



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 703—2003

光电测距仪

Electro - optical Distance Meter
(EDM Instruments)

2003 - 09 - 23 发布

2004 - 03 - 23 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

光电测距仪检定规程

**Verification Regulation of
Electro - optical Distance Meter**
(EDM Instruments)

JJG 703—2003
代替 JJG 703—1990

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2003 年 09 月 23 日批准，并自 2004 年 03 月 23 日起施行。

归口单位： 全国几何量角度计量技术委员会

主要起草单位： 中交第一公路勘察设计研究院
中国地震局第二地形变监测中心
陕西省计量测试研究所

参加起草单位： 中南大学
陕西方正计量测试有限公司
同济大学
苏州一光仪器有限公司

本规程委托全国几何量角度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

王保和 （中交第一公路勘察设计研究院）

任道胜 （中国地震局第二地形变监测中心）

刘 莹 （陕西省计量测试研究所）

参加起草人：

张学庄 （中南大学）

夏 颂 （陕西方正计量测试有限公司）

虞润身 （同济大学）

付晓平 （苏州一光仪器有限公司）

目 录

| | | |
|------|------------------|------|
| 1 | 范围 | (1) |
| 2 | 引用文献 | (1) |
| 3 | 概述 | (1) |
| 4 | 计量性能要求 | (2) |
| 4.1 | 发射、接收、照准三轴关系的正确性 | (2) |
| 4.2 | 反射棱镜常数的一致性 | (2) |
| 4.3 | 调制光相位均匀性 | (2) |
| 4.4 | 幅相误差 | (2) |
| 4.5 | 分辨力 | (2) |
| 4.6 | 周期误差 | (2) |
| 4.7 | 测尺频率 | (2) |
| 4.8 | 加常数、乘常数 | (2) |
| 4.9 | 测量重复性 | (2) |
| 4.10 | 测程 | (2) |
| 4.11 | 测距综合标准差 | (2) |
| 5 | 通用技术要求 | (3) |
| 5.1 | 外观与功能 | (3) |
| 5.2 | 光学对中器 | (3) |
| 5.3 | 外业要求 | (3) |
| 6 | 计量器具控制 | (3) |
| 6.1 | 检定条件 | (3) |
| 6.2 | 检定项目和检定方法 | (3) |
| 6.3 | 检定结果处理 | (14) |
| 6.4 | 检定周期 | (14) |
| 附录 A | 推荐采用的检定方法 | (15) |
| 附录 B | 检定记录计算范例 | (18) |
| 附录 C | 检定证书和检定结果通知书内页格式 | (30) |

光电测距仪检定规程

1 范围

本规程适用于 I、II、III、IV 级相位式光电测距仪及其它采用相位式测距仪器的测距部分的首次检定、后续检定和使用中检验。脉冲式光电测距仪可参照本规程实施校准。

2 引用文献

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

ISO 17123—2001 Optics and optical instrument—Field procedures for testing geodetic and surveying instrument—Part 4: Electro-optical distance meter (EDM instruments)

GB/T 16818—1997 中、短程光电测距规范

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

光电测距仪是广泛应用于工程测量、地形测量、地籍测量及大地测量的长度计量仪器。

光电测距仪按测程分类，分为短程、中程、长程。测程小于 3km 为短程测距仪，3km 至 15km 为中程测距仪，测程大于 15km 至 60km 为长程测距仪。

按测距仪出厂标称标准差，归算到 1km 的测距标准差计算，分为三级（见表 1）。

表 1 测距仪的准确度分级

| 准确度等级 | 测距标准差 | |
|----------|------------------------------------------------------|-------------------------------|
| | 中、短程测距仪 | 长程测距仪 |
| I | $m_d \leq (1 + D) \text{ mm}$ | $m_d \leq (5 + D) \text{ mm}$ |
| II | $(1 + D) \text{ mm} < m_d \leq (3 + 2D) \text{ mm}$ | |
| III | $(3 + 2D) \text{ mm} < m_d \leq (5 + 5D) \text{ mm}$ | |
| IV (等外级) | $m_d > (5 + 5D) \text{ mm}$ | |

注：D 为测量距离，单位为 km。

测距仪出厂标称标准差表达式为

$$m_d = a + bD$$

式中：a——标称标准差固定部分，mm；

b——标称标准差比例系数，mm/km；

D ——测量距离，km。

4 计量性能要求

4.1 发射、接收、照准三轴关系的正确性

4.1.1 要求：当使用测距仪的望远镜照准反射棱镜的标志时，测距仪所接收到的返回信号应最大。

4.1.2 测距头与照准望远镜可分离的测距仪，其连接器的重复安装误差应小于 $30''$ 。

4.2 反射棱镜常数的一致性

测距仪使用的各配套反射棱镜常数最大互差应不大于仪器标称标准差的固定误差的 $1/4$ 。

4.3 调制光相位均匀性

测距时测距仪照准反射棱镜的标志后偏调 $1'$ ，因调制光相位不均匀而引起的测距误差应小于出厂标称标准差固定误差的 $1/2$ 。

4.4 幅相差

在不同的回光信号强度下，对同一距离重复测距，其最大值与最小值之差应不大于该仪器标称标准差固定误差的 $1/2$ 。

4.5 分辨力

测距仪测距时能够分辨的最小距离，其值应不大于仪器出厂标称标准偏差的固定误差的 $1/4$ 。

4.6 周期误差

周期误差的振幅应小于或等于该仪器标称标准差的固定误差的 $3/5$ 。

4.7 测尺频率

4.7.1 测距仪开机以后，测尺频率的变化范围 $[(f_i - f_0) / f_0]$ 应不大于该仪器标称标准差的 $2/3$ 。

4.7.2 测距仪在适用的温度范围内，测尺频率随环境温度的变化范围应不大于该仪器标称标准差的 $2/3$ （具有恒温系统的测距仪不要求此项），或据厂方给定的频率温度变化曲线进行修正后的频率差值变化范围应符合上述要求。

4.8 加常数、乘常数

加常数、乘常数测量的标准差不大于该仪器标称标准差的 $1/2$ 。

4.9 测量的重复性

测距仪测量的重复性应不大于仪器标称标准差的 $1/4$ 。

4.10 测程

在规定的大气能见度及规定使用的反射棱镜组合个数条件下检定测程，测距仪能够测出的最短和最长距离，其误差应不大于该仪器标称标准差的 2.58 倍。

4.11 测距综合标准差

检定归算出测距仪测距标准差应不大于仪器出厂标称标准差，即计算出的 a 应小于或等于标称标准差的固定误差； b 应小于或等于标称标准差的比例误差。

5 通用技术要求

5.1 外观与功能

5.1.1 仪器各工作面上不应有锈蚀、碰伤、划痕，各非工作面上不应有脱漆及影响外观的其他缺陷。使用中与修理后的仪器允许有上述不影响准确度的缺陷。

5.1.2 仪器应标明制造厂或厂标、型号、出厂编号，国产仪器应有 **CMC** 标志。

5.1.3 仪器的连接机构应稳定可靠，使用方便，各活动部位的转动、移动应平稳，不应有突跳、阻滞及空回现象，制动机构应灵活有效。

5.1.4 仪器的光学零部件上应无水珠、霉斑、灰尘。

5.1.5 仪器的各操作键在使用中应舒适有效，在工作环境下数字显示应清晰。

5.1.6 仪器的各功能应正常。

5.2 光学对中器

距光学对中器 1.5m 的范围内，对中偏差应小于 1mm。

5.3 外业要求

外业测距时，参照 GB/T1618—1997《中、短程光电测距规范》中有关条文作业。

6 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定及使用中检验。

6.1 检定条件

6.1.1 检定用计量器具及技术要求见表 2。

表 2 计量器具及其技术要求

| 序号 | 设备名称 | 技术要求 |
|----|---------|-----------------------------------------------------------------|
| 1 | 基线 | 相对误差 $\leq 1 \times 10^{-6}$ |
| 2 | 测距仪 | I 级 |
| 3 | 温度计、气压表 | 见表 4 |
| 4 | 频率检测装置 | 时基频率准确度 $\leq 1 \times 10^{-6}$ ，测量不确定度 $\leq 1 \times 10^{-7}$ |
| 5 | 分辨力检验台 | 0.01mm |
| 6 | 周期误差检验台 | 准确度 $\leq 2 \times 10^{-5}$ ，平直度 $\leq 5 \times 10^{-5}$ |
| 7 | 减光板 | 连续减光 |

6.1.2 检定环境条件

6.1.2.1 检定工作在常温下进行，检定时气象条件相对稳定，气压与温度变化对测距的影响应小于 1mm/km。

6.1.2.2 检定过程中，测距仪应不受到强磁场、电场、障碍物、反光物等干扰。

6.2 检定项目和检定方法

光电测距仪首次检定、后续检定和使用中检验的检定项目列于表 3 中。

表 3 检定项目及主要检定设备

| 序号 | 检定项目 | | 主要检定工具 | 检定类别 | | | |
|-----------------------------------------------|----------------------|------|----------------------------|----------|----------|-------|----|
| | | | | 首次 检定 | 后续 检定 | 使用中检验 | |
| | | | | | | 中、短程 | 长程 |
| 1 | 外观与功能 | | 放大镜、配套附件及微机 | + | + | ± | + |
| 2 | 光学对中器 | | 光学对中器检验台 | + | + | - | - |
| 3 | 发射、接收、照准 三轴关系的正确性 | | 反射棱镜及偏调板 | + | + | - | - |
| 4 | 反射棱镜常数的一致性 | | 测距仪 | + | ± | - | - |
| 5 | 调制光相位均匀性 | | 反射棱镜 | + | + | - | - |
| 6 | 幅相误差 | | 减光板 | + | ± | - | - |
| 7 | 分辨力 | | 分辨力检验台 | + | + | - | - |
| 8 | 周期误差 | | 周期误差检验台 | + | ± | - | - |
| 9 | 测尺频率 | 开机特性 | 数字频率计、光电转换器、 专用调温恒温箱(室) | + | ± | - | - |
| | | 温漂特性 | | ± | ± | - | - |
| 10 | 加常数标准差、 乘常数标准差 | | 长度检定场、温度计、气压计 | + | + | - | - |
| 11 | 测量的重复性 | | 反射棱镜 | + | + | - | - |
| 12 | 测程 | | 已知长度、温度计、气压计 | ± | ± | - | - |
| 13 | 测距综合标准差 | | 已知长度、温度计、气压计 | + | + | ± | ± |
| 注：检定类别中“+”为应检项目，“±”为可不检项目，由送检单位需要确定，“-”为不检项目。 | | | | | | | |

6.2.1 外观与功能

6.2.1.1 目视，仪器应符合 5.1 条要求。

6.2.1.2 整机通电操作试验，其各功能应正常。

6.2.2 光学对中器

将光学对中器安置在可旋转的对中器检验台上并整平（检验台安置整平不确定度应小于 25"）；在距离对中器光轴 0.8m, 1.5m 两处设置标志；调整标志，使标志中心与对中器光轴重合；旋转检验台 180°观测对中器的光轴的偏离量，重复三次，取平均值，其偏离量的 1/2 应满足 5.2 条要求。

对于能够旋转的光学对中器，可不使用检验台，旋转光学对中器按上述方法检定。

6.2.3 发射、接收、照准三轴关系的正确性

在距测距仪 300m 至 1km 处安置反射棱镜，用测距仪的望远镜照准反射棱镜的标志，接通测距仪电源，观测其返回信号的强度；旋转测距仪的水平与垂直微动螺旋，观察返回信号强度的变化，再找出返回信号最大的位置，此时，望远镜十字丝与反射棱镜标志应重合。

6.2.4 反射棱镜的一致性

在室内长约 30m 的距离分别安置测距仪与受检反射棱镜，调整测距仪照准标志，分别对各配套反射棱镜进行测距。读取 10 次距离求其平均值，在测距中不得再次调整测距仪。对各配套反射棱镜所测的距离平均值进行比较，其最大值与最小值之差应满足 4.2 条要求。范例见附录表 B.1。

6.2.5 调制光相位均匀性

调制光相位均匀性采用光斑位置截取法：

a) 选择长约 50m 检定场地，两端分别安置测距仪与反射棱镜，使其大致等高。

b) 由中心点向上下左右等间隔地移动光轴测距，接通测距仪电源，照准反射棱镜标志后，分别向上下左右各方向移动光轴，找出光斑的可测范围。按其大小，由中心点向上下左右等间隔地移动光轴测距，每间隔读数 5 次取平均值，范例见附录表 B.2。

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。

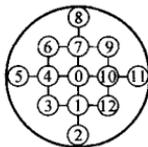


图 1

c) 将光斑中心点测距值与其他各点测距值之差绘制等相位差图，偏调 $1'$ 其最大差值应符合 4.3 条要求。

6.2.6 幅相误差

6.2.6.1 在室内长约 30m 的距离两端分别安置测距仪与反射棱镜。在测距仪收发镜筒前的光路上设置减光板（灰度滤光器），为避免附加误差，减光板（灰度滤光器）平面不得与光路垂直。

6.2.6.2 对于自动减光的测距仪，将灰度滤光器安置在仪器发射筒前，调整滤光器改变信号强度大小，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测距，每次取 10 次读数的平均值为所测距离。六个距离的最大互差应符合 4.4 条要求。

6.2.6.3 对于手动光阑（或减光板）的仪器，旋转手动光阑（或减光板）将光信号减弱到可测光强区的最小值进行测距，取 5 次读数求其平均值为所测距离。然后逐渐旋开光阑（或减光板），光信号强度每变化一格进行一次测距，直到可测光强最大值为止。

6.2.6.4 将各光信号强度测得距离进行比较, 求其差值并作出差值与光信号强度变化曲线图, 所测各距离的最大与最小值之差应符合 4.4 条要求。见附录表 B.3。

6.2.7 分辨力

6.2.7.1 在室内取约 30m 距离, 两端分别安置测距仪和分辨力检验台。使测距仪与检验台上的反射棱镜等高且使反射棱镜移动的方向与测距仪的光轴一致。

将仪器照准反射棱镜标志后重复测距, 取 10 次读数求其平均值为测距值。测距由检验台的零点位置开始, 等间隔移动反射棱镜 10 次, 每次移动间隔为 1.1mm。范例见附录表 B.4。

6.2.7.2 分辨力的计算

将观测值归算到零点, 求其归算量的平均值 D_0 :

$$D_0 = \frac{\sum_{i=1}^n D_i - \sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (1)$$

式中: D_i ——反射棱镜在各位置的距离观测值;

d_i ——反射棱镜在分辨力检验台上由零点开始改变的距离值, 即 $d_i = 1.1 (i - 1)$ mm;

i ——各观点序号 1, 2, ..., n 。

分辨力的计算公式:

$$m_{\text{分}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n}} \quad (2)$$

观测值与归算量的差值:

$$v_i = D_i - D_0 - d_i \quad (3)$$

6.2.8 周期误差

采用平台法检定。

6.2.8.1 仪器安置如图 2 所示。在长形平台上放置一根基线尺, 其长度应大于受检仪器的测尺长。该尺的准确度优于 2×10^{-5} , 其最小分度应小于或等于受检仪器测尺长的 1/40。基线尺的零点与平台起始点对准并固定, 另一端拉一个与该尺检定时张尺拉力相符的重锤或弹簧秤。检定平台平直度应优于 5×10^{-5} , 检测起始点与安置仪器 (墩或脚

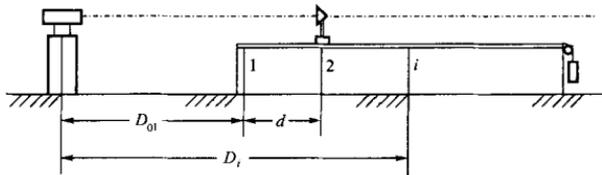


图 2 周期误差检定

架) 高差不大于 2mm 且在同一方向线上。

6.2.8.2 将测距仪与反射棱镜分别整平对中, 从平台上基线尺的零点开始观测, 反射棱镜由近而远移动, 每次移动的距离为测距仪测尺长的 1/40 或 1/20, 各点的对中位移误差不大于 0.2mm, 每移动一次反射棱镜, 进行一次测距, 取 5 次读数求其平均值为所测距离值, 依次测完 40 或 20 个点 (包括起始零点)。然后, 由远而近进行返测, 取其往返观测的平均值为相应各点的距离。

6.2.8.3 周期误差的计算公式

周期误差对观测距离的修正值为

$$\Delta D_i = A \sin \left(\phi_0 + \frac{D_i}{U} \times 360^\circ \right) \quad (4)$$

其中:

$$A = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (5)$$

$$\phi_0 = \arctan \frac{Y}{X} \quad (6)$$

$$X = - \frac{2 \sum_{i=1}^n \left[- \sin \left(\frac{D_i}{U} \times 360^\circ \right) l_i \right]}{n} \quad (7)$$

$$Y = - \frac{2 \sum_{i=1}^n \left[- \cos \left(\frac{D_i}{U} \times 360^\circ \right) l_i \right]}{n} \quad (8)$$

$$l_i = D_{01} + (i-1)d - D_i \quad (9)$$

式中: A ——周期误差振幅;

ϕ_0 ——周期误差的初相角;

D_i ——测距仪测定距离值;

D_{01} ——测距仪与基线尺零点间距离;

n ——观测反射棱镜的点数;

d ——反射棱镜移动的间隔;

U ——受检测距仪测尺的长度;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

6.2.8.4 周期误差测定标准差的估算

观测值的标准差:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-3}} \quad (10)$$

式中:

$$\sum_{i=1}^n V_i^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n l_i \right)^2}{n} + \left\{ \sum_{i=1}^n \left[- \sin \left(\frac{D_i}{U} \times 360^\circ \right) l_i \right] \right\} X + \left\{ \sum_{i=1}^n \left[- \cos \left(\frac{D_i}{U} \times 360^\circ \right) l_i \right] \right\} Y + \sum_{i=1}^n l_i^2 \quad (11)$$

振幅测定的标准差:

$$m_A = m_0 \sqrt{\frac{2}{n}} \quad (12)$$

初相角测定的标准差:

$$m_{\phi_0} = \left(\frac{m_A}{A} \right) \rho \quad (13)$$

式中: $\rho = 206\,265''$;

其他符号同上式。

6.2.8.5 周期误差的图解

以 $(D_i - D_{0i})$ 值为横坐标, 以 l_i 为纵坐标, 绘出误差曲线图。

当周期误差振幅 A 大于要求值时, 应送厂修理。对于使用中检验的仪器, 误差曲线图周期性显著, 应复测一次, 振幅 A 和初相角 ϕ_0 稳定, 可用两次观测的 A , ϕ_0 平均值对观测距离值加以修正来使用。范例见附录表 B.5。

6.2.9 测尺频率

6.2.9.1 测尺频率随开机时间的变化特性的检定

a) 在稳定的室温 ($15 \sim 25^\circ\text{C}$) 下进行。先将数字频率计 (准确度优于 5×10^{-8} , 或优于受检测距仪测尺频率准确度一个数量级) 通电预热 1h 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。在测距仪发射筒处安置光电转换器, 使发射光斑正落人光电转换器的接收孔内。对于具有频率输出插孔的测距仪, 可用高频电缆与频率计直接连接。

b) 测距仪通电后立即在频率计上读取频率显示数, 每隔 1min 读取一次, 直至开机 30min 结束。

c) 绘出测尺频率随开机时间的变化曲线。

$$\text{频率变化值} \quad \Delta f_i = f_0 - f_i \quad (14)$$

式中: f_0 ——测距仪标称测尺频率;

f_i ——该室温下 t 时刻的瞬时频率;

t ——测距仪开机时间。

以频率变化值 Δf_i 为纵轴, 开机时间 t 为横轴, 绘出测尺频率随开机时间的变化曲线。找出开机 5min 到 30min 之间的 Δf_i 的最大值 $\Delta f_{i\max}$, $\Delta f_{i\max}/f_0$ 值应符合 4.7.1 条要求。取此 25min 内频率读数的平均值作为受检仪器在该温度下的测尺频率。范例见附录表 B.6。

6.2.9.2 测尺频率随温度变化漂移特性的检定

a) 将受检测距仪置入具有隔热玻璃的恒温控制箱 (室) 内, 使其发射筒对准隔热玻璃窗。并将光电转换器的接收孔正对箱内的测距仪发射筒, 使测距光束落入其内。

b) 根据受检仪器的适用温度范围, 对恒温控制箱缓缓调温 (或升或降) 到给定的一极限温度, 持续恒温 2h, 使仪器与箱体温度相一致。

c) 数字频率计预热 1h 以上, 受检测距仪预热 5min 以上, 测量测距仪测尺频率。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°C , 并恒

温 1h, 在新的温度下重复上述操作, 直到给定温度范围的另一极限温度止。

d) 检定结果的计算

在 T 温度下测尺频率漂移量:

$$\Delta f_T = f_0 - f_T \quad (15)$$

式中: f_0 ——测距仪标称测尺频率;

T ——箱(室)内温度;

f_T ——测距仪在 T 温度下的测尺频率。

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。在受检仪器适用温度范围内找出最大漂移量 $\Delta f_{T \max}$, 其 $\Delta f_{T \max}/f_0$ 值应符合 4.7.2 条要求。范例见附录表 B.6 (2)。

使用中检验的仪器, 可做相应的温度频率修正后使用。温度频率漂移的距离修正值 ΔD_T 按下式计算:

$$\Delta D_T = \frac{f_0 - f_T}{f_0} D_T \quad (16)$$

式中: f_0 ——测距仪标称测尺频率;

f_T ——测距仪在 T 温度下测尺的工作频率;

D_T ——测距仪在 T 温度测定的距离。

6.2.10 加常数、乘常数

加常数、乘常数同时检定法如下:

6.2.10.1 中、短程测距仪加常数、乘常数的检定

中、短程测距仪, 在长度检定场(基线场)检定, 检定采用多段基线组合比较法同时测定仪器的加常数、乘常数。

a) 检定选用的基线组合段应不少于 21 段, 基线长度应大于 1km, 且在 1km 至 2km 内均匀分布。

表 4 气象仪表技术要求

| 测距仪准确度等级 | 最小分度值 | |
|----------|-------|--------|
| | 干湿温度表 | 气压表 |
| I | 0.2℃ | 0.5hPa |
| II, III | 0.5℃ | 1hPa |
| IV | 1℃ | 2hPa |

b) 在基线两端分别安置测距仪与反射棱镜, 仪器与反射棱镜安置的对中误差应不大于 0.2mm。各基线段上的观测均为一次照准取 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。在检定中凡要求测定气温、气压时, 测距小于 1km 可一端测; 测距等于或大于 1km 应两端同时测定。测定时干湿温度表的低部应距地面及旁

离障碍物 1.5m。所使用的干湿温度表、气压表的技术要求见表 4。

c) 多段基线组合比较法测定加常数、乘常数的计算

1) 将各基线段上观测的数据进行频率、气象、倾斜等修正(气象修正公式参看受检仪器说明书及有关资料), 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

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n (D_i l_i) - \sum_{i=1}^n D_i^2 \sum_{i=1}^n l_i}{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (17)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n l_i - n \sum_{i=1}^n (D_i l_i)}{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (18)$$

式中: K ——测距仪加常数估值;

R ——测距仪乘常数估值;

D_i ——经频率、气象、倾斜等修正后的距离;

l_i ——基线值与 D_i 之差值;

n ——使用的组合基线段数(取样数);

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

2) 常数的准确度估计

测距单次测量标准差:

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

加常数 K 测量标准差:

$$m_K = m_0 \sqrt{Q_{11}} \quad (20)$$

乘常数 R 测量标准差:

$$m_R = m_0 \sqrt{Q_{22}} \quad (21)$$

其中:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right) K - \left(\sum_{i=1}^n D_i l_i \right) R \quad (22)$$

$$Q_{11} = - \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (23)$$

$$Q_{22} = - \frac{n}{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (24)$$

式中: Q_{11} ——加常数 K 的权系数;

Q_{22} ——乘常数 R 的权系数；

D_i ——经频率、气象、倾斜等修正后的距离；

l_i ——基线值与 D_i 值的差值；

n ——组合基线的段数。

3) 仪器的常数显著性检验, 采用 t 检验法 (显著水平取 $\alpha = 0.05$, 自由度为 19, t 临界值 $t_{\alpha/2}$ 为 2.09), 当加常数临界值 $t_K = |K|/m_K \geq 2.09$ 时, 所求得加常数 K 为显著有效; 当乘常数临界值 $t_R = |R|/m_R \geq 2.09$ 时, 所求得乘常数 R 为显著有效。

① 当加常数 K 与乘常数 R 均显著时, 所选数学模型有效, 在使用测距仪时应对应仪器进行加常数、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:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} \quad (25)$$

测距单次测量标准差:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (26)$$

其中

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right) K \quad (27)$$

式中: l_i ——基线值与 D_i 值之差;

n ——使用的组合基线段数;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

加常数 K 测量标准差:

$$m_K = m_0 \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (28)$$

③ 当加常数 K 不显著、乘常数 R 显著时, 应选用不考虑加常数 K 影响的数学模型计算:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (l_i D_i)}{\sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (29)$$

测距单次测量标准差:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (30)$$

其中

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n D_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n D_i l_i \right) R \quad (31)$$

式中： D_i ——经频率、气象、倾斜等修正后的观测距离；

l_i ——基线值与 D_i 值之差值；

n ——使用组合基线段数；

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

乘常数 R 测量标准差：

$$m_R = \frac{m_0}{\sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2}} \quad (32)$$

4) 当加常数、乘常数均不显著时，测距仪不进行加常数、乘常数改正。

记录、计算范例见附录表 B.7。

6.2.10.2 长程测距仪加常数、乘常数的检定

对长程测距仪，用直接比较法定仪器加常数，乘常数用测定的频率来修正。

a) 至少选择 1~3km 四条基线段，两端分别安置测距仪与反射棱镜，其中误差应不大于 1mm。

b) 每条基线段上做两个上、下午对称时段观测，每次观测（上午或下午）不少于二次照准，一次照准测距读数 5 次求其平均值。每次照准均两端同时测定温度和气压。

c) 加常数的计算

观测距离值做气象、频率、倾斜等修正后与基线值进行比较，求得加常数 K ：

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{0i} - D_i)}{n} \quad (33)$$

单位权标准差 m_0 为

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

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n (D_{0i} - D_i)^2 - K \sum_{i=1}^n (D_{0i} - D_i) \quad (35)$$

式中： D_{0i} ——基线值；

D_i ——经频率、气象、倾斜等修正后的观测距离；

v ——测定误差；

l_i ——基线值与 D_i 值之差值；

n ——使用组合基线段数；

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

d) 乘常数计算

$$R = (f_0 - f_T) / f_0 \quad (36)$$

6.2.11 测量的重复性

6.2.11.1 在室内约 30m 距离的两端分别安置测距仪与反射棱镜，操作仪器一次照准后测距，连续读数 30 次。范例见附录表 B.8。

6.2.11.2 测量的重复性计算

一次读数的标准差:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (37)$$

$$v_i = D_i - \bar{D} \quad (38)$$

式中: v_i ——第 i 次读数数值与读数平均值之差;

D_i ——第 i 次读数数值;

\bar{D} —— n 次读数的平均值;

n ——连续读数的次数;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

6.2.12 测程

6.2.12.1 选择与测程相应的基线, 在其两端分别安置测距仪与反射棱镜 (或镜组)。

6.2.12.2 测距仪测距, 应不少于 10 次照准, 每次照准取 10 个读数求其平均值为观测值。在测距的同时测定气温、气压。

6.2.12.3 对所测的观测值进行频率、气象、倾斜、仪器常数修正后与基线值比较, 其差值应符合 4.10 要求。计算式如下:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n}} \quad (39)$$

$$v_i = D_0 - D_i \quad (40)$$

式中: D_0 ——基线值;

D_i ——经过频率、气象、倾斜、常数等修正的一次照准观测距离;

v_i ——各次照准所测的距离与基线值比较的误差值;

n ——照准次数;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

6.2.13 测距综合标准差

6.2.13.1 在长度基线场检定。检定选用的组合基线段应不少于 15 段, 且其长度应均匀分布在测距仪的测程内。对每段基线的观测应采用一次照准取 10 次读数求其平均值为观测值。在测距的同时测定气温、气压等数据。

6.2.13.2 标准差的计算式

a) 对各观测值进行频率、气象、倾斜、仪器常数改正等修正。

b) 用进行修正过后的距离观测值与相应的基线值比较, 用一元线性回归法进行计算。

计算标准偏差表达式为 $a + bD$, 其中:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n (D_i l_i) - \sum_{i=1}^n D_i^2 \sum_{i=1}^n l_i}{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (41)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n l_i - n \sum_{i=1}^n (D_i l_i)}{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (42)$$

式中： $l_i = |D_{0i} - D_i|$

a ——测距仪标准偏差表达式固定误差部分，mm；

b ——测距仪标准偏差表达式比例误差系数，mm/km；

D_{0i} ——基线值；

D_i ——经过频率、气象、倾斜、仪器常数等修正后的观测距离值；

n ——组合基线的段数（取样数）；

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

检定计算出的 a 、 b 值应符合 4.11 条要求。计算范例见附录表 B.9。

6.3 检定结果处理

经检定合格的仪器发给检定证书，检定不合格的仪器发给检定结果通知书，并注明其不合格的项目。检定证书和检定结果通知书内页格式见附录 C。

对于使用中检验的仪器，其中有一项超出要求，其超出值小于本项要求值的 1/3 时，而标称标准偏差的综合评定符合要求，也为合格。

6.4 检定周期

测距仪的检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

推荐采用的检定方法

(参照 ISO17123—4)

国际标准 International ISO Standard 17123 - 4 First edition 2001 - 12 - 01 推荐的检定光电测距仪方法。方法的要点是：

加常数与乘常数分别测定。用测定频率的方法取得测距仪的乘常数；用短基线测定加常数和测距标准差。用两种方法：

- 1) 采用直线上至少取二段，求加常数（零点改正数）。在数条用检定过的高准确度光电测距仪测定的放射形已知边上测定测距仪的测距标准偏差；
- 2) 在直线上取六段（非基线），按全组合法测定测距仪的加常数、加常数测定误差及测距标准差。

国际标准中的测定加常数、乘常数与测距标准差的方法与本规程正文中采用的方法不同。参照国际标准和国内外行之有效的办法，采用如下测定加常数、乘常数和测距标准差的方法，并将正文中后续检定中的幅相误差和周期误差改成必检项目，再参照其余检定项目，构成本推荐检定方法。

A.1 加常数、乘常数

A.1.1 乘常数

a) 测定方法

乘常数用测频方法测定。

测频仪器按出厂说明书预热充分并实时校准好，再用光电转换器物镜对准测距仪发射物镜，给测距仪通电，即开始测频。在约 10 至 15min 内，读取 20 个频率，取平均值 f_T ，并测定室温 T 。

b) 计算方法

乘常数为

$$R = \frac{f_0 - f_T}{f_0} \quad (\text{A.1})$$

式中： f_0 ——测距仪标称测尺频率；

f_T ——测距仪在 T 温度下测尺的工作频率。

A.1.2 加常数

加常数单独检定有两种方法：

a) 三段法（方法一）

在长约 60m 至 100m 的直线上取三段，并设置 A, B, C, D4 个强制对中测量点，其 A, B, C, D 四点偏离该直线的距离不得大于 1mm。往返测量各点间的距离。

加常数计算：取 4 个加常数的平均值：

$$K_1 = AB + BC - AC$$

$$K_2 = AC + CD - AD$$

$$K_3 = AB + BD - AD$$

$$K_4 = BC + CD - BD$$

$$\text{加常数 } K = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{4} \quad (\text{A.2})$$

$$\text{加常数 } K \text{ 单次测量标准差 } \sigma_K = \frac{\omega_n}{d_n} = \frac{1}{d_n} (K_{i\max} - K_{i\min}) \quad (\text{A.3})$$

式中： ω_n ——级差，即最大测量值与最小测量值之差；

d_n ——系数，当 $n = 4$ 时， $d_n = 2.059$ ；

$i = 1, 2, 3, 4$ 。

加常数 K 单次测量标准差可用简化式：

当 $n \leq 15$ 时， $d_n \approx \sqrt{n}$ 。公式 (A.3) 可简化为

$$\sigma_K \approx \frac{\omega_n}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.4})$$

b) 与周期误差同时测定 (方法二)

周期误差在周期误差测定平台或室内强制对中导轨 (短基线) 上进行。

将周期误差测定的数据做周期误差改正，并将做过改正的数据与基线值比较。

加常数计算：

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} \quad (\text{A.5})$$

$$\text{测距单次测量标准差 } m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (\text{A.6})$$

$$\text{加常数 } K \text{ 测量标准差 } M_K = m_0 \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.7})$$

$$\text{其中 } \sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n l_i \right)^2 / n \quad (\text{A.8})$$

式中： l_i ——基线值与 D_i 值之差；

n ——使用的基线段数；

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

A.2 测距综合标准差

A.2.1 在相应准确度的已知长度检定场检定。检定选用的组合基线段应不少于 15 段，且其长度应大致均匀分布在测距仪的测程内。已知长度可用检定过的高精度测距仪测定，其长度的不确定度不大于 10^{-6} 。

对每段基线的观测应采用一次照准取 10 次读数求其平均值为观测值。在测距的同时测定气温、气压等数据。

A.2.2 标准差的计算式

- a) 对各观测值进行气象、倾斜、仪器加常数、乘常数改正等修正。
 b) 用进行修正后的距离观测值与相应的已知长度或基线值比较, 用一元线性回归法进行计算。

计算标准差表达式为 $(a + bD)$, 其中:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n (D_i l_i) - \sum_{i=1}^n D_i^2 \sum_{i=1}^n l_i}{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (\text{A.9})$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n l_i - n \sum_{i=1}^n (D_i l_i)}{\left(\sum_{i=1}^n D_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (\text{A.10})$$

式中: $l_i = |D_{0i} - D_i|$

a ——测距综合标准差表达式固定误差部分, mm;

b ——测距综合标准差表达式比例误差系数, mm/km;

D_{0i} ——基线或已知长度值;

D_i ——经过气象、倾斜、仪器加常数、乘常数等修正后的观测距离值;

n ——比测边的段数 (取样数);

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

检定计算出的 a 、 b 值应符合 4.11 条 a 、 b 值的要求。计算范例见附录表 B.9。

附录 B

检定记录计算范例

表 B.1 反射棱镜常数的一致性记录表

仪器型号 _____ 温 度 _____ 检定地点 _____ 观测者 _____ 换棱镜者 _____
 仪器编号 _____ 气 压 _____ 日 期 _____ 记录者 _____ 计算者 _____

| 反射棱镜 (1) | | 反射棱镜 (2) | | 反射棱镜 (3) | | 反射棱镜 (4) | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 读数次数 | 读数/m | 读数次数 | 读数/m | 读数次数 | 读数/m | 读数次数 | 读数/m |
| 1 | 30.086 | 1 | 30.087 | 1 | 30.086 | 1 | 30.087 |
| 2 | 30.086 | 2 | 30.086 | 2 | 30.086 | 2 | 30.087 |
| 3 | 30.086 | 3 | 30.086 | 3 | 30.086 | 3 | 30.087 |
| 4 | 30.086 | 4 | 30.087 | 4 | 30.086 | 4 | 30.087 |
| 5 | 30.086 | 5 | 30.086 | 5 | 30.087 | 5 | 30.087 |
| 6 | 30.086 | 6 | 30.087 | 6 | 30.086 | 6 | 30.087 |
| 7 | 30.086 | 7 | 30.087 | 7 | 30.086 | 7 | 30.086 |
| 8 | 30.086 | 8 | 30.087 | 8 | 30.086 | 8 | 30.087 |
| 9 | 30.086 | 9 | 30.086 | 9 | 30.086 | 9 | 30.087 |
| 10 | 30.086 | 10 | 30.087 | 10 | 30.087 | 10 | 30.087 |
| 平均值 | 30.086 0 | 平均值 | 30.086 6 | 平均值 | 30.086 2 | 平均值 | 30.086 9 |
| 最大差 | | 0.9mm | | | | | |

表 B.2 光斑截取位置检定记录

仪器型号 _____ 检定者 _____
 检定时间 _____ 记录者 _____
 温 度 10℃ 检查者 _____
 气 压 727.3hPa 仪器标称标准偏差 a 值 3mm

| 序 号 | 度盘位置 (方格交叉点) | | 读数 D_i/m | | | | | 平均值 \bar{D}/m | 与中心 值之差 ($D_{\Phi} - \bar{D}$) /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 |
| 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 | -0.2 |
| 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 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

表 B.3 幅相误差检定记录表

仪器型号_____ 温度_____ 检定地点_____ 观测者_____ 记录者_____

仪器编号_____ 气压_____ 风力_____ 日期_____ 计算者_____

| 回光强度 | | 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 |
| | 6 | 32.364 | 32.363 | 32.363 | 32.363 | 32.362 | 32.365 |
| | 7 | 32.365 | 32.363 | 32.362 | 32.363 | 32.362 | 32.365 |
| | 8 | 32.365 | 32.362 | 32.363 | 32.363 | 32.363 | 32.365 |
| | 9 | 32.365 | 32.363 | 32.363 | 32.363 | 32.363 | 32.365 |
| | 10 | 32.364 | 32.363 | 32.362 | 32.362 | 32.363 | 32.364 |
| 平均值 | | 32.364 5 | 32.362 7 | 32.362 5 | 32.362 6 | 32.362 6 | 32.364 8 |
| 最大差 = 2.3mm | | | | | | | |
| 注: 将绿区分为五等格, 从绿区边缘测至另一边, 0, 1, ..., 5。 | | | | | | | |

表 B.4 分辨率记录表

仪器型号_____ 温度_____ 检定地点_____ 观测者_____ 计算者_____

仪器编号_____ 气压_____ 日期_____ 记录者_____ 移棱镜者_____

| 序号 | 间隔 d_i/mm | 读 数 值/m | | | | | | | | | | 观测值 | | 差值 v_i/mm | |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|-----------------|-----------------------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | D_i/m | v_i/mm | | |
| 1 | 0 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 30.004 | 0 | + 0.2 |
| 2 | 1.1 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 30.005 | 0 | 0.1 |
| 3 | 2.2 | 30.006 | 30.006 | 30.007 | 30.006 | 30.007 | 30.006 | 30.006 | 30.006 | 30.006 | 30.006 | 30.006 | 30.006 | 2 | + 0.2 |
| 4 | 3.3 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 30.007 | 0 | - 0.1 |
| 5 | 4.4 | 30.009 | 30.008 | 30.008 | 30.008 | 30.008 | 30.008 | 30.009 | 30.008 | 30.008 | 30.008 | 30.008 | 30.008 | 2 | 0.0 |
| 6 | 5.5 | 30.009 | 30.009 | 30.010 | 30.009 | 30.009 | 30.009 | 30.009 | 30.010 | 30.009 | 30.009 | 30.009 | 30.009 | 2 | - 0.1 |
| 7 | 6.6 | 30.010 | 30.010 | 30.010 | 30.011 | 30.011 | 30.010 | 30.010 | 30.011 | 30.010 | 30.011 | 30.010 | 30.010 | 4 | 0.0 |
| 8 | 7.7 | 30.011 | 30.012 | 30.011 | 30.011 | 30.012 | 30.011 | 30.012 | 30.012 | 30.011 | 30.011 | 30.011 | 30.011 | 4 | - 0.1 |
| 9 | 8.8 | 30.013 | 30.013 | 30.012 | 30.012 | 30.013 | 30.013 | 30.013 | 30.012 | 30.013 | 30.012 | 30.012 | 30.012 | 6 | 0.0 |
| 10 | 9.9 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 30.014 | 0 | + 0.3 |
| 11 | 11.0 | 30.014 | 30.015 | 30.015 | 30.015 | 30.015 | 30.015 | 30.014 | 30.015 | 30.015 | 30.015 | 30.015 | 30.014 | 8 | 0.0 |
| $m_{\frac{n}{2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = 0.14\text{mm}$ | | $D_0 = \frac{\sum_{i=1}^n D_i - \sum_{i=1}^n d_i}{n} \approx 30.003\ 8\text{m}$ | | | | | | | | | | $v_i = D_i - D_0 - d_i$ | | | |

表 B.5 周期误差检定记录表

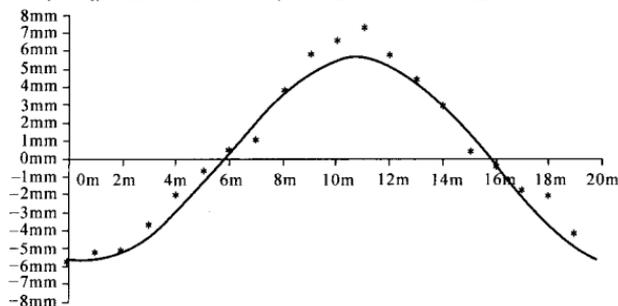
仪器型号 _____ 温度 3.8℃ 检定地点 _____ 观测者 _____ 记录者 _____
 仪器编号 _____ 气压 726.8hPa 日期 _____ 计算者 _____

| 序号 | 近似值 $D_{0i} =$ $D_{0i} + (i-1)d$ /m | 读数值/m | | | | | 观测值 D_i /m | $l_i = D_{0i} - D_i$ /mm | |
|----|----------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------------------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | 26.023 7 | 往 | 26.022 | 26.022 | 26.022 | 26.023 | 26.023 | 26.023 2 | + 0.5 |
| | | 返 | 26.023 | 26.024 | 26.024 | 26.024 | 26.025 | | |
| 2 | 27.023 9 | 往 | 27.025 | 27.025 | 27.025 | 27.025 | 27.025 | 27.022 8 | + 1.1 |
| | | 返 | 27.020 | 27.021 | 27.021 | 27.021 | 27.020 | | |
| 3 | 28.024 3 | 往 | 28.023 | 28.022 | 28.023 | 28.023 | 28.023 | 28.020 4 | + 3.9 |
| | | 返 | 28.018 | 28.018 | 28.018 | 28.018 | 28.018 | | |
| 4 | 29.024 6 | 往 | 29.020 | 29.019 | 29.020 | 29.020 | 29.020 | 29.018 7 | + 5.9 |
| | | 返 | 29.018 | 29.017 | 29.017 | 29.018 | 29.018 | | |
| 5 | 30.025 0 | 往 | 30.020 | 30.020 | 30.020 | 30.020 | 30.020 | 30.018 3 | + 6.7 |
| | | 返 | 30.018 | 30.017 | 30.016 | 30.016 | 30.016 | | |
| 6 | 31.025 3 | 往 | 31.019 | 31.019 | 31.018 | 31.019 | 31.019 | 31.017 8 | + 7.5 |
| | | 返 | 31.017 | 31.017 | 31.017 | 31.017 | 31.016 | | |
| 7 | 32.025 6 | 往 | 32.021 | 32.020 | 32.020 | 32.020 | 32.020 | 32.019 6 | + 6.0 |
| | | 返 | 32.020 | 32.019 | 32.019 | 32.019 | 32.018 | | |
| 8 | 33.025 8 | 往 | 33.023 | 33.022 | 33.021 | 33.021 | 33.021 | 33.021 3 | + 4.5 |
| | | 返 | 33.021 | 33.021 | 33.021 | 33.021 | 33.021 | | |
| 9 | 34.026 3 | 往 | 34.024 | 34.024 | 34.024 | 34.024 | 34.024 | 34.023 2 | + 3.1 |
| | | 返 | 34.023 | 34.022 | 34.023 | 34.023 | 34.022 | | |
| 10 | 35.026 6 | 往 | 35.026 | 35.026 | 35.026 | 35.026 | 35.026 | 35.026 1 | + 0.5 |
| | | 返 | 35.027 | 35.026 | 35.026 | 35.026 | 35.026 | | |
| 11 | 36.026 9 | 往 | 36.028 | 36.027 | 36.027 | 36.027 | 36.026 | 36.027 0 | - 0.1 |
| | | 返 | 36.027 | 36.027 | 36.027 | 36.027 | 36.027 | | |
| 12 | 37.026 9 | 往 | 37.030 | 37.029 | 37.028 | 37.028 | 27.029 | 37.028 4 | - 1.5 |
| | | 返 | 37.029 | 37.028 | 37.028 | 37.027 | 27.028 | | |

表 B.5 (续)

| 序号 | 近似值 $D_{0i} =$ $D_{0i} + (i-1)d$ /m | 读数值/m | | | | | 观测值 D_i /m | $l_i = D_{0i} - D_i$ /mm | |
|----|----------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------------------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 13 | 38.026 9 | 往 | 38.029 | 38.029 | 38.029 | 38.029 | 38.029 | 38.028 7 | - 1.8 |
| | | 返 | 38.029 | 38.029 | 38.028 | 28.028 | 38.028 | | |
| 14 | 39.026 8 | 往 | 39.032 | 39.032 | 39.031 | 39.031 | 39.031 | 39.030 7 | - 3.9 |
| | | 返 | 39.030 | 39.030 | 29.030 | 39.030 | 39.030 | | |
| 15 | 40.026 7 | 往 | 40.034 | 40.033 | 40.032 | 40.033 | 40.033 | 40.325 | - 5.8 |
| | | 返 | 40.032 | 40.032 | 40.032 | 40.032 | 40.032 | | |
| 16 | 41.026 8 | 往 | 41.032 | 41.032 | 41.032 | 41.033 | 41.032 | 41.032 0 | - 5.2 |
| | | 返 | 41.032 | 41.032 | 41.032 | 41.032 | 41.032 | | |
| 17 | 42.026 9 | 往 | 42.033 | 42.032 | 42.032 | 42.032 | 42.032 | 42.032 0 | - 5.1 |
| | | 返 | 42.032 | 42.032 | 42.032 | 42.032 | 42.031 | | |
| 18 | 43.026 9 | 往 | 43.031 | 43.031 | 43.031 | 43.030 | 43.031 | 43.030 5 | - 3.6 |
| | | 返 | 43.031 | 43.030 | 43.030 | 43.030 | 43.030 | | |
| 19 | 44.027 0 | 往 | 44.030 | 44.029 | 44.029 | 44.029 | 44.028 | 44.029 0 | - 2.0 |
| | | 返 | 44.029 | 44.029 | 44.029 | 44.029 | 44.029 | | |
| 20 | 45.027 1 | 往 | 45.028 | 45.028 | 45.028 | 45.028 | 45.028 | 45.027 7 | - 0.6 |
| | | 返 | 45.028 | 45.027 | 45.028 | 45.027 | 45.027 | | |
| 21 | 46.027 2 | 往 | 46.028 | 46.027 | 46.027 | 46.027 | 46.026 | 46.027 2 | 0.0 |
| | | 返 | 46.027 | 46.027 | 46.027 | 46.028 | 46.028 | | |

以 $(D_i - D_{0i})$ 值为横坐标, 以 l_i 为纵坐标, 描出各点值, 绘出分布图:



$$A = 5.7\text{mm}$$

$$\phi_0 = 254.41^\circ$$

$$m_0 = 0.8\text{mm}$$

$$m_A = 0.2\text{mm}$$

$$m_{\phi_0} = 2^\circ 27'$$

结论 合格: A/m_A 远大于 2 倍以上, 周期误差显著, 使用中检验可按其结果改正。

表 B.6 (1) 精尺频率随开机时间变化检定记录

仪器型号 _____ 标称频率 4870250Hz 检定者 _____
 检定日期 _____ 频率计型号 _____ 记录者 _____
 环境温度 _____ 频率计预热时间 _____ 检查者 _____

| 序号 | 开机时间 | 频率读数值/Hz | $\Delta f = (f_0 - f_n) / \text{Hz}$ | 备注 |
|----|-------|-------------|--------------------------------------|----|
| 1 | 13:50 | 4 870 259.0 | - 9.0 | |
| 2 | 51 | 257.2 | - 7.2 | |
| 3 | 52 | 255.8 | - 5.8 | |
| 4 | 53 | 254.7 | - 4.7 | |
| 5 | 54 | 254.0 | - 4.0 | |
| 6 | 55 | 253.9 | - 3.9 | |
| 7 | 56 | 253.8 | - 3.8 | |
| 8 | 57 | 253.7 | - 3.7 | |
| 9 | 58 | 253.6 | - 3.6 | |
| 10 | 59 | 253.5 | - 3.5 | |
| 11 | 14:00 | 253.4 | - 3.4 | |
| 12 | 01 | 253.4 | - 3.4 | |
| 13 | 02 | 253.3 | - 3.3 | |
| 14 | 03 | 253.3 | - 3.3 | |
| 15 | 04 | 253.3 | - 3.3 | |
| 16 | 05 | 253.3 | - 3.3 | |
| 17 | 06 | 253.3 | - 3.3 | |
| 18 | 07 | 253.2 | - 3.2 | |
| 19 | 08 | 253.2 | - 3.2 | |
| 20 | 09 | 253.2 | - 3.2 | |
| 21 | 10 | 253.2 | - 3.2 | |
| 22 | 11 | 253.2 | - 3.2 | |
| 23 | 12 | 253.2 | - 3.2 | |
| 24 | 13 | 253.2 | - 3.2 | |
| 25 | 14 | 253.2 | - 3.2 | |
| 26 | 15 | 253.1 | - 3.1 | |
| 27 | 16 | 253.1 | - 3.1 | |
| 28 | 17 | 253.1 | - 3.1 | |
| 29 | 18 | 253.1 | - 3.1 | |
| 30 | 19 | 253.1 | - 3.1 | |

$$5\text{min 后实际工作频率 } f = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n-5} = 4\ 870\ 228.3\text{Hz} \quad f_0 = 4\ 870\ 250\text{Hz}$$

$$\Delta f_{i\text{ max}}/f_0 = 0.8 \times 10^{-6} \quad \Delta f_{i\text{ max}} = 3.9\text{Hz}$$

表 B.6 (2) 精尺频率随温度的漂移检定记录

仪器型号 _____ 标称频率 4870225Hz (20℃) 检定者 _____
 检定日期 _____ 频率计型号 _____ 记录者 _____

| 箱(室) 温度/℃ | 频率读数 f_T /Hz | | | | | 平均值 f_T /Hz | $\Delta f_T = (f_0 - f_T) / \text{Hz}$ |
|-------------------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|
| - 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 | 215.2 | + 9.8 |
| | 215 | 215 | 215 | 215 | 215 | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| $\Delta f_{T\max} = + 9.8\text{Hz}$ | | | | | $\Delta f_{T\max} / f_0 = 2.0 \times 10^{-6}$ | | |

表 B.7(1) 测距仪常数检定记录表

仪器型号 _____ 检定地点 _____ 观测者 _____ 记录者 _____
 仪器编号 _____ 风力 _____ 日期 _____ 风 _____ 计算者 _____

| 基线值 D_0/m | 照准 次数 | 读数/m | | | | | 一次照准 观测值 D_1/m | 温度 /°C | 气压 /hPa | 气象修 正后的 D_1 值/m | 频率 修正值 /mm | 高差 /m | 水平距离 /m | 差值 I_i/mm |
|----------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------|-----------|------------|-------------------------|------------------|----------|------------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | | | | |
| 48.002 0 | 1 | 48.001 | 48.001 | 48.001 | 48.001 | 48.001 | 48.001 0 | 3.8 | 957.4 | 48.001 4 | 0.0 | 0.299 4 | 48.000 5 | +1.5 |
| | | 48.001 | 48.001 | 48.001 | 48.001 | 48.001 | | | | | | | | |
| 120.012 6 | 1 | 120.012 | 120.012 | 120.012 | 120.012 | 120.012 | 120.012 0 | 3.8 | 957.4 | 120.012 9 | 0.0 | 0.749 4 | 120.010 6 | +2.0 |
| | | 120.012 | 120.012 | 120.012 | 120.012 | 120.012 | | | | | | | | |
| 191.997 7 | 1 | 191.998 | 191.998 | 191.998 | 191.998 | 191.999 | 191.998 4 | 3.8 | 957.4 | 191.999 9 | 0.0 | 1.200 3 | 191.996 1 | +1.6 |
| | | 191.998 | 191.999 | 191.999 | 191.998 | 191.999 | | | | | | | | |
| 263.979 4 | 1 | 263.980 | 263.981 | 263.980 | 263.980 | 263.981 | 263.980 7 | 3.8 | 957.4 | 263.982 7 | 0.0 | 1.643 8 | 263.977 6 | +1.8 |
| | | 263.980 | 263.981 | 263.981 | 263.982 | 263.981 | | | | | | | | |
| 407.977 5 | 1 | 407.981 | 407.981 | 407.981 | 407.982 | 407.982 | 407.981 6 | 3.8 | 957.4 | 407.984 7 | 0.0 | 2.545 0 | 407.976 8 | +0.7 |
| | | 407.982 | 407.982 | 407.981 | 407.982 | 407.982 | | | | | | | | |
| 551.999 6 | 1 | 552.003 | 552.003 | 552.004 | 552.004 | 552.004 | 552.003 9 | 3.8 | 957.4 | 552.008 1 | 0.0 | 3.451 8 | 551.997 3 | +2.3 |
| | | 552.004 | 552.005 | 552.004 | 552.004 | 552.004 | | | | | | | | |
| 839.950 9 | 1 | 839.959 | 839.959 | 839.959 | 839.960 | 839.959 | 839.959 3 | 3.8 | 957.4 | 839.965 7 | 0.0 | 5.251 6 | 839.949 3 | +1.6 |
| | | 839.958 | 839.959 | 839.960 | 839.960 | 839.960 | | | | | | | | |

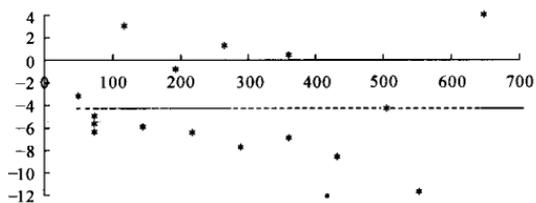
表 B.7 (2) 加常数乘常数线性回归计算表

仪器型号 _____ 日期 _____ 记录者 _____
 仪器编号 _____ 检定地点 _____ 观测者 _____ 计算者 _____

| 序号 | 基线值 D_{0i}/m | 修正后的观测值 D_i/m | 差值 l_i/mm | $\hat{K} \approx -4.3\text{mm}$ $\hat{R} \approx -0.3\text{mm/km}$ $m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-2}} \approx 4.1\text{mm}$ $m_K = m_0 \sqrt{Q_{11}} \approx 1.6\text{mm}$ $m_R = m_0 \sqrt{Q_{22}} \approx 4.1\text{mm/km}$ 加常数显著性判别 乘常数显著性判别 $t_K = \left \frac{K}{m_K} \right \approx 2.69 \quad t_R = \left \frac{K}{m_R} \right \approx 0.07$ $t_K > t_{\alpha/2} \quad t_R < t_{\alpha/2}$ 加常数 K 显著, 有效 乘常数 R 不显著, 无效 注: 自由度为 19 $\alpha = 0.05 \quad t_{\alpha/2} = 2.09$ |
|----|--------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 48.002 0 | 48.005 1 | -3.1 | |
| 2 | 120.012 6 | 120.009 6 | 3.0 | |
| 3 | 191.997 7 | 191.998 5 | -0.8 | |
| 4 | 263.979 4 | 263.978 1 | 1.3 | |
| 5 | 407.977 5 | 407.984 2 | -6.7 | |
| 6 | 551.999 6 | 552.011 3 | -11.7 | |
| 7 | 503.997 6 | 504.001 9 | -4.3 | |
| 8 | 791.949 0 | 791.955 6 | -6.6 | |
| 9 | 359.975 5 | 359.982 5 | -7.0 | |
| 10 | 215.977 4 | 215.983 8 | -6.4 | |
| 11 | 143.995 8 | 144.001 8 | -6.0 | |
| 12 | 72.010 6 | 72.016 9 | -6.3 | |
| 13 | 71.985 1 | 71.990 1 | -5.0 | |
| 14 | 143.966 7 | 143.972 5 | -5.8 | |
| 15 | 431.987 0 | 431.995 6 | -8.6 | |
| 16 | 719.938 4 | 719.940 6 | -2.2 | |
| 17 | 647.953 3 | 647.949 4 | 3.9 | |
| 18 | 360.001 8 | 360.001 5 | 0.3 | |
| 19 | 215.979 8 | 215.986 3 | -6.5 | |
| 20 | 71.981 6 | 71.987 2 | -5.6 | |
| 21 | 287.964 9 | 287.972 6 | -7.7 | |

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n l_i^2 - K \sum_{i=1}^n l_i - R \sum_{i=1}^n D_i l_i$$

表 B.7 (3)

v_i 散点分布图

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} = -4.4 \text{ mm}$$

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-2}} \approx 4.0 \text{ mm}$$

$$m_K = m_0 \frac{1}{\sqrt{n}} \approx 0.9 \text{ mm}$$

表 B.8 测量的重复性

仪器型号 _____ 温度 _____ 日期 _____ 观测者 _____
 仪器编号 _____ 气压 _____ 地点 _____ 记录者 _____

| 序号 | 读数 D_i/m | v_i/mm | 序号 | 读数 D_i/m | v_i/mm | 序号 | 读数 D_i/m | v_i/mm |
|-----------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------|----|---------------|----------|----|---------------|----------|
| 1 | 30.023 | 0.2 | 11 | 30.023 | 0.2 | 21 | 30.024 | 1.2 |
| 2 | 30.023 | 0.2 | 12 | 30.022 | -0.8 | 22 | 30.022 | -0.8 |
| 3 | 30.023 | 0.2 | 13 | 30.023 | 0.2 | 23 | 30.022 | -0.8 |
| 4 | 30.023 | 0.2 | 14 | 30.023 | 0.2 | 24 | 30.023 | 0.2 |
| 5 | 30.024 | 1.2 | 15 | 30.024 | 1.2 | 25 | 30.023 | 0.2 |
| 6 | 30.023 | 0.2 | 16 | 30.022 | -0.8 | 26 | 30.022 | -0.8 |
| 7 | 30.023 | 0.2 | 17 | 30.022 | -0.8 | 27 | 30.024 | 1.2 |
| 8 | 30.022 | -0.8 | 18 | 30.023 | 0.2 | 28 | 30.022 | -0.8 |
| 9 | 30.022 | -0.8 | 19 | 30.023 | 0.2 | 29 | 30.023 | 0.2 |
| 10 | 30.022 | -0.8 | 20 | 30.023 | 0.2 | 30 | 30.023 | 0.2 |
| 平均值 \bar{D} | | 30.022 8 | | | | | | |
| $\sum_{i=1}^n v_i^2$ | | 12.8 | | | | | | |
| $v_i = D_i - \bar{D}$ | | $m_{\text{重}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = 0.7\text{mm}$ | | | | | | |

表 B.9 测距综合标准差

仪器型号 _____ 日 期 _____ 记录者 _____
 仪器编号 _____ 检定地点 _____ 观测者 _____ 计算者 _____

| 序号 | 基线值 D_0/m | 修正后的观测值 D_i/m | 差值 l_i/mm | |
|----------------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 288.027 7 | 288.024 9 | 2.8 | $l_i = D_{0i} - D_i $ $a = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n (D_i l_i) - \sum_{i=1}^n D_i^2 \sum_{i=1}^n l_i}{\left(\sum_{i=1}^n D_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2}$ $\approx 1.3mm$ $b = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \sum_{i=1}^n l_i - n \sum_{i=1}^n (D_i l_i)}{\left(\sum_{i=1}^n D_i\right)^2 - n \sum_{i=1}^n D_i^2}$ $\approx 1.1mm/km$ |
| 2 | 575.979 2 | 575.979 9 | 0.7 | |
| 3 | 720.001 2 | 720.003 7 | 2.5 | |
| 4 | 863.999 4 | 863.999 0 | 0.4 | |
| 5 | 935.981 0 | 935.979 9 | 1.1 | |
| 6 | 1 007.966 1 | 1 007.964 5 | 1.6 | |
| 7 | 1 079.976 7 | 1 079.976 9 | 0.2 | |
| 8 | 1 127.978 7 | 1 127.972 5 | 6.2 | |
| 9 | 839.951 0 | 839.948 8 | 2.2 | |
| 10 | 791.949 0 | 791.953 7 | 4.7 | |
| 11 | 719.938 4 | 719.943 1 | 4.7 | |
| 12 | 647.953 3 | 647.954 0 | 0.7 | |
| 13 | 575.971 7 | 575.972 8 | 1.1 | |
| 14 | 431.973 2 | 431.971 5 | 1.7 | |
| 15 | 287.951 4 | 287.949 9 | 1.5 | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |
| 20 | | | | |
| 21 | | | | |
| $a = 1.3mm$ $b = 1.1mm/km$ | | | | |

附录 C

检定证书和检定结果通知书内页格式

C.1 检定证书内页格式

| 光电测距仪检定项目及结果 | | |
|--------------|------------------------|------|
| 序号 | 检定项目 | 检定结果 |
| 1 | 外观与功能 | |
| 2 | 光学对中器 | |
| 3 | 三轴（发射、接收、照准）正确性 | |
| 4 | 反射镜常数一致性 | |
| 5 | 调制光相位均匀性 | |
| 6 | 幅相误差 | |
| 7 | 分辨力 | |
| 8 | 周期误差 | |
| 9 | 精测尺频率/Hz | |
| 10 | 加常数 K/mm | |
| 11 | 乘常数 $R/(\text{mm/km})$ | |
| 12 | 测量的重复性 | |
| 13 | 测程 | |
| 14 | 测距综合标准差 | |
| 备注 | | |

C.2 检定结果通知书内页格式

检定结果通知书要求同上并应注明以下内容：

- (1) 按照本规程检定的不合格项目及具体数据
- (2) 处理意见和建议。