, (7):99-103.
- 武艳强,江在森,杨国华. 2009. 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, 32(3):306-311.
- 杨国华,张风霜,武艳强,等. 2007. GPS 基准站坐标分量噪声的时间序列与分类特征[J]. 国际地震动态, (7):80-86.
- 尹继尧,朱元清. 2011. 日本 9.0 级地震断层分布和错动方式探讨[J]. 大地测量与地球动力学, 31(2):12-16.
- 张风霜,武艳强. 2011. 中国大陆内部 GPS 连续观测站基线分析[J]. 地震研究, 34(3):337-343.
- DeMets C, Gordon R G, Argus D F, et al. 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions[J]. Geophys Res Lett, 21(20):2191-2194.
- Herring T A, King R W, McClusky S C. 2010. GAMIT Reference Manual: GPS Analysis at MIT. Release 10.4 [M]. Cambridge MA: Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.

## Analysis of GPS Baseline Time Series before and after Tohoku-oki $M9.0$ Earthquake in Japan in 2011

ZHANG Feng-shuang, ZHAN Wei, Sun Dong-ying

(First Crust Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China)

#### Abstract

By the use of the data recorded by reference stations of the Project of "China Crust Movement Measuring Network" and IGS reference stations at the surrounding of the mainland of China including Japan from early 1999 to Sep., 2011, we analyze the variations of baseline time-series recorded by IGS reference stations before the Tohoku-oki  $M9.0$  earthquake on Mar. 11, 2011 in Japan and its surrounding. Then we discuss about the co-seismic influence of Tohoku-oki  $M9.0$  earthquake to the GPS reference stations in China, and summarize the changes of GPS baseline time series in China after the earthquake in Japan. By analyzing changes of GPS baseline time-series, we think that some GPS baseline time-series in the east of China turn to stretch after Tohoku-oki  $M9.0$  earthquake, which can relieve its shortening tendency in some extent. However, there also exist some GPS baseline time-series whose tendency variations are almost not influenced by Tohoku-oki  $M9.0$  earthquake, and its trend anomaly have kept for years in recent years.

**Key words:** GPS reference station; baseline time-series; co-seismic deformation field; Japan  $M9.0$  earthquake