

# 我国野外基线若干问题的研究

桑金

(天津海事局 海测大队 天津 300222)

## Several Key Issues of National Field Baselines

SANG Jin

**摘要:** 要保证各种测绘仪器的长度量值与国家规定的长度量值的统一, 必须对测绘仪器进行检定, 采用与野外基线进行比对的方法是一种最有效的检定手段, 因此建立稳定、准确、统一量值的野外基线非常重要。研究涉及野外基线稳定性、精确性及统一性的相关问题。

**关键词:** 野外基线; 稳定性; 准确性; 统一性

### 一、引言

为了满足人类生活、生产和交换活动的方便, 需要在世界范围内建立统一的计量标准, 长度计量标准是其中发展最早的标准之一。

我国在两千多年前的商朝已有象牙制成的尺作为当时的长度计量标准。公元前秦始皇统一度量衡制度, 便建立了包括长度在内的计量基准。长度是7个基本物理量之一, 也是其他物理量的基础, 许多物理量是通过长度测量来实现的<sup>[1]</sup>。

国际单位制是目前在全世界广泛使用的一种度量衡系统, 其中长度计量的单位是“米”。1889年第1届国际计量大会通过了第1次国际“米”定义; 1960年第11届国际计量大会通过了第2次国际“米”定义; 1983年第17届国际计量大会正式通过了“米”的新定义为“米是光在真空中1/299 792 458 s的时间间隔内行程的长度。”<sup>[2]</sup>

世界各国为了建立自己的长度基准并能够实现“米”定义的复现工作, 研制了相应的与“米”定义相符合的仪器与设备。通过循环比对的方法可以建立量值在全世界都统一的国际基准; 与国际基准进行比较的方法可以建立副基准; 与国际基准或副基准进行比对的方法, 建立起用于长度量值传递的国家工作基准。

具体到测绘行业, 通常的做法是在野外建立起由一系列点构成的基线(其结构通常为一条直线或者构成网状)用于检定各种测量仪器, 其中将采用维塞拉干涉仪(Väisälä interference comparator)作为长度量值传递工具所建立的基线称为“标准基线

(standard baseline)”, 标准基线的标准不确定度应该优于 $\pm(0.2 \text{ mm} + 3 \times 10^{-7} D)$ ; 将采用因瓦基线尺或者精密光电测距仪作为长度量值传递工具所建立的基线称为“校准基线(calibration baseline)”, 我国的有关文献通常将校准基线称为“比长基线”, 校准基线的标准不确定度应该优于 $\pm(0.3 \text{ mm} + 5 \times 10^{-7} D)$ 。

根据国家有关规定, 需要将长度量值传递工具(维塞拉干涉仪、因瓦基线尺或精密光电测距仪)送至国家计量院与国家工作基准基线检定, 以实现基线的长度量值与国家基准统一。

无论是标准基线还是校准基线, 均建立在野外, 而且距离较长、受环境影响较大。要保证基线量值的可靠, 基线必须满足“三性”要求, 即稳定性、准确性及溯源性。本文具体研究了基线“三性”的相关问题, 供我国建立野外基线参考。

### 二、稳定性问题

#### 1. 现状

基线的标志桩深埋在地表之下, 一般埋深为数米甚至十几米, 有的甚至埋设在基岩上。但由于受外界条件变化的影响, 标志桩不可避免地要产生一些位移, 从而导致基线的标志点间距离产生变化。如原北京市测绘处与芬兰大地测量研究所合建的北京长阳标准基线, 标志桩的埋深达20 m且牢固地镶入比较坚实的亚粘土层中。芬兰大地测量研究所分别在1984年、1990年及1994年用维塞拉干涉仪进行过3次测量<sup>[3, 4]</sup>, 其结果见表1。文献[5]对表1的数据进行了分析, 其结果见表2。

收稿日期: 2012-01-13

作者简介: 桑金(1966—), 男, 河北兴隆人, 硕士, 高级工程师, 主要从事海道测量技术方法研究与应用工作。

从表1及表2可以看出,北京长阳标准基线的长度变化非常显著,文献[5]把这条标准基线标志桩变化的原因归结为在基线附近抽水浇地,在基线附近新建了建筑物及农用车穿越的干扰造成的。

国内还曾建立过成都标准基线和礼泉标准基线,但均由于城市扩建和标志桩的不稳定而无法使用。

表1 北京长阳标准基线维塞拉干涉仪测量结果<sup>[3-5]</sup>

mm			
距离段	1985年 测量结果	1990年 测量结果	1994年 测量结果
0—6	6 002.28 ±0.03	6 003.26 ±0.04	6 003.67 ±0.03
0—24	24 002.89 ±0.04	24 003.41 ±0.03	24 004.04 ±0.05
0—72	72 004.98 ±0.04	72 004.82 ±0.04	72 003.68 ±0.03
0—216	216 003.30 ±0.04	216 004.20 ±0.04	216 004.52 ±0.04
0—432	432 010.10 ±0.05	432 010.50 ±0.05	432 011.04 ±0.06

表2 北京长阳标准基线长度变化分析<sup>[5]</sup> mm

距离段	1985—1990年	1990—1994年	1985—1994年
0—6	+0.98	+0.41	+1.39
0—24	+0.52	+0.63	+1.15
0—72	-0.16	-1.14	-1.30
0—216	+0.90	+0.32	+1.22
0—432	+0.40	+0.54	+0.94

标准基线的标志桩埋深达20 m,其标志桩的位移非常显著,对于埋设相对较浅的校准基线的标志桩,其位移则更加明显。文献[6]曾对国内十多条校准基线进行过严格的测试,其结果表明基线标志桩位移是十分严重的。

## 2. 标志桩稳定性判别方法

国内外的实测数据表明:除个别基线的标志桩较为稳定外,绝大部分基线的标志桩处于变化中。芬兰大地测量研究所的奴米拉(Nummela)标准基线是目前世界上最稳定的一条标准基线,最长的864 m基线段从1947年至2007年的60年期间共进行过15次光干涉测量,最长边基线值最大互差仅为0.61 mm。正如文献[6]所述,基线标志桩产生位移是绝对的,而其稳定则是相对的。

由于基线的标志桩会产生位移,必须找出一

种恰当的方法来判别基线标志桩的稳定性。文献[7]提出了用数据探测法来判断基线点是否位移。本文则依据相邻基线点距离测量标准差的大小来研究基线标志桩的稳定性,其原理如下。

设对某野外基线共进行了 $n$ 次测量,其相邻两点之间的测量结果为 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,依据白塞尔公式可以求得标准差 $s$

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

式中  $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$ 。

如果测量次数较少,则可以采用极差法求得标准差 $s$ 。由式(1)求得的标准差应该小于该类基线的要求。一般情况下基线的精度应包括标志桩的稳定性及采用仪器基线测量结果的精度两部分,按照测绘学中常用的误差等影响原则,对于标准基线,其稳定性引起的标准差 $\sigma_0$ 满足 $\sigma_0 < \pm(0.2 \text{ mm} + 3 \times 10^{-7} D) / \sqrt{2} \approx \pm(0.1 \text{ mm} + 2 \times 10^{-7} D)$ ;对于校准基线,其稳定性引起的标准差 $\sigma_1$ 应满足 $\sigma_1 < \pm(0.3 \text{ mm} + 5 \times 10^{-7} D) / \sqrt{2} \approx \pm(0.2 \text{ mm} + 3 \times 10^{-7} D)$ 。

## 3. 判别实例

### (1) 芬兰大地测量研究所的奴米拉(Nummela)标准基线标志桩稳定性判别

1947—2007年的60年期间,芬兰大地测量研究所的专家对奴米拉(Nummela)标准基线进行过15次光干涉测量,依据前述原理对这些测量结果进行处理,其结果见表3(原始测量数据见文献[8]),其判别结论与文献[8]一致。

### (2) 立陶宛Kyviškės校准基线标志桩稳定性分析

Kyviškės校准基线是由立陶宛Vilnius Gediminas技术大学(VGTU)于1996年建立的,VGTU与芬兰大地测量研究所合作,于1997年、2001年及2007年用ME5000对其基线值进行了测量。在对Kyviškės校准基线进行测量前及测量后,ME5000均在芬兰大地测量研究所的奴米拉(Nummela)标准基线上进行了校准。Kyviškės校准基线长1320 m,由6个基线点组成,相邻基线点之间的距离分别为100 m、260 m、760 m、180 m及20 m。其3次测量数据见表4,表4的判别结论与文献[9]一致。

表 3 奴米拉( Nummela) 标准基线标志桩稳定性分析表

mm

测量 时间/年	基线段 0—24		基线段 0—72		基线段 0—216		基线段 0—432		基线段 0—864	
	尾数	残差	尾数	残差	尾数	残差	尾数	残差	尾数	残差
1947							95.46	0.27	122.78	0.30
1952							95.39	0.20	122.47	-0.01
1955							95.31	0.12	122.41	-0.07
1958							95.19	0.00	122.25	-0.23
1961							95.21	0.02	122.33	-0.15
1966							95.16	-0.03	122.31	-0.17
1968							95.18	-0.01	122.37	-0.11
1975							94.94	-0.25	122.33	-0.15
1977	33.28	-0.05	15.78	0.69	54.31	0.83	95.10	-0.09	122.70	0.217
1983	33.50	0.17	15.16	0.07	53.66	0.18	95.03	-0.16		
1984	33.29	-0.04	15.01	-0.08	53.58	0.10	94.93	-0.26	122.40	-0.08
1991	33.36	0.03	14.88	-0.21	53.24	-0.24	95.02	-0.17	122.32	-0.16
1996	33.41	0.08	14.87	-0.22	53.21	-0.27	95.23	0.05	122.75	0.27
2005	33.23	-0.10	14.98	-0.11	53.20	-0.28	95.36	0.18		
2007	33.22	-0.11	14.95	-0.14	53.13	-0.35	95.28	0.10	122.86	0.38
平均值	33.33		15.09		53.48		95.19		122.48	
标准差	±0.10		±0.32		±0.42		±0.16		±0.21	
要求 标准差	±0.10		±0.12		±0.14		±0.18		±0.36	
判别 结论	稳定		不稳定		不稳定		稳定		稳定	

注:原始测量结果来自文献[8]。

### 三、精确性问题

#### 1. 因瓦基线尺丈量基线的实际精度

从 20 世纪 50 年代初,我国就开始用 24 m 因瓦基线尺测量野外基线,虽然时间已经过了近 60 年,但把基线尺作为我国法定长度量值的传递工具的手段没有改变。表 5 为我国某法定机构用因瓦基线尺测量一条 4.2 km 长的校准基线的 3 次结果,该机构进行基线测量时,严格按国家有关标准和规程执行。

表 4 Kyviškės 校准基线标志桩稳定性分析表 mm

测量时 间/年	测量结果				
	100 m 的尾数	260 m 的尾数	760 m 的尾数	180 m 的尾数	20 m 的尾数
1997	163.8	13.6	210.0	98.4	12.4
2001	163.6	13.9	209.2	98.1	12.4
2007	163.8	13.7	209.9	98.3	12.7
极差法求 得的标准差	±0.12	±0.18	±0.47	±0.18	±0.18
要求标准差	±0.23	±0.28	±0.53	±0.25	±0.21
判别结论	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定

注:原始测量结果来自文献[9]。

表 5 4.2 km 长校准基线 3 次测量结果

测量时间/年	测量结果					
	距离值/m	残差/mm	距离值/m	残差/mm	距离值/m	残差/mm
1987	1 080.373 21	-0.83	1 800.403 48	-2.06	4 236.523 54	-0.16
1988	1 080.374 20	0.16	1 800.406 02	0.48	4 236.524 09	0.39
1990	1 080.374 70	0.66	1 800.407 11	1.57	4 236.523 48	-0.22
简评	单方向增加 最大变化 1.49 mm		单方向增加 最大变化 3.63 mm		稳定	

从表 5 的数据可以看出,连续 3 次用因瓦基线尺测量该基线,最长距离 4.2 km 的变化很小,而中

间点却单方向变长。这种现象很难用常理解释清楚,因为该基线所有标志点埋深均达 10 m 以上,地

质条件基本一致,很难出现中间点不稳定、两端点稳定的情况,文献[4]中也提到,我国某专业机构提供的被认为没有多大位移的7条基线的资料中,有的基线组合边偏离可达3~4 mm之多。由此看来,用因瓦基线尺测量基线的实际做法还有待商榷,其真实测量精度的可靠性尚需深入研究。

## 2. 精密测距仪丈量基线的实际精度

自精密光电测距仪 ME3000(厂家标称的测距精度为 $\pm(0.2\text{ mm} + 1 \times 10^{-6}D)$ )、Com-Rad CR204(厂家标称的测距精度为 $\pm(0.1\text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6}D)$ )及 ME5000(厂家标称的测距精度为 $\pm(0.2\text{ mm} + 0.2 \times 10^{-6}D)$ )投入测绘生产实践中以来,国外早已将这类精密光电测距仪用于校准基线的测量,我国的军队系统将 ME5000 等精密测距仪用于测量校准基线。国内外诸多单位对精密测距仪的实际测距精度进行过仔细研究,其结果表明:精密测距仪的精度完全取决于气象参数的测定精度以及气象参数的代表性。文献[10]详细分析了用因瓦基线尺及精密光电测距仪测量校准基线的精度,其结果表明,用两台标称精度为 $\pm(1.0\text{ mm} + 1 \times 10^{-6}D)$ 的 DI2002 光电测距仪去测量校准基线,通过选择恰当的观测时间及提高气象参数的测量精度等手段,所获得的校准基线的标准差(亦称为标准不确定度)为 $\pm(0.28\text{ mm} + 0.21 \times 10^{-6}D)$ ,与用4根因瓦基线尺分段分组进行往返(2根用于往测,另外2根用于返测)测量1 km 校准基线所获得的标准差(亦可以称为标准不确定度)相当。

## 四、溯源性问题

### 1. 国内外现状

自20世纪50年代初开始,我国的计量及测绘工作者就积极开始从事野外基线长度量值的统一与溯源工作,初期是从前西德、法国及前苏联进口过许多24 m 因瓦基线尺用于丈量野外基线。在1959年以前,由于我国未建立因瓦基线尺室内检定装置,丈量基线所用的因瓦基线尺均送前苏联莫斯科测绘学院进行检定;1959年,前国家测绘总局与前国家计量局协议联合在中国计量科学研究院建立基线尺检定实验室。直至今日,虽然检定因瓦基线尺的标准装置精度不断提高,但基线尺检定实验室的基本格局及运作方式没有发生根本改变。

为了改变传统上采用基线尺在室内检定与在野外使用而带来的系统误差,我国曾谋划采用精密光电测距仪替代因瓦基线尺测量野外基线,国内有关单位与世界著名的芬兰大地测量研究所在过去

的20年内,采用维塞拉干涉仪分别为我国测量了两条标准基线,即北京长阳标准(分别于1985年、1990年、1994年进行过3次测量)、四川成都标准基线(1998年11月进行过测量)。但由于各种原因,这两条标准基线现已报废。因此,在室内检定因瓦基线尺后,用因瓦基线尺在室外丈量野外基线这种传统的生产流程仍然是我国目前唯一合法的野外基线量值的溯源方法。

在国外,利用精密光电测距仪测量校准基线已经成为较为通行的做法。为了确保校准基线的量值溯源到国家基准,首先需要在标准基线上对精密光电测距仪进行检定,获取精密光电测距仪的改正参数。

### 2. 不同溯源方法的量值统一性问题

目前采用因瓦基线尺或者精密光电测距仪来实现校准基线量值的溯源,但无论采用何种溯源方法,对于同一条校准基线来说,其量值应该是一致的。但实际情况并非如此,国内外大量实际测量结果表明,精密测距仪和因瓦基线尺这两种不同的溯源方式之间存在明显的系统误差。

#### (1) 加拿大国家基线 1985—1987 年对比情况<sup>[11]</sup>

1985—1987年,加拿大地质调查局大地测量中心用3台 Com-Rad CR204 及3台 ME5000 对加拿大国家大地基线场(NGBL)进行了7次测量。与NGBL的因瓦基线尺测量结果相比较,精密测距仪的测量结果较因瓦基线尺的结果短4.4~6.1 mm/km,该系统误差的平均值为 $\pm 5.3\text{ mm/km}$ ,其中1985年及1987年所使用的精密测距仪还与德国慕尼黑的标准基线进行过比对。

#### (2) 信息工程大学测绘学院 2009 年对比情况<sup>[10]</sup>

信息工程大学测绘学院2009年选用两台 DI2002 及一台 ME5000 精密光电测距仪去芬兰的标准基线场检定后,再用这3台精密光电测距仪对国内两条校准基线进行测量,与因瓦基线尺的测量结果对比后发现:精密测距仪的测量结果较因瓦基线尺的结果长3.1 mm/km。

#### (3) 国家光电测距仪检测中心 2003 年对比情况

国家光电测距仪检测中心曾经为国内众多单位检定过精密光电测距仪 ME5000,但数据一直未公开。文献[12]间接给出了一台 ME5000 的测量结果:ME5000 的测量结果较因瓦基线尺的结果长2.7 mm/km。

### 3. 建议的溯源方案

从国内外公开的实测数据可以看出:精密光电测距仪的测距结果与因瓦基线尺的测距结果之间确实存在非常显著的系统误差,这就会出现采用不同的量值传递工具和方法获得不同测量结果的情况,这种结果明显违反了《计量法》要求量值“统一性”的规定。

依据国外成熟的经验及我国信息工程大学测绘学院所做的探索性工作,在我国未建立可以使用的标准基线之前,每年从我国现有的性能稳定的精密光电测距仪中选出 2~3 台去芬兰大地测量研究所的奴米拉标准基线进行检定,获取精密光电测距仪的改正参数,然后再用这些精密光电测距仪对我国的校准基线进行测量。据文献[6]估算,这种方案还可以大大节省我国校准基线的成本。

### 五、结束语

量值的统一是一项涉及国计民生的基础性工作,世界各国对此都非常重视。建立野外基线是实现长度量值传递与溯源的主要方法,但对于上述我国的校准基线采用不同的量值传递方法获得不同结果的现象,吁请并期待国家相关权威部门的重视,适时修订长度量值传递工具与国家长度量值传递系统的规定标准,以满足当今测绘新技术发展的需求。

### 参考文献:

- [1] 顾耀宗. 长度计量基础知识讲座(一)[J]. 上海计量测试, 2006, 196(6): 45-46.
- [2] 沈乃激. 量学的世纪变迁——长度单位米定义的变迁(二)[J]. 中国计量, 2011(2): 52-55.
- [3] 卢乾坤, 杜宗玉, 卡列宁, 等. 北京长阳标准基线场的建立[J]. 测绘通报, 1986(5): 20-33.
- [4] 李荃, 康蒂宁, 约克拉. 北京长阳标准基线复测报告[J]. 测绘通报, 1992(1): 12-24.
- [5] JOKELA J. Interference Measurements of the Chang Yang Standard Baseline in 1994 [M]. Helsinki: Publications of the Finnish Geodetic Institute, 1995.
- [6] 薛英, 付子傲. 测距基线点位移及应对办法[C]//2009年全国测绘仪器综合学术年会论文集. 北京: [s. n.], 2009: 53-57.
- [7] 付子傲, 薛英, 包欢, 等. 测距仪检定基线点位移探测方法研究[C]//2009年全国测绘仪器综合学术年会论文集. 宜昌: [s. n.], 2009: 37-41.
- [8] JOKELA J, HÄKLI P. Interference Measurements of the Nummela Standard Baseline in 2005 and 2007 [M]. Helsinki: Publications of the Finnish Geodetic Institute, 2010.
- [9] JOKELA J, HÄKLI P, AHOLA J, et al. On Traceability of Long Distances [EB/OL]. 2009-09-06 [2011-10-25]. <http://www.imeko2009.it.pt/Papers/FP-100.pdf>.
- [10] 付子傲, 朱江, 孙方飞, 等. 长度基线溯源问题探讨[J]. 测绘科学技术学报, 2011, 28(3): 157-160.
- [11] BRESEE B, VAMOSI S. Comparison of the Canadian National Baseline with the Väisälä-standard in Munich [C]//Commission 5 FIG XIX Congress, Helsinki: [s. n.], 1990: 431-436.
- [12] 国家光电测距仪检测中心. 检测数据综合处理软件研制[C]//2003年全国测绘仪器综合学术年会论文集. 银川: [s. n.], 181-189.

(上接第 42 页)

光扫描技术在未来的林业经营管理中发挥着越来越重要的作用。

### 参考文献:

- [1] 冯仲科. 精准林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [2] WEISS J. Application and Statistical Analysis of Terrestrial Laser Scanning and Forest Growth Simulations to Determine Selected Characteristics of Douglas-Fir Stands [J]. Folia Forestalia Polonica: Series A, 2009, 51(2): 123-137.
- [3] TANSEY K, SELMES N, ANSTEE A, et al. Estimating Tree and Stand Variables in a Corsican Pine Woodland from Terrestrial Laser Scanner Data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(19): 5195-5209.
- [4] AMENTA N, BERN M, KAMVYSELIS M. A New Voronoi-based Surface Reconstruction Algorithm [C]//Proceedings of The 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques SIGGRAPH98. New York: ACM Press, 1998: 415-421.
- [5] 赵阳, 余新晓, 信忠保, 等. 地面三维激光扫描技术在林业中的应用与展望[J]. 世界林业研究, 2010, 23(4): 41-45.