

朱爽,杨博.利用 GPS 资料研究天津地区近期运动特征[J].地震工程学报,2018,40(增刊):53-58.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.053

ZHU Shuang, YANG Bo. Recent Movement Characteristics of Tianjin Area Using GPS Data[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(Supp): 53-58. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.053

利用 GPS 资料研究天津地区近期运动特征

朱 爽, 杨 博

(中国地震局第一监测中心, 天津 300180)

摘要: 利用最新 GPS 连续站与流动站观测数据, 得到天津地区的速度场及时间序列结果, 结合区域应变时间序列, 分析天津地区近期运动特征。结果表明: 从速度场结果来看, 天津地区 2013—2017 期的速度场较周围区域数值较小, 水平运动较弱; 从水平时间序列结果来看, 天津地区的 GPS 测站以稳定的速度向东南运动, 从垂直时间序列来看, 北部以稳定的速率上升, 南部以稳定的速率下降; 从区域应变结果来看, 整体以稳定的速率积累, 没有明显的变化。

关键词: 天津地区; 速度场; 水平时间序列; 垂向时间序列; 区域应变

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)增刊-0053-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.Supp.053

Recent Movement Characteristics of Tianjin Area Using GPS Data

ZHU Shuang, YANG Bo

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

Abstract: Here, the recent movement characteristics in Tianjin area are analyzed by velocity field and time series results obtained based on the latest GPS observation data and the regional strain time series. The results show that (1) the velocity field in Tianjin area during 2013—2017 is lower than that of the surrounding area, and the horizontal motion is relatively weak; (2) GPS stations in Tianjin area move southeastward at a steady speed; the GPS stations in northern Tianjin rise at a steady rate, and those in southern Tianjin descend at a stable rate; (3) the regional strain in the study area accumulates at a steady rate, with no obvious change.

Keywords: Tianjin area; velocity field; horizontal time series; vertical time series; regional strain

0 引言

天津地区地处燕山南缘构造带、NNE 向唐山—磁县地震构造带和 NW 向张家口—渤海构造带的交汇地区, 构造复杂。天津地区发育 NNE 向和 NW—EW 向两组断裂, 将该区地壳分割成不同的

地块^[1]。张家口—渤海地震构造带和华北平原地震构造带在 1966—1976 年和 1989—1998 年地震活跃幕中都发生过较强地震或者大地震, 是现代构造活动性较强的地带^[2]。

随着中国地壳运动观测网络(简称“网络工程”), 有 27 个连续站和 1 000 个流动站, 1999 年开

收稿日期: 2017-12-20

基金项目: 国家自然科学基金(41474002)

第一作者简介: 朱 爽(1987—), 女, 工程师, 主要从事 GNSS 数据处理与分析研究。E-mail: shzhu1026@163.com。

始观测)和中国大陆构造环境监测网络(简称“陆态网络”,在网络工程基础上扩建至 260 个连续站、2 000 个流动站,流动站从 2009 年开始观测,新建连续站从 2010 年中陆续开始观测)以及天津 CORS 网的建立^[3-4],天津地区目前拥有 GPS 连续且有相应密度的流动观测网络。利用 GPS 数据,许多专家已经进行了相应的研究,并取得了丰富的成果。黄立人等^[5]及任立生等^[6]利用 GPS 资料分析了天津地区的水平、垂直运动情况;郭良迁等^[7]分析了天津地区的水平应变场特征;王东振等^[8]认为京津唐地区的应力场较大,值得进一步关注。另外更多的专家^[9-13]分析了包含天津地区在内的大华北区域的水平形变。

综上所述,利用 GPS 观测资料进行天津地区近期运动特征的分析已经积累了丰富的经验,本文将结合最新收集到的 2006—2017 年天津地区连续站及流动站速度场结果,通过速度场、水平时间序列、垂向时间序列及区域应变分析来解释天津地区近期的运动特征,以期能为天津地区地震趋势判定提供依据。

1 GNSS 数据处理

收集网络工程和陆态网络 GPS 连续站与流动站 2006—2017 年的观测数据及全球 77 个 IGS 站数据。首先利用 GAMIT/GLOBK 软件对上述资料进行解算,得到测站坐标及卫星轨道的单日松弛解。解算策略如下:截止卫星高度角为 15° ;基线处理模式为 RELAX(松弛解);卫星钟差模型为精密星历误差的钟差参数;接收机钟差改正模型为伪距计算出的钟差;电离层延迟模型为 LC-HELP;对流层模型为 Saastamoinen 模型;光压模型为 BERNE;固体潮改正为 IERS03;测站坐标约束为 0.010 m, 0.010 m 及 0.010 m;对流层参数设置为 13。然后利用 QOCA 软件对上述多个单日松弛解进行整体平差,选取分布于全球的 47 个 GPS 测站作为框架点,经过平差计算得到 ITRF2005 框架下的速度场及测站时间序列。在解算过程中为了减小 2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震的影响,先利用 GPS 连续观测数据计算得到该地震引起的同震位移,在求解速度场时扣除了上述同震影响。最后得到 2013—2017 期中国大陆速度场。

2 速率场分析

上文得到了中国大陆在 ITRF 参考框架下的水平速度场。由于天津地区区域较小,需结合周边区域一同进行速度场的分析,所以选取了包含天津地区在内的张家口—渤海地震带的速度场结果进行下一步统一处理。首先剔除了所选区域速率的欧拉运动,获得相对于区域无旋转基准下的运动结果,然后再利用多核函数来进行空间滤波,得到了滤波后的速度场^[14-19](图 1)。

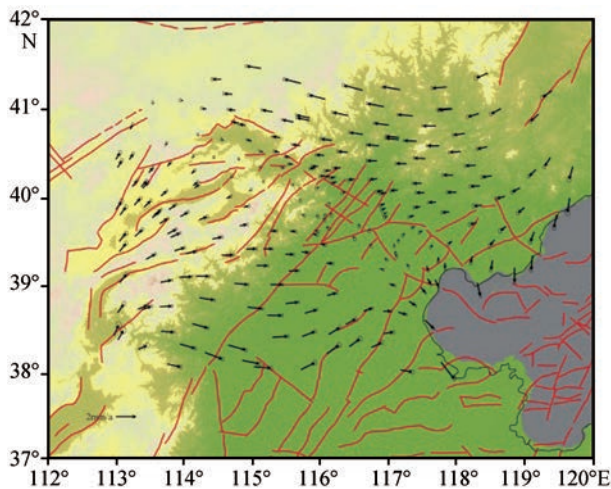


图 1 天津地区 2013—2017 期速度场结果

许多研究证实张家口—渤海地震带为左旋活动带。从本文的结果中也得到了验证:张家口—渤海地震带主要以左旋运动为主,运动速率方向特征明显,速率较大;天津地区的速度场相对周边区域来说运动速率较低,成一种微弱的左旋运动,是整个张家口—渤海地震带区域的低值区,相对来说水平运动较弱,值得进一步关注。

3 连续站坐标时间序列分析

本文得到天津地区 19 个 GPS 连续站的时间序列结果(图 2)。根据断裂带的分布,我们将天津地区分为北、中南三个区域进行分析,其中宝坻断裂带、蓟运河断裂带及其北为北部,廊坊—武清断裂、海河断裂及其南为南部。我们将分区进行分析对比。

(1) 天津北部地区

JIXN、TJA2、TJBD 及 CH02 四个测站分布于天津北部地区,其时间序列结果如图 3 所示。从图中可以看出,四个测站在水平方向上都是以东南向运动为主,其中受到日本“3·11”地震的影响,每个测站

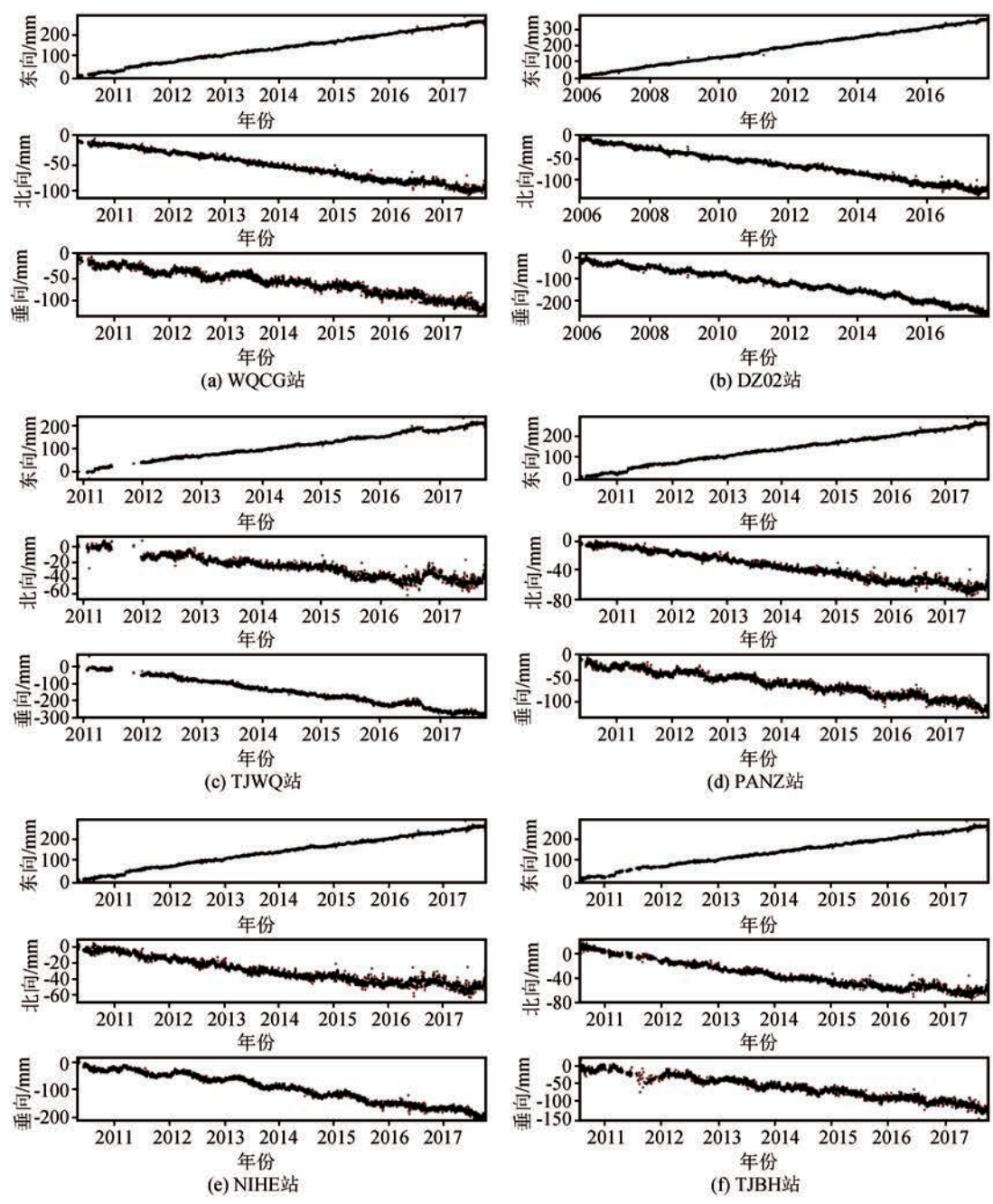


图 4 天津中部地区 GPS 测站时间序列

样都受到了“3·11”地震的同震位移,其中 QING 测站(9.51 ± 1.52) mm,CH01 测站(9.71 ± 1.46) mm,SW01 测站(9.16 ± 1.77) mm,KC02 测站(9.32 ± 1.57) mm,JHAI 测站(7.89 ± 1.53) mm,GGSL 测站(9.47 ± 1.56) mm,KC01 测站(10.89 ± 1.74) mm,XUZZ 测站(9.27 ± 1.76) mm,DZ01 测站(9.47 ± 1.65) mm。垂直方向上,南部地区的九个测站都是垂直向下运动,同样符合天津地区“北升南降”的活动构造运动,且南部的测站运动速率较中部更快。

4 应变时间序列分析

三个以上 GNSS 连续站结果可以进行区域变形特征分析,其中主应变时序结果可以直观反映变形动态。本文一共计算了五组跨断裂带的应变时间序列,结果如图 6 所示。其中 JIXN_TJA2_TJBD_CH02 区域应变跨越宝坻断裂带及蓟运河断裂带,位于天津地区的北部;TJA2_TJBD_TJWQ_WQCG_DZ02 区域应变跨越廊坊—武清断裂带,PANZ_NIHE_TJBH 区域应变跨越海西断裂带,位于天津

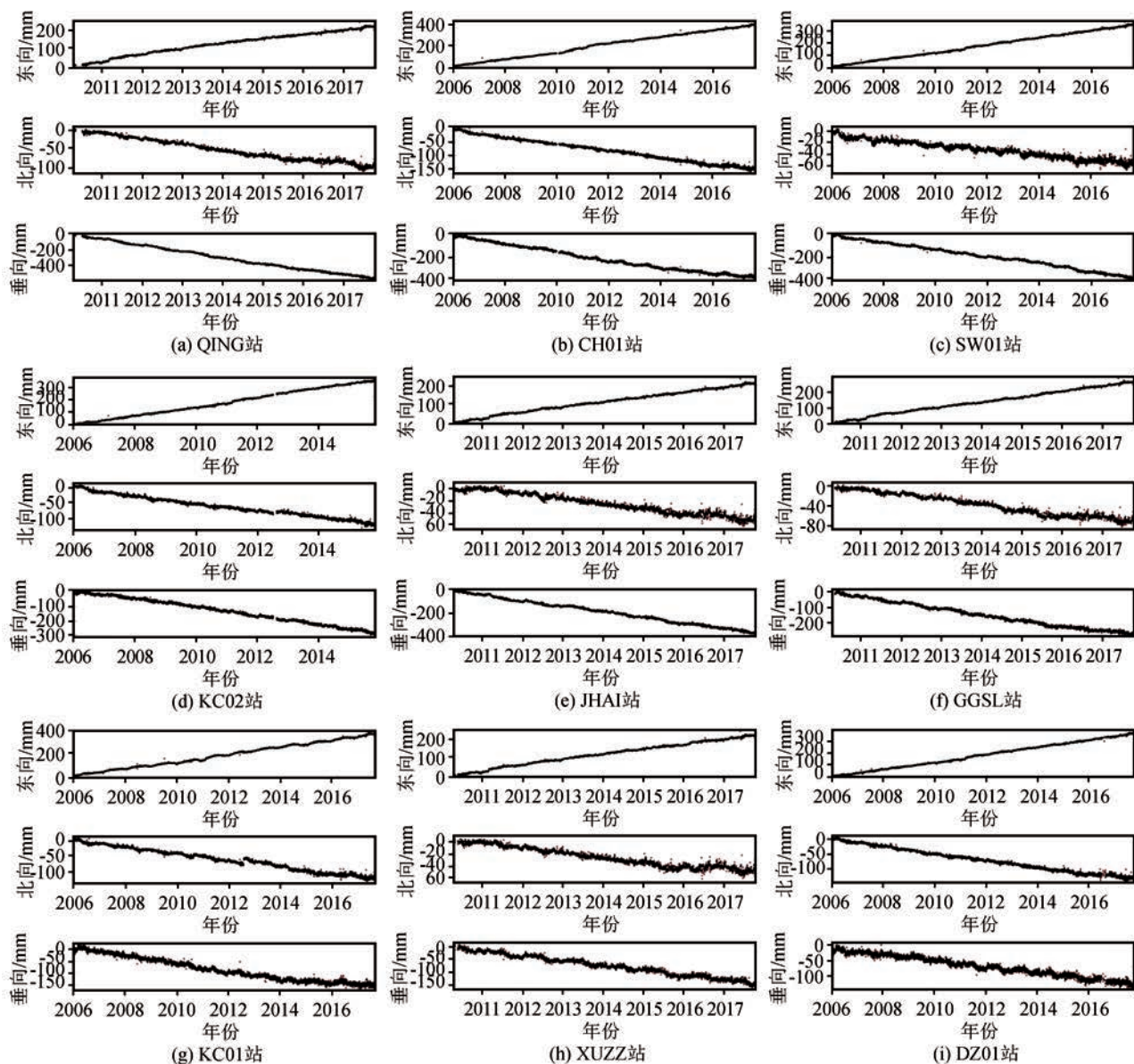


图 5 天津南部地区 GPS 测站时间序列

地区的中部;QING_CH01_SW01_JHAI 区域应变和 KC01_GGSL_XUZZ_DZ01 区域应变位于天津地区的南部。图中实线为趋势线。

从图 6 可以看出,天津地区的区域应变整体以稳定的速率积累,没有明显的变化。天津北部区域的主张、主压应变都在稳定地增加。天津中西部的主张应变在减小,主压应变在增加;其中东部的主压应变在微弱地增加,以潘庄西断裂带为界,两侧的区域主压应变趋势相反。天津西南部的区域应变是以主压应变为主,主张应变的变化较小,主压应变呈稳定的增加趋势,说明挤压应力一直在积累,值得进一步的跟踪;东南部的主张应变有所增加,主压应变也有微弱的增加,整体成微弱拉张的

趋势。

5 结论与讨论

本文基于 2006 年以来的 GPS 观测数据,得到了天津地区的速度场及时间序列结果,结合区域应变时间序列,分析了天津地区近期运动特征。结果表明:从速度场结果来看,天津地区 2013—2017 期的速度场较周围区域较小,水平运动较弱;从水平时间序列结果来看,天津地区的 GPS 测站以稳定的速度向东南运动,东向都受到了日本“3·11”地震的影响,从而产生了同震位移,从垂直时间序列来看,北部以稳定的速率上升,南部以稳定的速率下降;从区域应变结果来看,整体以稳定的速率积累,没有明显的变化。

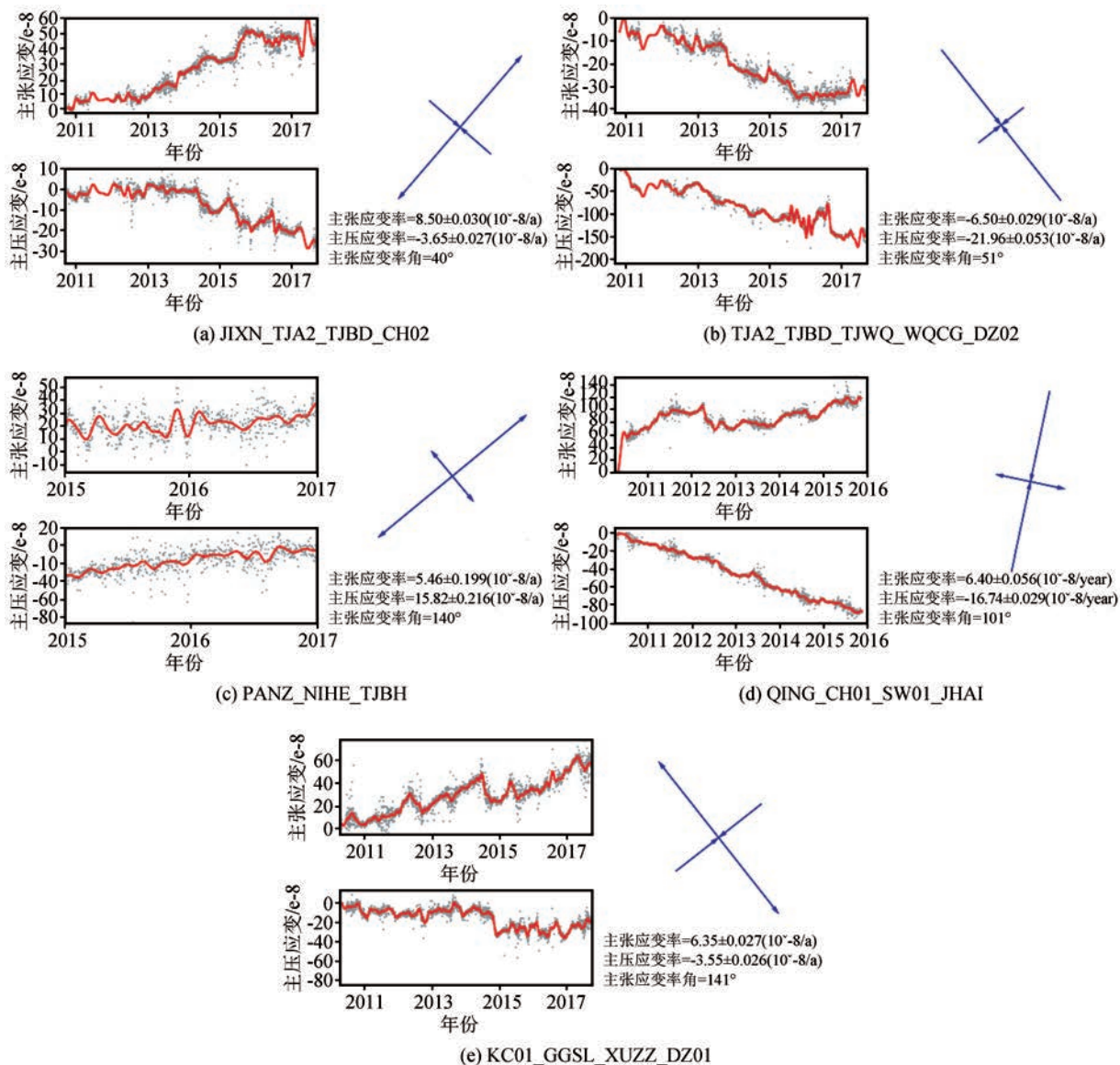


图6 区域应变结果图(其中各小图中左上为主张应变时间序列,左下为主压应变时间序列,右边为主压应变方位角及相关数值)

参考文献

- [1] 塔拉,郭良迁,刘峡,等.天津地区 GPS 站点的微动态变化特征研究[J].大地测量与地球动力学,2012,32(5):27-32.
- [2] 周海涛,郭良迁,薄万举,等.天津地区地壳垂向形变(GPS)与文安地震[J].大地测量与地球动力学,2010,30(5):32-37.
- [3] 牛之俊,马宗晋,陈鑫连,等.中国地壳运动观测网络[J].大地测量与地球动力学,2002,22(8):88-93.
- [4] 李强,游新兆,杨少敏,等.中国大陆构造变形高精度大密度 GPS 监测——现今速度场[J].中国科学 D 辑,2012,42(5):629-632.
- [5] 黄立人,匡绍君,杨贵业.GPS 观测得到的天津地区的现今形变[J].大地测量与地球动力学,2002,22(4):17-20.
- [6] 任立生,黄立人,周俊,等.天津 GPS 沉降监测的十年试验结果

[J].测绘科学,2006,31(4):17-19.

- [7] 郭良迁,薄万举,胡新康.天津地区的水平应变场特征[J].大地测量与地球动力学,2010,30(5):8-14.
- [8] 王东振,赵斌,余建胜,等.大规模 GPS 揭示中国现今地壳构造形变特征[J].地震工程学报,2017,39(3):0521-0526.
- [9] 许才军,李志才,王华.华北地区活动地块运动时空变化特征[J].大地测量与地球动力学,2002,22(3):33-40.
- [10] 张跃刚,帅平,胡新康,等.从 GPS 观测看华北地区的形变场演化[J].大地测量与地球动力学,2006,26(1):36-41.
- [11] 杨国华,韩月萍,周晓燕.华北地壳运动新特征[J].大地测量与地球动力学,2002,22(3):28-33.
- [12] 殷海涛,李杰,张玲,等.基于 GPS 观测网的山东地区地壳运动特征分析[J].西北地震学报,2008,30(3):276-281.

(下转第 89 页)

表 3 福州场地土层最佳回归分析方程及拟合优度表		
土体类型	推荐最优回归方程	拟合优度
淤泥	$v_s=82.271+2.657\ 9H-0.002\ 5H^2$	0.683 3
淤泥质土	$v_s=110.14e^{0.018\ 7H}$	0.505 4
淤泥夹砂	$v_s=128.94+3.592\ 8H+0.005\ 4H^2$	0.846 2
粉细砂	$v_s=128.94+3.592\ 8H+0.005\ 4H^2$	0.844 1
中粗砂	$v_s=124.37+4.720\ 3H-0.012\ 1H^2$	0.804 8
粉质黏土	$v_s=134.01+5.440\ 2H-0.027\ 2H^2$	0.739 7
残积土	$v_s=216.72+3.522\ 5H-0.009\ 2H^2$	0.548 2
卵石类	$v_s=257.9e^{0.126\ 3H}$	0.276 1

另外由于不同测试人员水平或者设备的原因,可能存在测试精度的问题。

本文推荐的统计公式可被参考使用在福州市区地下 70 m 深度范围的淤泥类、砂土类、粉质黏土类土体的剪切波速预测。

参考文献

[1] 工程场地地震安全性评价:GB17741-2005[S].北京:中国标准

出版社,2005.

[2] 汪闻韶.土地震减灾工程中的一个重要参量——剪切波速[J].水利学报,1994,25(3):80-84.

[3] 陈国兴,徐建龙,袁灿勤.南京城区岩土体剪切波速与土层深度的关系[J].南京建筑工程学院学报,1998,45(2):32-37.

[4] 刘红帅,郑桐,齐文浩,等.常规土类剪切波速与埋深的关系分析[J].岩土工程学报,2010,32(7):1142-1149

[5] 战吉艳,陈国兴,刘建达.苏州城区深软场地土剪切波速与土层深度的经验关系[J].世界地震工程,2009,25(2):11-17.

[6] 董非著,陈国兴,金丹丹.福建沿海 3 个盆地的土层剪切波速与深度的统计关系[J].岩土工程学报,2012,35(增刊 2):145-151.

[7] 李帅,赵纯青,刘志坚.新疆天山地区土层剪切波速与土层埋深的经验关系[J].世界地震工程,2014,30(2):208-214.

[8] 齐鑫,丁浩.下辽河平原区剪切波速与土层埋深关系分析[J].世界地震工程,2012,28(3):151-156.

[9] 孔宇阳,雷东宁,廉超等.武汉市区土体剪切波速与深度的经验关系[J].地震工程学报,2017,39(2):336-342.

(上接第 58 页)

[13] 郭良迁,马青,杨国华.华北地区主要构造带的现代运动和应变[J].国际地震动态,2007(7):67-75.

[14] 杨国华,杨博,武艳强,等.应变计算与分析的若干问题及有关偏差的修正[J].大地测量与地球动力学,2010,30(4):59-63.

[15] 杨博,张风霜,占伟,等.水平运动场滤波的尝试及其应变计算[J].大地测量与地球动力学,2010,30(5):106-112.

[16] 杨国华,江在森,武艳强,等.中国大陆整体无净旋转基准及其

应用[J].大地测量与地球动力学,2005,25(4):6-10.

[17] 杨国华,韩月萍,杨博.川滇地区地壳水平运动与变形场的演化特征及其机制讨论[J].地震研究,2009,32(3):275-282.

[18] 杨博,周伟,陈卓超.断裂区带变形分析方法及应用[J].西北地震学报,2010,32(3):215-219.

[19] 杨博,张风霜,韩月萍.球面水平应变场无偏差计算与滤波[J].地震研究,2011,34(1):59-66.