技术交流

TM50 在跨断层水平位移(短程)测量中的应用①

易天阳，王伟力，温军军，卓如峰
(四川省地震局测绘工程院，四川 雅安 625000)

摘要：对于短程跨断层水平位移测量，采用高精度光电测距仪是较好的选择，就目前的测量技术与作业方法而言，徕卡测量机器人 TM50 无论在测量精度还是作业速度上都具有很好的表现。通过两个跨断层场地的实例展现了 TM50 在跨断层水平位移测量中的应用，并对多周期实例数据进行了比较分析。

关键词：断层；位移测量；气象修正；周期误差修正；仪器常数修正
中图分类号：TD178 **文献标志码**：A **文章编号**：1000－0844(2016)06－1010－07
DOI:10.3969/j.issn.1000－0844.2016.06.1010

Application of Leica TM50 in Horizontal Displacement (Short Distance) Measurements across Faults

YI Tian-yang, WAMG Wei-li, WEN Jun-jun, ZHUO Ru-feng
(*Surveying and Engineering Institute, Earthquake Administration of Sichuan Province, Ya'an* 625000, *Sichuan, China*)

Abstract: Based on the application of the Leica TM50 robotic total station to short-distance measurement of cross-fault displacements, the aim of this study is to show the feasibility of an intelligent measuring robot with nominal precision in short-distance measurement. This paper compares the advantages and disadvantages of the traditional invar-wire baseline method, GPS, and measuring robots in relation to aspects such as measurement precision, operational mode, and personnel demand. It finds that the use of a high-precision electro-optical distance meter (EDM) is the best choice at present for relatively short (<3 km) cross-fault displacement measurements. The study then clarifies the operational basis and technical requirements of an EDM and the operational hazards in data collection. In order to ensure repeatable and comparable measurement data, the observational field data need to be corrected with data processing. Meteorological modifications, periodic error correction, and instrumental correction are all discussed. Results are presented from an application example, compared graphically, and briefly analyzed in relation to fault displacements that are contained therein.

Key words: fault; displacement measurement; meteorologic modification; periodic error correction; instrument constant correction

0 引言

跨断层微量位移测量的目的在于了解断层活动的方式，以便探索断层活动与地震的关系[1]。对于跨断层位移测量，通常使用测量学的方法长期连续地精密测量断层两侧的垂直位移和水平位移，以确定断层的活动情况。由于观测技术条件的局限，多年以来水平位移观测常采用因瓦基线尺进行数据获取。该方法测量精度高、受环境温度和气压的影响小，但往、返测交换基线尺的方向有时会受到场地的限制而导致操作难度大、测量距离短、作业人员需求多、劳动强度大、场地跨越公路的情况存在安全隐患以及跨沟壑的断层场地难以进行数据采集等缺点。随着观测技术的进步，GPS、光电测距成为目前跨断层水平位移测量的主要观测技术[2]，其中高精度 GPS 技术由于其自身特点主要用来监测火山地震、构造地震、全球板块运动，尤其是板块边界地区的重要手段。文献[3]提到了基于 GPS 技术等大地形变监测获取的现今地壳运动的微动态定量信息对地震预测是十分重要的。

① **收稿日期**：2015-10-27
基金项目：中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2014IES010201，2014IES010201)
作者简介：易天阳(1976－)，男(汉族)，四川遂宁人，工程师，硕士，从事地震监测工作。E-mail:sunsky-yi@163.com。

而对于短程距离（3 km 以内）的跨断层场地，采用高精度光电测距仪是目前跨断层位移测量的较好选择（表 1）。对于既有跨断层的短程测距观测场地，当点间通视存在困难时，为了能将多年累积下来的观测资料予以利用和比较分析，可以采用自由设站的方式进行数据采集，但观测限差和成果精度需满足规范的指标要求，对于新建场地应考虑点间采用对向观测的测量方式进行点位的选埋。

表 1　测距方式比较表

Table 1　Comparison of different ranging methods

测距方式	优点	缺点
因瓦基线尺	精度高，受气象因素影响小	测程短，劳动强度大，人员需求多，操作难度大，受场地条件限制等
GPS	长距离，高精度，全天候，快速、实时，自动化程度高，点间无须通视	仪器固定误差有待提高、重复测量的稳定性较差
测量机器人	中短程测量精度高且较稳定，角度、距离及坐标一站式完成，快速，自动化程度高	成对点须通视，受雨雾天气、强烈阳光、空气粉尘的影响大

1　技术要求

依据《中、短程光电测距规范》及《地震地壳形变观测方法跨断层位移测量》规范，仪器设备主要技术要求列于表 2。

表 2　仪器设备技术指标[2,4]

Table 2　Technical indexes of the instrument[2,4]

仪器等级	测距标准标准偏差/mm	棱镜重复安置/mm	干湿温度表/℃	气压表/hPa
Ⅰ级	$m_D \leqslant (1+D)$	<0.2	0.2	0.5

2　数据采集

测量过程采用机载程序软件进行测回数、正倒镜、自动照准、观测限差等的自动控制。为了保证测回间的测距较差限差，要求一次设站（可能会有多个观测目标）的所有测回应在短时间内完成，从而保证在一次设站的观测时间段内气象要素不会有太大的变化，因此一次设站的测回数（规范要求不少于 4 个测回）和方向数都不宜太多，同时对仪器的观测精度和观测速度提出了较为苛刻的要求。在目前的技术条件下，徕卡测量机器人 TM50 能够自动精确照准目标并快速完成测量，而且其观测精度能够满足规范的要求。仪器测量时采用标准气象条件下的气象值进行数据采集，以辅助观测的方式读取并记录相应站点观测过程的仪器高、镜高和气象元素，内业数据处理时匹配其实际观测时的气象信息来进行观测斜距的气象改正，并辅以观测标志间的高差、仪器高、棱镜高进行斜距改正（或采用天顶距改平）。数据采集技术指标如表 3、4。

表 3　距离观测技术要求[2,4]

Table 3　Technical requirements for distance measurement[2,4]

等级	使用测距仪精度等级	每边测回数		备注
		往测	返测	
二等	Ⅰ	4	4	往返测也可采用不同时段观测代替

表 4　距离测量较差限值[2,4]（单位：mm）

Table 4　Limit values of altitude difference in distance measurement[2,4]

测距仪等级	一测回读数间较差限值	测回间较差限值	往返测或时间段内较差限值
Ⅰ	2	3	$\sqrt{2}(A+B\times D\times 10^{-6})$

当采用三角高差（天顶距）进行斜距改平时，垂直角的观测限差应满足表 5 的要求。

表 5　垂直角观测技术要求[5]（单位：s）

Table 5　Technical requirements for vertical angle measurement[5] (Unit: s)

等级	垂直度盘测微器两次读数差	同一方向垂直角互差	指标差互差
Ⅰ	2	10	15

3　数据处理

仪器获取数据为标准气象条件下的斜距、天顶距、水平角，为了使周期间获取的数据具有可比性，需要对标准气象条件下获得的数据进行各项修正计算。

3.1　气象修正

这是电磁波测距的重要改正，因为电磁波在大气中传输时受气象条件的影响很大。此项改正的实质是大气折射率对距离的改正，因折射率与气压、温度、湿度有关，所以习惯上称为气象改正[6]。在作业时实际气象条件下的群折射率 n 的计算公式为[6-7]：

$$n_i = 1 + \frac{n_g - 1}{1 + a \times t} \times \frac{P}{760} - \frac{5.5 \times 10^{-8} \times e}{1 + a \times t} \tag{1}$$

式中：$a = \frac{1}{273.16}$，为空气膨胀系数；t（℃）为实际大气干温；P（mmHg）为实际气压；e（mmHg）为实际水汽压；n_g 为标准气象条件（$t=0$ ℃、$P=760$ mmHg、$e=0$ mmHg）下调制光的折射率，其计算公式为[7]：

$$n_g - 1 = \left(287.604 + \frac{3\times 1.628\,8}{\lambda^2} + \frac{5\times 0.013\,6}{\lambda^4}\right)\times 10^{-6} \tag{2}$$

式中：λ 为真空中光波的有效波长，单位为 μm。

气象修正按式（3）计算[4]：

$$\Delta D = D' \times (n_g - n_i) \times 10^{-5} \tag{3}$$

式中：D'（m）为观测距离，下同。

3.2　周期误差修正

当测距精度要求较高，且振幅值不小于仪器固定误差的 $\frac{1}{2}$ 时，应按照公式 $\Delta D_A = A \times \sin\left[\varphi_0 + \frac{2\times D'}{\lambda}\times 360\right]$ 对测量

距离进行周期误差修正[4,6]，式中 ΔD_A 为周期误差修正值，单位为 mm；A、φ_0 分别为周期误差的振幅（mm）和初相角（°）；λ（m）为测距仪精测调制波长，由于 $C=\lambda f$，其中为 C 为光速，f 为频率，由仪器的技术参数给出，从而知道调制波长 λ。

3.3 仪器常数修正

仪器加、乘常数属于系统误差，可通过仪器检定机构对仪器的年检获取，测量使用配套的徕卡圆棱镜。加常数修正值按式(4)计算，乘常数修正值按式(5)计算[4]：

$$\Delta D_K = K \tag{4}$$

$$\Delta D_R = R \times D' \tag{5}$$

3.4 斜距改平

边长观测时在观测墩上的每次设站仪器高和目标架设高度不能够相同，使得期次间的观测斜距值不能直接进行比较。当观测距离 D' 经过各项修正后的测量斜距 D 化算为水平距离且将水平距离化算到同一参考面上才能将对应边的数据进行周期比较，从而判定断层随时间的相对位移变化情况。

若测距端点的高差满足 $h \leqslant \frac{8D'}{q} \times 10^3$[4]（注：$q$ 为测距要求的相对中误差的分母，据地震行业相关规范的要求，$q \geqslant 70$ 万，当测距边长 D' 不足 300 m 时以 300 m 计[8]），且三角高差较差满足式(10)的要求时，可以采用对向三角高差方法进行倾斜改正；若测距端点的高差采用等级水准测量测定来进行倾斜改正，除了考虑所用测距仪的最大俯仰角外，其高差的大小不受限制。

（1）三角高差改平

当对向观测三角高差成果满足式(10)要求时利用观测天顶距和斜距计算水平距离。对于短程距离，将测量距离（斜距）进行倾斜改正，化为水平距离按式(6)计算。

$$D_{H1} = D\sin Z_1 - \frac{D^2(2-k)}{4r}\sin 2Z_1 \tag{6}$$

（2）水准高差改平

观测距离 D' 经过各项修正以后，对于短程距离将测量距离化算为水平距离按式(7)计算。

$$D_1 = \sqrt{D^2 - \Delta H^2} \tag{7}$$

需要注意的是，ΔH 并不是直接采用水准高差的测量值，因为仪器测量的是仪器中心与棱镜中心间的斜距，计算采用的 ΔH 除包含水准高差的测量值外，还应包含仪器高与目标高度的差值。

依据图 1 所示，i 为仪器高，v 为目标高，h_{AB} 是水准点 A、B 间的高差，ΔH 是斜距改平采用高差，D 为修正后的斜距。则 IM 间的高差 ΔH 有如下关系式：$\Delta H + i = h_{AB} + v$，从而有 $\Delta H = h_{AB} + v - i$。另外，如果知道 A、B 点的高程 H_A、H_B 的话，则 IM 间的高差 ΔH 有如下关系式：$\Delta H = H_B + v - (H_A + i)$。

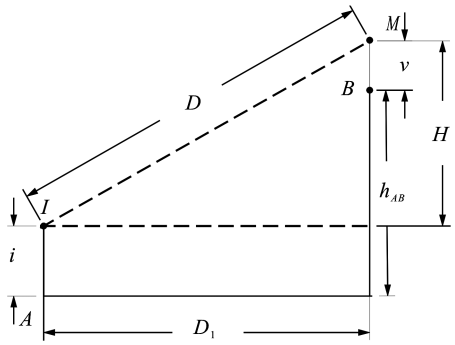

图 1 水准高差、仪器高、镜高示意图

Fig.1 Sketch of leveling height different, instrument height, and target height

4 精度评定

精度评定是对测量成果可靠性进行的评估。在跨断层位移测量中似乎应该忽略测量角度的影响。对于场地环境能够方便等级水准测量高差而进行倾斜改正的话，对测量角度加以关注是不必要的；但是对于端点间不方便等级水准观测，但满足采用三角高差进行倾斜改正的场地，除了对对向观测距离进行精度评估外，还需对三角高差成果的符合性（对向高差之差）进行评估。

4.1 测量距离精度评定

距离测量结果的精度评定参照《中、短程光电测距规范》对向观测距离的精度评定要求进行中误差计算，并参照《跨断层测量规范》关于测距相对中误差的限值进行合格评定。

（1）对向观测的平均值中误差[4]：

$$m_d = \pm \frac{1}{2}\sqrt{\frac{[dFdF]}{n}} \tag{8}$$

（2）相对中误差[4]：

$$\frac{m_0}{\bar{D}_1} = \pm \frac{1}{\bar{D}_1 / m_d} \tag{9}$$

式中：dF 为化算到同一高程面的每对水平距离之差，单位为 mm；n 为对向观测值个数，$n \geqslant 4$；$\bar{D}_1$ 为对向距离的均值。

4.2 三角高差成果符合性

采用三角测量确定高程差并进行倾斜修正。对向观测时，高差之差应满足式(10)的要求。

$$\Delta h < 0.1D' \times 10^{-3} \tag{10}$$

5 应用实例

以目前已完成 4 个周期观测的两个综合场地（宝兴县五龙乡、西昌市大箐乡）为例，依据 $h \leqslant \frac{8D'}{q} \times 10^3$ 的要求对两个场地的测点间可否采用三角高差进行改平处理予以初步分析，各观测点均采用统一规格的强制归心标志。

（1）点间高差满足三角高差改平的符合性判定（表 6）

（2）计算实例

实例涉及 4 个周期的数据。由于数据表较多，不予详细罗列，两个场地分别以最近一期成果数据为例（表 7，表 8）。

依据测前点间高差符合性判定，宝兴县五龙乡场地的

A-D、B-D 边和西昌市大箐乡 A-C 边满足三角高差进行改平，首先对三角高差成果的符合性进行判定（表 9）。在满足规范要求的前提下进行改平计算（表 10），并将高差改平的结果与水准高差改平的结果进行比较（表 11）。

表 6　三角高差改平的符合性判定（单位：m）

Table 6　Compatibility discrimination of adopting triangle elevation to calculate the horizontal distance

序号	宝兴县五龙乡					西昌市大箐乡				
	点间	观测距离	高差	符合指标	符合判定	点间	观测距离	高差	符合指标	符合判定
1	*A-B*	366	33.6	4.2	-	*A-C*	770	42.3	8.8	-
2	*A-C*	1 174	4.8	13.4	符合	*A-D*	546	1.7	6.2	符合
3	*A-D*	905	16.2	10.3	-	*A-B*				不通视
4	*A-E*	705	11.3	8.1	-	*B-C*	389	43.9	4.4	-
5	*B-C*	993	28.8	11.3	-	*B-D*	645	3.3	7.4	符合
6	*B-D*	817	17.3	9.3	-	*C-D*	803	40.6	9.2	-
7	*B-E*	802	44.9	9.2	-					
8	*C-D*				不通视					
9	*C-E*	773	16.1	8.8	-					
10	*D-E*				不通视					

表 7　2015 年 9 月宝兴县五龙乡场地距离测量成果表

Table 7　Distance measurement results of site in Wulong town, Baoxing County, in September 2015

边名	平距							
	光段 1/m	光段 2/m	较差/mm	较差允许/m	距离均值/m	中误差/mm	相对中误差	改平方式
A-C	769.246 33	769.247 42	−1.09	1.94	769.246 87	0.55	1/139.9 万	水准高差
A-D	545.675 39	545.676 14	−0.75	1.62	545.675 77	0.38	1/143.6 万	水准高差
B-C	386.713 16	386.713 65	−0.50	1.40	386.713 40	0.26	1/148.7 万	水准高差
B-D	645.433 24	645.433 73	−0.49	1.76	645.433 49	0.25	1/258.2 万	水准高差
C-D	802.368 92	802.367 27	1.65	1.98	802.368 10	0.83	1/96.7 万	水准高差

表 8　2015 年 9 月西昌市大箐乡场地距离测量成果表

Table 8　Distance measurement results of site in Daqing town, Xichang City, in September 2015

边名	平距							
	光段 1/m	光段 2/m	较差/mm	较差允许/mm	距离均值/m	中误差/mm	相对中误差	改平方式
A-B	364.678 05	364.677 75	0.30	1.36	364.677 90	0.16	1/227.9 万	水准高差
A-C	1 174.275 14	1 174.273 65	1.49	2.51	1 174.274 40	0.75	1/156.6 万	水准高差
A-D	905.229 85	905.229 52	0.33	2.13	905.229 69	0.19	1/476.4 万	水准高差
A-E	704.794 29	704.793 33	0.97	1.85	704.793 81	0.48	1/146.8 万	水准高差
B-C	992.231 5	992.229 86	1.64	2.25	992.230 68	0.83	1/119.5 万	水准高差
B-D	816.659 82	816.659 53	0.29	2.00	816.659 68	0.16	1/510.4 万	水准高差
B-E	801.728 68	801.727 09	1.59	1.98	801.727 88	0.80	1/100.2 万	水准高差
C-E	773.131 6	773.131 08	0.51	1.94	773.131 34	0.26	1/297.4 万	水准高差

表 9　三角高差成果用于倾斜改平的符合性判定表

Table 9　Compatibility discrimination of adopting triangle elevation to calculate the horizontal distance

场地名	边名	高差					
		光段 1/m	光段 2/m	较差/mm	较差允许/mm	高差均值/mm	符合性判定
五龙乡	*A-D*	1.666 01	−1.651 60	14.41	54.57	1.658 81	符合
	B-D	3.282 05	−3.275 46	6.59	64.54	3.278 75	符合
大箐乡	*A-C*	4.784 80	−4.780 80	4.00	117.43	4.782 80	符合

表 10　三角高差改平的成果表

Table 10　Results of adopting triangle elevation to calculate the horizontal distance

场地名	边名	平距							改平方式（三角高差）
		光段 1/m	光段 2/m	较差/mm	较差允许/mm	距离均值/m	中误差/mm	相对中误差	
五龙乡	*A-D*	545.674 47	545.675 25	−0.78	1.62	545.674 86	0.39	1/139.9 万	三角高差
	B-D	645.432 16	645.432 69	−0.53	1.76	645.432 42	0.27	1/239 万	三角高差
大箐乡	*A-C*	1 174.276 47	1 174.274 86	1.61	2.51	1 174.275 66	0.81	1/145 万	三角高差

（3）周期数据的测量成果比较分析

独立的一周期测量只能反映当时周期的测量成果自身的精度情况。为了能够跟踪监测跨断层场地端点间的水平位移相对变化情况，需要对对应边的各期次进行期次间的数据比

较，并对各期次的成果数据较初始期次数据成果的累积变化予以比较和分析(图 2)。

表 11 不同改平方式的成果较差表

Table 11 Results of calculating the horizontal distance using different methods

场地名	边名	三角高差改平/m	水准高差改平/m	较差/mm	较差允许/mm
五龙乡	A-D	545.675 77	545.674 86	0.91	1.62
	B-D	645.433 49	645.432 42	1.07	1.76
大箐乡	A-C	1 174.274 40	1 174.275 66	−1.26	2.51

从图 3、表 12 可以看出，宝兴县五龙乡场地各监测边在周期间的最大较差在 B-C(断层同侧点)边(2015.9)，达−2.49 mm。该场地测量边相邻期的距离相对变化值最大为 6.44×10^{-6}，其他较差均在±1.3 mm 以内，期间变化较为平稳；较初始期的累积变化量均在±2 mm 以内，最大为−1.76 mm，距离相对变化值最大为 4.55×10^{-6}，数据对场地的表现为平稳。

从图 4、表 13 可以看出，西昌市大箐乡场地断层同侧的点间距离相对变化无论是期间较差还是累积变化，都表现得比较稳定，没有急剧变化；断层两侧监测点间距离的相对变化较为活跃，起初体现为断层拉开(2015 年 3 月—2015 年 5 月)，接下来的期间变化体现断层继续拉开的幅度有所放缓(2015 年 5 月—2015 年 7 月)，在 2015 年 9 月时部分点间距的变化表现为急剧缩短，变化量在(−5.2，−2.9)mm，该场地测量边相邻期的距离相对变化值最大为 5.77×10^{-6}；从累积变化图也不难看出，较初始期的累积变化量逐渐增大(2015 年 3 月—2015 年 7 月)，后又急剧减小(2015 年 7 月—2015 年 9 月)，向初始测量值靠近并呈压缩态势(平→张→压)，距离相对变化值最大为 4.42×10^{-6}，数据对场地的表现为平稳。

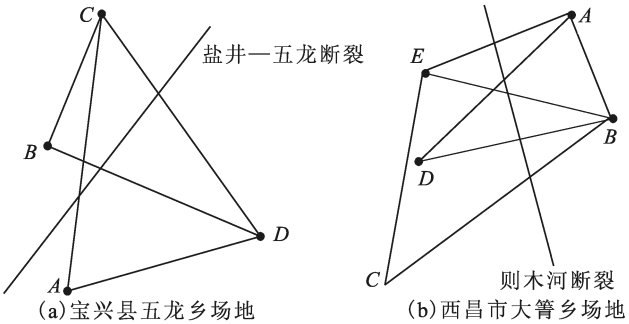

图 2 两综合场地

Fig.2 Two cross-fault sites

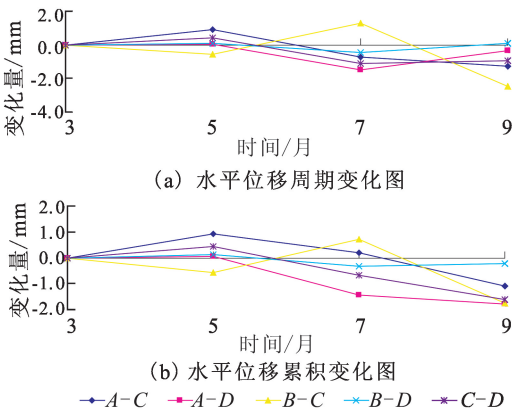

图 3 宝兴县五龙乡场地

Fig.3 Site in Wulong town，Baoxing county

表 12 宝兴县五龙乡场地测距成果分析表(较差值单位数为 mm)

Table 12 Results of distance measuring of site in Wulong town，Baoxing County

边名称	A-C			A-D			B-C		
月份	边长值/m	期间较差	累积较差	边长值/m	期间较差	累积较差	边长值/m	期间较差	累积较差
2015.5	769.248 88	相对变化	相对变化	545.677 62	相对变化	相对变化	386.714 60	相对变化	相对变化
2015.3	769.247 95	0.93	0.93	545.677 56	0.06	0.06	386.71516	−0.56	−0.56
		1.21E−06	1.21E−06		1.10E−07	1.10E−07		−1.45E−06	−1.45E−06
2015.7	769.248 14	−0.74	0.19	545.676 11	−1.51	−1.45	386.715 89	1.29	0.73
		−9.62E−07	2.47E−07		−2.77E−06	−2.66E−06		3.34E−06	1.89E−06
2015.9	769.246 87	−1.27	−1.08	545.675 77	−0.34	−1.79	386.713 40	−2.49	−1.76
		−1.65E−06	−1.40E−06		−6.23E−07	−3.28E−06		−6.44E−06	−4.55E−06

边名称	B-D			C-D		
月份	边长值/m	期间较差	累积较差	边长值/m	期间较差	累积较差
2015.5	645.433 70	相对变化	相对变化	802.369 73	相对变化	相对变化
2015.3	645.433 81	0.11	0.11	802.370 16	0.43	0.43
		1.70E−07	1.70E−07		5.36E−07	5.36E−07
2015.7	645.433 38	−0.43	−0.32	802.369 04	−1.12	−0.69
		−6.66E−07	−4.96E−07		−1.40E−06	−8.60E−07
2015.9	645.433 49	0.11	−0.21	802.368 10	−0.94	−1.63
		1.70E−07	−3.25E−07		−1.17E−06	−2.03E−06

6 结语

通过 TM50 在跨断层位移测量中 4 期观测的应用实例，在观测指标满足相关规范要求下进行数据采集，并对观测数据进行相关修正和不同方式的倾斜改平后发现：

(1) 高差改平的测量边精度满足规范要求；

(2) 满足三角高差改平的测量边精度满足规范要求；

表 13　西昌市大箐乡场地测距成果分析表（较差值单位数为 mm）

Table 13　Results of distance measuring of site in Daqing town, Xichang City

边名称	A-B			A-C			A-D		
月份	边长值/m	期间较差	累积较差	边长值/m	期间较差	累积较差	边长值/m	期间较差	累积较差
2015.3	364.677 97	相对变化	相对变化	1 174.275 33	相对变化	相对变化	905.230 87	相对变化	相对变化
2015.5	364.679 27	1.3	1.3	1 174.279 13	3.8	3.8	905.233 51	2.64	2.64
		3.56E−06	3.56E−06		3.24E−06	3.24E−06		2.92E−06	2.92E−06
2015.7	364.679 01	−0.26	1.04	1 174.280 22	1.09	4.89	905.234 87	1.36	4
		−7.13E−07	2.85E−06		9.28E−07	4.16E−06		1.50E−06	4.42E−06
2015.9	364.677 90	−1.11	−0.07	1 174.274 40	−5.82	−0.93	905.229 69	−5.18	−1.18
		−3.04E−06	−1.92E−07		−4.96E−06	−7.92E−07		−5.72E−06	−1.30E−06
边名称	A-E			B-C			B-D		
月份	边长值/m	期间较差	累积较差	边长值/m	期间较差	累积较差	边长值/m	期间较差	累积较差
2015.3	704.794 36	相对变化	相对变化	992.231 75	相对变化	相对变化	816.661 23	相对变化	相对变化
2015.5	704.796 61	2.25	2.25	992.235 60	3.85	3.85	816.664 44	3.21	3.21
		3.19E−06	3.19E−06		3.88E−06	3.88E−06		3.93E−06	3.93E−06
2015.7	704.796 78	0.17	2.42	992.235 69	0.09	3.94	816.664 39	−0.05	3.16
		2.41E−07	3.43E−06		9.07E−08	3.97E−06		−6.17E−08	3.87E−06
2015.9	704.793 81	−2.97	−0.55	992.230 68	−5.01	−1.07	816.695 68	−4.71	−1.55
		−4.21E−06	−7.80E−07		−5.05E−06	−1.08E−06		−5.77E−06	−1.90E−06
边名称	B-E			C-E					
月份	边长值/m	期间较差	累积较差	边长值/m	期间较差	累积较差			
2015.3	801.727 47	相对变化	相对变化	773.130 59	相对变化	相对变化			
2015.5	801.729 77	2.3	2.3	773.130 75	0.16	0.16			
		2.87E−06	2.87E−06		2.07E−07	2.07E−07			
2015.7	801.729 22	−0.55	1.75	773.130 59	−0.16	0			
		−6.86E−07	2.18E−06		−2.07E−07	0.00E+00			
2015.9	801.727 88	−1.34	0.41	773.131 34	0.75	0.75			
		−1.67E−06	5.11E−07		9.70E−07	9.70E−07			

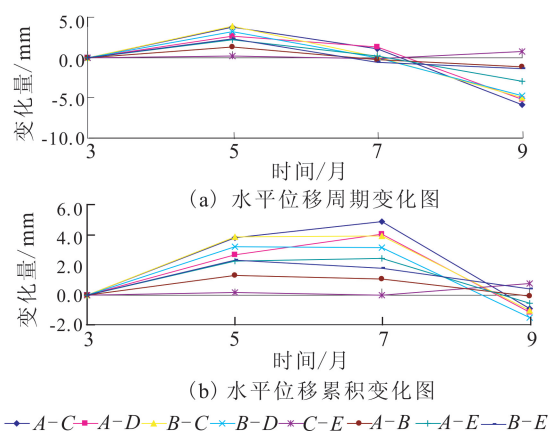

图 4　西昌市大箐乡场地

Fig.4　Site in Daqing town, Xichang city

（3）满足三角高差改平的测量边与水准高差改平的测量边的结果基本一致，其较差满足规范要求的较差限值。

另外，采用 TM50 进行跨断层水平位移的监测方法便于内业数据资料整理，其作业速度快，人员需求少，较常规因瓦基线尺测距能够大大降低野外作业人员的劳动强度。

注：应用及数据来源于四川省地震局测绘工程院与中国地震局地震预测研究所协作关于“龙门山断裂带南段形变综合观测场及安宁河断裂带形变综合观测场”的动态跟踪研究项目。

参考文献（References）

[1] 龚鸿庆.关于跨断层位移测量的资料处理问题[J].地壳形变与地震，1983(1)：48.
GONG Hong-qing. Data Processing Related to Displacement Measurements across Faults [J]. Crustal Deformation and Earthquake，1983(1)：48.(in Chinese)

[2] 中国地震局.DB/T 47-2012，地震地壳形变观测方法 跨断层位移测量[S]北京：地震出版社，2012.
China Earthquake Administration.DB/T 47-2012，The Method of Earthquake-related Crust Monitoring——Fault-crossing Displacement Measurement[S]：Beijing：Seismological Press，2012.(in Chinese).

[3] 王双绪，丁平，张希，等.利用 GPS 资料研究印尼 8.7 级地震对我国西部地震趋势的影响[J].西北地震学报，2005，27(4)：322.
WANG Shuang-xu，DING Ping，ZHANG Xi，et al.Research on Influence of Indonesia M_S8.7 Earthquake to Western China Using GPS Data[J].Northwestern Seismological Journal，2005，27(4)：322.(in Chinese).

[4] 国家测绘局测绘标准化研究所.GB/T 16818-2008，中、短程光电测距规范[S].北京：中国标准出版社，2008：4-10.
Institute of Suveying and Mapping Standardization of State Bureau of Suveying and Maping.GB/T 16818-2008，Specifications for Short to Medium Ranges

（下转 1020 页）