

文章编号:1671-5942(2013)06-0049-04

## 李七庄基岩点垂直形变趋势研究<sup>\* 1</sup>

陈阜超<sup>1,2)</sup> 纪 静<sup>3)</sup> 韩月萍<sup>2)</sup> 陈聚忠<sup>2)</sup>

(1) 武汉大学测绘学院, 武汉 430079  
(2) 中国地震局第一监测中心, 天津 300180  
(3) 天津市地震局, 天津 300201

**摘 要** 通过对首都圈地震垂直形变监测网和天津市控制地面沉降监测网的一等水准观测成果的计算分析, 找到相对稳定的参考点或参考基准进行拟稳平差, 并结合 GPS 连续站观测计算结果比对分析, 发现李七庄基岩点近年来以 2.5 mm/a 的速率下沉。

**关键词** 基岩点; 拟稳点; 基准; 水准测量; GPS

中图分类号: P315.72+5

文献标识码: A

## RESEARCH ON VERTICAL STABILITY OF LIQIZHUANG BEDROCK POINT

Chen Fuchao<sup>1,2)</sup>, Ji Jing<sup>3)</sup>, Han Yueping<sup>2)</sup> and Chen Juzhong<sup>2)</sup>

(1) School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079  
(2) First Crust Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180  
(3) Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201

**Abstract** The relatively stable reference point or benchmark and was found according to the concept of “relatively stable” and it was used to analyze stability of the leveling points and evolution of the motion state with the data from the Capital Circle Vertical Deformation Monitoring Network and the Control Land Subsidence Monitoring Network in Tianjin. The results combined with the analysis results of GPS data indicate that Liqizhuang bedrock point is sinking at 2.5 mm/a in the recent years.

**Key words:** bedrock point; Quasi-stable point; benchmark; leveling; GPS

### 1 引言

1988 年以前天津市水准测量起算点为宝坻原点, 但宝坻原点距天津水准测量点较远, 为减少测量误差, 于 1998 年正式启用了李七庄基岩点。

李七庄基岩点座落在天津市测绘院大门门房内, 是一座钢管基岩标, 主标杆到基岩的埋深约

1 087 米, 基岩为寒武系灰质白云岩。钢管基岩标设有三层保护管, 管壁间设有扶正器, 主标杆是滚珠扶正器, 管壁间由葱油填充。

碳 C<sup>14</sup> 测年表明该区全新世下段沼泽相泥炭灰土层地层沉积速率约为 2 mm/a, 李七庄基岩点是否随之运动, 现今的构造运动趋势和规律如何? 需要用实测结果证明。

\* 收稿日期: 2013-05-29

基金项目: 中国地震局地震行业专项(201208006); 中国地震局地震科技星火计划项目(XH13037Y)

作者简介: 陈阜超, 男, 1985 年出生, 工程师, 博士研究生, 主要从事大地形变测量工作。E-mail: chenfuchao1985@gmail.com

通讯作者: 纪静, 女, 1984 年生, 工程师, 主要从事地震工程研究。E-mail: jijing841025@gmail.com

2 数据计算

研究数据来源于首都圈地震垂直形变监测网 6 期的一等水准测量资料和天津市地面沉降监测网的一等水准测量 18 期资料,共约 55 000 km。经过水准路线拼环检查,全部水准观测资料均符合一等精密水准的有关要求。首都圈垂直形变监测网的水准测量所用资料为 1992—2007 年,复测时间分别为 1992、2000、2001、2003、2005、2007 年。天津市地面沉降监测网的成果从 1990—2007 年。在两个复测水准网中包含有一直较稳定的北京原点、玉渊潭原点、宝坻原点等。

资料计算采用分段动态线性速率模型,按时间顺序分别进行。相邻各期资料的基本情况为:第一期与第二期的公共测点 433 个,观测路线总长 4 524 km(图 1);第二期与第三期的公共测点 466 个,观测路线总长 4 507.4 km;第三期与第四期的公共测点 351 个,观测路线总长 3 250.9 km;第四期与第五期的公共测点 510 个,观测路线总长 3 731.9 km(图 2);第五期与第六期的公共测点 626 个,观测路线总长 4 825.7 km(图 3)。由于 2001 年前后两期的速率误差较大,故没有采用。为此,又选用了一些非相邻两期资料进行计算,其基本情况为:第一期与第六期的公共测点 288 个,观测路线总长 4 646.9 km(图 4),第二期与第六期的公共测点 328 个,观测路线总长 4 612 km(图 5),第二期与第四期的公共测点 358 个,观测路线总长 3 329 km<sup>[1]</sup>(图 6)。

为了提高模型计算精度和可信度,计算时尽量选取同网形同年代的观测资料,即便如此,但还是受所测资料的限制,选用的几期资料的水准路线组成的水准网形还是有些差异。为此,我们仅根据 1990—2007 年一等水准网静态平差计算成果,用线性回归方法分析李七庄基岩点相对于宝坻原点的变化规律。另外还计算了 2006—2007 年 GPS 连续观测站 CH01 点的垂向变化与李七庄基岩点至 CH01

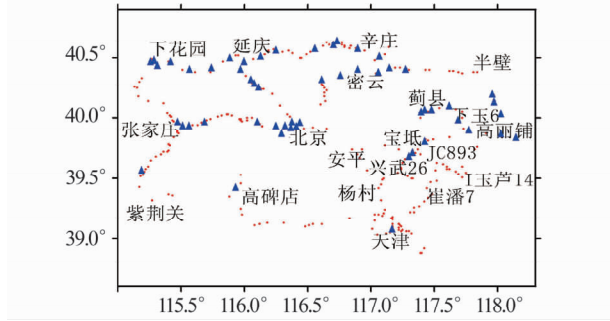


图 1 1992—2000 拟稳点分布图

Fig. 1 Distribution of quasi-stable points from 1992 to 2000

水准点之间的高差。  
计算采用相对稳定度<sup>[2]</sup>概念,即先找到相对稳定的参考点或参考基准,再进行拟稳平差,根据平差后的结果研究各水准点的稳定性与运动状态。

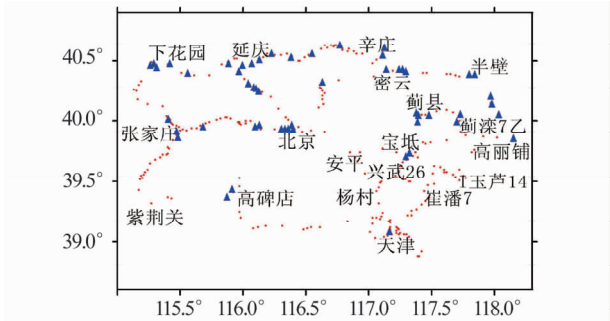


图 2 2003—2005 拟稳点分布图

Fig. 2 Distribution of quasi-stable points from 2003 to 2005

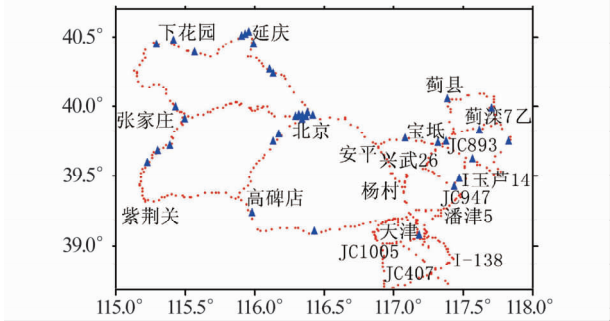


图 3 2005—2007 拟稳点分布图

Fig. 3 Distribution of quasi-stable points From 2005 to 2007

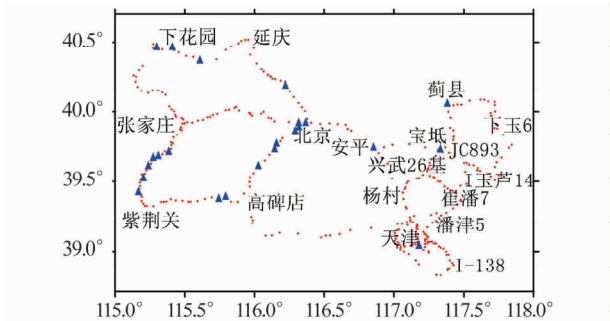


图 4 1992—2007 拟稳点分布图

Fig. 4 Distribution of quasi-stable points from 1992 to 2007

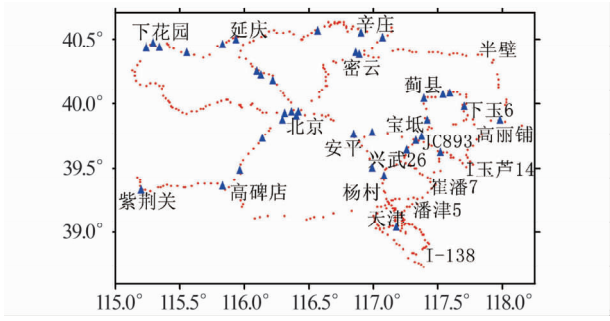


图 5 2000—2007 拟稳点分布图

Fig. 5 Distribution of quasi-stable points from 2000 to 2007

### 3 李七庄基准点稳定性分析

#### 3.1 李七庄基准点相对宝坻原点的变化

根据 1990—2007 年天津控制地面沉降水准测量网的测量结果,李七庄基岩点相对宝坻原点的高程变化如图 7 所示。

为分析李七庄基岩点的变化,先假定李七庄基岩点在测量时段内的高程变化为线性,然后利用线性回归方法进行计算,计算过程中将所有年份的高程值设为等权。计算结果求得李七庄基岩点的下沉速率为  $-1.3 \pm 0.32$  mm(图 7、8);若以每年的相对

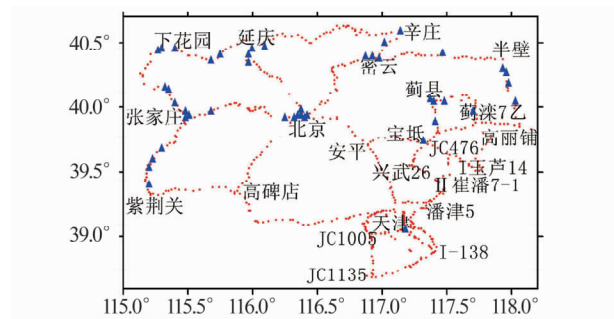


图 6 2000—2003 年拟稳点分布图

Fig. 6 Distribution of quasi-stable points From 2000 to 2003

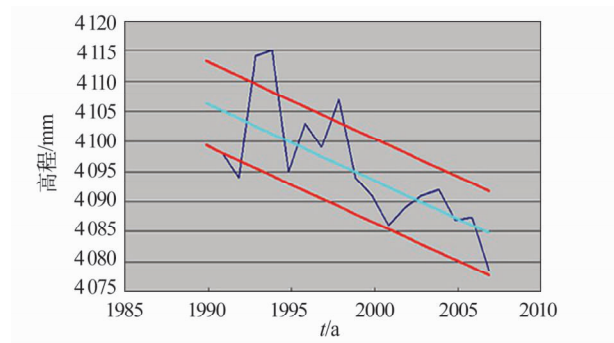


图 7 李七庄基岩点高程曲线线性模型估值

Fig. 7 Linear model valuation of elevation curve of Liqizhuang bedrock point

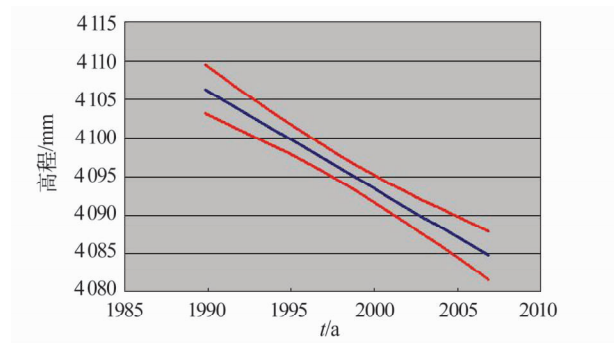


图 8 李七庄基岩点线性模型估值和误差区间

Fig. 8 linear model valuation and error burst of Liqizhuang bedrock point

变化量估计的中误差为  $\pm 7.0$  mm;如果按宝坻原点-李七庄基岩点的误差传播估计结果为  $\pm 9.9$  mm。说明七庄基岩点不稳定的波动结果可能是由误差传递造成的,并非是李七庄基岩点的真实变化。由于下沉速率  $-1.3$  mm/a 远大于其相应的中误差  $\pm 0.32$  mm/a,可以认为李七庄基岩点的趋势性变化为线性变化,即年均下沉 1.3 mm 是可信的。

#### 3.2 拟稳基准下李七庄基岩点的稳定性

为分析李七庄基岩点的稳定性,以北京原点作为参考基准进行自由网平差计算,得到的 6 期单位权中误差最大为  $\pm 1.04$  mm/ km<sup>1/2</sup>,最小为  $\pm 0.81$  mm/km<sup>1/2</sup>(表 1),并以此为依据再根据平差结果中速率相对稳定的点作为拟稳点(表 2)(由于数据量较大,仅给出部分拟稳点的速率及误差)进行拟稳平差,获得拟稳点的运动速率及相应的中误差如表 3 所示。

表 1 李七庄基岩点和宝坻原点的速率和中误差(单位: mm/a)

Tab.1 Rate and error of Liqizhuang bedrock point and Baodi origin point( unit: mm/a)

年	李七庄基岩点		宝坻原点		玉渊潭原点	
	速率	中误差	速率	中误差	速率	中误差
1992—2007	-3.22	0.68	-0.16	0.58	0.91	0.2
2000—2007	-3.31	1.37	-0.44	1.22	1.10	0.4
1992—2000	-1.82	1.38	0.67	1.19	0.75	0.43
2000—2003	-2.34	4.49	-2.56	4.26	0.37	1.29
2003—2005	-1.07	7.69	1.17	6.91	2.22	1.86
2005—2007	-3.59	8.18	-3.13	7.76	1.32	2.5

表 2 1992—2007 年部分拟稳点的速率与误差(单位: mm/a)

Tab.2 Rate and error of some quasi-stable points ( unit: mm/a)

点名	速率	误差	点名	速率	误差
宣京 8-1	0.23	0.68	I 包京 144	0.21	0.47
鸡鸣驿重力点	-0.24	0.68	I 包京岩 5	0.29	0.46
怀来基岩	0.41	0.67	I 南口	0.03	0.45
I 包京 128	-0.76	0.65	I 包京 154	-0.04	0.14
I 包京 134	0.34	0.58	北京原点	0	0
I 包京 137	-0.42	0.54	I 京石 1	0.34	0.13
I 包京 139	-0.42	0.53	玉渊潭原点	0.91	0.2
I 宣京 42	0.38	0.48			

表 3 部分基岩点的速率和中误差 (单位: mm/a)

Tab. 3 Rate and error of some bedrock points( unit: mm/a)

年	李七庄基岩点		宝坻基岩点		玉渊潭原点		北京原点	
	速率	中误差	速率	中误差	速率	中误差	速率	中误差
1992—2007	-3.19	0.61	-0.13	0.48	0.97	0.33	0.03	0.3
2000—2007	-3.3	1.22	-0.43	1.03	1.11	0.63	0.01	0.62
1992—2000	-1.97	1.24	0.51	0.95	0.59	0.67	-0.15	0.61
2000—2003	-1.72	0.42	-1.94	3.88	0.99	2.0	0.62	2.08
2003—2005	-2.67	6.72	-0.7	5.65	0.47	3.25	-1.76	3.1
2005—2007	-3.32	3.32	-2.86	6.51	1.59	4.27	0.27	4.03

从表 1 和表 3 可见,运动速率最大的是李七庄基岩点,最大时为 -3.22 mm/a,而绝大多数拟稳点的运动速率都在 -1.0 mm/a 以内,如北京原点只有 2003—2005 年这一期超过了 1.0 mm/a,其他均小于 1.0 mm/a。

从表 1 和表 3 还可见,北京原点的变化范围为 -1.76 ~0.62 mm/a,平均变化速率接近零;玉渊潭原点的变化范围为 -1.59 ~0.47 mm/a,平均约为 1 mm/a;宝坻原点的变化范围为 -2.86 ~0.51 mm/a,平均约为 -1 mm/a,从趋势性变化结果来看该点略有下沉,不到 -0.5 mm/a,但从最近的短期 3 个时段看,年变量约为 -2 mm/a;李七庄基岩点的变化范围为 -1.72 ~ -3.32 mm/a,平均约为 -2.5 mm/a。虽然年变量最大,但变化范围较小,也就是说年变量的变化区间较小,说明其稳定性较好。与宝坻原点之间的相对变化量约为 -1.5 mm/a,与前面的计算结果基本相吻合。

3.3 与 GPS 观测结果的对比

距李七庄基岩点不足 100 米有水准标志 CH01,在 CH01 水准标志所在建筑的楼顶有 GPS 连续观测站 CH01 点,自 2006 年 4 月开始观测。计算中 GPS 观测数据计算的截止时间 2007 年底,计算使用 GAMIT 后处理软件,采用 IGS 发布的精密星历,参考框架为 ITRF2005,用中国大陆及周边地区 IGS 站同步观测资料作为约束,计算得到 GPS 连续站 CH01 点的每日三维座标和中误差。

假设李七庄基岩点与 CH01 点在同一地点上,而在同一地点的大地高系统下的高程与正高系统下的高程变化量同步且相等<sup>[3]</sup>。这时分析可知,GPS 连续站 CH01 点的高程变化包含了地面沉降和基岩基底在内的所有升降运动变化的总和,而李七庄基岩点的高程(差)变化只包含地面沉降而不包含基岩点基底的升降变化。利用 GPS 连续站 CH01 点的垂直向计算结果和水准测量观测高差复测结果相比较<sup>[4-6]</sup>,可以得到相应的 CH01 点的 GPS 高程的变化量和 CH01 水准点相对于李七庄基岩点的高差(程)变化量。

4 结语

李七庄基岩点的变化量相对于宝坻原点的平均变化量为 -1.3 mm/a,拟稳基准下的变化量在 -1.72 ~ -3.32 mm/a,GPS 方法比对为 -2.7 ~ -0.6 mm/a,地质上这一区域的 C<sup>14</sup>测年沉积速率在 1.54 ~1.96 mm/a。因此,综合推估李七庄基岩点存在约 -2.5 mm/a 的下沉变化。

参 考 文 献

1 陈聚忠,等. 天津市地面沉降监测网高程基准稳定性研究 [R]. 中国地震局第一监测中心,2008. (Chen Juzhong, et al. On the stability of elevation benchmark in Tianjin land subsidence monitoring network [R]. First Crust Monitoring and Application Center,CEA,2008)

2 黄立人. 宝坻原点的变化及天津地面沉降监测结果的订正[J]. 测绘科学,1993,(3):6-8. (Huang Liren. Correction of Tianjin Baodi bedrock point and Tianjin subsidence monitoring results[J]. Science of Surveying and Mapping, 1993,(3):6-8)

3 杨建图,等. GPS 测量地面沉降的可靠性及精度分析[J]. 大地测量与地球动力学,2006,(6):70-75. (Yang Jian-tu,et al. Analysis of reliability and accuracy in subsidence measurement with GPS technique [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2006,(6):70-75)

4 黄立人,等. GPS 连续站在地面沉降监测中的应用[J]. 工程地质学报,2005,13(1):94-97. (Huang Liren, et al. Application of GPS continuous station to ground subsidence monitoring [J]. Journal of Engineering Geology, 2005, 13 (1):94-97)

5 周海涛,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,(2):32-37. (Zhou Haitao et al. Study on the relationship between Wenan earthquake and vertical crustal deformation with GPS in Tianjin area[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2010,(2):32-37)

6 塔拉,等. 天津地区 GPS 站点的微动态变化特征研究 [J]. 大地测量及地球动力学,2012,(5):27-32. (Ta La, et al. Micro-dynamic characteristics of GPS sites in Tianjin area[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2012,(5): 27-32)