

代宪鹏, 吴晓峰, 宋 浩, 等. 郯庐断裂带晓店场地改造与点位稳定性定量分析[J]. 华南地震, 2017, 37(S1): 61–65. [DAI Xianpeng, WU Xiaofeng, SONG Hao, et al. The Reconstruction of the Xiaodian Site in Tanlu Cross-Fault Zone and Quantitative Analysis of Point Stability [J]. South china journal of seismology, 2017, 37(S1): 51–65.]

## 郯庐断裂带晓店场地改造与点位稳定性定量分析

代宪鹏, 吴晓峰, 宋 浩, 张 辉, 范文华, 宫 杰

(江苏省地震局, 南京 210014)

**摘要:** 随着城镇化建设的不断推进, 跨断层水准场地遭到干扰甚至破坏的情况愈发严重, 对其进行场地改造已迫在眉睫。本文结合江苏省多年场地改造经验, 介绍了郯庐断裂带晓店跨断层短水准测量场地改造基本情况, 阐述了“零高差法”在场地点位迁移中的独特优势。利用新建点和原建点 6 个月的跨断层水准跟踪监测数据, 通过计算各段的标准差和每公里中误差, 分别比较新、旧点间观测结果的稳定性和观测精度。结果表明, 采用本方案进行点位改造对于跨断层观测稳定性和精度提升积极作用。

**关键词:** 跨断层水准; 场地改造; 零高差法; 稳定性分析

**中图分类号:** P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2017) S1-0061-05

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.S1.010

## The Reconstruction of the Xiaodian Site in Tanlu Cross-Fault Zone and Quantitative Analysis of Point Stability

DAI Xianpeng, WU Xiaofeng, SONG Hao, ZHANG Hui, FAN Wenhua, Gong Jie

(Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The paper introduces the general situation of cross-fault leveling zone of Xiaodian and expounds the unique advantages of the "Zero Height Difference Method" in the cross-fault leveling site improvement. Based on the leveling tracing monitoring data during 6 months, the paper compares respectively the stability and observation accuracy of the new and old observations through the calculation of standard deviation and error in per kilometer of paragraphs. The results show that the method can improve the observation stability and precision of the cross-fault leveling.

**Keywords:** Cross-fault leveling; Renovation of leveling surveying field; Zero high difference method; Analyses of Stability

**收稿日期:** 2017-03-07

**基金项目:** 中国地震局地震监测预报专项 (15230010)

**作者简介:** 代宪鹏 (1990-), 男, 助理工程师, 主要从事跨断层水准测量和流动重力测量。

**E-mail:** 706342589@qq.com.

## 0 引言

郯庐断裂带是我国东部一条巨大的 NNE 走向的活动断裂带, 在 1957 年航磁大调查中被发现, 迄今已经有 50 余年的研究历史<sup>[1]</sup>。郯庐断裂带江苏段也称新沂-泗洪段, 对郯庐断裂带江苏段进行跨断层形变监测的研究对于江苏的防震减灾工作具有重要的意义。江苏省地震局于 1981 年在此设四个跨断层水准场地, 晓店跨断层水准场地即是其中一个。其位于宿迁市宿豫区晓店镇三台山森林公园内, 宿迁地震台东侧, 横跨郯庐断裂带宿迁段 F5 断层。本跨断层场地于 1983 年 1 月投入使用并产生数据, 30 多年以来历经数次破坏和修复, 数据资料未曾中断。跨断层水准场地受到城镇化建设施工的干扰甚至是破坏的现象越来越普遍。基本点遭到破坏, 不仅会影响后续测量工作的开展, 还导致多年积累的跨断层测量资料中断。因此, 利用一套相对成熟的场地改造进行点位迁移将能够在准场地点位遭到破坏时快速进行补救, 最大程度上保证水准资料的连续性。

大量数据的计算分析表明跨断层水准场地埋深较浅的土层点对环境因素较为敏感, 尤其对地

湿度与地温度两项因素最为敏感<sup>[2]</sup>。当出现高差变化率异常的现象时, 很难及时判定和排除这些干扰因素, 在进行资料分析工作时容易被误导。

图 1 分别为 2000 年至 2015 年之间 XD2-3.1, XD3.1-XD3.2, XD3.2-XD3, XD3-XD4 高差变化量。在此期间, 四个测段高差累计变化量差异明显, 最大的达到 81 mm 而最小的只有 14 mm。不仅如此, 各测段之间变化率并没有随外界环境的变化而呈现周期同步性, 其中 XD3-1-XD3-2 段在 2012 年至 2015 年四年的时间里急剧变化, 变化量达到 50 mm。地震异常观测曲线共同的特征是打破常规的变化规律, 出现和正常基准完全不同的变化, 从形态上分转折、阶变、周期形态变化、突跳等<sup>[3]</sup>。由于此测段两端的基本点都为埋深较浅的土层点, 受到温度、降水量、地下水、干旱等因素影响严重<sup>[4]</sup>, 这种异常现象是由于土层点点位受外界环境影响造成的, 还是真实的反映了各个点之间地壳运动变化, 或者两者兼而有之, 成为资料分析中的一大障碍。对于这种不稳定的土层点, 应该及时改造成比较稳定的基岩点以保证水准资料的可靠性, 从资料可靠性的角度来讲跨断层水准点改造方案具有积极的意义。

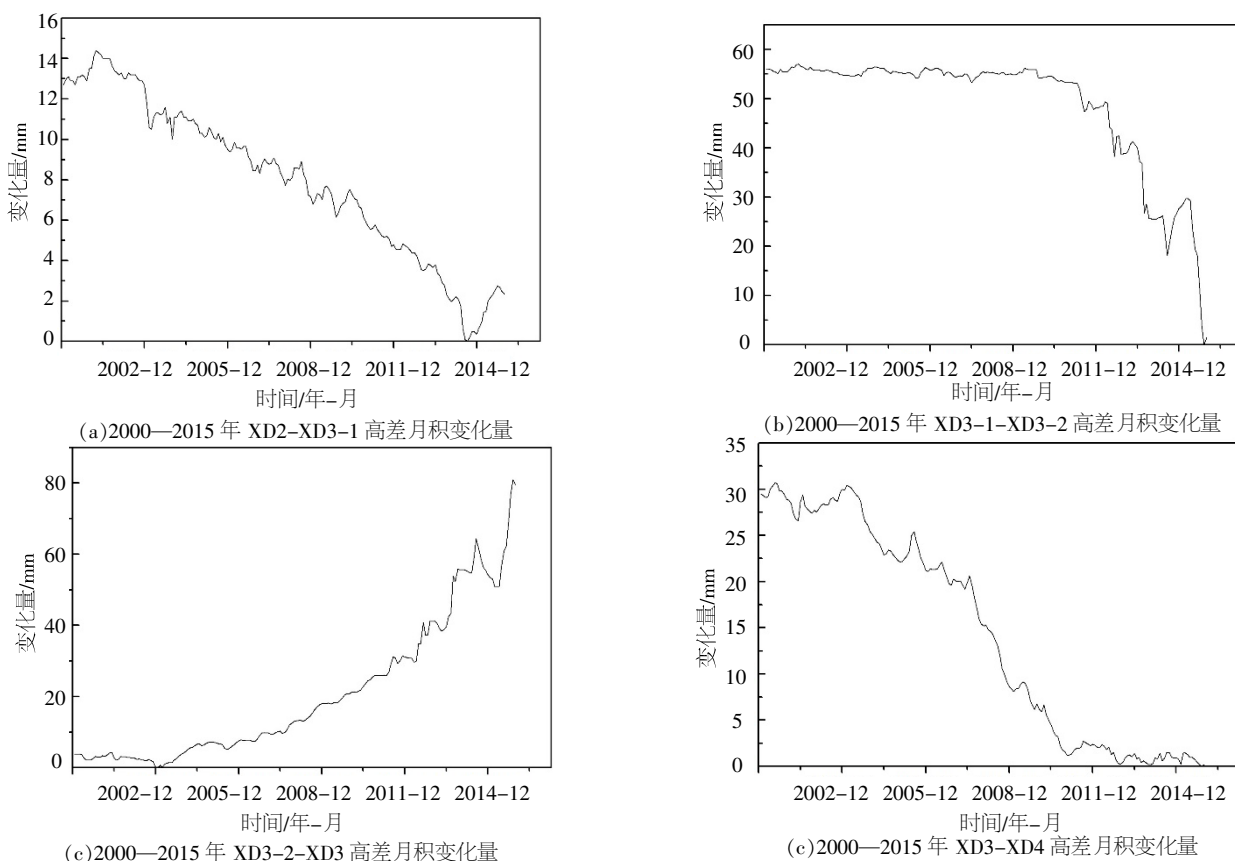


图 1 原建场地点位高差变化

Fig.1 The point height difference of original site

1 改造方案

由于宿迁市三台山森林公园的建设，导致本场地 XD3-1、XD3-2 和 XD3 号点被积土深埋，XD4 和 XD5 号点受到不同程度的影响，于是经本局领导决定和相关专家现场勘选、调研、讨论后决定对本场地进行改造。

本次的场地改造主要新建 XD3-1(新)、XD3-2(新)、XD3(新)、XD4(新)，利用“零高差法”<sup>[5]</sup>做点位迁移，代替原来场地相应的土层点，新建

XD9 代替原来的 XD8(图 2)。

新建测线全长 860 m，场地于 2015 年 9 月完工，11 月完成验收，为了让新建点稳定性受到混凝土凝固收缩的影响降到最小，在完成验收后推迟两个月开始正式启用，于 2016 年 1 月正式开始复测。为了研究新建点的稳定性，每一期测量从 XD2 点至 XD5 分别沿着新建测线和原测线同时复测，通过分析对比每期的新老点点位测量数据，研究场地改造前后点位精度和稳定性。

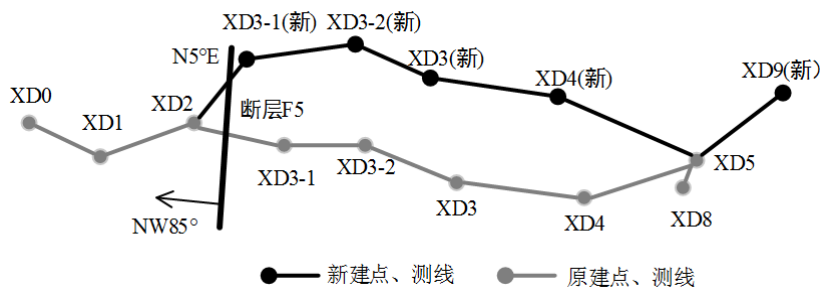


图 2 晓店场地布点示意图

Fig.2 Distribution map of stations position in XiaoDian Site

在勘选的点位打深井直到基岩表面，井体直径 70 cm，平均深度 10 m 以上。点位柱体骨架采用高标准钢筋焊接成柱体钢筋笼，中心焊接主筋吊立于井内。采用高标号混凝土灌注于井内底部基岩之上，主筋上部连接三角对中微调器以便使用“零高差法”进行新建和原建点高度比较时对

高度进行调节。参考《跨断层测量规范》岩石点观测墩埋设规格图<sup>[6]</sup>，新建观测墩设上、下标志，下标志与主筋焊接以充分保证了下标志的可靠性(图 3)。新建点外部贴灰色大理石，上部盖有大理石盖板，不仅能很好防止点位进水和杂物，还能保护点位免遭人为破坏。

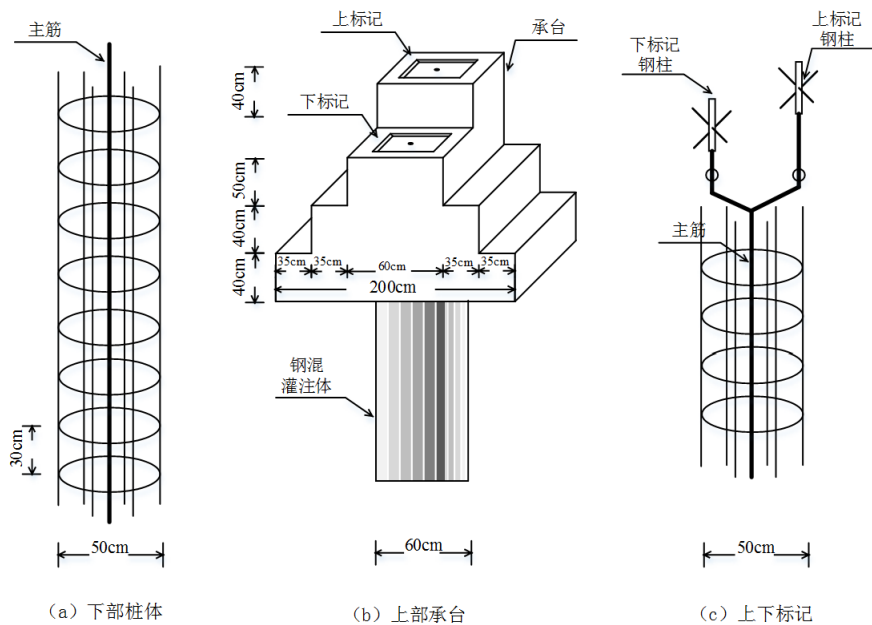


图 3 晓店基本点设计示意图

Fig.3 The design diagram of the basic stations in XiaoDian Site

除此以外,此次改造对准路线沿途的过渡点也进行了全面的改造。使用模体灌注的方法浇筑过渡点,使得全场地过渡点规格统一、结构稳固、方便易用,解决了过渡点时常难以寻找等一系列影响观测效率的问题。

## 2 “零高差法”进行点位迁移

使用“零高差法”进行点位迁移,一般在 1 测站水平方向前后可通视、垂直方向读数不超过标尺量程的情况下。若 1 测站互不通视,则需要加站观测并现场计算前视标尺的读数,以便将高差传递至新点。在新建点上部承台水泥灌浆后装入可升降的三角对中微调器,其上放测量标尺作为测站前视,同时原建点放标尺作为后视。在多次读取后视标尺读数之后去平均值作为前置标尺的参考真值。反复旋转前视标尺下的三角对中微调器螺旋,直到前视标尺读数与后视标尺读数的参考读数或计算出的参考读数相同为止<sup>[6]</sup>。

“零高差法”点位迁移在江苏省跨断层场地改造中几经验证,从后期的观测数据来看效果突

出且具有可行性。它主要的优势就是保证观测资料的连续性,虽然点位位置发生变化,但是新建的高程仍与原建点位的搞成保持一致,之前的长期观测积累的资料可以继续沿用,这一点是非常重要的。另外在实施方面,只要具备采用此方法的场地条件,只需多次调节新建点上三角对中微调器的高度,让前后视读数相同或前视读数与计算参考读数相同即可,所以此方法实施起来简单易行。

## 3 点位稳定性与精度分析

表 1 数同期复测高差数据和相应的标准差可以看出,新建基岩点要比原建土层点在稳定性上有很程度的提升。尤其是 XD3-1 至 XD3-2 段稳定性提升最为明显,原建点的六期数据的标准差达到了 1.208 mm,主要是土层点稳定性较差并且同时受地下水、降水、气温等外界环境因素的影响较为显著的原因。可见,此次点位改造对提高点位的稳定性和提高观测结果的可靠性具有积极的意义。

表 1 六期原建点和新建点高差标准差对比 (Leica DNA03 型水准仪, 单位: mm)

Table 1 The comparison of height difference of standard deviation between original point and new point during the six times (Leica DNA03 leveling instrument ) (Units: mm)

原建点	XD2	XD3.1	XD3.1	XD3.2	XD3.2	XD3	XD3	XD4
201601	-6358.78		-2717.03		-1195.06		-4394.47	
201602	-6358.68		-2715.99		-1194.93		-4394.52	
201603	-6358.54		-2714.85		-1194.63		-4394.03	
201604	-6358.13		-2714.13		-1194.54		-4394.25	
201605	-6358.48		-2716.70		-1194.29		-4394.38	
201606	-6358.43		-2717.55		-1193.93		-4394.33	
标准差	0.207		1.208		0.378		0.160	
新建点	XD2	XD3.1	XD3.1	XD3.2	XD3.2	XD3	XD3	XD4
201601	-6360.16		-2706.90		-1195.60		-4394.82	
201602	-6360.02		-2706.80		-1195.64		-4394.57	
201603	-6359.88		-2707.04		-1195.57		-4394.64	
201604	-6359.66		-2707.36		-1195.66		-4394.42	
201605	-6359.70		-2707.71		-1195.36		-4394.47	
201606	-6359.98		-2707.82		-1195.07		-4394.53	
标准差	0.176		0.390		0.209		0.130	

根据公式:

$$M_{km} = \pm \sqrt{\frac{1}{4 \cdot N} \left[ \frac{\Delta \Delta}{R} \right]} \quad (1)$$

分别计算每一段原建点和新建点的每公里的测段中误差并取 6 期中误差的平均值作为参考基

准,比较点位改造后对精度的提升。

式(1)中:  $N$  为测段数,  $R$  为测段长度不足百米按 0.1 km 计(单位:km),  $\Delta$  为测段往返闭合差(单位:mm), 分别计算各段观测结果的每公里测段中误差  $M_{km}$ <sup>[7]</sup>。

表 2 六期原建点和新建点测段中误差 (Leica DNA03 型水准仪, 单位: mm/Km)

Table 2 The comparison of mean squares error between original point and new point during the six times (Leica DNA03 leveling instrument) (Units: mm)

原建点	XD2	XD3.1	XD3.1	XD3.2	XD3.2	XD3	XD3	XD4
201601	0.013		0.332		0.158		0.090	
201602	0.126		0.174		0.206		0.101	
201603	0.214		0.206		0.016		0.014	
201604	0.120		0.000		0.142		0.202	
201605	0.267		0.379		0.063		0.217	
201606	0.116		0.032		0.063		0.422	
平均值	0.143		0.187		0.108		0.174	
新建点	XD2	XD3.1	XD3.1	XD3.2	XD3.2	XD3	XD3	XD4
201601	0.034		0.047		0.047		0.258	
201602	0.011		0.174		0.206		0.101	
201603	0.036		0.016		0.126		0.116	
201604	0.046		0.126		0.016		0.194	
201605	0.057		0.348		0.079		0.155	
201606	0.172		0.047		0.063		0.116	
平均值	0.059		0.126		0.090		0.157	

以上表格是各段 6 个月同期往返测段中误差和中误差的平均值, 在各段测线长度、观测环境、观测人员和观测光段等因素都相同的条件下, 新建点各段的测段平均中误差较原建点各段平均中误差都有不同程度的减小。这说明场地改造之后对点位的精度的提升具有积极的作用。

4 结语

- (1) 土层点受到环境因素的影响显著, 这种不稳定的点会影响跨断层观测数据的精度, 为保证观测数据的可靠性, 应该及时改造成为稳定的基岩点。
- (2) 通过对数据的定量分析得出, 无论是点从位的精度还是从点位的稳定性两个不同的维度去评价此次改造的成果, 都表明此次的改造达到了预期的效果。
- (3) 此次点位改造再次印证了“零高差法”在场地改造之中的便利性、高效性、观测点设计的合理性, 对进行场地改造和点位迁移具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 张鹏,李丽梅, 张景发,等. 郟庐断裂带江苏段第四纪活动特征及其动力学背景探讨 [J]. 防灾减灾工程学报, 2011,31(4):389-396.

[2] 游丽兰. 跨断层测量基础理论及标准化研究[M]. 北京:地震出版,1995.

[3] 薄万举, 谢觉民. 地壳形变测量用于地震预报的研究[J]. 大地测量与地球动力学,1994,14(2):13-19.

[4] 楼关寿, 周伟, 金鹏,等. 跨断层形变观测干扰因素的调查[J]. 大地测量与地球动力学,2010, 30(S2):68-74.

[5] 吴晓峰,丁占春, 宋浩等. 利用“零高差法”进行跨断层地震监测点的迁移保护[J]. 科技创新导报,2015(18):75-76.

[6] 范久善,游丽兰,朱清声,等. 跨断层测量规范[M]. 北京:国家地震局,1991

[7] 李志平, 周必才, 葛计划,等. 合肥台定点短水准测量场地改造[J]. 华南地震,2009,29(3):133-137.

[8] 戴 波,张 杨,王 凯. 江苏郟庐断裂带断层气测量与地球化学特征[J]. 华南地震,2016,36(3):104-109.