

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 44078—2024

## 光电系统中光学中心间距的测定 低相干干涉测量法

Determination of optical center distance in photoelectric system—  
Low coherence interferometry

2024-05-28 发布



2024-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会



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 测量原理 ..... 2

    4.1 测量方法分类 ..... 2

    4.2 时域相干干涉测量 ..... 2

    4.3 频域相干干涉测量 ..... 3

5 测量条件 ..... 4

    5.1 测量环境 ..... 4

    5.2 被测样品 ..... 4

6 测量设备 ..... 4

7 测量步骤 ..... 5

    7.1 测量前准备 ..... 5

    7.2 参数预设置 ..... 5

    7.3 样品测量 ..... 5

    7.4 结果有效性判定 ..... 6

8 测量数据处理 ..... 6

9 测量报告 ..... 6

附录 A (资料性) 校准器 ..... 7

附录 B (规范性) 玻璃材料折射率换算 ..... 8

附录 C (资料性) 测量结果异常值判断 ..... 9

附录 D (资料性) 测量报告 ..... 14

参考文献 ..... 15



# 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国光电测量标准化技术委员会(SAC/TC 487)归口。

本文件起草单位：中国科学院苏州生物医学工程技术研究所、中国科学院空天信息创新研究院、中国标准化研究院、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国计量科学研究院、中国科学院光电技术研究所、长春奥普光电技术股份有限公司、浙江舜宇光学有限公司、苏州慧利仪器有限责任公司、舟山市质量技术监督检测研究院、上海拍频光电科技有限公司。

本文件主要起草人：邢利娜、史国华、何益、王璞、蔡建奇、刘春雨、李飞、魏凌、冯长有、谢桂华、韩森、叶虹、樊金宇、陈一巍、郝华东、张志平。





# 光电系统中光学中心间距的测定 低相干干涉测量法

## 1 范围

本文件描述了采用低相干干涉法测量光电系统中光学中心间距的原理、测量条件、测量设备、测量步骤以及测量数据处理。

本文件适用于光电系统中光学中心间距的测量,光学平板厚度的测量参照使用。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**光学中心间距** **optical center distance**

光学元件表面中心点之间的距离。

注:包含光学元件的中心厚和相邻两光学元件间的空气间隔。

### 3.2

**相干长度** **coherence length**

光源同一点在相干时间内不同时刻发出的两光波之间具有相干性的最大光程差。

### 3.3

**低相干** **low coherence**

光的相干长度短。

### 3.4

**干涉** **interference**

两束或两束以上的光波在重叠区相互加强和减弱的现象。

[来源:GB/T 13962—2009,4.8]

### 3.5

**样品光路** **sample light path**

低相干干涉测量时,发生干涉的两束光波所在光路中,包含被测样品的光路。

### 3.6

**参考光路** **reference light path**

低相干干涉测量时,发生干涉的两束光波所在光路中,不包含被测样品的光路。

### 3.7

**光程** **optical path [distance]**

光在介质中传播的几何路程与该介质的折射率之乘积。

[来源:GB/T 13962—2009,2.39]

3.8

(绝对)折射率 (absolute)refractive index  
光线在真空中的相速度与光在介质中的相速度之比。  
[来源:GB/T 13962—2009,3.115]

3.9

光轴 optical axis  
光学系统的对称轴线。  
注:在共轴光学系统中,是各光学表面曲率中心所在的直线。  
[来源:GB/T 1224—2016,3.5]

4 测量原理

4.1 测量方法分类

宽带光源发出的光经分束器分成两束,一束进入样品光路后照射到样品上发生后向散射;另一束进入参考光路后被参考光路中的反射镜反射,样品光路的后向反射光和参考光路反射镜的反射光经分束器会合,当两者的光程差小于光源的相干长度时,两束光发生干涉,通过光电探测器探测到干涉信号。基于相干干涉的原理,利用宽带光源的低相干特性,通过光电探测器探测等光程时的干涉信号,实现光学面定位。根据干涉信号获取方式的不同,分为时域相干干涉测量和频域相干干涉测量。

4.2 时域相干干涉测量

基于低相干干涉原理,通过机械运动装置移动参考光路反射镜的位置,实现待测样品不同位置的表面( $Z_1, Z_2, Z_3 \dots$ )干涉。当干涉信号最强时,通过测量参考光路反射镜移动的距离( $l_1, l_2 \dots$ ),计算出两相邻表面之间的光程。用光程除以两相邻表面之间介质的折射率,得到待测样品的中心间距。时域相干干涉测量原理图如图 1 所示。

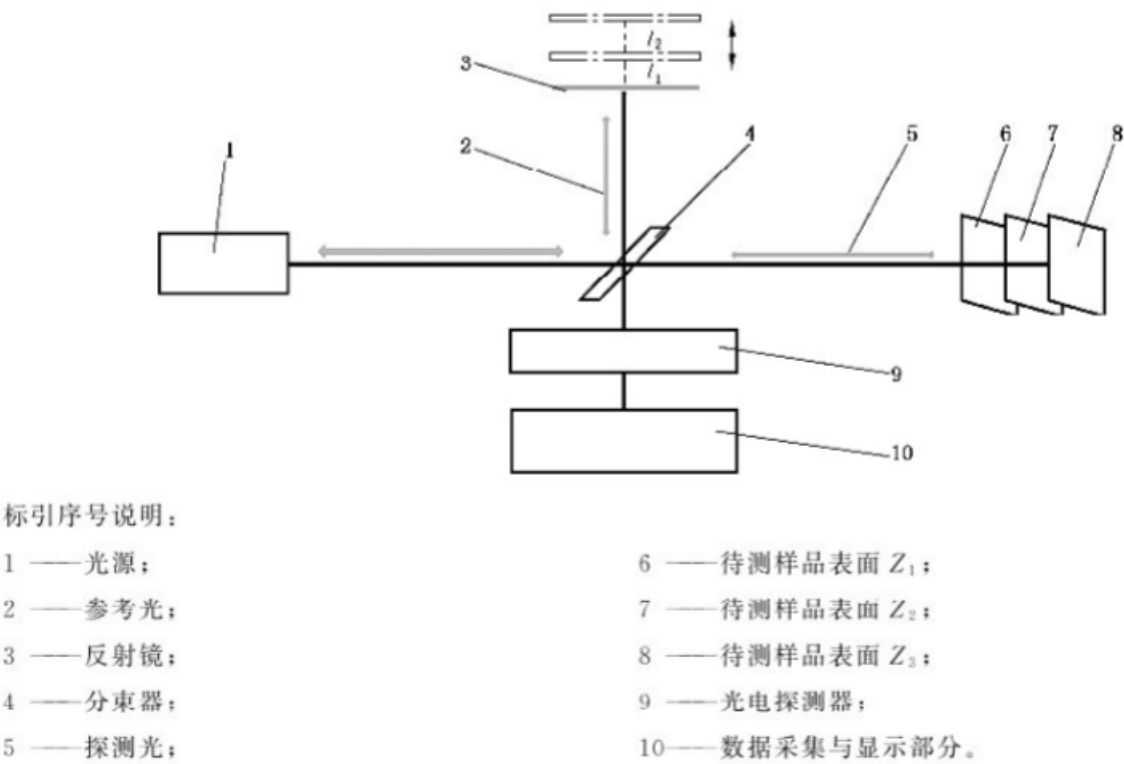


图 1 时域相干干涉测量原理图



4.3 频域相干干涉测量

4.3.1 概述

基于低相干干涉原理,利用空间分光谱技术或波长调谐技术,采集到包含频谱信息的干涉信号,对干涉信号进行傅里叶变换获取样品的深度信息。使用标准样品测量得到频谱信息与光程之间的对应关系,通过数据处理,得到待测样品的中心间距。频域相干干涉测量原理图见图 2。

频域相干干涉测量技术有两种实现方法,一种是使用宽带光源和光谱仪的谱域相干干涉测量,另一种是使用扫频光源和光电探测器的扫频相干干涉测量。

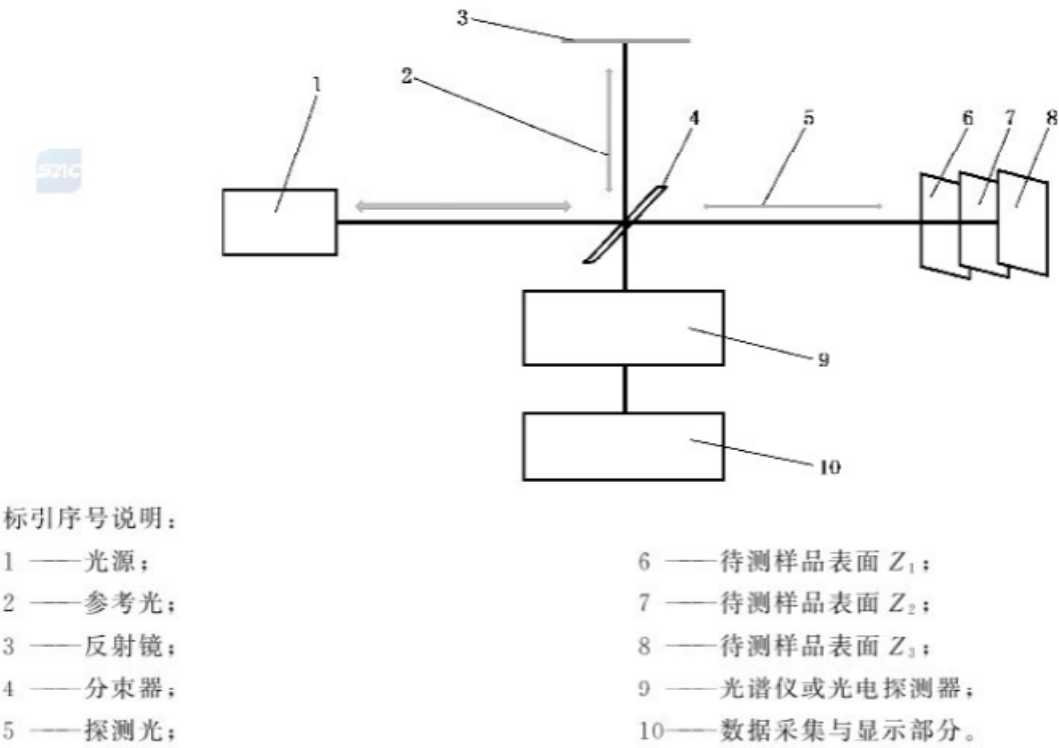


图 2 频域相干干涉测量原理图

4.3.2 谱域相干干涉测量

采用宽带光源,光源发出的光经分束器分为两束,一束进入参考光路后经反射镜反射,原路返回分束器;另一束进入样品光路,经样品反射后返回分束器,两束光在满足干涉条件的情况下在分束器中发生干涉,由光谱仪获得干涉信号。

通过光谱仪中光栅的色散能力对波长进行空间解码,线扫描探测器对干涉信号进行采集,采集到的干涉信号是关于波长的函数,由傅里叶逆变换实现不同波长的干涉信号的分离,获取信号中携带的样品深度信息。通过测量获得样品深度信息与波长之间的对应关系,最后由计算机进行数据处理,得到待测样品的中心间距。

4.3.3 扫频相干干涉测量

扫频光源是窄脉冲、宽光谱的快速可调谐激光器,能周期性输出一段宽光谱的光波,在每个周期内,按照时间先后输出一个可近似认为是单波长的窄带光束序列,见图 3。

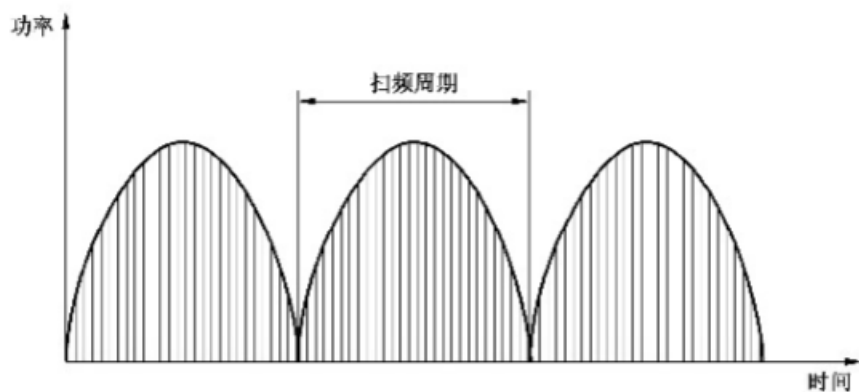


图 3 扫频光源输出波长示意图

采用扫频光源,光源发出的光经分束器分为两束,一束进入参考光路后经反射镜反射,原路返回分束器;另一束进入样品光路,由样品反射后返回分束器,两束光在满足干涉条件的情况下在分束器中发生干涉,由探测器获得干涉信号。

光的干涉信号是时间的函数,用探测器探测到不同时间的干涉信号。将采集到的时间域干涉信号通过硬件或插值的方法转换到波数域,再对信号作傅里叶变换得到信号中携带的样品的深度信息。傅里叶变换得到的深度信息对应于信号像素点,需要测量像素对应的物理距离。两个表面之间的像素点数乘以像素对应的物理距离得到两个表面之间的光程,再除以材料折射率,得到待测样品的中心间距。

5 测量条件

5.1 测量环境

测量环境要求如下:

- a) 应在室内,常压条件下,无影响测量的振动,避免阳光直射;
- b) 相对湿度:25%~75%;
- c) 环境温度:20℃±2℃,环境温度 24 h 内变化量在±1℃之内。

当测量环境不能满足此要求时,应在此环境下对测量设备进行校准,并将被测样品放置于测量环境中进行等温调节,并应在测量报告中注明测量环境情况。

5.2 被测样品

被测样品可是透镜、透镜组、光学平片、光学镜头等,样品光学表面应洁净、无尘土颗粒及其他污物。测量前应提供样品的光学结构、材料或折射率信息,并将被测样品在测量环境中进行等温调节 2 h 以上。

6 测量设备

低相干干涉中心间距测量设备由测量头、线性模组、样品调整台、控制单元、数据采集及显示部分等组成,示意图见图 4。控制单元包含光源、参考光路和电控系统等,可根据被测样品选定光源的相干长度和中心波长。

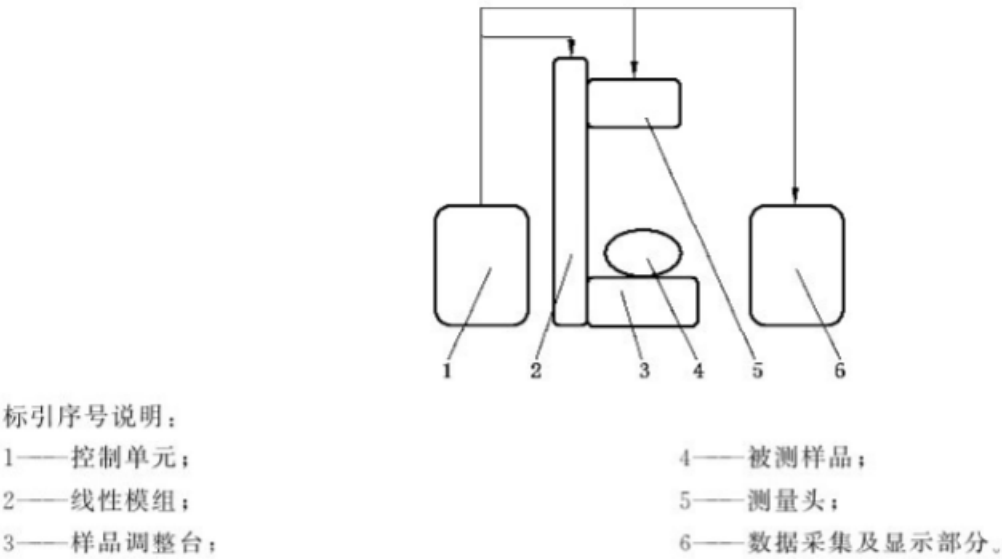


图 4 低相干干涉中心间距测量设备组成示意图

测量设备应定期校准,并在有效期内。若校准已超过有效期,应采用校准器校准设备后使用。校准器的制作方法参见附录 A。测量设备应具有样品折射率参数输入和干涉信号显示功能。

7 测量步骤

7.1 测量前准备

测量前准备工作如下：

- a) 查看测量设备的校准情况；
- b) 确认测量设备在测量环境中等温调节 24 h 以上；
- c) 确认样品信息并将样品进行等温调节 2 h 以上；
- d) 记录测量环境温度、相对湿度、气压以及样品等温调节情况。

7.2 参数预设置

打开测量软件,输入待测样品参数,利用设备软件生成或加载样品模型检查待测样品参数是否输入正确。

输入参数应包含材料折射率,对于透镜组或多镜片系统应按照样品放置的方位,从样品靠近测量头端开始顺序依次输入待测样品参数。输入的折射率应为该样品在测量设备的中心波长下的折射率。若样品的材料折射率无中心波长下的实测数据,应按照附录 B 将其换算为中心波长下的折射率。

7.3 样品测量

样品测量过程如下。

- a) 调平样品调整台。当测量设备不具备自动调平功能时,可利用水平仪调平样品调整台。
- b) 将样品稳定放置在调整台上。
- c) 选择测量光束类型。当样品表面为平面时,将测量光束设置为准直光束。当样品为曲面时,将测量光束设置为聚焦光束,可优先将测量光束聚焦于样品的上表面或样品内部。
- d) 对准光轴。打开引导光源,调整样品台 4 个方向的自由度,使样品的光轴与光源的光轴同轴,查看干涉信号的强度,当干涉信号最强时,测量光轴与样品的光轴重合。
- e) 关闭引导光源,开始测量,每间隔一段时间(不少于 1 s)记录一组测量数据,重复记录  $j$  ( $j \geq 10$ ) 组测量数据。

7.4 结果有效性判定

根据测量设备显示的干涉信号,评估峰值信息,进行测量结果的有效性判定。若峰值数量小于样品表面的数量,则测量结果无效。当判定结果无效时,应查找原因,并按照 7.3 重新测量。结果有效性判定情况应在测量报告中体现。

8 测量数据处理

按照公式(1)计算样品表面的中心间距,计算结果至少保留到小数点后 4 位。

$$d_i = \frac{x}{n_s} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $d_i$  ——样品两表面的第  $i$  组中心间距,单位为毫米(mm);
- $x$  ——两相邻干涉峰值之间的光程距离,单位为毫米(mm);
- $n_s$  ——样品两表面中心间距之间介质的折射率,当所测量的中心间距为空气间隔时, $n_s = 1.000\ 29$ ;当两表面之间介质是真空时, $n_s = 1$ ;当所测量的中心间距为中心厚时, $n_s$  为该光学元件材料的折射率。

按照公式(2)计算得到算术平均值。

$$d = \frac{\sum_{i=1}^j d_i}{j} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $d$  ——样品两表面的中心间距的算术平均值,单位为毫米(mm);
- $j$  ——记录数据的组数。

判断测量结果中是否存在异常值(参见附录 C)。若无,则算术平均值  $d$  即为测量结果;若有,则剔除异常值数据后,重新按照公式(2)计算算术平均值  $d$  作为测量结果。

按照公式(3)计算其标准偏差,即为测量结果的重复性。

$$s_d = \sqrt{\frac{1}{(j-1)} \sum_{i=1}^j (d_i - d)^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $s_d$  ——测量结果的重复性,单位为毫米(mm)。

9 测量报告

测量报告至少包含下列信息,参见附录 D:

- a) 测量地点和日期;
- b) 测量环境温度和相对湿度;
- c) 设备型号、精度、校验情况;
- d) 样品名称、材料、折射率等有关输入参数信息,并注明输入的折射率参数的来源类型,输入的为实测数据时,标注“输入实测”,输入的为理论计算得到的折射率时,宜标注“输入计算”;
- e) 是否进行有效性判定;
- f) 实际中心间距、光程以及测量重复性;
- g) 其他影响测量结果的因素。





附录 A  
(资料性)  
校准器

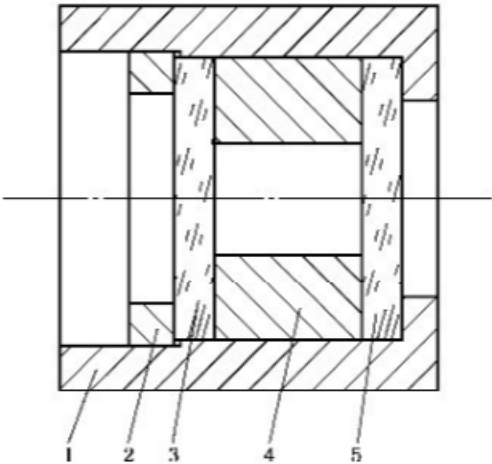
A.1 概述

测量设备能够通过自制校准器进行校准。在测量设备的量程范围内选择三组及以上不同中心间距尺寸的校准器进行测量。如果偏差在系统的测量误差范围内,则认为测量设备通过校准。

A.2 量块校准器

量块校准器的制作方法如下:

- a) 在测量设备的量程范围内选取一个中空标准量块,选用两个平行平晶(优先选用光学表面波前像差峰-谷值优于 160 nm,波前像差均方根值优于 32 nm 的平行平晶);
- b) 制作一个套筒,依次放入第一块平行平晶,一个中空标准量块,第二块平行平晶,示意图见图 A.1;
- c) 将平行平晶压紧固定。



标引序号说明:

- 1——套筒;
- 2——压圈;
- 3——第二块平行平晶;
- 4——中空标准量块;
- 5——第一块平行平晶。

图 A.1 量块校准器结构示意图

将中空标准量块的厚度值作为标准值,用测量设备测量该套筒中两块平行平晶之间的中心间距,与标准值进行对比,得到测量结果与实际值的偏差。

A.3 平晶校准器

选取一个光学表面波前像差峰-谷值优于 160 nm,波前像差均方根值优于 32 nm 的平行平晶。若无该平行平晶在设备中心波长下的折射率数据,实测其在测量设备中心波长下的折射率。

用经过检定的设备测量平行平晶的厚度作为标准值。用测量设备测量该平行平晶的厚度,与标准值进行对比,得到测量结果与标准值的偏差。

附 录 B

(规范性)

玻璃材料折射率换算

若玻璃材料的折射率未知,可根据玻璃材料目录查找(常见无色光学玻璃材料见 GB/T 903—2019 附录 B)并换算至光源中心波长下的折射率。

采用柯西色散公式进行换算,见公式(B.1):

$$n_{\lambda}=a+\frac{b}{\lambda^2}+\frac{c}{\lambda^4}$$

.....( B.1 )

式中:

- $n_{\lambda}$  —— 介质在光源中心波长的折射率;
- $a、b、c$  —— 柯西色散系数,可由玻璃目录中已知介质的三个折射率求出;
- $\lambda$  —— 光源中心波长,单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

附 录 C  
(资料性)  
测量结果异常值判断

C.1 概述

测量结果异常值的判别方法采用统计判别法,即给定一个显著水平,按照一定分布确定一个临界值,凡超出该界限的误差,就认为它不属于随机误差的范畴,而是异常值,该数据予以剔除。

对于服从正态分布的数据,常用的异常值判断准则有三种:莱伊达准则、格拉布斯准则和狄克逊准则。莱伊达准则适用于测量次数不小于 30 次的测量,当测量次数较少时,该方法可靠性不高。当测量次数小于 30 次时,用格拉布斯准则可靠性最高,测量次数在 20 次~50 次时,判别效果较好。狄克逊准则适用于剔除多个异常值,对异常值的判定速度快。在较精密的测量中,选用两种或三种准则综合判断,若一致认为含有异常值,剔除异常值;当判定结果有矛盾时,慎重考虑,分析原因。在严重偏离正态分布的情形下,采用截尾均值或其他稳健估计的算法进行数据处理。莱伊达准则、格拉布斯准则和狄克逊准则的判定方法参见 GB/T 4883—2008 和《仪器精度理论》。

C.2 莱伊达准则

莱伊达准则又称为  $3\sigma$  准则,根据随机误差的正态分布规律,对于某一测量列落在  $3\sigma$  之外的概率为 0.27%。

对某量做多次等精度测量,得到一组测量数据  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$  (共  $j$  个),按照公式(C.1)计算其算术平均值  $\bar{x}$ 、按照公式(C.2)计算测量数据的偏差  $v_i$ 。

$$\bar{x} = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j x_i \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:  
 $\bar{x}$  ——测量数据的算术平均值;  
 $j$  ——测量数据的个数;  
 $x_i$  ——测量数据中的第  $i$  个数据。

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:  
 $v_i$  ——测量数据  $x_i$  的偏差。  
 $\sigma$  常用样本标准差  $s$  值代替,样本标准差  $s$  按照公式(C.3)计算。

$$s = \sqrt{\frac{1}{(j-1)} \sum_{i=1}^j (x_i - \bar{x})^2} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:  
 $s$  ——测量数据的样本标准差。  
故若测量数据  $x_i$  的偏差  $v_i$  满足公式(C.4),则认为数据  $x_i$  为异常值,将其剔除。

$$|v_i| > 3s \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:  
 $|v_i|$  ——测量数据的偏差的绝对值。

按照上述准则若判别出测量列中有两个以上测量数据为异常值,此时只能首先剔除含有最大误差的数据,然后重新计算测量数据的算术平均值及样本标准差,再对余下的测量数据进行判断,依次程序逐步剔除,直至所有测量数据皆不含异常值时为止。



C.3 格拉布斯准则

格拉布斯准则根据顺序统计量的某种分布规律提出的判断异常值的准则,对样本中仅混入一个异常值的情况,检验的可靠性最高。

对某量做多次等精度测量,得到一组测量数据  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$  (共  $j$  个),按照公式(C.1)计算其算术平均值  $\bar{x}$ 、按照公式(C.2)计算测量数据的偏差  $v_i$ 、按照公式(C.3)计算样本标准差  $s$ 。

将测量数据按照大小顺序重新排列为:  $x'_1 \leq x'_2 \leq x'_3 \leq \dots \leq x'_j$ 。

按照公式(C.5)计算  $g_1$ ,按照公式(C.6)计算  $g_j$ 。

$$g_1 = \frac{\bar{x} - x'_1}{s}$$

.....( C.5 )

式中:

- $g_1$  —— 测量数据中最小的数据的格拉布斯系数;
- $\bar{x}$  —— 测量数据的算术平均值;
- $x'_1$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第 1 个数据,即测量数据中最小的数据;
- $s$  —— 测量数据的样本标准差。

$$g_j = \frac{x'_j - \bar{x}}{s}$$

.....( C.6 )

式中:

- $g_j$  —— 测量数据中最大的数据的格拉布斯系数;
- $x'_j$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第  $j$  个数据,即测量数据中最大的数据。

取定显著度  $a$  (一般取  $a$  为 0.05 或 0.01),查表 C.1 中所列的格拉布斯系数临界值  $g_0(j, a)$ ,按照公式(C.7)进行判定。

$$g_i \geq g_0(j, a)$$

.....( C.7 )

式中:

- $g_i$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第  $i$  个数据  $x'_i$  的格拉布斯系数;
- $g_0(j, a)$  —— 格拉布斯系数临界值。

表 C.1 格拉布斯系数临界值  $g_0(j, a)$

$j$	$g_0(j, a)$		$j$	$g_0(j, a)$	
	$a=0.05$	$a=0.01$		$a=0.05$	$a=0.01$
3	1.153	1.155	17	2.475	2.785
4	1.463	1.492	18	2.501	2.821
5	1.672	1.749	19	2.532	2.854
6	1.822	1.944	20	2.557	2.884
7	1.938	2.097	21	2.580	2.912
8	2.032	2.221	22	2.603	2.939
9	2.110	2.323	23	2.624	2.963
10	2.176	2.410	24	2.644	2.987
11	2.234	2.485	25	2.663	3.009
12	2.285	2.550	30	2.745	3.103
13	2.331	2.607	35	2.811	3.178
14	2.371	2.659	40	2.866	3.240
15	2.409	2.705	50	2.956	3.336
16	2.443	2.747	100	3.207	3.600



当公式(C.7)成立时,则认为数据  $x'_i$  含有异常值,宜将其剔除。

分别对  $x'_1, x'_j$  进行判定,若存在异常值,宜剔除该数据后重新计算并再次判定。按照上述准则若判出  $x'_1, x'_j$  均含有异常值,此时只能首先剔除其中误差较大的一个数据,然后重新计算测量数据的算术平均值及样本标准差,再对余下的数据重新进行判断,依次程序逐步剔除,直至所有测量数据皆不含异常值时为止。

#### C.4 狄克逊准则

狄克逊准则根据测量数据按照大小排列后的顺序差来判断异常值,无须计算样本标准差,对于判断样本数据中多个异常值效果较好。

对某量做多次等精度测量,得到一组测量数据  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$  (共  $j$  个),将测量数据按照大小顺序重新排列为:  $x'_1 \leq x'_2 \leq x'_3 \leq \dots \leq x'_j$ 。

当  $x'_i$  服从正态分布时,按照公式(C.8)得到最大值  $x'_j$  的统计量,按照公式(C.9)得到最小值  $x'_1$  的统计量。

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{10} = \frac{x'_j - x'_{j-1}}{x'_j - x'_1} \\ r_{11} = \frac{x'_j - x'_{j-1}}{x'_j - x'_2} \\ \dots\dots\dots (C.8) \\ r_{21} = \frac{x'_j - x'_{j-2}}{x'_j - x'_2} \\ r_{22} = \frac{x'_j - x'_{j-2}}{x'_j - x'_3} \end{array} \right.$$

式中:

$r_{10}, r_{11}, r_{21}, r_{22}$  —— 最大值  $x'_j$  的狄克逊统计量;

$x'_j$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第  $j$  个数据,即测量数据中最大的数据;

$x'_{j-1}$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第  $j-1$  个数据;

$x'_1$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第 1 个数据,即测量数据中最小的数据;

$x'_2$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第 2 个数据;

$x'_{j-2}$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第  $j-2$  个数据;

$x'_3$  —— 按照大小顺序重新排列后的测量数据中的第 3 个数据。

$$\left\{ \begin{array}{l} r'_{10} = \frac{x'_1 - x'_2}{x'_1 - x'_j} \\ r'_{11} = \frac{x'_1 - x'_2}{x'_1 - x'_{j-1}} \\ \dots\dots\dots (C.9) \\ r'_{21} = \frac{x'_1 - x'_3}{x'_1 - x'_{j-1}} \\ r'_{22} = \frac{x'_1 - x'_3}{x'_1 - x'_{j-2}} \end{array} \right.$$

式中:

$r'_{10}, r'_{11}, r'_{21}, r'_{22}$  —— 最小值  $x'_1$  的狄克逊统计量。

选定显著度  $\alpha$ ,查表(C.2)得到各统计量的临界值  $r_0(n, \alpha)$ 。

当  $j \leq 7$  时,优先使用  $r_{10}$  或  $r'_{10}$  判断;当  $8 \leq j \leq 10$  时,优先使用  $r_{11}$  或  $r'_{11}$  判断;当  $11 \leq j \leq 13$  时,优先使用  $r_{21}$  或  $r'_{21}$  判断;当  $j \geq 14$  时,优先使用  $r_{22}$  或  $r'_{22}$  判断。

当测量数据的狄克逊统计量大于临界值  $r_0(n, a)$  时,认为该测量数据存在异常值。按照上述准则若判别出  $x'_1, x'_j$  均含有异常值,此时只能首先剔除其中误差较大的一个数据,再对余下的数据重新进行判断,依此程序逐步剔除,直至所有测量数据皆不含异常值时为止。

表 C.2 狄克逊统计量的临界值  $r_0(n, a)$

统计量	$j$	$r_0(n, a)$		统计量	$j$	$r_0(n, a)$	
		$a=0.01$	$a=0.05$			$a=0.01$	$a=0.05$
$r_{10}$ $r'_{10}$	3	0.988	0.941	$r_{22}$ $r'_{22}$	14	0.640	0.546
	4	0.889	0.765		15	0.618	0.524
	5	0.782	0.642		16	0.597	0.505
	6	0.698	0.562		17	0.580	0.489
	7	0.637	0.507		18	0.564	0.475
$r_{11}$ $r'_{11}$	8	0.681	0.554		19	0.550	0.462
	9	0.635	0.512		20	0.538	0.450
	10	0.597	0.477		21	0.526	0.440
$r_{21}$ $r'_{21}$	11	0.674	0.575		22	0.516	0.431
	12	0.642	0.546		23	0.507	0.422
	13	0.617	0.521		24	0.497	0.413
					25	0.489	0.406

C.5 截尾均值的稳健估计

一种常用的方法是求截尾系数  $a$  的截尾均值。有可疑数据,  $a$  常取 0.1; 如确认无可疑数据, 则截尾系数  $a$  取 0。截尾均值即为测量结果。

假设一组测量数据  $x$  (共  $j$  个) 无显著系统误差, 大致服从对称分布, 则可按照以下步骤处理:

- a) 按照公式(C.1)计算其算术平均值  $\bar{x}$ 、按照公式(C.3)计算样本标准差  $s$ ;
- b) 将测量数据  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$  按照大小顺序排列为:  $x'_1 \leq x'_2 \leq x'_3 \leq \dots \leq x'_j$ ;
- c) 计算偏差  $v'_i$  见公式(C.10):

$$|v'_i| = |x'_i - \bar{x}| \dots\dots\dots (C.10)$$

式中:  
 $v'_i$ ——数据  $x'_i$  与数据算术平均值  $\bar{x}$  的偏差;  
 $x'_i$ ——按照大小顺序后的第  $i$  个数据;  
 $\bar{x}$ ——数据的算术平均值。

- d) 按照公式(C.11)判别可疑数据:

$$|v'_i| \geq k_0 \times k \times \sigma \dots\dots\dots (C.11)$$

式中:  
 $k_0$ ——不确定系数影响因子;  
 $k$ ——不确定度系数;  
 $\sigma$ ——数据的标准差。

当  $j \geq 10$  时,  $k_0 = 0.6, k = 3$ ; 当  $j < 10$  时,  $k_0 = 0.7, k = (j - 1)^{1/2}$ ; 当公式(C.11)成立时, 数据  $x'_i$  即为可疑数据。

e) 求  $a$  截的截尾均值。常取  $a=0.1$ , 即有截尾数据时, 截尾均值为:

$$\overline{x}_{0.1} = \frac{\sum_{i=1}^{j-aj} x_i}{j-2aj} \dots\dots\dots (C.12)$$

式中:

$j$  ——测量数据的个数;

$a$  ——截尾系数。

无可疑数据时, 取  $a=0$  不截尾, 截尾均值即常规的算术平均值。



附 录 D  
(资料性)  
测量报告

测量报告见表 D.1。

表 D.1 测量报告

样品名称			测量单位		
样品数量			测量时间		
送样时间			测量地点		
送样单位			测量环境	环境温度 ℃	相对湿度 %
样品等温调节时长					
样品参数	编号	材料	折射率		备注
测量设备	品牌	型号	精度		是否校准
测量结果					
	有效性判定:是( ) 否( )				
备注					
测量人(签名)			日期		
审核人(签名)			日期		



### 参 考 文 献

- [1] GB/T 903—2019 无色光学玻璃
  - [2] GB/T 1224—2016 几何光学术语、符号
  - [3] GB/T 4883—2008 数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理
  - [4] GB/T 13962—2009 光学仪器术语
  - [5] 马宏,王金波.仪器精度理论[M].2版.北京:北京航空航天大学出版社,2014:83-90.
- 





