



中华人民共和国国家标准

GB/T 16789—2019
代替 GB 16789—1997

比长基线测量规范

Specifications of the baseline measurements

2019-03-25 发布

2019-10-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 比长基线场的基本要求 2

 4.1 精度要求 2

 4.2 稳定性要求 2

 4.3 设计要求 2

5 比长基线场选址和埋石 2

 5.1 选址原则 2

 5.2 埋石 3

6 测量器具的检定 3

 6.1 因瓦基线尺的检定 3

 6.2 因瓦补尺的检定 4

 6.3 水准仪、水准标尺和经纬仪的检定 4

 6.4 温度表的检定 4

7 比长基线的测量 4

 7.1 整置轴杆架 4

 7.2 轴杆头水准测量 5

 7.3 长度测量 6

8 测量数据的记录 7

 8.1 记录方式 7

 8.2 记录项目 7

 8.3 记录要求 7

 8.4 记录整理和检查 8

9 测量数据处理 8

 9.1 因瓦基线尺长度 8

 9.2 段长计算 8

 9.3 各段最后长度计算 8

 9.4 基线全长计算 9

 9.5 精度估计 9

 9.6 不确定度评定 10

10 资料整理和复测 10

 10.1 资料整理 10

 10.2 复测 10

附录 A (资料性附录) 比长基线分段设计 11

附录 B (规范性附录) 地面标石样式 12

附录 C (规范性附录) 观测墩、基岩桩样式 13

附录 D (资料性附录) 因瓦基线尺和补尺的野外比较计算 15

附录 E (资料性附录) 计算基线所采用的因瓦基线尺长度表 17

附录 F (资料性附录) 段长计算 18

附录 G (资料性附录) 各段最后长度计算 19

附录 H (资料性附录) 精度估计 20

附录 I (资料性附录) 比长基线场测量不确定度评定 21



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB 16789—1997《比长基线测量规范》。与 GB 16789—1997 相比,主要变化如下:

- 根据 GB/T 1.1—2009 对原标准的格式进行了修改;
- 增加了场地及观测墩稳定性监测要求和指标、比长基线场横向偏差的限定指标进行了规定;
- 增加了测量数据的记录一章,对记录方式、项目、要求和检查等做出了规定;
- 根据 JJG 306 对因瓦尺的检定细则进行修改;
- 修改了对水准仪、水准标尺的检验内容,增加引用文件;
- 删除了原精度评定中的 E_5 ;
- 删除了原附录 H 倾斜改正计算(24 m 因瓦线尺用);
- 附录新增加了 6 m 补尺比较计算及比长基线场测量不确定度评定的内容。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出。

本标准由全国地理信息标准化技术委员会(SAC/TC 230)归口。

本标准起草单位:国家测绘地理信息局测绘标准化研究所、国家测绘地理信息局第一大地测量队。

本标准主要起草人:肖学年、郭赞峰、陈真、张坤、严竞新。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB 16789—1997。

比长基线测量规范

1 范围

本标准规定了比长基线场的基本要求、选址和埋石、测量器具的检定、测量方法、测量数据记录以及测量数据处理、资料整理和复测的要求。

本标准适用于比长基线场的设计、建造、测量及其精度评定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

CH/T 2004 测量外业电子记录基本规定

CH/T 2006 水准测量电子记录规定

JJG 8 水准标尺

JJG 306 24 m 因瓦基线尺

JJG 414 光学经纬仪

JJG 425 水准仪

JJG 703 光电测距仪

JJG 966 手持式激光测距仪检定规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

比长基线场 standard baseline field

由位于一条直线上若干标志点组成,各相邻点间距离溯源至国家长度基准。

注:用于检定全站仪、光电测距仪及 GNSS 接收机等测量仪器的长度计量标准,属于国家线纹量值传递系统中的三等标准线纹量具。

3.2

因瓦基线尺 invar wire

采用温度线膨胀系数小于 $0.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 的因瓦合金制成的线状或带状尺。

注:用于精密距离测量,属于国家线纹量值传递系统中的二等标准量具。

3.3

跨距 span

相邻两个轴杆头或测量点间的距离。

注:其长度约等于测量使用的因瓦基线尺标称尺长。

3.4

悬链线不对称改正 asymmetry catenary correction

基线测量时,相邻两个轴杆头不等高所形成的悬链线不对称所引起的长度改正。

3.5

重力变化改正 gravity correction

比长基线场和因瓦基线尺检定所在地的纬度不同,致使重力变化所引起的长度改正。

3.6

段点 segment point

组成比长基线场的各个标志点。

3.7

端点 extreme point

比长基线场首、末端点。

3.8

节点 1/3 points

基线测量时,基线一般分成大致相等的三节,为分节处的段点。

4 比长基线场的基本要求**4.1 精度要求**

4.1.1 比长基线场按照一等基线测量,其全长相对精度应等于或高于 1×10^{-6} 。

4.1.2 比长基线场相邻两标志点间的水平距离,其测量中误差不大于 $\pm(0.4 \text{ mm} + 1.0 \times 10^{-6} D)$ (D 为相邻两标志点间的水平距离)。

4.1.3 横向偏差是指比长基线场任一段点到基线首、末端点连线的垂直距离。比长基线场的横向偏差应不大于 60 mm。但当两段点间距离为 24 m,且两段点位于首、末端点连线方向不同侧时,其横向偏差之和应不大于 60 mm;当两段点间距离为 48 m,且两段点位于首、末端点连线方向不同侧时,其横向偏差之和应不大于 90 mm。

4.2 稳定性要求

段点间距离应保持稳定。各段点年变化量由本期测量值和上一期测量值之差算得,其值应不大于按式(1)计算的结果。在两期测量之间,比长基线场管理方应定期核查比长基线场段点间距离,以便掌握段点间距离的稳定性。

$$\Delta \leq 3\sqrt{l} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

Δ ——段长互差,单位为毫米(mm);

l ——段长,单位为千米(km)。

4.3 设计要求

4.3.1 比长基线场的长度应在 1 000 m 以上,以 1 000 m~2 000 m 为宜,点数个数不少于 7 个;

4.3.2 比长基线场应分段设计,各段的全组合边长尽量不重复,并按 24 m 因瓦基线尺的整倍数进行分段,分段设计参见附录 A。

5 比长基线场选址和埋石**5.1 选址原则**

按照以下原则进行选址:

- a) 比长基线场的场址应交通便利,地质结构稳定、没有断层,可供长期使用;
- b) 比长基线场应避开干扰物和反射物,如高压线、微波发射塔、无线电发射塔、雷达站以及其他强电磁波辐射装置地段;
- c) 选择地势平坦、植被良好、总坡度小于 1°的等倾斜地段;
- d) 基线两侧附近应无影响基线场稳定性的湖泊、水塘、沙沟等,离金属网栅栏的距离应大于 3 m,离建筑物应大于 2 m,测线上无干线公路横穿;
- e) 在基线延长的方向上尽量避开高大建筑物。

5.2 埋石

- 5.2.1 比长基线场的地面标石、观测墩和基岩桩的规格及式样,见附录 B 与附录 C。
- 5.2.2 场址选定后应收集场地的地质勘察资料,否则应进行工程地质勘察。根据勘察资料,选用合适的埋设深度和方法。宜采用强制对中标志的观测墩,埋设深度至基岩,或至稳定的持力层。
- 5.2.3 地面标石应用钢筋混凝土现场浇灌,浇灌后需养护 48 h。标石成型坑的深度,一般地区为 3 m;在冻土地带应埋至冻土线以下。标石面低于地面 0.2 m。
- 5.2.4 观测墩埋设的深度要求与地面标石相同。墩面高于地面 1.2 m 左右。
- 5.2.5 地面标石和观测墩上要标有点号、单位名称和埋设日期。基线端点和各分段点为观测墩的应有强制对中装置,并有保护装置。如为地面标石,则应可以安置精密对中器。
- 5.2.6 标石或观测墩埋设放样时,水平距离精确到厘米,定向偏差应小于 5"。
- 5.2.7 标石或观测墩埋设后,需经一年以后才能进行长度测量。

6 测量器具的检定



6.1 因瓦基线尺的检定

6.1.1 因瓦基线尺检定周期

因瓦基线尺应每年进行长度检定。温度线膨胀系数每五年检定一次。检定时执行 JJG 306 的规定。

6.1.2 因瓦基线尺及附加重锤的检定要求

因瓦基线尺及附加重锤的检定要求如下:

- a) 温度变化 1 °C 时,因瓦基线尺每米长度的线膨胀应小于 0.5 μm;因瓦基线尺的实际长度与标称长度之差应小于 5 mm。温度改正数按式(2)计算;

$$\Delta t = \alpha(t - 20) + \beta(t^2 - 20^2) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- Δt ——温度改正数;
- $\alpha、\beta$ ——因瓦基线尺温度线膨胀系数;
- t ——温度,单位为摄氏度(°C)。

- b) 每一重锤的质量与 10 kg 之差,应小于 0.005 kg。

6.1.3 因瓦基线尺的野外比较

在作业过程中或长途运输后,对因瓦基线尺的长度发生怀疑时,应在野外进行因瓦基线尺的比较,以考察尺长的变化情况。

因瓦基线尺的野外比较,在平坦的地方稳固地整置两个轴杆架,其间的距离为 24 m ± (1~3) cm,

轴杆架脚尖处,应铲去草皮。两轴杆头应尽可能同高。比较前 30 min 将因瓦基线尺由卷鼓上取下,并引张起来(不加重锤)。比较共进行 12 个测回。每一个测回包括:

- a) 用各因瓦基线尺按 1、2、3... n 的次序测量两轴杆头间的距离,每尺前后端观测员同次同时各读定三次数,各距离(前一后)之差应小于 0.2 mm;
- b) 观测员连同尺架、滑轮、重锤换位(基线尺不调头),各尺再按 $n\cdots 3、2、1$ 的次序测量两轴杆头间的距离,规定同 a)。

在每测回的始末和中间测次,均应测定空气温度。

分别取每根尺的 12 个测回测定结果的中数,加入尺长改正数和温度改正数。将各尺改正后的结果取中数(互差大于 0.2 mm 的结果不参加),各尺结果与此中数的较差应在 ± 0.05 mm 以内。因瓦基线尺野外比较计算,参见附录 D。

6.2 因瓦补尺的检定

因瓦补尺的长度,每半年应测定一次。测定用两根 24 m 因瓦基线尺在野外进行。

选择平坦的地方,稳固地整置相距 24 m 的两个轴杆架,轴杆头应尽可能同高。在测定前 30 min,将补尺和 24 m 因瓦基线尺由箱内取出,并引张起来(不加重锤)。测定程序如下:

- a) 用两根 24 m 因瓦基线尺往、返测量两轴杆头间的距离,返测时两观测员连同尺架、滑轮、重锤换位。每尺前后端各读定三次数,各距离(前一后)之差应小于 0.2 mm。
- b) 在两轴杆架之间安置中间轴杆架,每两相邻轴杆架间的距离为补尺之长,各中间轴杆架应精密整置于两端轴杆架之视准面内,相邻两轴杆架顶部的高差应小于 5 mm。
- c) 往、返测量各轴杆头之高差和用补尺往、返测量距离,返测时,补尺调头,两观测员连同尺架、滑轮、重锤换位。每尺前后端各读 6 次数,各距离(前一后)之差应小于 0.2 mm。
- d) 撤去所有中间轴杆架。再用两根 24 m 因瓦基线尺测量两轴杆架间之距离,规定同 a)。

以上的测定为一个测回,共应测两个测回,各测回的始、末应测定空气温度。补尺野外比较计算参见附录 D。

因瓦补尺也可每年送法定计量检定机构进行长度检定。

6.3 水准仪、水准标尺和经纬仪的检定

6.3.1 作业使用的水准仪,水准标尺,经纬仪,手持式激光测距仪和全站仪等,应每年进行检定或校准,并在检定或校准的有效期内使用。水准仪的检校按 JJG 425 规定执行,水准标尺的检校按 JJG 8 规定执行,光电测距仪的检校按 JJG 703 规定执行,光学经纬仪的检校按 JJG 414 规定执行,手持式激光测距仪按 JJG 966 规定执行。

6.3.2 作业过程中,水准仪的 i 角每天应测定一次,并将其改正到 $6''$ 以内。数字水准仪可将当天测得的 i 角存入仪器内,并对所测数据按照该 i 角自动修正。

6.3.3 水准仪和水准标尺应每年送法定计量检定机构检定。精度应满足三等水准测量的要求。

6.3.4 经纬仪应每年送法定计量检定机构检定。精度应满足国家等级三角测量和精密导线测量的要求。

6.4 温度表的检定

温度表应按期送法定计量检定机构检定。精度应小于 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7 比长基线的测量

7.1 整置轴杆架

7.1.1 如果基线端点为标石,则先在端点上配置轴杆架,轴杆头的精确位置用两台经纬仪(或全站仪)

互成 90°方向投影而定。在基线的第一个节点上整置经纬仪(或全站仪),照准端点上的轴杆头,然后依次整置轴杆架。相邻两轴杆架间的距离与 24 m 之差一般不得大于 3 cm。

安置轴杆架时,应使其中两脚与基线方向平行,而第三脚分别交替安置于基线方向的左右两侧,并使其牢固插入土中,拧紧所有螺旋。轴杆头应垂直于地面,十字线应有一线与基线同向。

中间各段点上的轴杆架位置,均应用两台经纬仪(或全站仪)投影而定。

当轴杆架配置到经纬仪(或全站仪)所在处时,取下经纬仪(或全站仪),用两台经纬仪(或全站仪)成 90°方向投影整置该节的最后一个轴杆架,并检查最后一个跨距。

7.1.2 整条基线的轴杆架应统一编号。

7.1.3 在土质松软或烂泥地上,轴杆架应安置在打入地中的木桩上。木桩的直径为 7 cm~8 cm,木桩的长度视地质而定,但不得短于 0.3 m。亦可用高木桩代替轴杆架。

7.1.4 不足一基线尺长的距离,使用因瓦补尺丈量。使用补尺的地方,宜选取地势平坦的场地进行轴杆架配置,配置的相邻两轴杆头间的高差应尽可能小。

使用补尺应遵守下列原则:

- a) 应尽量少用;
- b) 不得使用补尺测量短于 1 m 的距离;
- a) 使用补尺测量的尺段,距离段点应为一个 24 m 尺段以下。

7.1.5 如果基线各段点均为观测墩时,则在节点上整置经纬仪(或全站仪),照准端点观测墩标志依次整置轴杆架。轴杆架的安置要求同 7.1.1。

7.2 轴杆头水准测量

7.2.1 轴杆头水准测量采用 S₀₅或 S₁ 级光学水准仪或数字水准仪和 1.5 m 长的标尺。

7.2.2 轴杆头水准测量的程序与 7.3 中长度测量相同。如果长度测量是分节做往、返测量,则轴杆头水准测量亦分节做往、返测量;如长度测量按全长做往、返测量,则轴杆头水准测量亦按全长做往、返测量。轴杆头水准测量的往测在长度测量的往测之前进行,而返测则在长度测量返测之后进行。

7.2.3 轴杆头水准测量使用光学水准仪时按中丝法取标尺两面读数,使用数字水准仪时照准标尺两次,分别读数。测量时,水准标尺上的圆气泡应居中。由一测站读取的轴杆架数,不得多于 5 个。测站的选择,应使与每一轴杆架的距离大致相等,但视距不得超过 75 m。

7.2.4 使用光学水准仪时,每一轴杆架上标尺黑面和红面读数,经过化算后,其差值不得超过 2 mm。根据标尺黑面和红面所得高差,其互差不得大于 2 mm。相邻两轴杆头之间的高差,计算至 0.1 mm。

7.2.5 使用数字水准仪时,每一轴杆架上标尺两次测量结果,其差值不得超过 2 mm。根据标尺两次重复测量所得高差,其互差不得大于 2 mm。

7.2.6 高差大于 1 m 的尺段和长度不足 24 m 的短距离,应测定两次高差。两次测定之间变换仪器高度,视距差不得大于 2 m。两次所测高差之差不得超过 2 mm。

7.2.7 相邻两轴杆头间,由往测和返测所得高差之差,不得超过表 1 中的数值。

表 1 往测和返测高差之差的限差

跨距	限差/mm
高差不大于 1 m	3
高差大于 1 m	2
使用补尺	1

如高差之差超限,则应对相应轴杆架重新进行测量。如确认系往测之后返测之前轴杆架被碰动而

超限,则需返测重测。重测时可对往返测分别进行倾斜改正。

7.3 长度测量

7.3.1 长度测量方法

比长基线场使用六根因瓦基线尺丈量。一条基线一般应分为距离大致相等的三节进行测量,每一节用四根因瓦基线尺测量(其中两根用于往测,另两根用于返测)。用于各节测量的因瓦基线尺配置见表 2。

表 2 用于各节测量的因瓦基线尺配置

节别	尺号	
	往测	返测
第一节	1, 2	3, 4
第二节	5, 6 (3, 4)	1, 2 (5, 6)
第三节	3, 4 (5, 6)	5, 6 (1, 2)
注:表中 1、2、3、4、5、6 为因瓦基线尺代号。		

每次使用的两根因瓦基线尺,最好具有不同的温度线膨胀系数。

7.3.2 长度测量实施步骤

长度测量按如下步骤实施:

- 测量前 30 min,应将因瓦基线尺置于露天阴凉处,使其与外界气温趋于一致。
- 测量时,因瓦基线尺两端三棱分划尺的零分划应在测量前进方向的后面。
- 挂尺前,前端读数员应检查前端轴杆架(或木桩)是否牢固,轴杆头的整置是否正确、全部螺旋是否旋紧。
- 整置三棱分划尺,使其斜棱稍微触及轴杆头,并与其上的十字线划一致。
- 重锤不得触及地面。应在因瓦基线尺和重锤停止摇摆后,方可开始读数。
- 每一尺段,每一根因瓦基线尺前后端读定三对数,读至 0.1 mm。相邻两对读数间应将分划尺移动 1 cm~2 cm,移动方向,往测由小往大,返测由大往小。
- 测量时,放锤、提锤以及开始读数的口令,均由前端发出,而动作应在后端应“好”的瞬间,两端同时进行。
- 报数由前端读数员开始,后端继之,先报毫米以下的数,后报厘米和毫米数。读完三对数后,读数员应将三棱分划尺提高 1 cm~2 cm,等待记簿员口令。
- 记簿员依次将读数记录,并求出“前一后”,每根尺“前一后”互差不得超过 0.2 mm。如超限,应补读一对数。若连续五对读数不合,则应重新测定。
- 在每一尺段上应注意两根因瓦基线尺所测尺度之差异,此差异与两根因瓦基线尺之差相比较,其互差不得超过 0.2 mm。如超限,分析并排除可能超限的原因,进行重测。如果重测的结果与同尺原测结果之差及其中数与另一尺的结果之差,均不超出 0.2 mm 者,则采用同尺重测的结果与原测结果取中数。否则,只采用重测的结果。如果重测的结果差异如前,则可能是因瓦基线尺的长度发生了变化,在这种情况下,应进行因瓦基线尺的野外比较,以了解尺长的变化情况,并用后备因瓦基线尺代替长度发生变化的因瓦基线尺进行测量。因瓦基线尺受损伤,落地或尺长变更等情况,应详细地记入手簿中。
- 往下一尺段转移时,后端读数员(连同尺架、滑轮、重锤)前进,变为下一尺段的前端;原前端读

数员(连同尺架、滑轮、重锤)留在原地变为后端,并注意保护轴杆架位置不变。扶尺架,提重锤者连同器械亦可不变前后端位置,每尺段循序前进,至一段的二分之一处前后端再互换位置。

- l) 往测结束后,即进行返测。返测时两读数员连同器械互换位置,更换因瓦基线尺。
- m) 每五个尺段读记温度两次。每一段的开始和结束时均应记载天气和时间。
- n) 用因瓦补尺测量时,往测或返测都应读六对数。在测量短于一补尺的长度时,往测用补尺的一端读数,返测用另一端。
- o) 用钢卷尺检测用补尺测量得出的短距离;如短距离由整尺测量得出,可不进行检测。使用补尺的轴杆架,其配置及编号,应绘图表示。
- p) 记簿员应经常将轴杆架的编号与实地对照。

7.3.3 互差

根据每一根因瓦基线尺测量算得的段长,其互差应符合式(1)。

超限时该段应用两根因瓦基线尺在一个方向进行重测。

7.3.4 实施基线测量的气象条件

比长基线场测量时的天气、风力和温度等应满足检定器具的工作要求。基线测量时的气温宜在 20℃ 左右,最低气温不低于 -5℃,最高气温不高于 35℃;基线测量时横向风速不大于 4 m/s;下雨、下雪时不得进行基线测量。

8 测量数据的记录

8.1 记录方式

基线测量的外业数据,按记录载体分为电子记录和手簿记录两种方式,应优先采用电子记录。

8.2 记录项目

- 8.2.1 长度测量在每一测段始末应记录日期、时间、天气、观测者、记录者、尺号、是否往返测。
- 8.2.2 长度测量每两个跨距记录一次温度,在每一跨距上记录轴杆架号,每个尺子的三对读数。
- 8.2.3 轴杆头水准测量在每一测段始末应记录日期、时间、天气、观测者、记录者、仪器类型、编号、是否往返测。
- 8.2.4 轴杆头水准测量在每站上记录测站号、轴杆架号、标尺读数。

8.3 记录要求

8.3.1 手簿记录的要求

外业观测值和记事项目,应在现场直接记录。

手簿一律用铅笔填写,记录的文字数字应清晰、整洁,不得潦草模糊。手簿中任何原始记录不得涂擦,对原始记录有错误的数字和文字,应仔细核对后以单线划去,在其上方填写更正的数字和文字,并在备考栏里注明原因,但观测数据的小数部分不应划改。对作废的记录,亦用单线划去,并注明原因及重测结果记于何处。

8.3.2 电子记录的要求

电子记录要求按 CH/T 2004 和 CH/T 2006 执行。

8.4 记录整理和检查

观测工作结束后应及时整理和检查外业观测手簿。检查手簿计算是否正确、观测结果是否满足各项限差要求。观测结果应在确认符合本标准规定之后,方可进行外业数据处理。

9 测量数据处理

9.1 因瓦基线尺长度

列出基线丈量采用的因瓦基线尺表,计算过程参见附录 E。

9.2 段长计算

按每根因瓦基线尺分别计算各段长度。

各段每根因瓦基线尺读数之和加入温度改正数、尺长改正数、倾斜改正数、分划尺改正数后,即为每根因瓦基线尺算得的段长。段长计算参见附录 F。

其中,因瓦基线尺读数由手簿抄得;因瓦基线尺的温度线膨胀系数和尺长改正由因瓦基线尺检定证书给出;分划尺改正数按式(3)计算。

$$\Delta(b-a) = -0.215 \sum (b-a) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$(b-a)$ ——因瓦基线尺前后端分划尺的读数差,单位为米(m)。

测量基线所用因瓦基线尺的 $\sum(b-a)$ 之值,可以认为是相同的,由各因瓦基线尺读数和取中数获得。

9.3 各段最后长度计算

9.3.1 计算方法

对各因瓦基线尺算得的段长取平均值,再加入悬链线不对称改正、重力变化改正后,即为该段之最后长度。各段最后的长度计算参见附录 G。

9.3.2 悬链线不对称改正数

悬链线不对称改正数 ΔP 按式(4)计算:

$$\Delta P = 2.993 \times 10^{-3} \sum h^2 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

ΔP ——悬链线不对称改正数;

h ——相邻两轴杆头的高差,单位为米(m);

$\sum h^2$ ——可由水准测量算得,也可以由倾斜改正数之和 $\sum \Delta h$ 求出。

9.3.3 重力变化改正数

重力变化改正数 Δg 按式(5)计算:

$$\Delta g = 7.02 \times n [(g_2 - g_1)/g_1] \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Δg ——重力变化改正数;

n ——跨距数;

g_1 ——因瓦基线尺检定处的重力加速度,见式(6);

g_2 ——基线场所在地的重力加速度,见式(7)。

$$g_1 = 9.806\,15 \times (1 - 0.002\,642 \cos 2\phi_1) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$g_2 = 9.806\,15 \times (1 - 0.002\,642 \cos 2\phi_2) \quad \dots\dots\dots (7)$$

g_1 与 g_2 的差值计算见式(8)。

$$\Delta g_{2-1} = g_2 - g_1 = 0.025\,908 \times (\cos 2\phi_1 - \cos 2\phi_2) \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

ϕ_1 ——因瓦基线尺检定处的纬度;

ϕ_2 ——基线场所在地的纬度。

注: ϕ_1 、 ϕ_2 均可从地图上量取或实测等,精度至 0.1° 。

9.4 基线全长计算

各段长度相加,即为基线全长之最后长度。

9.5 精度估计

9.5.1 基线测量本身的误差

基线测量本身的误差 E_1 按式(9)计算。基线各段(或节)往返测共用四根因瓦基线尺,得出四个长度结果。

$$E_1 = \pm \sqrt{\sum \delta \delta / n(n-1)} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

E_1 ——基线测量本身的误差;

δ ——四个长度的中数与每个长度的差;

n ——因瓦基线尺数目,等于 4。

基线全长的 E_1 等于各段(或节)的 E_1 平方和开方。

9.5.2 轴杆头水准测量的误差

基线各段、各节和全长的轴杆头水准测量误差 E_2 ,均按式(10)计算:

$$E_2 = \pm 0.013\,7 \sqrt{\sum \Delta h} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

E_2 ——基线各段、各节和全长的轴杆头水准测量误差;

$\sum \Delta h$ ——倾斜改正数,单位为毫米(mm)。

9.5.3 因瓦基线尺温度系数的测定误差

24 m 因瓦基线尺温度系数测定误差为 $\pm 0.7 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$ 。

各段、节及基线全长的因瓦基线尺温度系数测定误差 E_3 ,均按式(11)计算:

$$E_3 = \pm 0.7(t_m - t_0)n \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

E_3 ——各段、节及基线全长的因瓦基线尺温度系数测定误差;

t_m ——基线测量时的平均温度;

t_0 ——测定因瓦基线尺温度膨胀时的平均温度;

n ——尺段数。

9.5.4 用于检验因瓦基线尺和长度的标准杆长度的误差

用于检验因瓦基线尺和长度的标准杆长度的误差 E_4 按式(12)计算:

$$E_4 = \pm 6.4n \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

E_4 ——用于检验因瓦基线尺和长度的标准杆长度的误差；

n ——基线各段、节及全长的 24 m 整尺段数。

9.5.5 检验基线最后长度总的误差

检验基线最后长度总的误差 E ，按式(13)计算(参见附录 H)：

$$E = \pm \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + E_4^2} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

E ——检验基线最后长度总的误差。

9.6 不确定度评定

比长基线测量不确定度评定示例参见附录 I。

10 资料整理和复测

10.1 资料整理

资料整理应包括：

- a) 施测单位、作业时间和人员名单；
- b) 比长基线的略图；
- c) 作业技术要求；
- d) 观测手簿；，
- e) 计算资料；
- f) 观测成果及精度统计表；
- g) 因瓦基线尺和气象仪表等的检定资料；
- h) 验收报告。



10.2 复测

基线场建好启用前，应连续两年进行复测。启用后，每三年复测一次。

附 录 A
(资料性附录)
比长基线分段设计

比长基线分段设计参见表 A.1。

表 A.1 比长基线分段设计

L/m	600	1 000	$648+360\sim 840^a$
测站数	7 个测站	7 个测站	$7+1$ 个测站
分段参数 段长 段名	$A=24, B=24$	$A=24, B=48$	$A=48, B=24$
第一段: A	24	24	48
第二段: $A+3B$	96	168	96
第三段: $A+5B$	144	264	144
第四段: $A+9B$	240	456	168
第五段: $A+2B$	72	120	120
第六段: $A+B$	48	72	72
$C=6A+20B$	624	1 104	$648+360\sim 840$
^a 为加长基线,即从第 7 个测站以后,再延长 15~35 个尺段的长度作为基线的全长。			



附 录 B
(规范性附录)
地面标石样式

地面标石样式见图 B.1。

单位为毫米

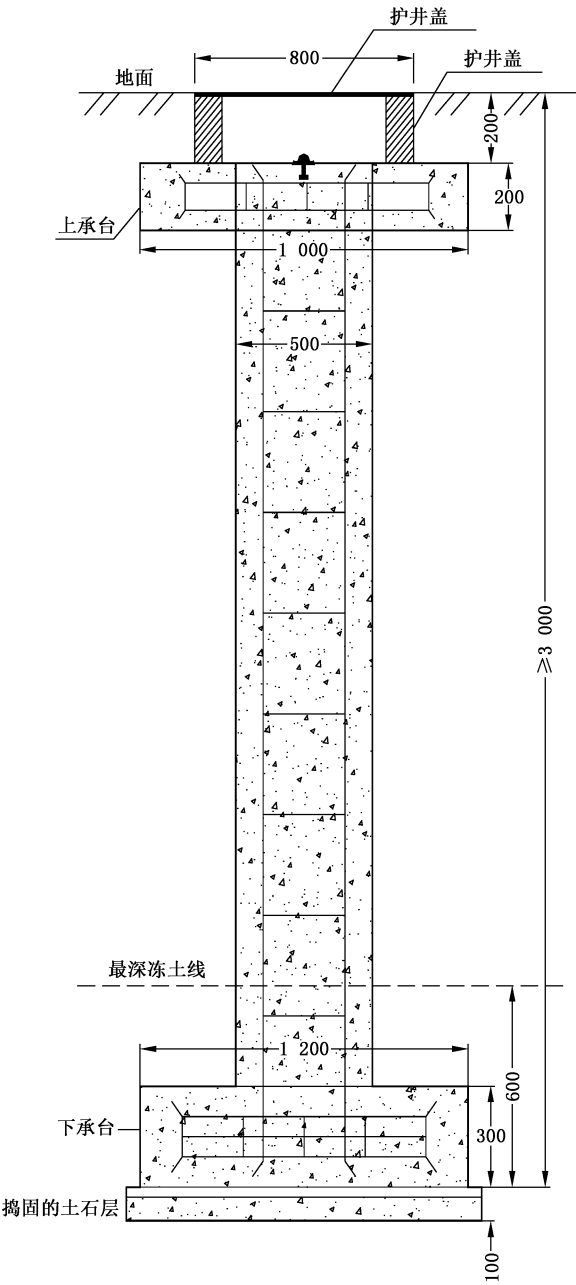


图 B.1 地面标石样式

附录 C
(规范性附录)
观测墩、基岩桩样式

观测墩样式见图 C.1,基岩桩样式见图 C.2。

单位为毫米

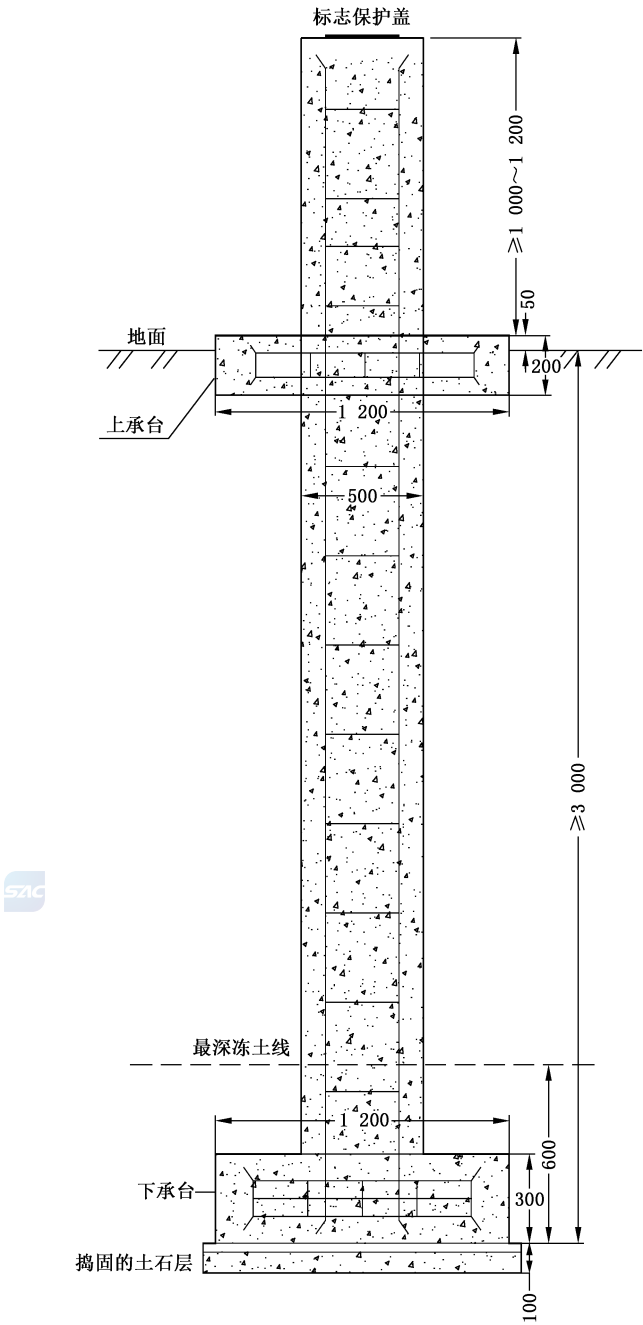


图 C.1 观测墩样式

单位为毫米

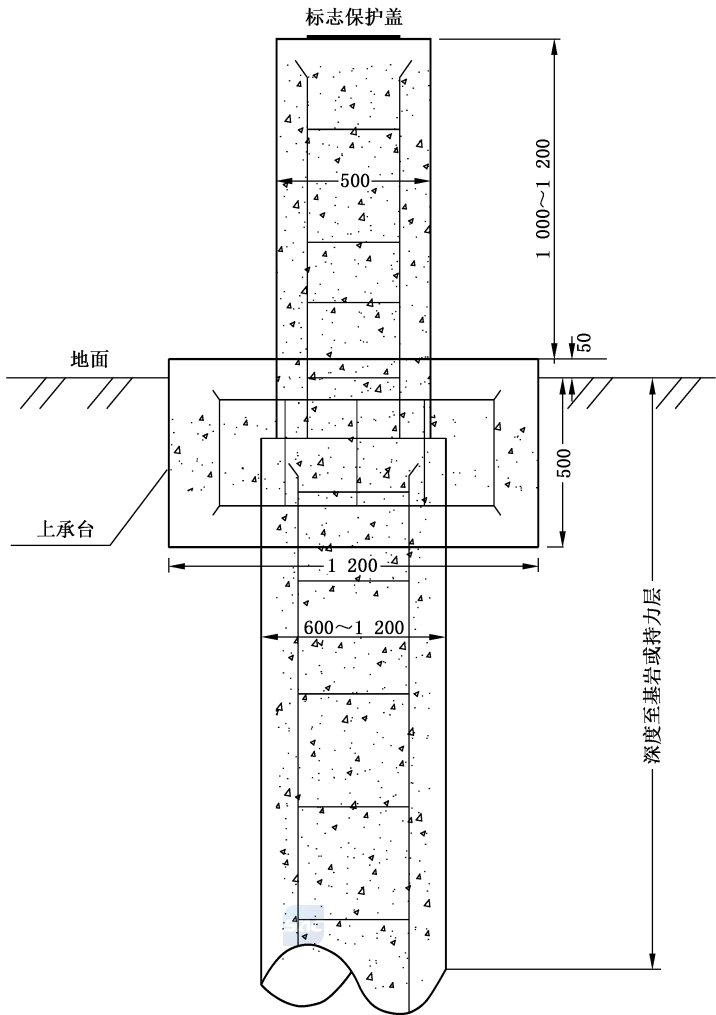


图 C.2 基岩桩样式

附录 D
(资料性附录)
因瓦基线尺和补尺的野外比较计算

因瓦基线尺和补尺的野外比较计算参见表 D.1、表 D.2、表 D.3。

表 D.1 24 m 因瓦基线尺野外比较观测结果和标准偏差的计算

尺 号	20		227		230		223		240		717		810	
	(前—后)	<i>v</i> μm	(前—后)	<i>v</i> μm	(前—后)	<i>v</i> μm	(前—后)	<i>v</i> μm	(前—后)	<i>v</i> μm	(前—后)	<i>v</i> μm	(前—后)	<i>v</i> μm
测 回	mm		mm		mm		mm		mm		mm		mm	
单 位														
I	+11.44	-67	+2.50	-11	+2.70	-66	+5.54	+13	+3.86	-53	+3.00	-47	+1.51	-60
II	11.53	+23	2.48	-31	2.74	-26	5.45	-17	3.88	-33	2.98	-67	1.53	-40
III	11.44	-67	2.46	-51	2.76	-06	5.52	-07	3.88	-33	2.96	-87	1.56	-10
IV	11.46	-47	2.54	+29	2.70	-66	5.48	-47	3.88	-33	304	-07	1.54	-30
V	11.48	-27	2.44	-71	2.72	-46	5.46	-67	3.87	-43	304	-07	1.52	-50
VI	11.46	-47	2.46	-51	2.77	-04	5.48	-47	3.90	-13	302	-27	1.50	-70
VII	11.50	-07	2.50	-11	2.80	+34	5.54	+13	3.92	+07	305	+03	1.54	-30
VIII	11.58	+73	2.54	+29	2.75	-16	5.52	-07	3.95	+37	305	+03	1.67	+100
IX	11.48	-27	2.50	-11	2.76	-06	5.50	-27	3.93	+17	306	+13	1.68	+110
X	11.60	+93	2.59	+79	2.80	+34	5.58	+53	3.95	+37	314	+93	1.56	+80
XI	11.54	+33	2.58	+69	2.85	+84	5.65	+123	4.00	+87	312	+73	18.84	0
XII	11.57	+63	2.54	+29	2.84	+74	5.60	+73	3.94	+27	310	+53	+1.570	
Σ(前—后)	+138.08	-04	30.13	-02	33.19	-10	66.32	-04	46.96	+04	36.56	+04		44 800
Σ(前—后)/ <i>n</i>	+11.507		+2.511		+2.776		+5.527		+3.913		+3.047			
Σ _{<i>vv</i>}		34 468		25 052		26 692		39 268		19 468		32 068		
$M_i = \pm \sqrt{\frac{\sum vv}{n(n-1)}}$		±16 μm		±14 μm	±14 μm			±17 μm		±12 μm		±16 μm		±18 μm
注：计算示例： $M = \pm \frac{\sum \sum v^2}{(\sum n - p) \sum n / p} = \frac{221\,816}{(84-7)84/7} = \pm 16\,\mu\text{m}$ 。														

表 D.2 尺长改正数计算

尺 号	20	227	230	233	240	717	810
单位	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
$\Sigma(\text{前}-\text{后})/n$	+11.507	平均温度 $t_n=21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ +2.511	+2.766	+5.527	+3.913	+3.047	+1.570
Δt	+0.022	+0.048	+0.014	+0.010	+0.023	-0.021	-0.019
室内检定尺长	24 m-7.923	+1.042	+0.856	-1.874	-0.373	-0.577	+2.029
l	24 m+3.606	+3.601	+3.636	+3.663	+3.563	+3.603	+3.580
l 中数	24 m+3.607						
$dl=l$ 中数- l	+0.001	+0.006	-0.029	-0.056	+0.044	+0.004	+0.027
L	24 m-7.922	+1.048	+0.827	-1.930	-0.329	+0.581	+2.056
注: L =室内检定尺长+ dl 。							

表 D.3 4 m、6 m 和 8 m 补尺比较计算(以 6 m 补尺为例)

2005.5.10	第一测回		第二测回	
24 m 因瓦线尺测定结果	$t_1=26.9\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t_2=27.4\text{ }^{\circ}\text{C}$	
尺 号	No149	No367	No149	No367
单位	mm	mm	mm	mm
第一次测定(前—后)往返中数	7.74	7.63	7.80	7.76
第二次测定(前—后)往返中数	7.80	7.76	7.73	7.78
二次测定中数	7.77	7.70	7.76	7.77
D	24 m+7.77 mm	24 m+7.70 mm	24 m+7.76 mm	24 m+7.77 mm
D 中数	24 m+7.74 mm		24 m+7.76 mm	
6 m 补尺(No07)长度计算				
往侧 Σ (前—后)	3.67		3.80	
返侧 Σ (前—后)	3.92		3.72	
往返测中数	3.80		3.76	
dl	24 m+3.80 mm		24 m+3.76 mm	
D 中数— dl	3.94		4.00	
补尺长度	6 m+0.98 mm		6 m+1.00 mm	
最后长度	6 m+0.99 mm			
注: 24 m 因瓦尺往返测中数经过温度、尺长和高差改正,6 m 补尺往返测中数经过高差改正。				

附录 E
(资料性附录)

计算基线所采用的因瓦基线尺长度表

计算基线所采用的因瓦基线尺长度表参见表 E.1。

表 E.1 计算表

尺号	当 $t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时因瓦基线尺的长度			温度增加 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时因瓦基线尺全长之温度系数			备注
	检定日期和地点	长度/mm		α	β	检定日期和地点	
		测定值	采用值				
484	因瓦基线尺长度是 $201 \times$ 年 \times 月于 $\times \times \times \times$ 测定。 CDjx2015-0635	+0.092	+0.092	+4.0	+0.098	温度系数是 $201 \times$ 年 \times 月 于 $\times \times \times \times$ 测定。 CDjx2015-0634 $\phi = 39^{\circ}58'$	
402		+0.191	+0.191	+3.9	-0.045		
212		+1.922	+1.922	+4.1	+0.082		
483		+0.708	+0.708	+2.9	+0.084		
149		+2.807	+2.807	+4.8	+0.076		
367		+0.782	+0.782	+3.9	+0.092		

附 录 F
(资料性附录)
段 长 计 算

段长计算示例参见表 F.1。

表 F.1 计算表

尺号	日期	测回	方向	温度	基线尺读数	基线尺读数和 $+\Delta L+\Delta t$	倾斜改正	分划尺改正	改正后的长度	平均值	中误差
				℃	mm	mm	mm	mm	m mm	m mm	
段 号 6~7 轴杆架号(20~25) $N=5$ $D=120$											
402	2012.7.18		往	32.6	-7.26	7.10	-2.05	0.00	120+5.05		
484			往	32.6	8.76	7.27	-2.05	0.00	120+5.22		
149			返	32.9	-7.37	6.94	-2.05	0.00	120+4.89		
367			返	32.9	3.04	7.14	-2.05	0.00	120+5.09	120+5.06	
		$t_m=$		32.8							$M=\pm 0.07$
段 号 7~8 轴杆架号(25~35) $N=10$ $D=240$											
149	2012.7.19		往	29.8	-25.96	2.58	-5.33	0.01	240-2.74		
367			往	29.8	-5.19	2.87	-5.33	0.00	240-2.46		
212			返	31.1	-16.08	2.52	-5.33	0.00	240-2.81		
483			返	31.1	-4.33	2.82	-5.33	0.00	240-2.51	240-2.63	
		$t_m=$		30.5							$M=\pm 0.09$

附 录 G
(资料性附录)
各段最后长度计算

各段最后长度计算示例参见表 G.1。

表 G.1 计算表

段 别	I	II	III	IV	V	VI
测得之长度	80 m+12.56 mm					
悬链线不对称改正	0.00					
重力改正	+0.01					
最后长度	80+12.57					



附录 H
(资料性附录)
精度估计

精度估计示例参见表 H.1。

表 H.1 基线最后长度总误差之计算

段号	I		II		III		IV		V		VI		总长	
	绝对 误差	相对 误差	绝对 误差	相对 误差	绝对 误差	相对 误差	绝对 误差	相对 误差	绝对 误差	相对 误差	绝对 误差	相对 误差	绝对误差	相对 误差
$E_1 = \pm \sqrt{[vv]/n \cdot (n-1)}$	mm	$\times 10^{-6}$	mm	$\times 10^{-6}$	mm	$\times 10^{-6}$	mm	$\times 10^{-6}$	mm	$\times 10^{-6}$	mm	$\times 10^{-6}$	mm	$\times 10^{-6}$
	E_{1I} ± 0.08	1.00	E_{1II}		E_{1III}		E_{1IV}		E_{1V}				$E_{\text{总}} = \pm \sqrt{E_{1I}^2 + E_{1II}^2 + E_{1III}^2 + E_{1IV}^2 + E_{1V}^2}$	
$E_2 = \pm 0.013 \sqrt{\sum h}$	E_{2I} ± 0.03	0.38	E_{2II}		E_{2III}		E_{2IV}		E_{2V}				$E_{\text{总}} = \pm \sqrt{E_{2I}^2 + E_{2II}^2 + E_{2III}^2 + E_{2IV}^2 + E_{2V}^2}$	
	E_{3I} ± 0.01	0.13	E_{3II}		E_{3III}		E_{3IV}		E_{3V}				$E_{\text{总}} = \pm \sqrt{E_{3I}^2 + E_{3II}^2 + E_{3III}^2 + E_{3IV}^2 + E_{3V}^2}$	
$E_4 = \pm 6.4 \cdot n \cdot \mu\text{m}$	E_{4I} ± 0.02	0.25	E_{4II}		E_{4III}		E_{4IV}		E_{4V}				$E_{\text{总}} = \pm \sqrt{E_{4I}^2 + E_{4II}^2 + E_{4III}^2 + E_{4IV}^2 + E_{4V}^2}$	
	E_1 ± 0.09	1.13	E_{II}		E_{III}		E_{IV}		E_V				$E_{\text{总}} = \pm \sqrt{E_1^2 + E_{II}^2 + E_{III}^2 + E_{IV}^2 + E_V^2}$	

附录 I

(资料性附录)

比长基线场测量不确定度评定

I.1 测量方法

比长基线使用 6 根 24 m 因瓦基线尺丈量。一般情况下应将比长基线分为大致相等的 3 节,每节使用 4 根因瓦基线尺进行测量(其中 2 根用于往测,另外 2 根用于返测)。每 1 根尺子所测的每一尺段读数都需要加入温度改正、尺长改正和倾斜改正,4 根基线尺测量结果取平均为本段长度,每段相加即为全长结果。

I.2 数学模型

每一尺段距离为 4 根基线尺测量结果的平均值计算过程如下:

$$L = \frac{1}{4}(L_a + L_b + L_c + L_d)$$

式中:

L_i ——第 i 根基线尺所测距离结果;

L ——4 根基线尺测量结果平均值。

每一根基线尺所测距离都需要加 3 项改正:

$$D_i = 24m + d_i + \Delta_t + \Delta_l + \Delta_h$$

式中:

d_i ——第 i 根基线尺前后读数差, $i=1, 2, 3, 4$;

Δ_t ——温度修正值, $\Delta_t = \alpha(t - 20) + \beta(t^2 - 20^2)$;

α, β ——第 i 根因瓦基线尺的温度线膨胀系数,由检定证书获得;

Δ_l ——第 i 根因瓦基线尺的尺长改正,由检定证书获得;

Δ_h ——尺段两端高差引起的倾斜改正, $\Delta_h = -\frac{h^2}{2d} - \frac{h^4}{8d^3}$ 。

I.3 方差和传播系数

依据 $u_c^2 = \sum \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$

得到: $u_c^2(D) = c_1^2 u^2(d) + c_2^2 u^2(\Delta_t) + c_3^2 u^2(\Delta_l) + c_4^2 u^2(\Delta_h)$

式中: $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$, 所以:

$$u_c^2(D) = u^2(d) + u^2(\Delta_t) + u^2(\Delta_l) + u^2(\Delta_h)$$

I.4 标准不确定度分量评定

I.4.1 因瓦基线尺前后读数差的标准不确定度 $u(d)$

在野外测量基线时,因瓦基线尺前后端读数差限差为 0.2 mm,但每一尺段每根尺都要三次读数求

平均,可以认为服从正态分布,所以标准差为 $u(d)=0.2/3=0.07\text{ mm}$ 。

I.4.2 温度修正值的标准不确定度 $u(\Delta_t)$

根据: $\Delta_t = \alpha(t - 20) + \beta(t^2 - 20^2)$

忽略二次项,则 $\Delta_t = \alpha(t - 20)$

$$u(\Delta_t) = \alpha u(t)$$

式中:

t ——测线上的大气温度;

α, β ——第 i 根因瓦基线尺的温度线膨胀系数,由检定证书获得;规范规定,温度变化 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 时,因瓦基线尺每米长度的膨胀不得大于 $0.5\text{ }\mu\text{m}$,由此得到因瓦基线尺全长允许的最大温度线膨胀系数为:

$$\alpha = 1.2 \times 10^{-5}\text{ m}^\circ\text{C}^{-1}$$

$u(t)$ ——气温测量标准不确定度,在野外可认为 $u(t)=0.2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

代入上述近似数据,可以计算出:

$$u(\Delta_t) = 1.2 \times 10^{-5}\text{ m}^\circ\text{C}^{-1} \times 0.2\text{ }^\circ\text{C} \times 1\,000 = 0.002\,4\text{ mm}$$

I.4.3 因瓦基线尺本身尺长的标准不确定度 $u(\Delta_l)$

目前,国内的因瓦基线尺检定证书一般给定的 24 m 尺长扩展不确定度为 $20\text{ }\mu\text{m}(k=3)$,所以可认为尺长标准偏差 $u(\Delta_l)=7\text{ }\mu\text{m}$,近似为 0.01 mm 。

I.4.4 倾斜改正引起的不确定度 $u(\Delta_h)$

规范要求比长基线场地的总坡度小于 1° ,化算到一尺段则为 0.42 m 。考虑到场地局部高差变化,一尺段的倾斜度应不大于 $1/24\text{ m}$,即每尺段高差不大于 1 m ,高差使用 $S1$ 级水准仪测量,每一尺段的高差限差不超过 $u(h)=2\text{ mm}$ 。

根据倾斜改正计算公式 $\Delta_h = -\frac{h^2}{2d} - \frac{h^4}{8d^3}$ 可以计算出不确定度。

$$u(\Delta_h) = \left(\frac{h}{d} + \frac{4h^3}{8d^3}\right)u(h) = 0.08\text{ mm}$$

I.5 合成标准不确定度

每一尺段的合成标准不确定度为:

$$\begin{aligned} u_c^2(D) &= u^2(d) + u^2(\Delta_t) + u^2(\Delta_l) + u^2(\Delta_h) \\ &= (0.07\text{ mm})^2 + (0.002\,4\text{ mm})^2 + (0.01\text{ mm})^2 + (0.08\text{ mm})^2 \\ &= 0.011\,4\text{ mm}^2 \\ u_c(D) &= 0.106\,8\text{ mm} \end{aligned}$$

对于 $L=1\,000\text{ m}$ 的基线,则需要至少 $1\,000/24 \approx 42$ 尺段,加之基线中间点的分隔造成的补尺段,可以认为 $1\,000\text{ m}$ 内有 45 段,在这 45 段之和的距离中,对于同一根基线尺来说,读数误差、温度改正误差和倾斜改正误差都是随机误差,而尺长误差则是系统误差,所以单根因瓦基线尺测量基线全长 S 的合成标准不确定度应为:

$$\begin{aligned} u_c^2(S) &= 45u^2(d) + 45u^2(\Delta_t) + 45u^2(\Delta_l) + 45u^2(\Delta_h) \\ &= 45 \times (0.07\text{ mm})^2 + 45 \times (0.002\,4\text{ mm})^2 + 45 \times (0.01\text{ mm})^2 + 45 \times (0.08\text{ mm})^2 \\ &= 0.513\,3\text{ mm}^2 \\ u_c(S) &= 0.72\text{ mm} \end{aligned}$$

式中：

$S = d_1 + d_2 + d_3 + \cdots + d_{45}$ 为单根因瓦基线尺测量 45 段之和。

4 根尺所测基线求平均值的合成标准不确定度应为：

$$u_c(L) = \frac{u_c(S)}{\sqrt{4}} = 0.36 \text{ mm}$$

I.6 扩展不确定度

因为测量误差服从正态分布，1 000 m 基线用 4 根尺测量求平均值的扩展不确定度为：

$$U = 2u_c(L) = 2 \times 0.37 \text{ mm} = 0.72 \text{ mm}$$

$$\text{相对扩展不确定度 } U_{\text{rel}} = \frac{0.72 \text{ mm}}{1\,000 \text{ m}} = 0.72 \times 10^{-6} \text{ (} k = 2 \text{)}$$
