



中华人民共和国国家标准

GB/T 14267—2009
代替 GB/T 14267—1993

光 电 测 距 仪

Electro-optical distance meters (EDM Instruments)

2009-05-06 发布

2009-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 产品分类	2
4.1 光电测距仪	2
4.2 手持激光测距仪	3
5 仪器参数的检验	4
5.1 检验项目	4
5.2 仪器参数检验所用标准装置	4
5.3 调制光相位均匀性	5
5.4 幅相误差	5
5.5 鉴别力(率)	5
5.6 周期误差	6
5.7 仪器常数及其标准差	8
5.8 测距标准差	11
5.9 精测尺频率	13
5.10 距离测量重复性	14
5.11 激光光源发光功率	14
5.12 测程	14
5.13 距离测量时间	15
5.14 环境试验	15
6 标志	15
7 包装	15
8 运输	15
9 贮存	15
附录 A (资料性附录) 调制光相位均匀性检验记录表	16
附录 B (资料性附录) 幅相误差检验记录表	17
附录 C (资料性附录) 鉴别力(率)检验记录表	18
附录 D (资料性附录) 周期误差检验记录及计算表	19
附录 E (资料性附录) 加常数乘常数计算表	20
附录 F (资料性附录) 精测尺频率随开机时间变化检验记录表	21
附录 G (资料性附录) 精测尺频率随温度的变化检验记录表	22
附录 H (资料性附录) 距离测量重复性检验记录	23

前 言

本标准代替 GB/T 14267—1993《短程光电测距仪》。本标准与 GB/T 14267—1993 相比,主要变化如下:

- 将本标准名称由《短程光电测距仪》改为《光电测距仪》;
- 按照 GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第1部分:标准的结构和编写规则》对标准进行修订;
- 本标准新增了鉴别力(率)、测距精度、激光发光功率、测尺频率特性和测量时间等检验项目和要求;
- 测距常数及其精度的检验采用了与国家计量检定规程相一致的方法;
- 对周期误差的计算列出了严密公式和特殊情况下的简化公式;
- 对测距仪参数的检验方法、所用标准器具和结果计算等区分了定型鉴定和出厂检验,以及相位式光电测距仪和手持式激光测距仪。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H 为资料性附录。

本标准由国家测绘局提出。

本标准由全国地理信息标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:国家光电测距仪检测中心、苏州一光仪器有限公司、北京三鼎光电仪器有限公司、南京德朔实业有限公司。

本标准主要起草人:方爱平、齐维君、杨俊志、翟清斌、吴秀娟、牟秀珍。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 14267—1993。

光 电 测 距 仪

1 范围

本标准规定了相位式和脉冲式光电测距仪的产品分类、技术要求、试验方法、检验规则,仪器的包装、标志、运输和贮存的方法。

本标准适用于光电测距仪(包括全站仪测距部分及手持式激光测距仪)的设计、生产试验和检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 191 包装储运图示标志(GB/T 191—2008,ISO 780:1997,MOD)

GB/T 12085.1~12085.14 光学和光学仪器 环境试验方法

GB/T 15464 仪器仪表包装通用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

光电测距仪 **electro-optical distance meter**

采用光电技术直接测量发射处与照准点之间距离的仪器。

3.2

手持式激光测距仪 **hand-held laser distance meter**

采用激光光源制成的无协作目标的手持式光电测距仪。

3.3

全站仪 **total station**

电子速测仪 **electronic tachometer**

兼有测距、测角、计算和数据记录及传输功能的测量仪器。

3.4

相位均匀性误差 **phase inhomogeneities of emitting and photodiode**

发光管发光面上不同点发出的光照准目标点进行距离测量引起的误差。

3.5

幅相误差 **errors from different measuring signal strength**

因测量信号强度不一致所引起的测距误差。

3.6

周期误差 **cyclic error**

在相位式测距仪中,由于光或电的同频信号窜扰引起的以精测尺的长度为周期而重复出现的误差。

3.7

加常数 **additive constant**

仪器测得的距离与实际距离之间的常数差值。

3.8

乘常数 scale correction

与仪器所测距离成比例的改正因子。

3.9

分辨率 resolution

仪器显示装置能够有效辨别的最小示值差。

3.10

鉴别力(率) discrimination

当仪器在某一示值给以一定的输入,这种激励变化缓慢从单方面逐步增加,当测量仪器的输出产生可觉察的响应变化时,此输入的激励变化。

3.11

测距精度 accuracy

仪器距离测量结果偏离其应有值的程度,用测距标准差(standard deviation)表示。

3.12

测程 measuring range

在标准大气条件下、满足测量准确度时,仪器所能获得的最大值和最小值。

4 产品分类

4.1 光电测距仪

4.1.1 按标称测距标准差分级

标称测距标准差(m_d)的表达式为:

$$m_d = a + b \cdot D \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

a ——标称测距标准差固定部分,单位为毫米(mm);

b ——标称测距标准差比例系数,单位为毫米每千米(mm/km);

D ——测量距离,单位为千米(km)。

按标称测距标准差分级见表1。

表1 光电测距仪的分级



仪器等级	标称测距标准差
I	$m_d \leq (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \cdot D)$
II	$(1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \cdot D) < m_d \leq (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \cdot D)$
III	$(3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \cdot D) < m_d \leq (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \cdot D)$
IV(等级外)	$m_d > (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \cdot D)$
注: ppm 为 1×10^{-6} ; D 为测量距离,单位为千米(km); m_d 为标称测距标准差,单位为毫米(mm)。	

4.1.2 基本参数

基本参数见表2。

表2 光电测距仪基本参数及检验类别

序 号	名 称	仪器等级				检验类别	
		I	II	III	IV	定型	出厂
1	分辨率/mm	0.1	0.5	1.0	1.0	+	—
2	测程 ^①	最短测程及最长测程满足标称值				+	±

表 2 (续)

序 号	名 称	仪器等级				检验类别	
		I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	定型	出厂
3	相位均匀性误差/mm	≤1/2 <i>a</i>				+	±
4	幅相误差/mm	≤1/2 <i>a</i>				+	±
5	鉴别力(率)/mm	≤1/4 <i>a</i>				+	±
6	周期误差振幅 <i>A</i> (相位式)	≤3/5 <i>a</i>				+	+
7	常温下频率偏移/Hz	≤1/2 <i>b</i>				+	+
8	开机频率稳定性(10 ⁻⁶)	≤1/2 <i>b</i>				+	+
9	频率随环境温度变化/Hz	≤2/3 <i>b</i>				+	±
10	距离测量的重复性标准差/mm	≤1/2 <i>a</i>				+	+
11	测距标准差/mm	<i>m</i> _{<i>d</i>} [']				+	+
12	加常数剩余值/mm					+	+
13	加常数检验标准差/mm	≤1/2 <i>a</i>				+	+
14	乘常数/(mm/km)	具有乘常数预置功能				+	±
15	乘常数检验标准差/(mm/km)	≤1/2 <i>b</i>				+	±
16	激光光源发光功率 ^②	Ⅲ级激光以内,且<1.2 <i>P</i> ₀				+	±
17	工作温度范围/℃	-20~+50				+	+
	存储温度范围/℃	-30~+65				+	+
18	振动	振动后工作正常				+	±
19	温度改正	温度预置至 0.1℃,				+	+
	大气改正	气压预置至 1 hPa				+	+
20	单次测量时间/s	≤3				+	±
21	求取差值 Δ _{<i>i</i>} 中的最大最小值之差 Δ <i>D</i>	出厂检验: Δ <i>D</i> ≤ 1.5 <i>a</i>				+	+
注: <i>a</i> 为标称标准差固定部分,单位为毫米(mm); <i>b</i> 为标称标准差比例系数,单位为毫米每千米(mm/km); “+”为应检项目,“±”为可不检项目,“-”为不必检项目。							
① 光电测距仪的最长测程指大气能见度为 20 km,无明显大气对流时的检验结果;							
② 采用红外光源的仪器不检验此项; <i>P</i> ₀ 为激光光源发光功率的标称值。							

4.2 手持激光测距仪

4.2.1 按标称测距标准差分级

标称测距标准差(m_d)的表达式为:

$$m_d = a \dots\dots\dots (2)$$

式中:

a ——标称测距标准差固定部分,单位为毫米(mm)。

按标称测距标准差分级见表 3。

表 3 手持激光测距仪的分级

仪器等级	标称测距标准差/mm
I	$m_d \leq 1.5$
II	$1.5 < m_d \leq 3.0$
III	$m_d > 3.0$
注: m_d 为标称测距标准差,单位为毫米(mm)。	

4.2.2 基本参数

基本参数见表 4。

表 4 手持激光测距仪基本参数及检验类别

序 号	名 称	仪器等级			检验类别	
		I	Ⅱ	Ⅲ	定型	出厂
1	距离测量重复性/mm	≤1.0	≤1.5		+	+
2	分辨率/mm	≤1.0			+	—
3	测程 ^① /m	最短测程及最长测程满足标称值			+	±
4	幅相误差/mm	≤1/2 <i>m_d</i>			+	±
5	鉴别力(率)/mm	≤0.3			+	±
6	测距标准差/mm	≤ <i>m_d</i>			+	+
7	加常数剩余值/mm				+	+
8	加常数检验标准差/mm	≤1/2 <i>m_d</i>			+	+
9	激光光源发光功率 ^②	Ⅱ级激光以内,且<1.2 <i>P₀</i>			+	±
10	工作温度范围/℃	-10~+50			+	±
	存储温度范围/℃	-20~+65			+	±
11	振动	振动后工作正常			+	±
12	单次测量时间/s	≤3			+	±
注: <i>m_d</i> 为标称测距标准差,单位为毫米(mm); “+”为应检项目,“±”为可不检项目,“—”为不必检项目。						
① 1) 30 m 以内,使用专用灰度板; 2) 30 m 以外,使用指定的反射板;3) 环境照度:室内 2 000 lx,室外 10 000 lx~20 000 lx。 ② <i>P₀</i> 为激光光源发光功率的标称值。						

5 仪器参数的检验

5.1 检验项目

光电测距仪的检验项目执行表 2 的规定;手持激光测距仪及光电测距仪无协作目标功能的检验项目执行表 4 的规定。检验方法采用本条所规定的相应方法。

5.2 仪器参数检验所用标准装置

仪器参数检验所用标准装置必须进行量值溯源。用于仪器检验的计量器具及其技术要求见表 5。

表 5 计量器具及其技术要求

序 号	设备名称	技术要求
1	地面基线场	总长度大于 1 km;点位个数不少于 7;准确度 $\leq 1\times 10^{-6}$
2	空中基线场	点位个数不少于 5 个,且均匀分布在仪器测程内;准确度 $\leq 2\times 10^{-6}$
3	温度计、气压表	温度计的准确度 $\leq 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;气压计的准确度 $\leq 1.0\text{ hPa}$
4	频率检验装置	时基频率准确度 $\leq 1\times 10^{-8}$,量程 $\geq 100\text{ MHz}$
5	鉴别力检验装置	准确度 $\leq 0.01\text{ mm}$
6	周期误差平台	平台长度大于仪器精测尺长;平直度 $\leq 5\times 10^{-5}$;基准准确度 $\leq 2\times 10^{-5}$

表 5 (续)

序 号	设备名称	技术要求
7	手持激光测距仪检验装置	已知边均匀分布在仪器测程之内,条数不少于 20 条;准确度小于 0.5 mm
8	高低温实验室	温度的准确度 $\leq 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$;温度梯度 $\leq 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
9	光功率计	分辨率为 0.01 mW; 量程:0.1 mW~50 mW;光谱范围为(600~800)nm,光功率测量的扩展不确定度为 5%(置信因子 $k=3$)
10	计时器	准确度 $\leq 0.1\text{ s}$

5.3 调制光相位均匀性

5.3.1 检验方法

- 采用光斑位置截取法。
- a) 选择 30 m~50 m 长度的场地,两端分别安置测距仪与反射棱镜,使二者大致等高。
 - b) 照准反射棱镜标志后,由中心点向上下左右等间隔(一般取 30'')移动光轴,每次转动仪器的光轴后进行距离测量,读数 5 次取平均值作为该点的距离测量结果。测点顺序如图 1 所示,在偏调 2' 的区域内测点应不少于 13 个点。

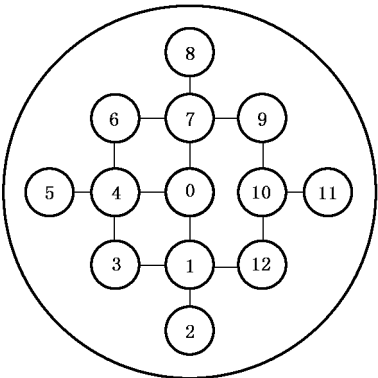


图 1 调制光相位均匀性检验照准目标位置示意图

5.3.2 结果计算

将光斑中心点测距值与其他各点测距值之差绘制成等相位差图,取偏调 1' 范围内的最大差值作为结果。

调制光相位均匀性检验记录参见附录 A。

5.4 幅相误差

5.4.1 检验方法

- a) 在室内长约 30 m 的距离两端分别安置测距仪与反射棱镜(或专用灰度板)。在测距仪发射及接收镜筒前设置减光板(或灰度滤光器)。减光板(或灰度滤光器)平面不得与光路垂直。
- b) 调整滤光器的位置以改变信号强度大小,在光信号强度的可测区域内使光信号由强而弱变化,选取 6 个不同回光信号强度进行距离测量,读数 5 次取平均值为所测距离。

5.4.2 结果计算

取 6 个距离观测值之间的最大互差作为结果。

幅相误差检验记录参见附录 B。

5.5 鉴别力(率)

5.5.1 检验方法

- a) 在室内相距约 30 m 的两端,分别安置测距仪和鉴别力检验装置。使测距仪与检验台上的反射棱镜(或专用灰度板)等高且使反射棱镜(或专用灰度板)移动的方向与测距仪的光轴一致。

- b) 将仪器照准反射棱镜标志(或专用灰度板)后重复测距,读数 5 次取平均值为所测距值。测距由检验台的零点位置开始,等间隔移动反射棱镜(或专用灰度板)10 次,每次移动间隔为 1.1 mm。

5.5.2 结果计算

将观测值归算到零点,求其归算量的平均值 \bar{D} :

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i - \sum_{i=1}^n d_i}{n} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- D_i ——反射棱镜(或专用灰度板)在各位置的距观测值,单位为毫米(mm);
 d_i ——反射棱镜(或专用灰度板)在鉴别力检验台上由零点开始改变的距离值(mm),即 $d_i = 1.1 \times (i - 1)$;
 n ——观测值个数;
 i ——观测点序号: $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

计算鉴别力(m_{res}):

$$m_{\text{res}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- v_i ——观测值与归算量的差值(mm),即 $v_i = D_i - \bar{D} - d_i$ 。
鉴别力(率)(m_{res})的检验记录参见附录 C。

5.6 周期误差

5.6.1 相位式光电测距仪定型鉴定

5.6.1.1 检验方法

- a) 周期误差检验采用平台法。检验平台及仪器墩的设置如图 2 所示。长度标准器采用经过检定合格且在检定有效期内的因瓦尺,其最小读数分划应不大于 5 cm。
- b) 整平仪器并调整其高度,使仪器与反射棱镜等高。观测时由近及远依次移动反射棱镜,并观测出各个位置的距值。在一个精测尺范围内移动反射棱镜($n - 1$)次(测点数 $n \geq 16$),每次沿平台导轨等间隔地移动一小段距离 d ($d = \left[\frac{u}{n} \right]$, u 为仪器精测尺长, d 取整到 cm)。第一点照准以后,照准视线的方向不应再改变,而且要保持测距光轴与反射棱镜面垂直。每个点进行距离测量,读数 5 次取平均值作为各点的观测值(D_i)。

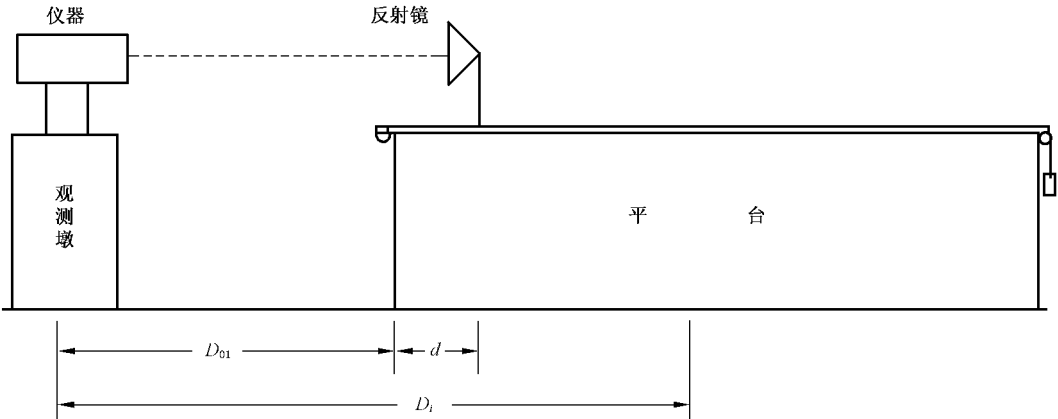


图 2 周期误差平台法检验示意图

5.6.1.2 结果计算

周期误差计算的误差方程式：

$$v_i = C - x \cdot \sin\theta_i - y \cdot \cos\theta_i + l_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$$l_i = D_{01} + (i - 1) \cdot d - D_i; \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$x = A \cdot \cos\phi_0; \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$y = A \cdot \sin\phi_0; \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\theta_i = \frac{D_i}{u} \times 360^\circ; \quad \dots\dots\dots (10)$$

A ——周期误差振幅,单位为毫米(mm);

ϕ_0 ——周期误差的初相角,单位为弧度(rad);

D_i ——测距仪距离观测值,单位为毫米(mm);

D_{01} ——仪器墩至第一个点近似距离,单位为毫米(mm);

n ——观测点数;

d ——反射棱镜移动的间隔,单位为毫米(mm);

u ——测距仪精测尺的长度,单位为毫米(mm);

C —— D_{01} 的改正数与仪器加常数 K 之差,单位为毫米(mm)。

按式(6)计算未知数 C, x, y ,并计算下列周期误差参数:

振幅(A):

$$A = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \dots\dots\dots (11)$$

初相角(ϕ_0):

$$\phi_0 = \arctan \frac{y}{x} \quad \dots\dots\dots (12)$$

单位权标准差(m_0):

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n - 3}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$m_A = m_0 \cdot \sqrt{Q_{xx} \cdot \cos^2\phi_0 + Q_{yy} \cdot \sin^2\phi_0 + Q_{xy} \cdot \sin 2\phi_0} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$m_{\phi_0} = m_0 \cdot \frac{\rho}{A} \sqrt{Q_{xx} \cdot \sin^2\phi_0 + Q_{yy} \cdot \cos^2\phi_0 - Q_{xy} \cdot \sin 2\phi_0} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

Q_{xx} ——未知数 x 的权倒数;

Q_{yy} ——未知数 y 的权倒数;

Q_{xy} ——未知数 x 与 y 之间的相关权倒数;

ρ ——206 265。

周期误差检验记录参见附录 D。

5.6.1.3 特殊情况下的简便计算公式

当观测点数 n 为偶数且均匀分布在仪器精测尺长范围内时,可以将 5.6.1.2 中的计算简化。此时,未知数 C, x, y 可按式计算:

$$C = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$x = -\frac{2 \sum_{i=1}^n \left[-\sin\left(\frac{D_i}{u} \times 360^\circ\right) \cdot l_i \right]}{n} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$y = - \frac{2 \sum_{i=1}^n \left[-\cos\left(\frac{D_i}{u} \times 360^\circ\right) \cdot l_i \right]}{n} \dots\dots\dots (18)$$

单位权标准差(m_0):

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-3}} \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = - \frac{\left(\sum_{i=1}^n l_i\right)^2}{n} + \left\{ \sum_{i=1}^n \left[-\sin\left(\frac{D_i}{u} \times 360^\circ\right) \cdot l_i \right] \right\} x + \left\{ \sum_{i=1}^n \left[-\cos\left(\frac{D_i}{u} \times 360^\circ\right) \cdot l_i \right] \right\} y + \sum_{i=1}^n l_i^2 \dots\dots\dots (20)$$

振幅测定标准差(m_A):

$$m_A = m_0 \sqrt{\frac{2}{n}} \dots\dots\dots (21)$$

初相角测定标准差(m_{ϕ_0}):

$$m_{\phi_0} = \left(\frac{m_A}{A}\right) \rho \dots\dots\dots (22)$$

式中:

A ——周期误差振幅,单位为毫米(mm)。

上述各式中符号的意义与 5.6.1.2 中各式的符号含义相同。

5.6.2 相位式光电测距仪出厂检验

5.6.2.1 检验方法

检验平台及仪器墩的设置仍如图 2 所示。仪器观测墩应位于平台中心线上,其高度应可以调节。观测点至仪器墩间的距离 D_i 应为已知值(i 为目标点序号),目标点数 $n \geq 10$,其准确度应优于 0.5 mm。分别照准各目标点进行距离测量,读数 5 次取平均值作为该点的距离观测值 L_i 。

5.6.2.2 结果计算

计算距离已知值和观测值之间的差值 Δ_i (mm):

$$\Delta_i = D_i - L_i \dots\dots\dots (23)$$

取差值 Δ_i 中的最大最小值之差 ΔD (mm)的绝对值作为结果:

$$\Delta D = |\Delta_{\max} - \Delta_{\min}| \dots\dots\dots (24)$$

5.7 仪器常数及其标准差

5.7.1 光电测距仪定型鉴定

5.7.1.1 鉴定方法

- 选用的基线边应不少于 15 条,基线总长度应大于 1 km,组合后的测距边应均匀分布在基线的总长度之内,且应无重复边。
- 在基线两端分别安置光电测距仪与反射棱镜,仪器与反射棱镜安置的对中误差应不大于 0.2 mm。各基线段上的观测均为一次照准,读数 5 次取其平均值。在测距的同时测定沿测线的温度、气压等数据。在鉴定中凡要求测定气温、气压时,可在测线选取测温点,测温点的选取以不影响测距精度为原则。测定时干湿温度表的底部应距地面及旁离障碍物 1.5 m,无阳光直射。

5.7.1.2 结果计算

- 将各基线段上观测值进行气象、倾斜等修正,然后与相应的基线值比较,剔除粗差,按最小二乘法原则,采用一元线性回归的方法求解加常数、乘常数。计算式为:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2 \sum_{i=1}^n l_i - \sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n (D_i l_i)}{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2} \dots\dots\dots (25)$$

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n (D_i l_i) - \sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n l_i}{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2} \dots\dots\dots (26)$$

式中:

K ——光电测距仪加常数,单位为毫米(mm);

R ——光电测距仪乘常数,单位为毫米每千米(mm/km);

D_i ——经气象、倾斜等修正后的距离,单位为毫米(mm);

l_i ——基线值 \tilde{D}_i 与 D_i 之差值,单位为毫米(mm);

n ——组合基线边数, $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

b) 加常数及乘常数测量标准差

单位权标准差:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-2}} \dots\dots\dots (27)$$

加常数 K 的测量标准差:

$$m_K = m_0 \sqrt{Q_{11}} \dots\dots\dots (28)$$

乘常数 R 的测量标准差:

$$m_R = m_0 \sqrt{Q_{22}} \dots\dots\dots (29)$$

其中:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right) K - \left(\sum_{i=1}^n D_i l_i \right) R \dots\dots\dots (30)$$

$$Q_{11} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2} \dots\dots\dots (31)$$

$$Q_{22} = \frac{n}{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2} \dots\dots\dots (32)$$

式中:

Q_{11} ——加常数 K 的权倒数;

Q_{22} ——乘常数 R 的权倒数;

D_i ——经气象、倾斜等修正后的距离,单位为毫米(mm);

l_i ——基线值 \tilde{D}_i 与 D_i 之差值(即 $l_i = \tilde{D}_i - D_i$),单位为毫米(mm);

n ——使用的组合基线边数, $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

c) 仪器常数的显著性检验,采用 t 检验法。根据显著水平 α 及自由度,查表得临界值 $t_{\alpha/2}$ 。当加常数临界值 $t_K = |K|/m_K \geq t_{\alpha/2}$ 时,所求得加常数 K 为显著;当乘常数临界值 $t_R = |R|/m_R \geq t_{\alpha/2}$ 时,所求得乘常数 R 为显著。

1) 当加常数 K 与乘常数 R 均显著时,所选数学模型有效,在使用光电测距仪时应对仪器进行加常数、乘常数修正。

- 2) 当加常数 K 显著、乘常数 R 不显著时,应选用不考虑乘常数 R 影响的数学模型计算:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} \dots\dots\dots (33)$$

加常数测量的单位权标准差:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \dots\dots\dots (34)$$

其中:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right) K \dots\dots\dots (35)$$

式中:

l_i ——基线值 \tilde{D}_i 与 D_i 之差值,即 $l_i = \tilde{D}_i - D_i$;

n ——使用的组合基线边数, $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

加常数 K 的测量标准差:

$$m_K = m_0 \frac{1}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (36)$$

乘常数 R 取零,测量标准差仍取式(29)的计算结果。

- 3) 当加常数 K 不显著、乘常数 R 显著时,按式(37)计算乘常数:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (l_i D_i)}{\sum_{i=1}^n D_i^2} \dots\dots\dots (37)$$

乘常数测量的单位权标准差:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \dots\dots\dots (38)$$

其中:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n D_i l_i \right) R \dots\dots\dots (39)$$

式中:

D_i ——经气象、倾斜等修正后的观测距离;

l_i ——基线值 \tilde{D}_i 与 D_i 之差值, $l_i = \tilde{D}_i - D_i$; $\dots\dots\dots (40)$

n ——使用的组合基线边数, $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

乘常数 R 的测量标准差:

$$m_R = \frac{m_0}{\sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2}} \dots\dots\dots (41)$$

加常数 K 取零,测量标准差仍取式(28)的计算结果。

- 4) 当加常数 K 和乘常数 R 均不显著时,不对测距结果施加加常数、乘常数改正:

单位权标准差:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n}} \dots\dots\dots (42)$$

加常数 K 及乘常数 R 均取零,其测量标准差仍取式(28)、式(29)的计算结果。

加常数乘常数计算表参见附录 E。

5.7.2 光电测距仪的出厂检验

5.7.2.1 检验方法

- 按放射状选用已知边,已知边的准确度应不低于 $1/2b$,边数不少于 10 条,长度应均匀分布在仪器的测程(单棱镜)之内,且应无重复边。
- 在仪器墩上安置仪器,分别照准目标点的反射棱镜。各段距离的观测均为一次照准读取 5 个读数求其平均值。在测距的同时测定测线的温度、气压等数据气象参数。

5.7.2.2 结果计算

- 将各段距离上观测的数据进行气象、倾斜等修正,然后与相应的已知值比较,按式(25)和式(26)计算加常数、乘常数;
- 加常数及乘常数测量结果的标准差计算式见式(27)~式(32)。

5.7.3 手持激光测距仪

5.7.3.1 检验方法

检验装置示意图如图 2 所示。可以将目标点呈直线式分散状,且目标点应均匀分布在手持激光测距仪的测程之内;目标点至仪器墩间的距离 D_i (i 为目标点序号)应为已知值,其准确度应优于 0.5 mm。观测时分别测定各目标点,每个目标点读数 5 次取平均值为该点的距离观测值 L_i 。

5.7.3.2 结果计算

加常数与测距标准差的计算如下:

计算距离已知值和观测值之间的差值 Δ_i (mm):

$$\Delta_i = D_i - L_i \quad \dots\dots\dots (43)$$

计算加常数 K (mm):

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$v_i = \Delta_i - K \quad \dots\dots\dots (45)$$

计算测距标准差 m'_d (mm):

$$m'_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (46)$$

5.8 测距标准差

5.8.1 比较法(标准基线法)

选定 n 条 ($n > 6$) 基线边进行观测,然后对各观测值进行气象、倾斜、加常数及乘常数等修正,可得距离观测值 D_i ,其误差 Δ_i 为:

$$\Delta_i = \tilde{D}_i - D_i \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中:

\tilde{D}_i ——第 i 条基线边的基线值,单位为毫米(mm);

$i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

单位权标准差 m_0 :

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}} \quad \dots\dots\dots (48)$$

取单位权标准差 m_0 的 1.5 倍作为该台仪器的测距标准差 (m'_d):

$$m'_d = 1.5 m_0 \quad \dots\dots\dots (49)$$

5.8.2 解析法(定型鉴定增加项目)

选定一条直线,将其分为 d_1, d_2, \dots, d_6 等 6 段,如图 3 所示:

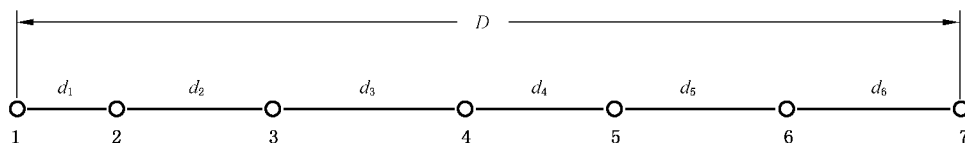


图 3 测距标准差鉴定示意图

采用全组合观测法进行观测,共观测 21 条测距边:

$$D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{15}, D_{16}, D_{17}$$

$$D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}, D_{27}$$

$$D_{34}, D_{35}, D_{36}, D_{37}$$

$$D_{45}, D_{46}, D_{47}$$

$$D_{56}, D_{57}$$

$$D_{67}$$

5.8.2.1 场地布设方法

根据仪器精测尺长($\lambda/2$),按下式计算设计参数:

$$\beta = \text{int}\left(\frac{D - 6.5 \cdot \lambda}{15}\right) \dots\dots\dots (50)$$

$$\gamma = \frac{\lambda}{72} \dots\dots\dots (51)$$

式中:

λ ——仪器精测尺波长,单位为米(m);

D ——直线总长度,单位为米(m)。

按式(52)计算各段距离:

$$\begin{cases} d_1 = \lambda + \beta + 3\gamma \\ d_2 = \lambda + 3\beta + 7\gamma \\ d_3 = \lambda + 5\beta + 11\gamma \\ d_4 = \lambda + 4\beta + 9\gamma \\ d_5 = \lambda + 2\beta + 5\gamma \\ d_6 = \lambda + \gamma \end{cases} \dots\dots\dots (52)$$

5.8.2.2 测距标准差计算

将进行过气象和倾斜改正后的各段距离观测值记为 l_{ij} ,按式(53)~式(57)计算标准偏差:

$$x_i = \sum_{j=1}^{7-i} l_{j,i+j} - \sum_{j=1}^i l_{j,7-i+j}; i = 4, 5, 6 \dots\dots\dots (53)$$

$$y_i = \frac{1}{7} \left(\sum_{j=i+1}^7 l_{i,j} - \sum_{j=1}^{i-1} l_{j,i} \right); i = 1, 2, \dots, 7 \dots\dots\dots (54)$$

剩余加常数

$$K_1 = \frac{1}{35} \sum_{i=4}^6 (2 \times i - 7) \times x_i \dots\dots\dots (55)$$

残差:

$$v_{i,j} = y_i - y_j - \frac{7 + 2(i-j)}{7} \times K_1 - l_{i,j}; i = 1, 2, \dots, 6; j = i+1, \dots, 7 \dots\dots\dots (56)$$

单位权标准差(m_0)为:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 \sum_{j=i+1}^7 v_{i,j}^2}{14}} \dots\dots\dots (57)$$

所求 m_0 即为测距标准差(m'_d)。

5.9 精测尺频率

5.9.1 随开机时间变化的特性

5.9.1.1 检验方法

- 检验在室内常温下进行。先将数字频率计通电预热 1 h 以上,并将光电转换器的输出端与频率计输入端用高频电缆线连接。在光电测距仪发射镜筒处安置光电转换器,使发射光斑进入光电转换器的接收孔内。对于具有频率输出插孔的光电测距仪,可用高频电缆与频率计直接连接。
- 光电测距仪通电后立即在频率计上读取频率显示数,每隔 1 min 读数一次,直至开机 30 min 结束。
- 检测过程室温变化不应大于 2 ℃。
- 绘出精测尺频率随开机时间的变化曲线。

频率变化值:

$$\Delta f_i = f_0 - f_i \dots\dots\dots (58)$$

式中:

f_0 ——光电测距仪标称精测尺频率,单位为赫兹(Hz);

f_i ——该室温下 i 时刻的瞬时频率,单位为赫兹(Hz);

i ——光电测距仪开机时刻,单位为分钟(min)($i=1,2,3,\dots,n$)。

5.9.1.2 结果计算

记前 5 min 及 30 min 精测尺频率平均值分别为 $f_{5\text{ min}}$ 、 $f_{30\text{ min}}$,并分别计算前 5 min 及 30 min 精测尺频率漂移量 $|f_{5\text{ min}} - f_0|/f_0$ 和 $|f_i - f_{30\text{ min}}|/f_{30\text{ min}}$,其中最大值即为计算结果。

精测尺频率随开机时间的变化特性的检验记录表参见附录 F。

5.9.2 随温度变化的漂移特性

5.9.2.1 检验方法

- 将光电测距仪置入具有隔热玻璃的恒温控制箱(室)内,使其发射镜筒对准隔热玻璃窗。并将光电转换器的接收孔正对箱内的光电测距仪发射镜筒,使测距光束射入其内。
- 根据仪器的工作温度范围,对恒温控制箱缓缓调温到给定的某个温度,持续恒温 2 h,使仪器与箱体内温度相一致。
- 数字频率计预热 1 h 以上,光电测距仪预热 5 min 以上,测量光电测距仪精测尺频率。连续 10 次读数,取其平均值,即为该仪器在此温度下的频率值。改变温度 5 ℃,并保持恒温 1 h,在新的温度下重复上述操作,直到给定温度范围的另一温度止。

5.9.2.2 结果计算

在 T 温度下精测尺频率漂移量为(Δf_T):

$$\Delta f_T = f_0 - f_T \dots\dots\dots (59)$$

式中:

f_0 ——光电测距仪标称精测尺频率,单位为赫兹(Hz);

T ——箱(室)内温度,单位为摄氏度(℃);

f_T ——光电测距仪在 T 温度下的精测尺频率,单位为赫兹(Hz)。

以温度 T 为横轴,频率漂移量 Δf_T 为纵轴,绘出温度-频率漂移曲线。在仪器适用温度范围内找出绝对值最大的漂移量 $\Delta f_{T\text{ max}}$,其 $\Delta f_{T\text{ max}}/f_0$ 即为检定结果。

温度频率漂移的距离修正值 ΔD_T 按下式计算：

$$\Delta D_T = \frac{f_0 - f_T}{f_0} D_T \quad \dots\dots\dots (60)$$

式中：

D_T ——光电测距仪在 T 温度下测定的距离，单位为米(m)。

其他符号的含义同式(59)。

精测尺频率随温度变化漂移特性的检验记录表参见附录 G。

5.10 距离测量重复性

5.10.1 检验方法

在室内约 30 m 距离的两端分别安置测距仪与反射棱镜，进行 n 次($n=30$)单次距离测量。

5.10.2 结果计算

测距标准差计算：

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (61)$$

式中：

v_i ——第 i 次测距值与其平均值之差，单位为毫米(mm)；

$$v_i = D_i - \bar{D}; \quad \dots\dots\dots (62)$$

D_i ——第 i 次测距值；

\bar{D} —— n 次距离测量平均值；

n ——距离测量次数。

距离测量重复性检验记录参见附录 H。

5.11 激光光源发光功率

5.11.1 检验方法

- a) 检验在室内常温下进行。在检验区域内无可感觉到的空气波动、无影响测量数据的电磁干扰和背景辐射干扰。
- b) 将测距仪的望远镜安置到水平位置，启动仪器使其处于激光测距模式。将安置在 50 mm 以内的光功率计的探头垂直对准激光光束，使光线通过 $\Phi 7$ mm 光阑，上下左右移动探头使激光束处于探头的中心位置，读取光功率计的读数。重复进行 10 次测量。

5.11.2 结果计算

取 10 次测量结果的平均值作为激光束的发射功率测量值 P_s 。

5.12 测程

5.12.1 光电测距仪

5.12.1.1 检验方法

- a) 选择在标准大气条件下进行检验。选择与测程相应的已知距离 \tilde{D} (最短距离与最长距离)，在其两端分别安置光电测距仪与反射棱镜(或棱镜组)。
- b) 用光电测距仪进行 10 次照准，每次照准读数 5 次并取平均值作为观测值。在测距的同时测定气温、气压。

5.12.1.2 结果计算

对所测的观测值进行气象、倾斜、仪器常数修正后得距离测量值 \bar{D} ，计算与已知距离 \tilde{D} 差值的绝对值：

$$\Delta = |\tilde{D} - \bar{D}| \quad \dots\dots\dots (63)$$

5.12.2 手持激光测距仪

5.12.2.1 最长测程

5.12.2.1.1 检验方法

- 选择室外环境照度为 10 000 lx~20 000 lx 的条件下,采用专用灰度板(或标靶)作为反射标志进行距离测量;
- 选择与测程相应的最长已知距离 \tilde{D} ,在其两端分别安置手持激光测距仪与反射标志;
- 重复启动手持激光测距仪测距,共进行 10 次距离测量。在测距的同时测定气温、气压。

5.12.2.1.2 结果计算

对所测的观测值进行气象、倾斜、仪器常数修正后得距离测量值 \bar{D} ,计算 \bar{D} 与已知距离 \tilde{D} 差值的绝对值(Δ):

$$\Delta = |\tilde{D} - \bar{D}| \quad \dots\dots\dots (64)$$

5.12.2.2 最短测程

5.12.2.2.1 检验方法

- 选择室内环境照度为 2 000 lx 以下的条件下,采用专用灰度板作为反射标志进行距离测量;
- 选择与测程相应的最短已知距离 \tilde{D} ,在其两端分别安置手持激光测距仪与反射标志;
- 重复启动手持激光测距仪测距,共进行 10 次距离测量。

5.12.2.2.2 结果计算

对观测值进行气象、倾斜、仪器常数修正后得距离测量值 \bar{D} ,计算与已知距离 \tilde{D} 差值的绝对值:

$$\Delta = |\tilde{D} - \bar{D}| \quad \dots\dots\dots (65)$$

5.13 距离测量时间

5.13.1 检验方法

用测距仪照准相距 50 m 左右的反射标志,启动仪器进行测距测量。在按测距键的同时启动计时器,当仪器显示屏出现距离值时,停止计时。

5.13.2 结果计算

读取 10 次测量时间的平均值作为计算结果。

5.14 环境试验

按 GB/T 12085.1~12085.14 的相关要求进行环境试验。

6 标志

6.1 仪器上应具有产品型号、名称、商标、仪器制造商和仪器编号及激光警示标志。

6.2 说明书和包装上应标注产品的型号、名称、商标、仪器制造商和详细地址。

7 包装

仪器的包装应符合 GB/T 15464 的规定。包装储运标志应符合 GB/T 191 的规定。

8 运输

8.1 仪器搬运和放置按照运输箱的标志进行,应严格遵守仪器搬运和运输的相关规则。

8.2 应禁止与易燃、易爆、易腐蚀等物品同车装运。

8.3 应有防雨、防日晒、防撞击和防跌落的措施。

9 贮存

仪器应贮存在通风良好、隔热、保温、排水、具防火措施的场所。

附 录 A
(资料性附录)

调制光相位均匀性检验记录表

调制光相位均匀性检验的一般记录格式,可参照表 A.1。

表 A.1 调制光相位均匀性检验记录表(示例)

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

序号	水平度盘及竖直角读数						测距仪观测值 D/m					平均值 \bar{D}/mm	与中心点之差 ($D_0 - \bar{D}$)/ mm
	垂直 (°)(′)(″)			水平 (°)(′)(″)									
0	86	06	00	270	05	00	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602 0	0.0
1	86	07	00	270	05	00	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602 0	0.0
2	86	08	00	270	05	00	50.603	50.603	50.603	50.603	50.603	50.603 0	-1.0
3	86	06	00	270	04	00	50.603	50.603	50.603	50.603	50.603	50.603 0	-1.0
4	86	05	00	270	04	00	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602 0	0.0
5	86	05	00	270	03	00	50.603	50.603	50.603	50.603	50.603	50.603 0	-1.0
6	86	04	00	270	04	00	50.603	50.603	50.603	50.603	50.603	50.603 0	-1.0
7	86	04	00	270	05	00	50.601	50.601	50.601	50.601	50.601	50.601 0	1.0
8	86	03	00	270	05	00	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602 0	0.0
9	86	04	00	270	06	00	50.602	50.601	50.602	50.601	50.601	50.601 4	0.6
10	86	05	00	270	06	00	50.601	50.601	50.601	50.601	50.601	50.601 0	1.0
11	86	05	00	270	07	00	50.601	50.601	50.602	50.601	50.601	50.601 2	0.8
12	86	06	00	270	06	00	50.601	50.601	50.601	50.601	50.601	50.601 0	1.0
0	86	06	00	270	05	00	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602	50.602 0	0.0
最大互差:2.0 mm													

附 录 B
(资料性附录)
幅相误差检验记录表

幅相误差检验的一般记录格式,可参照表 B.1。

表 B.1 幅相误差检验记录表(示例)

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

灰度滤光器位置		0	1	2	3	4	5
观 测 值 m	1	32.365	32.362	32.363	32.362	32.362	32.364
	2	32.364	32.363	32.362	32.362	32.363	32.364
	3	32.364	32.363	32.362	32.363	32.363	32.365
	4	32.364	32.363	32.362	32.362	32.363	32.365
	5	32.365	32.362	32.363	32.363	32.362	32.366
平均值		32.364 4	32.362 6	32.362 4	32.362 4	32.362 6	32.364 8
最大互差:2.4 mm							



附录 C
(资料性附录)
鉴别力(率)检验记录表

鉴别力检验的一般记录格式,可参照表 C.1。

表 C.1 鉴别力检验记录(示例)

检测编号: _____ 仪器型号: _____ 仪器编号: _____
观 测: _____ 记 录: _____ 日 期: _____

序号	棱镜移动距离 d_i / mm	测距仪读数/m					观测值 D_i /m	残差 v_i /mm
		1	2	3	4	5		
1	0	30.004	30.004	30.004	30.004	30.004	30.004 0	0.1
2	1.1	30.005	30.005	30.005	30.005	30.005	30.005 0	0.0
3	2.2	30.006	30.006	30.007	30.006	30.007	30.006 4	0.3
4	3.3	30.007	30.007	30.007	30.007	30.007	30.007 0	-0.2
5	4.4	30.009	30.008	30.008	30.008	30.008	30.008 2	-0.1
6	5.5	30.009	30.009	30.010	30.009	30.009	30.009 2	-0.2
7	6.6	30.010	30.010	30.010	30.011	30.011	30.010 4	-0.1
8	7.7	30.011	30.012	30.011	30.011	30.012	30.011 4	-0.2
9	8.8	30.013	30.013	30.012	30.012	30.013	30.012 6	-0.1
10	9.9	30.014	30.014	30.014	30.014	30.014	30.014 0	0.2
11	11.0	30.014	30.015	30.015	30.015	30.015	30.014 8	-0.1
<div>归算量的平均值: $\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i - \sum_{i=1}^n d_i}{n} = 30.003\ 9\ \text{m}$; 残差 $v_i = D_i - \bar{D} - d_i$</div> <div>鉴别力: $m_{\text{鉴别力}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = 0.17\ \text{mm}$</div>								残差平方和: 0.30

附录 D
(资料性附录)

周期误差检验记录及计算表

鉴别力检验的一般记录格式,可参照表 D.1。

表 D.1 周期误差检验记录及计算表(示例)

检测编号: 仪器型号: 仪器编号:
观 测: 记 录: 日 期:

序号 (<i>i</i>)	近似距离 $D_{01} + (i - 1) \cdot d /$ m	距离观测 值 $D_i /$ m	误差方程式系数			常数项 $l_i /$ mm	残差 $v_i /$ mm
			(<i>C</i>)	(<i>x</i>) $-\sin\theta_i$	(<i>y</i>) $-\cos\theta_i$		
1	25.965 6	25.965 6	1	0.570 1	0.821 5	0	−2.2
2	26.465 6	26.462 4	1	0.794 9	0.606 7	3.2	−0.3
3	26.965 6	26.960 2	1	0.943 0	0.332 7	5.4	0.8
4	27.465 6	27.461 2	1	0.999 7	0.024 3	4.4	−0.9
5	27.965 6	27.959 6	1	0.958 5	−0.284 7	6.0	0.4
6	28.465 6	28.460 0	1	0.823 5	−0.567 3	5.6	0.1
7	28.965 6	28.960 4	1	0.607 7	−0.794 1	5.2	0.4
8	29.465 6	29.461 8	1	0.331 7	−0.943 4	3.8	0.0
9	29.965 6	29.962 2	1	0.023 7	−0.999 7	3.4	0.8
10	30.465 6	30.464 6	1	−0.287 7	−0.957 7	1.0	−0.1
11	30.965 6	30.966 0	1	−0.570 4	−0.821 4	−0.4	0.0
12	31.465 6	31.468 4	1	−0.797 2	−0.603 7	−2.8	−1.1
13	31.965 6	31.968 8	1	−0.944 8	−0.327 6	−3.2	−0.4
14	32.465 6	32.469 0	1	−0.999 8	−0.019 5	−3.4	0.1
15	32.965 6	32.968 8	1	−0.956 9	0.290 3	−3.2	0.6
16	33.465 6	33.469 4	1	−0.820 2	0.572 1	−3.8	−0.2
17	33.965 6	33.968 8	1	−0.603 5	0.797 3	−3.2	−0.2
18	34.465 6	34.466 8	1	−0.328 7	0.944 4	−1.2	0.8
19	34.965 6	34.966 2	1	−0.021 2	0.999 8	−0.6	0.1
20	35.465 6	35.463 4	1	+0.287 1	0.957 9	2.2	1.5
误差方程式常数项 $l_i = D_{01} + (i - 1) \cdot d - D_i$;反射棱镜移动间隔 $d=0.5$ m; 测距仪精测尺长度 $u=10.0$ m;残差 $v_i = C - x \cdot \sin\theta_i - y \cdot \cos\theta_i + l_i$; $y = -\frac{2 \sum_{i=1}^n \left[-\cos\left(\frac{D_i}{u} \times 360^\circ\right) \cdot l_i \right]}{n} = \frac{2 \times 15.26}{20} = 1.53$ $C = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i = -0.92 \text{ mm}$ $x = -\frac{2 \sum_{i=1}^n \left[-\sin\left(\frac{D_i}{u} \times 360^\circ\right) \cdot l_i \right]}{n} = -\frac{2 \times 44.64}{20} = -4.46$ 周期误差的参数: 振幅 $A = \sqrt{x^2 + y^2} = 4.7$ mm;初相角 $\phi_0 = \arctan \frac{y}{x} = 161^\circ 04'$; 单位权标准差: $m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n - 3}} = 0.84$ mm ;振幅测量标准差 $m_A = m_0 \sqrt{\frac{2}{n}} = 0.27$ mm。 <div>残差平方和:12.25</div>							

附 录 E
(资料性附录)
加常数乘常数计算表

加常数乘常数检验的计算表,可参照表 E.1。

表 E.1 加常数乘常数计算表(示例)

检测编号:_____ 仪器型号:_____ 仪器编号:_____

观 测:_____ 记 录:_____ 日 期:_____

序号 (i)	基线值 \tilde{D}_i / m	修正后的观测 值 D_i /m	差值/mm $l_i = \tilde{D}_i - D_i$	D_i^2 / km ²	$D_i \cdot l_i$ / (km · mm)	残差 v_i / mm	v_i^2 / mm ²
1	168.036 4	168.034 0	2.4	0.03	0.40	-0.6	0.36
2	528.127 9	528.125 9	2.0	0.28	1.06	0.2	0.04
3	1 080.223 7	1 080.221 9	1.8	1.17	1.94	1.8	3.24
4	1 872.315 6	1 872.318 1	-2.5	3.50	-4.68	0.0	0.00
5	648.098 0	648.095 0	3.0	0.42	1.94	1.6	2.56
6	912.187 3	912.185 4	1.9	0.83	1.73	1.3	1.69
7	1 632.228 5	1 632.231 2	-2.7	2.66	-4.41	-1.0	1.00
8	1 704.279 2	1 704.279 5	-0.3	2.90	-0.51	1.7	2.89
9	552.095 7	552.094 2	1.5	0.30	0.83	-0.2	0.04
10	1 272.136 7	1 272.138 4	-1.7	1.62	-2.16	-1.1	1.21
11	264.089 3	264.086 6	2.7	0.07	0.71	0.0	0.00
12	984.130 3	984.131 2	-0.9	0.97	-0.89	-1.3	1.69
13	1 056.181 2	1 056.183 2	-2.0	1.12	-2.11	-2.1	4.41
14	792.091 9	792.090 8	1.1	0.63	0.87	0.1	0.01
15	72.050 8	72.047 4	3.4	0.01	0.24	0.1	0.01
求和		13.54(km)	9.7	16.51	-5.02		19.15
加常数: $K = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2 \sum_{i=1}^n l_i - \sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n (D_i l_i)}{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2} = 3.5 \text{ mm}$ 乘常数: $R = \frac{n \sum_{i=1}^n (D_i l_i) - \sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n l_i}{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2} = -3.2 \text{ mm/km}$ 权倒数: $Q_{11} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2} = 0.26$ $Q_{22} = \frac{n}{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2} = 0.23$ 残差: $v_i = -K - D_i \cdot R + l_i$; 单位权标准差: $m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-2}} = 1.2 \text{ mm}$ 加常数 K 的测量标准差: $m_K = m_0 \sqrt{Q_{11}} = 0.6 \text{ mm}$ 乘常数 R 的测量标准差: $m_R = m_0 \sqrt{Q_{22}} = 0.6 \text{ mm/km}$ 选取显著水平 $\alpha = 0.05$ 及自由度 $n = 13$, 查表得临界值 $t_{\alpha/2} = 2.16$; 加常数临界值 $t_K = K / m_K = 5.8 > 2.2$, 加常数显著; 乘常数临界值 $t_R = R / m_R = 5.3 > 2.2$, 乘常数显著。							

附 录 F
(资料性附录)

精测尺频率随开机时间变化检验记录表

精测尺频率随开机时间变化检验的一般记录格式,可参照表 F.1。

表 F.1 精测尺频率随开机时间变化检验记录(示例)

检测编号:_____ 仪器型号:_____ 仪器编号:_____

观 测:_____ 记 录:_____ 日 期:_____

标称频率: 4 870 250 Hz 频率计型号:_____ 频率计预热时间:_____

序号	开机时间	频率计读数 f_i/Hz	$\Delta f_i/\text{Hz}$	df_i/Hz	序号	开机时间	频率计读数 f_i/Hz	$\Delta f_i/\text{Hz}$	df_i/Hz
1	13:50	4 870 259.0	-9.0	5.2	16	14:05	4 870 253.3	-3.3	-0.5
2	51	257.2	-7.2	3.4	17	06	253.3	-3.3	-0.5
3	52	255.8	-5.8	2.0	18	07	253.2	-3.2	-0.5
4	53	254.7	-4.7	0.9	19	08	253.2	-3.2	-0.6
5	54	254.0	-4.0	0.2	20	09	253.2	-3.2	-0.6
6	55	253.9	-3.9	-0.1	21	10	253.2	-3.2	-0.6
7	56	253.8	-3.8	0.0	22	11	253.2	-3.2	-0.6
8	57	253.7	-3.7	-0.1	23	12	253.2	-3.2	-0.6
9	58	253.6	-3.6	-0.2	24	13	253.2	-3.2	-0.6
10	59	253.5	-3.5	-0.3	25	14	253.2	-3.2	-0.6
11	14:00	253.4	-3.4	-0.4	26	15	253.1	-3.1	-0.6
12	01	253.4	-3.4	-0.4	27	16	253.1	-3.1	-0.7
13	02	253.3	-3.3	-0.5	28	17	253.1	-3.1	-0.7
14	03	253.3	-3.3	-0.5	29	18	253.1	-3.1	-0.7
15	04	253.3	-3.3	-0.5	30	19	253.1	-3.1	-0.7

频率偏移: $\Delta f_i = f_0 - f_i$; 5 min 及 30 min 精测尺频率平均值: $f_{5\text{ min}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 f_i = 4\,870\,256.1\text{ Hz}$;

$f_{30\text{ min}} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} f_i = 4\,870\,253.8\text{ Hz}$; $|f_{5\text{ min}} - f_0|/f_0 = 1.3 \times 10^{-6}$;

频率漂移: $df_i = f_i - f_{30\text{ min}}$; $|f_i - f_{30\text{ min}}|/f_{30\text{ min}}$ 的最大值为: 1.1×10^{-6} 。

附 录 G
(资料性附录)

精测尺频率随温度的变化检验记录表

周期误差检验的一般记录格式,可参照表 G.1。

表 G.1 精测尺频率随温度的变化检验记录(示例)

检测编号:_____ 仪器型号:_____ 仪器编号:_____
观 测:_____ 记 录:_____ 日 期:_____
标称频率: 4 870 225 Hz 频率计型号:_____

箱(室) 温度 $T/^{\circ}\text{C}$	频率计数值 $f_T /$ Hz					平均值 $\bar{f}_T /$ Hz	$\Delta f_T = f_0 - \bar{f}_T /$ Hz
-10	4 870 231	231	231	231	231	4 870 230.9	-5.9
	231	231	231	231	230		
-5	231	231	231	231	230	230.4	-5.4
	230	230	230	230	230		
0	230	230	230	230	230	229.9	-4.9
	230	230	230	230	229		
5	230	230	230	230	229	229.4	-4.4
	229	229	229	229	229		
10	229	229	229	229	228	228.4	-3.4
	228	228	228	228	228		
15	227	227	227	227	227	227.0	-2.0
	227	227	227	227	227		
20	225	225	225	225	225	225.0	-0.0
	225	225	225	225	225		
25	223	223	223	223	223	222.8	+2.2
	223	223	222	223	222		
30	221	221	221	220	221	220.4	+4.6
	220	220	220	220	220		
35	218	218	218	218	218	217.7	+7.3
	218	218	217	217	217		
40	216	216	216	215	215	215.3	+9.7
	215	215	215	215	215		
$\Delta f_{T\text{ max}} = +9.7\text{ Hz}$					$\Delta f_{T\text{ max}} / f_0 = 2.0 \times 10^{-6}$		



